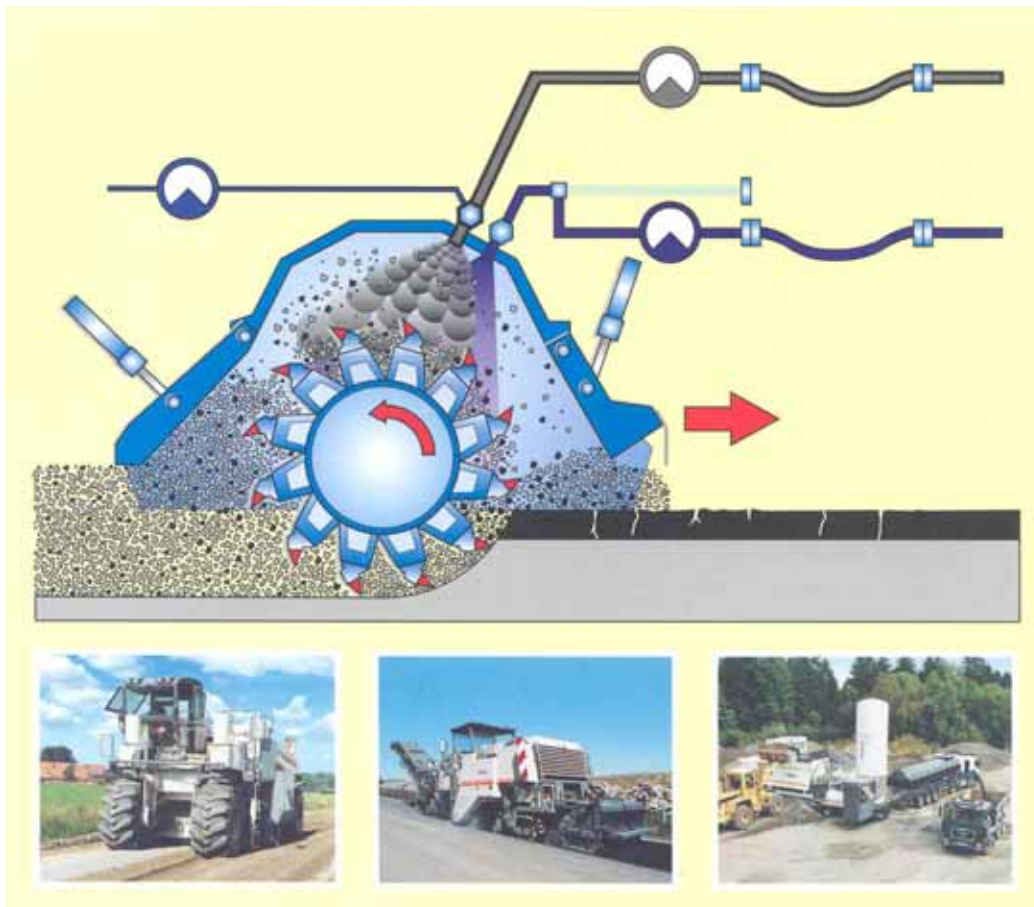


WIRTGEN

KÜLMSTABILISEERIMISE

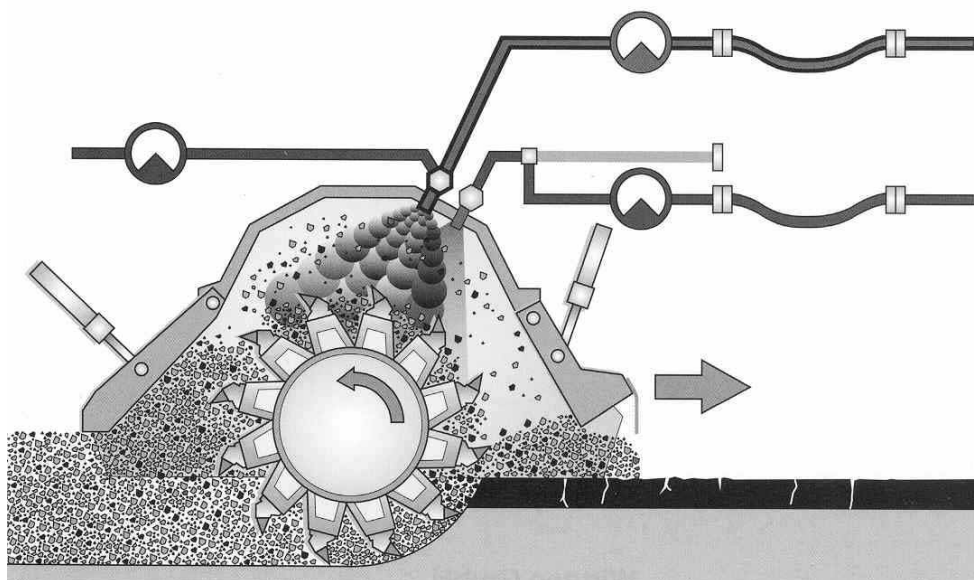
KÄSIRAAMAT



WIRTGEN

KÜLMSTABILISEERIMISE

KÄSIRAAMAT



Teine väljaanne

November 2004

EESSÕNA

Käesolev väljaanne on tõlgitud Maanteeameti tellimusel.

Inglise keelse väljaande on tõlkinud Jaana Talja (peatükid 1-6 ja lisad A1-A5 ning A7), A&A Lingua (lisa A6) ning saksa keelsest väljaandest valitud lõigud on tõlkinud Ann Tamme. Saksa keelsest väljaandest valis olulisemad lõigud välja ja mõlemad tõlked redigeeris Allar Kauge, küljendas Luule Kaal.

Inglise keelne väljaanne ilmus novembris 2004 aastal ning sellesse oli kogutud uut infot nii seadmete kui katsete kohta kogu maailmast ning samuti oli see teos mõeldud kasutamiseks kogu maailmas. Seetõttu võivad nii mõnedki kirjeldused (näiteks käsitsi tsemendi laotamine kottidest ja hilisem kuhilate siledaks rehitsemine), tööde ja konstruktsioonide nimetused (tihti originaaltekstis jutumärkides), stabiliseerimistöode projektide näited (Lõuna-Aafrika Vabariigist) jms tunduda esmasel lugemisel veidi omapärasena. Samuti esines originaaltekstis mitmeid vasturääkivusi ja ka valesid numbrilisi väärtusi ning vigu joonistel.

2006 aasta jaanuaris ilmus aga saksa keelne variant ja Eestisse jõudis see märtsi lõpus ehk siis, kui inglise keelse variandi tõlkimine lähenes lõpule. Üheskoos Maanteeameti esindajatega jõudsime järeldusele, et inglise keelset varianti on vaja täiendada. Seda seetõttu, et saksa keelne variant on suunatud eeskätt saksa turule (ehk lähem meie põhimõtetele ja töökspidamistele), viidatud on uutele EN katsetusmeetoditele, Saksamaal kehtivatele normdokumentidele ning lisades on mitmeid huvipakkuvaid projektide näiteid, mida inglise keelses variandis ei ole. Ka mõlema variandi ülesehitused on erinevad (alapeatükid ei ühti, lisad on erinevad jne). Saksa keelsest väljaandest on valitud tähtsamad ja vajalikumad lõigud ning lisatud need inglise keelsele tõlkele.

Nende eristamiseks põhitekstist on nad kirjutatud fondiga Times New Roman.

Sisukord

Sisukord	3
Sissejuhatus	7
1.peatükk: Teekatendid	9
1.1 Üldist	9
1.2 Katendi komponendid	10
1.2.1 Kate	10
1.2.2 Katendi konstruktsioon	10
1.2.3 Muldkeha	11
1.3 Katendi konstruktsiooni mõjutavad peamised tegurid	12
1.3.1 Keskkonnatingimused	12
1.3.2 Liikluskoormus	13
1.4 Katendi lagunemist põhjustavad tegurid	13
1.4.1 Keskkonnategurid	14
1.4.2 Liiklusest tingitud mõjud	14
1.4.3 Pragunemise tagajärjed	15
1.5 Katendi hooldus ja taastusremont	16
1.6 Taastusremondi variandid	17
1.6.1 Katte taastusremont	17
1.6.2 Katendi konstruktsiooni taastusremont	18
2. peatükk: Külmsabiliseerimine	21
2.1 Üldist	21
2.2 Külmsabiliseerimise protsess	21
2.2.1 Segistis stabiliseerimine	21
2.2.2 Teel stabiliseerimine	22
2.3 Külmsabiliseerimise rakendamine	23
2.3.1 100% asfaldipuru stabiliseerimine	25
2.3.2 Täitematerjali / asfaldipuru stabiliseerimine	25
2.3.3 Peenestamine freesiga	27
2.3.4 Ümbertöötlemine	27
2.3.5 Täiendavate materjalide lisamine	27
2.4 Wirtgeni külmsabiliseerimismasinad	28
2.4.1 Segamisfreesid teel stabiliseerimiseks	28
2.4.2 Mobiilne segisti	31
2.4.3 Lisaseadmed	32
2.5 Külmsabiliseerimise eelised	33
2.6 Külmsabiliseerimisprotsessi sobivus	34
3. peatükk: Katendi remont	35
3.1 Sissejuhatus	35
3.2 Katendi taastusremondi projekteerimine	36
3.3 Andmete kogumine ja olemasoleva teabe töötlemine	38
3.3.1 Teave olemasoleva katendi kohta (varasemad andmed)	38
3.3.2 Arvutuslik liiklus	38
3.4 Esialgseid uuringud	39
3.4.1 Sarnased lõigud	40
3.4.2 Visuaalne hindamine	43
3.4.3 Sarnaste lõikude uuesti hindamine	44
3.5.1 Prooviaukude tegemine	44
3.5.2 Puurproovid	45
3.5.3 Laborikatsed	46
3.5.4 Dünaamiline koonuspenetromeeter	46
3.5.5 Läbipainde mõõtmistulemuste analüüs	48
3.5.6 Roopa sügavuse mõõtmine	48

3.5.7	Olemasolevate andmete analüüs	49
3.6	Katendi taastusremondi esialgsed projekteerimismeetodid	50
3.6.1	Katendi projekteerimismeetodid	51
3.6.2	Katalogiseeritud projekteerimismeetodid	52
3.6.3	Struktuuri numbri meetod	53
3.6.4	Läbipaindel põhinevad meetodid	53
3.6.5	Mehaanilised projekteerimismeetodid	53
3.6.6	Katendi projekteerimismeetodite kokkuvõte	55
3.7	Stabiliseeritava materjali laborisegude projektid	55
3.8	Katendiprojekti koostamise lõpetamine	56
4. peatükk:	Sideained	59
4.1	Sideainete tüübid	59
4.1.1	Üldist	59
4.1.2	Hüdraulilised sideained	60
4.1.3	Bituumensideained	61
4.2	Tsemendiga stabiliseerimine	63
4.2.1	Üldist	63
4.2.2	Tugevust mõjutavad tegurid	63
4.2.3	Tsemendiga stabiliseeritud kihtide pragunemine	63
4.2.4	Pealmise pinna purunemine	65
4.2.5	Vastupidavusega seotud probleemid	65
4.2.6	Tsemendiga töötlemine	67
4.2.7	Varajane koormamine	70
4.2.8	Tsemendiga stabiliseeritud materjalide tüüpilised omadused	70
4.3	Bituumeniga stabiliseerimine	71
4.4	Stabiliseerimine bituumenemulsiooniga	72
4.4.1	Üldist	72
4.4.2	Emulsiooni tüübid	74
4.4.3	Bituumenemulsiooniga töötlemine	74
4.4.4	Vedeliku summaarse sisalduse kontseptsioon	76
4.4.5	Bituumenemulsiooniga stabiliseeritud materjalide tüüpilised omadused	77
4.5	Vahtbituumeniga stabiliseerimine	78
4.5.1	Üldist	78
4.5.2	Vahtbituumeni omadused	80
4.5.3	Materjali sobivus vahtbituumeniga	84
4.5.4	Vahtbituumeniga töötamine	86
4.5.5	Vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide tüüpilised omadused	87
4.6	Kokkuvõte: tsemendi ja bituumensideainete võrdlus	92
5. peatükk:	Stabiliseerimisega taastatavad katendid	93
5.1	Stabiliseerimiseks sobivate katendikonstruktsioonide näidised	94
5.2	Tavapärase kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga	96
5.3	Kahe-etapiline stabiliseerimine konstruktsiooni olulise tugevdamise eesmärgil	97
5.4	Kaheetapiline teel stabiliseerimine	99
6.1	Üldist	101
6.2	Taastustööde planeerimine	101
6.2.1	Seadmete valik	101
6.2.2	Eesmärk	104
6.2.3	Materjal olemasolevas katendis	104
6.2.4	Olemasoleva tee geomeetria	104
6.2.5	Liikluskorraldus	107
6.2.6	Logistika	107
6.2.7	Lõpptöötele esitatavad nõuded	109
6.2.8	Stabiliseerimisele eelnevad tööd	109
6.2.9	Erinõuded enne tee avamist liiklusele	109

6.2.10	Päevase toodangu planeerimine	110
6.3	Stabiliseerimisele eelnevad tööd	111
6.3.1	Takistuste eemaldamine	111
6.3.2	Olemasoleva tee eelprofileerimine	111
6.3.3	Uue materjali juurdevedu	112
6.3.4	Olemasoleva katte eelpurustamine	113
6.3.5	Olemasoleva katte eelpeenestamine	114
6.4	Stabiliseerimine	115
6.4.1	Taastamisrongi seadistamine	115
6.4.2	Töö alustamine	116
6.4.3	Stabiliseerimine	116
6.4.4	Põikvuugid	117
6.4.5	Stabiliseeritud materjali paigaldamine	118
6.5	Tihendamine	118
6.5.1	Nõutav tihedus	119
6.5.2	Tihedust mõjutavad tegurid välitingimustes	120
6.5.3	Maksimaalse tiheduse saavutamine välitingimustes	121
6.6	Uue stabiliseeritud kihi viimistlemine	123
6.7	Kvaliteedikontroll	124
6.7.1	Kontroll ja katsed	124
6.7.2	Tööde vastuvõtmise kontroll ja katsed	125

Lisad

- Lisa 1:** Katendi taastusremondi ja projekteerimise näited
- A1.1 Suure liiklussagedusega teede remont
 - A1.2 Olemasolevate kruusateede parendamine
 - A1.3 Kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga
- Lisa 2:** Stabiliseeritud materjalide seguprojektide koostamine
- A2.1 Proovide võtmine ja ettevalmistamine
 - A2.2 Tsemendiga stabiliseeritud materjalidest segude projekteerimine
 - A2.3 Bituumeniga töödeldud materjalidest segude projekteerimine
 - A2.4 Tugevuskatsed
 - A2.5 Bituumeniga stabiliseeritud materjalide nihkeomaduste määramine
 - A2.6 Laboriseadmed
- Lisa 3:** Katendi projekteerimine vahtbituumeniga stabiliseerimise puhul
- A3.1 Katendi projekteerimismeetodid
 - A3.2 Katendi projekteerimine struktuuri numbri meetodil
 - A3.3 Katendi projekteerimine mehaaniliste meetoditega
 - A3.4 Katendi projekteerimine pingetsükli asümmeetriateguri piirväärtuse meetodiga
- Lisa 4:** Konstruktsioonilise kandevõime määramine liiklusandmete alusel
- A4.1 Liiklusalased terminid
 - A4.2 Liikluskooormuse klassifitseerimine
 - A4.3 Liikluskooormuse prognoos
 - A4.4 Arvestusliku liikluse (konstruktsioonilise kandevõime) määramine
 - A4.5 Arvestusliku liikluse prognoosimine praktikas

- Lisa 5:** Stabiliseerimisprojektide spetsifikatsioonide koostamise juhised
- A5.1 Kasutusala
 - A5.2 Materjalid
 - A5.3 Seadmed
 - A5.4 Ehitamine
 - A5.5 Kaitsmine ja hooldus
 - A5.6 Lubatud kõrvalekalded
 - A5.7 Jooksev kontroll ja katsed
 - A5.8 Mahtude arvutamine ja maksmine
 - A5.9 Näide töökirjelduse kohta
 - A5.10 Juhiseid külmstabiliseerimiskihi laotamiseks vajalike masinate valikul
- Lisa 6:** Majandusanalüüsi põhimõtted
- A6.1 Sissejuhatus
 - A6.2 Kulude ajaline võrreldavus
 - A6.3 Majandusliku hindamise meetodid
 - A6.4 Analüüsiperiood ja transpordirajatise lõpp- ja jääkväärtus
- Lisa 7:** Kuluanalüüs
- A7.1 Põhimaterjalide ja tööde maksumus
 - A7.2 Suure liiklusega teede remont
 - A7.3 Olemasolevate kruusateede parendamine
 - A7.4 Kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga
- Lisa 8:** Katsetusmeetmed

Sissejuhatus

Wirtgeni külmstabiliseerimise käsiraamat avaldati esmakordselt inglise keeles 1998. aastal. Sealtpeale on käsiraamatut tõlgitud mitmetesse keeltesse ning seda on leitatud üle 5000 eksemplari üle maailma. Käsiraamatule viidatakse arvukates aruannetes, konverentsimaterjalides ja muudes tehnilistes väljaannetes kas otse või kasutatud kirjanduse nimekirjas. Tundub, et Wirtgeni külmstabiliseerimise käsiraamat on muutunud selle tehnoloogia teatmeteoseks.

Selline kõrge staatus nõuab, et käsiraamatu sisu käiks kaasas tehnoloogia arenguga nii masina- kui teedeehituse vallas. Pidev areng toimub ka Wirtgeni Saksamaal asuvas projekteerimisasutuses, kus insenerid töötavad läbi praktikutelt saabuvat teavet, et parandada olemasolevate masinate tehnilisi omadusi ja kasutusvõimalusi ning töötada välja uusi mudeleid. Katendeid projekteerivad insenerid töötavad samuti selle nimel, et parandada stabiliseerimise tehnoloogiaid, eelkõige olemasoleva katendi ülemistest kihtidest saadud kõrgevaliteedilise kivimaterjali stabiliseerimiseks.

Samal ajal halveneb jätkuvalt maailmas teede üldine seisukord ning paljud riigid on silmitsi vananeva teedevõrgu taseme pideva langusega. Teede rahuldava teenindustaseme säilitamiseks tehtavate hooldus- ja remonttööde mahud üha kasvavad ning see avaldab tuntavat mõju riikide eelarvetele. Olukorda teravdab veelgi ülemaailmne liiklussageduse kasvu tendents koos telje koormuste ja rehvi rõhkude suurenemisega – need kõik on tegurid, mis põhjustavad teekatendite lagunemist. Kirjeldatud allakäiguspiraali on võimalik peatada üksnes teedele suunatud eelarvete tohutu suurendamise ning tehniliste uuendustega teedeehituse valdkonnas.

Kuna teedele suunatud eelarved näitavad tõusutendentsi, keskendutakse tehnilistele uuendustele, et saavutada suhteliselt väikeste kulutustega rohkem. Stabiliseerimine kuulub selgelt sellesse kategooriasse ning arvud näitavad, et sügavstabiliseerimisega taastatud katendite kilometraaž suureneb aastast aastasse. Selline ilming on seletatav lihtsa majandusanalüüsiga, mis peegeldab protsessi rentaablust.

Et pidada sammu kõigi muudatustega, mis käsiraamatu esmasest ilmumisest alates on aset leidnud, leidsid Wirtgeni külmstabiliseerimise käsiraamatu autorid, et see vajab täielikku redigeerimist. Enamus käesolevas redaktsioonis esitatud materjalist on kas ümber töötatud või on täiesti uus. Lisatud on uus peatükk ja kasutajasõbralikkuse suurendamiseks on kõikide peatükkide ülesehitust muudetud ning lisatud on pilte.

Eelmisega võrreldes on käesolev redaktsioon mõeldud rakendusliku otstarbega käsiraamatuna, milles keskendutakse elastsete katendite kohapeal stabiliseerimisele. Käsiraamatus ei käsitleta stabiliseerimist segistites, asfaldi kuumtaastussegamist ega betoonkatendi taastamist, kuna need on kõik omaette teemad.

Esimeses peatükis antakse ülevaade teekatenditest ja nende eesmärkidest ning lagunemisest. Sellele järgneb katendite taastamisvõimaluste kirjeldus ning sissejuhatus külmstabiliseerimisse, mida koos kasutatavate masinatega käsitletakse teises peatükis.

Kolmandas peatükis käsitletakse katendite remondiga seotud projekteerimisaspekte, keskendudes stabiliseerimisele. Üksikasjalikult käsitletakse katendiuuringuid, materjalianalüüsi ja katendiprojekte. Neljandas peatükis keskendutakse sideainetele, mis on üheks kõige olulisemaks stabiliseerimisprotsessi komponendiks.

Viiendas peatükis pealkirjaga „Stabiliseerimise võimalused“ esitatakse terve rida tüüpilisi katendi konstruktsioone, mida võib taastada stabiliseerimise teel, hõlmates nii tsemendi kui

ka bituumeniga stabiliseerimise võimalusi. Lõpuks, kuuendas peatükis, pealkirjaga „Ehituslikud aspektid“ käsitletakse stabiliseerimise praktilise teostamisega seotud aspekte.

Kuuendale peatükile järgneb kasutatud kirjanduse loetelu.

Lisad sisaldavad lisateavet. Esimene lisa hõlmab näiteid katendite remondi kohta. Teises lisas käsitletakse enam levinud seguprojektide koostamist stabiliseerimisel ning esitatakse laboritööks vajalike seadmete loend.

Kolmas lisa pealkirjaga „Katendi projekteerimine vahtbituumeniga töötlemisel“ on täiesti uus ning on kaasatud siia, et anda tööde teostajaile teavet selle suhteliselt uue tehnoloogia kohta, mis pole siiani kirjanduses palju kajastamist leidnud.

Neljandas lisas käsitletakse metoodikat, mida kasutatakse katendi projekteerimiseks vajalike kriteeriumite määramiseks liiklusandmete alusel. Viiendas lisas esitatakse juhised külmstabiliseerimisprojektide spetsifikatsioonide koostamiseks. Kuuendas lisas esitatakse kasulikke teavet majandusanalüüside kohta ning seitsmendas ühikumäärad, mida kasutati maksumuste arvutamiseks esimeses lisas esitatud näidetes.

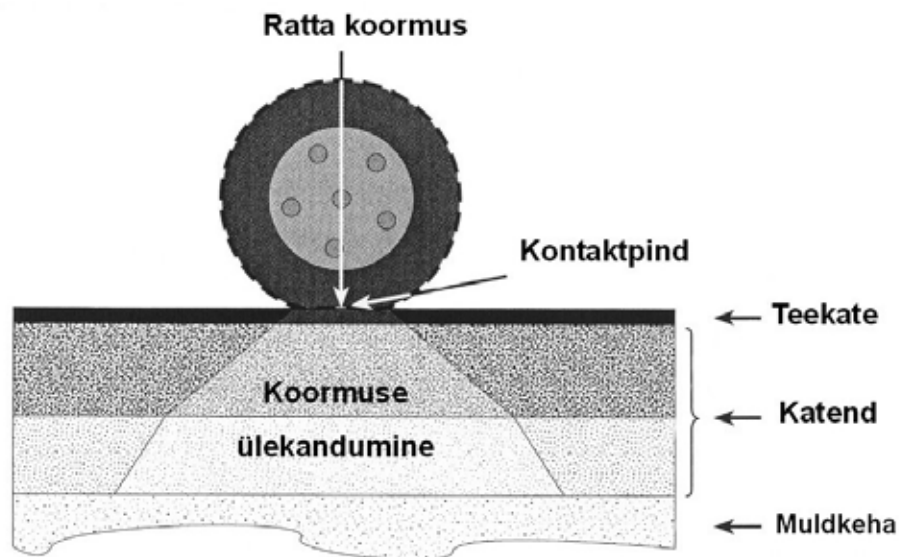
Lisades sisalduv teave on küll seotud külmstabiliseerimisega, kuid selle käsitlemine tekstis oleks liialt tülikas.

1.peatükk: Teekatendid

1.1 Üldist

Kate on tavaliselt tee ainuke nähtav osa. Kate on kõige pealne kiht katendis, mis võib koosneda mitmest erinevast kihist ning võib ulatuda sageli enam kui meetri sügavusele. Katend on tee osa, mis töötab. Sõidukite koormus antakse edasi “maale” ehk looduslikule alusmaterjalile (muldkehale), mis tavaliselt on kandevõime seisukohalt nõrk. Katend jaotab liiklusest tulenevad suured pinnakoormused suurema pindalaga muldkehale, vt joonis 1.1.

Joonis 1.1 Koormuse kandumine muldkehale läbi katendi



Katendi moodustavad üksikud kihid erinevad koostise ja paksuse poolest. Tavaliselt on üksikud kihid 125–200 mm paksud. Katte pinnale lähemal asuvad kihid tehakse suure tugevusega materjalidest (nt kuum asfaltsegu), mis taluvad suuri pingeid. Kuna koormus jaotub alumistes kihtides laiemale pinnale, pinged vähenevad ning võib kasutada kehvema kvaliteediga materjale (nt looduslik kruus). Järelikult on alumistes kihtides kasutatavad materjalid ka odavamad kui need, mida kasutatakse ülemistes kihtides. Punktis 1.2 käsitletakse esinevaid katendi komponente.

On olemas kaks peamist katendi tüüpi:

- jäigad katendid, kus paks suure tugevusega tsementbetoonist kiht katab seotud stabiliseeritud kihti; ning
- looduslikest materjalidest elastsed katendid, kus ülemised kihid on mõnikord suurema tugevuse saavutamiseks seotud (tavaliselt bituumeniga ja/või on kergelt tsementeerunud).

Üldiselt saab objektile ökonoomselt stabiliseerida ainult elastseid katendeid. Tsementbetoonist jäigad katendid tavaliselt nende tööea lõpus lammutatakse. Seepärast käsitletakse käesolevas käsiraamatus ainult elastseid katendeid.

Teele mõjuvad lagundavad jõud, millel on kaks peamisest allikat – keskkond ja liiklus. Mõlemad toimivad pidevalt, vähendades sõidu mugavust ja tee konstruktsioonilist terviklikkust. Lagundavate jõudude mõju käsitletakse punktis 1.3, enne kui keskendutakse katendi lagunemise mehhanismile ja sellele, mida saab ja tuleb protsessi peatamiseks ette

võtta (hooldus), ning meetmetele teenindustaseme taastamiseks, kui lagunemine on liiga suur (remont).

1.2 Katendi komponendid

Nagu eespool mainitud, omab katend kolme olulist komponenti. Kate, katendi konstruktsioon ja muldkeha teenivad igaüks ise eesmärgi ning seepärast käsitletakse neid allpool eraldi.

1.2.1 Kate

Katte ülesanne on kaitsta katendi konstruktsiooni liikluse ja keskkonna mõjude eest, toimides vastupidava ja veekindla kihina.

1.2.1.1 Kaitse liikluse mõjude eest

Liiklus mõjutab katet kahel viisil:

- rehvi koormusest kattele edasi antud pinged on valdavalt vertikaalsuunalised. Horisontaalne komponent võib saada oluliseks kurvides, järskudel pikikalletel ning kohtades, kus sõidukid pidurdavad. Kattematerjalide tugevusnäitajad peavad taluma kõiki nimetatud mõjusid, ilma et materjal puruneks või deformeeruks;
- rehvide libisemisel, eriti kurvides, toimub pidev kattepinna poleerimine. Ajapikku põhjustab see katte haardeomaduste vähenemist ning kate muutub libedaks ja ohtlikuks, eriti märjana.

1.2.1.2 Kaitse keskkonna mõjude eest

Katet mõjutavad kaks põhilist keskkonnategurit – temperatuur ja ultraviolettkiirgus.

Seepärast peavad katted olema:

- elastsed, et vastu pidada korduvatele temperatuuri muutustest tingitud paisumistele ja kahanemistele;
- vastupidavad, et taluda ultraviolettkiirgust ilma enneaegse vananemiseta.

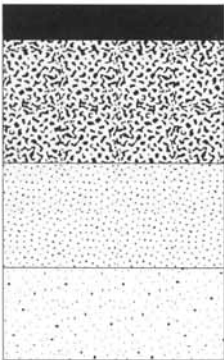
Lisaks hõõrdekindlusele on bituumenkate elastne, vastupidav ja kõrge veekindlusega. Asfaltbetoonsegu (bituumeni sisaldus 5 massi %) kasutatakse kattena tavaliselt suure liiklusega teedel ning ökonoomsemat puistepindamist kasutatakse väiksema liiklussagedusega teedel.

1.2.2 Katendi konstruktsioon

Katendi kihtide kaudu toimub pinnale mõjuva koormuse edasikandumine muldkehale. Nagu jooniselt 1.1 näha, väheneb kihtide pinnale edasiantav ratta koormus katendis sügavuse suurenedes oluliselt ning jaotub lõpuks suurele muldkeha pinnale. Katend koosneb enamasti mitmest erinevate tugevusnäitajatega materjalikihist, kus iga kiht jaotab ülevalt tuleva koormuse laiemale pindalale. Ülemised kihid võtavad vastu suuremaid pingeid kui alumised ning peavad seepärast olema tugevamast materjalist. Jooniselt 1.2 on näha, milliseid materjale tavaliselt elastses katendis kasutatakse.

Et eespool toodud nõuded oleksid täidetud, peab valitud asfaltkate olema kasutuskoha suhtes optimaalsete omadustega. Need omadused määratakse kindlaks sobivuskatsega, mida viiakse läbi vastavalt kehtivatele tehnilistele eeskirjadele, nt. “Täiendavad tehnilised lepingutingimused ja ehitusjuhised asfaltbetoonist teekatete ehitamisel” (*Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und*

Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt), ZTV Asphalt, “Asfaltbetooni sobivuskatsete eeskirjad” (Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt), FGSV, Heft 751.

Joonis 1.2 Elastsete katendite tüüpilised kihid	Asukoht konstruktsioonis		Koostis
		Kate	Asfalt / pindamine
		Alus	Asfalt / bituumenstabiliseeritud / tsementstabiliseeritud / täitematerjal
		Aluse alumine kiht	Bituumenstabiliseeritud / tsementstabiliseeritud / täitematerjal
		Muldkeha	Tsementstabiliseeritud / täitematerjal / olemasolev materjal

Materjali käitumine koormuse rakendamisel sõltub suuresti materjali elastsetest omadustest ning koormuse iseloomust (ulatus, koormatuse aste jne). Seda valdkonda käesolevas käsiraamatus ei puudutata, kuid materjalide olulisemad tunnusjooned on järgmised:

- täitematerjal, mille hulka kuuluvad killustik ja kruusad, annab talle rakendatud koormuse edasi struktuuri üksikute osakeste ehk skeleti kaudu. Osakeste vaheline hõõre säilitab struktuurilise terviklikkuse, kuid korduva koormamise korral (millele lisandub tihti niiskusesisalduse tõus) esineb järk-järgulist tihenemist osakeste liikudes üksteisele lähemale. See protsess võib aset leida ükskõik millises katendi kihis, kuid lõpptulemuseks on katte deformeerumine. Selline deformatsioon väljendub harilikult rattaroobaste tekkimises;
- seotud materjalid, kuhu hulka kuuluvad stabiliseeritud materjalid ja asfaltbetoon, käituvad nagu plaat. Rakendades plaadi pinnale vertikaalset koormust tekitab see plaadi ülemises pooles horisontaalseid survepingeid ning alumises pooles horisontaalseid tõmbepingeid, kusjuures maksimaalsed horisontaalpinged esinevad ülemisel ja alumisel pinnal. Pingete tagajärjel tekkinud deformatsioon, eriti tõmbedeformatsioon alumises pinnas, viib lõpuks väsimuspurunemiseni. Kihi alumises pinnas tekivad praod ning kui koormuse rakendamine jätkub, levivad need vertikaalselt edasi.

Looduslikes materjalides esinev deformatsioon ja seotud materjalides esinev väsimuspurunemine on tingitud korduvast koormuse rakendamisest. Seepärast määratakse katendi eluiga selle järgi, mitu korda saab katendit koormata enne kui see laguneb. Seda käsitletakse üksikasjalikumalt 3. peatükis.

1.2.3 Muldkeha

Looduslik materjal, millel katendi konstruktsioon asetseb, võib olla kas olemasolev (süvend) või kohaletoodud materjal (täide). Muldkeha tugevusnäitajatest sõltub katendi konstruktsiooni tüüp, mida on vaja pinnakoormuse jaotamiseks nii, et ei tekiks jääkdeformatsiooni.

Katendi projekteerimismeetodid kasutavad tavaliselt sisendandmetena aluskihi tugevust ja jäikust ning annavad tulemuseks piisava tugevusega muldkeha kaitsva konstruktsiooni. Sellist lähenemist rakendati esmakordselt 1950ndatel aastatel empiirilist kalifornia kandevõimetegurit arvestava (*California Bearing Ratio – CBR*) projekteerimismeetodi puhul ning see õigustab ennast ka 21. sajandil. Üldiselt on nõrga muldkeha kaitsmiseks vaja paksu katendit, mis sageli saavutatakse täiendavate kihtide lisamisega.

Teekonstruktsiooni aluskiht, niinimetatud muldkeha, koosneb kas looduslikul moel “kasvanud” aluspinnasest (pinnas või nt. kaljumassiiv) või kunstlikult, nt. kruusast kokku veetud ja kujundatud materjalist.

Muldkeha kohta kehtivad suured nõudmised. Muldkeha peab saavutama sellise kandevõime, et pealiskonstruktsioonile mõjuvad jõud ei tekitaks ohtlikke deformatsioone. Saksamaal kasutusel olev teekonstruktsiooni kattekihi mõõtmine toimub liikluskoormusest lähtuva standardehitusviisi alusel (*Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, RstO 01, väljaandja Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln*) ja milles on kehtestatud tee muldkeha kandevõime kohta kehtivad miinimumnõuded. Võrdlev suurus on nn. deformatsioonimoodul, mis on saadud plaatkoormuskatse (DIN 18134) abil. Piisava kandevõimega on muldkeha, mille deformatsioonimoodul E_{v2} väärtuseks on vähemalt 45 MN/m^2 .

Inglise keelt kõnelevates maades ning ka paljudes teistes riikides, mõõdetakse sõidutee omadusi reeglina arvutuslikult. Muldkeha kandevõimet hinnatakse nn. CBR-näitaja (California Bearing Ratio, vt. *Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Teil B. 7.1, FGSV*). See võimaldab arvestada muldkeha või aluse kandevõimeomadusi ka kattekihi omaduste määramisel.

Kui olemasoleva pinnase puhul ei õnnestu ettenähtud nõudeid täita, tuleb rakendada abinõusid kandevõime parandamiseks. Varem vahetati muldkeha pealiskihide pinnas välja parema kandevõimega materjali vastu. Üha enam kasutatakse nüüdisajal aga ebapiisava kandevõimega muldkeha kandevõime parandamiseks pinnaste stabiliseerimist lubja ja/või tsemendiga (vt. *Merklblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemittel, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln*).

1.3 Katendi konstruktsiooni mõjutavad peamised tegurid

Teid ehitatakse üle kogu maailma igasugustes kliimatingimustes alates kuumadest kuivadest kõrbetest ja lõpetades vihmaste piirkondade ning jäiste tundratega. Kuid hoolimata keskkonnatingimustest on kõik teed konstrueeritud taluma liikluskoormust sama põhimõtte järgi, kus katte pinnale ratta koormusest mõjuv jõud antakse edasi alumistele kihtidele, ilma et muldkeha deformeeruks. Konkreetsed keskkonnatingimused ja eeldatav liikluskoormus on kaks peamist tegurit, mis mõjutavad mis tahes katendi konstruktsioonile esitatavaid nõudeid, ning neid käsitletakse eraldi edaspidi.

1.3.1 Keskkonnatingimused

Keskkonnatingimused mõjutavad maanteid kahel viisil:

1.3.1.1 Kattekiht

Lisaks liiklusele mõjuvad teepinnale päike, tuul, vihm, lumi ja muud loodusjõud. Loodusjõudude mõju teepinna omadustele väljendub:

- termilises toimes, mis põhjustab materjali paisumisel ja kokkutõmbumisel mahumuutusi. Olulist rolli mängib teepinna temperatuuri päevane kõikumine. Kõrbepiirkonnas võib musta värvi kattega teede puhul olla koidiku ja keskpäeva vaheline temperatuurikõikumine üle $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, samal ajal kui talvises Arktikas on tee lume all suhteliselt ühtlasel temperatuuril;
- külmumise toimes, mille tagajärjel tekib nähtus, mida kutsutakse külmakerkeks. Korduvad külmumis/sulamistsüklid tekitavad teedele suuri kahjustusi;
- kiirguse toimes, mis tekitab teepindadele nn päikesepõletusi. Ultraviolettkiirgus põhjustab bituumeni oksüdeerumist ja muudab selle rabedaks. Seda protsessi tuntakse vananemise nime all.

Vastavalt “Maanteede katendite standardiseerimise eeskirjadele” (“*Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, RstO 01*”), on asfaltkatendis ehitusklassides SV kuni III binderikiht katte- ja aluskihi vahel, kuid alates ehitusklassist IV jääb see kiht ära. Binderikihis saavutavad kattele ülekanduvad löikepinged maksimaalse väärtuse. Kuna kattekihi koostis on võrreldes alusega teine, on kattekihil nende jõudude suhtes suurem vastupanuvõime.

Seetõttu on kattekihi ehitamisel võimalik tagada suuremat taset kui aluse ehitamisel. See omakorda võimaldab kehtestada asfaltkatendi kattekihile suuremaid tasetasunõudeid.

1.3.1.2 Katend

Teede suurim vaenlane on vesi. Veega küllastumine muudab materjalid pehmeks ning vesi toimib koormuse rakendamisel osakeste vahelise määrdena. Kuivade materjalide kandevõime on alati suurem kui märgade oma ja mida niidusam (savitaolisem) materjal on, seda tundlikum on ta niiskuse suhtes. Lisaks sellele paisub külmumisel katendis leiduv vesi ning põhjustab ulatuslikke kahjustusi. Seega on väga oluline hoida ära vee sattumist katendisse, eriti selle alumistes kihtides olevatesse kehvema kvaliteediga materjalidesse.

1.3.2 Liikluskoormus

Teed on projekteeritud taluma liiklusest tulenevat koormust. Prognoositav liiklussagedus ja liikluse koosseis määravad ära tee geomeetria ning nõuded katendi konstruktsioonile. Transpordiinsenerid töötavad prognoositavat liiklust käsitlevate andmetega (sõidukite arv, koosseis ja suurus), et määrata tee geomeetria esitatavaid nõudeid (trasseerimine, sõiduradade arv jne). Teedeinsenerid vajavad prognoositava liikluse kohta andmeid (sõidukite arv, koosseis ja teljekoormus), et määrata katendi konstruktsioonile esitatavaid nõudeid. Liiklussageduse ja tüübi täpne prognoosimine on seega äärmiselt tähtis.

Katendi projekteerimise seisukohalt on liikluse olulisteks näitajateks pinnakoormuste suurus ja sagedus katendi eeldatava eluea jooksul. Rehvalt teepinnale edasi antav koormus määratakse kolme teguriga:

- rehvide toetuv tegelik koormus (kN), mis koos
- rehvirõhuga (kPa) määrab ära rehvi jälje teel. Jälje suurus ongi koormatud pindala; ning
- liikumiskiirusega, mis määrab ära teepinna koormamise sageduse.

Sõiduautode rehvirõhk on tavaliselt vahemikus 180–250 kPa ning rehvide langev koormus alla 3,5 kN ehk 7 kN telje kohta. See koormus on väike võrreldes raskeid koormaid vedavate veoautodega, mille koormus teljele jääb vahemikku 80–130 kN (sõltuvalt kehtestatud piirnormidest ja massipiirangutest) ja rehvirõhk vahemikku 500–900 kPa. On selge, et selliste suurte veokite koormused esitavad kõige suurema väljakutse katendi tugevusnõuetele ning seepärast käsitletakse seda teemat 3. peatükis „Katendi remont“ ja vaadeldakse üksikasjalikumalt 4. lisas „Konstruktsioonilise kandevõime määramine liiklusteabe alusel“.

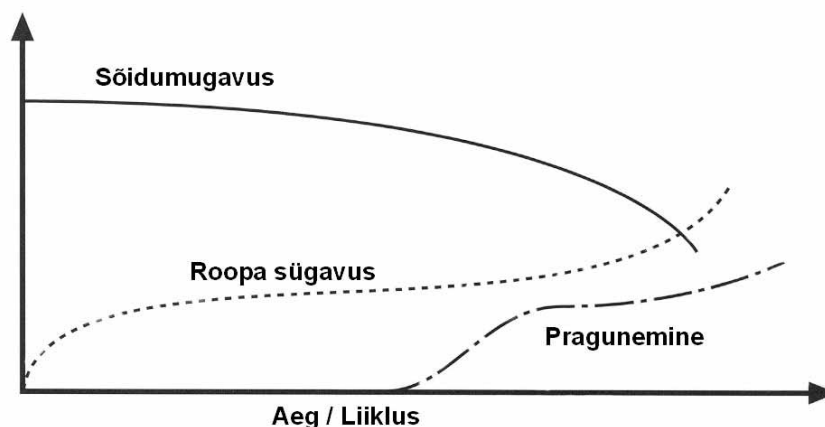
Sõiduautode rehvirõhk on enamasti vahemikus 180 – 250 kPa ja rehvide langev koormus alla 4 kN ehk 8 kN telje kohta.

1.4 Katendi lagunemist põhjustavad tegurid

Katendid lagunevad mitmel põhjusel, kuid kaks kõige olulisemat on keskkonna mõjud ja liikluskoormus. Harilikult mõõdetakse katendi lagunemist kaudselt, hinnates tee sõidumugavust, kuid olulised on ka nähtavad tunnused, nagu roopa sügavus ja katte pragunemine. Jooniselt 1.3 on näha, kuidas aja möödumise ja liikluskoormuse liitmõjude

toimel need kolm tegurit muutuvad. Katendite järk-järgulist lagunemist põhjustab keskkonnategurite ja liikluskoormuse koosmõju, mida käsitletakse edaspidi.

Joonis 1.3 Katendi kahjustuste näitajad



1.4.1 Keskkonnategurid

Keskkonnategurite tagajärjel tekivad kattesse praod. Põhiliselt on see tingitud päikese ultraviolettkiirgusest, tänu millele bituumen ajapikku aeglaselt kõveneb. Kõvenemisega kaasneb elastsuse vähenemine, mis põhjustabki pinna jahenedes ja kokku tõmbudes pragude teket. Kui katte terviklikkus on pragunemise tõttu juba rikutud ning vesi pääseb sisse, hakkab katend üha kiiremini lagunema (vt edaspidi).

1.4.2 Liiklusest tingitud mõjud

Liikluskoormus on tegur, mille mõjul tekivad roopad ning algab katendi konstruktsioonist alguse saav pragunemine. Iga sõiduk põhjustab vähesel määral katendi konstruktsiooni ajutist deformatsiooni. Kerge sõiduki poolt põhjustatud deformatsioon on nii väike, et see ei oma tähtsust, kuid raske sõiduk põhjustab suhteliselt suuri deformatsioone. Paljude sõidukite liitmõju tagajärjel tekib järk-järgult jääkdeformatsioon ja/või väsimuspragunemine. Ülekoormatud teljed tekitavad katendi konstruktsioonile disproportsionaalse hulga kahjustusi, kiirendades nii katendi lagunemist.

Lagunemist põhjustavad kaks katendi konstruktsioonis aset leidvat mehhanismi:

- jääkdeformatsioon, mis on tingitud tihenemisest, mille käigus liiguvad korduva koormamise tagajärjel katendikihi üksikud materjaliosakesed üksteisele lähemale ning kaovad osakeste vahelised tühikud. Täitematerjalis viib poorsuse vähenemine tugevuse suurenemisele (tihedad materjalid on tugevamad), kuid asfaldi puhul on asi vastupidine. Poorsuse vähenemine asfaldis mitte ainult ei põhjusta rattaroobaste teket, vaid ka seda, et bituumen hakkab käituma nagu vedelik, luues keskkonna hüdrauilisele survele, mida tekitab rattakoormus. See omakorda põhjustab külgsuunalisi nihkeid ehk teekatte lainetamist roobaste servades;
- seotud materjalide väsimuspragunemine. Praod saavad alguse kihi põhjast, kus rattakoormusest tingitud tõmbepinged on maksimaalsed. Edasi levivad praod pinnale. Alumise materjali jääkdeformatsioon halvendab olukorda veelgi, suurendades rattakoormustest tulenevaid tõmbepingeid.

1.4.3 Pragunemise tagajärjed

Kui pragu tungib läbi kaitsva katte pinna, pääseb vesi katendi konstruktsiooni alumisse ossa. Nagu eespool kirjeldatud, põhjustab vee nõrgendav toime tugevuse vähenemist, mis omakorda põhjustab rataste korduskoormuse all katendi üha kiireneva lagunemise.

Lisaks sellele toimib vesi veega küllastatud materjalis katendi koormamisel lõhkuva tegurina. Valdavalt vertikaalsete rattakoormuste mõjumisel tekib veega küllastunud materjalides hüdrauline surve ning selle tulemusena lõhutakse kiiresti mineraalmaterjali struktuur ja väheneb nake asfaltbetoonis oleva bituumeni ja kivimaterjali vahel. Sellistes tingimustes surutakse tekkinud peeneteralised fraktsioonid piki pragusid ülespoole (tuntakse pumpamisefekti nime all) ja selle tagajärjel tekivad katendis tühimikud. Peagi tekivad kahjustatud katendi pealiskihti löökaugud ning katend laguneb kiiresti.

Kui temperatuur langeb alla 4 °C, paisub katendis olev vaba vesi, tekitades hüdraulilise rõhu isegi ilma rattakoormuseta. Pragunenud katendile mõjuvad kõige kahjulikumalt külmakerkeid põhjustavad korduvad külmumis/sulamistsüklid.

Kuivades kõrbetingimustes põhjustab katte pragunemine teist tüüpi probleeme. Öösiti, kui temperatuur on suhteliselt madal (tihti alla nulli), tõmbub teepind kokku, praod laienevad ja tuiskliiv koguneb sinna sisse. Kui päeval temperatuur tõuseb, ei saa kate pragudes oleva liiva tõttu paisuda ning tekivad suured horisontaalsed jõud, mis põhjustavad praod servades kohtpurunemist (murenemist). Lõpuks kerkib kate pragude läheduses nende jõudude mõjul katendi konstruktsioonist lahti, mistõttu sõidumugavus muutub eriti halvaks.

Veel üheks pinna pragunemist, eriti õhukeste asfaltkatete pragunemist, põhjustavaks teguriks on vähene liiklus. Liikluse mõju hoiab bituumeni "elusana". Oksüdatsioon ja sellele järgnev kõvenemine põhjustavad termiliste pragude teket bituumeni pinnal. Bituumeni korduv allutamine liiklusest tulenevatele pingetele põhjustab piisavalt suuri deformatsioone, et praod sulguksid kohe pärast tekkimist ega areneks edasi.

Joonis 1.4 Tüüpiline kahjustatud kate



1.5 Katendi hooldus ja taastusremont

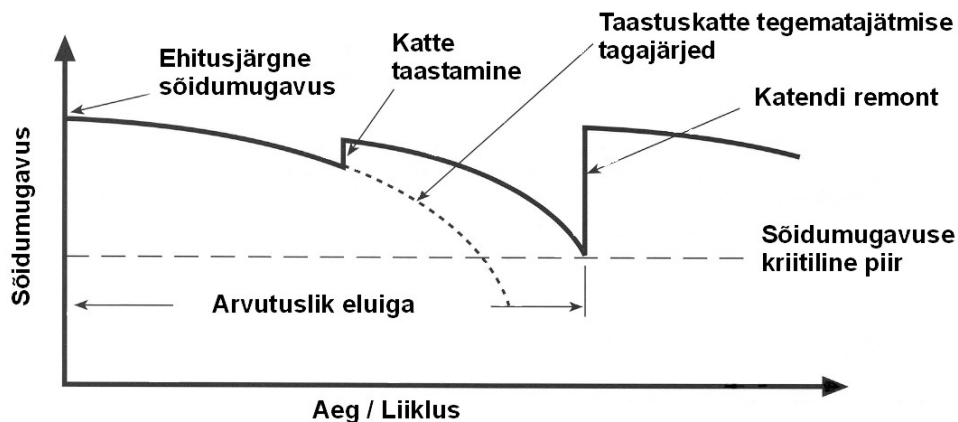
Katendi hooldustöödel keskendutakse tavaliselt vee eemalehoidmisele katendi konstruktsioonist. Selleks tuleb kate hoida veekindlana ning tagada vee äravool, et teeservadesse ei tekiks lomppe.

Tavaliselt tungib vesi katendi konstruktsiooni kattes olevate pragude kaudu, mida võimendab veelgi vee kogunemine lompidesse. Seega tuleks praod kohe pärast nende teket sulgeda ning teeperved profileerida nii, et vesi saaks ära voolata. Vananemisest tingitud tagajärgi saab varajases staadiumis tõhusalt parandada, pihustades katte pinnale lahjendatud bituumenemulsiooni. Kui liiklussagedus on väike, siis võib suuremate kahjustuse puhul teostada pindamist või laotada teele tavapärase õhukese kuumast asfaltbetoonist kihi.

Katte elastsuse ja vastupidavuse säilitamiseks rakendatavad abinõud aitavad vaid keskkonna mõjudest tingitud lagunemise puhul. Liikluskoormusest tingitud deformatsioone ja väsimuspragunemist ei saa efektiivselt parandada hooldetöödega, vaid selleks tuleb teha juba teatavat konstruktsiooni taastusremonti.

Katendi lagunemine on harilikult suhteliselt aeglane protsess. Lagunemiskiiruse jälgimiseks võib kasutada punktis 1.4 käsitletud (ja joonisel 1.3 näidatud) katendi näitajaid. Teede korrasoleku eest vastutavad ametid kasutavad oma piirkonnas asuvate teekatete seisukorra pidevaks jälgimiseks andmebaassüsteemi, mida tuntakse teekatte korrashoiussüsteemina (PMS). Joonisel 1.5 on näidatud tüüpiline PMS kaardistus, mis illustreerib õigeaegselt tehtud hooldus- ja remonttööde efektiivsust.

Joonis 1.5 Katendi hoolduse ja remondi planeerimine lähtuvalt tee sõidumugavuse seirest



Joonis illustreerib hästi, kui oluline on rakendada õigeaegselt meetmeid, et säilitada võimalikult hea sõidumugavus. Katendi lagunemise kiirust väljendatakse sõidumugavuse kaudu: mida väiksem on sõidumugavus, seda kiiremini toimub lagunemine. Sõidumugavuse halvenedes tuleb selle parandamiseks teha suuremaid jõupingutusi ja ka suuremaid kulutusi.

Otsuseid selle kohta, milliseid abinõusid rakendada, kas parandada katendi seisukorda või lihtsalt säilitada selle sõidumugavus, mõjutavad eelarvelised piirangud. Lühiajalised edasilükkamised võivad osutuda majanduslikult efektiivseiks. Vahel lükatakse katendi taastusremonti edasi, kuni seda saab kombineerida tee geomeetria muutmisega ja sõiduradade lisamisega. Iga remonttööd puudutav otsus tuleb vastu võtta iseseisvalt, üldises teedevõrgu kontekstis. Halvim variant on see, kui otsustatakse töödega oodata ning lastakse katendil edasi laguneda, kuna lagunemiskiirus suureneb ajas eksponentsiaalselt.

1.6 Taastusremondi variandid

Tavaliselt on teede taastusremondiks mitu võimalust ning on üsna raske otsustada, milline neist on kõige parem. Et välja selgitada, milline variant on tee eluiga silmas pidades majanduslikult kõige efektiivsem, tuleb leida vastus kahele olulisele küsimusele.

Need kaks olulist küsimust on järgmised:

- Mis on olemasoleval katendil tegelikult viga? Tee seisundi pealiskaudne hindamine, mis koosneb visuaalsest vaatlusest ja mõnest põhitestist (nt. läbipainete mõõtmine), peaks olema tavaliselt piisav, et mõista kahjustuste tekkemehhanismi. Oluline on kindlaks teha, kas kahjustused piirduvad kattega (katendi ülemiste kihtidega) või on probleem konstruktsioonis;
- Mida tee omanik tegelikult tahab? Kas teelt oodataksegi 15-aastast projekteeritud eluiga või ollakse vahepeal valmis tegema väike investeering, et lagunemine aeglustuks ning tee peaks vastu veel viis aastat?

Vastates nendele küsimustele, leitakse need variandid, mis on majanduslikult efektiivsed konkreetse probleemi olemuse ja ajaliste piirangute kontekstis. Valiku tegemine lihtsustub, kui jagada probleemi olemus kahte kategooriasse (kate ja konstruktsioon) lähtudes ajalistest piirangutest (lühia- või pikaajaline ekspluatatsiooniaeg).

Otsuse tegemist mõjutab ka erinevate taastusremondi meetodite praktilisus. Liikluse ümberkorraldamine, ilmastikutingimused ja ressursside kättesaadavus võivad oluliselt mõjutada projekti läbiviimist ning välistada mõningad valikud.

Kogu kirjeldatud tegevuste ainsaks eesmärgiks on leida antud probleemile majanduslikult kõige efektiivsem lahendus.

1.6.1 Katte taastusremont

Katte taastusremondiga parandatakse tavaliselt katendi ülemise 50–100 mm kihi vigu, mis on tekkinud asfaltkattes ja pindamiskihis. Need vead on harilikult tekkinud bituumeni vananemise ja termojõududest tingitud pinna pragunemise tagajärjel.

Kõige levinumad meetodid seda tüüpi vigade parandamiseks on järgmised:

- asfaltbetoonist ülekate. Pinna katmine õhukese (40–50 mm) kuumasfaltbetoonist segu kihiga. Katte probleemide puhul on see on kõige lihtsam lahendus, kuna see ei võta palju aega ning mõjutab tee kasutajat minimaalselt. Asfaltsegule lisatakse tihti modifitseeritud sideaineid, mis parandavad asfaltbetooni omadusi ning pikendavad seega kattekihi eluiga. Korduvad ülekatted tõstavad aga teepinda nii palju, et võivad tekkida sadevete äravoolu ja juurdepääsuteede probleemid;
- freesimine ja freesitud kihi asendamine. Selle meetodiga eemaldatakse pragunenud asfaldikiht ja asendatakse see uue kuumasfaltseguga, millele on tihti lisatud modifitseeritud sideainet. Protsess on suhteliselt kiire, kuna moodsad freesid on suure jõudlusega. Probleem kaob koos eemaldatava asfaltkihiga ja teekatte kõrgus jääb samaks;
- suhteliselt õhukese asfaltkihi stabiliseerimine (eeldusel, et asfaltkihi paksus on piisav). Stabiliseerimist saab teha kohapeal kuumalt (kuumtaastussegamine). Lisaks sellele saab stabiliseeritava asfaldi omadusi parandada ka uue materjali ja/või sideaine lisamisega.

1.6.2 Katendi konstruktsiooni taastusremont

Katendi konstruktsiooni taastusremonti käsitletakse harilikult pikaajalise lahendusena. Konstruktsiooni probleemidega tegelema hakates tuleb meeles pidada, et kahjustatud on katendi konstruktsioon, mitte konstruktsioonis olev materjal. Lisaks sellele võib remondiks lugeda ka olemasoleva katendi parendamist konstruktsiooni tugevdamise teel (nt olemasoleva kruusatee parendamine mustkatte nõuetele vastavaks).

Mida rohkem on katendis olev täitematerjal tihenunud (ehk konsolideerunud) võrreldes loodusliku materjaliga, seda paremad on tugevusnäitajad. Teiselt poolt võib tihenemine põhjustada probleeme pealmistes, eriti sideainega seotud materjalidest ehitatud kihtides.

Reeglina peaks konstruktsiooni taastusremondi eesmärgiks olema olemasoleva katendi maksimaalne ärakasutamine. See tähendab, et tihenunud materjali ei tohi puutuda. Tihenemiseks läks liikluse pideval toimel palju aastaid ning eeliseid, mida selline kõrge tihendusaste pakub, tuleks ära kasutada.

Konstruktsiooni taastusremondi kõige levinumad variandid on järgmised:

- täielik rekonstrueerimine. See variant on eelistatav juhul, kui taastusremonttööd on kombineeritud koos tee ajakohastamistöödega, mis hõlmavad suuri tee trassiga seotud muudatusi. Sisuliselt tähendab rekonstrueerimine seda, et olemasolev tee tuleb lammutada ja ehitada uus. Kui liiklussagedus on suur, on sageli otstarbekas ehitada olemasoleva tee kõrvale ajutine tee, vältides nii liikluskorraldusega seotud probleeme;
- olemasolevale pinnale lisakihtide laotamine (täitematerjalist ja/või asfaldist). Kui liiklussagedus on suur, on paksude asfaltkihtide laotamine sageli kõige lihtsam viis lahendada konstruktsiooni probleeme. Kuid nagu juba eespool mainitud, toob teepinna tõstmine kaasa vee äravoolu ja juurdepääsuteedega seotud probleeme;
- materjali sügavstabiliseerimine sügavuseni, kus probleem ilmneb. Sellega luuakse uus paks suurte tugevusnäitajatega homogeenne kiht, mida võib tugevdada stabiliseerivate sideainete lisamisega. Kui katendit on vaja oluliselt parendada, võib stabiliseeritud kihi peale laotada veel lisakihte. Korduvkasutatavale materjalile lisatakse tavaliselt uusi materjale ja lisandeid, eriti kui olemasolevas katendis on materjali vähe ning see vajab tugevdamist. Stabiliseerimisel on eesmärgiks kasutada maksimaalselt ära olemasolevat katendit. Lisaks sellele, et kasutatakse uuesti ära pealmiste kihtide materjal, jäävad alumised kihi puutumata;
- kahe stabiliseerimismeetodi – teel ja segistis stabiliseerimise – kombineerimine. Selle variandi puhul on võimalik töödelda olemasolevat katendit palju sügavamalt, kusjuures materjal katendi ülemisest osast tuleb ajutiselt ladustada kuhjadesse. Seejärel stabiliseeritakse alusmaterjal kohapeal. Kuhjades olev materjal töödeldakse seguris ning see laotatakse kohapeal stabiliseeritud kihi peale. Nii saavutatakse suurem konstruktsiooniline tugevus ilma lõplikku pinnakõrgust oluliselt muutmata. Teise võimalusena võib ajutistes kuhjades olnud materjali laotada teel stabiliseeritud kihi peale ning töödelda seda kohapeal.

Paljude variantide võrdlemise eesmärgiks on majanduslikult kõige tasuvama lahenduse väljaalimine. Käesoleva käsiraamatu eesmärgiks on anda piisavalt teavet koos projekteerimise alustega, et stabiliseerimine tuleks võimaliku variandina kõne alla.

Katte seisukorra parendamismeetmed piirduvad reeglina asfaldikihi või kattekihiga. Vastavalt ehituslikele meetmetele jagatakse need toimingud korrashoiu-, remondi- ja taastusremondimeetmeteks. Tüüpilised kahjustused, mis nõuavad eespool nimetatud meetmete rakendamist, on piki- ja põikisuunas tekkinud ebataasasused (asfaltbetooni puhul peamiselt roopad), ebapiisav haardetegur või väljakujunenud praod.

Siinkohal on loetletud asfaltkatte puhul kasutatavad remontimismeetmed (allikas: *Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen, RPE-Stra 01, FGSV*).

- Katete korrashoiumeetmed
 - bituumeni ja killustikuga remontimine
 - täitesegud, mastiksid
 - asfaltseguga remontimine
 - täitmine, valamine
 - karestamine
- Katendi taastusremont
 - pindamine
 - õhuke kiht kül- või kuumsegu (DSK, DSH)
 - profiili taastamine
 - kattekihi väljavahetamine, uue kattekihi ehitamine
- Katendi konstruktsiooni taastusremont
 - kattekihi väljavahetamine
 - kattekihi ja aluse väljavahetamine
 - katte ehitamine
 - katte ja aluse ehitamine
 - erinevad kombinatsioonid pealmiste ja sügavamate kihtide ehitamisel

2. peatükk: Külmstabiliseerimine

2.1 Üldist

Käesolevas peatükis kirjeldatakse erinevaid külmstabiliseerimise protsesse ning tutvustatakse selleks kasutatavaid seadmeid, eelkõige Wirtgeni segamisfreese. Samuti käsitletakse protsessi eeliseid ning tähtsamaid tegureid, mis mõjutavad külmstabiliseerimise sobivust mis tahes projekti teostamisel.

2.2 Külmstabiliseerimise protsess

Külmstabiliseerida saab segistis, vedades olemasolevast teest kogutud materjali laoplatsile ning töödeldes seda vastavas seadmes (nt seguris), või teel, kasutades segamisfreesi. Üldiselt on segisti variandi puhul ühe kuupmeetri materjali stabiliseerimine kallim, eelkõige veokulude tõttu, mis teel stabiliseerimise puhul puuduvad. Ometi on mõlemal variandil oma eelised ning otsus, kumba võimalust kasutada, sõltub:

- ehituse tüübist. Teel stabiliseerimine valitakse tavaliselt juhtudel, kus stabiliseeritud materjali kasutatakse uue katendikihi tegemisel, näiteks olemasoleva katendi tugevdamisel.
- stabiliseeritavast materjalist olemasolevas katendis. Kui stabiliseeritakse olemasoleva katendi ülemiste kihtide materjali, annab selle varieeruvus ja/või seisukord põhjust teha eelnevalt valik või kasutada eeltöötlemist (nt tiheda asfaldi puhul purustamist või terasuuruse järgi sorteerimist).

Materjali teel stabiliseerimine on populaarne tänu võimsate segamisfreeside kasutuselevõtule, millega saab teostada katendite taastusremonti vaid mürdosaga tavapärastele remondimeetoditele tehtavatest kulutustest. Kui pidada silmas katendite lagunemist, mis üle maailma üha süveneb, ületab nõudlus katendite taastusremondi järele nõudluse uute teede järele. Seepärast on paljudes riikides muutunud teel stabiliseerimine eelistatud meetodiks, millega lahendatakse tohutuid katendi remondiga seotud probleeme, ning seega on käesoleva käsiraamatu põhiteema õigustatud.

2.2.1 Segistis stabiliseerimine

Kui stabiliseerimist on võimalik kasutada, tuleb alati kaaluda ka segistis stabiliseerimise võimalust, eelkõige juhtudel, kus on vaja töödelda nii olemasolevat kui ka uut materjali ning eriti kui stabiliseerimiseks kasutatakse vahtbituumenit ja materjali on vaja hilisema kasutuse tarvis ladustada.

Segistis stabiliseerimise eelised võrreldes teel stabiliseerimisega on järgmised:

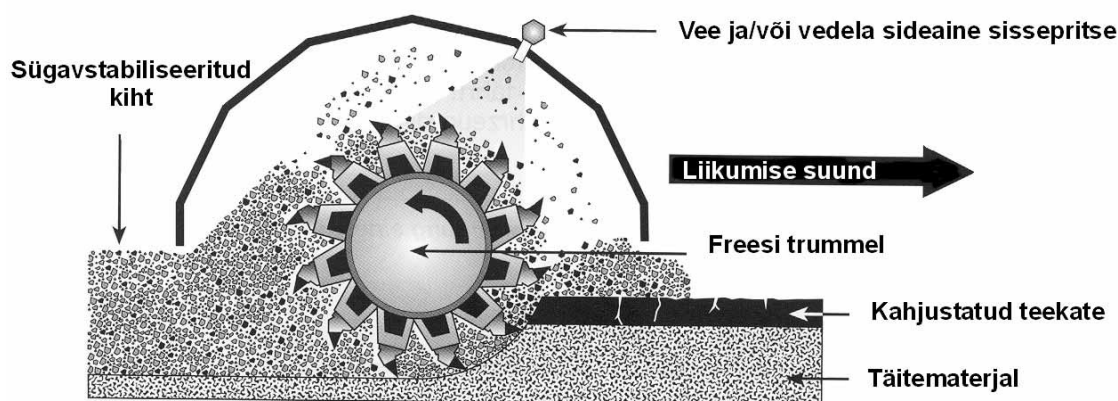
- kontroll kasutatavate materjalide üle. Kui teel stabiliseerimise puhul on kontroll olemasolevast katendist saadava materjali üle väike, võib segisti meetodi puhul saada nõutava lõpptoote erinevaid kivimaterjale kasutades. Stabiliseeritavat materjali saab enne segamist ladustada ja katsetada ning materjalide omavahelist suhet vajadusel muuta;
- segamise kvaliteet. Seguri segamisoperatsioon saab muuta, nii et on võimalik reguleerida segamisaega ning seega ka segu kvaliteeti;
- ladustamisvõimalused. Eelkõige just vahuga töödeldud materjali on võimalik paigutada kuhjadesse ning kasutada seda vajaduse tulles. Nii kõrvaldatakse segamise ja paigaldamise vastastikune sõltuvus.

2.2.2 Teel stabiliseerimine

Segamisfreesid on aastate jooksul arenenud modifitseeritud freesmasinatest ja pinnase stabiliseerijatest spetsiaalseteks katte taastamismasinadeks. Kuna masinad on spetsiaalselt projekteeritud ümber töötleva paksu katendikihti ühe läbikuga, kipuvad need segamisfreesid olema suured ja võimsad ja on seepärast monteeritud kas roomikutele või suure läbivusega kummiratastele. Ülevaade Wirtgeni taastamismasinade ja nende rakendusvõimalustest antakse punktis 2.4.

Masina keskseks osaks on spetsiaalsete löikeriistadega (freesi terad) varustatud frees/segamistrummel. Tavaliselt pöörleb trummel vastupäeva ning olemasolevat teekattematerjali freesitakse nii nagu näidatud joonisel 2.1.

Joonis 2.1 Stabiliseerimisprotsess

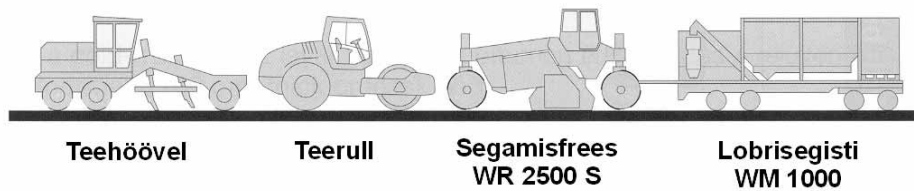


Pöörleva trumliga segamisfreesi edasiliikudes pritsitakse segamisfreesiga ühendatud tsisternautost voolikute kaudu tulev vesi freesimise käigus segamisfreesi segamiskambris. Tihendamiseks vajalik optimaalne niiskusesisaldus tagatakse veekoguse täpse mõõtmisega mikroprotsessoriga juhitud pumbasüsteemis. Vesi segatakse freesitud materjaliga põhjalikult läbi. Vedelaid sideaineid, nagu tsemendi/vee lobri või bituumenemulsioon, saab samuti lisada üksikult või kombineeritult otse segamiskambris. Lisaks sellele võib segamiskambris lisada läbi spetsiaalse pihustussüsteemi vahtbituumenit. Pulbrilised sideained, nagu kustutatud lubi, laotatakse tavaliselt segamisfreesi ette olemasolevale teele. Segamisfrees sõidab üle pulbri ning segab ühe operatsiooniga freesitud materjali ja vee.

Taastusrongid võivad olla erinevate koosseisudega, sõltuvalt stabiliseerimismeetodist ja kasutatava sideaine tüübist. Kõikidel juhtudel toimib segamisfrees vedurina ning kas lükkab või tõmbab temaga kokkuhaagitud seadmeid. Tüüpilisi taastusronge on näidatud joonistel 2.2 ja 2.3.

Joonisel 2.2 näidatud taastusrongi kasutatakse juhul, kui külmstabiliseerimist teostatakse tsemendilobriga. Lobrisegistis segatakse kokku täpsetes kogustes tsement ja vesi ning saadud lobri transporditakse voolikute kaudu segamiskambris. Lobri kasutamise asemel võib tsemendi laotada segamisfreesi ette ning lobrisisterni asendada veetsisterniga.

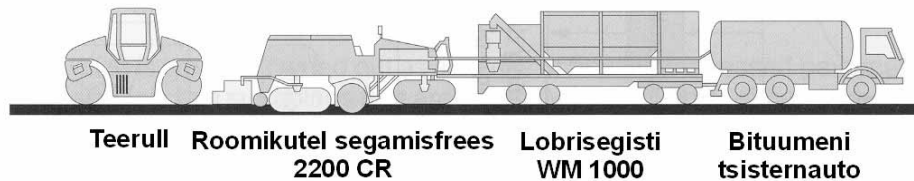
Joonis 2.2 Tüüpiline tsemendilobri kasutav taastusrong



Pärast stabiliseerimist tihendatakse materjal esialgu vibrorulliga, et saavutada stabiliseeritud materjali ühtlane tihedus. Enne lõplikku tihendamist vibrorullide ja pneumorullidega profileeritakse katet teehöövliga.

Kui lisaks tsemendilobri kasutatakse ka bituumenemulsiooni või vahtbituumenit, koostatakse samasugune taastusrong, kus bituumeni tsisterni lükatakse lobrisegisti ees, nagu näidatud joonisel 2.3. Kui tsement puistatakse teepinnale segamisfreesi ette, haagitakse bituumeni tsistern kokku segamisfreesiga ning veetsisterni lükatakse kõige ees. Kui segamisfreesiks on tasandusprussiga varustatud roomikutel segamisfrees, nagu näidatud joonisel 2.3, pole vaja pinda teehöövliga profileerida. Ülevaade Wirtgeni segamisfreeside omadustest esitatakse punktis 2.4.

Joonis 2.3 Tüüpiline tsemendilobri ja bituumenit kasutav taastusrong

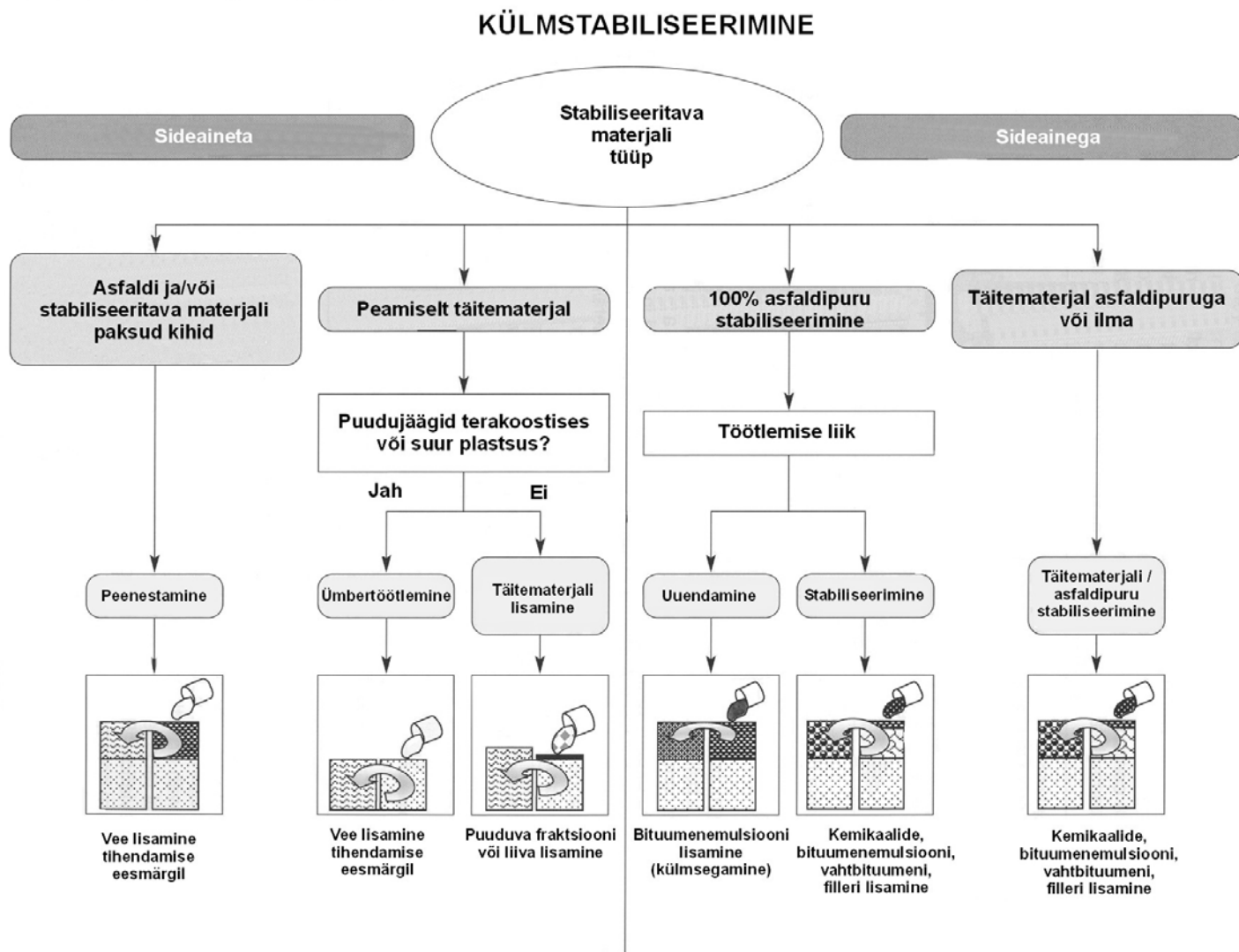


2.3 Külmstabiliseerimise rakendamine

Külmstabiliseerimine on mitmetahuline protsess, mis rahuldab mitmeid teede infrastruktuuri hoolduse ja taastusremondiga seotud vajadusi. Külmstabiliseerimine jagatakse esmalt kahte kategooriasse sõltuvalt sellest, kas stabiliseeritavat materjali töödeldakse sideainega või mitte. Teiseks võib kumbagi kategooriat (sideainega või ilma) klassifitseerida materjali stabiliseerimisviisi järgi. Mõlemad klassifitseerimissüsteemid on illustreeritud joonisel 2.4.

Nimetatud joonisel näidatud erinevad kategooriad – 100% asfaldipuru stabiliseerimine, täitematerjali ja/või asfaldipuru stabiliseerimine, mehhaaniline modifitseerimine, ümbertöötlemine ja peenestamine – leiavad käsitlemist edaspidi.

Joonis 2.4 Stabiliseerimise kategooriad



2.3.1 100% asfaldipuru stabiliseerimine

Käesoleval juhul stabiliseeritakse ainult asfaldipuru ja tähelepanu tuleb pöörata järgmistele teguritele:

- olemasoleva katendi liik ja koostis (s.t asfaldisegu liik, terakoostis, sideaine sisaldus, vananemine jne);
- kahjustuste liik ja põhjus (s.t pragunemine või jääkdeformatsioon);
- kahjustuste ulatus (s.t piirdub pinnakihi või ulatub sügavamale); ning
- taastamise eesmärk (s.t struktuuri terviklikkuse taastamine).

100% asfaldipuru stabiliseerimiseks võib kasutada kahte erinevat tehnoloogiat:

- suhteliselt õhukese (tavaliselt 100 mm või vähem) kihi uuendamine külmseguasfaldina, kus freespurule on lisatud bituumenemulsiooni; ning
- asfaldipuru stabiliseerimine tsemendi, bituumenemulsiooni või vahtbituumeniga paksemates kihtides (tavaliselt üle 100 mm).

100% asfaldipuru stabiliseerimiseks külmseguasfaldina on vaja lisada bituumenemulsiooni. Olemuselt on see uuendamisprotsess. Sideainete lisamine olemasolevasse asfaldisegusse ilma stabiliseeritava materjali mahuomadusi muutmata nõuab segu projekteerimist. Stabiliseeritud kihi terakoostis erineb esialgse asfaldi omast ning lisaks sellele seotakse peenfraktsioonid tihti stabiliseeritud materjaliga. See tähendab seda, et stabiliseerimise käigus tuleb lisada uut peenfraktsiooni.

100% asfaldipuru stabiliseerimisel sideainetega erinevad toote omadused uuendatud toote omadest ning neid kirjeldatakse 4. peatükis „Sideained“.

Talituslike omaduste, nagu haarde- ja sõiduomadused, saavutamiseks on stabiliseeritud kihi peale vaja laotada korralik kate. Väikese liiklusega teede puhul võib kasutada puistepindamist või õhukest (<40 mm) asfaltbetoonkatet. Kui katendit parendatakse raskeliikluse talumise eesmärgil, on lisaks asfaltkatele vaja rajada ka asfaltbetoonist aluskiht.

Kui asfaldipuru stabiliseeritakse hüdraulilise sideainega, on lõpp-produkti omadused teistsugused kui bituumeni baasil valmistatud sideaine lisamisel. Seda erinevust on tagapool detailsemalt kirjeldatud.

Kohapeal toimuva katendi külmstabiliseerimist kirjeldavas väljaandes, M KRC (*Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*), on detailsemalt kirjeldatud külmstabiliseerimissegude omadusi, milles domineerivamaks on kas bituumensideaine või hüdrauliline sideaine.

Reeglina tuleb külmstabiliseeritud kiht katta piisavalt paksu kattekihiga, mis tagaks katendi omaduste nagu näiteks haardeteguri ja tasasuse vastavuse kehtestatud nõuetele. Vähesel liiklussagedusega teel võib olla piisavaks ka õhuke katendikiht. Kui külmstabiliseeritud katend peab taluma suurt liiklussagedust, siis tuleb ehitada lisaks asfaltkatele ka täiendav alus- või kandev kiht. Väljaandes M KRC on kirjeldatud nõutavaid katendiprofiile.

2.3.2 Täitematerjali / asfaldipuru stabiliseerimine

Seda stabiliseerimist kasutatakse tavaliselt selliste kahjustatud katendikonstruktsioonide parendamiseks, kus on täitematerjalist alused ja suhteliselt õhukesed ühe- või mitmekordsed asfaltkatted. Kirjeldatud katendite kahjustused avalduvad tavaliselt tugevalt pragunenud asfaltkihtides, deformeerunud täitematerjalikihtides ja katte löökaukudes. Stabiliseerimise ajal lisatakse sideaineid, eesmärgiga taastada ühtlane struktuur, parandades stabiliseeritavate materjalide ehitustehnilisi omadusi ning saavutades samaaegselt tee nõutava sõidukvaliteedi.

Täitematerjali / asfaldipuru stabiliseerimisel võib muuta stabiliseerimissügavust, mis tavaliselt jääb vahemikku 150–250 mm. Kui suurenevast liiklusest tulenevalt on vaja parandada tee konstruktsioonilist kandevõimet, võib stabiliseerimissügavust suurendada ning seega jääb uus stabiliseeritud kiht paksem. Selle variandi kasutamisel on eelduseks siiski piisavalt paksu kvaliteetse materjali olemasolu katendis. Kahjustatud katendeid, milles on varem stabiliseeritud kihte (nt kustutatud lubja või tsemendiga), võib samuti stabiliseerida. Stabiliseerimissügavust vähendatakse, kui piiratud eelarve tõttu otsustatakse lühiajalise taastamisstrateegia kasuks või kui katendi kahjustused piirduvad ülemiste kihtidega. Pärast stabiliseerimist paraneb alati katendi konstruktsiooniline kandevõime oluliselt. Sellele aitab kaasa stabiliseeritud kihile laotatud asfaltkate. Stabiliseeritud katendi eluiga pikendab ka vee juurdepääsu takistamine alumistesse kihtidesse.

Sideaineta materjali ja asfaldipuru saab stabiliseerida erineva paksusega kihtidena. Vastavalt väljaandele M KRC ei tohiks kihi paksus tihendamisprobleemide vältimiseks ületada 20 cm (erandjuhtudel 22 cm). Tehnoloogilisest aspektist on teostatavad ka paksemad kihid. Ka tõsiselt kahjustatud vanad teed, mis on kunagi, lubja või tsemendiga stabiliseeritud, võidakse sellisel viisil uuesti stabiliseerida. Juhtudel, kus on valitud ainult ajaliselt kindlaks määratud taastusremondistrateegia või kahjustused piirduvad ainult ülemiste katendikihtidega, võib stabiliseerimissügavust ka oludele vastavalt vähendada.

Siia kategooriasse kuulub ka katteta kruusateede parendamine. Kruusateede parendamist mustkatte nõuetele vastavaks võetakse ette:

- majanduslikel põhjustel. Suured hoolduskulud on tavaliselt seotud suurenenud liiklussagedusega;
- keskkonnaga seotud põhjustel. Kruusateede puhul on 25–35 mm kruusa kadu aastas tavaline, mistõttu tuleb karjäärist uut materjali teele vedada. Lisaks sellele on katteta teedelt tõusev tolm tervisele kahjulik; ning
- strateegilistel põhjustel. Autojuhtide ohutuse tagamiseks märgades tingimustes või poliitiliste vajaduste tõttu.

Olemasoleva kruusatee kulumiskihi stabiliseerimisel kasutatakse sideaineid. Kruusateede stabiliseerimisel bituumenemulsiooni või vahtbituumeniga stabiliseeritakse 125-150 mm paksust kihti, mille peale rajatakse õhuke kate kas pindamisega või mössiga pinnates. Et saada samaväärne lõpptulemus konstruktsioonilise eluea, kuid mitte vastupidavuse mõttes, tuleb tsemendi või kustutatud lubja kasutamisel stabiliseerimissügavust suurendada ning see peab jääma vahemikku 150–250 mm.

Veel üks rakendusvõimalus, mis langeb siia kategooriasse, on plastiliste materjalide stabiliseerimine kustutatud lubjaga. Stabiliseerimisprotsessi ajal lisatakse ainult selline kogus lubja, millest piisab plastuse vähendamiseks (elimineerimiseks), ja seega ei peeta seda stabiliseerimiseks, kuna lubja lisamise eesmärgiks ei ole tugevuse suurendamine (kuigi pikemas perspektiivis teatav tugevuse kasv siiski esineb).

Ka hüdrauliliselt seotud kihte on võimalik külmstabiliseerimise abil remontida. Sideaineta teekatte külmstabiliseerimisel lisatakse sideainet ja kate kaetakse asfaltbetoonikihiga. Selline ehitusviis on kasutusel hõreda asutusega ja suhteliselt tasase pinnareljeefiga maades, näiteks Põhja-Ameerikas ja Aafrikas. Selline viis on otstarbekas valida eelkõige ökonoomsuse seisukohalt.

Üks kasutusviis, mis põhimõtteliselt samuti sellise kasutusviisi alla kuulub, on aluskihi töötlemine hüdraulilise sideaine või lubjaga. Siinkohal viitame sideaine abil aluspinnase kindlustamise ja pinnase parandamist käsitlevale väljaandele.

2.3.3 Peenestamine freesiga

Paksude asfaldikihtide stabiliseerimisel pole alati vaja sideaineid lisada. Suurte väsimuspragudega pakse asfaldikihte on tihti kõige mõistlikum peenestada kogu paksuse ulatuses ning seejärel tihendada, saades nii „taastatud täitematerjali“. Tasakaalustatud katendikonstruktsiooni saavutamiseks laotatakse selliselt taastatud kihi peale uus asfaltbetoonist aluskiht ja uued pealmised kihid.

Peenestamisega saab töödelda ka katendeid, kus on tsemendiga stabiliseeritud kahjustatud aluskihid. Kahjustatud seotud kihtides tekivad tavaliselt kõiki kihte läbivad praod, mis esialgu on suurte vahedega, kuid aja jooksul tekib neid tihedamalt. Materjalide peenestamine kõrvaldab võimaluse, et katte pinnale kanduksid alumistest kihtidest peegelduspraod.

Sideaine lisamist võib teatud tingimustel ka vältida. Näiteks sellised asfaldikihid, millel on tekkinud väljakujunenud materjali väsimise praod, võib tervenisti ära freesida ja tihendada. Nii on saavutatud sideaineta aluskiht. Sellele laotatakse lõpetuseks muud asfaldikihid.

Selline meetod on kasutatav vähese liiklussagedusega teedel ja väljaspool Saksamaal kehtivate normide mõjuala. Meetodi rakendamise eeltingimuseks on meetodi alal tunnustatud ekspertide kaasamise kõrval ka eelnevalt katselise teelõigu rajamine ja testimine.

2.3.4 Ümbertöötlemine

Katteta kruusateid parendatakse sageli mustkatte nõuetele vastavaks ilma sideaineid lisamata (seda kirjeldati punktis 2.3.2), kuid siiski võib materjali ühtluse saavutamise seisukohalt olla soovitatav kobestada ja tihendada kruusatee pealmist katendikihti enne uue kihi tegemist juurde veetava materjaliga. Kuigi sideaineid ei lisata, on tavaliselt optimaalse tiheduse saavutamiseks vaja kohapealse materjali niiskussisaldust taastamise ajal reguleerida.

Ümbertöötlemist saab kasutada ka uute teede ehitamisel kohapealsest materjalist. Kui olemasoleva muldkeha omadused on piisavad, on ümbertöötlemine traditsioonilistele võtetele tõhusaks alternatiiviks. Sel viisil saadakse homogeenne kandev kiht.

2.3.5 Täiendavate materjalide lisamine

Vahel selgub katendi uuringutest, et kahjustuste või konstruktsiooni lagunemise põhjuseks on materjali halb terakoostis ülemistes täitematerjalist kihtides. Terakoostist on võimalik parandada puuduva fraktsiooni lisamisega, laotades selle enne stabiliseerimist teepinnale. Stabiliseerimise ajal reguleeritakse niiskussisaldust, et stabiliseeritud materjali tihendamiseks oleksid optimaalsed tingimused.

Täiendavate materjalide lisamist võib kasutada ka liiga kõrge plastsusega materjalide töötlemiseks. Mõnedel juhtudel on võimalik töödelda kohapeal savikat materjali segades seda plastsuse vähendamiseks liivaga. Seda meetodit kasutades tuleks olla ettevaatlik, kuna plastsete osakeste mehaaniline eraldamine ei too kaasa plastsuse keemilist vähenemist ning kui liiva terakoostis ei sobi kokku plastse materjali omaduste ja terakoostisega, siis tulemust ei saavutata.

2.4 Wirtgeni külmstabiliseerimismasinad

Wirtgeni külmstabiliseerimismasinad tulevad toime mis tahes külmstabiliseerimisprojektiga. Kui WR 2000 on ideaalne väiksemate tööde ja kergemate katendite puhul, siis näiteks WR 4200 sobib stabiliseerima suuri kiirteid ja teostama muid suuri projekte. Igal masinal on oma rakendusala.

2.4.1 Segamisfreesid teel stabiliseerimiseks

2.4.1.1 Kummiratastel masinad: WR 2000 ja WR 2500 (joonised 2.5 ja 2.6)

Joonis 2.5 Segamisfrees Wirtgen WR 2000

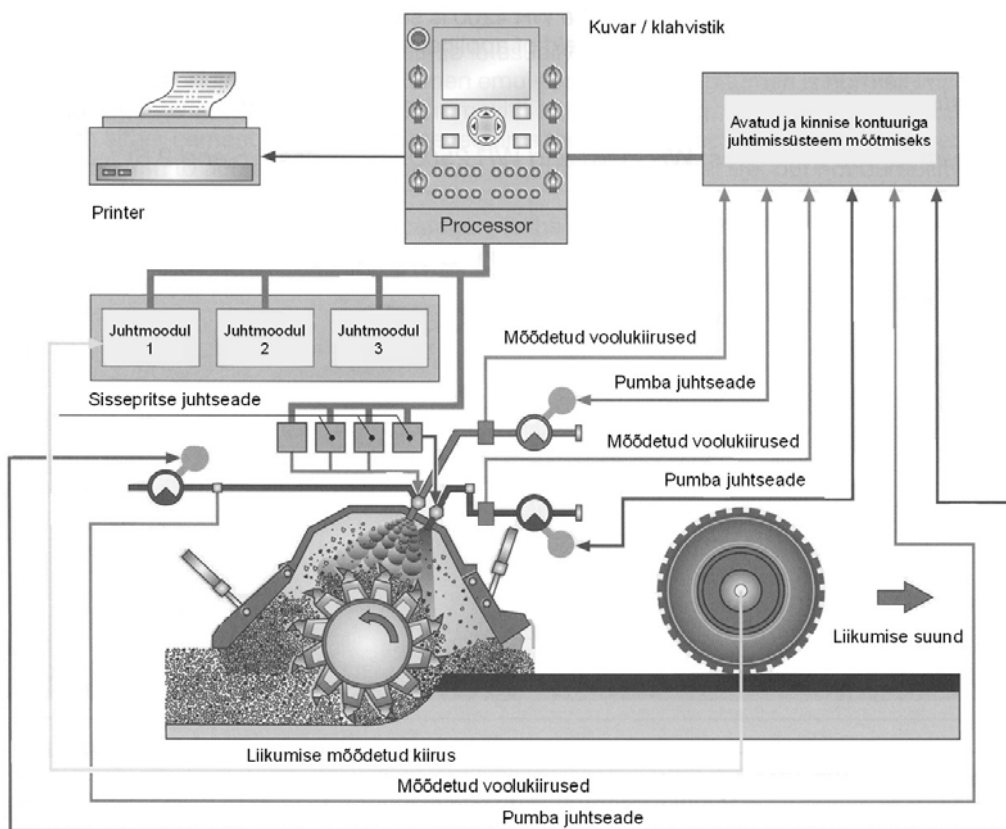


Joonis 2.6 Segamisfrees Wirtgen WR 2500 S



Neid masinaid kasutatakse kõige laialdasemalt olemasolevate katendite stabiliseerimiseks, mis hõlmab tavaliselt ülemisi asfaltkihte ja osa seotud või sidumata täitematerjalist aluskihtidest. Olles varustatud kahe mikroprotsessori poolt kontrollitud pumbasüsteemi ja kahe toruja dosaatoriga (joonis 2.7), on nad suure tootlikkusega ning nendega on võimalik lisada kõiki tavapäraseid sideaineid.

Joonis 2.7 Wirtgen 2500 S mikroprotsessori poolt juhitud sissepritsesüsteem



Lisaks sellele on tänu suurtele kummiratastele ja neljarattaveole võimalik stabiliseerida plastilisi pinnaseid kergetest väga rasketeni. Pinnast stabiliseeritakse tavaliselt katendi konstruktsiooni all olevas muldkehas ning see on osutunud maksumuse ja aja seisukohalt efektiivseks alternatiiviks pinnase asendamisele.

Masinaid võib kasutada ka pehmete kivimite, nagu murenenud paekivi või kiltkivi lõhkumiseks. Kivimaterjal tuuakse karjääridest, laotatakse kuni 500 mm paksuselt tükkidena täitele ning peenestatakse taastamismasinaga enne tihendamist sobiva suurusega tükkideks. Vee lisamissüsteem sobib ideaalselt niiskussisalduse suurendamiseks, et paks kihte oleks võimalik maksimaalselt tihendada.

WR 2500 SK on WR 2500 S täiustatud variant, millele on trumli ette monteeritud lubja/tsemendi kombineeritud laotamisseade. Seade on mõeldud pulbriliste sideainete tolmuvabaks lisamiseks, mis on muutumas üha olulisemaks just keskkonnakaitset silmas pidades. WR 2500 SK kasutusala ei piirdu üksnes pinnase stabiliseerimisega, vaid seda kasutatakse ka teekatendite stabiliseerimiseks.

2.4.1.2 Roomikutel masinad: 2200 CR ja WR 4200 (joonised 2.8 ja 2.9)

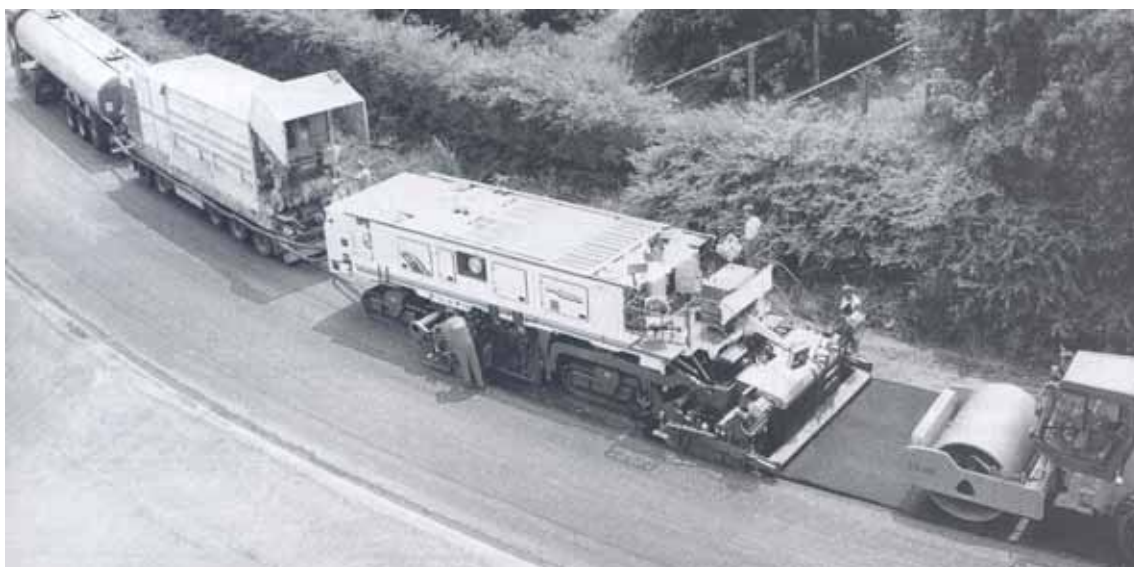
2200 CR põhineb W 2200 freesil, mis on suure tootlusega seade. Pumpamis- ja pihustussüsteemidega varustatult võib seda masinat kasutada külmstabiliseerimisprojektide teostamisel, eriti kus olemasolevas katendis on paks asfaldikihte. Lisaks sellele on 2200 CR tavaliselt varustatud tasandusprussiga ning seepärast pole stabiliseeritud kihti vaja teehöövliga profileerida.

Joonis 2.8 Segamisfreees Wirtgen 2200 CR



Joonisel 2.9 näidatud WR 4200 on ideaalne suurte stabiliseerimisprojektide teostamiseks.

Joonis 2.9 Segamisfreees Wirtgen WR 4200

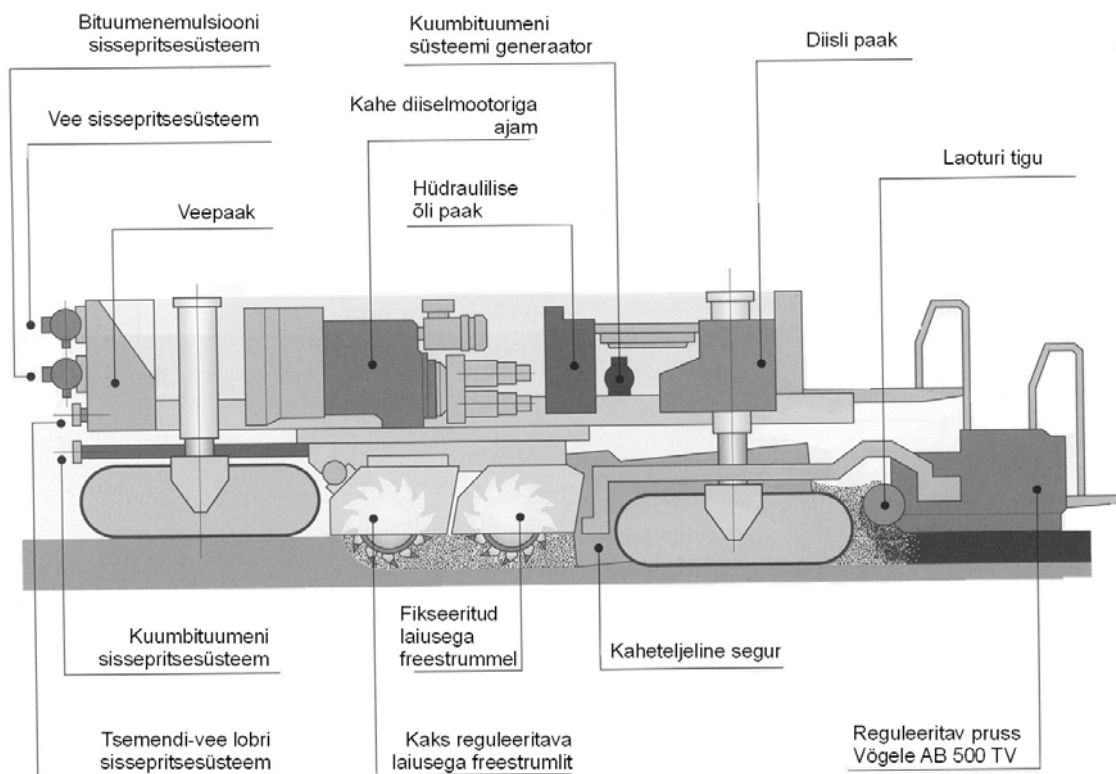


WR 4200 on järgmised võimalused:

- töölaius on kuni 4,2 m, mis tähendab seda, et sõidurea saab stabiliseerida kogu laiuses ühe läbikuga ilma pikivuuki tegemata;
- töölaius saab reguleerida vahemikus 2,8–4,2 m. Reguleerida saab ka töö käigus;
- segamine toimub segamisfreeesi integreeritud kaheteljelises seguris võimsusega 400 t/h, millega saavutatakse samasugune kvaliteet nagu statsionaarse seguriga; ning
- tambitsate ja vibraatoriga varustatud tihenduspruss, stabiliseeritud materjali eeltihendamiseks ja nõuetele vastava profiili andmiseks.

Kõnealune segamisfrees segab korralikult kogu ristlõike laiuselt saadud materjali. Muudetava laiusuga freestrumlite poolt peenestatud materjal juhitakse kaheteljelisse segurisse, kus see segatakse vee ja sideainetega ning kogutakse seejärel vaaludena teele, kus see lõpuks laoturi teoga laiali laotatakse. Masina skeem on esitatud joonisel 2.10.

Joonis 2.10 Segamisfreesi WR 4200 skeem



2.4.2 Mobiilne segisti

Külmsegisti KMA 200 (joonis 2.11) on mobiilne, kiiresti monteeritav ja kõrge tootlusega. Sõlm koosneb täitematerjali kolust, pumba- / pihustussüsteemist (vee, bituumenemulsiooni ja vahtbituumeni lisamiseks) ning kaheteljelisest segurist, mille arvutuslik võimsus on 200 t/h.

Joonis 2.11 Segisti Wirtgen KMA 200



KMA 200 saab töödelda mitmeid erinevaid katendimaterjale:

- Taaskasutatav materjal. Vanadest katenditest saadud asfaldipuru ja muid materjale võib töödelda tsemendi, vahtbituumeni või bituumenemulsiooniga ning kasutada neid uute aluskihtide tegemiseks. Kui see on vajalik, võib samal ajal segada taaskasutatava materjali hulka uut täitematerjali, et parandada stabiliseeritava materjali ehitustehnilisi omadusi.
- Uut täitematerjali võib segada mitmete erinevate sideainetega (nt tsemendi, kustutatud lubja, bituumenemulsiooni, vahtbituumeni jms), mille tulemusel saadakse uute aluskihtide tegemiseks vajalik kõrgekvaliteediline materjal. Näiteks võib killustikku segada tsemendi ja veega, mille tulemusel saadakse lahja betoon ehk keerulise tihendatav betoon.
- Tõrvase freesitud täitematerjali taaskasutamine. Sellise materjali taaskasutamine kuumsegamisprotsessis on keelatud, kuna polüaromaatsete vesinikkarbonaatide eraldumise tõttu on tekkivad aurud kantserogeensed. Lisaks sellele on sellise materjali ladustamine kallis, kuna kahjuliku nõrgvee tõttu esitatakse ladustamisele keskkonnakaitse alaseid nõudmisi. Tehases segamise külmstabiliseerimisprotsess sobib ideaalselt kõnealuse materjali segamiseks sobivate bituumentoodetega, kuna tihendades jäävad kahjulikud vesinikkarbonaadid tee aluskihti.

Eespool kirjeldatud tooteid saab kasutada erinevates kohtades, alates laoturiga laotatavate suurt koormust taluvate katendite aluste ehitamisest kuni töömahukaid meetodeid hõlmavate käsitsi ehitatavate katenditeni.

2.4.3 Lisaseadmed

Joonisel 2.12 on näidatud tsemendilobri segamisseade WM 1000. Seade koosneb 25 m³ suurusest tsemendikolust ja 11000 l mahutavast veetsisternist. Täpne tsemendi kogus kaalutakse koormuseanduritega ning suunatakse teo abil edasi, kus tsement segatakse vee kogusega, mis on vajalik optimaalse niiskussisaldusega stabiliseeritud materjali saamiseks. Seadme tsemendilobri maksimaalne tootlikkus on 1000 l/min, mis on enamus projektide puhul piisav. Lobri pumbatakse otse segamisfreesi freesimis- ja segamiskambri peale monteeritud dosaatorisse, kust see pihustatakse peenestatud materjali hulka. Enamasti paikneb WM 1000 taastamisrongi vahetult taastamismasina ees.

Joonis 2.12 *Lobrisegisti Wirtgen WM 1000*



2.5 Külmstabiliseerimise eelised

Katendite taastamiseks külmstabiliseerimise kasutamisel on järgmised ilmsed eelised:

- Keskkondlikud. Olemasoleva katendi materjal kasutatakse täielikult ära. Jääke pole vaja utiliseerida ning karjääridest toodava uue materjali hulk on minimaalne. Tänu sellele kahjustatakse loodust vähem, kuna pole tarvis rajada karjääre. Transporti on palju vähem. Märnatavalt väheneb üldine energia tarbimine, samuti väheneb veokite kahjulik mõju teedevõrgule.
- Stabiliseeritud kihi kvaliteet. On tagatud pidev ja kõrgekvaliteediline kohapealse materjali segamine vee ja sideainetega. Vedelike lisamine on täpne tänu mikroprotsessori poolt juhitud pumpamissüsteemidele. Stabiliseeritav materjal ja sideained segatakse seguris väga korralikult.
- Konstruktsiooni terviklus. Külmstabiliseerimise tulemusel saadakse paksud seotud kihid, mis on homogeensed ega sisalda nõrgalt seotud õhemaid kihte.
- Muldkeha struktuuri rikutakse minimaalselt ja palju vähem, kui tavapäraseid meetodeid ja seadmeid kasutades. Külmstabiliseerimine on ühe-käiguline operatsioon. Kui kasutatakse roomikutega segamisfreese, sõidavad tagumised roomikud üle kaitsmata aluskihi ainult ühe korra. Kummiratastega segamisfreeside puhul laotatakse materjal masina taha, vältides nii rehvide ja kaitsmata katendikonstruktsiooni kokkupuudet täielikult. (Tavapärase tehnika kasutamise korral koormatakse muldkeha korduvalt suurte koormustega, mille tagajärjel hakkab materjal sageli "lainetama", mistõttu on tarvis vana materjal välja kaevata ning asendada uue juurdetoodud materjaliga.)
- Lühem ehitusaeg. Wirtgeni segamisfreesid on kõrge tootlikkusega, tänu millele lüheneb ehitusaeg võrreldes alternatiivsete taastusremondi meetoditega märnatavalt. Lühem ehitusaeg vähendab kulutusi ning sellest saavad kasu ka teekasutajad, kuna liiklus on vähem häiritud.
- Ohutus. Üks kõige olulisem eelis on liiklusohutuse kõrge tase, mis selle meetodi kasutamisel saavutatakse. Kogu taastusrong mahub ära ühele sõidurajale. Näiteks kahe sõidurajaga teel saab päeva jooksul taastusremonti läbi viia poole tee ulatuses ning õhtul avada tee liiklusele kogu laiuses, kaasa arvatud taastatud sõidurada.

- Majanduslik efektiivsus. Kõigi eespool mainitud eeliste koosmõju muudab külmstabiliseerimise majanduslikult kõige tõhusamaks katendi remondi meetodiks.

2.6 Külmstabiliseerimisprotsessi sobivus

Kahjustatud katendi remondimeetodeid kaaludes sõltuvad majanduslikult kõige efektiivsemad meetodid konkreetsest projektist. Iga projekt on ainulaadne tänu olemasolevale katendikonstruktsioonile ning katendi kihtides kasutatud materjalide kvaliteedile. Seepärast on oluline kasutada iga projekti jaoks kõige kohasemat ja praktilisemat lahendust, võttes arvesse järgmisi tegureid:

- **Kohalikud olud.** Konkreetse riigi või piirkonna jaoks kõige efektiivsem lahendus sõltub kohalikest keskkonnast, sellest, kas tegemist on suure liiklussagedusega linnatänavaga, kus töötada saab vaid öösi, või hädasti kohendamist vajava väikese liiklussagedusega pinnasteega maapiirkonnas. Mainitud ekstreemsetel juhtudel on vaja kasutada väga erinevaid lahendusi ning standardeid. On oluline arvestada tee-ehitusele kehtivaid kohalikke standardeid ning teenindustasemeid, mida kohalikud elanikud peavad vastuvõetavaks.
- **Keskkond.** Kõige sobivama taastusremondi meetodi valimisel tuleb arvestada topograafiat ja geoloogiat. Eriti järsud kalded võivad dikteerida, millist meetodit on praktikas võimalik kasutada. Kliima mängib samuti olulist rolli ning väheste sademetega kõrbepiirkondades tuleb kasutada hoopis teistsuguseid meetodeid, kui rohkete sademetega piirkondades. Samuti tuleb arvestada äärmuslike temperatuuride mõju, näiteks külmumis-sulamistsüklitest põhjustatud termiliste pragude tekkega.
- **Materjalide kättesaadavus.** Erinevate variantide teostatavust mõjutab oluliselt materjalide, eriti sideainete, kättesaadavus. Sideaineid peab olema piisavas koguses ning nad peavad olema ühtlase ja vastuvõetava kvaliteediga. Wirtgeni segamisfreesid kasutavad lisatavaid materjale suurtes kogustes ning sellepärast on vaja kohe alguses kindlaks teha, kas vajalikke koguseid on saada ja kas nende õigeaegse tarnimise peale võib kindel olla.

Järgnevatest peatükkidest selgub, et kahjustatud katendi taastamiseks on alati mitu võimalust. Sügavstabiliseerimine on suhtelist uus kontseptsioon, mida majandusliku tasuvuse tõttu peaks alati kaaluma.

3. peatükk: Katendi remont

3.1 Sissejuhatus

Tavaliselt on katendeid vaja remontida, kui teede seisukord muutub katendi konstruktsiooni kahjustuste tagajärjel väga halvaks või kui katendit on vaja parendada suurenenud liiklussageduse tõttu. Nagu kirjeldati 1. peatükis, jääb remondi vajadus oluliselt väiksemaks, kui katend on õigesti projekteeritud ning õigeaegselt on tehtud hooldus- ja taastustöid (ülekatteid). Praktikas sageli siiski vajalikku hooldust ei tehta ning taastusremondi vajadus kerkib päevakorda varem, kui seda projekteerimise etapis planeeriti.

Käesolevas peatükis kirjeldatakse üksikasjalikult taastusremondi projekti planeerimist ja katendi uuringuid, keskendudes eelkõige külmstabiliseerimisele.

Plokkskeem illustreerib üldist metoodikat, mida kasutatakse uuringute läbiviimisel ja projekteerimisel. Välja on toodud meetodid, mida tavaliselt kasutatakse kahjustatud katendite uurimisel. Kirjeldatakse mitmeid katendi projekteerimismeetodeid, kuid pikemalt peatutakse nendel, mida saab rakendada stabiliseerimisel. Käsitletakse ka projekti usaldatavust. Samas tuleb rõhutada, et katendi projekteerimismeetodeid pole püütud üksikasjaliselt kirjeldada, erandiks on vaid meetodid, mis hõlmavad katendi kihtide stabiliseerimist vahtbituumeniga (vt Lisa 3). Üksikasjalikumat teavet on võimalik saada täielikus kirjanduse loetelus (6. peatüki järel) esitatud materjalidest.

Järgmises, 4. peatükis, käsitletakse külmstabiliseerimisel kõige sagedamini kasutatavaid lisandeid. 5. peatükk „Stabiliseerimise võimalused“ sisaldab juhiseid katendi projekteerimiseks, mis on abiks stabiliseerimismeetodi valikul antud tingimusi arvestades, kaasa arvatud tüüpiliste katendite stabiliseerimiseks tsemendi ning bituumeniga. Lisaks sellele sisaldab Lisa 1 kolme näidet katendi uuringute ja projekteerimise kohta, kaasa arvatud alternatiivseid projekteerimisvõimalusi, ning majandusanalüüsi alusel kõige efektiivsema variandi valimist.

Väljaandes “Teede vastupidamise tagamise meetmete planeerimise eeskirjad, RPE-Stra 01” (*“Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen, RPE-Stra-01”*) on teede- ja liikluse uurimiskomisjon kirjeldanud vastavat toimimisviisi Saksamaa kiir- ja maanteedel puhul.

Käesoleva käsiraamatu selles peatükis on põhirõhk asetatud sellele meetodile, mis on oluline eelkõige külmstabiliseerimise puhul ja kaldub selles osas RPE-Stra 01 kirjeldatud meetodist kõrvale. Esmalt kirjeldatakse planeerimisega seonduvaid aspekte ja tee seisukorra määramist. Nende tulemuste põhjal teostatakse analüüs ja määratakse kindlaks tee taastamiseks vajalikud meetmed.

3.2 Katendi taastusremondi projekteerimine

Katendit saab hakata remontima pärast tegevuskava väljatöötamist, mis tavaliselt saab alguse teekatte korrashoiusüsteemi (PMS) tasandil. Pärast seda kogutakse teavet projekti tasandil ning teostatakse vastavad uuringud, kasutades kahjustuste põhjuste väljaselgitamiseks insener-tehnilist diagnostikat. Enne optimaalse variandi kindlakstegemist tuleb läbida katendi taastusremondi projekteerimise protsess, mis hõlmab liikluse analüüsi, remondivõimaluste väljaselgitamist, seguprojektide koostamist ja üksikasjalikku katendi projekteerimist. Edaspidi käsitletaksegi kõiki nimetatud aspekte.

Enne tee edukaks remondiks vajaliku raamistiku kirjeldamist tuleb siiski ära märkida kaks kuldreeglit:

1. reegel: Peab olema selge, mida töö tellija remonditud katendilt täpselt ootab. Selleks tuleks vastata järgmisele kolmele võtmeküsimusele:

- Kas katendi projekteeritud eluiga peab olema pikk või lühike?
- Millist funktsionaalsete omaduste, nagu sõidumugavus ja haardeomadused, taset oodatakse?
- Millises ulatuses finantseeritakse katendi projekteeritud eluea jooksul plaanipäraseid hooldustöid? Näiteks, kas katendit ei peaks selle projekteeritud eluea jooksul praktiliselt üldse hooldama? Millised on kohalikud võimalused tee korrashoiuks tööjõudu, vajalikke seadmeid ja oskusteavet silmas pidades?

2. reegel: Olemasoleva katendi käitumise mõistmiseks ja kahjustuste liigi kindlakstegemiseks tuleb läbi viia piisavad uuringud.

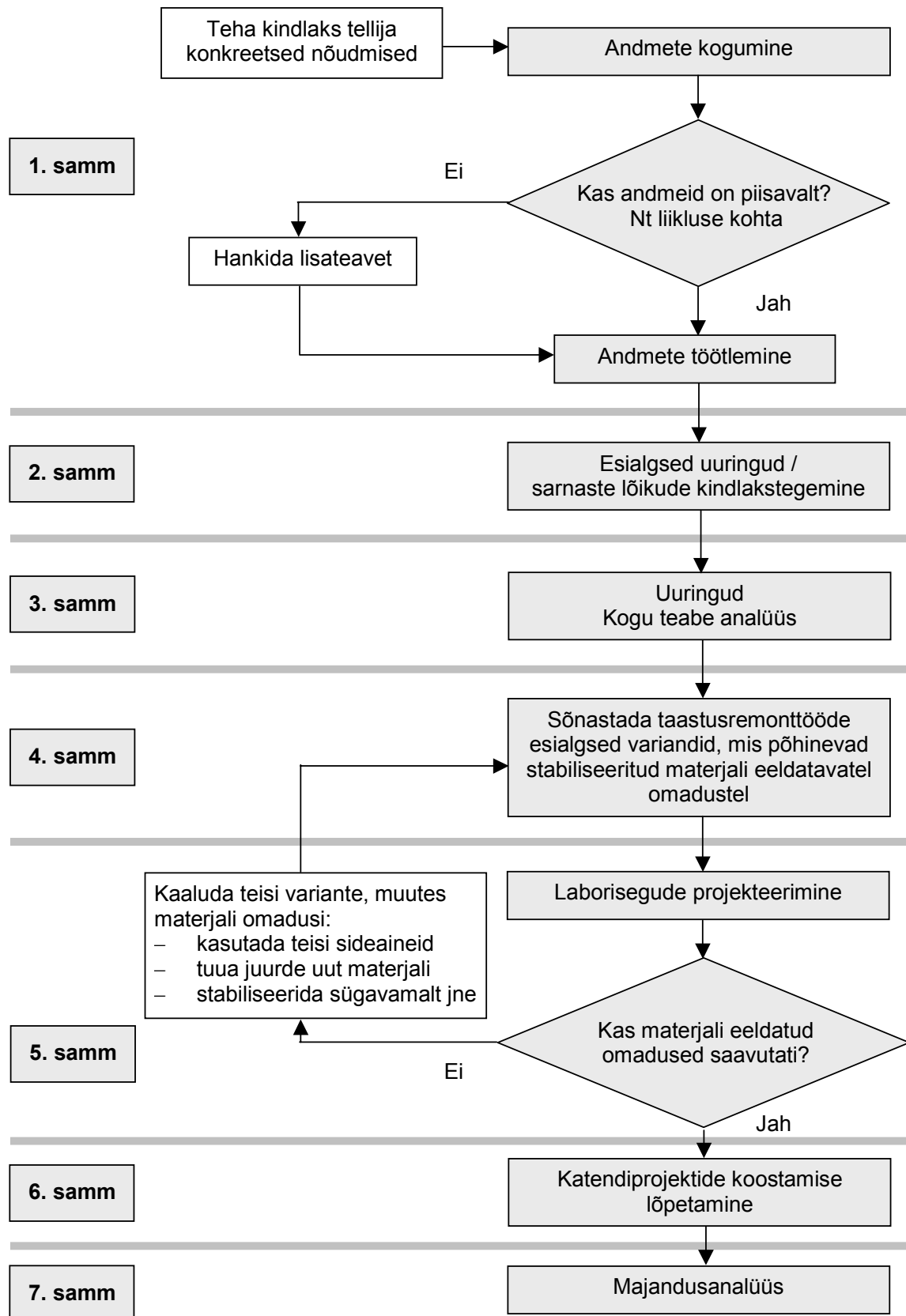
Nimetatud reeglid on kogu katendi taastusremondi projekteerimise selgrooks. Katendiuuringute liik ja ulatus sõltub sellest, millist teavet on konkreetse projekti puhul vaja saada, ning seepärast on tihe koostöö uurimistööde läbiviijate ja projekteerijate vahel väga tähtis. Katendi projekte saab kohandada erinevat tüüpi teedega, alates väikese liiklusega kruusateedest kuni mitmerealiste kiirteedeni, mis peavad vastu pidama suurimale liikluskoozumusele. Projekteeritud eluea ja funktsionaalsete omaduste poolest peavad projektid rahuldama tellija konkreetseid nõudmisi. Seepärast tuleb lõpptulemusele esitatavaid nõudeid silmas pidada kogu projekteerimise jooksul.

Üldistatud plokk skeem on kasulik abivahend taastusremondiprojekti samm-sammuliseks koostamiseks. Joonisel 3.1 näidatud plokk skeem on rakendatav peaaegu kõikide taastusremondiprojektide puhul ning seda saab kohandada konkreetsete nõudmistega. Kõnealusesse plokk skeemi kaasatud erinevad tegevused on jagatud seitsme teema alla.

- Andmete kogumine;
- Esialgsed uuringud;
- Uuringud;
- Katendi taastusremondiprojekti esialgsed variandid;
- Labori segude projekteerimine;
- Katendi projekteerimise lõpetamine; ning
- Majandusanalüüs, mis hõlbustab kõige sobivama variandi valikut.

Igat teemat käsitletakse edaspidi eraldi punktide all.

Joonis 3.1 Plokkskeem: katendi uuringud ja projekteerimine



3.3 Andmete kogumine ja olemasoleva teabe töötlemine (1. samm joonisel 3.1 esitatud plokk skeemil)

Katendi taastusremondi projekt peab põhinema usaldusväärsel ja asjakohasel teabel. Andmete kogumist saab jagada kahe teema alla:

- varasemad andmed ja
- remonditud katendi projekteeritud elueale (konstruktsioonilisele kandevõimele) esitatavad nõuded. See nõuab prognoositava liikluse põhjalikku analüüsi.

3.3.1 Teave olemasoleva katendi kohta (varasemad andmed)

Võimalusel tuleks uurida ehituse dokumentatsiooni, et teha kindlaks:

- katendi esialgne projekt;
- kihtide tegelikud paksused ning katendi arvutuslikku projekti tehtud muudatused;
- üksikasjad esialgsetes katendikihtides kasutatud materjalide ning hiljem tehtud remonttööde ja parenduste kohta;
- ehituse kulg ja kvaliteedi tagamiseks läbiviidud katsete tulemused;
- kohalikest karjäärdest ja kruusaaukudest pärit materjali kvaliteet;
- varasemad liiklusandmed;
- trassi geoloogilised andmed;
- millised on olnud ilmastikutingimused, mis on pärast tee valmimist olnud valdavad.

Sellise „kontoritööga“ tuleks saada võimalikult palju teavet, kuna see annab projekti kohta taustteavet ning varakult ettekujutuse, mida võiks väliuuringute käigus oodata.

3.3.2 Arvutuslik liiklus

Nagu juba 1. peatükis mainiti, on teed projekteeritud taluma liiklusest tulenevaid koormusi. Liiklussagedus ja liikluse tüüp, millele teed peavad arvutusliku eluea jooksul vastu pidama, määravad ära katendile esitatavad nõudmised. Seega vajavad teedeinsenerid taastusremonttöödele esitatavate konstruktsiooniliste nõudmiste kindlakstegemiseks liikluse prognoose (sõidukite arv, koosseis ja teljekoormus). Teisiti öeldes on vaja teada, milline on katendi konstruktsiooniline kandevõime ja selle järgi määratakse, kui palju ja mis tüüpi liiklust katend enne purunemist talub. Konstruktsioonilist kandevõimet väljendatakse miljonites normteljekoormuse ekvivalentides (ESAL) (nt 5×10^6 ESAL).

Konstruktsioonilist kandevõimet kutsutakse tihti ka arvutuslikuks liikluseks või katendi kandevõimeks ja neid väljendatakse miljonites ESAL-ites.

Seega projekteeritakse katendid kindlaksmääratud tugevusega. Kuigi projekteeritud eluiga väljendatakse tihti aastates, projekteeritakse katend tegelikult liikluse hulgale (või korduvale koormamisele), mida vaadeldava perioodi jooksul võib eeldada. Seepärast mõjutab iga sugune ootamatu liikluskoormuse muutus arvutuslikku eluiga. See on üks peamisi katendite projekteerimise aspekte, mida käsitletakse põhjalikumalt 4. lisas „Konstruktsioonilise kandevõime määramine liiklusandmete alusel“.

Kui on selge, et olemasolevatest liiklusandmetest ei piisa, eriti kui projekteeritakse rasketes tingimustes olevate katendite taastusremonte, tuleb saada lisateavet. Teed kasutavate raskeveokite protsendi kindlakstegemiseks tuleb läbi viia liiklusloendusi. Loendustel tuleb üles märkida teave sõidukite koosseisu, rehvirõhkude ja teljekoormuste kohta. Lisaks sellele

tuleb saada asjaomastelt asutustelt liiklussageduse ja sõidukite koosseisu muutuse prognoos.

Alati tuleb silmas pidada seda, et konstruktsiooni kandevõime arvutamiseks kasutatud andmed sõltuvad liiklussageduse kasvu kiirusest, katendit kahjustavatest teguritest ja muudest ebatäpsetest andmetest. Seepärast on oluline analüüsida, millised on tagajärjed kui need andmed muutuvad.

Üksikasjalikud liiklusanalüüsid on katendi projekteerimisel tähtsal kohal, kui on vaja välja töötada keskmise või pika elueaga katendi projekt (tavaliselt siis, kui arvutuslik eluiga ületab kümnet aastat). Lühiealiste katendite puhul läheb üksikasjalikku liiklusanalüüsi harva vaja. Teave liiklussageduse kohta on siiski kasulik töö planeerimisel, kuna nii väheneb liikluse häirimine ehituse ajal ning välditakse taastusremonditud kihtide kahjustusi liiga varajasel koormamisel.

Kui kõik andmed on olemas ja konstruktsiooni kandevõimele esitatavad nõudmised on kindlaks määratud, võib alustada esialgseid uuringuid.

Liiklussageduse hindamist ja vastavaid teekonstruktsioone on kirjeldatud väljaandes “Maanteede kattekihi standardiseerimise eeskirjad, RStO 01” (*“Richtlinien für die Standardisierung de Oberbaues von Verkehrsflächen, RstO 01”*).

Liiklussagedus ja liiklusvahendite tüübid, mis maanteed tema kasutusjal läbivad, on kattekihi materjalide ja geomeetria valimisel otsustava tähtsusega. Teedeehitusinsenerid vajavad seepärast andmeid oodatava liiklussageduse kohta (mootorsõidukite liik, sõidukite konfiguratsioon ja teljekoormused), et hinnata õigesti tee vajalikku kandevõimet ja konstruktsioone. Selles kontekstis räägitakse niinimetatud “mõõtmistest tulenevast koormusest”. See defineerib, kui suur ja millist liiki võib olla teele selle kasutusajal suunatud koormus, mida tee talub ilma “lagunemiseta”. Seda tulemust ehk koormuse määra võrreldes korduva koormusega väljendatakse “ekvivalentse normteljekoormusega” (inglise keeles: ESAL = Equivalent Standard Axle Load), nt. 5,5 miljonit ekvivalentset teljeületust. Seejuures on Saksamaal standardi aluseks võetud 10 t teljekoormus, kuid ameerika eeskirjades on see koormus 8,2 t.

Kui olemasolevad liiklusandmed on selgelt ebapiisavad, tuleb hankida täiendavat informatsiooni, mis käsitleks spetsiaalselt suure koormuse all olevate katete remontimist. Selleks võib korraldada nt. sõidukite loendusi, et saada täpsemaid andmeid raskeveokite protsentuaalse osakaalu kohta. Liikluses osalevate sõidukite spektri (sõidukite konfiguratsiooni) kohta annavad teavet muud olulised andmed. Siia alla kuuluvad ka RStO-01 indeksid, mis põhinevad Saksamaa teedevõrgus läbi viidud ulatuslikel loendustel. Vajalikud on kasutusaja kohta koostatud liiklusvahendite liike ja arvu käsitlevad prognoosid.

Loomulikult olenevad liikluse kujunemist käsitlevad andmed paljudest teguritest, näiteks liikluse mahust. RStO annab siinkohal prognoosi koostamiseks vajalikke teespetsiifilisi indekse.

3.4 Esialgsed uuringud

(2. samm joonisel 3.1 esitatud plokskeemil)

Taastusremonttööd piirduvad harva tee lühikese lõigu taastamisega. Tavaliselt alustatakse taastusremondiga, kui taastamist vajavad pikad lõigud ning kui meetmete rakendamine on mõõdapääsmatu.

Katendid on harva pikkade lõikude ulatuses ühesugused. Lõigud erinevad nii geoloogia kui ka üksikutes kihtides (katendi konstruktsioonis) kasutatud materjalide poolest. Tee koosneb seega paljudest erineva pikkusega lõikudest, mis sarnanevad üksteisega koostise ja käitumise poolest. Tavaliselt iseloomustavad neid ka sarnased kahjustused. Selliseid lõike

nimetatakse sarnasteks lõikudeks ning nende pikkus võib olla mõnesajast meetrist kuni mõne kilomeetrit.

3.4.1 Sarnased lõigud

Kahjustatud katendite uurimisel on oluline sarnaste lõikude varajane kindlakstegemine. Selle tulemusel jagatakse tee lõikudeks. Uuringute läbiviimiseks jagatakse sarnaste kahjustuste ja katendikonstruktsiooniga lõigud gruppidesse.

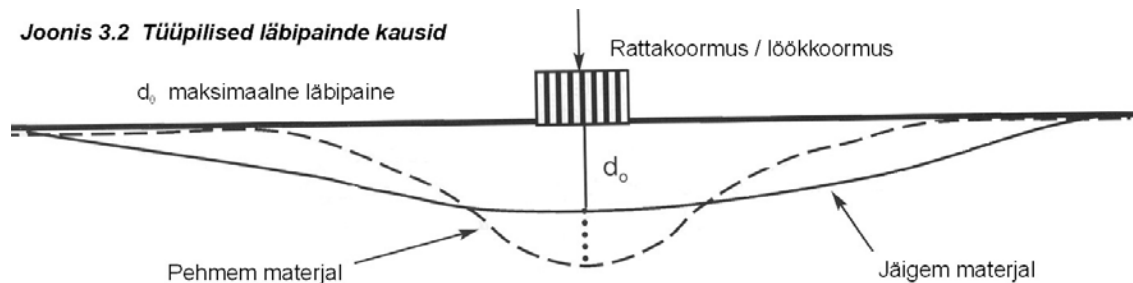
Esialgsete uuringute eesmärgiks on sarnaste lõikude määratlemine. See toimub tavaliselt olemasoleva teabe, kaasa arvatud läbipainde andmete, analüüsimise ning põhjaliku visuaalse kontrolli põhjal. Sarnased kahjustused ja/või läbipainde mõõtmisandmed viitavad sarnastele tingimustele katendi konstruktsiooni alumistes kihtides. Seda teavet kasutatakse:

- sarnaste lõikude vaheliste piiride ning
- kahjustuse liigi kindlakstegemiseks.

Järgmistes punktides kirjeldatakse, kuidas seda praktikas teha.

3.4.1.1 Läbipaindel põhinev meetod

Läbipainde mõõtmine on kiire, katendit mittelõhkuv viis katendi seisukorra hindamiseks. Selle meetodi põhimõtteks on kasutada kas löökkkoormust (langev raskus) või teadaolevat rattakoormust, mis simuleerib raskeveokit, ning mõõta seejärel katendi vastumõju. Kui tee pinnale rakendada rattakoormus, paindub katend läbi. Läbipainde suuruse ning koormuse tekitatud läbipainde kausi kuju alusel saab hinnata katendi omadusi. Kirjeldatud meetodit illustreerib joonis 3.2.



Katendi vastumõju mõõtmiseks koormamisel on välja töötatud erinevaid meetodeid, esmajoones selleks, et kasutada neid katendi seisukorra ja kandevõime näitajateks. Kõige enam kasutatavad meetodid põhinevad Benkelmani talal ning langeva raskusega deflektomeetril (FWD).

Riiklikud ja regionaalsed teedeametid mõõdavad teekatte korrashoiusüsteemi raames läbipaindeid nende haldusalasse jääva teedevõrgu kõikidel suurematel teedel. Sellised andmed on sarnaste lõikude esialgsel kindlakstegemisel hindamatud, kusjuures üleminekukohtade määramiseks kasutatakse lihtsat statistilist meetodit (kumulatiivsumma analüüsi).

Maksimaalsete läbipainete (või teiste asjaomaste näitajate) kogusumma arvutatakse valemi 3.1 abil:

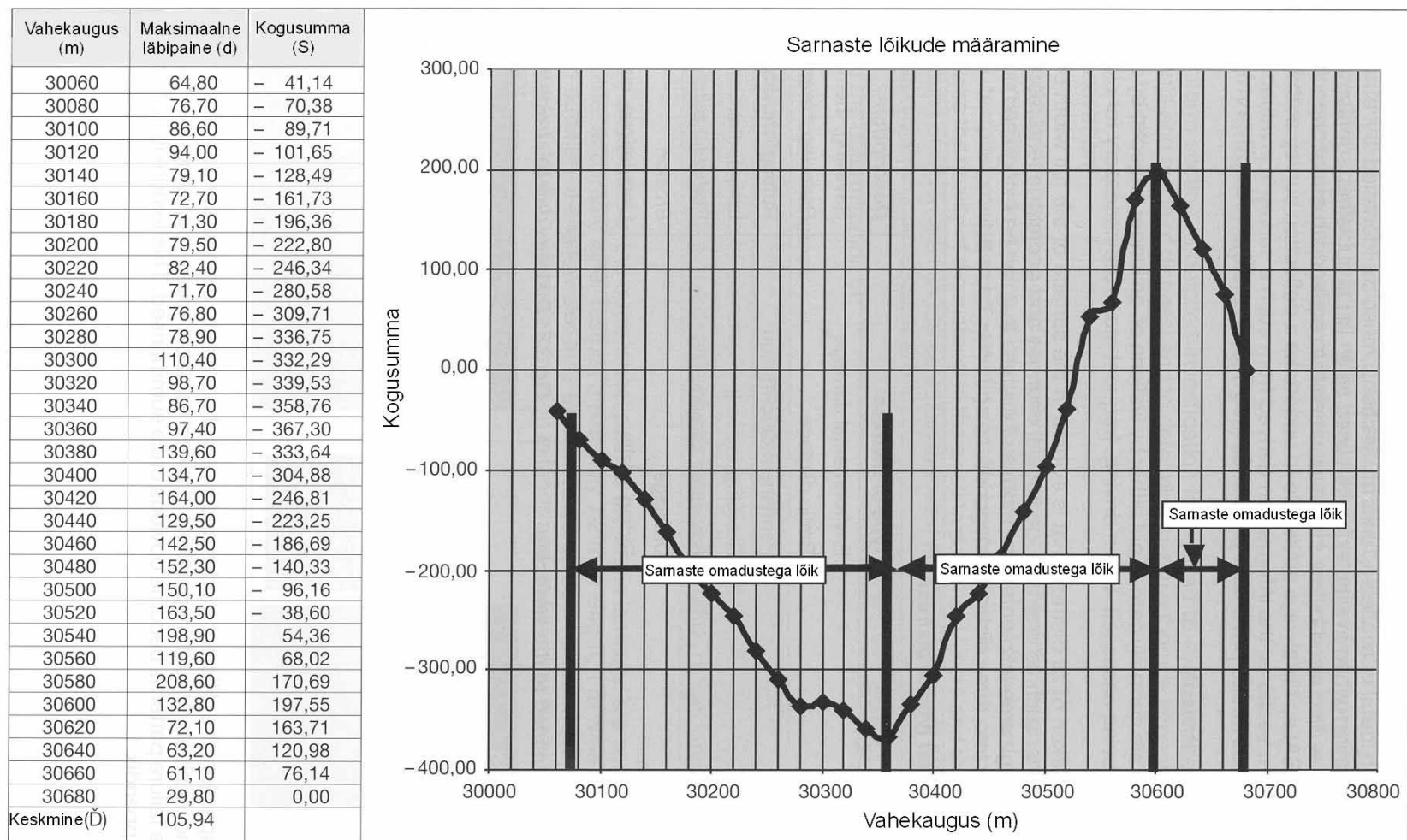
$$S_i = (d_i - \check{D}) + S_{i-1} \quad [\text{valem 3.1}]$$

kus: S_i – kogusumma väärtus kohas i ;
 d_i – maksimaalne läbipaine kohas i ; ning
 $\bar{D}$ – kogu lõigu keskmine maksimaalne läbipaine.

Vastav kogusumma väärtus arvutatakse iga lõigu jaoks. Suhteliselt ühesugune kalle viitab katendi sarnastele lõikudele, nagu näidatud joonisel 3.3.

Märkus: kogusumma meetodi kasutamine ei piirdu ainult maksimaalse läbipaindega. Meetodit kasutatakse sageli ka teiste läbipainde näitajate, näiteks pinna kõveruse indeksi (*Surface Curvature Index –SCI*), puhul.

Joonis 3.3 Tüüpiline kogusumma graafik



3.4.1.2 Muud meetodid

Kui läbipainde andmeid pole saada, tuleb sarnased lõigud määrata kindlaks muul viisil. Aluseks võetakse katendi tegeliku konstruktsiooni kohta käivad andmed (kui on olemas), mida täiendavad edaspidi käsitletavat visuaalse hindamise tulemused. Kui katendi nõutav konstruktsiooniline kandevõime ületab 3 miljonit ESAL-it, on alati soovitatav teha kohe läbipainde uuring. Lisaks sarnaste lõikude kindlaksmääramisele on selliste uuringute tulemusel saadud teave hindamatu katendi erinevate omaduste statistilise hindamise seisukohalt (vt punkt 3.5.5).

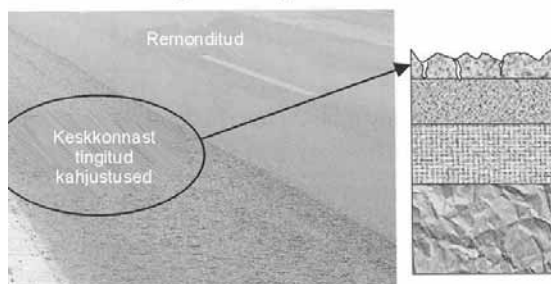
3.4.2 Visuaalne hindamine

Visuaalse hindamise puhul kõnnitakse või, pikemate vahemaade puhul, sõidetakse kogu teelõik aeglaselt läbi. Sõites tuleb täpsemate vaatluste tegemiseks sageli peatuda.

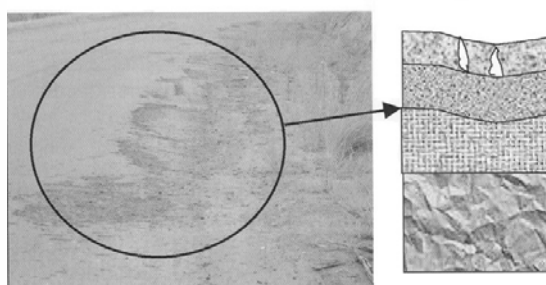
Üksikasjalisi märkmeid tehakse kogu katendi laiuses esinevate kahjustuste ning muude tähelepanekute, näiteks kraavid, geoloogiliste muutuste ja geomeetriliste näitajate (nt järsud kalded, järsud kurvid ning kõrged mulded) kohta. Vaatluse tulemusel eristatavad kahjustuste liigid jagatakse kolme kategooriasse, nagu näidatud tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Kahjustuste liigid ja tüübid		
Kahjustuste liik	Kahjustuste tüüp	Kirjeldus
Pinnakahjustused (vt joonis 3.4)	Keskkonnast tingitud kahjustused	Murenemine, temperatuurist tingitud kahjustused
	Liiklusest tingitud kahjustused	Murenemine, „higistamine“, siledaks kulutamine
Konstruktsiooni kahjustused (vt joonis 3.5)	Jääkdeformatsioon	Roopad, lainetamine
	Pragunemine	Pikipraod, võrkpraod jne
	Kaugelearenenud kahjustused	Löökaugud, lapid, serva defektid
Talituslik olukord	Kraavid	Erosioon
	Sõidukvaliteet	Lainelisus

Joonis 3.5 Kahjustused pinnal



Joonis 3.5 Konstruktsioonist tingitud kahjustused



Visuaalse hindamise käigus kirjeldatakse katendi kahjustuste liiki ja tüüpi raskusastme, esinemissageduse ja asukoha järgi. Visuaalsete vaatluste käigus saadakse väärtuslikku teavet katendi kahjustuste põhjuste kohta, kuna kokkuvõetult tulevad kahjustuste mudelid paremini ilmsiks. Täpsemalt kirjeldatakse seda Lisas 1.

Kui PMS-tarkvara on installeeritud, saab kasutada mõõtesõidukiga mõõtmisel saadud mõõtmistulemusi. Neid tulemusi on võimalik analüüsida. Kui selliste andmete kasutamine ei ole võimalik, peaks iga ehitusmeedet visuaalse vaatluse teel hindama.

Teelõigu visuaalse vaatluse teel hindamiseks tuleb teelõik jalgsi läbida. Seejuures märgitakse üles kõik teekattel ja teekattega vahetult piirnevatel aladel leitud kahjustused.

Üles märgitakse ka muud tähelepanekud, nt. vee ärajuhtimise suunad, haljastusgeomeetria või tähelepanekud trasseerimise (nt. põikikalle või kurviraadiused) kohta. Visuaalse vaatluse käigus tuvastatud kahjustused kantakse protokollis. Seejuures tuleb fikseerida:

- asukoht
- kahjustuse liik, nt. roobaste, pragude, võrkpragude teke
- kahjustuse ulatus, nt. roopa maksimaalne sügavus = 5 mm 4 m pikilõigu kohta
- kahjustustuste osakaal igal teelõigul eraldi, nt. < 20 %.

3.4.3 Sarnaste lõikude uuesti hindamine

Läbipainde analüüsi alusel kindlaks tehtud sarnaseid lõike tuleb uuesti hinnata, kasutades visuaalse hindamise käigus kogutud teavet ning kogu muud olemasolevat teavet (nt ehitusdokumentatsiooni). See võimaldab määrata täpsemalt üksikute sarnaste lõikude piirjooni ning teha kindlaks sarnaste omadustega lõike.

3.5 Uuringud (3. samm joonisel 3.1 esitatud plokk skeemil)

Iga sarnaste omadustega lõigu puhul on vaja läbi viia uuring, eesmärgiga hinnata olemasoleva katendi konstruktsiooni (koostist ja kahjustuste liiki) ning muldkeha tugevust. Järgmisena kirjeldatakse tüüpilisi meetodeid.

Iga sarnase lõigu kohta on nüüd vajalikud täiendavad uurimismeetodid, et katendi liiki ja dimensioone iga kahjustuse esinemiskohas täpsemalt hinnata ja tee aluskihi kandevõime kohta nõutavaid järeldusi teha. Asfaltkatte tehnoloogilise uurimise osas järgitakse Saksamaal standardis DIN 1996 sätestatud. Kui tegemist ei ole geotehniliste uurimustega, tuleb järgida normides DIN 4020, 4021, 4022, 4023 ja 18196 sätestatud.

3.5.1 Prooviaukude tegemine

Prooviaukude tegemine olemasolevasse katendisse on üks peamisi katendi uurimise meetodeid. Lisaks prooviaugu visuaalsel vaatlusel saadavale informatsioonile katendi kihtide ja materjalide kohta saab võtta laborikatseteks vajalikke proove. Proove võib kasutada katsete läbiviimiseks, et kindlaks teha kihtides oleva materjalide kvaliteeti ning koguda andmeid seguprojektide jaoks, mille tulemusi kasutatakse stabiliseeritavate materjalide kõige efektiivsema töötlusviisi väljaselgitamiseks (käsitletakse punktis 3.7).

Prooviaugud võimaldavad määrata:

- iga üksiku katendikihi paksust;
- niiskussisaldust;
- täpset kihtide tihedust (tihendusastet);
- erinevate kihtide olukorda (nt pragunemise, tsementeerumise või karboniseerumise astet tsemendiga stabiliseeritud kihtides).

Harilikult tehakse prooviaugud sõidurea välimise rattajälje kohta, kuid vahel on vaja seda teha teepeenral või sõidurea keskel. Harilikult on prooviaugud 1,2 m pikad, 1 m laiad ja 1 m

sügavad. Lisaks selle võib kaevata kogu sõidurea laiuses madala kraavi, et uurida, kui sügavale deformatsioon ulatub või selleks, et määrata, kas teed on kunagi laiendatud.

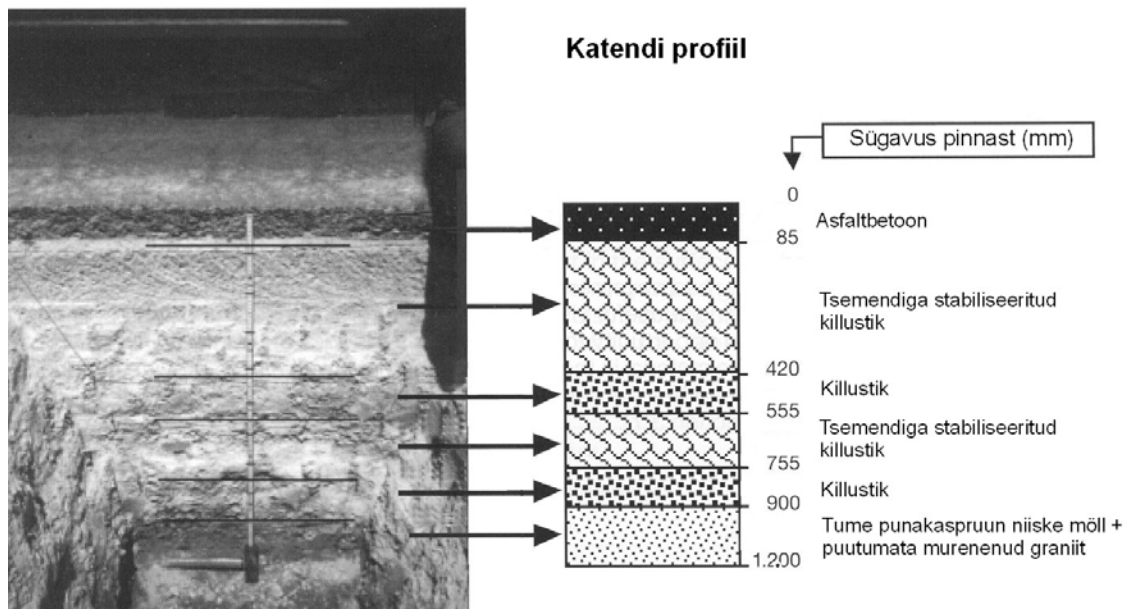
Kaevetöid teostatakse erinevatest materjalidest kihtide eraldamiseks ettevaatlikult. Prooviaukudest väljakaevatud erinevad materjalid kuhjatakse hilisema katsetamise tarvis prooviaugu kõrvale eraldi kuhilatesse. Töö edenedes määratakse iga järgneva kihi tihedus ning niiskussisalduse määramiseks võetud proovid pannakse suletud anumatesse. Kui tööd on lõpule viidud, tehakse prooviaugu profiili kohta üksikasjalised märkmed, nagu näidatud joonisel 3.6, ning eri kihtidest võetud materjaliproovid viiakse katsetamiseks laborisse.

Kui katendi pealmised, sideainet sisaldavad kihid on eemaldatud, saab teha prooviaugud. Need võimaldavad hinnata kihtide seisukorda visuaalse vaatluse teel (nt. kihi paksus) ja loovad ka võimaluse proove laboris uurimiseks kaasa võtta. Need proovid võimaldavad ehituse aluskihti geotehniliselt hinnata. Kindlaks saab määrata näiteks materjalide terakoostise, niiskusesisalduse või tihendusastme. Lisaks sellele saab proove kasutada ka katendi sobivustestide läbiviimiseks, mis on aluseks hilisematel ehitustöödel.

Prooviauk tuleks soovitatavalt teha sõiduraja välisserva, vahel on aga vaja kaevata kogu sõidujälje laiuses ja ka servadest. Sellisel juhul on väljakaevatava osa pikkuseks umbes 1,2 m ja laiuseks umbes 1,0 m. Sügavus tuleb valida selliselt, et kõik olemasolevad kihid sisalduksid proovis. Lisaks sellele võib kaevata ka kitsa kihi kogu sõidujälje laiuses, et kindlaks teha, millises sügavuses deformatsioon paikneb.

Kui prooviauk on kogu sügavuses välja kaevatud, võetakse prooviaugust teekonstruktsiooni profiil (näidis joonisel 3.6). lõpuks võetakse vastavalt DIN 4021 proov laboriuuringute läbiviimiseks. Materjalide kirjelduse ja graafilise kujutamise kohta võib kasutada normides DIN 4022 või vastavalt DIN 18196 ja DIN 4023 sätestatud.

Joonis 3.6 Tüüpiline prooviauk ja selle profiil



3.5.2 Puurproovid

Prooviaukude tegemisega võrreldes on puurproovide eeliseks see, et protsess on suhteliselt kiire ja lõhub katendit vähem. Puurproovidega saab täpselt kindlaks määrata sideainega

seotud materjalide, nagu asfaldi ja stabiliseeritud kihtide, paksust. Puurproove saab kasutada mahumassi ja muude omaduste määramiseks.

Proovivõtu sügavust piirab puursüdamiku pikkus. Lisaks sellele tuleb meeles pidada, et kõnealuse meetodiga ei saa võtta sideainega sidumata materjalide proove.

Tee ehitust võib vaadelda ka puurproovide abil. Seejuures võetakse sideainet sisaldavast katendist esmalt puurkeha. Puurkeha abil saab sideainega katendi kõiki kihte täpselt vaadelda. Suurema läbimõõduga puurkehade võtmisel on võimalik teostada ka staatilisi ja dünaamilisi plaatkoormuskatseid (DIN 18134; TP BF-StB) või CBR-teste otse puurõõgus. Sideainega töötlemata proovidest saab piisavalt suure proovide arvu puhul teostada laborikatseid. Aluspinnase või aluskonstruksiooni saab testida samast puuravast penetromeetri abil (DIN 4094) ja väikevaipuurimise abil (DIN 4021). See eeldab aga vähemalt 60 mm läbimõõduga puurauke. Katendikihtide ehitust dokumenteeritakse DIN 4022 või DIN 4023 (graafiline) toodud blankettidel.

3.5.3 Laborikatsed

Prooviaukudest võetud proove ja puurproove katsetatakse laboris, tehes nii kindlaks katendikihtide ja muldkeha materjalide kvaliteeti. Katsetada tuleb ka kõikidest karjääridest pärinevaid materjale mida stabiliseerimise eesmärgel täitematerjalina kasutatakse.

Tüüpilised katsed on terakoostise määramine, plastsuspiiride määramine, kalifornia kandevõimeteguri (CBR) ning niiskussisalduse/tiheduse suhe. Tulemusi kasutatakse eelkõige materjalide klassifitseerimiseks teatud näitajate (nt elastsusmoodulite) kaupa, mida kasutatakse olemasoleva katendi konstruktsiooni analüüsimisel. Tulemusi, näiteks sobivust erinevate lisanditega, kasutatakse ka sobivate taastusremondimeetodite valimisel.

Laboris uuritakse esmalt puurkeha täpset kihtide ehitust (*Tehnilised eeskirjad teedehituses katendikihtide paksuse määramisel, TP D-StB 89,FGSV, vihik 974*). Lõpuks eraldatakse üksikud kihid üksteisest teemantsaega ja valmistatakse analüüsiks ette. Asfaltbetooni uurimisel on olulised parameetrid DIN 1996 alusel sideainesisaldus, sideaine pehmenemistäpp, terakoostis, mahumass, näiv erimass ning tihendusaste.

Betoonkattest ja hüdrauliliselt seotud kihtidest võetud proove ja puurikehasid analüüsitakse survekindluse osas.

Sideainete katenditüüpide tavapärased laboriuuringud on sõelanalüüs (DIN 18123), niiskusesisaldus (DIN 18120), tihendusnäitajad (Proctori katse, DIN 18127), CBR-testid (alus: TP BT-StB). Külms stabiliseerimise puhul on need proovid ühtlasi lähtematerjaliks katendi omaduste analüüsimisel. Katsete käigus saab kindlaks määrata sobiva sideaine, vajaliku sideainekoguse ning segu omadused.

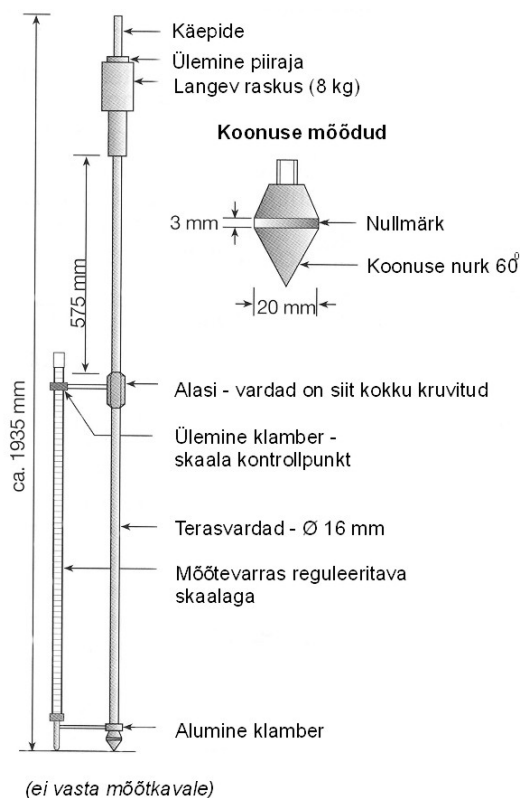
3.5.4 Dünaamiline koonuspenetromeeter

Dünaamiline koonuspenetromeeter (DCP) on lihtne seade, mis koosneb koonilisest, karastatud terasest otsaga terasvardast, mida süvistatakse standardse massiga raskusega teekatendisse. Penetratsioonide, mida mõõdetakse mm/löögi kohta, näitab katendi kihtides oleva materjali tugevust. Harilikult süvistatakse varras 800 mm sügavusele või sügavamale, kui on tegemist paksemate katendikonstruktsioonidega. Meetod võimaldab koostada profiili, mis näitab katendi kihtides olevate materjalide omaduste sõltuvust sügavusest.

DCP näidud on liivataolistes materjalides kalifornia kandevõime teguriga (CBR) heas korrelatsioonis (ning piisavas korrelatsioonis jämedateralise täitematerjali korral). Välja on töötatud ka DCP näidu korrelatsioon kergelt tsementeerunud materjalide ühetelgse survetugevusega. DCP katse tulemusi saab kasutada ka katendis olevate materjalide elastsusmooduli määramiseks.

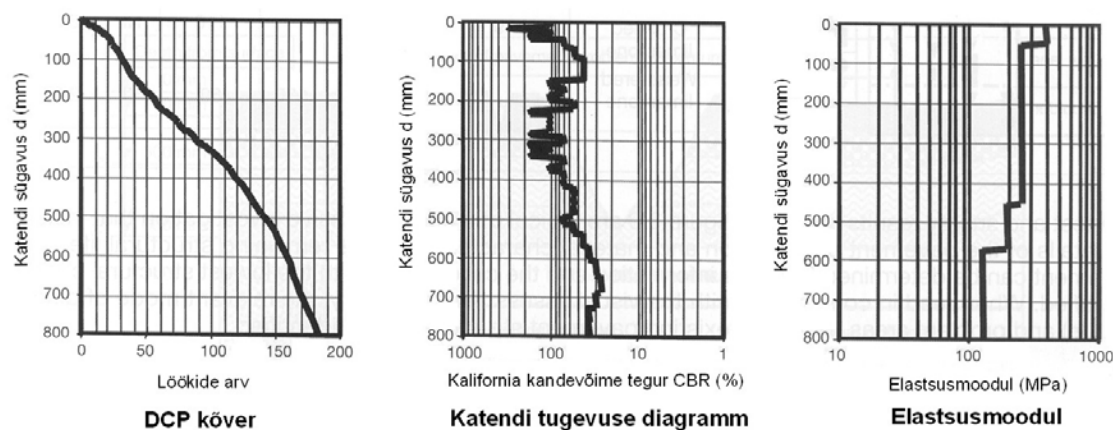
DCP uuringutel on usaldusväärsuse tõstmiseks vaja teha palju katseid, kuna variatsioonitegur on suhteliselt suur. Seepärast tuleb mõõtmistulemusi statistiliselt töödelda (tavaliselt kasutatakse 20-protsendilist tõenäosust väiksemate teede puhul ja 5-protsendilist tõenäosust suurte kiirteede puhul).

DCP uuringute tulemused näitavad katendi konstruktsioonis olevate ühesuguse tugevusega kihtide paksust. Penetratsioonandmete analüüsimisel arvutiprogrammidega saab teada kalifornia kandevõime teguri CBR, ühetelgse survetugevuse UCS, kihi paksuse ja elastsusmooduli, nagu näidatud joonisel 3.8.



Joonis 3.7 Dünaamiline koonuspenetromeeter (DCP)

Joonis 3.8 Tüüpiline DCP katsete analüüs



Sidumata kattekihtide ja aluspinnase kvalitatiivseks hindamiseks on sobivaks vahendiks osutunud kerge penetromeeter (DIN 4094, DPL-5, langeva koormuse raskus: 10 kg). Penetromeeter koosneb terasvardast, mille külge on kruvitud kooniline, karastatud terasest otsik, mis langeva haamri (raskuse) abil rammitakse 50 cm aluspinnasesse/aluskonstruktsiooni. Fikseeritakse löökide arv, mis on vajalikud sondi 10 cm kaupa aluspinnasesse rammimiseks. Nii mõõdetud löökide arv annab informatsiooni materjali tiheduse kohta ja seeläbi kaudselt infot ka materjali erinevate kihtide kandevõime kohta. Kerge penetromeeter on kogemuste alusel sobiv 3 kuni 6 m paksuse aluse uurimiseks. Katse annab

sügavusprofiili ning ühtlasi ka informatsiooni materjalidest, kihtide jaotumisest või niiskusesisaldusest. Inglise keeles nimetatakse testi DCP-testiks (Dynamic Cone Penetration). Allalangeva koormuse raskus on 10 kg asemel aga ainult 8 kg. Sondi läbimõõt on 25 mm asemel ainult 20 mm. Katsevahendi ehitust on kujutatud joonisel 3.7. löökide arvu on sageli kujutatud ka summaarselt.

Kasutades penetromeetrit näiteks liivapinnasel võib saada head (kruusa puhul: väga head) võrdlusandmed CBR-väärtusega (California Bearing Ratio) võrdlemiseks. Korrelatsioon on ka nõrgalt tsemendiga seotud materjalide üheteljelise survekindluse katsega. Penetromeetri kasutamine annab seega ka laias laastus leitud orientiiri üksikute kihtide deformatsioonimooduli kohta. Usaldusväärsete andmete saamiseks tuleb läbi viia mitmeid katseid, sest hälve on suhteliselt suur. Lisaks sellele tuleb arvestada ka mittehomoogeenseid aluspinnaomadusi.

Penetromeetri tulemuste abil on võimalik teha järeldusi ka kihipaksuste ja omaduste kohta. Vastavad arvutiprogrammid võimaldavad DCP-testi sondeerimisandmete analüüsi kaudu CBR-andmete ja elastsusmooduli analüüsimist, nagu on kujutatud joonisel 3.8.

3.5.5 Läbipainde mõõtmistulemuste analüüs

Nagu punktis 3.4.1 juba mainiti, annavad läbipainde mõõtmistulemused väärtuslikku teavet katendi konstruktsiooni kohta. Lisaks sellele, et andmete alusel saab kirjeldada sarnaste omadustega lõike, saab sarnaste omadustega lõikudel tehtud läbipainde mõõtmistulemusi vajaliku usaldusnivooga analüüsida statistiliselt ning teha läbipainde kausi tagasiarvutusi (nt sarnaste omadustega lõikudel analüüsitakse läbipaine kaussi ainult 95-protsendilise tõenäosusega).

Kirjeldatud protseduuri puhul kasutatakse elastsusmooduli määramiseks kohapeal tehtud mõõtmiste (ja DCP katsete) alusel saadud tegelikke kihi paksusi. Seda teavet kasutatakse katendi analüüsiks mitmete meetodite puhul, mida käsitletakse edaspidi.

3.5.6 Roopa sügavuse mõõtmine

Roopa sügavuse mõõtmise esmaseks eesmärgiks on hinnata tee kvaliteeti. Roopa sügavust mõõdetakse tavaliselt käsitsi, kasutades 2 m pikkust tasasusmõõtelatti, mis asetatakse risti üle rattajälgedele. Roopa maksimaalne sügavus märgitakse üles. Roopa sügavust saab määrata ka lasermõõturiga (nt ARAN – *automatic road analyser*). Kuna aga mõõtmisviis mõjutab tegelikke roopa sügavuse mõõtmistulemusi, on vaja märkida, millist meetodit kasutati.

Roopa sügavuse mõõtmine näitab kattekihi põikisuunalist ebatasasust. Liiklusohutuse seisukohalt on tegemist olulise uuringuga, sest peale sademeid võivad sügavad roopad vesiliugu põhjustada. Mõõtmine toimub tavaliselt käsitsi, 4 m pikkune latt asetatakse risti üle sõiduraja. Samal ajal mõõdetakse maksimaalset roopasügavust (Tasasusuuringute teostamise eeskirjad, FGSV). Mõõtmist saab alternatiivselt teostada ka tehniliselt kõrgetasemelise mobiilse teemõõtmisüsteemi abil, mis töötab lasertehnikaga. Kuna mõõtmismeetodil on otsene mõju tegelikele tulemustele, tuleb andmete juurde märkida ka mõõtmismeetod.

Roopa laius näitab deformatsiooni allikat katendi konstruktsioonis, kitsad roopad viitavad kahjustustele katendi pealmistes kihtides, laiema aga kahjustustele alumistes kihtides. Korrelatsioon roopa sügavuse ja samas kohas mõõdetud läbipainde vahel aitab välja selgitada, kas deformeerunud on katendi pealmised või alumised kihid ning selle põhjal määrata edasine tegevus.

Mõõdetud roopa laius viitab deformatsiooni põhjusele. Suhteliselt kitsad roopad võimaldavad järeldada, et katte- või aluskihi deformatsioonikindlus on ebapiisav. Laiad roopad viitavad sügavamate kihtide ebapiisavale kandevõimele. Ka samas punktis teostatud roopa sügavuse ja vajunud kohtade (Benkelmanni tala, Falling Weight Deflectometer) mõõtmistulemuste kokkuvõtte võimaldab järeldada,

kas deformatsioonid piirduvad ainult pealmiste kihtidega või on ulatunud ka sügavamate kihtideni. Nii on võimalik saada otseseid viiteid võimaliku taastusremondi ulatusele ning hilisemate remondimeetmete rakendamiseks.

3.5.7 Olemasolevate andmete analüüs

Uuringute etapp lõpeb kokkuvõtte koostamisega, mis hõlmab kõiki sarnaste omadustega lõikude kohta käivaid andmeid (vt näidist).

Joonis 3.9 Uuringute kokkuvõtte näidis

Katsetamise kohad			Materjali tüüp	Paksus (cm)		Moodulid (MPa)		Laborikatsete tulemused		
km	55+2	56+2		Vahe- mik	95- protse- ntiil	FWD	DCP	CBR	PI	GM
Kiirliikluse rada			Asfaltbetoon	11-19	13	3500				
Keskmine rada			Tsemendiga stabiliseeritud paekivi killustik	18,5-22	19	280		102	NP	2,36
Aeglase liikluse rada			Paekivi killustik	12-19	15	210		110	NP	2,29
Teepeenar			Murenenud paekivi			145	165	59	9	2,04

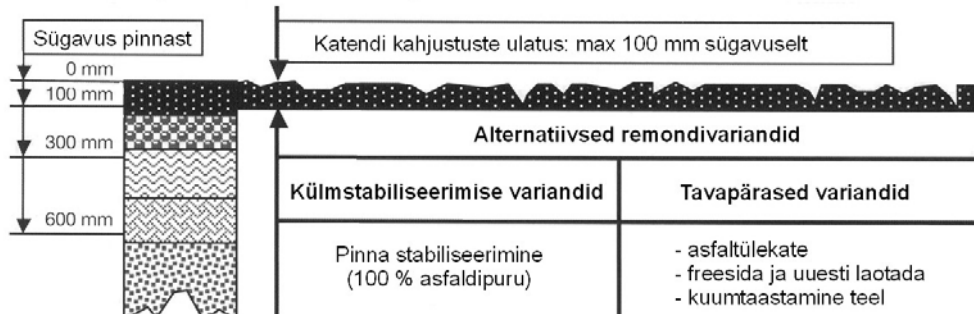
Joonisel 3.9 näidatud katse- ja uuringutulemused on iseloomulikud põhjalikele uuringutele, mis hõlmavad üksikasju katendi koostise ja materjali omaduste kohta. Nende andmete põhjal saab määrata katendi järelejäänud eluiga ning teha kindlaks, milline on kõige väiksema konstruktsioonilise kandevõimega kiht. Kui käesolevat kokkuvõtet lugeda koos visuaalse hindamise kokkuvõttega, saab kindlaks teha katendi kahjustuste liigi ja määrata probleemsed piirkonnad.

Kõik see aitab projekteerijal valida katendi nõrkade kohtade ja probleemsete piirkondade jaoks alternatiivseid remondimeetodeid, mida käsitletakse järgmises osas.

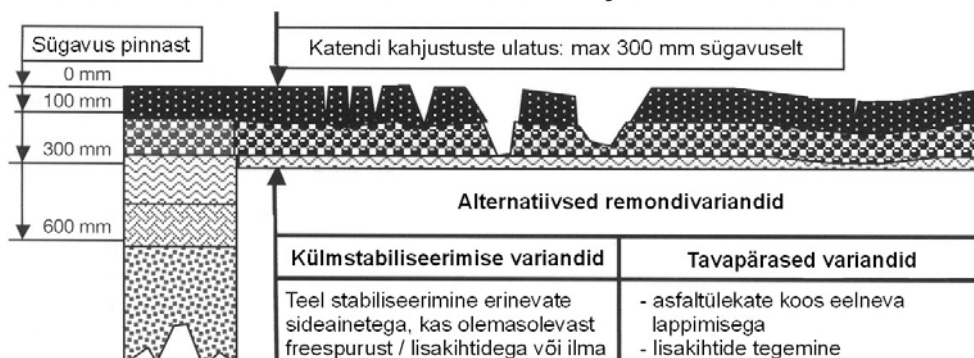
3.6 Katendi taastusremondi esialgsed projekteerimismeetodid (4. samm joonisel 3.1 esitatud plokkiskeemil)

Nüüd võib hakata tegelema katendi uuringute põhjal kindlaks tehtud konkreetsete probleemidega. Nagu lahenduste otsimise puhul ikka, on parima variandi leidmiseks vaja kohe alguses teha kindlaks kõik võimalikud variandid. Joonised 3.10, 3.11 ja 3.12 näited alternatiivsetest taastusremondivariantidest, mis sõltuvad kahjustuste asukohast olemasolevas katendis.

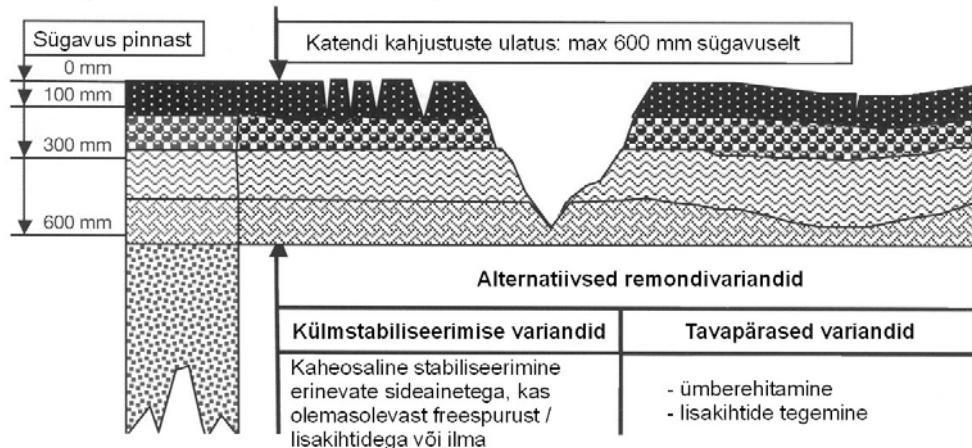
Joonis 3.10 Katendi pealmise kihi/katte kahjustuste remondivõimalused



Joonis 3.11 Katendi ülemiste kihtide konstruktsiooniliste kahjustuste remondivariandid



Joonis 3.12 Sügavate konstruktsiooniliste kahjustuste remondivariandid



Sellise lihtsustatud lähenemisega jagatakse katendi taastusremondivõimalused kolme kategooriasse ning seda lähenemist võib kasutada otsides alternatiivset lahendust mis tahes kategooria alla kuuluvale probleemile. Alternatiivsete lahenduste formuleerimisel tuleks silmas pida järgmist:

- Kõikidel alternatiivsete lahenduste alusel tehtud katenditel peab olema ühesugune konstruktsiooniline kandevõime.
- On oluline kaaluda kõiki variante, et hinnata, milline on katendi eluiga silmas pidades majanduslikult parim variant.
- Stabiliseerimise puhul jääb taastusremonditud pinna kõrgus remondieelse kõrgusega võrreldes samaks (või ligilähedaselt samaks). Kui alternatiivseteks variantideks on lisakihtide ja/või paksude ülekatete tegemine, tuleb teepinna tõstmise tagajärgi põhjalikult analüüsida.
- Kui selgub, et stabiliseerimisel on ilmsed eelised, on oluline teha kohe alguses kindlaks võimalik stabiliseerimissügavus (vt 5. peatükk). Lisaks sellele, et seeläbi muutub lihtsamaks remondivariantide esialgne valimine, aitab stabiliseerimissügavuse määramine teha kindlaks, millist materjali tuleks stabiliseerida ning selle põhjal juba valida stabiliseerimise tüüpi. Seejärel saab määrata, milline peab olema sideainete lisamise kiirus ning millised on materjalide eeldatavad omadused. Kirjeldatud protseduur tuleb läbi viia enne seguprojektide koostamist (vt 4. peatükk).
- Konstruktsioonilisi kahjustusi katendi alumises osas (sügavamal kui 300 mm) ning kandevõimega seotud kahjustusi saab tihti parandada katendi pealmise paksu kihi (üle 300 mm) stabiliseerimisega, mille tulemusel saadakse tugev homogeenne kiht (madalad katendid võib teha nõrgemale muldkehale). Sellise lahenduse valimisel tuleb siiski kaaluda töö teostatavust (nt tiheduse saavutamist kehval aluspinnal), mille tulemusel võidakse kõnealune variant kõrvale jätta.

Alternatiivsete variantide kindlakstegemise käigus osutuvad mõned sobimatuteks (tavaliselt maksumuse ja/või teostatavuse keerukuse tõttu) ja need võib kõrvale jätta. Töömahukuse vähendamiseks piirdub analüüsiks valitud alternatiivsete lahenduste hulk tavaliselt kolme variandiga.

Üldise märkusena olgu öeldud, et külmstabiliseerimist saab kasutada paljude erinevate katendi- ja materjalitüüpide puhul. Tavaliselt saab stabiliseerimisega parandada katendi konstruktsioonis tekkinud mis tahes kahjustusi. Stabiliseerimise puhul on taastusremondiprojektide koostamine siiski keerulisem, kui uute katendite projekteerimine ning seepärast käsitletakse seda edaspidi põhjalikumalt.

3.6.1 Katendi projekteerimismeetodid

Viimase 50 aastaga on katendi projekteerimismeetodid arenenud suhteliselt lihtsatest empiirilistest meetoditest keerukateks mudellähenemisteks, mis vajavad kõrgetasemelist arvutitarkvara. Paljud meetodid töötati välja ammu enne seda, kui tekkis idee kasutada olemasoleva katendi materjali uue katendi tegemisel. Ometi saab nendest meetoditest mitmeid kasutada ka külmstabiliseerimisega remonditavate katendite puhul.

Katendi projekteerimismeetodeid saab jagada kaheks:

Empiirilised meetodid. Siia alla kuuluvad:

- kalifornia kandevõimetegurit (CBR) aluseks võtvad projekteerimismeetodid, mis põhinevad muldkeha tugevusel;
- katalogiseeritud projekteerimismeetod, mis põhineb konkreetsete rakenduste jaoks mõeldud tüüpilistel katendikonstruktsioonidel;

- dünaamilise koonuspenetromeetri (DCP) projekteerimismeetod, mille puhul kasutatakse olemasoleva katendi puuduste modelleerimiseks DCP uuringute tulemusi; ning
- struktuuri numbri meetod, mille puhul omistatakse erinevat tüüpi materjalidele teatud koefitsente.

Analüütilised meetodid. Kõik need meetodid hõlmavad analüütilist protsessi, millele järgneb analüüsitulemuste tõlgendamine (empiiriline element), et väljendada neid konstruktsioonilise kandevõimena (tuntakse ülekandefunktsioonidena):

- läbipaindel põhinevad projekteerimismeetodid, mille puhul kasutatakse läbipainde mõõtmistulemusi (läbipainde kausi analüüsi); ning
- mehaanilised projekteerimismeetodid, mille puhul kasutatakse mitmekihilist lineaar-elastset, elasto-plastset või lõplikel elementidel põhinevat analüüsimeetodit.

Edaspidi vaadeldakse lühidalt stabiliseerimisel kasutatavaid meetodeid. Reeglina tuleks suure koormusega katendite (> 5 miljoni ESAL-it) projekteerimisel kasutada analüütilisi meetodeid. Empiirilised meetodid sobivad kergete katendite puhul, kuid kui tekib kahtlus, et projekt ei vasta ennustatavale liikluskooressele (s.t et katend on ala- või üle-dimensioneeritud), tuleb kontrollida analüütilise meetodiga.

Järgmistes punktides tutvustatakse põgusalt erinevaid projekteerimismeetodeid. Üksikasjalikumat teavet on võimalik saada täielikus kirjanduse loetelus (6. peatüki järel) esitatud materjalidest. Kuna vahbituumeniga stabiliseerimist hõlmav katendite projekteerimine on alles algusjärgus, on selle kohta esitatud lisamaterjali Lisas 3.

Katendi dimensioneerimise erinevad meetodid võib jagada kahte põhigruppi.

- Empiirilised meetodid
 - Standardiseerimine: RStO-01 (Saksamaal tehnika seisund)
 - Kohapeal toimuva külmstabiliseerimise eeskirjad teedehituses, FGSV, vihik 636
 - Struktuuri numbri meetod. See meetod annab igale materjalitüübile teatud koefitsendi
 - Konstruktsiooni CBR-katsete või penetromeetri tulemuste põhjal
 - Analüütilised meetodid
- Need meetodid tagavad analüütilise meetodi ja empiirilise elemendi kombinatsioonis kindlama analüüsitulemuse. Siia alla kuuluvad:
- Aluspinna deformatsiooni näitavad meetodid. Nendeks on näiteks Benkelmanni talaga või siis langeva raskusega deflektomeeter (Falling Weight Deflectometer) abil saadud mõõtmistulemused. Analüüsitakse läbipainet.
 - Teoreetilised arvutused. Need põhinevad lineaar-elastel mitmekihiteoorial või Finiten Elemente –teoorial.

Neid meetodeid, mis on kasutatavad külmstabiliseerimisega toimuva remondi käigus tehtud kandevõimearvutuste puhul, on edaspidi lühidalt kirjeldatud. Suure liiklussagedusega (teekategooriad SV, I ja II) teede puhul võib täiendavalt kasutada ka RStO alusel standardiseeritud analüütilist arvutusmeetodit. Väikese liiklussagedusega teede puhul on piisav empiirilise meetodi kasutamine.

3.6.2 Katalogiseeritud projekteerimismeetodid

Katalogiseeritud projekteerimismeetodite puhul on sobiva katendikonstruktsiooni jaoks vajalike materjalide tüüp ja kvaliteet ette määratud. Kataloogis on esitatud vajalikule kandevõimele ja liiklussagedusele vastavate katendite loetelu. Kuigi seda lähenemist kasutatakse tavaliselt koos analüütiliste meetoditega, on see piiratud (kuna see ei hõlma kõiki võimalusi) ja raskesti ülekantav (kuna see töötatakse tihti välja kohalike materjale ja kliimatingimusi silmas pidades). Katalogiseeritud projekteerimismeetodi puhul kasutatavaid kandevõime näitajaid tuleb analüüsida selle põhjal, milleks projekteerimis tingimused välja

töötati. Oma olemuselt sobib külmstabiliseerimine paljude erinevate katenditüüpidele, kuid väheseid neist on võimalik katalogiseerida.

3.6.3 *Struktuuri numbri meetod*

Struktuuri numbri meetodi puhul on katendis kasutatavatele materjalidele omistatud kogemuse põhjal kindlaks määratud koefitsiendid, mida kasutatakse projekteerimisel. Kõnealuse meetodi puhul summeeritakse struktuuri koefitsiendid ja kihtide paksus. Kui tulemus ületab arvestusliku liikluse ja muldkeha kandevõime osas teatavat vähimat suurust, loetakse katendi konstruktsiooni piisavaks.

Struktuuri numbri meetod on lihtne, kuna selle puhul kasutatakse tuntud materjale, mille käitumise kohta antud kliimatingimustes on pikaajalised andmed. Meetodi kasutamisega tuleb olla ettevaatlik, kui kliimatingimused on karmid või kui kohalike materjalide omadused on oluliselt erinevad. Lisaks sellele ei soovitata seda meetodit katendite puhul, mille konstruktsioonilisele kandevõimele esitatavad nõudmised ületavad 5 miljonit ESAL-it, kuna katendi tasakaalu säilitamiseks ülekattekihtide suhtelist jäikust silmas pidades puudub vastav kontrollmehhanism.

Struktuuri numbri meetod on kasutamisel suhteliselt lihtne, kuna see tuleneb tuntud materjalide ehitustehniliselt sobivatest omadustest ja teadaolevatest kliimaatilistest tingimustest. Samas tuleb meetodisse siiski ettevaatusega suhtuda, kui seda kasutatakse äärmuslikes ilmaoludes või kui kohapeal kasutatud materjalide omadused on ehitusaja pikkuse tõttu tugevasti muutunud. Lisaks sellele on see arvutusmeetod piiratud ka kõrgema ehitusklassi puhul, seega siis katendite ehitamisel, mille ekvivalentne 10 t teljekoormus ületab oma kasutusaja jooksul umbes 3 miljonit korda. Seda olukorda on kirjeldatud RstO alates ehitusklassist II.

3.6.4 *Läbipaindel põhinevad meetodid*

Läbipaindel põhinevaid meetodeid kasutatakse olemasoleva katendi vastumõju analüüsimiseks koormusele. Läbipainde kausi mõõtmistulemusi kasutatakse kihtide elastsusmoodulite (jäikuse), mida on vaja vastumõju diagrammi koostamiseks, tagasiarvutusteks. Jäikusi kasutatakse seejärel sobiva remondiprojekti valikul, kasutades mehhaanilist analüüsi erinevate kihipaksuste puhul (iteratiivne lähenemine, mis kasutab katse-eksituse meetodit).

Mitmed meetodid, mille puhul kasutatakse Benkelmani talaga mõõdetud pinna läbipainde tulemusi (nt *Asphalt Institute* ja *TRRL* meetod), kinnitavad seost katendi korduvast koormamisest tekkinud läbipainde ja pöördumatute kahjustuste, s.t 10 mm roobaste, vahel. Kõnealuseid meetodeid saab kasutada ülekatte projekteerimisel, kus kahjustused on tingitud kehvast muldkehast, kuid neid ei saa kasutada külmstabiliseerimise puhul.

Läbipainde mõõtmisel põhinevaid meetodeid kombineeritakse tihti mehhaaniliste projekteerimismeetoditega. Stabiliseerimisprojektide puhul on see kõige kohasem. Kihi paksuse ja materjali klassifikatsiooni parameetrid saadakse sel juhul DCP analüüsist.

3.6.5 *Mehaanilised projekteerimismeetodid*

Katendite remonditööde planeerimisel on kõige mõistlikum kasutada mehaanilisi projekteerimismeetodeid. Meetodid põhinevad inseneriteaduste põhimõtetel ning nende puhul kasutatakse materjalide käitumisel põhinevaid andmeid, mis on saadud põhjaliku uurimustöö tulemusel. Modelleeritakse remondivõimalusi (nt külmstabiliseerimist) hõlmavad katendikonstruktsioonid, eesmärgiga saada andmeid erinevates kihtides esinevate pingete ja deformatsioonide kohta, mis on omakorda seotud materjali omaduste

ülekandefunktsioonidega, mille kaudu saab hinnata konstruktsioonilist kandevõimet. Üldiselt on need meetodid usaldatavamad kui empiirilised projekteerimismeetodid.

Kõige sagedamini kasutatakse lineaar-elastset mitmekihilist mehaanilist katendite projekteerimismeetodit, kuigi on võimalik kasutada ka teisi mehaanilisi projekteerimismeetodeid, nagu mitte-lineaar-elastse ja elasto-plastse analüüsi meetodeid.

Mehaaniliste projekteerimismeetodite puhul kasutatakse katendi vastumõjude määramiseks arvutiprogramme. Vastumõju määratakse igas katendikihis läbipainete, pingete ja deformatsioonidena. Kõnealuse projekteerimismeetodi puhul on algandmetest vaja teada iga kihi paksust ja materjali omadusi (elastsusmooduleid ja Poisson'i tegureid).

Algandmeid on võimalik leida materjalide katsetamise teel laboris (nt CBR, PI täitematerjali puhul ning UCS tsementeerunud materjalide puhul) ning sellele järgneva klassifitseerimise alusel. Andmeid on võimalik saada uuringute (prooviaukude andmed) ja/või seguprojektide koostamise etapis. Laborikatsete alusel toimuva materjalide klassifitseerimise abil saadakse teada konkreetse materjali jäikus ja Poisson'i tegurid. Lisaks sellele aitavad muldkeha tugevust klassifitseerida DCP mõõtmistulemused.

Mehhaanilistel projekteerimismeetoditel on selged eelised, kuna need võimaldavad modelleerida olemasolevat kahjustatud katendit ning leida üles selle nõrgad kohad. Nende meetodite puhul ei ole remondivariandid piiratud, vaid neid saab kasutada katendi efektiivseks tugevdamiseks ka erinevate külmstabiliseerimisvõimaluste puhul.

Mehhaaniliste meetodite kasutamine katteremondi puhtalt arvutuslikul mõõtmisel on tunnistatud sobivaks. Need meetodid põhinevad mehhaanika põhimõtetel ja näitajatel, mis on saadud mitmete materjalide eesmärgipärasel uurimisel. Kihtide konstruktsiooni enne ja peale remonti (näiteks külmstabiliseerimist) on kujutatud mudelina, et arvutada teekatte üksikutes kihtides tekkivaid pingeid ja deformatsiooni. Samuti jälgitakse, kas ja mil määral on kihtide vaheline seotus osalemas pingete ülekandmisel. Sellisel viisil saab välja töötada igal konkreetsel juhul kõige paremini sobiva teekatte. Sellise meetodiga on sageli saavutatud parem tulemus kui puhtalt empiiriliste meetodite abil.

Kõige sagedamini kasutatavad teoreetilised meetodid on lineaar-elastsed mitme kihi arvutused, kui kasutusel on ka teisi teoreetilisi arvutusmeetodeid.

Arvutuste jaoks saab kasutada sobivaid programme, nt. programmi BISAR firmalt SHELL. Katte reaktsiooni tekitatud vertikaal- ja horisontaaljõududele määratakse kindlaks üksikutes kihtides või kihtide piiridel tekkiva läbipainde, pinge tekke või deformatsiooni teel. See meetod eeldab esmalt sõidutee geomeetria (kihtide paksuste) ja materjali omaduste E-mooduli vormis ja üksikute kihtide Poissoni põikideformatsiooni näitajate sisestamist.

Teoreetiliseks analüüsiks vajalikud sisestusparameetrid saadakse labori- ja välitöödel saadud katsete (nt. CBR-väärtus, E_{v2} -moodul, tsementi sisaldavate materjalide puhul ühe teljelise survetugevus) ja sellega seonduvad materjali klassifikatsioonid. See võib toimuda kas ulatuslike uuringute (nt. puuraugust saadud andmed) ja/või omaduste testimise ajal. Katsetuste tulemusena saadud näitajad annavad otse või kaudselt nõutavad jäikuse või Poissoni põikideformatsiooni arvu. Teelõigul väliuuringute käigus läbi viidud testid nt. plaatkoormuse katse või penetromeeter annavad sideaineta kihtide või aluskihi või –konstruktsiooni kandevõimet väljendavaid näitajaid.

Plaanimis teehoiumeetme abil saavutatava kandevõimenäitaja kohta annab teoreetiline dimensioneerimine teatud eeliseid, sest võimaldab kahjustatud konstruktsiooni mudeli kujul kujutada ning võimaldab sellega konstruktsiooni nõrku kohti tuvastada. Projekteeritud uut teekatendit saab selle meetodi abil nii kaua muuta, kuni tehnilises ja majanduslikus mõttes on optimaalne kombinatsioon saavutatud. Meetod ei piira teehoiumeetmete rakendamist ja on külmstabiliseerimise puhul teekonstruktsioon efektiivsel tugevdamisel ennast tõestanud meetod.

3.6.6 Katendi projekteerimismeetodite kokkuvõte

Uuringud ja projekteerimisetapid tuleks ühendada, kusjuures esmaseks eesmärgiks on mõista olemasoleva katendi käitumist. Teiseks eesmärgiks on projekteerida majanduslikult kõige efektiivsem katend, võttes arvesse teedeameti ootusi seoses projekteeritud eluea, funktsionaalsete omaduste ja hoolduskuludega.

Eelistatakse mehaanilist projekteerimismeetodit, kuna selle abil on võimalik kontrollida olemasoleva katendi tugevusomadusi, leida selle nõrgad kohad ja koostada remondiprojekt. Teisi empiirilisi projekteerimismeetodeid võib kasutada remondiprojekti esmaseks koostamiseks või kui arvestuslik liiklus on väike.

Puhtalt empiirilistel meetoditel on siiski oma heakskiidetud kasutusala. Saksamaa Liitvabariigis viidatakse selles kontekstis "Maanteede katendite standardiseerimise eeskirjadele, RStO-01". Standardiseeritud katendeid on spetsiaalselt külmstabiliseerimise jaoks toodud ka vastavas väljaandes M KRC, mida on kirjeldatud edaspidi.

Lisas 1 on esitatud näited kogu uurimis- ja projekteerimisetapi kohta erinevate katenditüüpide puhul.

3.7 **Stabiliseeritava materjali laborisegude projektid** (5. samm joonisel 3.1 esitatud plokk skeemil)

Seguprojektidel on oluline roll, kuna nende abil kontrollitakse antud materjalide ja valitud lisandite sobivust. Seguprojektid on katendi uuringute ja projekteerimise oluline osa, kusjuures nende koostamise eesmärgiks on leida kõige sobivam meetod materjalide töötlemiseks stabiliseeritavas kihis.

Stabiliseeritavast kihist võetud representatiivsete proovidega tehakse seguprojekti katseid. Proovid tuleks ette valmistada nii, et need jälgendaksid niipalju kui võimalik tegelikult stabiliseerimisprotsessis saavutatavat materjalide terakoostist. Seepärast tuleks võimalusel kasutada katendist proovide võtmiseks väikest freesi. Sõltuvalt stabiliseeritava materjali kvaliteedist ja lõplikule katendile esitatavatest nõudmistest võib mõnel juhul osutuda vajalikuks segada sisse uut täiteainet.

Seguprojekti koostamise etapid, mida kasutatakse tsemendi, bituumenemulsiooni ja vahtbituumeniga stabiliseerimiseks on esitatud 2. lisas, kuid põhimõtteliselt sisaldab segu projekteerimine järgmisi samme:

1. SAMM Sideainete esmane valimine, pidades silmas järgmist:

- sobivus stabiliseeritava materjali tüübi ja kvaliteediga. Esialgne sideaine valimine põhineb katendi uuringute staadiumis tehtud laborikatsete tulemustel;
- stabiliseeritud segu nõutavad omadused võrreldes nendega, mida nõutakse katendi projektis;
- sideaine kättesaadavus; päevased vajadused peavad olema rahuldatud ning tarnitav lisand peab olema ühesuguse kvaliteediga;
- erinevate sideainete suhteline maksumus;

(Vt ka 4. peatükki "Sideained"). Eespool toodu põhjal langetatakse otsus, kas viia seguprojekti koostamine lõpule ühe sideaine või kahe sideaine kombinatsiooniga, näiteks bituumenemulsiooni ja tsemendiga. Samaaegselt võib uurida mitut seguprojekti.

- 2. SAMM** Seejärel toimub optimeerimine, mis tähendab seda, et valmistatakse ette mitu identset proovi ning igaühele segatakse hulka erinev kogus sideainet. Samaaegselt lisatakse ka piisav kogus vett, et segu oleks tihendamiseks optimaalse niiskusega. Tavaliselt valmistatakse ette neli segu, igaüks erineva sideaine sisaldusega.
- 3. SAMM** Valmistatakse proovikehad, kasutades standardseid tihendusmeetodeid.
- 4. SAMM** Proovikehi hoitakse välitingimustega sarnastes tingimustes.
- 5. SAMM** Pärast proovikehade hoidmist teostatakse nendega erinevaid katseid ja selgitatakse nende niiskustundlikkus.

Optimaalse sideaine sisalduse väljaselgitamiseks võrreldakse katsetulemusi erinevate sisalduste juures. Sideaine sisaldust, millega saavutatakse soovitud tulemused, nimetatakse optimaalseks sideaine sisalduseks.

Põhimõtteliselt läbitakse omaduste testimisel järgmised sammud (vt. ka väljaanne M KRC):

1. Esinduslike proovide võtmine
2. Segude retsepti kindlaks määramine (sideained, freesiproovid, lisaained)
3. Segu teralise koostise testimine
4. Külmsobiliseerimissegu uuringud
5. Proovikehade võtmine/säilitamine
6. Proovikehade testimine
7. Ehituse käigus kasutatava segu kindlaks määramine.

3.8 Katendiprojekti koostamise lõpetamine (5. ja 6. samm joonisel 3.1 esitatud plokk skeemil)

Punktis 3.6 kirjeldatud katendiprojekti esialgsed variandid põhinesid taastusremonditud katendi mis tahes uues kihis oleva stabiliseeritud materjali omaduste hinnangul. Need omadused määratakse punktis 3.7 kirjeldatud seguprojektide abil. Kui tegelikud omadused ei vasta prognoositud omadustele, tuleb esialgne katendiprojekt ja materjalide kasutamine uuesti üle vaadata. Kihi stabiliseerimise puhul on võimalik:

- suurendada kihi paksust. Selleks freesitakse sügavamalt, mille tulemusel kaasatakse materjale katendi alumistest kihtidest (tavaliselt kehvema kvaliteediga). Kui kaasatud materjal on oluliselt erinev, tuleb tegelike omaduste määramiseks korrata seguprojekti protseduuri;
- segada taaskasutatav materjal uue juurdetoodud täitematerjaliga. Kui on ilmne, et sügavam stabiliseerimine ei korva materjali omaduste puudujääke, tuleks kaaluda kvaliteetse uue materjali (nt killustiku) lisamist. See toob aga paratamatult kaasa vajaduse korrata seguprojekti protseduuri;
- kaaluda mõne muu sideaine või alternatiivsete sideainete segu kasutamise võimalust. Näiteks, vahtbituumeniga kombineeritud kustutatud lubja asendamine tsemendiga on parandanud mõnede materjalide omadusi piisavalt vastamaks esialgse projekti nõuetele.

Viimase sammuna tuleb proovisegude tugevusparameetreid kasutada katendi projekteerimisel ning määrata kindlaks, millise stabiliseeritud kihi paksuse puhul on täidetud konstruktsioonilisele kandevõimele esitatavad nõudmised.

3.9 Majandusanalüüs (7. samm joonisel 3.1 esitatud plokk skeemil)

Kõige sobivama remondivariandi valimisel on tähtsal kohal majandusanalüüs. Alternatiivseid katendi remondiprojekte ei saa võrrelda üksnes ehituskulude alusel. Majandusanalüüsi tegemisel tuleb arvestada ka tee eluea jooksul tehtavaid hooldustöid, mis sõltuvad katendi tüübist, konstruktsioonist, materjalidest jne. Seega tuleb arvutuste tegemisel arvestada katendi kogu eluea jooksul tehtavate kulutustega.

Üheks majandusanalüüsi meetodiks on kulude hetkeväärtus (PWOC). Meetod põhineb ehituskulude ja analüüsitava perioodi jooksul prognoositavate hooldus- ja remonditööde kulude summeerimisel, kusjuures maha arvatakse katendi jääkväärtus perioodi lõpus. Tegelikku diskontomäära kasutatakse aja jooksul eskaleeruvate kulude arvutamiseks, et tulevasi hooldus- ja remondikuluseid oleks võimalik väljendada praegustes hindades.

Sageli on raske hinnata ehitamise võrreldavaid kulutusi ja ennustatavaid hoolduskuluseid. Tulevasi hooldustöid ja nende ajastatust aitab prognoosida materjalide ja keskkonna tundmine ning teekatte korrashoiusüsteemist saadavad andmed katendi käitumise kohta.

Lisas 6 on esitatud majandushinnangud põhjalikumalt. Käsitletakse mõningaid meetodeid, nagu kulude hetkeväärtus, tulu ja kulu suhe, sisemine tasuvusläävi ja puhas nüüdisväärtus.

Tavaliselt näitab katendi võrreldavate remondivariantide majandusanalüüs, et eelistada tuleks külmstabiliseerimist, eelkõige just materjali taaskasutamise tõttu. Siiani analüüsitud projektidest enamuse puhul selgus, et külmstabiliseerimine on võrreldes tavapäraste meetoditega soodsam 30% või isegi enam.

4. peatükk: Sideained

Vanade dokumentide põhjal võib väita, et teadaolevalt kasutasid roomlased teedehituses sideaineid juba kaks tuhat aastat tagasi. Lisaks klompsillutise (munakivisillutise) kasutuselevõtule töötlesid roomlased materjali katendi tugevuse parandamiseks lubjaga. Tänapäeval kasutatakse sideaineid looduslike materjalide omaduste parandamiseks kõikjal maailmas. Lisaks materjalide tugevusomaduste parandamisele muudavad sideained materjalid vastupidavamaks vee ja keskkonna mõjudele.

Paljudes maailma piirkondades pole heakvaliteedilist materjali saada. Sobiva materjali importimise kulud on pannud teadlasi välja töötama stabiliseerimise tehnoloogiaid, mille tulemusel on võimalik ära kasutada kohalikke ressursse. Sageli on võimalik muuta viletsate omadustega kohalik materjal väikeste kulutustega nõutava tugevusomadustega materjaliks, lisades vaid väikese koguse sideainet. Selline tehnoloogia on rakendatav nii taastamistöodel kui ka uute teede ehitamisel. Sideaine lisamisega parandatakse olemasolevast katendist saadud materjali omadusi, vähendades seega uue materjali lisamise vajadust.

Sideainete otstarbe ja käitumisega seoses on siiski levinud mitmeid valearusaamu, eelkõige selles osas, millal tuleks erinevate sideainete kasutamist kaaluda ja millal välistada. Käesolevas peatükis neid probleeme käsitletaksegi.

4.1 Sideainete tüübid

4.1.1 Üldist

Tänapäeval kasutatakse kogu maailmas palju erinevaid sideaineid. Nende hulka kuuluvad keemilised ühendid, nagu kaltsiumkloriid, pika ahelaga polümeerid ja sulfatiseeritud naftatooted, teised vähem levinud tooted ning palju tavapärasemad sideained nagu tsement ja bituumen. Kõikide sideainete kasutamisel on eesmärgiks siduda materjali üksikuid osakesi, et suurendada seeläbi materjali tugevust ja/või muuta see veekindlamaks. Mõned sideained on sobivamad teatud materjalide puhul, mõnedel on hinnaeelis, kuid kõigil on turul oma koht ja enamikke neist saab kasutada moodsate segamisfreesidega.

Pidevalt töötatakse välja uusi tooteid ja tööstuse seisukohalt on oluline, et kõiki neid proovitaks ka praktikas. Uuendusi tuleks igati toetada, kuna ükski sideaine ei sobi kõikide kasutusvalade puhul. Kui inseneridel tuleb otsustada, millist sideainet konkreetse projekti puhul kasutada, peaksid nad suhtuma eelarvamusteta kõikidesse variantidesse. Otsuseid mõjutavad tähtsuse järjekorras järgmised tegurid:

Hind. Esmase tähtsusega on stabiliseerimisel alati ühikhind (harilikult väljendatuna ruutmeetri maksumusena valmis kihi kohta);

Kättesaadavus. Mõnel pool maailmas ei pruugi teatud sideained olla kättesaadavad. Näitena võiks tuua bituumenemulsiooni, mida mõnedes riikides praegu ei toodeta;

Materjali omadused. Teatud materjalide puhul on mõned sideained paremad kui teised. Näiteks tuleks lubja eelistada tsemendile, kui on tarvis stabiliseerida väga plastseid pinnaseid (plastsusarv > 10);

Väljakujunenud seisukohad. Paljudel tellijatel on teatud sideainete kasutamise suhtes väga jäigad seisukohad. Tihti põhinevad need eelneval kogemusel.

Sideainete suhtes väljakujunenud seisukohad erinevad riigiti, kuid eriarvamusi on ka tellijatel. Tihti ei põhine need seisukohad aga tehnilistel põhjendustel, vaid väärarusaamadel. Tehnoloogia ei tunne piire; kui katsekriteeriumid ja materjalid on samad, on tugevusnäitajad

võrreldavad, olenemata sellest, kus katsed läbi viidi. Seepärast pole mingit põhjust välistada kõikidele asjakohastele tehnilistele nõuetele vastavat sideainet.

Insenerid kipuvad aga olema konservatiivsed. Eesrindliku tehnoloogia kasutamine võib olla riskantne ja üksildane ettevõtmine ning seepärast eelistatakse kasutada teada-tuntud meetodeid. Hüdraulilisi sideaineid ja vähemal määral ka bituumensideaineid on põhjalikult uuritud. Neid kasutatakse laialdaselt ning optimaalsete projektsegude ja kvaliteedinõuete määramiseks on olemas standardsed katsemeetodid. Peale selle kasutatakse nii tsementi kui bituumenit laialdaselt ehituses, mistõttu nad on kättesaadavad peaaegu kõikjal maailmas. Seega pole üllatav, et nad on kõige populaarsemad sideained.

Elastsetes katendites sõltub sidumata (stabiliseerimata) materjalide käitumine pingetest. See tähendab seda, et katendikihtide puhul suurenevad jäikusnäitajad koos koormatusega. Kui materjale koormata korduvalt üle nende piirkandevõime, ilmnevad nihkedeformatsioonid, mille tulemusel tekivad roopad. Sideainete lisamisel seotakse materjali osakesed omavahel kokku ning materjal hakkab koormamisel käituma kui plaat, millel on hoopis teistsugused pingetaluvusomadused.

Hüdraulilised sideained parandavad jäikust, bituumensideained seevastu muudavad materjalid suhteliselt elastseteks. Hüdraulilised materjalid on tundlikud mahukahanemise suhtes, mis avaldub kihi korduval koormamisel tekkivate plokkpragudena, samal ajal kui bituumeniga seotud materjalid on suhteliselt pehmed ja paremate elastsusomadustega ning deformeeruvad koormamisel. Kui katend koormamisel läbi paindub, esinevad tõmbepinged siiski seotud materjalidest tehtud kihtide alumistes kihtides. Korduv koormamine (tavaliselt miljoneid kordi) põhjustab materjali väsimuspurunemist või alumistest kihtidest alguse saavat pragunemist ning kasutatav sideaine määrabki selle, mitu korda võib katendit koormata, enne kui algab pragunemine. Nimetatud kontseptsioone käsitletakse järgmistes punktides.

Aluskihi töötlemisel kasutatakse vastavalt DIN EN 197-1 sätestatule eeskätt tsementi, või DIN EN 459-1 sätestatu alusel ehituslupja. Teekatte külmstabiliseerimisega tehtud taastusremondi käigus on eriti headeks materjalideks osutunud DIN 1995-3 kirjeldatud bituumenemulsioonid, DIN EN 12591 kirjeldatud teede ehituses kasutavaid bituumensideaineid 50/70 või 70/100 sisaldavad vahtbituumenid, DIN EN 197-1 kirjeldatud tsemendid või DIN 18506 kirjeldatud kandva kihi sideained. Neid on põhjalikult katsetatud ning nende kohta on olemas ka kvaliteeditagamiseks vajalikud standardtestimismeetodid. Hüdraulilistel ja bituumenit sisaldavatel sideainetel on ehituspraktikas lai kasutusala ning neid kasutatakse kõikjal maailmas.

4.1.2 Hüdraulilised sideained

Kõige levinumateks sideaineteks on lubi, tsement ja nende segud lendtuha, kõrgahjuräbu ja muude putsolaansete materjalidega. Kui välja arvata roomlaste poolt kasutatud lubi, on tsement olnud kasutusel kõige kauem – esimene kirjalik teave tsemendi ametlikust kasutamisest sideainena pärineb aastast 1917 USA-s.

Nimetatud sideainete esmane ülesanne on suurendada tugevust. Lisaks sellele reageerib hüdratiseerimisel vabanenud lubi plastsetes pinnastes leiduvate saviosakestega, vähendades nii plastsust. Tsemendi kasutamist tuleks siiski piirata selliste materjalide töötlemisel, mille plastsusarv on väiksem kui 10. Suurema plastsusega materjalide stabiliseerimiseks on parem kasutada lupja.

Saavutatud tugevus sõltub suuresti lisatud sideaine kogusest, kuid ka töödeldava materjali tüübist. Vastupidiselt paljude arvamusele võib tugevuse suurendamiseks lisatav suur sideaine kogus mõjuda kihi käitumisele kahjulikult. Hüdraulilise sideainega töödeldud materjal on habras. Tugevuse suurendamine muudab materjali veelgi hapramaks, mille tulemusel väheneb stabiliseeritud kihi elastsus. See viib omakorda pragude tekkimiseni

korduva liikluskooormuse (eriti suure kooormuse) mõjul ning konstruktsiooniline kandevõime väheneb. Seepärast on oluline, et nõuded stabiliseeritud kihi käitumisomadustele oleksid ühemõttelised ning et täpsete kulunormide määramiseks vajalikud seguprojektid põhineksid katendit iseloomustavatel proovidel.

Teedehituses kasutatakse tsemente sageli aluskihi stabiliseerimiseks (vt. ka “Teedehituse pinnasetööde täiendavad tehnilised lepingutingimused ja eeskirjad”, ZTVE-StB 94/97) ning betoonkattega teede ehitamisel (vt. “Betonkattega teede ehitamise täiendavad tehnilised lepingutingimused ja eeskirjad”, ZTV-T-StB 95/02). Segu omadused määratakse kindlaks lisatava sideaine koguse ja tüübi ning lähtematerjali abil. Hüdrauliliste sideainete sisaldust ei tohi samas suurema vastupidavuse tagamiseks piirilt suurendada. Suurendatud tsemendisaldus muudab teekattekihid jäigemaks ja kihi plastseuse vähenemine tuleb teravamal esile. Selles osas näevad tehnilised eeskirjad (“Teedehituse kandvate kihtide täiendavad tehnilised lepingutingimused ja eeskirjad”, ZTV-T-StB 95/02) näiteks hüdrauliliselt seotud kandvate kihtide kohta survetugevuse miinimum- ja maksimumväärtused.

Ehituslupja kasutatakse DIN EN 459-1 alusel peamiselt aluskihi parendamiseks, kuid osalt ka tugevdamiseks. Juurdesegatud lubi vähendab aluskihi niiskusesisaldust ja võimaldab seetõttu tihendada ka niiskeid aluskihte. Lisaks sellele vähendab lubi savimineraalide muutmise teel savirikaste aluskihtide elastsust ning see omadus on soodne just katte tihendamise seisukohalt.

4.1.3 Bituumensideained

Tänu tehnoloogia edusammudele on hakatud bituumenit üha rohkem kasutama stabiliseeriva sideainena, lisades seda nii emulsiooni kui ka vahuna. Materjalide töötlemist vedeldatud bituumeniga ei loeta stabiliseerimisprotsessiks, kuna bituumen disperseerub samamoodi nagu külmseguasfaldis. Keskkonnakaitselistel põhjustel on enamikes riikides selline töötlemine keelatud ning seepärast ei käsitleta seda ka käesolevas käsiraamatus.

Bituumeniga stabiliseerimine on majanduslikult efektiivne viis materjali tugevusomaduste parandamiseks ja vee kahjulike mõjude vähendamiseks. Bituumeniga stabiliseerimise tulemusel saadakse elastsem kiht kui tsemendiga stabiliseerimisel.

Bituumeni ja vähem kui 1,5 massi% tsemendiga stabiliseeritud materjalis ei teki mahukahanemispragusid, nagu neid tekib tsemendiga töödeldud materjalis, ning katendit võib kohe liiklusega koormata tänu pinnaosakeste algnakketugevusele, mis hoiab ära katte murenemise. Materjali lõpptugevuse saavutamiseni ei tohi siiski raskeid sõidukeid, kaasa arvatud teerulle, valmis katendile parkida.

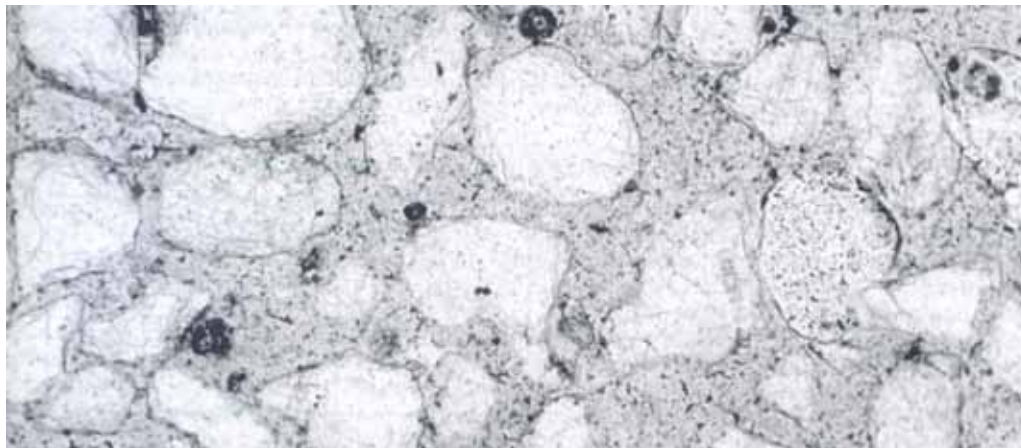
On olemas kaks väga erinevat stabiliseerimisprotsessi, kus kasutatakse bituumenemulsiooni:

- uuendamisprotsess vastavalt kuuma asfaltbetooni valmistamise tehnoloogiale. Spetsiaalse koostisega bituumenemulsiooni lisamine asfaldipurule (freespurule) pehmendab oluliselt vananenud bituumenit materjaliosakeste ümber, mistõttu on võimalik segu paigaldada ja tihendada nagu külmsegu. Protsessi projekteerimiskriteeriumid on oma olemuselt samad, mis kuuma asfaltbetooni puhul ning seguprojektide koostamist viiakse läbi samamoodi, kasutades kas traditsioonilist Marshalli meetodit (100 mm läbimõõduga proovikehadega) või uuemat SHRP meetodit guraatortihendamisega.
- stabiliseerimisprotsess vastavalt teraliste materjalide puhul kasutatavale tehnoloogiale. Proovikehad valmistatakse Proctor-tüüpi tihendamisega ning seguprojektide koostamisel kasutatakse lisatavate koguste määramiseks tugevusomadusi. Bituumeniga stabiliseeritud materjalist kihid on eranditult paksemad kui 100 mm.

Stabiliseerimine bituumensideainega annab (vastupidiselt uuendavale sideainele) bituumeniga stabiliseeritud, mitte asfaldile sarnaneva materjali. Tavaliselt on pideva

terakoostisega asfaltbetoonist alumiste kihtide poorsus 3–6% ja iga osake on kaetud õhukese liimina toimiva bituumenkihiga. Bituumeniga stabiliseeritud materjali iseloomustab bituumeni disperseerumine peamiselt väikeste osiste hulgas, vahtbituumeni puhul tavaliselt alla 0,075 mm fraktsiooni ja bituumenemulsiooni puhul suurema fraktsiooni hulgas. Joonisel 4.1 on näidatud bituumenirikka mastiksiga materjal. Sellise materjali tegelik poorsus pärast tihendamist on harva alla 10% ning osaliselt käitub materjal koormamisel nagu teraline sidumata materjal, mis talub osakeste vahelisest hõõrdumisest tingitud purustavaid pingeid, ning osaliselt nagu viskoelastne materjal, mis talub korduvaid tõmbepingeid. Seega on tegemist hübriidiga.

Joonis 4.1 Vahtbituumeni osakeste dispersioon



Mõnedel bituumeniga stabiliseeritud väheväärtuslikel materjalidel on kehvad jääktugevusomadused (s.t et nad kaotavad vette kastetuna tugevust). Seda saab vältida nn aktiivlisandi, nagu kustutatud lubja või tsemendi, lisamisega. Väike aktiivlisandi kogus (0,5–1,5 massi%) suurendab märkimisväärselt jääktugevust ilma kihi väsimusomadusi mõjutamata. Vahtbituumeni puhul toimib aktiivlisand dispersiooni katalüsaatorina ning emulsiooni puhul soodustab emulsiooni lagunemist. Seepärast on tsemendi või kustutatud lubja kasutamine koos bituumensideainega üsna tavaline.

Külmstabiliseerimissegusid toodetakse reeglina DIN 1995-3 alusel bituumenemulsioonide baasil, kuid tänu tehnoloogia arengule on kasutatud ka vahtbituumeneid.

Külmstabiliseerimisel eranditult bituumenit sisaldavate sideainete kasutamine tagab elastsed kihid. Reeglina valmistatakse külmstabiliseerimissegu siiski bituumeni ja tsemendi kombinatsioonist. Külmstabiliseerimissegu peab olema piisavalt homogeenne, kuna segu laotamine ja tihendamine toimub külmalt. Bituumenemulsioonid võimaldavad lisaks asfaldipurule stabiliseerida ka teisi sideaineta materjale. Omaduste määramiseks valmistatakse proovikehad Proctori katse teel (DIN 18127). Väljaandes M KRC on juhised suuremate proovikehade valmistamiseks spetsiaalse pressi abil (lisa 1).

Traditsiooniliselt ja sarnasest kivimaterjalist toodetud asfaltbetoonist kandval kihi jäävpoorsus on u. 5 – 10 %. Iga täitematerjali tera on kaetud õhukese bituumenikihi ja kõrvalasetseva tera külge kleepunud. Üks külmstabiliseerimissegule iseloomulik omadus on see, et bituumen seguneb peamiselt peenmaterjaliga. Selline segu sarnaneb omadustelt materjaliga, mis sisaldab bituumenirikast mastiksist, nagu on kujutatud joonisel 4.1. Liikluskoormuse all käitub selline kiht osalt nagu kiht, mis ei allu tõmbepingetele ning osalt nagu viskoelastne materjal, mis talub ka korduvaid tõmbepingeid. Külmstabiliseerimissegu jäävpoorsus peab väljaande M KRC alusel jääma alla 12 mahu-%.

Teatud täitematerjalide puhul võib tekkida tekib nakkeprobleeme, st. täitematerjaliterade ja sideaine vahel jääb nake nõrgaks. Kihi tugevus nõrgeneb, kui materjal satub kokkupuutesse nt. veega. Vastupidist efekti annab näiteks lubja lisamine. Juba väikesed kogused (0,5-1,5 massi-%) võivad

kivimaterjaliterade vahelist naket oluliselt suurendada. Lisaks sellele toimivad lubi või ka tsement vahtbituumenite puhul dispersioonikatalüsaatoritena ja kiirendavad bituumeni lagunemisprotsessi.

4.2 Tsemendiga stabiliseerimine

4.2.1 Üldist

Tsement on kõige laialdasemalt kasutatav sideaine maailmas, seda kasutatakse rohkem kui kõiki teisi sideaineid kokku. Üheks põhjuseks on tsemendi kättesaadavus, kuna seda toodetakse enamikes riikides üle kogu maailma. Teiseks põhjuseks on selle võidukäik ehitusmaterjalina. Tsemendiga töötlemise kohta on olemas terve rida standardeid, katsemeetodeid ja spetsifikatsioone ning kümnete aastate vältel on tsemendiga stabiliseeritud kihid oodatust paremini vastu pidanud tuhandetel kilomeetritel teedel.

Tsemendiga stabiliseerimine nõuab paraku korralikku projekteerimist. Tsemendi lisamise esmaseks eesmärgiks on suurendada tugevust ning tähtsamaks projekteerimiskriteeriumiks on tõusnud kõikjal maailmas ühetelgne survetugevus (UCS). Siiski tuleb peale survetugevuse võtta arvesse ka teisi tegureid, nagu tugevuse suurenemise kiirus, tõmbepinged, pragunemise ja vastupidavuse probleemid. Neid käsitletakse järgmistes punktides.

4.2.2 Tugevust mõjutavad tegurid

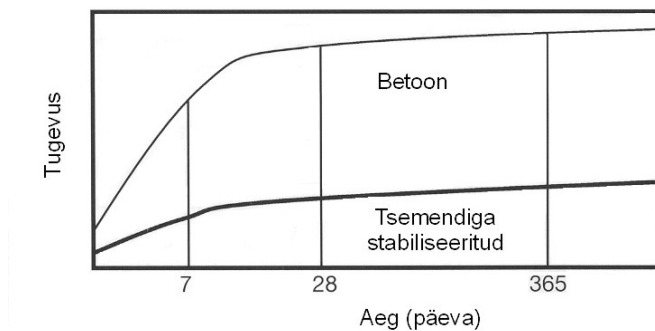
Tsemendiga stabiliseeritud materjalide surve- ja tõmbetugevus sõltub lisatud tsemendi kogusest, materjali tüübist ja tihendatud materjali tihedusest. Tavaliselt suureneb tugevus lineaarselt lisatud tsemendi kogusega, kuid erinevate materjalide ja tsemenditüüpide puhul on tugevuse saavutamise kiirus erinev. Lõpliku tugevuse määramisel mängib olulist rolli tihedus, samal ajal kui ümbritseva keskkonna temperatuur mõjutab otseselt tugevuse saavutamise kiirust. Mida kõrgem temperatuur, seda kiiremini saavutab materjal tugevuse. Osakeste vaheliste kristalliliste sidemete moodustumine algab niipea, kui tsement puutub segamisetapis kokku veega. Mõned moodustunud sidemed lõhutakse materjali struktuuri rikkumisel (tavaliselt tihendamisel) ning seega väheneb saavutatav tugevus. Seepärast on oluline, et materjal laotatakse ja tihendatakse pärast stabiliseerimist võimalikult kiiresti, kuna nii saavutatakse maksimaalne tihedus ning tihendatud materjali oodatav tugevus.

Eespool öeldu on eriti tähtis, kui ümbritseva keskkonna temperatuur ületab 40 °C ja materjal võib saavutada tugevuse väga kiiresti (nt amorfse räni reageerimisel). Sellistes tingimustes tuleks uurida võimalust kasutada portland tsemendi asemel mõnda muud sideainet, näiteks räbütsementi ja/või lubja segu, mis saavutab tugevuse aeglasemalt.

4.2.3 Tsemendiga stabiliseeritud kihtide pragunemine

Kõik tsementi sisaldavad materjalid, kaasa arvatud betoon, kipuvad pragunema. Tsementi sisaldavate materjalide tugevuse (nii surve- kui tõmbetugevuse) saavutamise kiirus sõltub ajast, nagu näidatud joonisel 4.2. Tõmbepinged tekivad tsemendiga stabiliseeritud materjalides mahukahanemise ja/või liikluskooormuse tagajärjel ja kui tõmbepinge ületab kriitilise piiri, tekivad praod.

Joonis 4.2 Tsementi sisaldavate materjalide tugevuse sõltuvus ajast



Selliseid pragusid on võimalik hoida kontrolli all ja seega pole need tingimata kahjulikud. Tuleb siiski pidada silmas, et tsemendiga stabiliseeritud materjalid pragunevad kahel väga erineval põhjusel. Esiteks keemilise reaktsiooni toimetel, kui tsement hüdratiseerub kokkupuutel veega ning pole seega seotud liiklusega. Liiklusest tingitud korduv koormamine põhjustab aga teist tüüpi pragunemist. Prao tekke ja arenemise mehhanism on kummalgi erinev ja seepärast vajavad need eraldi käsitlemist.

4.2.3.1 Praod, mille teke pole seotud liikluskoormusega

Tsemendiga töödeldud materjalide puhul on pragude teke vältimatu. Tsemendi hüdratiseerumise käigus moodustuvad kaltsiumsilikaadi komplekskristallid, sidudes materjali osakesed kokku. Lisaks soojuse tekkele ja paljudele teistele muutustele, mis keemilise reaktsiooni käigus aset leiavad, väheneb materjali maht, mille tagajärjel tekivad praod, mida kutsutakse mahukahanemispragudeks. Mahukahanemispraod on vältimatud ja on tsemendiga töötamise üheks iseärasuseks. Pragude intensiivsust (esinemissagedust) ja suurst (laiust) ehk pragunemise astet mõjutavad:

- tsemendi sisaldus. Hüdratiseerumise käigus aset leidev mahukahanemine sõltub tsemendi hulgast. Tsemendisalduse suurendamisel suureneb pragunemise aste ja see ongi üheks oluliseks põhjuseks, miks tsementi tuleb lisada ainult niipalju, kui on vaja projektnõuete saavutamiseks. Materjali tugevus ja vastupidavus peavad olema siiski tasakaalus ja seepärast pole alati võimalik hoida lisatava tsemendi kogust väiksena;
- stabiliseeritava materjali tüüp. Tsemendiga töötlemisel kahanevad ühed materjalid rohkem kui teised. Mõnede plastsete materjalide maht kuivas olekus erineb oluliselt mahust märjas olekus. Kui materjali plastsusarv on suurem kui 10, tuleks plastsuse vähendamiseks, ideaaljuhul mitteplastse oleku saavutamiseks, lisada lupja või lubja ja tsemendi segu;
- niiskussisaldus tihendamisel. Pragunemise aste sõltub kuivamise käigus kaotatud niiskuse hulgast. Niiskussisalduse (s.t vesitsementtegu) vähendamine tihendamisel nii, et see oleks alla 75% küllastustasemest, võib oluliselt vähendada pragunemise astet;
- kuivamise kiirus. Tsemendiga töödeldud materjali mahu kahanemisel tekivad sisemised pinged. Pragunemise astet saab määrata tugevuse saavutamise kiiruse ja mahukahanemispingete tekkimiskiiruse suhte järgi. Kui materjal kuivab kiiresti, on mahukahanemispinged suuremad kui tugevuse kasv ja praod tekivad tihedalt (2m x 2m), kusjuures praod on kitsad (juuspraod). Aeglase kuivamise puhul tekivad praod hõredamalt (6m x 4m), kusjuures praod on laiemad. Valmis pinna õige järelhooldusega välditakse pinna kuivamist ja vähendatakse pragude tihedust ja laiust.

Mahukahanemispragude iseloomulikuks jooneks on see, et nad on ülalt laiemad kui alt (kuivamine algab pinnalt) ja nende vertikaalne pind on ebakorrapärane, mistõttu liikluskoormus kandub üle kogu praod.

4.2.3.2 Liiklusest põhjustatud praod

Liiklusest põhjustatud praod tekivad siis, kui tsemendiga töödeldud materjal on kas ülekoormatud või kui materjali väsimuspiir on ületatud. Praod saavad alguse kihi põhjast, kus liiklusest põhjustatud tõmbepinged on maksimaalsed ja põhjustavad maksimaalset deformatsiooni. Kuna tsemendiga töödeldud kihid on jäigad ja suhteliselt kehvade elastsusomadustega, on nad ülekoormamise suhtes äärmiselt tundlikud.

Väsimuspragunemine tekib pärast korduvat koormamist, kusjuures koormamiskordi on võimalik ette prognoosida. Väsimuspraod ei tähenda veel, et materjal puruneb. Kiht suudab kanda liikluskoormust ka pragunemisjärgses seisundis, mida saab mudelleerida, vähendades tsemendiga töödeldud kihis elastsusmoodulit. Pragude tihedus ja laius suureneb sedamööda, kuidas kiht edasise korduva koormamise tagajärjel laguneb. Elastsusmooduli vähenemine ja läbipainde suurenemine jätkub, kuni materjal läheneb stabiliseerimiseelsele (sõmerale) seisundile.

4.2.4 Pealmise pinna purunemine

Tsemendiga stabiliseeritud kihi pealne pind puruneb, kui liikluse põhjustatud pinged ületavad materjali survetugevuse. Esmakordselt pandi sellist lagunemist tähele Lõuna-Aafrikas raske liiklusega teede suhteliselt õhukese töödeldud pinnaga tsemendiga kergelt töödeldud aluskihtides. Raskeveoki simulaatoriga tehtud katsetest selgus, et samasugune purunemine võib esineda sarnastel katenditel, kui suurendada rehvirõhku 520 kPa-lt, mis on normiks, 750 kPa-ni, mida on mõõdetud tegelikes tingimustes. Katsetest tehtud järeldused näitasid, et purunemine sõltub:

- stabiliseeritud kihi, eelkõige selle pealmise osa survetugevusest;
- katte paksusest ja tüübist;
- rehvirõhust ja teljekoormusest.

Katendi projekteerimisel tuleb selle kõigega arvestada. Probleemi saab lahendada survetugevuse ja nii stabiliseeritud kihi kui ka kattekihi paksuse suurendamisega. Kui teljekoormusi ei saada kontrolli alla, jääb ülekoormamine endiselt katendite enneaegse lagunemise peamiseks põhjuseks.

Lisaks sellele kipuvad tsemendiga stabiliseeritud alumised kihid purunema, kui katendit koormatakse raskeveokitega enne piisava tugevuse saavutamist. Nagu punktis 4.2.3 selgitati, toob tsemendi kasutamine kaasa survetugevuse kiire kasvu vahetult pärast materjali paigaldamist; 50% survetugevus saavutatakse 7 päeva jooksul ja 90% 28 päeva jooksul. Seega, kui alumise kihi lõplik survetugevus on 2 MPa, siis 3 päeva jooksul saavutatakse vähem kui 0,5 MPa survetugevus, mis tähendab seda, et kate on eriti tundlik aeglaselt liikuvate suure rehvirõhuga veokite suhtes.

4.2.5 Vastupidavusega seotud probleemid

Looduslike materjalide vastupidavus on seotud peamiselt murenemise ja üksikute osiste kvaliteedi halvenemisega ilmastiku mõjude ja korduva koormamise mõjul. Kvaliteedi halvenemine toimub aeglaselt ja materjali omadused jäävad tee eluea jooksul suhteliselt muutumatuks, eriti kui on tegemist kvaliteetse materjaliga. Kui aga halva kvaliteediga materjali stabiliseeritakse hüdrauliliste sideainetega, tuleb arvestada vastupidavust

puudutavate aspektidega. Teatud tingimustes võivad karboniseerumise ja ilmastiku mõjul materjali omadused lühikese aja jooksul muutuda.

Standardset kalifornia kandevõimeteguri CBR katset kasutatakse laialt looduslike materjalide tugevuse määramisel, kuid see pole piisavalt täpne tsementeerumise tagajärjel saavutatud tugevusnäitajate mõõtmiseks. Hüdrauliliste sideainetega stabiliseeritud materjalide tugevuse määramiseks võeti kasutusele survetugevuse katse ja vastavaid piirnorme (nt maksimaalne 4 MPa ja minimaalne 2 MPa) kasutatakse kõikjal maailmas. Uuringud on siiski näidanud, et survetugevus üksinda pole usaldusväärne vastupidavuse näitaja, kuna survetugevusnõuetele vastavad stabiliseeritud materjalid võivad laguneda lühikese aja jooksul. Seepärast tuleb tsemendiga stabiliseeritud materjalide piisava vastupidavuse, eelkõige karboniseerumise kahjustavale mõjule vastupidavuse tõestamiseks teha lisakatseid.

Karboniseerumise all mõeldakse keerulisi keemilisi reaktsioone, mis toimuvad vee kaasabil tsementeerunud materjalide ja süsinikdioksiidi vahel. Lihtsalt öeldes tekib reaktsiooni tulemusel vabadest kaltsiumi ionidest (mida tsemendiga töödeldud materjalides alati leidub) kaltsiumkarbonaat ning molekulaarstruktuuri muutuste tõttu suureneb materjali maht. Kui mahu suurenemisest tingitud jõud kutsuvad materjalis esile kriitilisest piirist suuremad tõmbepinged, hakkab materjal lagunema.

Seda nähtust tuntakse hästi betoonitööstuses, kuid probleeme põhjustab see harva, kuna betooni tugevus on alati palju suurem kui karboniseerumisest tingitud pinged. Lisaks sellele kasutatakse betooni valmistamisel täiteainena killustikku. Suhteliselt halva kvaliteediga materjalide stabiliseerimisel väheste tsemendikogusega see aga nii ei ole. Karboniseerumise kahjustavat mõju on hakatud arvestama alles hiljuti, pärast mitmeid projektide raames tehtud uuringuid, kus oli tegemist tsemendiga stabiliseeritud kihtide enneaegse purunemisega. Praktiliselt kõikidel juhtudel oli purunemise põhjuseks karboniseerumine, millega kaasnes kihi tugevuse kadu. Kui sideainena kasutatakse kustutatud lubja (Ca(OH)_2), muutub see karboniseerumisreaktsiooni käigus lubiväetiseks (CaCO_3). Nii elimineeritakse lubja poolt esile kutsutav plastsuse vähenemine ning katendi kiht muutub liikluskoormusest tingitud deformatsioonidele vastuvõtlikuks.

Karboniseerumise potentsiaali määramiseks võib läbi viia vastupidavuskatsele sarnaseid katseid, näiteks märjalt/kuivalt harjamise (kas käsitsi või spetsiaalse seadme abil) katset. Nende katsete põhjendatuse ja korratavuse suhtes on siiski lahkarvamusi. Muud katsed, nagu esialgse lubja vajaduse (ICL) või esialgse tsemendi vajaduse (ICC) katse (määratakse minimaalne lubja või tsemendi kogus, mis põhjustaks pikemaajalisi protsesse, näiteks BS 1924:1990), on muutumas üha populaarsemaks, eriti kui on tegemist kehva kvaliteediga materjali (halb survetugevus ja plastsusarv üle 10) stabiliseerimisega. Uuringud praegu jätkuvad ja tehakse ettepanekuid uute katsete, näiteks jääksurvetugevuse katse, kasutusele võtmiseks, mille puhul puutub katsekeha kiirendatud korras kokku süsinikdioksiidi ja veega. Aja jooksul töötatakse välja ka täpsed juhised. Selle ajani on aga teadlased ühisel seisukohal, et karboniseerumisest tingitud purunemise vältimiseks on kõige õigem jälgida tõmbetugevuse näitajaid. 250 kPa minimaalse tõmbetugevuse saavutamiseks tuleb lisada piisav kogus tsementi, hoolimata sellest, kas survetugevus ületab piirnormi või mitte.

Karboniseerumise ohtu võib uurida mitmete erinevate laboritestide abil. Menetluskäik seisneb survetugevuse määramises, kui proovikeha on esmalt asetatud süsinikdioksiidi keskkonda ja seejärel vette. Kõige sobivam meetod selliste kahjustuste ennetamisel on lõhestus-tõmbe tugevuse kindlaks määramine. Tsemendisisaldus tuleb valida selliselt, et lõhestus-tõmbetugevus on vähemalt 0,25 N/mm².

Vastavalt väljaandes M KRC sätestatule peab hüdraulilist sideainet sisaldava külmstabiliseerimissegude tõmbe-lõhestustugevus 28 päeva möödudes jääma vahemikku 0,75 – 1,20 N/mm².

4.2.6 Tsemendiga töötlemine

Nagu eespool kirjeldatud, on tsemendiga töödeldud materjalide puhul probleemiks vältimatu mahukahanemine. Pragunemise aste ja stabiliseeritud kihtide üldine kvaliteet sõltuvad järgmisena käsitletavatest teguritest.

4.2.6.1 Seguprojekt.

On esmatähtis, et nõuetele vastav seguprojekt oleks tehtud tsemendiga töödeldavate materjalidele sarnaste proovidega. (Näide selle kohta on toodud 2. lisas). Nõutava tugevuse ja vastupidavuse saavutamiseks on erinevatele materjalidele vaja lisada ka erinev kogus tsementi.

4.2.6.2 Tsemendi kvaliteet

Tsemendil on kindel eluiga ja reeglina tuleks tsement ära kasutada kolme kuu jooksul alates selle tootmisest. Tsemendi vanust on aga raske määrata, eriti kui seda tarnitakse puistena. Kui tsemendi vanuse või mõne muu kvaliteediomaduse kohta on kahtlusi, tuleb võtta proovid ja kontrollida tsemendi tugevusnäitajaid.

4.2.6.3 Tsemendi tüüp

Vältida tuleks kiirkivinevaid tsemente.

Kasutusel on hüdraulilised sideained, mida on kirjeldatud normis DIN EN 197-1 või ka normis DIN 18506 kirjeldatud sideaine, kui see on oma omaduste poolest sobiv. Kiirkõvenevat tsementi võib külmstabiliseerimisel kasutada ainult erandjuhtudel.

4.2.6.4 Ühtlane laotamine.

Tsemendi laotamiseks on neli erinevat moodust. Esimese kolme puhul laotatakse kuiv tsemendipulber olemasoleva tee pinnale enne stabiliseerimist, neljanda puhul pritsitakse tsemendi lobri freeskambrisse stabiliseerimise ajal.

Kottides kohalevedu ja käsitsi laotamine. Meetod on populaarne arenguriikides, kus on palju odavat tööjõudu. Kui teepind on eelnevalt märgistatud võrgustikuga, mis tähistab ühe kotitäiega kaetavat ala, on võimalik saavutada märkimisväärset täpsust. Pärast laotamist silutakse tsement ühtlaseks tihedaks kihiks kummiservaga kaabitsatega;

Joonis 4.3 Tsemendi käsitsi laotamine



Puisteseadmete (laoturite) kasutamine. Seda meetodit kasutatakse kõige rohkem. Tsemendi teepinnale laotamiseks ettenähtud koguses kasutatakse mitmeid erinevaid süsteeme (lintkonveierit, tigu toiteseadet, pneumokonveierit), kusjuures igaühel neist on oma eelised ja puudused. Kulunormi kindlakstegemiseks viiakse läbi presenditüki katse. Kõikidel puisteseadmetel (laoturitel) on piirangud ning väga väikeste koguste (< 2%) laotamisel tuleb olla ettevaatlik.

Joonis 4.4 Tsemendi laotamine laoturiga



Kuiva tsemendi laotamist mõjutab ilm, eriti tuul ja vihm. Tsement on peeneteraline lenduv pulber, lennates õhku juba kerge tuulehooga, kaasa arvatud mööduvate veokite põhjustatud tuulega. Tuulest põhjustatud kaod vähendavad kulunormi ebaühtlaselt. Laotatud tsemendile langev vihm käivitab hüdratiseerumisprotsessi ning seepärast tuleb tsement kohe segada või sellest meetodist loobuda;

Laotamisseadmega segamisfreesi kasutamine. WR 2500 SK on standardse segamisfreesi täiendatud variant, millel on 4 m³ kolu otse juhikabiini taga. Tsement või lubi liigub kolust lüüsi kaudu laotamisseadmeni, mis laotab tsemendi või lubja ühtlase kihina teele vahetult freesimis- ja segamistumli ette. Kui laotada tsement vahetult segamisfreesi ette, siis selline tolmuvaba laotamisviis on täpne alates 2% kulunormist kuni 6% kulunormini, ning lahendab kõik ilmastikust tulenevad probleemid.

Joonis 4.5 Tsemendi laotamine segamisfreesiga Wirtgen WR 2500 SK



Lobri sissepritse. WM 1000 on mõeldud spetsiaalselt tsemendi ja vee eelsegamiseks, et saavutada tihendamiseks optimaalset niiskussisaldust (OCMC). Segamisel moodustunud lobri peab olema piisavalt vedel, et seda saaks pumbata segamisfreesi ja pihustada dosaatori kaudu segamiskambrisse. Vee ja tsemendi suhe lobris on tavaliselt 1:1, kuid

enamasti on tihendamiseks optimaalse niiskussisalduse saavutamiseks vaja lisada rohkem vett.

Joonis 4.6 Tsemendi lisamine lobrina lobrisegistiga Wirtgen WM 1000



Tsemendi ühtlaseks jaotamiseks stabiliseeritavas materjalis on lobri sissepritse meetod kõige täpsem. Meetodit soovitatakse kõikide kulunormide puhul, eelkõige suurte kulunormide (> 4%) puhul sügavstabiliseerimisel (> 200mm), kui tsemendi laotamine puistena muutub võimatuks ruutmeetritele laotatava tsemendi koguse tõttu. Kui tsemendikihi paksus ületab 25 mm, tuleb konsistentsi säilitamiseks olla väga ettevaatlik (eriti kui veetsisterni lükatakse segamisfreesi ees) ning jälgida, et freesimis- ja segamiskambri eesmine luuk ei lükkaks pulbrit nagu buldooser. Kõik need probleemid lahenevad lobri kasutamisel.

Koos bituumensideainetega lisatavaid väikesi kulunorme (1% ja vähem) on kõige parem lisada tsemendilobrina, kuna nii on tagatud ühtlane jaotumine stabiliseeritavas materjalis.

4.2.6.5 Ühtlane segamine

On tehtud palju katseid, mis on tõestanud, et kui suured segamisfreesid töötavad konkreetse objekti võimalustele vastava kiirusega (tavaliselt vahemikus 6–12 m/min), on nende segamisvõime sama hea kui tehaste seguritel. Traditsioonilisi laboris määratud varutegureid, mida kasutatakse sideainete kulunormide puhul, võib moodsate segamisfreesidega töötades vähendada (või hoopis ära jätta).

4.2.6.6 Vee lisamine

Mahukahanemispragude ja tihendamisaegse pundumise vältimiseks tuleb tsemendiga stabiliseeritud materjali töödelda võimalikult kuivalt. Vajadusel tuleb vett pritsida alati freesimis- ja segamiskambris kontrollitult, et saavutada niiskusesisaldus, mis ei ületaks ühelgi juhul materjali optimaalset niiskussisaldust.

4.2.6.7 Järelhooldus

Tsemendiga stabiliseeritud kihi pind ei tohi ära kuivada vähemalt seitsme päeva jooksul pärast valmimist. Nagu eespool kirjeldatud, tekivad pinnale mahukahanemispraod, kui pind kuivab enne vajaliku tugevuse saavutamist. Ära kuivamist saab vältida, kui pritsida pinda veega regulaarselt. Teise variandina võib kuivamise vältimiseks teha ajutise katte, kui kihti kavatakse liiklusega koormata. Reeglina tuleb tsemendiga töödeldud materjalid alati võimalikult ruttu kinni katta karboniseerumise vältimiseks.

4.2.6.8 Temperatuur

Kui ümbritseva keskkonna temperatuur on kõrgem kui 25 °C, tuleks valida lühikesi teelõike ning töödelda ja viimistleda võimalikult kiiresti, et vältida varajase tugevuse kadu tihendamisel.

Valmis kihi kvaliteeti hinnatakse sageli segamisfreesi tagant võetud proovidest valmistatud proovikehade surve- ja tõmbetugevuse järgi. Seejuures on oluline jälgida, kui palju aega kulub proovide võtmisest objektil proovikehade tihendamiseni laboris. Katsed tuleb läbi viia tegelikkusele vastavates tingimustes. Viivitus võib vähendada materjali tugevust, kuna tsement hüdratiseerub ja saavutab tugevuse, mis tihendamise käigus kaob.

4.2.7 Varajane koormamine

Väljaspool päevast tööaega avatakse tee liiklusele kogu laius. Tihti väljendatakse kahtlusi tsemendiga stabiliseeritud materjalide varajase koormamise suhtes. Muretsemiseks on siiski põhjust ainult juhul, kui teljekoormused on suured (vt punkt 4.2.4) ja järelhooldust ei tehta korralikult. Pinna enneaegne kuivamine võib viia katte murenemiseni ja tugevuse kaoni kihi ülemises osas, põhjustades lõpuks lõõkaukude teket. Seepärast tuleb pind sagedase kerge kastmisega hoida niiskena.

4.2.8 Tsemendiga stabiliseeritud materjalide tüüpilised omadused

Tsemendiga stabiliseerimisel tuleb pöörata tähelepanu järgmistes punktides käsitletud aspektidele.

4.2.8.1 Tugevus

Tsemendiga stabiliseeritud materjalide tugevusomaduste hindamisel on võrdselt olulisteks parameetriteks surve- ja tõmbetugevus.

Tsemendiga töödeldud materjalide tugevusomaduste hindamiseks kasutatakse tavaliselt survetugevuse katset. Survetugevus määratakse proovikehadel, mida on hoitud 7 päeva keskkonnas, mille temperatuur on 22 °C ja niiskus üle 95 %. Mõned katsemeetodid lubavad kõvenemist kiirendada.

Tabelis 4.1 on esitatud tsemendi kulunormid (väljendatuna protsendina lõpliku tiheduse saavutanud stabiliseeritud materjali kuivtihedusest) kahe survetugevuskategooria puhul: kergelt tsementeerunud (alla 4 MPa) ja tsementeerunud (kuni 10 MPa).

Tabel 4.1 Tüüpilised tsemendi kulunormid (massiprotsentides)		
Materjali tüüp	Lõplik survetugevus	
	< 4 MPa	kuni 10 MPa
Asfaldipuru/killustik (segu 50:50)	2,0–2,5	4,0–6,0
Fraksioneeritud killustik	2,0–3,0	4,0–6,0
Looduslik kruus (PI<10, CBR>30)	4,0–6,0	5,0–8,0

Hoiatus jämedateraliste materjalide kasutamisel: kuna on võimalus, et proovikeha sees moodustuvad nn kividest võlvad (täitematerjali terad toetuvad teineteise peale), võivad survetugevuse mõõtmistulemused näidata kivide (täitematerjali terade), mitte segu tugevust. Ootamatult suurte tugevusnäitajate puhul tuleb proovikeha visuaalselt uurida, et teha kindlaks, kui palju täiteaine katse käigus purunes.

Tõmbetugevuse katse on muutumas üha tähtsamaks just pikaajalise vastupidavuse määramisel. Nagu kirjeldati punktis 4.2.5, näitavad viimased uuringud, et karboniseerumisest tingitud purustavate jõudude mõju vältimiseks peab materjali tõmbetugevus olema vähemalt 250 kPa.

Väljaandes M KRC on soovitatav lisada tsementi 3 – 6 massi-% (vahtbituumeni puhul 1-3 mahu-%). Tugevuse määramiseks teostatakse 7 või ka 28 päeva vanustele proovikehadele lõhestus-tõmbetugevuse katse.. Nõutavad väärtused on toodud eespool.

4.2.8.2 Töötlemise aeg

Materjali segamine, paigaldamine/laotamine, tihendamine ja viimistlemine tuleks läbi viia võimalikult lühikese aja jooksul. Tsemendiga töötlemise puhul kulub selleks tavapäraselt tehnoloogiat kasutades 4 tundi, arvates hetkest, mil tsement puutub esmakordselt kokku veega, kuni ajani, mil tihendamine on lõpetatud. Kui on aga võimalus, et materjal saavutab tugevuse kiiresti, on see aeg liiga pikk (vt punkt 4.2.2). Seepärast on vaja viia see aeg miinimumini. Moodsate segamisfreeside ja rullide kasutamisega on õige planeerimise puhul võimalik lühendada seda aega niipalju, et see jääb alla ühe tunni.

4.2.8.3 Tihedus

Tihendamise eesmärgiks peaks olema alati maksimaalse võimaliku tiheduse saavutamine antud tingimustes. Minimaalseks tiheduseks loetakse tavaliselt protsenti modifitseeritud AASHTO tihedusest, mis tsemendiga töödeldud aluste puhul jääb enamasti vahemikku 97–100%. Mõnel juhul on lubatud kõrvalekaldeid ja selleks määratakse keskmine tihedus. See tähendab, et tihedus kihi pealmises osas võib olla suurem kui alumises osas. Kihi alumises kolmandikus mõõdetud tihedus võib olla kuni 2 % väiksem määratud keskmisest tihedusest. Seega, kui keskmiseks määratud tiheduseks on 100%, peab tihedus kihi põhjas olema ületama 98%.

Tihendamisel tuleb suurema vastupidavuse saavutamiseks tagada suurim võimalik tihendusaste. Külmsobiliseeritud kihtide puhul on väljaandes M KRC toodud väikseim lubatud tihendusaste 98 % (96 %, kui aluskihi E_{V2} on $\leq 80 \text{ MN/m}^2$).

4.3 Bituumeniga stabiliseerimine

Teedeehituses kasutatakse bituumenit sideainena mitmel erineval moel. Ümbritseva keskkonnaga samal temperatuuril on bituumen väga viskoosne vedelik, mida ei saa töödelda. Bituumenit saab muuta töödeldavaks neljal viisil:

- tõstes temperatuuri;
- segades lahustitega (vedeldatud bituumen);
- emulgeerides veega, et tekiks bituumenemulsioon;
- moodustades ajutises madala viskoossusega olekus vahtbituumeni.

Esimest kahte võimalust külmsobiliseerimisel kasutada ei saa. Esimesena tuleb kõne alla kuuma asfaltbetooni valmistamine, mille puhul tuleb täiteainet eelnevalt soojendada ja kuivatada. Teiseks võimaluseks on kasutada kalleid lahusteid, mis aga on ohtlikud saasteained ja nende kasutamine pole soovitatav. Järgmises kahes osas keskendutakse bituumenemulsioonile ja vahtbituumenile, mis bituumensideainetest ainsana tulevad stabiliseerimisel kõne alla. Nagu punktis 4.1.3. kirjeldati, võib bituumenemulsiooni kasutada ka 100% asfaldipuru uuendamisel, kuid käesolevas osas keskendutakse ainult stabiliseerimisele. (Asfaldipuru ja külmsuguasfaldi töötlemise kohta vaata täpsemalt ARRA väljaannet „Basic Asphalt Recycling Manual“).

Tabelis 4.2 kirjeldatakse kolme bituumeniga töötlemise protsessi rakendusi. Tabelis võrreldakse töötlemise erinevaid etappe.

Tabel 4.2 Bituumeni erinevate rakenduste võrdlus			
Tegur	Bituumenemulsioon	Vahtbituumen	Kuum asfaltbetoon
Täiteaine tüübid	- killustik - looduslik kruus - asfaldipuru, külmsugu - asfaldipuru, stabiliseeritud	- killustik - looduslik kruus - asfaldipuru, stabiliseeritud - halva kvaliteedilised (liivad)	- killustik - 0–50% asfaldipuru
Bituumensugu temperatuur	20 °C – 70 °C	(enne vahustamist)	140 °C – 180 °C
Täiteaine temperatuur segamise ajal	Ümbritseva keskkonna temperatuur (külm)	Ümbritseva keskkonna temperatuur (külm)	Ainult kuum
Niiskussisaldus segamise ajal	90% optimaalsest niiskussisaldusest miinus 50% emulsiooni sisaldusest	Alla optimaalse niiskussisalduse, nt 65–95% optimaalsest niiskussisaldusest	Kuiv
Täiteaine katmise tüüp	Jäme fraktsiooni osaline katmine ja nakkumine bituumeni / peenfraktsiooni seguga	Peenfraktsiooni katmine nn “punktkeevituse punkti kohtades” ainult bituumeni / peenfraktsioonide seguga	Kõikide täiteaine osiste katmine ühtlase õhukese kihiga
Paigaldus- ja tihendamistemperatuur	Ümbritseva keskkonna temperatuur	Ümbritseva keskkonna temperatuur	
Algtugevuse saavutamise kiirus	Aeglane	Keskmine	Kiire
Sideaine modifitseerimine	Jah	Ei ole võimalik	Jah
Sideaine olulised parameetrid	- emulsiooni tüüp (anioonne, katioonne) - jääkbituumen - lagunemisaeg - kõvenemine	- poolestusaeg - paisumisaste	- penetratsioon - pehmenemistäpp - viskoossus

4.4 Stabiliseerimine bituumenemulsiooniga

4.4.1 Üldist

Algselt töötati bituumenemulsioonid välja selleks, et lihtsustada tööd kuuma bituumeniga. 1970. aastate kütusekriisi ajal tekkis vajadus vähendada energiatarbimist ning see omakorda andis tõuke täiteainete stabiliseerimisele emulsioonidega, kaasa arvatud segamisele niiskete materjalidega tavatemperatuuril.

Emulsioon koosneb kahest omavahel segunematust vedelikust, kus üks on dispergeeritud (0,001–0,01 mm väikeste kuulikeste või tilgakestena) ning teine on tavaolekus. Vedelikud dispergeeritakse mehaaniliselt kolloidveskis. Standardses bituumenemulsioonis on bituumen dispergeeritud tilgakestena vees, kusjuures bituumeniosakeste taasühinemine hoitakse ära pindaktiivse ainega (emulgaatoriga), mis moodustab tilgakeste ümber ioniseeritud emulgaatori molekulidest elektrostaatilisest jõuvälja. (Inverteeritud emulsioonides on vesi dispergeeritud ja bituumen tavaolekus. Selliseid emulsioone stabiliseerimisel ei kasutata).

Enamikel stabiliseerimiseks kasutatavatel emulsioonidel on jääkbituumeni sisaldus 60%, mis tähendab, et 60% emulsiooni mahust moodustab bituumen ja 40% vesi. Bituumeni protsent võib olla vahemikus 30–70%, kuid stabiliseerimiseks ei soovitata kasutada emulsioone, mille bituumeni sisaldus ületab 60%, kuna need muutuvad viskoosseks, halvasti pumbatavateks ja täiteaine emulsiooniga kaetavus väheneb.

Pärast materjaliga segamist toimub emulsiooni lagunemise protsess, mille käigus bituumen eraldub veest, bituumeni osakesed ühinevad ning moodustavad täitematerjali pinnale ühtlase kihi. Üleliigne vesi talletub segus. Aega, mis kulub segamisest bituumeni osakeste eraldumiseni veest, nimetatakse lagunemisajaks.

Lagunemise protsessile järgneb kõvenemine, mille käigus vesi eraldub segust (esmajoones aurustumise tagajärjel) ning bituumenemulsiooniga stabiliseeritud kihi jäikus ja tõmbetugevus suurenevad. See on oluline, kuna segu peab saavutama jäikuse ja osakeste vahelise nidususe enne selle koormamist liiklusega.

Lagunemist ja sellele järgnevat kõvenemist mõjutavad järgmised tegurid:

- täiteainesse imendunud vee kogus (karedapinnaliste poorsete täiteainete puhul lagunemis- ja tardumisaeg lüheneb, kuna need imavad emulsioonis sisaldunud vee endasse);
- segu niiskussisaldus enne segamist mõjutab lagunemisaega;
- segu niiskussisaldus pärast tihendamist mõjutab kõvenemiskiirust;
- täiteaine terakoostis ja segu poorsus (saavutatud tihedus);
- emulsiooni tüüp ja kvaliteet. Emulgaatori kõrge ioonisisaldus tagab stabiilsema emulsiooni;
- pumpamisest, tihendamisest ja liiklusest põhjustatud mehaanilised jõud;
- täiteaine mineraalne koostis, s.t et kõvenemise kiirust võib mõjutada emulsiooni ja täiteaine pinna vaheline füüsikaline-keemiline vastasmõju;
- täiteaine ja emulsiooni elektrilise laengu intensiivsuse suhe;
- täiteaine ja õhu temperatuurid, kuna soojus kiirendab keemilisi reaktsioone ning põhjustab vee kiiremat hajumist ja aurustumist;
- filleri protsent ja tüüp (s.t tsemendi või lubja kogus).

Tsementi kasutatakse tavaliselt koos bituumenemulsiooniga. Lisaks jääktugevuse ja niiskuskindluse suurendamisele käitub tsement katalüsaatorina, mõjutades lagunemisaega ja suurendades varajast tugevust ning võimaldades seeläbi katendit kiiremini koormata. Tsemendi ja bituumenemulsiooni kombineerimist käsitlevad uuringud on näidanud, et tsementi võib lisada kuni 1,5 massi%, ilma et stabiliseeritud kihi väsimusnäitajad oluliselt halveneksid.

Vastavalt normile DIN 1995-3 on bituumenemulsioon vette disperseeritud naftabituumen, kus bituumen on vees tilgakeste kujul (läbimõõt 0,001-0,01 mm). Pindaktiivne aine (emulgaator) hoiab ära bituumentilgakeste kokkukleepumise, bituumentilgakeste ümber on tekkinud eletrostaatiline väli.

Teedeehituses kasutatavate bituumenemulsioonide bituumenisisaldus on 60-70 massi-%, veesisaldus seega 30-40 massi-%. Külmsabiliseerimise puhul ei saa suurema kui 60 massi-% bituumenit soovitada, kuna viskoossus on liiga suur. Tagajärjeks on liiga suur takistus pumpamisel ja kivimaterjali osakesed ei ole täielikult bituumeniga kaetud.

4.4.2 Emulsiooni tüübid

On olemas kolme tüüpi bituumenemulsioone:

- anioonne emulsioon, mis saadakse negatiivse laenguga emulgaatorite, näiteks rasvhapete, kasutamisel. Emulgaatorid pannakse reageerima naatriumhüdroksiidiga, mille tulemusel eralduvad lahusesse ioonid;
- katioonsed emulsioonid, mis saadakse positiivse laenguga emulgaatorite, näiteks amiinide, kasutamisel. Enne kasutamist peavad emulgaatorid reageerima happega (tavaliselt soolhappega). Amiini tüübist (nt diamiin või alkoksülaatamiin) sõltub, kas lagunemine toimub vastavalt kiiresti või aeglaselt;
- mitte-ioonne emulsioon, mis saadakse laenguta emulgaatorite kasutamisel. Külmslabiliseerimisel neid emulsioone ei kasutata.

Nii anioonses kui katioonses emulsioonides kontrollivad emulgaatorid lagunemiskiirust keemiliselt, aeglustades või kiirendades seda. Emulsioone, mille lagunemisaeg on pikk, s.t 30 minutist 1,5 tunnini või pikem, nimetatakse stabiilseteks ehk "aeglaselt tarduvateks" ning neid, mille lagunemisaeg on lühike, nimetatakse mittestabiilseteks ehk kiirtarduvateks emulsioonideks.

Bituumeni osakeste ionide laeng mõjutab nende tõmbumist täitematerjali pinnale, sõltuvalt täiteaine keemilisest koostisest. Näiteks peakivi on aluseline täiteaine, graniit ja kvartsiid happelised. Tabelis 4.3 on võetud kokku bituumenemulsiooni ja täiteaine vastasmõju.

Tabel 4.3 Bituumenemulsiooni sobivus täiteainega			
Emulsiooni tüüp	Täiteaine tüüp	Omadused	
		Lagunemiskiirus	Nakkuvus
Anioonne	Happeline	Aeglane	Kehv
Anioonne	Aluseline	Keskmine	Hea
Katioonne	Happeline	Kiire	Väga hea
Katioonne	Aluseline	Kiire	Hea

Peamine põhjus bituumeni emulgeerimiseks on see, et bituumenit saaks segada külmade niiskete materjalidega. See on vahefaas, kuna lõppeesmärgiks on saada bituumeniga seotud materjal ning selleks, et bituumen käituks sideainena, peab ta eralduma suspensioonist. Seepärast on segu käitumise seisukohalt olulised lagunemistingimused ja sellele järgnev kõvenemisrežiim.

Kuigi stabiliseerimisel võib kasutada nii anioonseid kui katioonseid emulsioone, on tabeli põhjal ilmne, et sügavstabiliseerimiseks sobib katioonne paremini. Paksude kihtide stabiliseerimisel on tähtis tagada emulsiooni võimalikult kiire lagunemine, kahjustamata segamist ja tihendamist. See saavutatakse kõige paremini katioonsete emulsioonide kasutamisega.

Anioonsete ja katioonsete emulsioonide lagunemiskiirust reguleeritakse emulgaatori abil. Emulsioone, mille lagunemisaeg on pikk, kestab 30 minutist 1,5 tunnini, nimetatakse stabiilseteks emulsioonideks. Neid emulsioone tähistatakse tüübitähisega S. Kiiresti lagunevaid emulsioone nimetatakse ebastabiilseteks ja nende tüübitähis on U.

4.4.3 Bituumenemulsiooniga töötlemine

Bituumenemulsiooniga stabiliseerimisel on olulised järgmised punktid.

4.4.3.1 Seguprojekt

Nagu igasuguse stabiliseerimise puhul, on nõutavate tugevuskriteeriumite saavutamiseks vajalike koguste määramiseks oluline järgida seguprojekti koostamise protseduuri. (Näide selle kohta on toodud 2. lisas). Optimaalse või soovitud tugevuse saavutamiseks on erinevatele materjalidele vaja lisada erinev kogus bituumenemulsiooni.

4.4.3.2 Koostis

Konkreetsetele vajadustele vastava emulsiooni saamiseks kasutatakse emulgaatoreid ja sideaineid erinevates kogustes. Peale vette suspendeeritud jääkbituumeni koguse määramise on sellise varieerimise eesmärgiks kontrollida, millistes tingimustes bituumen eraldub. Kuna emulsiooniga segatava materjali tüüp mõjutab stabiilsust (lagunemisaega), on oluline anda tootjale stabiliseeritava materjali iseloomulik proov. Õige koostise väljatöötamist ja katsetamist silmas pidades on oluline edastada teave ka bituumenemulsiooniga koos lisatava filleri kohta.

4.4.3.3 Käsitsemine

Bituumenemulsioonid on tundlikud temperatuuri ja rõhu suhtes. Et bituumen ei eralduks suspensioonist liiga vara tuleb selgeks teha, millistel tingimustel eraldumine toimub (aeglaselt või kiiresti). Tootja peab teadma, millised tingimused on objektil ning lisaks peab ta teadma üksikasju emulsiooni ühest tsisternautost teise ja emulsiooni dosaatorini pumpavate pumpade kohta. Näiteks anioonse ja katioonse emulsiooni segunemise tagajärjel toimub silmapilkne lagunemine ning pumbad ja voolikud lähevad viskoossest bituumenist umbe. Seda saab vältida, kui emulsioone tähistatakse ja ladustatakse hoolikalt ning tagatakse, et jaotussüsteemides pole varem kasutatud emulsiooni jääke.

4.4.3.4 Vedeliku summaarne sisaldus

Bituumenemulsiooniga stabiliseerimise puhul on kõige olulisem kontrollida stabiliseeritava materjali niiskussisaldust ning seepärast käsitletakse seda põhjalikumalt punktis 4.4.4.

4.4.3.5 Tihendamise aeg

Emulsiooni lagunemisel eraldub bituumen suspensioonist ja vedeliku viskoossus suureneb oluliselt. Stabiliseeritava materjali üksikud osakesed kattuvad kas üleni või osaliselt külma ja viskoosse bituumeni kihiga, muutes materjali raskesti tihendatavaks. Seepärast tuleb tihendamine lõpetada kas enne emulsiooni lagunemist või selle ajal.

4.4.3.6 Kvaliteedikontroll

Tugevuskatseteks vajalikud proovikehad valmistatakse tavaliselt segamisfreesi tagant võetud proovidest. Proovikehad tuleb valmistada enne kui emulsioon laguneb, kuna ainult nii saadakse katsekehad, mis on sarnased teekattes oleva tihendatud materjaliga. Tihti on võimalik selliseid proovikehi valmistada üksnes teiseldata Marshalli tihendusseadmega kohapeal. Teise võimalusena võib võtta teest puurproove, kui kiht on täielikult kõvenenud.

4.4.3.7 Kõvenemine

Tugevuse saavutamiseks peab emulsioon vabanema üleliigsest veest. Kuigi osa bituumenemulsiooniga stabiliseeritud materjale võivad saavutada täieliku tugevuse lühikese ajaga (ühe kuuga), võib mõnede materjalide kõvenemine võtta aega rohkem kui aasta. Kõvenemise aeg sõltub kohapealse materjali niiskussisaldusest, emulsiooni ja täiteaine

vastasmõjust, kohalikust ilmastikust (temperatuurist, sademetest ja niiskusest) ning segu poorsusest.

Tsemendi lisamine mõjutab oluliselt tugevuse saavutamise kiirust. See on eriti kasulik juhtudel, kus sõidukid tuleb lubada teele vahetult pärast stabiliseerimist, vt punkt 4.4.1. Uuringud on näidanud, et enam kui 2 massi% tsemendi lisamine mõjub halvasti stabiliseeritud kihi väsimusomadustele. Seepärast piirdatakse tavaliselt kuni 1,5% tsemendi lisamisega ning 2% on absoluutne maksimumkogus, mida ei tohi ületada.

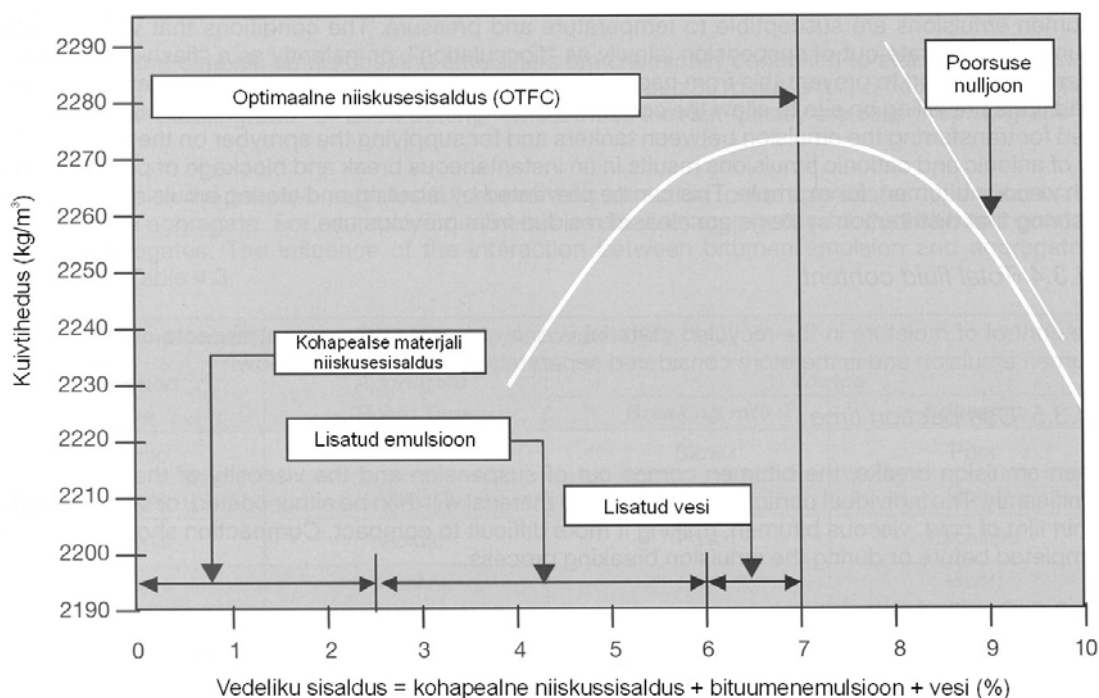
Külmstabiliseeritud kiht saavutab oma lõpliku tugevuse alles siis, kui niiskus on täielikult aurustunud. Reeglina kestab kuivamine ühe kuu. Ebasoodsate ilmastikutingimuste puhul võib kuivamine kesta ka kauem. Kuivamisperioodi pikkus oleneb niiskusesisaldusest, adhesiooniomadustest, lokaalsetest ilmastikutingimustest (temperatuur, sademed ja õhuniiskus) ning ka kasutatud segu poorsusest.

Protsessi kiirendab oluliselt tsemendi lisamine. Sellisel juhul võib külmstabiliseeritud teelõigu peagi jälle liiklusele avada.

4.4.4 Vedeliku summaarse sisalduse kontseptsioon

Bituumenemulsioonide puhul kasutatakse niiskuse ja tiheduse suhte määratlemiseks niiskussisalduse mõiste asemel mõistet „vedeliku kogusisaldus”. Maksimaalne tihedus saavutatakse niiskuse optimaalse sisalduse (OTFC) juures, mis on niiskuse ja bituumenemulsiooni summaarne mass segus. Enne lagunemist on bituumenemulsioon vedelik, mille viskoossus on veidi suurem vee omast. Emulsioonis olevad bituumeni- ja veeosakesed käituvad tihendamisel määrdena ja seega tuleb mõlemat käsitleda vedelikuna. Näide on esitatud joonisel 4.7.

Joonis 4.7 Näide bituumeniemulsiooniga stabiliseeritud materjali niiskusesisalduse kohta



Näites on kohapealse materjali niiskussisaldus 2,5% ning stabiliseerimise käigus lisatakse bituumenemulsiooni 3,5%. Tavalistes tihendamistingimustes on materjali optimaalne niiskussisaldus 7%. Selle saavutamiseks tuleb stabiliseerimise käigus lisada 1% vett või rohkem tihendada (vt punkt 6.5). Kui vedeliku kogusisaldus läheneb materjali

küllastuspunktile (näidatud poorsuse nulljoonega), tekivad teerulli all hüdraulilised rõhud, mis põhjustavad materjali lainetamist. Sellistes tingimustes on materjali võimatu tihendada.

Kui kohapealse materjali niiskussisaldus on kõrge (s.t läheneb optimaalsele niiskussisaldusele), ületab materjali niiskussisaldus bituumenemulsiooni lisamisel küllastuspunkti. Emulsiooni koguse vähendamisega olukord ei parane, kuna nii halveneb stabiliseeritud kihi kvaliteet. Kõne alla ei tule ka tsemendi lisamine segusse, kuna see imab küll üleliigse niiskuse, kuid suurendab materjali jäikust. Kohapealse materjali kõrge niiskussisalduse puhul on kõige mõistlikum kasutada olemasoleva katendi eelpurustamist, kuna nii puutub materjal õhuga paremini kokku ning jõuab enne stabiliseerimist piisavalt kuivada.

Laboritingimustes määratakse optimaalne niiskusesisaldus ja seejuures saavutatav maksimaalne kuivtihedus (Proctori tihedus) Proctori katse abil normis DIN 18127 sätestatud viisil.

4.4.5 Bituumenemulsiooniga stabiliseeritud materjalide tüüpilised omadused

Järgnevalt on esitatud bituumenemulsiooniga stabiliseeritud materjalide kõige olulisemad tehnilised omadused. Nende omaduste saavutamiseks tuleb lisada seguprojektiga määratud optimaalne kogus bituumenemulsiooni. Lisatakse ka 1–2% tsementi ning jääkbituumeni kogus jääb tavaliselt tabelis 4.4 esitatud piiridesse.

Tabel 4.4 Emulsiooni ja jääkbituumeni sisaldused		
Materjal	Bituumenemulsioon (massi%)	Jääkbituumen (massi%)
Asfaldipuru/killustik (50:50)	2,5 – 5,0	1,5 – 3,0
Fraktsioneeritud killustik	4,0 – 6,5	2,5 – 4,0
Looduslik kruus (PI<10; CBR>30)	5,0 – 7,5	3,0 – 4,5

Kasutusel on ka meetodid, kus tihendamise hõlbustamiseks ja materjali niiskuskindluse parandamiseks lisatakse vähe emulsiooni (0,5–1,5%), kuid nihkeomadused ja tugevus sellega tingimata ei parane.

Tabelis on toodud lisatava bituumenemulsiooni soovituslikud kogused, mis olenevad segu omadustest. Tabelis toodud andmed on seega omaduste testimise lähteväärtused. Tsemendi lisamisel on sobivaks osutunud vahemik 1–1,5 massi-%. Kui kasutatakse 60-massi-% emulsiooni, annab see tabelis toodud bituumenisisalduse. Üksikjuhtudel on ilmselt mõistlik tabelis toodud näitajatest kõrvale kalduda. Näiteks teatud olukordade puhul on nõutav, et suureneks külmstabiliseerimisega tihendatavus, kuid mitte tugevusnäitajaid. Sellisel juhul on võimalik piirata emulsiooni osakaalu 0,5–1,5 massiprotsendini.

Väljaanne M KRC on koostatud Saksamaal saadud kogemuste alusel. Selles väljaandes on soovitatavaks bituumenemulsioonile lisada 2–6 massiprotsenti tsementi. Tugevuse määramiseks tuleb 7 või 28 päeva möödumisel läbi viia lõhestus-tõmbetugevuse katse. Nõutavad näitajad on toodud väljaandes.

4.4.5.1 Tugevus ja jäikus

Lõuna-Aafrikas läbi viidud katsete tulemused näitavad, et bituumenemulsiooniga stabiliseeritud materjalide tugevus- ja jäikusnäitajad on sarnased vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide näitajatega. Neid kirjeldatakse punktides 4.5.5.1 ja 4.5.5.2.

4.4.5.2 Töötlemisaeg

Bituumenemulsiooniga töötamisel pole muid ajalisi piiranguid peale selle, et töötlemine, tihendamine ja viimistlemine peab olema lõpetatud enne emulsiooni lagunemist.

4.4.5.3 Tihedus

Nagu tsemendiga stabiliseeritud materjalide puhul juba selgitati, peaks tihendamise eesmärgiks olema alati maksimaalse võimaliku tiheduse saavutamine antud tingimustes. Minimaalseks tiheduseks loetakse tavaliselt protsenti modifitseeritud AASHTO tihedusest, mis bituumenemulsiooniga stabiliseeritud aluste puhul jääb enamasti vahemikku 98–102%. Mõnel juhul on lubatud kõrvalekalded ja selleks määratakse keskmine tihedus. See tähendab, et tihedus kihi pealmises osas võib olla suurem kui alumises osas. Kihi alumises kolmandikus mõõdetud tihedus võib olla kuni 2 % väiksem määratud keskmisest tihedusest. Seega, kui keskmiseks määratud tiheduseks on 100%, peab tihedus kihi põhjas olema ületama 98%. Parema kvaliteediga täiteainete puhul (CBR > 80%) on soovitatav kasutada absoluutse tiheduse näitajaid, nagu täiteaine suhtelist puistetihedust ehk suhtelist näivtihedust.

Külmstabiliseeritud kihtide puhul on väljaandes M KRC toodud väikseim lubatud tihendusaste 98 % (96 %, kui aluskihi E_{v2} on $\leq 80 \text{ MN/m}^2$).

4.5 Vahtbituumeniga stabiliseerimine

4.5.1 Üldist

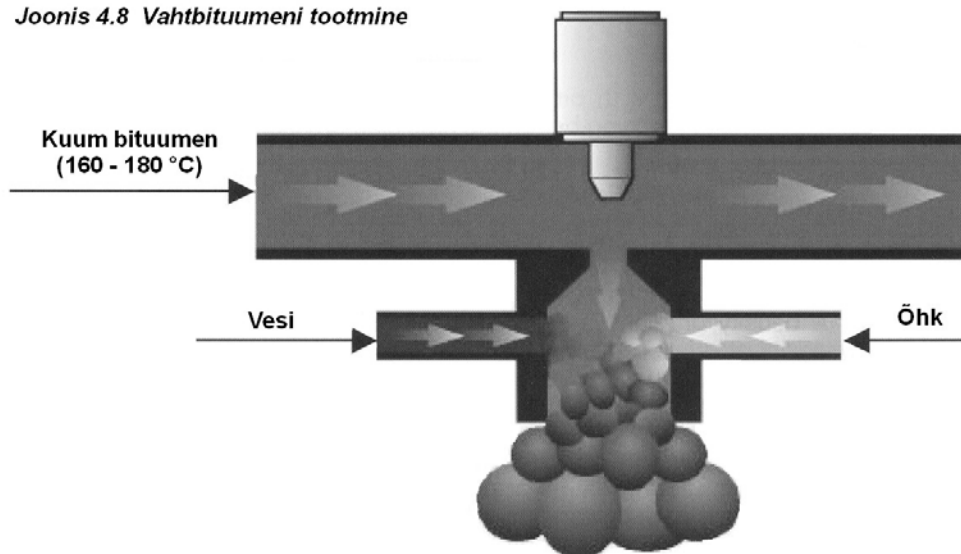
Kuum bituumen (160–180 °C) muutub vahuks, kui segada seda vähese koguse külma veega (tavaliselt 2 massi%) spetsiaalses paisumiskambris. Vahustatud olekus (ajutises madala viskoossusega olekus) bituumenit saab lisada täiteainetele ja seejärel segada ümbritseva keskkonna temperatuuril ja niiskustingimustes. Bituumeni vahustamine sarnaneb munavalge vahule löömisega enne jahuga segamist. Vahustamise käigus tekivad õhukeste, munavalgest seintega õhuga täidetud mullid, kusjuures vahu ruumala on munavalge ruumalast palju suurem. Nii jaotub munavalge jahu peenikeste osiste vahel paremini ja segu on ühtlasema konsistentsiga.

Vastavalt normis DIN EN 12591 sätestatule võib 160°C – 180°C kuumutatud teedehitusbituumenit spetsiaalses paisupaagis vahustada teatud koguse paaki pihustatud veega (reeglina 2 – 4 % bituumeni kogusest).

Bituumeni vahustumine sõltub vee muutumisest vedelikust auruks, protsessist, mis kaasneb esialgse ruumala 1500 kordse suurenemisega normaalõhurõhul. Vee osakeste kokkupuutel kuuma bituumeniga kandub soojusenergia bituumenilt veele. Niipea kui vee temperatuur saavutab keemistemperatuuri, muutub vee olek ning moodustuvad õhukeseseinalised veeauruga täidetud bituumeni mullid.

Esimesena mõistis vahtbituumeni kasutusvõimalusi stabiliseerimisel Iowa Ülikooli professor Ladis Csanyi 1956. aastal. Hiljem täiustati tema tehnoloogiat korporatsioonis *Mobil Oil*, kus vee ja bituumeni segamiseks töötati välja esimene paisumiskamber. Wirtgenis 1990. aastate keskel välja töötatud tehnoloogia puhul lisatakse bituumenile paisumiskambris nii vett kui õhku, vt joonis 4.8.

Joonis 4.8 Vahtbituumeni tootmine



Vahtbituumenit saab kasutada paljude materjalide stabiliseerimiseks, alates kvaliteetsest killustikust kuni plastse halva kvaliteedilise kruusani. Võrreldes bituumenemulsiooniga on vahtbituumeniga stabiliseerimisel järgmised eelised:

- sideainet kulub vähem ja transpordikulud on väiksemad, kuna vahtbituumenit valmistatakse tavalise penetratsiooniastmega bituumenist ja väikesest kogusest veest, harilikult 2% bituumeni massist. Vahtbituumeni valmistamisega ei kaasne muid kulusi kui esialgne investeeering seadmetesse;
- vahtbituumeniga töödeldud materjali puhul võib tee avada liiklusele kohe pärast materjali paigaldamist ja tihendamist;
- vahtbituumeniga stabiliseeritud materjal säilitab töödeldavuse pika aja jooksul ning seda võib ladustada halbades ilmastikutingimustes, ilma et bituumenit täitematerjalist välja uhutaks;
- vahustatud bituumenit saab kasutada suhteliselt kõrge niiskussisaldusega kohapealse materjali puhul, kuna sideaine lisatakse ilma veeta.

Sarnaselt bituumenemulsiooniga stabiliseerimisele, lisatakse vahtbituumenile tavaliselt väikestes kogustes tsementi või lupja. Lisaks jäätugevuse suurendamisele aitab filler kaasa bituumeni hajutamisele, suurendades alla 0,075 mm fraktsiooni segatud materjalis, ning parandab töödeldavust ja vähendab plastsusarvu.

Kuigi vahtbituumeni kasutusvõimalused avastati juba 1950. aastatel, kasutati tehnoloogiat väga väheste projektide puhul, enamasti katsetati seda lühikeste, vähe uuritud teelõikude peal. Selline olukord püsis 1990. aastate keskpaigani, mil oma süsteemiga tuli turule Wirtgen. Seguprojektide koostamine ja materjali näitajad põhinesid 100 mm läbimõõduga proovikehadel, mis valmistati kuuma asfaltbetooni valmistamise tehnoloogiale sarnaselt standardsel Marshalli tihendamismeetodil. Marshalli proovikeha stabiilsuse ja voolavuse katsed asendati järk-järgult tõmbekatsetega ning vähehaaval sai selgeks, et vahtbituumeniga töödeldud materjal käitub teistmoodi kui asfalt. Kõnealuseid katsemeetodeid kasutatakse ka tänapäeval.

Huvi vahtbituumeni valmistamise tehnoloogia vastu sai alguse koos Wirtgeni turuletulekuga 1996. aastal. Maailmaturg reageeris kiiresti ja kuigi esimene süsteem paigaldati segamisfreesile WR 2500, on tänaseks paigaldatud sadu süsteeme igasugustele

segamisfreesidele. Vahtbituumeniga stabiliseeritavate kilomeetrite arv kasvab iga aastaga, hõlmates nii väikese liiklussagedusega teid kui ka suure koormusega mitmerealisi kiirteid. Uuringute osas pole siiski suudetud sammu pidada.

2000. aastal tehti Lõuna-Aafrikas tsemendi ja vahtbituumeniga stabiliseeritud teedel terve rida raskeveoki simulaatorkatseid. Tulemuste põhjal koostati juhend, mis avaldati 2002. aasta teisel poolel asutuse *Asphalt Academy* poolt pealkirja all „*TG2: Interim Technical Guideline: The Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials*“ (vt kirjanduse loetelu). Juhendis on esitatud muuhulgas soovitusel projekteerimiseks ning üleminekufunktsioonid vahtbituumeniga stabiliseeritud katendite konstruktsioonilise kandevõime määramiseks. Tegemist on nn esialgse juhendiga, kuna see põhineb väga piiratud arvul uuringutel. Praegu on käimas uued uuringud ja kui käesolev juhend 2004. aastal ilmub, on peatselt oodata ka täiendatud versiooni TG3 ilmumist.

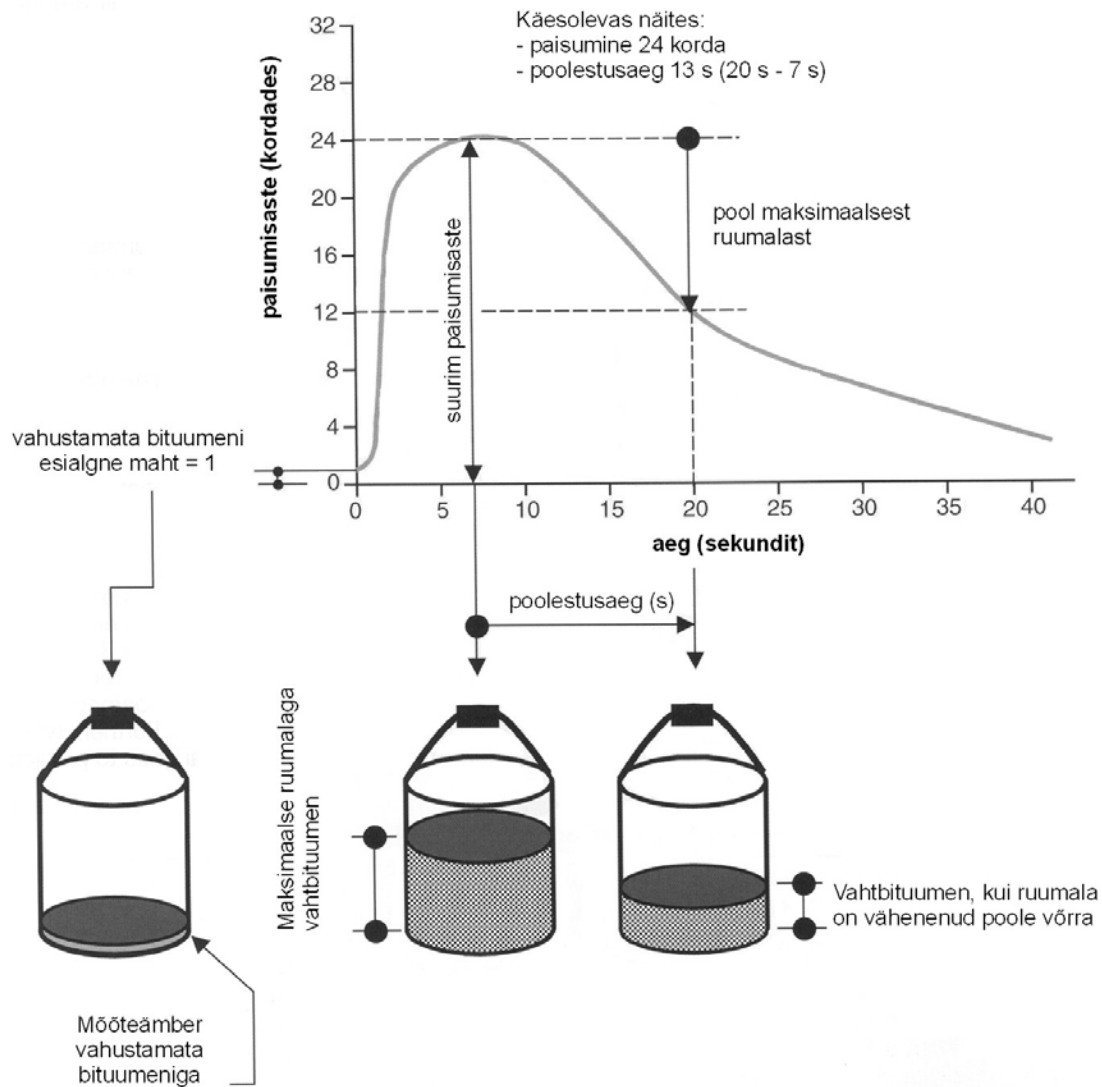
4.5.2 Vahtbituumeni omadused

Vahtbituumenit iseloomustavad peamiselt kaks omadust:

- paisumisaste, mis on vahu viskoossuse mõõt ja näitab, kui hästi see segus laiali jaotub. Paisumisastet arvutatakse vahu ja bituumeni esialgse mahu suhtena; ning
- poolestusaeg, mis on vahu stabiilsuse mõõt ja näitab vahu ruumala kahanemise kiirust. Poolestusaeg on aeg, mis kulub vahu ruumala kahanemiseks poole võrra ning seda mõõdetakse sekundites.

Neid omadusi illustreerib joonis 4.9.

Joonis 4.9 Vahtbituumeni omadused



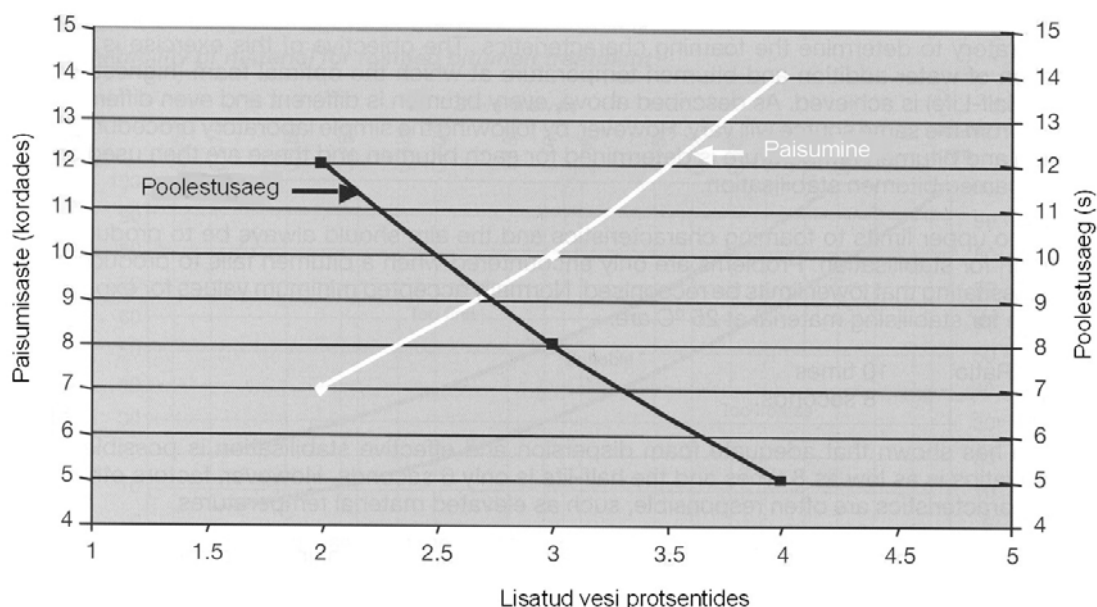
4.5.2.1 Vahu omadusi mõjutavad tegurid

Parimate omadustega vaht on selline, mille paisumisaste ja poolestusaeg on optimaalsed. Bituumeni vahutavusomaduste määramist käsitletakse põhjalikumalt 2. lisas vahtbituumeniga töödeldud materjali seguprojekti koostamismenetluse raames.

Vahtbituumeni paisumisastet ja poolestusaega mõjutavad järgmised tegurid:

– **vee lisamine.** Bituumenile lisatava vee koguse suurendamine aitab kaasa vahu ruumala suurenemisele 1500 kordseks. Vee koguse suurendamisel tekivad suuremad mullid ja seega suureneb paisumisaste. Mullide suurenemise tulemusel väheneb bituumenkile paksus ja mullide püsivus ning seega ka poolestusaeg. Järelikult mõjutab vee koguse suurendamine paisumisastet ja poolestusaega vastupidiselt, nagu selgub jooniselt 4.10;

Joonis 4.10 Vahutavusomaduste vaheline seos



- **bituumeni tüüp.** Vahtbituumenit valmistatakse tavaliselt bituumenist, mille penetratsiooniate jääb vahemikku 80–150, kuigi varem kasutati edukalt minimaalsetele vahutavusnõuetele (selgitatakse edaspidi) vastavaid kõvema bituumeneid. Üldiselt hoidutakse kõvemate bituumenite kasutamisest praktilistel põhjustel, kuna nad moodustavad kehva kvaliteediga vahu, mis jaotub halvemini;

Vahtbituumeni tootmiseks on väljaande M KRC alusel normis DIN EN 12591 kirjeldatud teedehitusbituumen 50/70 või 70/100.

- **bituumeni päritolu.** Osasid bituumeneid saab vahustada paremini kui teisi ja seda nende koostise tõttu. Näiteks Venetsueelast pärit bituumenitel on märgatavalt paremad vahu tekkimise omadused kui mujalt pärit bituumenitel;
- **bituumeni temperatuur.** Bituumeni viskoossuse ja temperatuuri suhe on pöördvõrdeline – temperatuuri tõustes viskoossus väheneb. Mida väiksem on viskoossus, seda suuremad mullid moodustuvad, kui vesi vahustamisprotsessi käigus ühest olekust teise läheb. Kuna protsessi käigus võetakse soojusenergia bituumenilt, peab kvaliteetse lõpptulemuse saamiseks olema bituumeni temperatuur enne vahustamist üle 160 °C;

Bituumeni viskoossus hakkab temperatuuri tõusmisel vähenema. Seetõttu peab proovima tagada temperatuuri vahemikus 160°C - 180°C ja seeläbi ka madalama viskoossuse, kuna paisumisele ei teki sellistes tingimustes suuri takistusi ja nii tekivad suuremad mullid. Paisupaagist väljumisel on vahtbituumeni temperatuur vahemikus u. 80°C - 100°C.

- **bituumeni ja vee surve.** Bituumen ja vesi pritsitakse paisumiskambrisse väikese läbimõõduga düüside kaudu. Surve suurendamisel toitetorus pihustatakse bituumen ja vesi düüsidest väljumisel väikesteks osakesteks. Mida väiksemad on üksikud osakesed, seda suurem on kontaktpind ja seda ühetaolisem vaht tekib;
- **lisandid.** Praegu on turul terve rida bituumeni vahutavusomadusi mõjutavaid lisandeid, nii vahutamist vastaseid aineid, kui vahutamist soodustavaid aineid. Viimaseid on vaja tavaliselt ainult juhul, kui bituumenit on töödeldud vahutamist vastase ainega (näiteks rafineerimise käigus). Enamus vahustamist soodustavatest ainetest lisatakse enne

bituumeni kuumutamist, kuna nad on kuuma suhtes tundlikud ja seega on nende mõju lühiajaline. Seega tuleb lisandite omaduste ära kasutamiseks bituumen ära tarvitada mõne tunni jooksul. Üldiselt on kõnealused lisandid kallid ja neid kasutatakse alles viimase abinõuna. (Bituumeni vedeldamine diisliõliga vähendab bituumeni viskoossust piisavalt, et tekiks vajalike omadustega vaht. See tuleb võimaluse ää kõne alla siiski üksnes juhul, kui bituumenit vedeldab tarnija).

4.5.2.2 Vastuvõetavad vahutavusn  itajad

Vahu moodustamiseks vajaliku bituumeni vahutamisomadusi katsetatakse laboris 2. lisas kirjeldatud menetluse järgi. Eesmärgiks on määrata, kui palju tuleb optimaalse (suurima paisumisastme ja pikima poolestusajaga) vahu saamiseks lisada vett ja milline peab olema bituumeni temperatuur. Nagu juba mainitud, on bituumenite omadused erinevad, isegi ühe tootja toodetud partiid erinevad üksteisest. Siiski on iga bituumeni puhul võimalik määrata vajalik vee kogus ja bituumeni temperatuur lihtsate laborikatsetega ning tulemusi rakendatakse objektil vahtbituumeniga stabiliseerimisel.

Vahutavusn  itajatel ülemist piiri pole ja eesmärgiks peaks olema alati parimate omadustega vahu tootmine. Probleemid tekivad siis, kui bituumenist ei saa heade omadustega vahtu, mistõttu tekib vajaduse alumiste piiride kehtestamise järele. Tavaliselt on vahu miinimumn  itajad 25   C juures järgmised:

paisumisaste – 10-kordne;
poolestusaeg – 8 sekundit.

Kogumused on näidanud, et vaht disperseerub piisavalt ja stabiliseerimine on efektiivne, kui paisumisaste on 8-kordne ja poolestusaeg vaid 6 sekundit. Siiski mõjutavad vahutavust ka muud tegurid, näiteks materjali kõrgem temperatuur.

1990. aastate lõpus uuris professor Jenkins vahtbituumeni omadusi ja t   ttas välja vahuindeksi mõiste, mis näitab paisumisastme ja poolestusaja suhet. Ta defineeris vahuindeksit paisumisastme ja poolestusaja suhte kõvera alla jääva pindala kaudu, jõudes järeldusele, et mida paremad on vahutavusomadused, seda suurem on vahuindeks ja seda parema kvaliteediga on stabiliseeritud materjal. Professor Jenkins võrdles oma uurimustöös ka vahuindeksi ja materjali temperatuuri vahelist seost segamise ajal ning jõudis järeldusele, et kõrgema temperatuuriga materjali puhul võib kasutada madalama vahuindeksiga vahtu. Neid olulisi järeldusi käsitletakse põhjalikumalt punktis 4.5.4.2.

4.5.2.3 Vahtbituumeni dispersioon

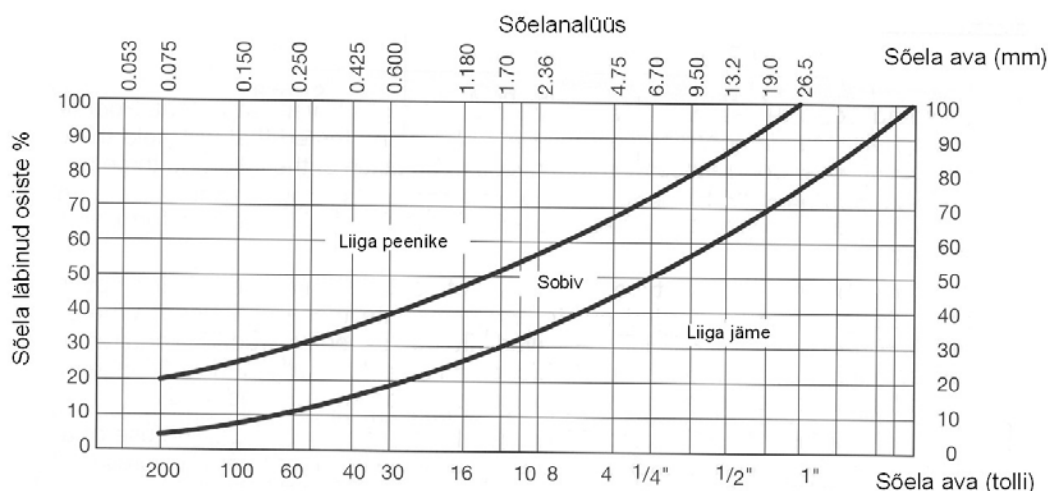
Erinevalt kuumast asfaltbetoonist pole vahtbituumeniga stabiliseeritud materjal musta värvi. See on tingitud asjaolust, et täitematerjali suuremad osakesed pole bituumeniga kaetud. Vahtbituumeni kokkupuutumisel täitematerjaliga purunevad bituumeni mullid miljoniteks väikesteks tilgakesteks, mis kleepuvad täitematerjali peenosakestega, eelkõige alla 0,075 mm fraktsiooni kuuluvate osakestega. Selle tulemusel tekib bituumeniga seotud filleri taoline materjal, mis käitub suurte osakeste vahel kui m  rt, nagu näidatud joonisel 4.1. Sellepärast muutubki materjali värv pärast t   ttlemist ainult veidi tumedamaks. Tsemendi, lubja või muu sarnase peeneks jahvatatud materjali (mis läbib 0,075 mm sõela 100 %-liselt) lisamine aitab kaasa bituumeni disperseerumisele, eriti kui stabiliseeritavas materjalis on vähe peenfraktsiooni (s.t vähem kui 5 % läbib 0,075 mm sõela). Vähesed teostatud uuringud on näidanud, et aktiivlisandid (eelkõige tsement) mitte ainult ei täienda looduslikku fillerit, vaid moodustavad putsolaansuse toimel osakeste pinnal ebatasasusi, tänu millele haakuvad bituumeni tilgakused paremini.

4.5.3 Materjali sobivus vahtbituumeniga

Vahtbituumeniga on võimalik stabiliseerida paljusid materjale, alates liivast ja murenenud kruusast kuni killustiku ja asfaldipuruni. Aegade jooksul on edukalt stabiliseeritud kvaliteetseid ja vähem kvaliteetseid, nii uusi kui juba kasutatud täiteaineid. Täiteaine omadustele on siiski oluline kehtestada piirid ning määrata kindlaks vahtbituumeniga segamiseks vajalik täiteaine optimaalne koostis.

Materjal, milles on vähe peenosiseid ei segune hästi vahtbituumeniga. Nagu selgub jooniselt 4.11, on miimumnõudeks, et 5 % materjalist läbiks 0,075 mm (nr 200) sõela. Kui materjalis pole piisavalt peenfraktsiooni, ei jagune vahtbituumen ühtlaselt ja moodustab nn klompe (bituumenirikkaid peenfraktsiooni paakunud tükke). Klombid erinevad suuruse poolest, sõltudes peenfraktsiooni puudujäägist. Kui puudujääk on suur, tekivad suured klombid, mis käituvad segus määrdena ning vähendavad tugevust ja stabiilsust.

Joonis 4.11 Materjali sobivus vahtbituumeniga töötlemiseks



Olemasolevast teekattest võetud proovide lihtne laborianalüüs näitab, millist fraktsiooni on liiga vähe. Olukorda saab parandada sobiva peenfraktsiooni juurdetoomise ning selle laotamisega teele enne stabiliseerimist. Nidusate materjalide puhul tuleb olla ettevaatlik, kuna laboris tehtud terakoostise analüüsi järgi läbib 0,075 mm sõela suur protsent materjali, kuid objektil on segamiskvaliteet sageli kehv. See on tingitud materjali nidususest, mille tõttu peenosised seotakse omavahel kokku ning need ei kattu vahtbituumeniga. Märg- ja kuivsõelanalüüsi võrdlus laboris näitab, millise tõenäosusega probleem ilmneb, kusjuures kuivanalüüs näitab peenfraktsiooni hulka.

Peenfraktsiooni poolest vaest materjali saab parendada, lisades tsementi, lupja või muud sarnast materjali, mis läbib 0,075 mm sõela 100 %-liselt. Tsemendi lisamist üle 1,5 massi%, tuleks siiski vältida, kuna stabiliseeritud kihi elastsus väheneb.

Joonisel 4.11 kujutatud kõverate vaheline ala on lai ja valida tuleks terakoostis, mille puhul on mineraalse täiteaine poorsus kõige väiksem. Sellise täiteaine kasutamine annab kõige paremate omadustega vahtbituumensegud. Valem 4.1 näitab seost väikseima poorsuse saavutamiseks, varieerides filleri sisaldusega. Seos on oluline, kuna filleri sisaldus segus on muudetav. Väikseima poorsuse saavutamiseks võetakse muutuja n väärtuseks 0,45.

$$P = \frac{(100 - F)(d^n - 0,075^n)}{(D^n - 0,075^n)} + F \quad [\text{valem 4.1}]$$

- kus:
- d – valitud sõela ava suurus (mm)
 - P – sõelale avaga d jäänud osised massi%
 - D – täiteaine osiste maksimaalne terasuurus (mm)
 - F – filleri sisaldus (%)
 - n – muutuja, mis sõltub täiteaine tihendamisest (nn. kokkupakkimisest)

Alla 2 mm pidev terakoostis on vahtbituumeni parema disperseerumise ja lihtsama tihendamise seisukohalt oluline, kuna nii väheneb poorsus ja suureneb materjali veekindlus. Kriitiliste terakoostise näitajate parandamiseks tuleks vajadusel kaaluda kahe erineva materjali segamist.

Saksamaal kasutusel olev teekatte pealiskihi külmstabiliseerimist kirjeldavas väljaandes M KRC on toodud teised raamtingimused kui üleval. Need puudutavad kõrgemaid tsemendi (1,0 – 3,0 mahuprotsenti) ja sideainesisaldusi (2,5 – 5,0 mahuprotsenti). Terakoostise kohta on antud järgmised nõuded: segu täitematerjali terakoostis peab vahtbituumeni sideainena kasutamisel olema maksimaalselt kuni 45 mm (suurema teraläbimõõduga materjali lubatud osakaal on kuni 10 %). Sealjuures peab < 0,063 mm läbimõõduga kivimaterjali osakaal olema vähemalt 3 massiprotsenti ja ei tohi ületada 12 massiprotsenti. Sõelkõvera 2 mm piirkonda jääva materjali osakaal peab olema vähemalt 25 %.

4.5.3.1 Seguprojektides kasutatavad materjali proovid

Vahtbituumeni seguprojektides kasutatava materjali proovivõtumeetod on väga oluline. Vähene kohapealne kontroll või ebaõige segamine annavad ebaõige proovi, mille katsetamisel saadakse valed tulemused ning see toob kaasa tõsised tagajärjed. Seepärast tuleb pöörata tähelepanu järgmisele kolmele peamisele tegurile:

- stabiliseerimise sügavus ja iga üksiku kihi mõõtmed, mida segatakse õige paksusega kihi saamiseks;
- materjali muutuste arvestamine nii piki teed kui ka sügavuti selliselt, et erinevuste korral oleks võimalik koostada erinevad segu projektid. Kui erinevusi on, siis tuleb erinevad kihid eraldada ja valmistada segud ning uurida kuidas mõjutab vahtbituumeniga segamine erinevate terakoostisega segusid;
- olemasoleva asfalmaterjali ettevalmistamine segamiseks. Asfaltkihte esindavate proovide saamiseks on kõige sobivam kasutada väikest freesi.

Segu omaduste määramiseks tuleb võtta piisaval arvul proove. Seejuures tuleb arvestada järgmisi kriteeriume:

- olemasoleva teelõigu konstruktsiooni ja aluskihtide seisukorda tuleb uurida piisaval arvul võetud puur- ja kaevisproovide abil. Kahe proovikoha vahekaugus peab olema ca 200 – 400 m. Kui kahe proovikoha vahel on kihtide ehituses erinevusi, tuleb üleminekulõigust teha veel täiendavaid uuringuid. Uurida tuleb iga kihi paksust ja omadusi ning saadud tulemused dokumenteerida.
- Iga sidumata materjali tuleb ehitustehnilises mõttes eraldi uurida. Minimaalne uuringute ulatus hõlmab terakoostise määramist (DIN 18123) ja loomulikku niiskusesisaldust (DIN 18120).
- Kogutud uurimisandmete põhjal määratakse freesimisügavus.
- Õigete proovide saamiseks tuleb kihti freesida.
- Tuleb tagada, et olemasoleva teekatte pealiskihi kõik materjali omadustes ilmnenu kõrvalkalded selgitatakse välja nii kogu lõigu laiuses kui sügavuses. Kõrvalekallete ulatuse väljaselgitamiseks tuleb teha piisaval arvul omaduste uuringuid.

4.5.4 Vahtbituumeniga töötamine

Vahtbituumeniga töötades tuleb silmas pidada järgmisi asjaolusid.

4.5.4.1 Ohutus

Bituumeni temperatuur peab olema kõrge (tavaliselt 170 °C), et veega kokkupuutel tekiks vajalike omadustega vaht. Kõrgetel temperatuuridel on bituumen eluohtlik ja kui sellega käiakse hooletult ümber, võib kokkupuude kuuma bituumeniga lõppeda surmaga. Seda teavad hästi asfaldi tootjad, kuid kuuma bituumeniga esmakordselt kokku puutuvad teedehitajad peavad tagama oma töötajatele vastava väljaõppe. Vahtbituumeni puhul kehtivad samad ohutusnõuded, mis kuuma asfaltbetooni puhulgi.

4.5.4.2 Materjali temperatuur

Üheks peamiseks vahtbituumeni disperseerumist ja sellest tulenevalt uue katendikihi tugevust mõjutavaks teguriks on täiteaine temperatuur. Nagu juba eespool mainitud, näitab professor Jenkinsi poolt välja töötatud vahuindeks bituumeni kombineeritud vahutavusomadusi (paisumisastet ja poolestusaega). Uurimistulemused näitasid, et vajaliku dispersiooniastme saavutamisel mängisid olulist rolli vahuindeks ja täiteaine temperatuur. Madalamal temperatuuril peab vahuindeks olema vajalike omadustega segu saamiseks suurem (s.t paisumisaste peab olema suurem ja poolestusaeg pikem).

Kuigi need järeldused on olulised, on tähtis võrrelda laboritingimusi objekti tingimustega. Laboris saadud vahu kvaliteet jääb alati alla objektil toodetud vahu kvaliteedile, kuna suurte segamisfreesidel on surve suurem ning tänu tööoperatsioonide järjepidevusele töötab süsteem kõrgematel temperatuuridel. Seepärast erinevad laboris ja objektil mõõdetud tulemused üksteisest ning vahutavusomadusi on vaja kontrollida ka objektil. Seejärel tuleb võrrelda saadud mõõtmistulemusi täiteaine temperatuuriga (mitte teepinna omaga) ning kontrollida tulemusi tabelis 4.5 esitatuga.

Tabel 4.5 Vahtbituumeni dispersioon (segunemisevõime)				
Vahuindeks	Paisumisaste (eeldatav)	Täiteaine temperatuur (°C)		
		< 15 °C	15–25 °C	> 25 °C
< 75	< 8	Väga halb	Halb	Keskmine
75–150	8–12	Keskmine	Hea	Hea
> 150	>12	Hea	Väga hea	Väga hea

Kui täiteaine temperatuur on alla 10 °C, siis vahtbituumeniga stabiliseerimine kõne alla ei tule.

4.5.4.3 Bituumeni etteande pidevus

Et tagada bituumeni sobivus vahu valmistamiseks, tuleb uue tsisternauto ja segamisfreesi haakimisel kontrollida:

- tsisternautos oleva bituumeni temperatuuri kalibreeritud termomeetriga (tsisternautode küljes olevate mõõturite näite ei tohi usaldada);
- vahu kvaliteeti, kasutades segamisfreesil olevat proovidüüsi. Õige proovi saamiseks tuleb kontroll teha siis, kui vähemalt 100 liitrit bituumenit on läbinud dosaatori.

4.5.4.4 Bituumeni voolamine

Kõetavate tsisternautodega objektile toodav bituumen sisaldab vahel küttelõõrile ladestuvaid süsinikutükikesi. Viimaste tonnide tsisternist kättesaamisel tulevad need soovimatud tükid kaasa, satuvad segamisfreesi süsteemi ning võivad põhjustada ummistusi. Ummistuste vältimiseks tuleb toitetorule paigaldada filter. Rõhu ebatavaline suurenemine näitab, et filter vajab puhastamist ning seda tuleb teha regulaarselt (nt iga vahetuse lõpus).

4.5.4.5 Bituumeni surve

Vahu kvaliteet sõltub bituumeni survest. Mida suurem on surve, seda rohkem bituumen düüsidest väljudes pihustub. Selle tulemusel puutuvad bituumeni osakesed kokku paisumiskambrisse pihustatud vee osakestega ning tekib ühetaoline vaht. Kui bituumen siseneks paisumiskambrisse joana (nagu see juhtub madala surve puhul), puutuks veega kokku ainult joa üks pool ning moodustaks vahu, kuid joa teisel pool bituumen vahtu ei moodustaks. Seepärast on tähtis hoida surve üle 3 baari.

4.5.4.6 "Aktiviseeritud" filleri lisamine

Nagu juba eespool mainitud, lisatakse vahtbituumeniga stabiliseerimisel tavaliselt tsementi või mõnda teist tsementeeruvat sideainet. Materjali tsemendiga eeltöötlemisel tuleb siiski olla ettevaatlik, kuna hüdratiseerumisprotsess algab niipea, kui kuiv tsemendipulber puutub kokku niiskusega ning selle tagajärjel seotakse peened osised ja 0,075 mm fraktsioon väheneb oluliselt. Vahtbituumeni lisamisel moodustub kehva kvaliteediga segu, kuna bituumeni osakeste piisavaks disperseerumiseks pole vajalikul hulgal peenfraktsiooni. Seega tuleb tsement lisada alati koos vahtbituumeniga.

4.5.4.7 Valmis kihi uuesti töötlemine

Vahtbituumeniga stabiliseeritud materjali saab uuesti töödelda, ilma et see mõjutaks lõplikku tugevust, kuid tingimusel, et niiskussisaldus jääb enam-vähem samaks, mis see oli tihendamise ajal. See vahtbituumeniga stabiliseeritud materjali omadus on kasulik, kui tee tuleb liiklusele kohe avada ja lõppviimistlus pole veel tehtud. Materjali saab järgmisel päeval uuesti töödelda (tavaliselt tuleb esmalt freesida) ning seejärel korralikult viimistleda. Kui aga materjal lastakse ära kuivada, mõjub kihi uuesti töötlemine materjali lõplikule tugevusele halvasti.

4.5.5 Vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide tüüpilised omadused

Käesolevas punktis kirjeldatakse vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide kõige olulisemaid tehnilisi omadusi. Nende omaduste saavutamiseks peab vahtbituumenit lisama optimaalselt, järgides 2. lisas kirjeldatud seguprojekti koostamise protseduuri. Tabelis 4.6 esitatud kulunormid aitavad seguprojektide koostamisel valida vahtbituumeni kogust ja need kulunormid kehtivad tavaliselt juhtudel, kui segusse lisatakse 1% fillerit (lupja või tsementi).

Tabel 4.6 Täiteainete fraktsioonist sõltuvad vahtbituumeni tüüpilised sisaldused		
Sõela ava läbinud terade protsent		Lisatava vahtbituumeni kogus (% kuivast täiteainest)
4,75 mm	0,075 mm	
< 50	3,0 – 5,0	2,0 – 2,5
	5,0 – 7,5	2,0 – 3,0
	7,5 – 10,0	2,5 – 3,5
	> 10,0	3,0 – 4,0
> 50	3,0 – 5,0	2,0 – 3,0
	5,0 – 7,5	2,5 – 3,5
	7,5 – 10,0	3,0 – 4,0
	> 10,0	3,5 – 4,5

Märkus: tabelis esitatud vahtbituumeni sisaldused ei ole optimaalsed. Optimaalne vahtbituumeni sisaldus sõltub lisaks täiteaine fraktsioonile veel paljudest muudest teguritest ning seega on tähtis, et iga materjali jaoks koostatakse seguprojekt. (Tuleb märkida, et vahtbituumeniga stabiliseerimisel pole alati vaja lisada sideaine optimaalset kogust. Vajalike omaduste saavutamiseks võib olla piisav, kui lisatakse optimaalsest kogusest väiksem kogus. Sellist kogust nimetatakse minimaalseks sideaine koguseks).

Saksamaal rakendatakse ülaltoodud tabelis antud näitajatest erinevaid nõudeid, mis on toodud väljaandes M KRC.

4.5.5.1 Tugevus

Bituumeniga stabiliseeritud materjali tugevust hinnatakse harilikult kaudse tõmbetugevuse (ITS) meetodil, mida eelistatakse Marshalli katsele. Tabelis 4.7 on esitatud katsete tulemusel saadud tüüpilised väärtused.

Katse viiakse läbi kas 100 mm ja/või 150 mm läbimõõduga proovikehaga, mis valmistatakse ja millel lastakse kõveneda 2. lisas kirjeldatud meetoditel. Lisaks sellele määratakse materjali niiskustundlikkust 100 mm proovikehade jääktõmbetugevuse kaudu (TSR) järgmise valemi abil:

$$TSR = \frac{ITS_{m\ddot{a}rg}}{ITS_{kuiv}} \quad [\text{valem 4.2}]$$

Tõmbetugevus määrjalt saadakse 24 tunniks vette uputatud proovikeha katsetamisel, nagu kirjeldatakse Lisas 2.

Tabel 4.7 Bituumeniga stabiliseeritud materjalide tüüpilised kaudsed tõmbetugevused

Materjal	100 mm läbimõõduga Marshalli proovikehad		150 mm läbimõõduga Proctori proovikeha
	ITS _{kuiv} (kPa)	TSR (suhe)	ITS _{ekv} (kPa)
Asfaldipuru/killustik (50:50)	250–600	0,8–1,0	120–250
Fraktsioneeritud killustik	200–500	0,6–0,9	120–200
Kruus (PI<10, CBR>30)	150–450	0,3–0,75	80–150

Viimased uuringud on näidanud, et materjali kandevõime ehk vastupidavuse määramiseks jääkdeformatsioonile on vaja teha ühetelgse survetugevuse (UCS) katse. See on oluline näitaja, eriti kui stabiliseeritakse kehvena kvaliteediga materjale ning ühetelgse survetugevuse minimaalne väärtus on 150 mm läbimõõduga ja modifitseeritud Proctor-seadmega tihendatud proovikeha puhul (millel on lastud kõveneda ja mida on katsetatud stabiilsel niiskusel, nagu kirjeldatud Lisas 2) 700 kPa.

Uuemate uurimuste tulemusel on selgunud, et ka üheteljeline survetugevus annab ettekujutuse konstruktsiooni deformatsioonikindluse kohta. Survetugevus määratakse modifitseeritud Proctori proovikehade järgi, mille tihendusaste on $D_{Pr} = 100\%$. Soovituslik survetugevus on $0,7 \text{ N/mm}^2$.

Testid korraldatakse Saksamaal proovikehadega, mille läbimõõt on 150 mm ja kõrgus u. 125 mm, mis on saadud ja ette valmistatud väljaandes M KRC kirjeldatud meetodil. Katendi veekindlust kontrollitakse lõhestus-tõmbetugevusekatsega 24 h vees olnud proovikehal. Siinkohal kehtivad teised nõuded, rahvusvahelises ulatuses rakendatakse reeglina Marshall-proovikehade testimist.

4.5.5.2 Jäikus

Bituumeniga stabiliseeritud materjalide elastsusmoodulit (MR) saab mõõta laboris proovikeha korduvkoormamise katsest. 100 mm läbimõõduga Marshalli proovikeha (kõvenenud, kuivad) katsetamisel tõmbepingele 10 Hz ja 25 °C juures saadakse tabelis 4.8 esitatud väärtused.

Tabel 4.8 Bituumeniga stabiliseeritud materjalide elastsusmoodulid, saadud laborikatsetel

Materjal	Elastsusmoodul MR (MPa)
Asfaldipuru/killustik (50:50)	2500–4000
Fraktsioneeritud killustik	2000–3000
Kruus (PI<10, CBR>30)	1500–3000

Märkus: peamiselt niiskuse puudumise tõttu proovikehades (kuid ka proovikehade geomeetria ja katserežiimi tõttu) on antud väärtused oluliselt kõrgemad kui need, mis saadakse dünaamilisel kolmeteljelisel katsel ja prismakujuliste talade painde katsetest või läbipainde kausi tagasiarvutuste teel.

Materjalide bituumenemulsiooniga töötlemise juhendis TG2 ja peatselt ilmuvas TG3-s (vt punkt 4.5.1) esitatud projekteerimismudelite puhul eeldatakse, et katend läbib kaks etappi:

- 1. etapp:** jäikuse vähenemine uue bituumeniga stabiliseeritud kihi varajase koormamise käigus ning
- 2. etapp:** jääkdeformatsioon väiksemate jäikusnäitajate juures.

TG2-s ja TG3-s esitatud jäikusnäitajad põhinesid piiratud arvul uuringutel. Eelkõige tuleb ümber vaadata nn ekvivalentne teraline seisund (väljendit kasutatakse kergelt tsementeerunud kihtide puhul nende eluea lõpus) ja juhendis esitatud jäikusnäitajad, kuna need ei ole korrelatsioonis viimase kümne aasta jooksul ehitatud katenditega tehtud välikatsetega.

Välimõõtmised on näidanud, et bituumeniga stabiliseeritud kihtide jäikus nende eluea jooksul ei vähene. Pärast valmimist jäikus hoopis suureneb, kuna materjal kõveneb ja niiskussisaldus väheneb stabiilsele tasemele. Seejärel tuleb nn rahunemise etapp, mil jäikus väheneb ja tekib vähene jääkdeformatsioon, tõenäoliselt materjali tihenemise tõttu korduval liiklusega koormamisel. Jääkdeformatsiooni suurus sõltub tegelikust tihedusest. Jäikuse kadu seevastu sõltub mitmest näitajast, nagu näiteks materjali kvaliteedist ja tüübist, bituumeni ja tsemendi kogusest segus, katendi alumiste kihtide kandevõimest ja vee äravoolust. Jäikuse kadu on suurem, kui halva kandevõimega aluskihtidel olevat kehvema kvaliteediga materjali töödeldakse vähese filtratsiooniga märjas keskkonnas suurema tsemendikogusega.

Kuni täpsemate uurimistulemuste selgumiseni tuleb ajutiselt järgida juhendis TG2 soovitatud kahe-etapilist lähenemist. Asjaomast terminoloogiat tuleb siiski muuta järgmiselt:

- 1. etapp:** rahunemise etapp. Termin „materjali väsimus“ viitab koormusest tingitud pragunemisele ja on ebasobiv, kuna jäikuse vähenemisega ei kaasne pragunemist (võivad tekkida mõned mikropaod);
- 2. etapp:** stabiilne seisund. Termin „ekvivalentne teraline seisund“ viitab sellele, et stabiliseerimisega saavutatud efekt on kadunud. Termin on eksitav, kuna isegi vähenenud jäikuse puhul ületavad need tasemed alati stabiliseerimata materjali omi.

Välikatsed näitavad, et mehaaniliseks modelleerimiseks kasutatavad elastsusmooduli väärtused põhinevad 150 mm läbimõõduga proovikehadega stabiilisel niiskusel läbi viidud tõmbe- ja survetugevuse katsetel, nagu on kirjeldatud Lisas 2. Elastsusmooduli määramiseks soovitatakse kasutada järgmisi valemeid:

1. ETAPP:
$$MR_{1.etapp} = (\log(ITS_{ekv}) \times 3950 - 7000) \times TSR \times F_{filtr} \quad [\text{valem 4.3}]$$

2. ETAPP:
$$MR_{2.etapp} = \frac{MR_{1.etapp} \times TSR}{(0,5 \times UCS_{ekv}) + 0,7} \quad [\text{valem 4.4}]$$

kus: $MR_{1.etapp}$ – elastsusmoodul 1. etapis [MPa]
 ITS_{ekv} – tõmbetugevus stabiilisel niiskusel [kPa]
 TSR – jääktõmbetugevus (märja ja kuiva proovikeha tõmbetugevuste suhe)
 F_{filtr} – filtratsioonitegur tabelist 4.9
 $MR_{2.etapp}$ – stabiilse seisundi elastsusmoodul [MPa]
 USC_{ekv} – survetugevus stabiilisel niiskusel [MPa]

Tabel 4.9 Filtratsioonitegurid (F_{filtr}) bituumeniga stabiliseeritud materjalide jäikuse määramiseks

Dreenivus	Aastane keskmine sademete hulk (mm)			
	< 200	200–600	600–1000	>1000
Väga hea	1,4	1,3	1,2	1,1
Hea	1,3	1,2	1,1	1,0
Keskmine	1,2	1,1	1,0	0,9
Kehv	1,1	1,0	0,9	0,8
Väga kehv	1,0	0,9	0,8	0,7

Valemiga 4.4 määratud elastsusmoodul stabiilse seisundi puhul ($MR_{2,etapp}$) on üksnes abistav ja mitte täpne väärtus, kuna see põhineb piiratud andmetel. Tegelik väärtus on funktsioon mitmest muutujast, millest olulisemad on aktiivlisandi ja bituumeni kogus segus, stabiliseerimata materjali kvaliteet, stabiliseeritud materjali tihedus, temperatuur katsetamisel ja niiskussisaldus. Suurendades näiteks aktiivlisandi kogust segus 1–2% suureneb $MR_{1,etapp}$ väärtus, kuid $MR_{2,etapp}$ väärtus väheneb pärast suhteliselt vähest korduvkoormamist (tavaliselt < 250000).

Valemist 4.4 arvutatud $MR_{2,etapp}$ väärtust tuleb alati võrrelda tabelis 4.10 esitatud väärtustega ja kui see on oluliselt suurem või väiksem, tuleb alati leida põhjus. Laboris valmistatud proovikehad ei vasta sageli tegelikele tingimustele ja seepärast tuleb ebatõenäolistena tunduvad katsetulemused üle vaadata ja põhjus välja selgitada.

Tabel 4.10 Bituumeniga stabiliseeritud materjalide elastsusmoodulite väärtused stabiilse seisundis (2. etapis)

Materjal	Lisatud vahtbituumen (%)	Elastsusmoodul $MR_{2,etapp}$ (MPa)
100% asfaldipuru	1,5 – 2,0	1000 – 2500
Asfaldipuru/killustik (50:50)	2,0 – 2,5	800 – 2000
Fraktsioneeritud killustik	2,0 – 3,0	600 – 1500
Kruus (PI<10, CBR>45)	2,0 – 3,5	400 – 800
Kruus (PI<10, CBR>25)	2,5 – 4,0	300 – 600
Mitteplastne liiv	3,0 – 5,0	200 – 500

4.5.5.3 Töötamise aeg

Vahtbituumeniga töötamisel ei ole mingeid konkreetseid ajalisi piiranguid. Kui materjali niiskus püsib optimaalse niiskuse lähedal, võib see aeg olla küllaltki pikk.

4.5.5.4 Tihedus

Nagu eespool tsemendiga töödeldud ja bituumenemulsiooniga stabiliseeritud materjalide puhul kirjeldati on tihendamise eesmärgiks alati maksimaalse võimaliku tiheduse saavutamine antud tingimustes. Minimaalseks tiheduseks loetakse tavaliselt protsenti modifitseeritud AASHTO tihedusest, mis vahtbituumeniga töödeldud aluste puhul jääb enamasti vahemikku 98–102%. Mõnel juhul on lubatud kõrvalekalded ja selleks määratakse keskmine tihedus. See tähendab, et tihedus kihi pealmises osas võib olla suurem kui alumises osas. Kihi alumises kolmandikus mõõdetud tihedus võib olla kuni 2 % väiksem määratud keskmisest tihedusest. Seega, kui keskmiseks määratud tiheduseks on 100%, peab tihedus kihi põhjas olema ületama 98%. Parema kvaliteediga täiteainete puhul (CBR > 80%) on soovitatav kasutada absoluutse tiheduse näitajaid, nagu täiteaine suhtelist puistetihedust ehk suhtelist näivtihedust.

Külmstabiliseeritud kihtide puhul on väljaandes M KRC toodud väikseim lubatud tihendusaste 98 % (96 %, kui aluskihi E_{V2} on ≤ 80 MN/m²).

4.6 Kokkuvõte: tsemendi ja bituumensideainete võrdlus

Tsemendiga stabiliseerimine	
Eelised	Puudused
Kättesaadavus. Tsementi on saadaval kõikjal maailmas, tavaliselt pakituna, sageli ka puistena. Maksumus. Võrreldes bituumeniga on tsement odav. Kasutamise lihtsus. Tsementi on võimalik käsitsi laotada, kui laotureid ja lbrisegisteid pole. Heakskiit. Tsement on hästi tuntud ehitustööstuses. Tavaliselt on standardsed katsemeetodid ja spetsifikatsioonid olemas.	Mahukahanemispraod on vältimatud, kuid neid võib viia miinimumini. Suurendab elastsete katendite jäikust. Katend vajab korralikku järelhooldust ja seda tuleb kaitsta varajase, eelkõige raskete, aeglaselt liikuvate sõidukitega koormamine eest.

Bituumenemulsiooniga stabiliseerimine	
Eelised	Puudused
Elastsus. Bituumeniga stabiliseeritud materjal muutub viskoelastseks, mis tähendab, et ta on elastsem ja ta vastupidavus deformatsioonidele on suurem. Kasutamise lihtsus. Segamisfrees on ühendatud tsisternautoga ning bituumenemulsiooni sissepritse toimub dosaatori kaudu. Heakskiit. Bituumenemulsioonid on ehitustööstuses suhteliselt tuntud. Standardsed katsemeetodid ja spetsifikatsioonid on olemas.	Maksumus. Tavaliselt bituumenemulsioone objektile ei toodeta, kuna protsess vajab ranget kvaliteedikontrolli. Emulgaatorid on kallid. Transportida tuleb ka vett, mitte ainult bituumenit. Kui olemasoleva katendi niiskussisaldus on ligilähedane optimaalsele niiskussisaldusele, tekib emulsiooni lisamisel küllastus. Kõvenemine kestab kaua. Tugevuse saavutamine oleneb niiskuskaost. Kättesaadavus. Taastamiseks vajalikku protsessi ei pruugi olla võimalik läbi viia.

Vahtbituumeniga stabiliseerimine	
Eelised	Puudused
Elastsus. Bituumeniga stabiliseeritud materjal muutub viskoelastseks, mis tähendab, et ta on elastsem ja ta vastupidavus deformatsioonidele on suurem. Kasutamise lihtsus. Segamisfrees on ühendatud tsisternautoga ning kuum bituumen pumbatakse dosaatorini, kus see pihustatakse ja pritsitakse freesimis- ja segamiskambrisse. Maksumus. Vahtbituumeni valmistamiseks kasutatakse standardse penetratsiooniastmega bituumenit. Lisakulusid valmistamisel pole. Tugevuse saavutamine. Materjali võib koormata kohe pärast paigaldamist.	Vahustamiseks on vaja, et bituumen oleks kuum, harilikult üle 160 °C. See nõuab spetsiaalseid kuumutamisseadmeid ja ohutusabinõusid. Materjali tüüp ja olek. Vahtbituumeniga ei saa stabiliseerida, kui materjal on niiskusest küllastunud või ei sisalda peenfraktsiooni (<0,075 mm); stabiliseerimiseks tuleb materjali eelnevalt töödelda või lisada uut materjali.

5. peatükk: Stabiliseerimisega taastatavad katendid

Katendi taastusremondiprojektid sõltuvad konkreetsest projektist. Nagu juba 3. peatükis mainitud, on iga projekt ainulaadne; stabiliseerimissügavuse ja tüübi dikteerivad prognoositav liiklussagedus projekteeritud eluea jooksul, olemasoleva katendi materjalid ja muldkeha tugevusomadused.

Käesoleva peatüki eesmärgiks on anda projekteerijatele ettekujutus, milliseid katendikonstruktsioone on võimalik sügavstabiliseerimisega teha ning seepärast esitatakse tüüpilised variandid enam levinud olukordade jaoks, mis kahjustatud katendite taastamisel võivad ette tulla.

Külmstabiliseerimist teostatakse projektide kaupa. Stabiliseerimissügavus ja –meetod valitakse liiklussageduse alusel, mis on katte vastupidavuse perioodi ajal prognoositud, ilmastikumõjude, teekatte materjaliomaduste ja olemasolevate aluskihtide kandevõime alusel.

Käesolevas peatükis on kirjeldatud külmstabiliseerimisega teekattekonstruktsioone. Sealjuures on esimesena kirjeldatud teedehituses kasutatavat külmstabiliseerimise väljaandes M KRC toodud konstruktsioone. Teises pooles kirjeldatakse selliseid kattekonstruktsioone, mida kasutatakse peamiselt väljaspool Saksamaad.

Joonis 5.0 Saksamaal kasutuses oleva väljaande M KRC alusel

Aluskihi $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$

	Ehitusklass III	Ehitusklass IV	Ehitusklass V	Ehitusklass VI
Asfaltbetoonikate	4	4	4	8 ¹⁾
Asfaltbetoonist katte alumine kiht	6 ¹⁾	8 ¹⁾	6 ¹⁾	10 ¹⁾
Asfaltbetoonist kandev kiht	20	18	16	18
Külmstabiliseeritud kiht	20	20	26	20
	32	28	26	20

Aluskihi $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$

	Ehitusklass III	Ehitusklass IV	Ehitusklass V	Ehitusklass VI
Asfaltbetoonikate	4	4	4	6 ¹⁾
Asfaltbetoonist katte alumine kiht	6 ¹⁾	8 ¹⁾	6 ¹⁾	10 ¹⁾
Asfaltbetoonist kandev kiht	20	18	16	16
Külmstabiliseeritud kiht	20	20	26	22
	34	30	26	22

Aluskihi $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$

	Ehitusklass III	Ehitusklass IV	Ehitusklass V	Ehitusklass VI
Asfaltbetoonikate	4	4	4	8 ¹⁾
Asfaltbetoonist katte alumine kiht	6 ¹⁾	8 ¹⁾	6 ¹⁾	10 ¹⁾
Asfaltbetoonist kandev kiht	18	18	16	16
Külmstabiliseeritud kiht	18	18	28	24
	36	32	28	24

Aluskihi $E_{V2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$

			Ehitusklass V	Ehitusklass VI
Asfaltbetoonikate			4	10 ¹⁾
Asfaltbetoonist katte alumine kiht			10 ¹⁾	10 ¹⁾
Asfaltbetoonist kandev kiht			16	16
Külmstabiliseeritud kiht			16	26
			30	26

- 1) Alumise asfaltbetoonikihi minimaalne paksus, mis on vastavalt ZTV T-StB või ZTV Asphalt StB on ette nähtud tasanduskihiks.
- 2) Kandev kiht
- 3) Eelistatult hüdraulilis-dominantse sideainega külmstabiliseeritud kiht.

5.1 *Stabiliseerimiseks sobivate katendikonstruktsioonide näidised*

Joonisel 5.1 on esitatud stabiliseerimisega taastatavate katendite konstruktsioonid, kus võetakse arvesse erinevaid liiklusklasse alates < 300000 kuni 10 miljoni 80 kN ESAL-ini. Kaasatud on nii tsemendi kui bituumeniga stabiliseerimise võimalused. Kolmel horisontaalreal on esitatud olemasoleva katendi kolm võimalikku tüüpi koos tüüpiliste kihtidega:

- konstruktsioonid, kus paks (> 100 mm) asfaltalus/-kate on tehtud kvaliteetsest täitematerjalist alumisele kihile, milleks on tavaliselt killustik CBR > 80%;
- konstruktsioonid, kus tavaliselt < 100 mm paksused asfaltkatted (pluss ülekatted) on tehtud kvaliteetsele täitematerjalist alusele, milleks on tavaliselt killustik CBR > 80%; ning
- konstruktsioonid, mis koosnevad 150 mm paksusest kruusaalusest (või katteta teede puhul kruusast kulumiskihist) 150 mm paksusel aluskihil, kusjuures mõlemad kihid on tavaliselt tehtud materjalist, mille CBR > 45%.

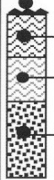
Eraldi variandid on esitatud ka kolme erineva kandevõimega muldkeha kohta (CBR väärtused põhinevad oletatavatel tihedustel):

- „**hea**“, kus muldkeha koosneb kruusast, mille CBR > 45%;
- „**keskmine**“, kus muldkeha koosneb kruusast, mille CBR ~ 25%; ning
- „**kehv**“, kus muldkeha koosneb pinnasest, mille CBR < 7%.

Vahemikud on väga laiad ja näitavad esmajoones stabiliseeritud kihi aluse katendiosa keskmist kandevõimet vähemalt kuni ühe meetri sügavuselt.

Siin näidatud tüüpilised konstruktsioonid on üksnes illustreeriva tähendusega, kuna tegelik konstruktsioon selgub katendiprojekti analüüsist. Ometi on nende põhjal võimalik saada ettekujutus, milline peaks olema erinevate tugevustega muldkehade puhul stabiliseerimissügavus / stabiliseeritud kihi paksus, et saavutada etteantud kandevõimet. Taastamist vajava katendi remontimiseks tuleb alati teha remondiprojekt, järgides samm-sammult 3. peatükis (punktides 3.3, 3.4 ja 3.5) kirjeldatud protseduuri.

Joonis 5.1 Katendi konstruktsiooni näidised taastamiseks / stabiliseerimiseks

		Taastatud katendi konstruktsioon				
		Arvestuslik liiklus (x 10 ⁶ ESAL)	< 0.3	0.3 – 1.0	1.0 – 15.0	5.0 – 10.0
Tüüpiline katend enne taastamist	Muldkeha CBR arv	Stabiliseeritud materjali tüüpilised tugevusnäitajad	Linnatänavad / väikese liiklussagedusega teed	Asulavälised teed	Suuremad maanteed	Kiirteed ja linnadevahelised teed
	> 45 %				 50 AB 250 TS  50 AB 175 BS	 50 AB 300 TS  50 AB 225 BS
	± 25 %	Tüüpilised tõmbetugevuse väärtused (kPa) Bituumen (BS) 400 Tsement (TS) 250			 50 AB 300 TS  50 AB 200 BS	 40 AB 60 kS 300 TS  50 AB 275 BS
	< 7 %	Tüüpilised survetugevuse väärtused (kPa) Tsement (TS) 2000			 40 AB 160 kS 300 TS  40 AB 80 kS 300 BS	 40 AB 220 kS 300 TS  40 AB 140 kS 300 BS
	> 45 %		 Pindamine 225 TS  Pindamine 175 BS	 Pindamine 275 TS  Pindamine 200 BS	 50 AB 257 TS  Pindamine 275 BS	 40 AB 50 kS 300 TS  50 AB 250 BS
	± 25 %	Tüüpilised tõmbetugevuse väärtused (kPa) Bituumen (BS) 300 Tsement (TS) 200	 Pindamine 250 TS  Pindamine 200 BS	 50 AB 225 TS  Pindamine 225 BS	 40 AB 50 kS 250 TS  50 AB 250 BS	
	< 7 %	Tüüpilised survetugevuse väärtused (kPa) Tsement (TS) 1500	 50 AB 300 TS  50 AB 250 BS	 40 AB 80 kS 300 TS  50 AB 300 BS	 40 AB 180 kS 300 TS  40 AB 120 kS	
	> 45 %		 Pindamine 250 TS  Pindamine 200 BS	 Pindamine 300 TS  Pindamine 250 BS	 50 AB 300 TS  50 AB 250 BS	
	± 25 %	Tüüpilised tõmbetugevuse väärtused (kPa) Bituumen (BS) 200 Tsement (TS) 150	 Pindamine 300 TS  Pindamine 225 BS	 50 AB 250 TS  Pindamine 275 BS	 40 AB 50 kS 300 TS  50 AB 300 BS	
	< 7 %	Tüüpilised survetugevuse väärtused (kPa) Tsement (TS) 750	 40 AB 50 kS 300 TS  50 AB 300 BS	 40 AB 100 kS 300 BS  40 AB 60 kS 300 BS	 40 AB 200 kS 300 TS  40 AB 150 kS 300 BS	

KSAB seetõttu, et KAB tähendab meil kergasfaltbetooni

Lõigus 5.1. on graafiliselt kujutatud muid, väljaspool Euroopat kasutusel olevaid konstruktsioone. Nelja liikluskooklassi kohta ($< 300\,000 - 10$ miljonit teljeületust) on toodud mitmeid erinevaid külmstabiliseerimislahendusi. Standardne teljekookormus on nende andmete puhul 8,2 tonni. Kirjeldatud on nii tsemendi kui ka bituumeni lisamisega toimivad ehitusmeetodeid. Kolmes põhisuunas on kujutatud olemasolevate katete erinevaid tüüpe, mille puhul on võimalik kasutada ka külmstabiliseerimise erinevaid meetodeid:

- paksudest asfaldikihtidest koosnev teekate (nt. kandev kiht, katte alumine kiht - ja kattekiht; kogupaksus ≥ 100 mm). Asfaldikihi all on sidumata kiht suure kandevõimega, mis reeglina koosneb purustatud kruusast, CBR-väärtusega > 80 %.
- õhukesest asfaldikihist koosnev teekate (nt. kandev kattekiht paksusega alla 100 mm). Selle all on sidumata kiht suure kandevõimega, mis reeglina koosneb kruusast, CBR-väärtusega > 80 %.
- u. 150 mm paksune, sidumata materjalist pealiskiht, CBR-väärtus > 45 %. Selle all on muu, ca. 150 mm paksusega sideaineta ja samaväärse kandevõimega kiht. Sellist konstruktsiooni võib kasutada maapiirkondades toimuva teedeehituse puhul.

Aluskihi või –konstruktsiooni kandevõime on jagatud kolme klassi (kirjeldatud CBR-väärtused on võetud tööloigust saadud andmetest):

- suur kandevõime: aluskiht/-konstruktsioon koosneb kruusasegust, mille CBR-väärtus on suurem kui 45 %.
- keskmine kandevõime: aluskiht/-konstruktsioon koosneb kruusasegust, mille CBR-väärtus on umbes 25 %.
- vähene kandevõime: aluskiht/-konstruktsioon koosneb kruusasegust, mille CBR-väärtus on maksimaalselt 7 %.

Joonis on mõeldud erinevate ehitusmeetmete piltlikumaks kujutamiseks. Joonis on koostatud pigem konservatiivselt ja seda võib kasutada juhiseks vajaliku stabiliseerimissügavuse või stabiliseeritud kihtide paksuse määramisel. Külmstabiliseeritud konstruktsiooni kohta täpsete määratluste tegemiseks on soovitatav täiendavalt ka arvutused teostada.

5.2 Tavapärase kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga

Arvukad edukad projektid on tõestanud, et vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuru on heaks alternatiiviks aluskihi materjalina kasutatavale kuumale asfaltbetoonile. See tähendab seda, et joonisel 5.1 näidatud kuumast asfaltbetoonist aluskihid võib asendada vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga. See on hea võimalus freespuru ülejääkide ära kasutamiseks, hoides ühtlasi kokku projekti maksumuselt ning saades mõnedel juhtudel suurepärase lõpptulemuse.

Pärast vahtbituumeniga töötlemist sarnanevad freespuru omadused jämedateralise täiteaine omadustele, kusjuures vahtbituumen on disperseerunud ümbritsevas mastiksis. See ei ole aga eraldi asfaldi liik. Erinevalt tavapärasest kuumast asfaltbetoonist ei teki vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuru puhul roopaid, kuna materjal käitub sarnaselt killustik-täiteainele ja ei ole temperatuuri suhtes tundlik. Vibrorulliga tihendamisel saavutatud lõpliku tiheduse puhul on vahtbituumeniga töödeldud freespuru poorsus võrreldes kuumas asfaltbetooniga suhteliselt suur. Lisaks stabiilsuse suurendamisele ja „voolavuse“ vähendamisele vähendab suhteliselt suur poorsus temperatuuri kõikumisest tingitud pragunemist. Kuna vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuru on siiski teraline materjal, tuleb peale teha alati kate, et vähendada niiskuse tungimist katendisse ja kaitsta seda liikluse põhjustatud kulumise eest.

Piisavad uuringud on näidanud, et vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuru, mis säilitab märjana 100%-lise kuivtugevuse ($TSR = 1$, vt 4. peatükk), käitub sarnaselt tavapärase kuumast asfaltbetoonist alusmaterjaliga. Vajadusel võib vahtbituumeniga stabiliseeritud materjali jääktugevust suurendada, segades freespuru tehislüivaga tehase tingimustes

Wirtgeni segistis KMA 200 või laotades liiva ühtlase kihina tee pinnale ning stabiliseerides kohapeal.

Vastavalt väljaandele M KRC peab vahtbituumeni kasutamisel olema segu täitematerjali terakoostis vahtbituumeni sideainena kasutamisel olema maksimaalselt kuni 45 mm (suurema teraläbimõõduga materjali lubatud osakaal on kuni 10 %). Sealjuures peab < 0,063 mm läbimõõduga kivimaterjali osakaal olema vähemalt 3 massiprotsenti ja ei tohi ületada 12 massiprotsenti. Sõelkõvera 2 mm piirkonda jääva materjali osakaal peab olema vähemalt 25 %. Vahtbituumenit toodetakse spetsiaalses paisupaagis, teedeehitusel kasutatavast bituumenist 50/70 või 70/100, pihustatud veega vahustamise teel.

Külmstabiliseeritud kandev kiht on vähese temperatuuritundlikkusega ja pikiroopad kergesti ei teki. Peale tihendamist (soovitatavalt raske vibrorulliga, mass min. 16 t) on sellise segu puhul iseloomulik suhteliselt suur poorsus võrreldes traditsioonilise asfaldiseguga. Seepärast tuleb külmstabiliseeritud kiht katta veel piisavalt paksu ja tiheda ülekattega, mis hoiab ära niiskuse tungimise kattesse ja kaitseb kihti liikluse vahetu mõju eest.

Arvukate uurimiste tulemusel on selgunud, et asfaldipuru, millele sideainena on lisatud vahtbituumenit, säilitab oma maksimaalse tugevuse ka peale niiskuse imamist ning on omadustelt võrreldav asfaltbetoonisegust valmistatud traditsioonilise katendiga.

5.3 Kahe-etapiline stabiliseerimine konstruktsiooni olulise tugevdamise eesmärgil

Kuuma asfaltbetooni asendamine katendis vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga, nagu näidatud joonisel 5.2, on kahe-etapiline operatsioon. Esimeseks etapiks on katendi pealmiste kihtide teel stabiliseerimine, teiseks järgmise stabiliseeritud kihi rajamine eelmise peale, kas freespurust, mis tuuakse loaplatsilt ja laotatakse segamisfreesi ette või tehases valmis segatud segust. Olemasoleva katendi ülemiste kihtide freesimine võimaldab stabiliseerida alumisi kihte sügavamalt. Sel viisil on võimalik töödelda probleemseid alumisi kihte ja muldkeha kihte (tavaliselt stabiliseeritakse neid hüdrauliliste sideainetega) ning katta need varem eemaldatud materjaliga. Seda meetodit kasutatakse laialdaselt, kui ülekattedeks vajalikku täitematerjali on vähe.

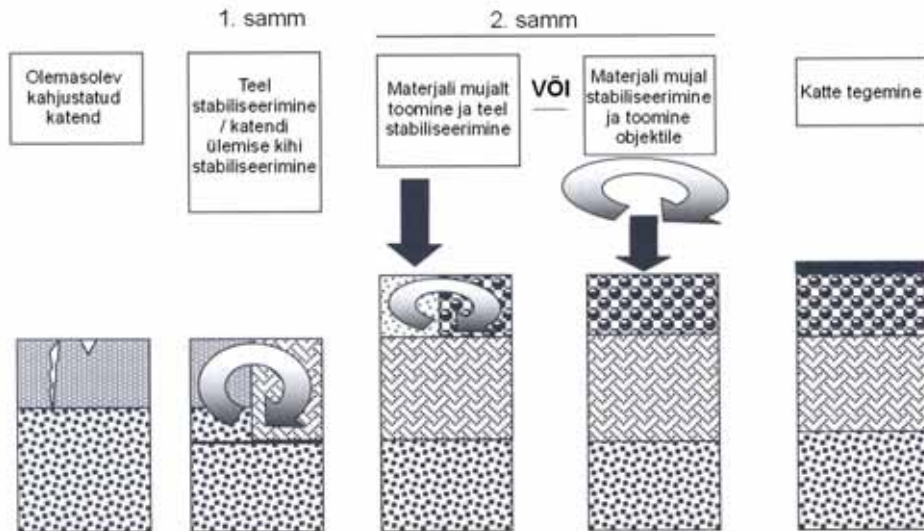
Varem eemaldatud materjal kas tuuakse tagasi ja töödeldakse teel või töödeldakse seda enne objektile toomist. Kui töötlemine toimub teel, tuleb materjal enne sideainega stabiliseerimist laotada korralikult äsja stabiliseeritud aluskihile (ning tihendada). Teise etapi käigus on oluline kontrollida stabiliseerimise sügavust, kuna kahe stabiliseeritud kihi vahele jäänud stabiliseerimata materjal võib põhjustada probleeme. Selle vältimiseks stabiliseeritakse tavaliselt 25 mm sügavamalt kui on aluskiht, kaasates ka aluskihi all oleva kihi ülemise osa.

Kui materjali töödeldakse eelnevalt mujal, tuuakse stabiliseeritud materjal objektile ning laotatakse (teehöövli või laoturiga) äsja stabiliseeritud aluskihile.

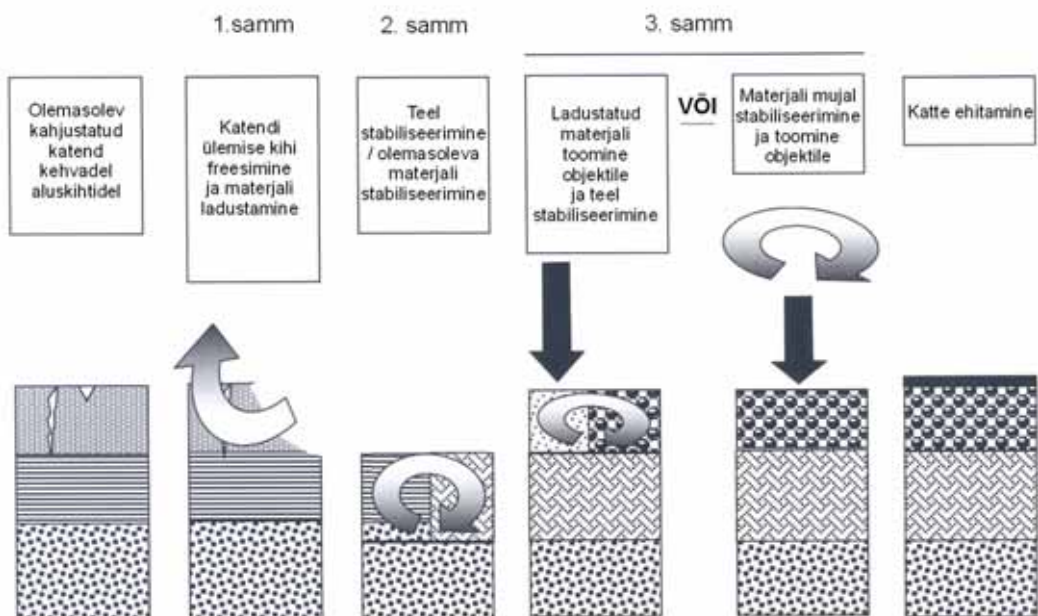
Joonisel 5.2 on näidatud kahe-etapilise stabiliseerimise variandid nii materjali juurdetoomise kui olemasoleva materjali kasutamise puhul.

Joonis 5.2 Kahe-etapiline stabiliseerimine

1. variant: kahe-etapiline stabiliseerimine materjalid juurdetoomise puhul



2. variant: kahe-etapiline stabiliseerimine olemasoleva materjali puhul

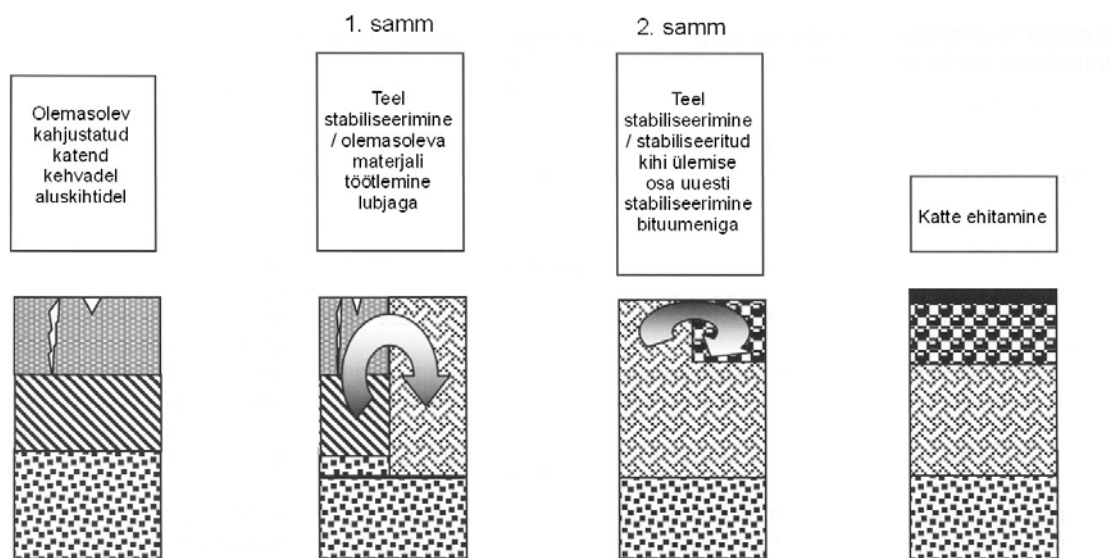


5.4 Kaheetapiline teel stabiliseerimine

Väikese liiklussagedusega teede kahjustused on sageli tingitud niiskuse suhtes tundlikest materjalidest katendi ülemistes kihtides. Nende materjalide plastusarv on tavaliselt kõrge ($PI > 10$) ning seda saab vähendada materjali töötlemisel kustutatud lubjaga. Selleks stabiliseeritakse katendit aluskihti sügavuselt (200–300 mm), lisades 2–4% lupja. Selline töötlemine ei pruugi siiski alati anda tugevusomaduste saavutamise osas soovitud tulemusi ning seepärast on vaja rajada lisakihte või stabiliseerida teist korda (õhemalt), kasutades bituumensideainet. Sellist kahe stabiliseerimisega protsessi tuntakse kahe-etapilise stabiliseerimisena ning see hõlmab:

- olemasoleva katendi ülemiste kihtide stabiliseerimist kustutatud lubjaga, et vähendada materjalide plastsust või see kõrvaldada; ning
- stabiliseeritud kihi ülemise osa uuesti stabiliseerimist vahtbituumeni või emulsiooniga 24 tunni jooksul katendi projektiga määratud sügavuses.

Joonis 5.3 Kahe-etapiline stabiliseerimine



6. peatükk: Ehituslikud aspektid

6.1 Üldist

Stabiliseerimisprojektide iseloomulikuks jooneks on suurte masinate kasutamine, intensiivne töö ja suur tootlikkus. Stabiliseerimise puhul käib töö ühes konkreetses kohas, samal ajal kui uute teede ehitamise puhul tehakse samaaegselt tööd kogu objektil. Tööfront liigub edasi kindlat joont pidi ja tulemuseks on valmis katend, millele on vaja teha vaid kate. Wirtgeni segamisfreeside tootmispotentsiaal on suur. Kuigi päevaseks tootlikkuseks loetakse 5000 m², on tavaline, et ühe segamisfreesiga stabiliseeritakse päevas üks kilomeeter kaherealist teed kogu laiuses (kuni 10000 m²). Stabiliseerimine on suhteliselt lihtne meetod, kuid nagu kõikide kiirete tööprotsesside puhul, tuleb ka siin suure tootlikkuse saavutamiseks töö korralikult planeerida.

Stabiliseerimise lõppeesmärgiks on teha uus, projekteerija poolt ettenähtud nõuetele vastav katend. Nõudeid kirjeldati 3. peatükis. Tavaliselt määratletakse projekti spetsifikatsioonis lõpptootetele esitatavad kaks põhinõuet:

- materjali kvaliteet stabiliseeritud kihis; ja
- stabiliseeritud kihi paksus.

Taastatud katendi omadused sõltuvad nimetatud kahe põhinõude täitmisest. Kuna nende alusel prognoositakse stabiliseeritud katendi eluiga, võib ükskõik kumma mittevastavus viia katendi enneaegse lagunemiseni.

Stabiliseerimistööd peavad olema hästi planeeritud, et kasutada maksimaalselt ära nii tootlikkuse potentsiaal kui tagada ühetaoline tulemus, mis vastaks esitatud nõuetele. Selleks tuleb:

- kõik tööoperatsioonid üksikasjalikult läbi analüüsida ja piinliku täpsusega planeerida;
- teha õigeaegselt kindlaks taastusrongide teele jäävad takistused ja need kõrvaldada;
- pidevalt hinnata materjalide (näiteks sideainete) vajadust, hankida ja teha need vajadusel kättesaadavaks;
- ennetavate hooldusprogrammidega tagada masinate korrasolek;
- tagada, et masinate operaatorid ja järelevalve oleksid läbinud vastava väljaõppe ning tunneksid taastustööde erinevaid aspekte;
- tagada piisava tähelepanu pööramine ohutustehnikale, eriti kui töötatakse kuumbituumeniga.

Käesolevas peatükis käsitletakse eespool toodut lähemalt, keskendudes eriti nendele aspektidele, mis on olulised viljaka töökeskkonna loomise ning nõutava lõpptulemuse saavutamise seisukohalt.

6.2 Taastustööde planeerimine

Nagu kõigi mitmetahuliste ja suuremahuliste tööde puhul, sõltub ka katendi taastusprojektide edukus planeerimise kvaliteedist. Kõik teostamist vajavad tööoperatsioonid tuleb läbi mõelda ning koostada nende põhjal päevane või vahetuse tootmisplaan. Sealjuures tuleb arvestada järgmisi aspekte.

6.2.1 Seadmete valik

Lisaks segamisfreesile läheb vaja teerulle, teehöövleid, veetsisterni ning tehnikat, mis transpordiks sideained segamisfreesini. Igaüht neist kirjeldatakse eraldi.

6.2.1.1 Segamisfrees

Nagu 2. peatükis juba mainiti, on Wirtgenil stabiliseerimise läbiviimiseks mitut tüüpi segamisfreese. Otsus, millist masinat (ja mitut) kasutada, sõltub peamiselt projekti mahust ja tüübist. Kaalumist vajavad ka muud tegurid, nt roomikutel masinatega stabiliseeritakse tavaliselt pakse asfaldikihte ja stabiliseeritud materjalid laotatakse masina taha kinnitatud tasandusprussi abil, samal ajal kui kummiratastega masinate kasutamise puhul tuleb tee viimistleda teehöövliga.

Wirtgeni tootevalikus on mitmeid masinaid, mida kasutatakse ka stabiliseerimisel (vt. ptk. 2). Milline masin valida, oleneb eelkõige projekti suurusest ja liigist. Vastavalt väljaandele M KRC eristatakse põhimõtteliselt kahte gruppi:

- püsiva laiusega freesimine, samal ajal toimub ka stabiliseerimine (stabiliseerija, frees)
- freesimine varieeruva töölaiusega ja sundseguriga (külmstabiliseerimine, mixpaver).

Esimese tüübi puhul külmstabiliseeritud segu põikisuunas ei laotata või laotatakse väheses ulatuses ning sageli tekivad pikivuugid.

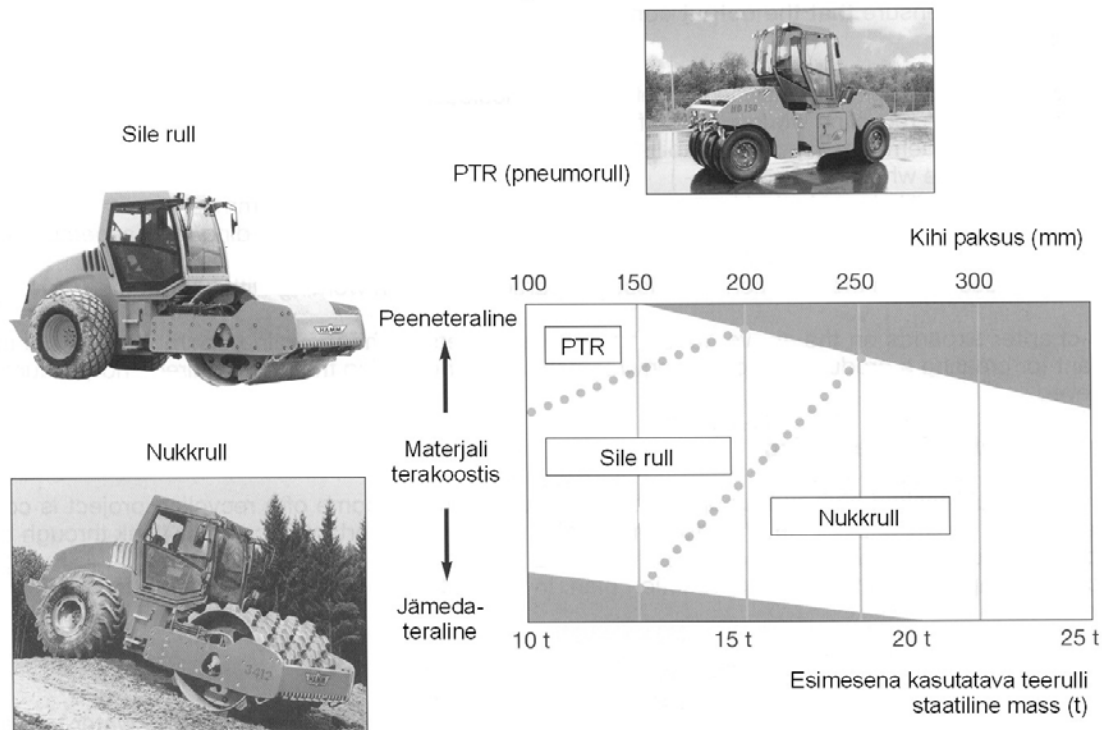
6.2.1.2 Teerullid

Tavaliselt on pärast taastamisprotsessi lõppu vaja katendit tihendada kolme teerulliga. Esimesena kasutatakse rasket teerulli (kas sileda või nukkidega rulliga), mis töötab suure amplituudiga vibratsioonirežiimil ning tihendab materjali kogu stabiliseeritud kihi sügavuses. Kui kihi alumises kahes kolmandikus on materjal ühtlaselt tihendatud, antakse katendile teehöövliga lõplik profiil ja kalded. Seejärel tihendatakse kihi ülemist osa silevaltsrulliga, mis töötab väikese amplituudiga vibratsioonirežiimil. Kui kasutatakse roomikutel segamisfreese, laotatakse materjal tavaliselt tasandusprussi abil ja kogu tihendamise teeb ära üks masin (kas ühe või kahe sileda valtsiga vibrorull). Viimistletud ja tiheda pinnakatte saamiseks kasutatakse kõige lõpuks veel pneumorulli (PTR).

Väljaandes M KRC on tihendamisel soovitatud kasutada rasket vibro-silevaltsrulli, mille minimaalne mass on 16 t. Lõpuks tagatakse kummivaltsrulli kasutamisega ühtlaselt suletud pealispinna moodustumine.

Kõige olulisem on esimese teerulli töö, kuna sellest sõltub stabiliseeritud kihi alumise osa tihedus. Joonisel 6.1 on kirjeldatud, millise staatilise massiga ja mis tüüpi teerulli tavalise stabiliseerimisprojekti puhul valida. Peamisteks valikukriteeriumiteks on stabiliseeritud kihi paksus ja stabiliseeritud materjali terakoostis.

Joonis 6.1 Esimesena kasutatava teerulli valiku juhised



6.2.1.3 Tsisternautod

Vee ja/või vedela sideaine (näiteks bituumenemulsiooni) lisamiseks tuleb segamisfreesiga haakida tsisternautod. Tsisternautode mahtuvus peab vastama tööde mahule ja tee geomeetria. Väikesemahuliste projektide puhul, kus tee geomeetria vastab madalamatele normidele (järsud kurvid ja järsud kalded), eelistatakse üldiselt tavalisi tsisternautosid, mille mahtuvus on 10000–15000 liitrit. Suuri poolhaagis-tüüpi tsisternautosid mahtuvusega üle 20000 liitri kasutatakse suuremahuliste projektide puhul, kus tee on tasane või künklik.

Ühelgi segamisfreesiga kokku haagitud tsisternautol ei tohi esineda lekkeid; see kehtib nii tsisterni kui ühendusvoolikute kohta. Lekkimine ei ole kahjulik, kui taastamisrõng liigub, kuid kui rõng seisab (nt trumli lõiketera vahetamise ajal) ja vesi (või sideaine) tilgub pikka aega lahtisele stabiliseeritud materjalile, tekitab see nn pehmeid laike.

6.2.1.4 Tsemendi lisamine

Tsemendi kasutatakse kogu maailmas kõige sagedamini ja seda nii üksi kui koos teiste sideainetega, tavaliselt bituumensideainetega. Kindlaksmääratud kulunormid jäävad vahemikku 1–6% või üle selle, kui stabiliseeritakse liiva sisaldavaid materjale. Kulunormid esitatakse alati protsendina stabiliseeritava materjali massist kohapealsel (tihendatud) tihedusel ning sideaine lisamise ühtlus on oluline, pidades silmas stabiliseeritud materjali vastavust ettenähtud tugevusnõuetele.

Tuleb meele pidada, et segamisfreesid, välja arvatud WR 4200, ei sega materjale ristsuunas ning ükski segamisfrees pole võimeline segama ettepoole. Stabiliseeritud materjal (mis sisaldab tsemendi või mis tahes muud teele laotatud materjali) ei liigu edasi horisontaalsuunas (va tehhoõvliga planeerimisel pealmine kihiosa), mistõttu on täpne laotamine oluline. Kui tsemendi laotamisel käsitsi ja puistena ei saavutata piisavat täpsust

(eriti kui kulunorm on alla 2%), tuleks kaaluda lobri lisamist WM 1000-ga. Nagu 2. peatükis juba kirjeldati, on WM 1000-ga võimalik lisada tsementi tolmuvaalt ning suure täpsusastmega kõikide kulunormide puhul.

6.2.2 Eesmärk

Etteantud perioodi jooksul stabiliseeritava katendi maht peab olema kooskõlas tee kõigi omadustega. Tavaliselt planeeritakse päeva töö nii, et valmiks tee teatud lõik täis- või pooles laiuses. Pole mõistlik stabiliseerida vaid tee ühte väikest lõiku (nt stabiliseerida ühte riba piki tee telgjoont, kui poole teelaiuse stabiliseerimiseks oleks vaja kolm sellist riba stabiliseerida). Selline teguviis tekitab probleeme vuukide kokkusobitamisel ning liiklusele avatud osaliselt stabiliseeritud teepooled ajavad segadusse autojuhte, eelkõige pimedas.

6.2.3 Materjal olemasolevas katendis

On väga oluline, milline on olemasoleva katendi materjali tüüp, kui ühtlane see on ja milline on selle niiskussisaldus. Erinevate materjalikihtide (eelkõige asfaltkihtide) paksuse muutused olemasolevas katendis võivad oluliselt mõjutada segamisfreesi liikumiskiirust. Lisaks sellele mõjutab materjali käitumine stabiliseerimisel selle laotamist, tihendamist ja viimistlemist. Peale selle mõjutavad tööde teostamist laotamise ja tihendamise piirangud, mis tavaliselt kehtivad hüdrauliliste sideainete puhul.

6.2.4 Olemasoleva tee geomeetria

Kõige olulisem tegur on tee laius, kuna sellest oleneb, mitu läbikut (lõiget, paani) tuleb tee stabiliseerimiseks teha. Hoolikat planeerimist nõuavad kitsenevad lõigud, nagu tõusuradade (ka kiirendus- ja aeglustusradade) algused ja lõpud. Paanide vaheliste pikivuukide paigutust mõjutab ka tee ristprofiil (kumerus või põikkalle). Neid tegureid kirjeldatakse üksikasjalikumalt edaspidi.

6.2.4.1 Pikivuugid

Stabiliseerimise käigus puututakse kokku kahte tüüpi vuukidega: pikivuukidega, mis jooksevad tee telgjoonega paralleelselt ning põikvuukidega, mis jooksevad tee telgjoonega risti. Kõik korralikult viimistlemata vuugid katkestavad katendit ning kahjustavad stabiliseeritud kihi struktuurilist ühtlust. Piki- ja põikvuugid on väga erinevad ning seetõttu käsitletakse neid eraldi.

Tavaliselt on segamisfreesi lõike laius väiksem kui tee või sõiduraja laius, välja arvatud WR 4200 puhul. Seetõttu on kogu teelaiuse stabiliseerimiseks vaja teha mitu läbikut (paani), mille tulemusel tekib kõrvuti asetsevate paanide vahel pikivuugid. Et kõrvuti asetsevad paanid moodustaksid terviku, tuleb ülekatted teha kogu vuugi pikkuses. Seega töödeldakse uut materjali kogu trumli laiuses ainult esimese paani puhul. Järgnevate paanide efektiivne laius väheneb ülekatte võrra. Tuleb hoolikalt jälgida, et sideaineid ja vett lisataks kogu ülekatte laiuses ühtlaselt.

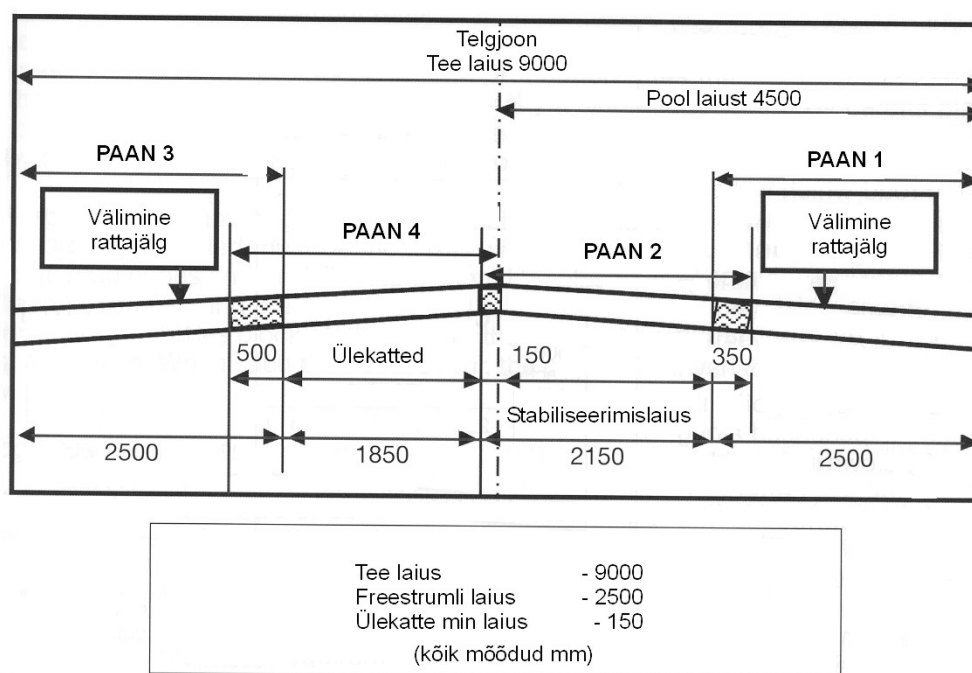
Kogu teelaiuse stabiliseerimiseks vajalike paanide arv ja pikivuukide paiknemine sõltub:

- stabiliseeritava tee laiusest ja ristlõikest. Et kumera ristlõikega teede teehari saaks stabiliseeritud ühtlase sügavusega, on soovitatav stabiliseerida pool laiust korraga;
- kasutatava segamisfreesi tüübist ja eriti freestrumli laiusest. Kõigi Wirtgeni segamisfreeside parem külg on spetsiaalselt projekteeritud äärekivi või muu analoogilise äärisest äärest stabiliseerimiseks ning tavaliselt jäetakse ääris esimese lõike välisserva;

- tavaliselt soovitatakse ülekatte minimaalseks laiuks 150 mm, kuid vahel tehakse suurem ülekate, arvestades kihi paksuse (> 300 mm), stabiliseeritud materjali jämeduse, sideaine tüübi ning kõrvuti asetsevate paanide tegemiseks kuluva ajaga. Üldjuhul peaks ülekate olema seda laiem, mida paksem on kiht ja jämedama teraga on materjal; samuti peaks ülekate olema laiem juhul, kui kasutatakse hüdraulilist sideainet ja kahe kõrvuti asetseva paani tegemise vahele jääb rohkem kui kaksteist tundi;
- pikivuugid ei tohiks jääda aeglaselt liikuvate raskeveokite rattajälgedesse.

Nagu eespool kirjeldati, tuleb projekti planeerimisel koostada kõigepealt ülekattet iseloomustav plaan. Paani efektiivse stabiliseerimislaiuse määramiseks tuleb trumli laiusest lahutada ülekatte laius, mis omakorda määrab ära vee ja sideaine vajaduse, nagu näidatud joonisel 6.2.

Joonis 6.2 Pikivuukide ülekatteid kirjeldav paanide plaan



Kui tekib kahtlus, et vett ja sideainet ei lisata kogu ülekatte laiuses ühtlaselt, tuleb teha suurendatud plaan, mis näitab ülekatte asukohta dosaatorite suhtes.

On oluline, et vuukide ülekate oleks korralikult tehtud, kuna see mõjutab stabiliseeritud kihi lõplikku käitumist. Nagu eespool mainiti, katkestavad vuugid katendit ning seepärast peab neile pöörama erilist tähelepanu. Probleemid on tavaliselt tingitud segamisfreesi ebatäpsest tööst, mille tulemusel jäävad kõrvuti asetsevate lõigete vahele stabiliseerimata ribad, või lisatakse lisandeid topelt, kuna ülekate tehti kogemata laiem. Et segamisfreesi juhul oleks lihtsam masinat õigesti juhtida, tuleks olemasolevale katendile värvida jooned või tõmmata nööri, mille järgi oleks lihtne liikuda. Enne uue paani alustamist tuleks kontrollida, kas tähistus on kogu stabiliseeritava lõigu pikkuses nähtav.

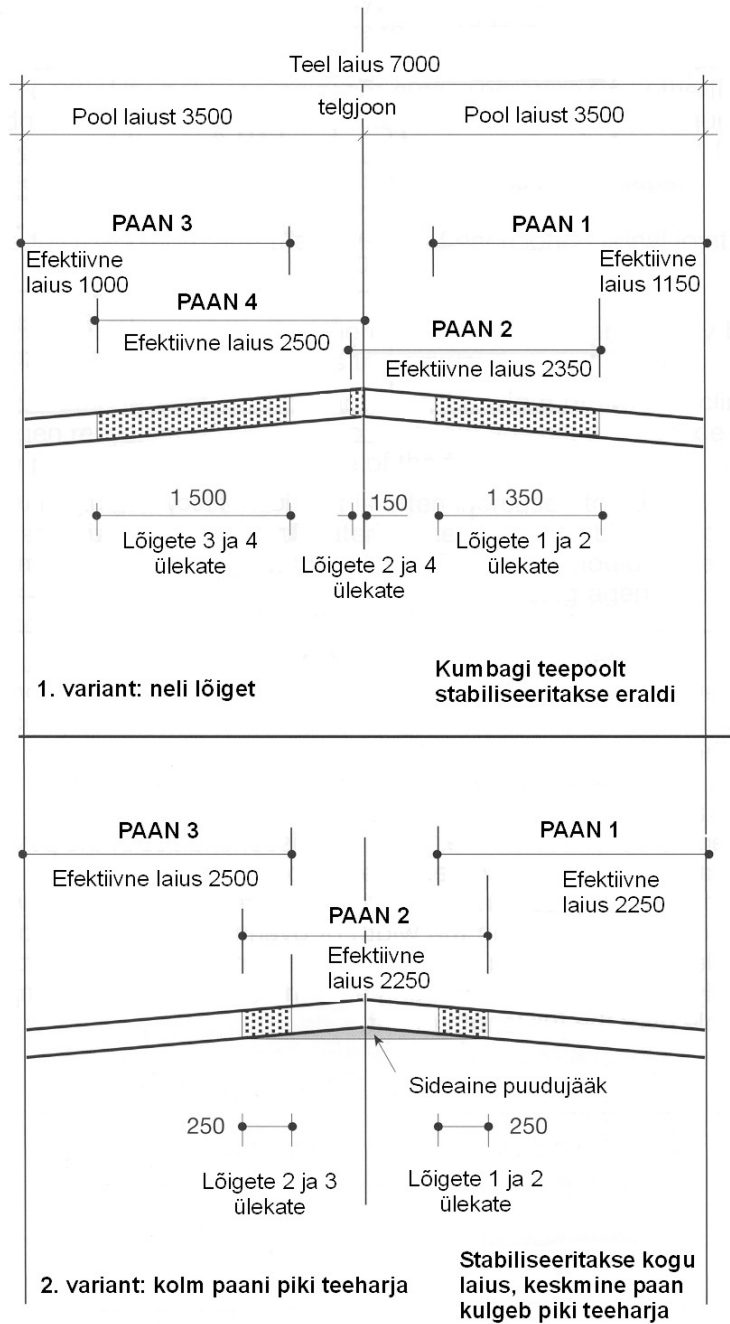
6.2.4.2 Pikivuugid kitsastel teedel

Kui tee on alla 7 m lai, tuleks stabiliseerida kogu laius, mitte poole laiuse kaupa. Kui kasutatakse segamisfreesi WR 2500 S, mille standardne trumli laius on 2,5 m, tuleb kummagi teepoole stabiliseerimiseks teha kaks suure ülekattega paani, mis tähendab seda, et kogu teelaiuse stabiliseerimiseks tuleb teha neli paani. Kui võtta ette kogu tee laius korraga, tuleb teha kolm paani väiksemate ülekatetega ning kogu operatsioon on umbes 25% efektiivsem. Kahe variandi võrdlus on esitatud joonisel 6.3.

Kumba varianti eelistada, sõltub järgmistest asjaoludest:

- liiklussagedusest ja liikluse koosseisust (raskeveokite protsendist), mis omakorda dikteerivad liikluskorraldusele esitatavad miinimumnõuded. Tavaliselt on kitsastel teedel liiklussagedus väike ja seal liiguvad suhteliselt kerged sõidukid, mida on lihtne ümber suunata;
- keskmise paani keskel, piki teevarja tekib sideaine puudujääk. See suureneb märkimisväärselt stabiliseerimissügavuse suurenedes. Kui näiteks standardse 2% kaldega teed stabiliseeritakse 200 mm sügavuselt segamisfreesiga, mille trumli laius on 2,5 m, on sideaine puudujääk üle 10%. Kuigi see näitaja ületab lubatud piiri, saab olukorda parandada, suurendades sideaine kulunormi ning vähendades lõike sügavust (lubatud piirides);
- pärast stabiliseerimist tuleb teevarja taastada. Roomikutel segamisfreesi puhul on see suhteliselt lihtne, kuna tasandusprussi saab reguleerida vastavalt vajalikule kaldele. Kui kasutatakse õhkrehvidel segamisfreesi, tuleb tee lõplik pind profileerida teevarjuga.

Joonis 6.3 Kitsaste teede stabiliseerimise võimalused



6.2.5 Liikluskorraldus

Töökorraldust mõjutab teed kasutavate liiklusvahendite hulk, liikluse koosseis ehk kergete sõidukite ja raskeveokite hulk ning see, kuidas suunatakse liiklust tee taastamise ajal. Harilikult kehtestatakse töö ajaks teatud piirangud, näiteks piiratakse ajutiselt tee ääres asuvate maaomanike juurdepääsu oma kruntidele.

Võrreldes teiste katendi remondi meetoditega (nt kahjustatud kihtide väljakaevamine ja asendamine) mõjutab külmstabiliseerimine liiklust suhteliselt vähe. Tänu sellele, et stabiliseerimine toimub ühe läbikuga ning masinate tootlikkus on suur, suletakse korraga väike teelõik, harilikult ühe sõidurea laiuses. Tööde hoolika planeerimisega saab hoida vähemalt pool tee laiust liiklusele avatuna, reguleerides seda peatu/sõida märkide või teisaldatavate fooridega.

Tuleb järgida ametlikke nõudeid, mis näevad ette ajutiste hoiatusmärkide paigaldamist remonditava teelõigu mõlemasse otsa. Nõuded on riigiti erinevad. Lisaks sellele tuleb paigaldada piki teed umbes 20 m vahega suured hoiatuskoonused ja/või ääretähistused, tähistamaks liiklusele suletud teelõiku. Halb liikluskorraldus võib kaasa tuua segadusi (nt sõidukid blokeerivad segamisfreesi tee) või isegi tööseisakuid, näiteks kui toimub kokkupõrge. Sellised intsidendid viitavad alati kehvale liikluskorraldusele.

6.2.6 Logistika

Külmstabiliseerimine on kiire protsess, mis tähendab seda, et tööviljakus on kõrge ning segamisfreesile vajab pidevalt sideainet, vett ja (kui vaja) mujalt toodud täitematerjali. See on küllaltki suur väljakutse juhul, kui esineb tarneprobleeme, tarneteekonnad on pikad ja/või juurdepääs remonditavale teele on piiratud.

Materjalide päevane kulu tuleb eelnevalt välja arvutada, esitada tellimused ning organiseerida nende kohaletoomine nii, et stabiliseerimisprotsess ei katkeks. On selge, et vajalike materjalide ja kütuseta on töö häiritud ning potentsiaal jääb kasutamata. Materjalide, sideainete ja vee vajadus määratakse arvutustega, mis põhinevad päevasel kavandataval tootmismahul. Järgnevad sellekohased näited.

Mujalt toodud materjal. Eeldame, et enne stabiliseerimist tuleb olemasolevale katendile laotada ühtlane 50 mm paksune loodusliku kruusa kiht. Mujalt toodava materjali päevane vajadus määratakse järgmiselt:

Nr	Kirjeldus	Valem	Kogus	Ühik
1	Päevane tootmismah		5000	m ²
2	Kruusakihi paksus (puistena)		50	mm
3	Mujalt toodava puistematerjali mah	$\frac{nr1 \times nr2}{1000}$	250	m ³
4	Teepinnale laotatava kruusa tihedus		1800	kg/m ³
5	Mujalt toodava kruusa päevane vajadus	$\frac{nr3 \times nr4}{1000}$	450	t

Sideained. Eeldame, et projekti spetsifikatsioonis nähakse ette 1,5 massi% tsemendi ja 3 massi% vahtbituumeni lisamist. Sideainete päevane vajadus määratakse järgmiselt:

Nr	Kirjeldus	Valem	Kogus	Ühik
1	Päevane maht		5000	m ²
2	Stabiliseeritava kihi paksus		250	mm
3	Stabiliseeritud materjali tihedus (ette antud tihedusel)		2100	kg/m ³
4	Stabiliseeritava materjali kogus	$nr1 \times \frac{nr2}{1000} \times \frac{nr3}{1000}$	2625	t
5	Tsemendi vajadus Tsemendi kulunorm		1,5	%
6	Tsemendi kogus	$\frac{nr4 \times nr5}{100}$	39,4	t
7	Bituumeni vajadus Bituumeni kulunorm		3	%
8	Bituumeni kogus	$\frac{nr4 \times nr7}{100}$	78,8	t

Vesi. Eeldame, et olemasoleva katendi stabiliseeritavas osas on materjali kohapealne keskmine niiskussisaldus 4% ja segamiseks vajalik niiskussisaldus 80% optimaalsest niiskussisaldusest (vt punkt 6.5). Vee päevane vajadus määratakse järgmiselt:

Nr	Kirjeldus	Valem	Kogus	Ühik
1	Päevane tootmismah		5000	m ²
2	Stabiliseeritava kihi paksus		250	mm
3	Stabiliseeritava materjali tihedus (ette antud tihedusel)		2100	kg/m ³
4	Stabiliseeritava materjali kogus	$nr1 \times \frac{nr2}{1000} \times \frac{nr3}{1000}$	2625	t
5	Kohapealne niiskussisaldus		4	%
6	80% optimaalsest niiskussisaldusest		5,1	%
7	Veevajadus , et saavutada 80% optimaalsest niiskussisaldusest		1,1	%
8	Vee kogus	$\frac{nr4 \times nr7 \times 1000}{100}$	28,875	liitrit

Märkus: eespool toodud näites arvutatud vee kogus on vajalik stabiliseeritud materjali optimaalse niiskuse saavutamiseks. Vesi lisatakse stabiliseerimisprotsessi käigus segamisfreesi freesimis- ja segamiskambrisse. Siia hulka ei kuulu viimistlus- või kõvenemisprotsessi käigus valmis pinnale pihustatav vesi, mille vajadus tuleb eraldi ette näha.

Suurte stabiliseerimisprojektide puhul, või kui tarneteekonnad on pikad, ladustatakse materjalid võimalike tarnekatkestuste puhuks selleks ettenähtud kohtades. Harilikult peavad sellised hoiukohad mahutama kõikide materjalide ühe päeva varu. Tsemendi tarvis

püstitatakse silod, pakitud materjalide jaoks paigaldatakse objektile konteinerid ning vedelike tarvis mahutid. Teoreetiliselt tuleks topeltkäsitlemise vältimiseks võtta hoiukohtadest materjale ainult siis, kui tekib puudujääk. Praktikas on siiski soovitatav kasutada materjale jooksvalt, et vältida logistilisi probleeme. Probleemid on järgmised:

- hästi isoleeritud mahutites langeb kuumbituumeni ($> 160\text{ °C}$) temperatuur ühe tunni jooksul ligikaudu 1 °C . Seega, kui bituumenit soovitakse hoida tagavaraks, tuleb seda pidevalt kuumutada;
- mitte kõik bituumenemulsioonid pole pika perioodi jooksul stabiilsed. Et vältida bituumeni eraldumist veest ladustamise ajal peab emulsiooni tootja andma spetsiaalsed juhised emulsiooni säilitamiseks;
- tsement tuleb ära kasutada kolme kuu jooksul alates selle valmistamisest, kuna aja jooksul tsemendi tugevusomadused vähenevad. Lisaks selle tuleb silod ja konteinerid tihendada, et takistada vihmavee juurdepääsu.

Stabiliseerimisprojekti logistika väljatöötamisel tuleb arvestada kõiki eespool loetletud tegureid. Päevase materjalivajaduse arvutamine on suhteliselt lihtne ning taastamisrongi kõrge tootmispotentsiaali ärakasutamise huvides tuleks arvutused teha täpselt.

6.2.7 Lõpptootele esitatavad nõuded

Lisaks kihi paksusele tuleb täpselt määratleda ka muud lõpptootele esitatavad nõuded. Sinna hulka kuuluvad lõplike kõrguste ja profiili piirnõrmed, lõplikule tihedusele ja pinna tekstuurile esitatavad nõuded ning üldilgse materjali utiliseerimine.

Valmis katte kohta kehtivad nõuded hõlmavad:

- kihi paksust
- jäävpoorsust
- tihendusastet
- tasasust
- õiget kallet
- katendi minimaalset kandevõimet

6.2.8 Stabiliseerimisele eelnevad tööd

Stabiliseerimisele eelnevaid töid käsitletakse punktis 6.3 ja nendeks on:

- takistuste, näiteks kaevuluukide kõrvaldamine;
- uute truupide paigaldamine või muude drenaažisüsteemide tegemine;
- eelpurustamine või eelpeenestamine ettenähtud profiili ja/või kõrguse saavutamiseks;
- uue materjali vedamine/laotamine olemasolevale teekattele.

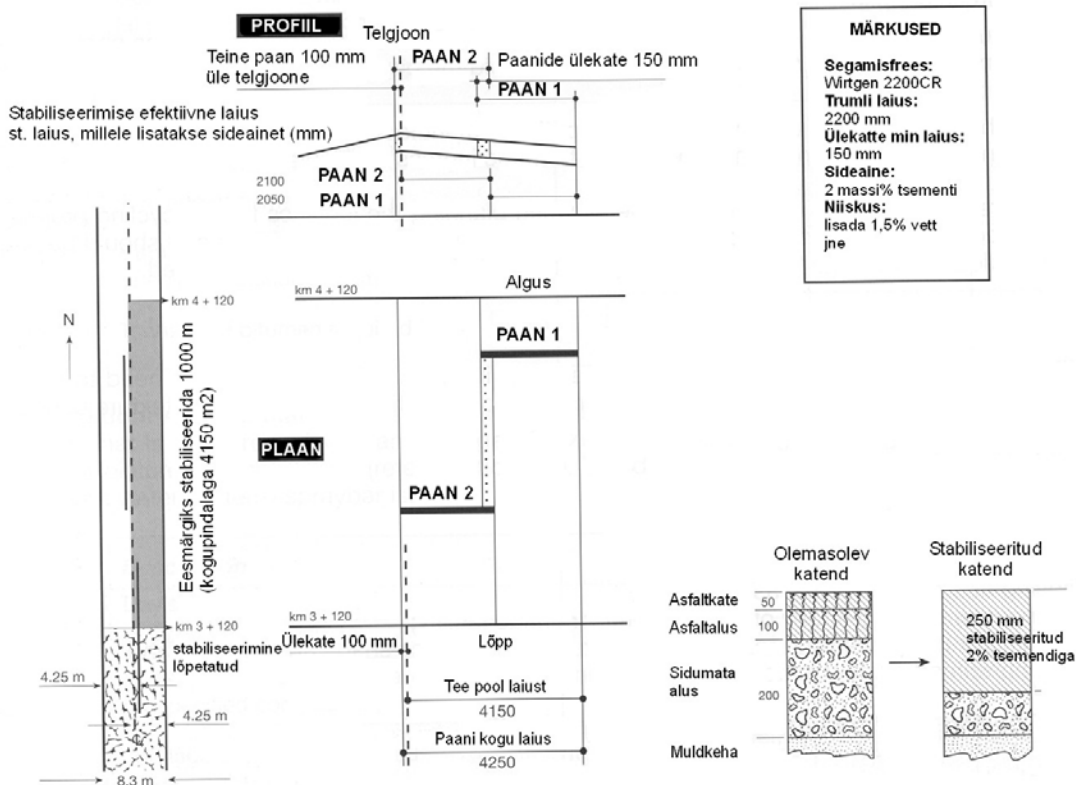
6.2.9 Erinõuded enne tee avamist liiklusele

Mõnede projektide puhul on nõutav, et stabiliseeritud kihti töödeldaks veel eraldi, näiteks pihustatakse üle lahjendatud bituumenemulsiooniga. Seega tuleb tööde planeerimisel arvestada ka nende tööde tegemiseks kuluva ajaga.

6.2.10 Päevase toodangu planeerimine

Eespool loetletud aspektid peaksid kajastuma lihtsas, kergelt loetavas päevases tootmisplaanis, nagu see on näidatud joonisel 6.4.

Joonis 6.4 Päevase tootmisplaani lihtsustatud näide



6.3 Stabiliseerimisele eelnevad tööd

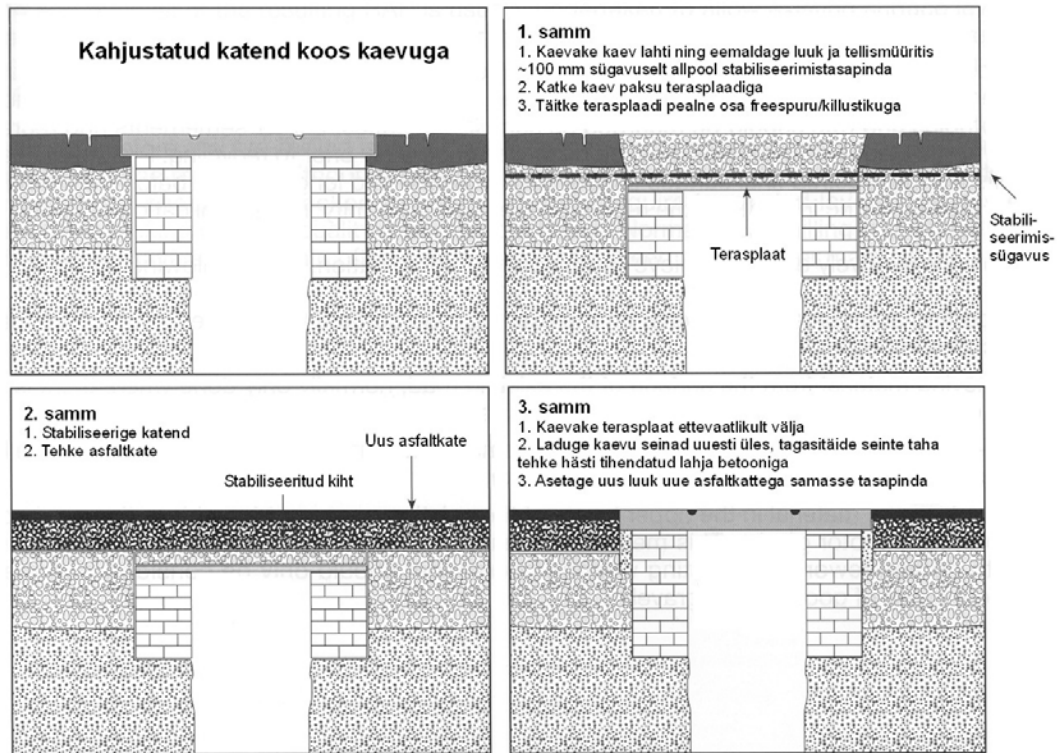
Kõik stabiliseerimisele eelnevad tööd tuleb lõpetada õigeaegselt, et segamisvrees saaks segamatult töötada. Taastusrongi seiskamine mitte ainult ei raiska väärtuslikku aega, vaid tekitab katendisse lisavuuke. Sarnaselt teiste tööoperatsioonide (nt asfaldi laotamise) käigus tekkivatele vuukidele nõrgestavad nad katendit ning neid tuleks võimalusel vältida.

Stabiliseerimisprojektides tuleb sageli tegeleda nelja tüüpi eeltööga. Järgnevates punktides käsitletakse neid kõiki eraldi.

6.3.1 Takistuste eemaldamine

Linnatänavate taastamise käigus tuleb ette mitmesuguseid takistusi, näiteks kaevud. Need tuleks enne katendi stabiliseerimist eemaldada, nagu on näidatud joonisel 6.5. Lisaks sellele, et tänu takistuste eemaldamisele saab stabiliseerimisprotsessi läbi viia ilma katkestusteta, on tulemuseks materjali konsistentsi ja paksuse poolest ühtlane katend ning asfaltkihi saab stabiliseeritud katendile laotada takistusteta. Kui katend on valmis, võib kaevuluugi tagasi panna uue katendiga täpselt samasse tasapinda, samal ajal kui asfaltkatte sobitamine olemasolevate konstruktsioonidega tekitab kühme.

Joonis 6.5 Takistuste eemaldamine enne stabiliseerimist

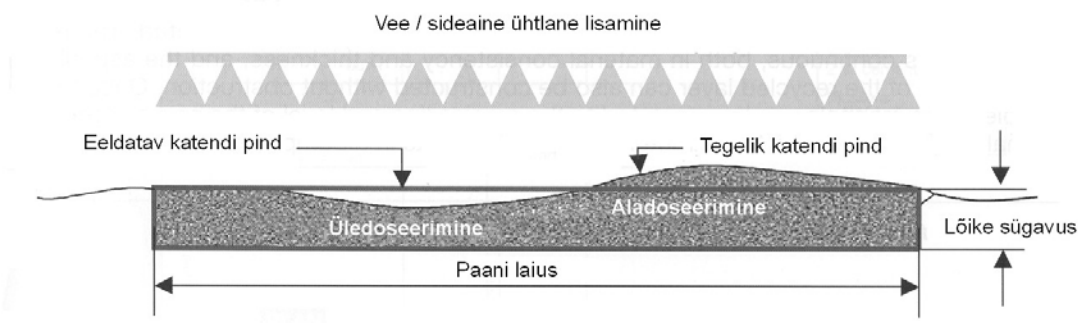


6.3.2 Olemasoleva tee eelprofileerimine

Väga halvas korras tee profiili tuleb enne stabiliseerimist korrigeerida. Sellega tagatakse, et pärast lõpliku profileerimist teehöövli või tasandusprussiga jääb kihi paksus nii põik- kui pikisuunas ühesuguseks.

Segamisfreesidele monteeritud dosaatorite kaudu lisatakse sideainet ja vett ühtlaselt kogu paani laiuses. Stabiliseeritava kihi paksuse varieerumise tõttu satub aga nii sideainet kui vett stabiliseeritavasse materjali ebaühtlaselt, nagu kirjeldatakse joonisel 6.6. (Märkus: ainus segamisfree, mis ei lisa sideainet ühtlaselt kogu lõike laiuses, on WR 4200, kuna dosaatorid on sellel monteeritud segisti ülaossa.)

Joonis 6.6 Pinna ebaühtlusest tingitud kulunormi erinevused



Profiili korrigeerimise hulka kuulub põikkalde (ühepoolse põikkalde või külgskalde) muutmine ning projektjoone vähene parandamine, mille eesmärgiks on siluda ebatasasusi, nagu lokaalsed kühmud ja lohud. Ebatasasusteks tuleks lugeda ka lõõkaugud ja roopad. Suuremaid vajumeid, mille sügavus ületab stabiliseeritava kihi paksuse, tuleb töödelda enne stabiliseerimist eraldi. Eelprofileerimisega antakse teele enne stabiliseerimist nõutav profiil nii põik- kui pikisuunas, tagades nii stabiliseeritud kihi geomeetrilise terviklikkuse kui ka vedelike ühtlase lisamise.

Eelprofileerimist on suhteliselt kerge teostada, kasutades korraga ühte või mitut järgnevatest meetoditest:

- materjali tuuakse mujalt ning laotatakse see vajaliku profiili saavutamiseks olemasoleva tee pinnale. Lähemalt käsitletakse seda punktis 6.3.3;
- materjal eemaldatakse olemasoleva katendi pinnalt. Harilikult tehakse seda ainult juhul, kui asfaldi kiht on eelpurustamiseks piisavalt paks. Lähemalt käsitletakse seda punktis 6.3.4;
- olemasoleva katendi materjal peenestatakse eelnevalt ning lahtine materjal profileeritakse teehöövliga. Lähemalt käsitletakse seda punktis 6.3.5; ja/või
- olemasoleva katendi ülemiste kihtide materjal profileeritakse teehöövliga. Seda meetodit kasutatakse harilikult kruusateede puhul, mille olemasoleva kulumiskihi töötlemine on suhteliselt lihtne, kuid ainult juhul, kui kvaliteetsest kruusast kate on piisava paksusega.

6.3.3 Uue materjali juurdevedu

Uut materjali tuuakse juurde ja laotatakse teele enne stabiliseerimist, et:

- parandada tee profiili. Olemasoleva katendi ülemiste kihtide materjaliga kvaliteedi poolest sobiv materjal tuuakse kohale ja laotatakse vajalikus laiuses ja tasapinnas teele ning tihendatakse. Vältimaks töötlemata materjali jäämist stabiliseeritud kihi alla, on äärmiselt oluline kontrollida, et juurdetoodud materjalikihi paksus ei ületaks stabiliseeritava kihi paksust;

- parandada stabiliseeritava materjali terakoostist. Asfaldi stabiliseerimisel jääb tihti olemasoleva katendi ülemistes kihtides pideva sõelkõvera moodustamiseks vajaka mõnest fraktsioonist, eelkõige just peenfraktsioonist (mis läbib 0,075 mm sõela). Puuduva fraktsiooni juurdetoomine ja laotamine teepinnale parandab oluliselt stabiliseeritud kihi terakoostist. Otsus, millist fraktsiooni lisada, põhineb tavaliselt teepinnast võetud proovide terakoostise analüüsil. Seetõttu tuleb jälgida, et võetud proovid oleksid tegelike materjalide suhtes analoogsed;
- suurendada stabiliseeritava kihi paksust, rikkumata seejuures alumiste kihtide struktuuri. Vahel on olemasoleva katendi ülemistes kihtides liiga vähe materjali, et nõutav stabiliseerimissügavus oleks tagatud. See võib olla tingitud alumise kihi materjali kehvast kvaliteedist või muidu ebasobivast materjalist. Sellistel juhtudel saavutatakse katendi projekteeritud paksus juurdetoodud materjali lisamisega.

6.3.4 Olemasoleva katte eelpurustamine

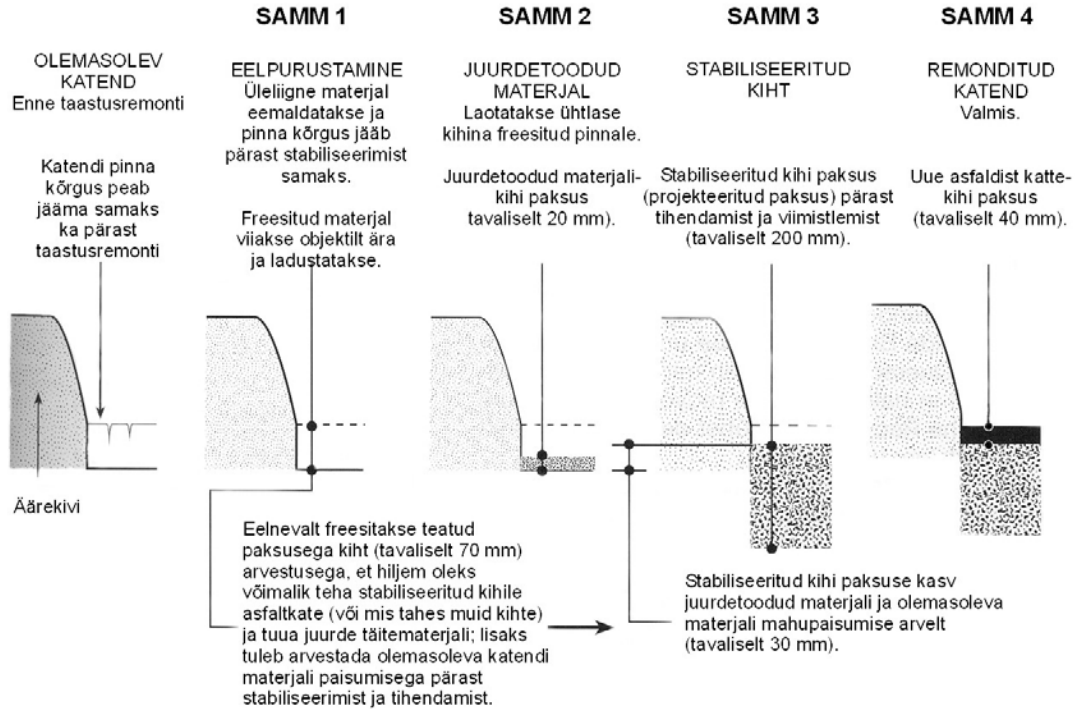
Tavaliselt võetakse eelpurustamist ja selle käigus tekkiva asfaltpuru eemaldamist ette juhul, kui soovitakse, et katendi kõrgus säiliks samana ka pärast stabiliseerimist ning et poleks vaja teostada drenaaži ja muude rajatiste kulukaid õigesse kõrgusesse paigutamise töid. Sellise vajadusega puututakse kokku siiski ainult linnas.

Enne eelpurustamist tuleb kontrollida, kas ülemist kihti on võimalik eemaldada kogu konstruktsiooni nõrgestamata. Lisaks sellele tuleb kontrollida, kas on võimalik saavutada stabiliseeritud kihi nõutavat paksust puutumata alumisi, kehva kvaliteediga materjale. Harilikult freesitakse eelnevalt mitme asfaldikihiga katendeid, milles osad kihid on aastate jooksul tehtud ülekatted.

Eelpurustatava materjali sügavuse määramisel tuleb arvestada kolme tegurit. Need on illustreeritud joonisel 6.7 ja võib kokku võtta järgmiselt:

- juurdetoodud täitematerjali mõju stabiliseeritud kihi paksusele. Mõju on suhteliselt lihtne hinnata, kui lisatakse jämedateralist materjali. Peeneteraline materjal kaob stabiliseeritud materjali pooridesse. On üsna tavaline, et alla 6,7 mm materjal kaob peamiselt asfaldist koosneva stabiliseeritud materjali hulka, eriti kui tolmu lisatakse vähem kui 15 mahu%. Peenosised kaovad jämedateralise stabiliseeritud materjali hulka ning ei põhjusta märgatavat mahumuutust;
- olemasoleva katendi materjali tüüp mõjutab stabiliseeritud materjali mahupaisumist. Asfalt paisub stabiliseerimisel alati vähemalt 10%. Mahupaisumist põhjustab asfaldi ja stabiliseeritud freespuru vaheliste pooride suhteline kasv. Materjali töötlemisel bituumenemulsiooniga kirjeldatud paisumist tavaliselt ei toimu; ning
- stabiliseeritud kihile laotatavate lisakihtide ja/või katte paksus.

Joonis 6.7 Eelpurustamissügavuse määramine

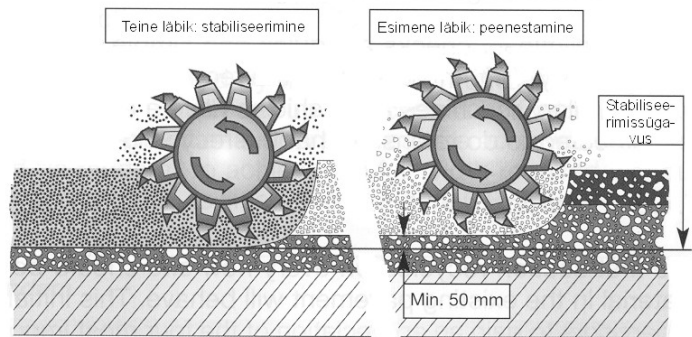


6.3.5 Olemasoleva katte eelpeenestamine

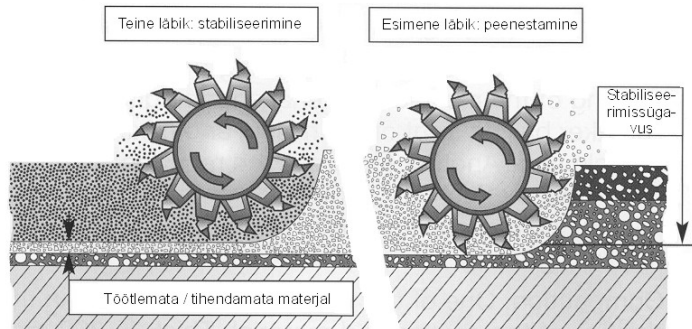
Olemasoleva katendi peenestamist enne sideainega töötlemist võetakse tavaliselt ette ainult järgmistel juhtudel:

- katendi pinna ebatasasused on stabiliseerimissügavusega võrreldes suured;
- stabiliseerimissügavuses on kihte, mille purustamiseks läheb vaja rohkem jõudu. See võib takistada segamisfreesi tööd, mille kiirus võib jääda aeglasemaks, kui on vaja materjali põhjalikuks segamiseks. Sellised keerulised freesimistingimused tulevad ette, kui on tegemist paksude asfaltkihtidega ja/või juhul, kui materjali on varem stabiliseeritud suure koguse tsemendiga; ning
- ühtluse saavutamiseks on vaja materjali segada ristsuunas (ei kehti WR 4200 puhul). Selline olukord tuleb tavaliselt ette juhul, kui teed on vahepeal laiendatud, kasutades materjali, mis erineb esialgse

Joonis 6.8 (a) Eelpeenestamise õige sügavus



Joonis 6.8 (b) Eelpeenestamise vale sügavus



katendimaterjali koostisest (nt kui alguses ehitati tee killustikalusele ja hiljem laiendamisel kasutati tsemendiga stabiliseeritud kruusa). Ristsuunaliseks segamiseks kasutatakse teehöövliit.

Eelpeenestamise puhul tuleb esimese läbikuga tehtud löike sügavust hoolega kontrollida kahel põhjusel (vt joonis 6.8):

- et trummel ei ulatuks projekteeritud stabiliseerimissügavusest allpool asuvate halva kvaliteediga kihtideni, mille kaasamine halvendaks stabiliseeritud materjali kvaliteeti; ning
- peenestatakse tavaliselt ilma niiskust lisamata ja pärast lahtise materjali profileerimist tihendatakse seda vaid kergelt. Et töötlemata ja tihendamata materjali kiht ei jääks stabiliseeritud kihi alla, ei tohi peenestamissügavus ulatuda stabiliseerimissügavuseni. Nõrk kiht põhjustab katendi enneaegset lagunemist seetõttu, et uuele katendile rakendatud dünaamiliste koormuste tagajärjel surutakse tihendamata materjal kokku.

Kirjeldatud probleemide vältimiseks ei tohiks katendit eelnevalt peenestada. Kui see on siiski vajalik, tuleb kinni pidada ettenähtud peenestamissügavusest, et olemasoleva katendi õhuke purustamata kiht (tavaliselt > 50 mm) saaks teise läbikuga stabiliseeritud. Lisaks sellele tuleks eespool nimetatud probleemide vältimiseks lisada eelpeenestamise käigus vett ja tihendada lahtine materjal kohe segamisfreesi taga.

6.4 Stabiliseerimine

Käesolevas punktis käsitletakse kõige tähtsamaid stabiliseerimise aspekte, nagu taastamisrongi seadistamine, enne töö algust ja töö käigus järgitavad menetlused, stabiliseerimise käigus ette tulevad probleemid ja stabiliseeritud materjali paigaldamine. Stabiliseerimisele järgnev tihendamine ja viimistlemine on samuti väga olulised ja seepärast käsitletakse neid protsesse eraldi, vastavalt punktides 6.5. ja 6.6.

6.4.1 Taastamisrongi seadistamine

Stabiliseerimisega tohib alustada ainult juhul, kui on tehtud kõik vajalikud eeltoimingud, mis õiges järjekorras loetletuna on järgmised:

- kontrollida põhjalikult kõiki stabiliseerimisel kasutatavaid masinaid ja seadmeid – teerulle, laotureid ja tsisternautosid;
- kontrollida bituumensideainete temperatuuri;
- kontrollida, et tsisternautodes, laoturites ja segistites oleks ettenähtud lõigu stabiliseerimiseks piisavalt vett ja/või sideainet. Tsisternautodes tuleks võimalusel kontrollida bituumensideaine sisaldust mõõtevargaga;
- koostada taastusrong esimese paani alguses, kinnitada vajalikud tõuketiislid (ja/või veotrossid);
- ühendada toititorud segamisfreesiga, lasta õhk süsteemist välja ja kontrollida, et kõik ventiilid oleksid avatud;
- kontrollida, et operaatoril oleks arvutisse sisestamiseks kõik sideaine kulunormi puudutavad andmed, et tee tähistus oleks nähtav kogu löike ulatuses ning et kõigil oleks selge, millised on nende kohustused.

Kõik nimetatud kontrollid on lihtsad ja kiiresti teostatavad ning nende läbiviimine peaksid muutuma iga vahetuse alguses rutiiniks. Lisaks sellele oleks mõistlik kontrollida, kas kõikide abimasinate ja sõidukite operaatorid ja juhid teavad, millised on nende kohustused ning mida neilt oodatakse.

6.4.2 Töö alustamine

Igal uuel objektil loetakse esimest stabiliseeritud teeosa proovilõiguks, mille põhjal hinnatakse, kuidas olemasoleva katendi materjal käitub. Selline esialgne töö annab operaatoritele ja järelevalvele võimaluse hinnata järgmist kolme tähtsat aspekti:

- stabiliseeritud materjali terakoostis. Segamisfreesi toodetud materjal tuleks sõelanalüüsiga üle kontrollida, et teha kindlaks, kas see vastab labori projektsegudes kasutatud proovidele;
- freestrumli pöörlemiskiirus ja segamisfreesi edasiliikumise kiirus mõjutavad stabiliseeritud materjali terakoostist. Wirtgeni segamisfreesidel on freesimis- ja segamistrumli ees nn tõkkelatt, mille reguleerimisega saab piirata osiste maksimaalset terasuurst. Peale selle on segamisfreesidel hüdrauliliselt avatav ja suletav tagumine uks. Ukse sulgemisel jääb materjal freesimis- ja segamiskambrisse ning materjali purustatakse ja segatakse paremini. Nõutava terakoostise saamiseks tuleks leida kirjeldatud võimaluste parim kombinatsioon;
- tihendamine. Üks olulisemaid tegureid, mis mõjutab stabiliseeritud kihi käitumist on tihendatud materjali lõplik tihedus. Paksude kihtide (> 200 mm) puhul on vaja sageli kasutada spetsiaalseid tihendamismeetodeid ning proovilõigud annavad võimaluse hinnata erinevate rullimismeetodite efektiivsust;
- mahupaisumine. Vanade kahjustatud katendite asfaltkihid on väikese poorsusega, kuna looduslikud (sõmer)materjalid on tavaliselt hästi tihenenud. Selliste materjalide stabiliseerimine toob endaga kaasa mahu suurenemise, mis omakorda mõjutab tihendatud kihi lõplikku kõrgust.

Esialgsete proovilõikude tegemine annab operaatoritele, järelevalvele ja objekti juhtidele ideaalse võimaluse katsetada ja õppida tundma materjalide käitumist.

6.4.3 Stabiliseerimine

Kui kõik punktis 6.4.1 kirjeldatud eeltoimingud on korralikult läbi viidud, tekib stabiliseerimise käigus harva probleeme. Kui aga taastusrong juba töötab, peab kogenud järelevalveinsener viima nõutava jõudluse tagamiseks läbi terve rea kontrollid. Oluline on pöörata tähelepanu järgmistele üksikasjadele:

- lõike sügavus kummalgi pool segamisfreesi. Lisaks sellele tuleks regulaarselt kontrollida stabiliseeritud kihi alumist tasapinda geodeetiliste märkide, näiteks mõlemale poole teed asetatud kõrgusmärkide suhtes;
- segamisfreesi liigub mööda maha märgitud joont ja ülekate on nõutava laiusega;
- edasiliikumiskiirus. Segamiseks optimaalne kiirus on sõltuvalt lõike sügavusest, stabiliseeritavast materjalist ja lisanditest 6–12 m/min. Stabiliseerida ei tohiks segamisfreesi maksimaalsel kiirusel (soodsates tingimustes võivad Wirtgeni segamisfreesid liikuda isegi üle 25 m/min);
- töödeldud materjali niiskussisaldus on nõutava tiheduse saavutamiseks piisav. Kogenud järelevalveinsener oskab seda kiiresti hinnata; ning
- stabiliseeritud toode vastab ootustele.

Stabiliseerimisprotsessi kiirus sõltub segamisfreeside tüübist ja arvust. WR 4200 kasutamisel stabiliseeritakse korraga pool tee laiust ja liigutakse ühes suunas. Kasutades korraga rohkem kui ühte WR 2500 S või 2200 CR, on võimalik stabiliseerida korraga kogu teelaius, ilma et teise läbiku tegemiseks oleks vaja tagurdada või suunda muuta (vt joonis 6.9).

Joonis 6.9 Stabiliseerimine kahe taastusrongiga



Mitut segamisfreesi kasutatakse siiski suurte ainult projektide puhul; enamus projekte viiakse läbi ühe segamisfreesiga, mistõttu tuleb kogu tee laiuse stabiliseerimiseks teha teine läbik. Sellise meetodi puhul tuleb määrata korraga stabiliseeritav teepikkus, enne kui segamisfrees järgmise paani tegemiseks tagurdab (või ümber pöörab). Tavaliselt sõltub see teepikkus kasutatavast sideainest. Iga sideaine puhul peavad olema täidetud erinevad nõuded:

- tsemendi kasutamisel on soovitatav stabiliseerida korraga lühemad lõigud, kuna nii jääb piisavalt aega kogu teepoole stabiliseerimiseks, lõplike kõrguste profileerimiseks, tihendamiseks ning pinna viimistlemiseks, enne kui tsement saavutab lõpliku tugevuse; ning
- bituumenemulsiooni või vahtbituumeniga stabiliseerides dikteerib lõigu pikkuse tsisternauto maht. Tavaliselt stabiliseeritakse tagurdamata või ümber pööramata kuni tsisternauto on tühi.

On veel kaks olulist punkti, mis puudutavad sideaine lisamist:

- kui segamisfrees töötab põiklaldel, kipub freesitud materjal liikuma mööda kallet alla. See on märgatav juhul, kui kalle ületab 4% ning stabiliseeritakse õhukesi kihte (< 150 mm). Pärast esmast tihendamist ja enne järgmise paani tegemist on soovitatav tee teehöövliga profileerida, et säiliks nõutav profiil ja oleks tagatud piisav vuuk (vt punkt 6.5). Teine võimalus probleemi vältimiseks on suurendada ülekatte laiust; ning
- alati tuleb kontrollida sideaine tegelikku kulu, võrreldes tarnitud kogust tegelikult stabiliseeritud pindalaga.

Silmas tuleb pidada ka seda, kuidas mõjutavad stabiliseerimisprotsessi järsud kalded. Segamisfrees freesib katendit ning samal ajal ka lükkab või tõmbab sideaine tsisterne. Seega tuleb järske kaldeid stabiliseerida allamäge, jälgides, et tsisternide väljalaskeklappide juures oleks piisavalt rõhku (materjalide doseerimiseks).

6.4.4 Põikvuugid

Põikvuugid tekivad paani kogu laiuses iga kord, kui stabiliseerimine algab või lõppeb. Iga peatus, isegi tsisternauto vahetamiseks kuluvad mõned minutid, tekitavad vuugi, mis rikub stabiliseeritud materjali ühtlust. Seetõttu tuleks viia peatuste arv miinimumini, kuid kui need on vältimatud, tagada katendi jätkuvus kogu vuugi laiuses.

Vuukide korralikuks töötlemiseks on vaja mõista, mis toimub segamisfreesi segamiskambris ning milline on sideainete lisamise protsess. Enamik probleeme tuleneb sideaine ja/või vee vähesest või liigsest lisamisest vuugi kohas. Põikvuukide puhul on olulised järgmised kaks asjaolu:

- enne stabiliseerimise alustamist tuleb läbi viia kõik sellele eelnevad protseduurid, eelkõige tuleb jälgida, et vedela sideaine ja vee toitetorudest oleks õhk välja lastud. Seda tuleb teha enne, kui vedelik jõuab dosaatorini. Kui õhku ei eemaldata, on tõenäoline, katend jääb mitme meetri ulatuses stabiliseerimata (või kuivaks);
- edasilikumiskiirus on seisakuid tehes väike. Aeglase liikumiskiiruse (< 2 m/min) tulemusel on vedeliku nõudlus nii väike, et hoolimata mikroprotsessorite poolsest kontrollist langeb rõhk dosaatorites tasemele, mille juures on sissepritse ebaefektiivne (pihustamise asemel vedelik niriseb). Probleemi lahendamiseks tuleb vuugi piirkonda eraldi töödelda. Selleks peab taastusrong tagurdama juba stabiliseeritud materjalile vähemalt freestrumli diameetri võrra ($\sim 1,5$ m), tagades nii, et materjali töödeldakse kogu vuugi laiuses. Töö jätkamisel peab operaator viima taastusrongi kiiruse kohe tavalise töökiiruseni.

Sarnaselt asfaldi laotamisega kerkivad põikvuukidega seotud probleemid esile ainult siis, kui töö seiskub. Seetõttu tohib taastusrongi seisma jätta ainult juhul, kui tsisternautod on tühjad või tekib mõni muu mõjuv põhjus.

6.4.5 Stabiliseeritud materjali paigaldamine

Pärast stabiliseerimist tuleb töödeldud materjal paigaldada ning tihendada ettenähtud tihenduseni. Nagu eespool kirjeldati, on roomikutega segamisfreeside tagaosas materjali laotamiseks tasanduspruss ja sageli pole tee profileerimiseks teehöövli vajagi. Teehöövli on aga vaja, kui töö toimub ratastel segamisfreesiga.

See, kui palju on vaja stabiliseeritud materjali pärast paigaldamist teehöövliga profileerida, sõltub stabiliseeritud kihile tehtava katte tüübist. Paksu asfaltkihi puhul on lubatud suuremad kõrvalekalded, kui ühekordse pindamise puhul. Kui lubatud tolerantsid on suhteliselt väikesed, tuleb lõpetatud teepool (või kogu teelaius) pikivuukide kohal tekkinud ebatasasuste (üle 10 mm) eemaldamiseks teehöövliga üle käia. Teehöövliga saab korrigeerida ka põikvuukides esinevaid pikisuunalisi materjalinihkeid. Teehöövli tuleks siiski kasutada võimalikult vähe. Mõned stabiliseeritud materjalid sisaldavad jämedat fraktsiooni ning teehöövliga koorimisel materjal kihistub kergesti.

6.5 Tihendamine

Stabiliseeritud katendi käitumise seisukohalt on väga oluline saavutada selle nõutav tihedus. Halvasti tihendatud materjal tiheneb hiljem sõidukite rataste all, tuues kaasa enneaegsete roobaste tekke. Kui stabiliseeritud materjal ei ole korralikult tihendatud, võimendub probleem veelgi. Lisaks sellele, et halva tihendamise puhul ei saavutata katendi nõutavat tugevust, on ka katendi vee läbilaskvus suur, mistõttu tekivad niiskuskahjustused, bituumensideained vananevad ja hüdraulilised sideained karboniseeruvad liiga kiiresti ning katendi enneaegne lagunemine on vältimatu. Seega on oluline, et stabiliseeritud materjali tihendamist peetaks üheks oluliseks stabiliseerimisprotsessi osaks.

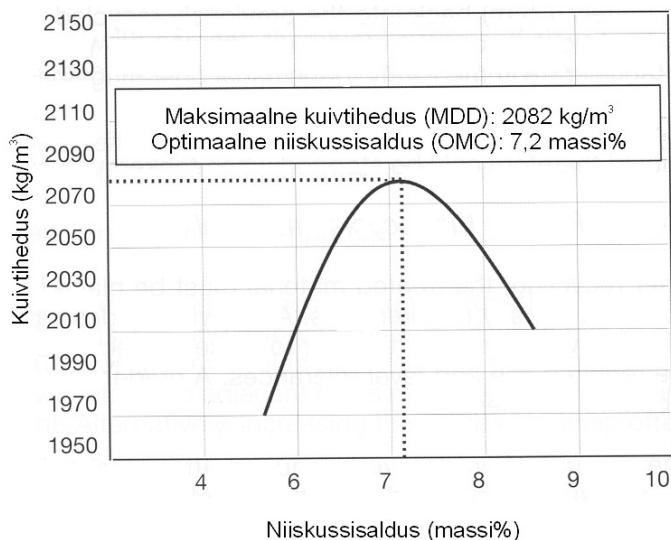
Stabiliseeritud materjali tiheduse mõõtmine pärast tihendamist ei ole alati nii lihtne kui see on uute ehitusmaterjalide kasutamise (nt sõelutud killustiku) puhul. Nagu juba eespool mainiti, on stabiliseeritud materjali üheks omapäraks varieeruvus, eriti juhtudel, kus olemasolevat katendit on palju paigutatud. Kui tiheduse kontrollimiseks kasutatakse traditsioonilisi meetodeid,

tekitab materjali varieeruvus probleeme. Lisaks sellele ei pruugi nõutavat tihedust üksnes lisatihendamisega saavutada. Neid teemasid käsitletakse järgmistes punktides.

6.5.1 Nõutav tihedus

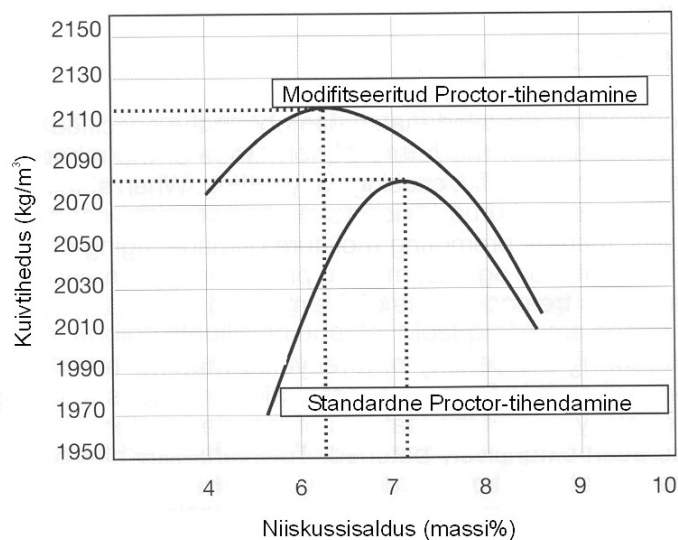
Traditsiooniline meetod, mida tihedusastme mõõtmiseks kõikjal maailmas kasutatakse, on kohapealse tiheduse mõõtmine laboris standardkatsega, millega määratakse teoreetiline maksimaalne tihedus. Seda meetodit kasutas esmakordselt R.R.Proctor 1933. aastal Kalifornias pinnaspaisude tihedusastme kontrollimiseks ning siit ka nimetus „proctor-katse“. Nagu joonisel 6.10 näidatud, määratakse konkreetse materjali kuivtihedus erinevate niiskussisalduste juures pärast materjali tihendamist teatav arvu kordi. Mõõtmistulemuste alusel joonistatakse kõver ning määratakse maksimaalne kuivtihedus (MDD) ja optimaalne niiskussisaldus (OMC). Tuleb meeles pidada, et saadud graafik iseloomustab katsealust materjali standardtihendamise puhul (kolm 40 mm paksust materjalikihti, igaüht tihendati 300 mm kõrguselt langeva 2,5 kg raskusega 25 korda).

Joonis 6.10 Proctor-niiskussisalduse ja kuivtiheduse suhe



Saavutatav tihedus määratakse protsendina proctori maksimaalsest kuivtihedusest. Tavaliselt määratletakse katendi konkreetse kihi saavutatavat tihedust kui „vähemalt 98% maksimaalsest proctori tihedusest“, mis tähendab seda, et pärast tihendamist tehtud mõõtmiste tulemused peavad olema kõrgemad kui 98/100 maksimaalsest kuivtihedusest, mis määrati selle materjali puhul laboris standardse proctor-tihendamisega. (Joonisel 6.10 esitatud näite põhjal tähendab see seda, et kõik kohapeal tehtud mõõtmiste tulemused peavad ületama 2040 kg/m³.)

Joonis 6.11 Niiskussisalduse ja kuivtiheduse suhte võrdlus erineva tihendamise puhul



Tuleb rõhutada, et maksimaalne kuivtihedus sõltub standardtihendamise puhul materjalist.

Seega, kui tihendatavas materjalis esineb muutusi, tuleb laboris määrata uus maksimaalne kuivtihedus. Aastate jooksul arenesid teerullid oluliselt. Uut tüüpi teerullidega oli võimalik saavutada suuremat tihedust ja seega tuli norme vastavalt muuta. Töötati välja

modifitseeritud proctor-katse tihedusastme määramiseks lennuväljade ehitamisel (viis 25 mm paksust materjalikihti, igaüht tihendati 450 mm kõrguselt langeva 4,5 kg raskusega 55 korda). Parema tihendamise puhul suureneb maksimaalne kuivtihedus ja väheneb optimaalne niiskussisaldus, nagu on näha jooniselt 6.11. Katset hakati peagi kasutama teedeehituses ja see on vastu pidanud 21. sajandini kui kõige enam kasutatav norm maailmas.

Tähelepanuväärne on kahe kõvera juures see, et optimaalsest niiskussisaldusest paremale jäävad graafikupooled on üksteisele lähemal kui vasakud pooled. Kui materjali, mille niiskussisaldus on:

- optimaalsest niiskussisaldusest väiksem, tihendatakse rohkem, saavutatakse märgatavalt suurem tihedus. Näiteks, kui joonisel 6.11 esitatud materjali niiskussisaldus on 6%, saadakse standardse proctor-tihendamise puhul tiheduseks 2010 kg/m^3 . Modifitseeritud proctor-tihendamise puhul sama niiskussisalduse juures saadakse aga tiheduseks 2105 kg/m^3 , mis on 5% suurem. Tänu sellele saab suhteliselt kuiva materjali (tavaliselt OMC miinus 2%) puhul saavutada ettenähtud tihedus parema tihendamisega (rullides suurem arv kordi või kasutades raskemat teerulli);
- optimaalsest niiskusest suurem, tihendatakse rohkem, suureneb tihedus vähe. Näiteks, kui joonisel 6.11 esitatud materjali niiskussisaldus on 8%, saadakse standardse proctor-tihendamise puhul tiheduseks 2048 kg/m^3 . Modifitseeritud proctor-tihendamise puhul sama niiskussisalduse juures saavutatakse tiheduseks 2065 kg/m^3 , mis on alla 1% suurem. Tihendamise jätkamisel muutub materjal ebastabiilseks, kuna õhuvahed kahanevad nii väikeseks, et need täituvad veega ja tekib hüdrauline keskkond. Materjali tihedus siis enam ei suurene. Kirjeldatud nähtust tuntakse lainetamisena ja kogenud praktikud teavad, et selle ilmumine tähendab probleeme.

Paksude stabiliseeritud kihtide tihendamisel on eriti oluline mõista niiskuse, tiheduse ja tihendamise vahelisi seoseid. Kui materjali niiskussisaldus on optimaalsest niiskussisaldusest väiksem, on võimalik saavutada nõutavat tihedust (teoreetiliselt, vt punkt 6.5.2) lisatihendamisega. Kui niiskussisaldus ületab optimaalse niiskussisalduse, pole nõutavat tihedust võimalik saavutada. Tihendamise jätkamisel muutub materjal ebastabiilseks, pinnale tekivad iseloomulikud praod ning probleem on ära tuntav ka astumisel. Lainetuse tekkimisel tuleb kiht uuesti lahti võtta ja lasta materjalil kuivada kuni niiskussisaldus on nõutava tiheduse saavutamiseks piisavalt madal. Kui sideainena on lisatud tsementi, tunnistatakse katend sageli kõlbmatuks.

Stabiliseeritud materjalide tiheduse määramisel tuleb silmas pidada materjali varieeruvust. Sageli tunnistatakse töö kõlbmatuks kehva tihendamise pärast, kuna oli lähtutud valest maksimaalsest kuivtihedusest. Nagu juba mainitud, võib stabiliseeritud materjal varieeruda oluliselt, kusjuures maksimaalse kuivtiheduse erinevused võivad olla üle 5%. Seepärast on tavaline, et paljude projektide puhul määratakse konkreetne maksimaalne kuivtihedus kõikjal, kus mõõdetakse tihedust.

6.5.2 Tihedust mõjutavad tegurid välitingimustes

Lisaks niiskussisaldusele ja tihendamisele mõjutavad katendi tegelikku tihedust aluskihtide omadused. Materjali maksimaalse kuivtiheduse määramisel tihendatakse proovikehi tugeval alusel (tavaliselt raudbetoonil). Tegelikud tingimused on hoopis teistsugused ja varieeruvad.

Stabiliseeritud materjali tihedus sõltub alusmaterjali jäikusest. Paks, tsemendiga stabiliseeritud aluskiht on suurepäraseks aluseks, mille puhul saavutatakse märgatavalt suurem ülemiste kihtide tihedus kui kruusast aluse puhul. Tuleb arvestada, et olemasoleva katendi all olevad kihid on nn etteantud tegurid ja nende muutmiseks pole just palju võimalusi; loomulikult on võimalik stabiliseeritud kiht eemaldada ja tugevdada selle all olevat materjali.

Lisaks sellele sõltub saavutatav tihedus stabiliseeritava materjali tüübist (nagu juba mainiti, sõltub maksimaalne kuivtihedus materjalist). Stabiliseerimise käigus töödeldava materjali omadusi saab parandada vaid uue täiteaine lisamise või segamisfreesi liikumiskiiruse / trumli pöörlemiskiiruse reguleerimisega, mille tulemusel terakoostis muutub. Kui olemasolev materjal koosneb peamiselt hea fraktsiooniga killustikust ja alus on piisavalt jäik, saavutatakse stabiliseeritud materjali tihendamisel suur tihedus. Suurt tihedust on võimalik saavutada ainult juhul, kui stabiliseeritava materjali sõelkõver on pidev.

Aluse jäikuse ja materjali tüübi osas ei saa taastusremondi läbiviijad suurt midagi ära teha. Kohapeal on võimalik muuta vaid stabiliseeritava materjali niiskussisaldust ja tihendamisrežiimi. Seega võib teoreetiliselt laborikatsel põhineva tiheduse saavutamine olla ebareaalne. Tuleb meele pidada, et kontseptsioon põhineb uutel projektidel, kus kõik kihid on tehtud täpselt vastavalt spetsifikatsioonile. Muldkehast kuni katteni on kõik protsessid kontrollitud, tagades nii tugevusnäitajate ja materjali varieeruvuse vahelise kooskõla ning selle, et ülemised kihid tihendatakse ettenähtud tiheduseni. On ilmne, et nende või sarnaste normide kohaldamiseks katendi stabiliseerimisega on vaja teha teatavaid muudatusi.

Stabiliseeritud materjali maksimaalse saavutatava tiheduse määramiseks antud tingimustes on vaja spetsiaalset meetodit, kusjuures see meetod peaks arvestama ka stabiliseeritud materjali varieeruvusega. Kohapeal tuleb saavutada maksimaalne tihedus, mis sõltub antud tingimustest ja need tingimused võivad pidevalt varieeruda. Maksimaalse tiheduse tagamiseks tuleb lahti öelda uuele rajatisele orienteeritud mõtteviisist.

Viimased arengud tihendamistehnoloogias on viinud innovatiivse, vibrorullidele paigaldatava kompaktomeetri väljatöötamiseni. See lihtne seade mõõdab alumistest kihtidest tagasi peegelduvat vibratsiooni; tihe materjal saadab võnked tagasi hästi, lahtine materjal aga neelab vibratsioonienergia ja võnkeid tagasi ei saada. Teerulliga korduva rullimise tagajärjel materjal tiheneb ja kompaktomeetri lugemid suurenevad. Pärast maksimaalse tiheduse saavutamist lugemid enam ei suurene (vt joonis 6.12).

Joonis 6.12 Kompaktomeetri mõõdik



Kombineerides GPS-i (globaalset asukohamääramissüsteemi) kompaktomeetri ja mikroprotsessoriga on võimalik kogu tihendamisprotsessi salvestada, dokumenteerida ja analüüsida. Sellise süsteemi on välja töötanud Hamm AG ja seda tuntakse nimetuse all *Hamm Compaction Navigator* (HCN). Süsteemi õige kasutamise puhul on võimalik saavutada maksimaalne tihedus ja seega tuleks süsteemi kasutamist kaaluda kõikide stabiliseerimisprojektide puhul. Kuna aga kõikidel süsteemidel on piirangud, käsitletakse neid ja muid tihendamisega seotud aspekte edaspidi.

6.5.3 Maksimaalse tiheduse saavutamine välitingimustes

Enamikes riikides on praegu levinud paksude kihtide (> 200 mm) tihendamine pinnalt. Nõutavate tulemuste saavutamiseks on vaja kasutada sobivat(sobivaid) keerulli(keerulle). Hamm AG pakub mitmeid teenuseid, mille eesmärgiks on anda klientidele seadmete kasutamise koolitust ning aidata neil valida oma vajadustele sobiv keerull. Tihendamistehnoloogia on hästi uuritud ja dokumenteeritud valdkond ja kuna praegu on saadaval suur valik keerulle, pole põhjust, miks paksu materjalikihte ei saaks tihendada pinnalt.

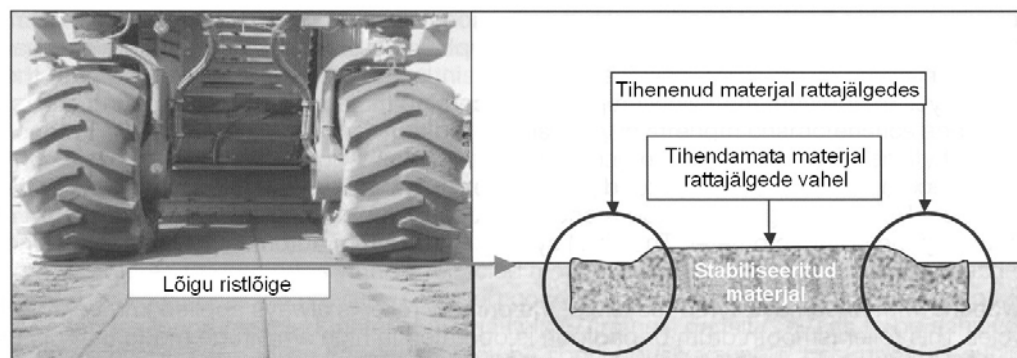
Paksude kihtide tihendamiseks kasutatakse kõige sagedamini rasket (> 15 t staatilise massiga), muudetava sageduse ja amplituudiga ühe valtsilist vibrorulli. Selliste masinate kasutamisel on oluline, et esmane rullimine teostataks suure amplituudiga režiimis, mille käigus tihendatakse kihi alumist osa. Kihi ülemise osa tihendamiseks tuleb rullida väikese amplituudiga režiimis. Vibrorullide osas tuleks märkida veel järgmist:

- kui tiheduse suurenemise jälgimiseks kasutatakse kompaktomeetrit, peab see seade olema paigaldatud esimesena kasutatavale teerullile. Rullida tuleb väikese amplituudiga režiimis kuni kompaktomeeter näitab, et maksimaalne tihedus on saavutatud. HCN süsteem näitab seda automaatselt;
- kui kasutatakse õhkrehvidel segamisfreesi, sõidab esimene teerull vahetult segamisfreesi järel. Teerull (sile või nukkidega) töötab suure amplituudiga režiimis, tihendades kihi pealmist materjali, kuid seejuures pind moonduv. See ei ole aga probleemiks, kuna enne väikese amplituudiga režiimi rakendamist profileeritakse pind teehöövliga;
- kui paksu kihi tihendamiseks kasutatakse ainult väikese amplituudiga vibratsiooni, tekib nähtus, mida tuntakse võlvide moodustumisena (eriti kui materjal on jämedateraline). Väikese amplituudiga vibratsiooni energia on liiga väike, et jõuda alumiste kihtideni ja seega tihenevad ainult ülemised kihid. Alumised kihid jäävad väikese tihedusega ja tihenevad hiljem dunaamiliste koormuste all ning see põhjustab rattajälgedes laia raadiusega roobaste teket;
- nagu enne juba selgitati, on niiskussisaldus oluline tegur vajaliku tiheduse saavutamisel. Stabiliseerimise ja lõpliku tihendamise vahele jääva ajavahemiku tõttu tuleb alati enne lõplikku profileerimist ja silevalts rulliga madala amplituudiga rullimist lisada pinnale veidi vett;
- viga, mida sageli tehakse, on liigne rullimine. Nagu punktis 6.5.1 selgitati, vähenevad tiheduse suurenemisel materjali osakeste vahelised tühikud. Edasise tihendamise käigus täituvad tühikud tihendamise hõlbustamiseks lisatud veega. Kui pärast seda tihendamist veel jätkatakse, muutub materjal ebastabiilseks ja tihedus väheneb. Sellist olukorda saab vältida kompaktomeetri paigaldamisega teerullile.

Tuleks käsitleda veel kahte olulist stabiliseeritud materjali tihendamist puudutavat asjaolu:

- enne pinna koorimist teehöövliga tuleb saavutada ühtlane tihedus kogu paani laiuses. Õhkrehvidega segamisfreeside tagumised rattad sõidavad alati üle stabiliseeritud materjali. Rataste alla (rattakoormus WR 2500 puhul on see 8 tonni) jääv stabiliseeritud materjal tiheneb, kuid rattajälgede vahele jääv materjal tiheneb tagumise luugi poolt avaldatava surve mõjul vaid osaliselt (joonis 6.13).

Joonis 6.13 Materjali eelnev tihenemine õhkrehvidega segamisfreesi kasutamisel



Enne teehöövliga profileerimist tuleb rattajälgedes vahele jääv lahtine materjal tihendada sama tihedaks, kui on rattajälgedes olev materjal. Kui materjali ühesugust tihedust ei saavutata, jääb stabiliseeritud kate erineva tihedusega. Esialgsel tihendamisel kasutatava teerulli rull on alati laiem kui segamisfreesi tagumiste rataste vahe. Seepärast sõidab rull paratamatult ka üle rattajälgedes tihenunud materjali ja ühesugust tihedust on kogu lõike laiuses võimatu saavutada. Rattajälgedes on materjal alati tihedam kui rattajälgede vahel, hoolimata sellest kui palju tihendatakse. See aga toob paratamatult kaasa tihenemisest tingitud pikisuunaliste roobaste tekke dünaamiliste koormuste toimet.

Kirjeldatud probleeme ei teki, kui kasutatakse roomikutel segamisfreese. Tagumised roomikud sõidavad mööda lõike alumist tasapinda, samal ajal kui stabiliseeritud materjal vaalutatakse tagumiste roomikute vahel masina taha monteeritud tasandusprussi ette. WR 4200 kogub teost tuleva stabiliseeritud materjali vaaludena tasandusprussi ette. Sarnaselt asfaldilaoturiga laotab tasanduspruss materjali tagasi paani laiuses ning tihendab seda ühtlaselt kogu laiuses tambitsatega ning materjali vibreerides.

- väikese plastsusega peeneteraliseid materjalid nihkuvad sileda rulli all, põhjustades materjali külgsuunalist ümberpaiknemist. Selliste materjalide tihendamisel on kõige otstarbekam kasutada vett, kuid isegi kui töödelda optimaalse niiskussisalduse juures, on raske säilitada vastuvõetavat pinnaviimistlust ning rullist põhjustatud moonutuste likvideerimiseks on vaja koorida teepinda teehöövliga. Tuleb hoolikalt kontrollida, et kooritaks kogu pind ja et kuiva pinnaga madalatesse lohkudesse ei jääks õhukesi, allpool oleva materjaliga sidumata niisket materjali.

Vastavalt väljaandes M KRC sätestatule on külmstabiliseeritud kihi maksimaalne paksus 20 cm (erandjuhtudel 22 cm). Tihendamiseks kasutatakse rasket vibro-silevaltsrulli ja massiga vähemalt 16 t.

Teine, sageli rakendatav seade on raske rull (staatiline mass > 15 t) reguleeritava vibratsioonisageduse ja –amplituudiga. Esimesed läbikud on soovitatav teha kõrge amplituudiga, et tihendada ka kihi alumisi osi. Seejärel tehakse läbikud väiksema amplituudiga, et saavutada sama efekti ka kihi pealmistes osades. Kui suhteliselt paksu kihti tihendatakse ainult madala amplituudiga, tekib olukord, mida nimetatakse “silla tekkeks”(eriti jämedama terakoostisega materjali puhul). Madalama amplituudi energiast ei piisa kihi sügavamate osade tihendamiseks. Lõppkokkuvõttes on tulemus selline, et see tsoon järeltiheneb alles liikluse mõjul ja see võib soodustada pealispinnas deformatsioonide teket.

6.6 Uue stabiliseeritud kihi viimistlemine

Stabiliseeritud kihi viimistlemisel tuleb saavutada tihedalt seotud tekstuuriga vett hülgrav pind. Tavaliselt saadakse see mõistliku kastmise ja pneumorulliga rullimisega, mille tagajärjel liiguvad peenfraktsioonid pinnale, täites jämedate terade vahelised poorid. Üldiselt tehakse nimetatud töid pärast tihendamisprotsessi lõppu, kuid kui tee tuleb avada liiklusele kohe või kui hüdraulilise sideaine kõvenemine seab ajalisi piiranguid, tuleb viimistlustööd lõpetada esimesel võimalusel.

Nagu uue katendi puhulgi, sõltuvad stabiliseeritud kihi pinna viimistlusele esitatavad nõuded materjali omadustest ja kasutatud sideainest. Kui freesitud materjal sisaldab palju asfalti, on materjal töödelduna suureteraline ja nidususeta ning seepärast on seda raske viimistleda. Kui probleemi märgatakse õigeaegselt, saab stabiliseerimise käigus lisada peeneteralist materjali ning seeläbi leevendada viimistlusprobleeme.

Kui on teada, et stabiliseeritud kihti koormatakse liiklusega pikema perioodi jooksul, tuleb pinda kaitsta murenemise, lõõkaukude ja muud tüüpi lagunemise eest. Liikluse hulgast ning materjali ja sideaine tüübist sõltub, milliseid ennetavaid meetmeid on vaja rakendada. Tavaliselt piisab kergest ühekordsest pindamisest, kus kasutatakse kas jämedat jõeliiva või

6,7 mm läbimõõduga täitematerjali, kuid märkimisväärselt edu on saavutatud ka lahjendatud emulsiooniga (30 % jääkbituumenit) kastmisel, mille tulemusel saadakse bituumeniga töödeldud pind minimaalsete kulutustega.

Üks oluline aspekt viimistlemise juures, mis sageli kiirustamise tõttu tähelepanuta jääb, on vee äravool. Sageli lõpetatakse tööd ja tee avatakse liiklusele ilma, et mõeldaks, kuidas toimub äravool vihma ajal. Paljude teede ühiseks probleemiks on vee kogunemine valmis pinnale, kuna piki teeääri jooksevad katkematud vaalud. Vesi imbub paratamatult katendi struktuuri, materjalis tekib niiskusküllastus ning koormamisel põhjustab see lõõgastumise teket. Selliseid probleeme välditakse, kui vahetult pärast suurte tööoperatsioonide lõppu tehakse vee ära voolu tagamiseks veel väikesi jõupingutusi.

6.7 Kvaliteedikontroll

Eelmistes punktides on olnud palju juttu stabiliseerimisprotsessi kontrollimisest. On selge, et lõpptoote kvaliteet sõltub protsessi õigest läbiviimisest, vajalike sideainete õigest kogusest ja töödeldud materjali korrektsest paigaldamisest, tihendamisest ja viimistlemisest.

Töö käigus on pidevalt vaja läbi viia tervet rida kontrole ja katseid. Kõikidel nendel on üks eesmärk: tagada masinate tõrgeteta töö, jälgida, et seadistused oleksid paigas ning teha vajadusel muudatusi. Stabiliseerimine on suure jõudlusega protsess, tavaliselt stabiliseeritakse 20 m²/min. Kui viga kohe ei märgata ega kõrvaldata, võtab see ulatuslikud mõõtmised ja siis saab seda parandada vaid ümbertegemisega. See mõjub aga negatiivselt tootlikkusele, raiskab aega ja nõuab lisakulutuste tegemist.

Kui katend on valmis, tuleb kvaliteedi kontrollimiseks teha rida katseid. Katsete eesmärgiks on teha kindlaks, millise tõenäosusega käitub stabiliseeritud kiht vastavalt ootustele ning kas stabiliseeritud katendi konstruktsiooni kandevõime (või eluiga) vastab projekteeritule. Kvaliteedinõuded on tavaliselt loetletud lühikeses projektspetsifikatsioonis, milles esitatakse ka heakskiitmise kriteeriumid. Katsetulemused näitavad, kas toode vastab kõikidele heakskiitmise kriteeriumitele ja töövõtja saab täie kindlusega tööd jätkata või esineb probleeme, mida tuleks kohe parandada.

6.7.1 Kontroll ja katsed

Veendumaks, et protsess kulgeb vigadeta ja kõik segamisfreesi süsteemid töötavad tõrgeteta peab järelevalve tegema pidevalt järgmisi kontrole.

- Visuaalsed kontrollid. Pidevalt tuleb kontrollida, et segamisfreesi liiguks mööda maha märgitud jooni või peaks vajadusel kinni ettenähtud ülekatte laiusest.
- Stabiliseerimissügavus. Stabiliseeritud kihi lõplik paksus sõltub eelkõige stabiliseerimissügavusest. Kui see on väike, on stabiliseeritud kihi alumine tasapind projekteeritud pinnakõrguse suhtes kõrgem ja lõpliku kihi paksus jääb nõutust väiksemaks. Katendi konstruktsiooni käitumise määramise seisukohalt on kihi paksus üks kõige olulisem näitaja ja seepärast tuleb neid kontrole teha eriti hoolikalt.

Kuna katendi lõplikuks profileerimiseks kasutatakse sageli teehöövleid, on materjali ümberpaiknemine vältimatu. Stabiliseeritud kihi paksus ei ole tingimata sama mis stabiliseerimissügavus ja seepärast on oluline kasutada lõike alumise tasapinna kõrguste kontrollimiseks ja lõplikuks profileerimiseks sama süsteemi (vt punkt 6.4.3).

- Vee ja sideaine lisamine. Segamisfreesi tööprotsessist tuleb täpselt kinni pidada, et tagada stabiliseeritava materjali töötlemine kõikide lisanditega ettenähtud koguses. Mikroprotsessorisse sissetavaid andmeid tuleb hoolikalt kontrollida, kinni pidada

käivituseelsetest protseduuridest ning stabiliseerimise ajal tuleb voolukulu kontrollida arvutist ja voolukulumõõtuuri näidikult.

Vahtbituumeni kasutamisel tuleb iga tsisternitäie bituumeni vahutavusomadusi kontrollida kohapeal (segamisfreesi vastava otsikuga) vähemalt üks kord. Enne segamisfreesi ja tsisterni ühendamist tuleb bituumeni temperatuuri kontrollida digitaalse termomeetriga, mitte sellega, mis on tsisterni küljes. Bituumensideainetega stabiliseerimisel tuleb arvutada teepikkus, mida suudetakse ühe tsisternitäiega stabiliseerida, ning hiljem tuleb see üle kontrollida. Kui esineb kõrvalekaldeid, tuleb need dokumenteerida ning teha kindlaks põhjus.

- Segamise kvaliteet. Et segamiseks optimaalset kiirust (6–12 m/min) ei ületataks, tuleb segamisfreesi liikumiskiirust regulaarselt kontrollida. Lisaks sellele tuleb pidevalt jälgida materjali segamisfreesi taga, et teha kindlaks, kas niiskussisaldus on õige. Ideaalvariandis peaks taastusrongi järelevalveinsener olema raadio teel ühenduses segamisfreesi juhiga, et anda talle teada vajalikest muudatustest, eelkõige veesisalduse osas.

Vahtbituumeni kasutamisel tuleks segu kvaliteeti perioodiliselt hinnata nii visuaalselt, kui ka segust käsitsi palle tehes. Samuti oleks vaja kontrollida digitaalse termomeetriga temperatuuri muutusi lõike laiuses.

- Põikvuugid. Erilist tähelepanu tuleb pöörata igale pisisajale, et tagada sideainete ja niiskuse lisamine taastusrongi seismajäämisel tekkivate vuukide kogu laiuses (vt punkt 6.4.4).

6.7.2 Tööde vastuvõtmise kontroll ja katsed

Tööde kvaliteet määratakse katsetulemuste põhjal, mis näitavad edaspidi käsitletavaid olulisi parameetreid.

6.7.2.1 Materjali suhteline tugevus stabiliseeritud kihis

Tugevust saab määrata kas kaudselt, viies läbi mitmesuguseid laborikatseid segamisfreesi tagant võetud materjalisegust proovidega, või otse, määrates teest võetud puurproovide tegeliku tugevuse. Kuna kihi valmimise ja puurproovide võtmise vahele jääb paratamatu pikem aeg, tuleb eelistada kaudset meetodit. Puurproove saab võtta alles siis, kui materjal on saavutanud piisava tugevuse ning sellest tekibki viivitus, samal ajal kui segamisfreesi tagant võetud proovide katsetulemused saab teada suhteliselt kiiresti.

Stabiliseeritud materjali proovidest tehakse laboris proovikehad ning määratakse nende surve- ja/või tõmbetugevus. On äärmiselt oluline, et valmistatud proovikehad esindaksid kohapealseid tingimusi. See tähendab, et:

- esmase segamise ja tihendamise vahele jääv aeg peab nii laboris kui välitingimustes olema sama. Sageli ei jõuta selle ajaga proove laborisse viia ja seepärast tuleb proovikehad tihendada kohapeal. Selline olukord tuleb ette just hüdrauliliste sideainete puhul;
- proovi niiskussisaldus peab enne tihendamist olema optimaalne. Nagu selgitati punktis 6.5, tihendatakse stabiliseeritud materjali välitingimustes siis, kui niiskussisaldus on optimaalsest väiksem. Kui proovikehad valmistatakse standardtihendamisega sellise madala niiskussisalduse juures, jääb tihendus välitingimuses saavutatud tihedusega võrreldes väikeseks ning tugevus väheneb. Seepärast tuleb enne proovikehade valmistamist teha kohapealse niiskussisalduse ja optimaalse niiskussisalduse saavutamiseks lisatava veekoguse määramiseks nn kiirkatse;

- valmis proovikehadel tuleb lasta kõveneda tingimustes, mis sarnanevad välitingimustele (vastavalt konkreetsele sideainele esitatavatele nõuetele).

6.7.2.2 Tihendatud materjali kuivtihedus

Seda teemat käsitleti põhjalikult punktis 6.5. Kuna aga kohapealset tihedust määratakse objektil kõige sagedamini, on TG2-st (vt kirjanduse loetelu) võetud kommentaarid siinkohal asjakohased.

Stabiliseeritud materjali koostises ja osakeste suuruses (fraktsioonis) esinevate erinevuste tõttu võib kohapealse tiheduse määramine protsendina maksimaalsest kuivtihedusest olla raskendatud just maksimaalse kuivtiheduse erinevuste tõttu. On üsna tavaline, et lühikeste lõikude ulatuses erineb kuivtihedus kuni 5% ja seega määratakse maksimaalne kuivtihedus kõikjal, kus mõõdetakse tihedust. Objekti laboril on seetõttu suur töökoormus.

Maksimaalse kuivtiheduse suhteliselt suurte erinevuste põhjused tuleb välja selgitada ning hinnata tulemusi vastavalt nendele. Erinevuste mõju vähendamise üheks meetodiks on kasutada mõõtejada keskmist maksimaalset kuivtihedust, millega jäetakse kõrvale üksikväärtuste mõju. Lisaks sellele võib modifitseeritud AASHTO tiheduse asemel kasutada suhtelist näivat erimassi (BRD), kui AASHTO modifitseeritud tihedusel 98 % on stabiliseeritud materjali CBR arv üle 80 %. Suhtelist mahumassi saab laboris määrata kiiremini kui maksimaalset kuivtihedust. Meetod pole siiski sobiv materjalide puhul, mille CBR jääb alla 45%.

Tuleb veel meeles pidada, et radioaktiivsete mõõturitega ei ole võimalik määrata kohapealset tihedust koheselt, kuna bituumeni sisalduse tõttu on niiskussisalduse näitajad suuremad. Stabiliseeritud materjali varieeruvuse ja vahtbituumeni ebaühtlase dispersiooni tõttu ei saa kohapealse niiskussisalduse määramisel lahutada niiskuse lugemist konstantset väärtust. Eriti kehtib see stabiliseeritud katendite puhul, mis sisaldavad erinevat kogust freespuru, pindamiskihte ja lappimiseks kasutatud materjale, mis kõik omakorda sisaldavad bituumenit. Seepärast tuleb tegelik niiskussisaldus määrata laboris teelt võetud proovidega, mida on eelnevalt ahjus kuivatatud. Kirjeldatud probleeme ei teki, kui kasutatakse liiva koonuse meetodit, mis on paraku töömahukas ja aeganõudev.

Probleemide vältimiseks paigaldavad paljud firmad oma teerullidele kompaktomeetreid. Kogemused näitavad, et need lihtsad seadmed on maksimaalse tiheduse (mis on tavaliselt suurem projekteeritud tihedusest) määramisel usaldusväärsed ning nii välditakse liigset tihendamist ja sellest tulenevat tiheduse vähenemist.

Kui saavutatud tiheduse määramiseks otsustatakse kasutada kompaktomeetrit, tuleb tegelikku tihedust alati eelnevalt kontrollida (radioaktiivse mõõturi või liiva koonuse meetodil) ning võrrelda siis kompaktomeetri mõõdiku näiduga.

6.7.2.3 Tihendatud kihi paksus

Kihi paksuse kontrollimiseks tehakse värskesse materjali väikesed kontrollaugud, ideaalis vahetult pärast viimistlemist. Teise võimalusena võib võtta stabiliseeritud kihist 150 mm läbimõõduga puurproovid, kui materjal on saavutanud tugevuse, kuid selleks tuleb oodata umbes 28 päeva.

Ehitustööde ajal ja järel kehtivad kvaliteedinõuded on toodud külmstabiliseerimist käsitlevas väljaandes M KRC. Samas dokumendis on toodud ka sobivuse, järelevalve ja kontrollimiskatsete ulatus. See tagab, et tellija ja ettevõtja hoolitsevad mõlemad kvaliteetse lõpptulemuse tagamise eest ja valmis teelõigu vastuvõtt ja liikluse avamine on nende vahel kooskõlastatud.

Järelevalve- ja kontrollimiskatsed (vastavalt väljaandele M KRC)

Katseline kontrollimine laotamise ajal.

- asfaldipuru/segumadused visuaalse vaatluse teel
- laotatava materjali kogused (ligikaudselt)
- freesimissügavus ja –laius
- sideainekogused (tsement ja/või bituumenemulsioon)
- homogeensus ja täitematerjali kaetus visuaalse vaatluse teel
- laotatud kihi paksus peale tihendamist
- õige profiil

Täiendav kontrollimine laotamisel, kui kasutatakse vahtbituumenit

- vahtbituumeni omadused (paisumine)
- sideainekogus (hüdrauliline sideaine ja/või bituumen)
- homogeensus visuaalsel vaatlusel
- vahtbituumeni jaotumine (kui on näha bituumeniklompe, tuleb kontrollida kas peenfraktsiooni osakaalu või bituumeni temperatuuri)

Kui vahtbituumeni omadusi tuleb kontrollida otse teelõigul, peab segamisfrees olema varustatud vahtbituumeni testimisdüüsiga.

Iga 3000 m², kuid vähemalt korra tööpäeva jooksul või iga teelõigu osas tuleb määrata järgmised näitajad:

- segu niiskusesisaldus;
- segu terakoostis ja sõelkõver;
- kahe, laotamise ajal teelõigul tehtud proovikeha, kuiv- ja märgtihedus
- tihendusaste

Valmis katendi testimine:

Vähemalt iga 50 m järel tuleb kontrollida:

- põikikalle
- tasasus
- kandevõime
- külmstabiliseeritud kihile võib ülekattekihi laotada alles siis, kui stabiliseeritud kiht on saavutanud lõigus 6.7.3. nimetatud minimaalse kandevõime. Minimaalne kandevõime on tavaliste ilmastikutingimuste puhul ja kogemuste põhjal saavutatud umbes 3 – 4 päeva pärast.

Kontrollimiskatsed:

Iga 3000 m² laotatud lõigu, kuid vähemalt korra tööpäeva jooksul või iga teelõigu osas tuleb määrata järgmised näitajad ja kontrollida, et töötulemus vastaks väljaandes M KRC või lõigus 6.7.3. toodud nõuetele:

Proovikehast:

(kahest segu laotamise ajal võetud proovikehast):

- jäävpoorsus
- lõhestus-tõmbetugevus peale 28 päeva möödumist ($\beta_{SZ, 28}$)
- deformatsioonikindlus ja E-moodul peale 28 päeva möödumist (kogemuste saamise eesmärgil)
- tõrva sisaldavate koostisosade puhul keskkonnakindluse tõend vastavalt normile RuVA-StB.

Valmis katendi puhul:

- laotatud kihi paksus
- jäävpoorsus
- tihendusaste
- tasasus
- põikikalle

- õige profiil.

Omaduste testimise, järelevalve raames tehtavate katsete ja kontrollimiskatsete läbiviimisel tegutsevad igal liidumaal tunnustatud teedehitusel spetsialiseerunud testimisasutused. (Teedehitusele spetsialiseerunud testimisasutuste tunnustamise eeskirjad (RAP Stra FGSV, vihik 916/2.)

Valmis külmstabiliseeritud kihi kohta kehtivad nõuded (vastavalt väljaandele M KRC):

- laotatud kihi paksus: nõutav väärtus – 10 %
- tihendusaste: $\geq 98 \%$ (96 %, kui aluskihi E_{V2} on $\leq 80 \text{ MN/m}^2$)
- poorsus: ≤ 12 mahuprotsenti
- ülekatte deformatsioonimoodul: $E_{Vd} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ või $E_{V2} \geq 180 \text{ MN/m}^2$
- tasasus: maksimaalselt 1,5 cm 4 m kohta
- õige profiil: nõutav kõrgus $\pm 2 \text{ cm}$.

Kirjanduse loetelu

AASHTO. Guide for the Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials Washington D.C., 1993.

American Concrete Pavement Association. Pavement Analysis Software, base on the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

A guide to the structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries. 1993. 4th Edition. Crowthorne, Berkshire: Transport Research Laboratory (TRL). (Overseas Road Note 31).

Basic Asphalt Recycling Manual. Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA). Annapolis, Maryland, USA, 2001

Bredenhann S., Jenkins K.J. and Bester A.J. **A Practical Approach to Non-Linear Structural Analysis of Pavements using Finite Element Analysis Techniques.** Third International Symposium on 3D Finite Element Pavement Analysis, Amsterdam, The Netherlands. 2002

Claessen, A.I.M, and Ditmarch, R. **Pavement evaluation and overlay design.** The Shell Method. Proceedings of the Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. Vol.1, Ann Arbor, 1977.

De Beer, M., Kleyn, E.G. & Savage, P.F. **Advances in pavement evaluation and overlay design with the aid of the Dynamic Cone Penetrometer.** (NITRR report; RR 648). In: Proceedings of the International symposium on pavement evaluation and overlay design, Rio de Janeiro, Brazil, 1989.

De Beer, M. & Grobler, J.A. **Towards improved structural design criteria for Granular Emulsion Mixes (GEMs).** In : Sixth conference on asphalt pavements for Southern Africa (CAPSA), Proceedings Volume 1. Session III: Innovation in design and construction. Cape Town, South Africa, 1994.

De Beer, M. **Developments in the failure criteria of the South African mechanistic design procedure for asphalt pavements.** In: seventh proceedings of the International conference on asphalt pavements (ISAP), Volume Three: Design and performance, University of Nottingham, Nottingham, UK, August 1992.

De Beer, M. 1990. **Aspects of the design and behaviour of road structures incorporating lightly cementitious layers.** PhD dissertation, University of Pretoria, Pretoria, South Africa.

De Beer, M. 1991. **Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) in the design of road structures.** In: Proceedings of the 10th Regional conference for Africa on soil mechanics and foundation engineering, 10th nad the 3rd International conference on tropical and residual soils, Maseru, Lesotho, September 1991.

De Beer, M. 1985. **Behaviour of cementitious subbases in bitumen base road structures.** M.Eng Thesis, University of Pretoria, Pretoria, South Africa.

Flexible pavement rehabilitation investigation and design. 1996. Pretoria: Committee of State Road Authorities (CSRA) , Department of Transport (DoT). (DoT technical recommendations for highways; draft TRH12).

Freeme, C.R., Maree, J.H. and Viljoen, A.W. 1982. **Mechanistic design of asphalt pavements and verification using the Heavy Vehicle Simulator.** In: International conference on the structural design of asphalt pavements, 5th, Delft, The Netherlands.

GEMS -The design and use of granular emulsion mixes. 1993. Cape Town. South African Bitumen and Tar Association (SABITA). (SABITA; manual 14).

Guidelines for road construction materials. 1985. Pretoria Committee of State Road Authorities (CSRA), Department of Transport (DoT). (DoT technical recommendations for highways; draft TRH14).

Horak, E. **Aspects of deflection basin parameters used in mechanistic rehabilitation design procedures for flexible pavement in South Africa.** PhD Thesis, University of Pretoria, Pretoria, South Africa, 1988.

Jenkins, K.J. **Analysis of a Pavement Layer which has been treated by Single Pass in-situ Stabilisation, Masters Degree Thesis.** University of Natal, South Africa, 1994

Jenkins, K.J. **Mix Design Considerations for Cold and Half-warm Bituminous Mixes with emphasis on Foamed Bitumen.** PhD Dissertation, University of Stellenbosch, South Africa, 2000.

Jenkins, K.J. and van de Ven M.F.C. **Guidelines for Mix Design and Performance Prediction Bitumen Mixtures.** South African Transport Conference (SATC) Pretoria, South Africa. Session 1A:7 pp. 1-12, 2001.

Jenkins K.J., and van de Ven M.F.C. **Comparisons between in-situ Recycling with Cement and Foamed Bitumen or Emulsion on Vanguard Drive in South Africa.** First International Symposium on Subgrade Stabilization and in-situ Pavement Recycling using Cement, Salamanca, Spain. 2001.

Jenkins K.J. van de Ven M.F.C., Molenaar A.A.A. and de Groot J.L.A. **Performance Prediction of Cold Foamed Bitumen Mixes.** Ninth International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, Denmark, 2002.

Jenkins, K.J., Collings, D.C., Theyse, H.L., and Long F.M. **Interim Technical Guideline TG2: The Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials.** Edited by Les Sampson of Asphalt Academy (publishers), ISBN 0-7988-5543-6. Asphalt Academy, Pretoria, South Africa, 2002.

Jooste, J.P. **The measurement of deflection and curvature of road surfaces.** CSIR Manual K16, National Institute for Road Research, CSIR, Pretoria, South Africa, 1970.

Jordaan, G.J. **An assessment of the TRRL surface deflection method for pavement rehabilitation design.** DRTT Research Report DVPT 54, CSIR, Pretoria, South Africa, 1989.

Jordaan, G.J. and Van As, S.C. **Pavement evaluation: testing frequency requirements for deflection bowl parameters.** Proceedings of the Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA 94), Cape Town, South Africa, 1994.

Jordaan, G.J. **Towards improved procedures for the mechanistic analysis of cement-treated layers in pavements.** Proceedings of the 7th International Conference on Asphalt Pavements, Nottingham, UK, 1992.

Jordaan, G.J. **The classification of pavement rehabilitation design methods.** DRTT Research Report DPVT5, CSIR, Pretoria, South Africa, 1988.

Jordaan, G.J. **An assessment of the South African (SA) mechanistic pavement rehabilitation design method based on the linear elasticity theory.** DRTT Research Report DPVT 69, CSIR, Pretoria, South Africa, 1990.

Jordaan, G.J. **Pavement rehabilitation design based on pavement layer component tests (CBR and DCP).** Research Report 91/241, Department of Transport, Pretoria, South Africa, 1994.

Kennedy, C.K. **Pavement deflection: operating procedures for use in the United Kingdom.** TRRL Laboratory Report 835, TRRL, Crowthorne, Berkshire, UK, 1978.

Kleyn, E. G. 1982. **Aspects of pavement evaluation and design as determined with the aid of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP).** M.Eng. Thesis (In Afrikaans), University of Pretoria, Pretoria, South Africa.

Kleyn, E.G., Maree, J.H. and Savage, P. F. **The application of a portable dynamic cone penetrometer to determine in-situ bearing properties of road pavement layers and subgrades in South Africa.** Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing. The Netherlands, 1982.

Kleyn, E.G., Van Heerden, M.J.J. and Rossouw, A.J. **An investigation to determine the structural capacity and rehabilitation utilization of a road pavement using the pavement Dynamic Cone Penetrometer.** Proceedings of the International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields. Trondheim, Norway, 1982.

Kleyn, E.G. and Van Heerden, M.J.J. **Using DCP soundings to optimize pavement rehabilitation.** Proceedings of the 1983 Annual Transportation Convention. Johannesburg, South Africa.

Kleyn, E.G. and Savage, P.F. **The application of the pavement DCP to determine the bearing properties and performance of road pavements.** Proceedings of the International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields. Trondheim, Norway, 1982.

Koole, R.C. **Overlay design based on falling weight deflectometer measurements.** Pavement evaluation and overlay design. A Symposium and related papers. Transportation Research Record 700, TR5, National Academy of Sciences, Washington DC, USA, 1979, pp 59-72.

Lacante, S.C. and De Beer, M. **Deflection basin analysis.** Project Report 88/025, Department of Transport, Pretoria, South Africa, 1991.

Lister, N. W. **Deflection criteria for flexible pavements.** TRRL Laboratory Report 375, TRRL, Crowthorn, UK, 1972.

Long, F.M. and Theyse, H.L. **Laboratory Testing for the HVS Sections on Road P243/1.** Contract Report CR-2001/32. Council for Scientific and Industrial Research CSIR Transportek, South Africa, 2001.

Long, F.M. **The Developement of Structural Design Models for Foamed Bitumen Treated Pavment Layers.** Contract Report CR-2001/76. Restricted. Council for Scientific and Industrial Research CSIR Transportek, South Africa, 2001.

Long, F.M. **The Developement of a Pavement Design Catalogue with Foamed Bitumen Treated Bases.** Contract Report CR-2002/09. Restricted. Council for Scientific and Industrial Research CSIR Transportek, South Africa, 2001 .

Loudon, A A & Partners. **Cold deep in place recycling:** Technical Recommendations and Application Specification, Publication 1995, ISBN 0620-19413-8, South Africa.

Maree, J.H. **Structural classification of pavement structures using measured deflection bowl parameters.** The IDMP program. Scott & de Waallnc, Sandton, South Africa, 1990.

Norman, P.J. Snowdon, R.A. and Jacobs, J.C. **Pavement deflection measurements and their application to structural maintenance and overlay design.** Report LR 571, TRRL, Crowthorne, Berkshire, UK, 1973.

Paige-Green, P., Netterberg F. and Sampson L. **The carbonation of chemically stabilised road construction materials: Guide to its avoidance.** Project Report PR 89/146/1. Council for Scientific and Industrial Research CSIR Transportek, South Africa, 1990.

Standard nomenclature and methods for describing the condition of asphalt pavements. 1985. Pretoria: Committee of State Road Authorities (CSRA), Department of Transport (DoT). (Technical recom- mendations for highways; TRH6).

The Asphalt Institute. **Asphalt overlays and pavement rehabilitation.** Asphalt Institute Manual (MS-17), USA, 1969.

Walker R.N., Patterson W.D.D., Freeme C.R. and Marais C P. **The South African mechanistic design procedure.** In: Proceedings of the 4th International conference on the structural design of asphalt pavements, 4th, Ann Arbor, Michigan, USA, August 1977; Vol. 2.

Theyse, H.L., De Beer, M. & Rust, F.C. 1996. **Overview of the South African mechanistic design analysis method.** In: Transportation Research Board (TRB) meeting. 75th, January 7-11, 1996. (Paper accepted for publication).

van Niekerk, A.A. and Huurman, M. **Establishing Complex Behaviour of Unbound Road Building Materials from Simple Material Testing.** Report, Delft University of Technology, Netherlands, 1995.

van Niekerk, A.A., van Scheers, J., and Galjaard, P.J. **Resilient Deformation Behaviour of Coarse Grained Mix Granulate Base Course Materials from Testing Scaled Gradings at Smaller Specimen Sizes.** UNBAR 5 Conference, University of Nottingham, UK, 2000.

van Niekerk, A.A. **Mechanical Behaviour and Performance of Granular Bases and Sub-bases in Pavements. Doctoral Dissertation.** Delft University of Technology, The Netherlands. 2001.

Saksamaa

Merkblatt die Verhütung van Frastschaden an StraBen, FGSV, Heft 545, Köln 1991

Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt, FGSV, Heft 751, Köln 1998

Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenaberbau, M KRC, FGSV, Heft 636, Köln 2005

Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln, FGSV, Heft 551, Köln 2004

Merkblatt über flachendeckende dynamische Verfahren zur Verdichtung im Erdbau, FGSV, Heft 547, Köln 1993

Richtlinien für die Planung van Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen, RPE-Stra 01, FGSV, Heft 998, Köln 2001

Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues van Verkehrsflächen, RStO 01, FGSV, Heft 499, Köln 2001

Richtlinien für die Anerkennung van Prüfstellen im Straßenbau (RAP Stra), FGSV, Heft 916/2, Köln 2004

Richtlinien für die umweltvertragliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau, RuA-StB 01, FGSV, Heft 642, Köln 2001

Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung van Ausbaustoffen mil teer-/pechtypischen Bestandteilen und von Ausbauasphalt im Straßenbau, RuA-StB 01, FGSV, Heft 795, Köln 2001

Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, TP BF-StB, FGSV, Heft 591, Köln

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, ZTVE-StB 94, Ausgabe 1997, FGSV, Heft 599, Köln 1997

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau van Fahrbahndecken aus Asphalt, ZTV Asphalt-StB 01, FGSV, Heft 799, Köln 2001

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau van Fahrbahndecken aus Beton, ZTV Beton-StB 01, FGSV, Heft 899, Köln 2001

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau, ZTV T-StB 95, Fassung 2002, FGSV, Heft 999, Köln 2002

DIN 1048-5: Prüfverfahren für Beton; Festbeton, gesonderte hergestellte Probekörper, Beuth Verlag, Berlin

DIN 1995-3: Bitumen und Steinkohlenteerpech; Anforderungen an die Bindemittel; Bitumenemulsionen; Beuth Verlag, Berlin

DIN 1996: Prüfung von Asphalt, Teile 1-20

DIN 4020: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke, Beuth Verlag, Berlin

DIN 4021: Baugrund; Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Bohrungen, Beuth Verlag, Berlin

DIN 4022: Baugrund; Benennung und Beschreibung von Bodenarten, Beuth Verlag, Berlin

DIN 4023: Baugrund; Zeichnerische Darstellung von Boden und Fels, Beuth Verlag, Berlin

DIN 4094: Baugrund-Felduntersuchungen Teil 2: Bohrlochrammsondierungen, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18120: Baugrund, Bestimmung des Wassergehaltes, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18123: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18127: Baugrund; Proctorversuch, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18134: Baugrund; Plattendruckversuch, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18196: Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18506: Hydraulische Boden- und Tragschichtbinder - Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 197-1: Zement -Teil1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 932: Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 933: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 12591: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Anforderungen an Straßenbaubitumen, Beuth Verlag, Berlin

LISAD

Lisa nr		Lk
1	Katendi taastusremondi ja projekteerimise näited	137
2	Stabiliseeritud materjalide seguprojektide koostamine	171
3	Katendi projekteerimine vahtbituumeniga stabiliseeritud kihtide puhul	193
4	Konstruksioonilise kandevõime määramine liiklusteabe alusel	209
5	Stabiliseerimisprojektide spetsifikatsioonide koostamise juhised	217
6	Majandusanalüüsi põhimõtted	241
7	Kuluanalüüs	247
8	Katsetusmeetmed	255

LISA 1

Katendi taastusremondi ja projekteerimise näited

A1.1 Suure liiklussagedusega teede taastusremont

- A1.1.1 Olemasolev tee
- A1.1.2 Projekteerimistingimused
- A1.1.3 Olemasolevad andmed
- A1.1.4 Uuringud
 - A1.1.4.1 Liiklusandmed
 - A1.1.4.2 Visuaalne hindamine
 - A1.1.4.3 Prooviaugud ja proovide võtmine
 - A1.1.4.4 Dünaamilise koonuspenetromeetriga tehtud uuringud
 - A1.1.4.5 Roopa sügavuse mõõtmine
 - A1.1.4.6 Läbipainde mõõtmine
 - A1.1.4.7 Olemasoleva katendi mehaaniline analüüs
 - A1.1.4.8 Uuringute kokkuvõte
- A1.1.5 Taastusremondi võimalused
 - A1.1.5.1 Katendi taastusremondi projekteerimine
 - A1.1.5.2 Seotud kihtide peenestamine ja asfaltülekatte tegemine
 - A1.1.5.3 Katendi stabiliseerimine tsemendiga ja asfaltülekatte tegemine
 - A1.1.5.4 Katendi stabiliseerimine bituumeniga ja asfaltülekatte tegemine
- A1.1.6 Seguprojektid
 - A1.1.6.1 Seguprojekt tsemendiga
 - A1.1.6.2 Seguprojekt vahtbituumeniga
- A1.1.7 Majandusanalüüs
 - A1.1.7.1 Ehituskulud
 - A1.1.7.2 Hooldus
- A1.1.8 Soovitused taastusremondi tegemiseks

A1.2 Olemasolevate kruusateede parendamine

- A1.2.1 Olemasolev tee
- A1.2.2 Projekteerimisnõuded
- A1.2.3 Uuringud
 - A1.2.3.1 Liiklusandmed
 - A1.2.3.2 Visuaalne hindamine
 - A1.2.3.3 Kontrollaugud / prooviaugud
 - A1.2.3.4 Dünaamilise koonuspenetromeetri katsed
 - A1.2.3.5 Laborikatsed
 - A1.2.3.6 Tulemuste kokkuvõte
- A1.2.4 Katendi parendamise võimalused
 - A1.2.4.1 Projekteerimist mõjutavad tegurid
 - A1.2.4.2 Katendi parendamise variandid
- A1.2.5 Traditsiooniline variant
- A1.2.6 Stabiliseerimisvariandid
 - A1.2.6.1 Kulumiskihi stabiliseerimine uue aluskihi saamiseks
 - A1.2.6.2 Kaheetapiline teel stabiliseerimine
- A1.2.7 Seguprojektid
 - A1.2.7.1 Seguprojekt tsemendiga stabiliseerimisel
 - A1.2.7.2 Seguprojekt lubjaga modifitseerimisel
 - A1.2.7.3 Seguprojektid vahtbituumeniga stabiliseerimisel
- A1.2.8 Majandusanalüüs
 - A1.1.7.1 Ehituskulud

A1.1.7.2 Hooldus

A1.2.9 Soovitused taastusremondi tegemiseks

A1.3 Kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga

A1.2.1 Projekti kirjeldus

A1.3.2 Uuringud

A1.3.2.1 Liiklusandmed

A1.3.2.2 Visuaalne hindamine

A1.3.2.3 Prooviaugud

A1.3.2.4 Dünaamilise koonuspenetromeetri katsed

A1.3.2.5 Laborikatsete tulemused

A1.3.3 Olemasoleva katendi hindamine mehaanilise meetodiga

A1.3.4 Taastusremondi võimalused

A1.3.5 Seguprojektid vahtbituumeniga stabiliseerimisel

A1.3.6 Katendi projekt

A1.3.7 Majandusanalüüs

A1.1 Suure liiklussagedusega teede taastusremont

Käesolevas osas kirjeldatakse taastusremondi projekti koostamist maantee ühe lõigu näitel. Tellija on teinud teekatte korrashoiusüsteemi (PMS) kaudu kindlaks, et taastusremonti on vaja teha kilomeetritel 29 + 900 kuni 62 + 800.

A1.1.1 Olemasolev tee

Maantee taastatava osa pikkus on peaaegu 33 km. Tee on kummaski suunas ühe sõidurajaga ja selle kattega osa minimaalne laius on 12,5 m. Tee kulgeb tasasel maastikul. Kliima on poolkuiv, aastane keskmine sademete hulk on < 500 mm. Suvel ulatub temperatuur 35 °C, kuid talved on pehmed (min temperatuur -10 °C), aeg-ajalt sajab lund.

Joonis A 1.1 Olemasolev tee



A1.1.2 Projekteerimistingimused

Sõiduraja andmed: 2 x 3,75 m, teepeenrad 2,5 m
Kate: 40 mm asfaltkate
Tee trass: olemasoleva järgi
Projekteeritud eluiga: 15 aastat / 95% usaldatavusega (A-kategooria tee)

A1.1.3 Olemasolevad andmed

Andmed koguti tellija teekatte korrashoiusüsteemist (PMS) ja muudest allikatest. Andmed on esitatud järgmistes tabelites.

Inventariseerimisandmed							
Tee ID	Algus	Lõpp	Kiht	Kuupäev	Kihi paksus (mm)	Kihi materjal	Märkus
N0233	0	62,8	Kate	Juuni 1969	40	Asfalt	
N0233	0	62,8	Alus	Juuni 1969	80	Asfalt	
N0233	0	62,8	Aluse alumine kiht	Juuni 1969	150	Tsemendiga töödeldud	
N0233	0	62,8	Sorteeritud materjalist muldkeha	Juuni 1969	300	CBR > 15	

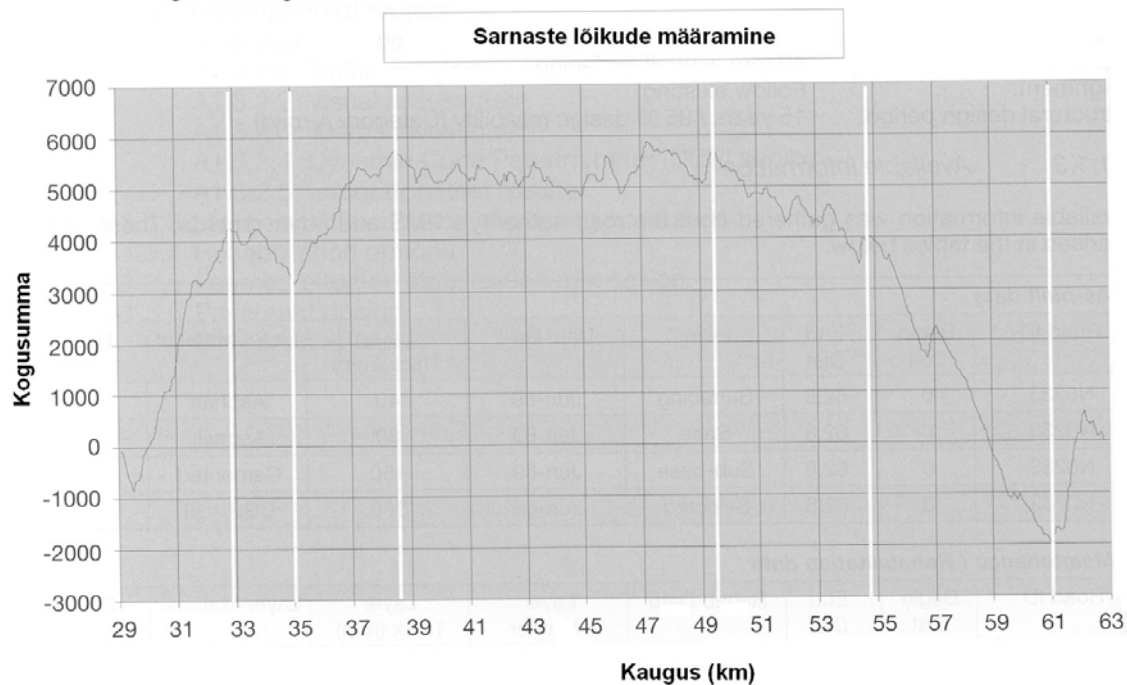
Hooldus / taastusremondi andmed							
Tee ID	Algus	Lõpp	Taastusremondi kuupäev	Kihi nr	Kihi paksus (mm)	Kihi materjal	Märkus
N0233	0	44,1	August 1993	1	13,2	Ühekordne pindamine	Modifitseeritud
N0233	44,1	62,8	Juuni 1995	1	13,2	Ühekordne pindamine	Modifitseeritud
N0233	0	29,9	Veebruar 2001	3	225	Teel stabiliseerimine	Tsement
N0233	0	29,9	Veebruar 2001	2	150	GCS alus	
N0233	0	29,9	Veebruar 2001	1	40	Asfalt	Pindamine

Katendi seisukorra hindamine detsembris 2001											
Tee ID	Algus	Lõpp	Instrumentidega tehtud mõõtmiste tulemused				Visuaalne hindamine				Märkused
			Sõidu-mugavus	Roo-pad	Haarde-tegur	Läbi-paine	Praod	Pindmine lagune-mine	„Higis-tamine“	Defor-mat-sioon	
N0233	0	29,9	0	0	0	0	0	0	0	0	Ümber-ehitatud 2001
N0233	29,9	44,1	4	2	2	3	3	1	2	3	
N0233	44,1	62,8	4	3	2	3	3	1	2	3	

PMS seire käigus viidi läbi esialgne langeva raskusega deflektomeetri (FWD) uuring. Ühesuguse kandevõimega sarnaste lõikude kindlakstegemiseks hinnati tulemusi kogusumma meetodil (vt 3. peatükk punkt 3.4.1.1). Kogusumma analüüs tehti maksimaalse läbipainde kohta ning tulemused kanti vastavalt katsekohtadele graafikusse (vt graafik). Graafiku kaldenurga muutuse põhjal määrati järgmises tabelis esitatud seitse sarnast lõiku.

Sarnased lõigud			
Lõigu nr	Algus	Lõpp	Pikkus (m)
1	29 + 900	32 + 900	3000
2	32 + 900	35 + 000	2100
3	35 + 000	38 + 600	3600
4	38 + 600	49 + 400	10800
5	49 + 400	54 + 800	5400
6	54 + 800	61 + 000	6200
7	61 + 000	62 + 800	1800

Joonis A1.2 Kogusumma graafik



A1.1.4 Uuringud

Seejärel uuriti igat lõiku eraldi, kasutades olemasoleva katendi seisukorra, muldkeha tugevusomaduste, materjalide tüübi ja kvaliteedi ning lagunemispõhjuste kindlakstegemiseks nii kaudseid kui ka otseseid meetodeid.

A1.1.4.1 Liiklusandmed

Teelõigul teostati seitsme päeva jooksul põhjalik liiklusloendus. Kogutud andmed on esitatud järgmises tabelis.

Kirjeldus	Väärtus	
Loenduspunkt	109	
Aasta	2000	2001
Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (AADT) (kokku mõlemas suunas)	2418	2449
Ööpäeva keskmine veoautode liiklussagedus (ADTT)	530	551
Jagunemine sõidusuundade vahel (%) Põhjapoolne rada : lõunapoolne rada	46 : 54	48 : 52
Veoautode protsent	21,9	22,5
Jagunemine veoautode tüübi järgi (lühike:keskmine: pikk)	32 : 23 :45	31 : 27 : 42
ESAL/veoauto (lühike:keskmine: pikk)	0,6 :1,9 :2,4	
Prognoositav ESAL/veoauto	1,7	

Aasta ööpäevane ekvivalentliiklus (ADE) määratakse 4. lisa valemi A4.1 abil:

$$ADE = AADT \times f_H \times f_E \times f_L \times f_G \times f_W;$$

kus: AADT – aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus
 f_H – raskeveokite protsent
 f_E – prognoositav keskmine ESAL raskeveoki kohta
 f_L – liikluse sõiduradade vahelise jaotumise tegur (vt tabel A4.3)
 f_G – kalde tegur (vt tabel A4.4)
 f_W – sõiduraja laiuse tegur (vt tabel A4.5)

Asendades valemisse arvud (allikas on viidatud) saab arvutada, et:

$$ADE = 2249 \times 0,225 \times 1,7 \times 0,52 \times 1,0 \times 1,1 = 492,1 \text{ ESAL-it}$$

Vastus ümardatakse 492 ESAL-ini;

kus: AADT – 2249 (liiklusloendusest – vt tabelit eespool)
 f_H – 22,5% (liiklusloendusest – vt tabelit eespool)
 f_E – 1,7 (prognoositav – vt tabelit eespool)
 f_L – 0,52 (vt tabel A4.3)
 f_G – 1,0 (vt tabel A4.4)
 f_W – 1,1 (vt tabel A4.5)

Muud arvestusliku liikluse arvutamiseks vajalikud andmed saadi tellijalt ning need on kokku võetud järgmises tabelis:

Kirjeldus	Allikas	Väärtus
Liikluse kasvu määr i (%)	varasemad liiklusloendused	4
Projekteeritud eluiga (y , aastates)	tellija nõue	15
Kogukasvu tegur (f_j)	4. lisa tabel A4.6	7600

Proгноositav arvestuslik liiklus 15-aastase arvutusliku eluea jooksul (ehk konstruktsiooniline kandevõime) arvutatakse 4. lisa valemist A4.5.

$$ESAL_{kogu} = ADE \times f_j = 495 \times 7600 = 3739200 = 3,74 \times 10^6$$

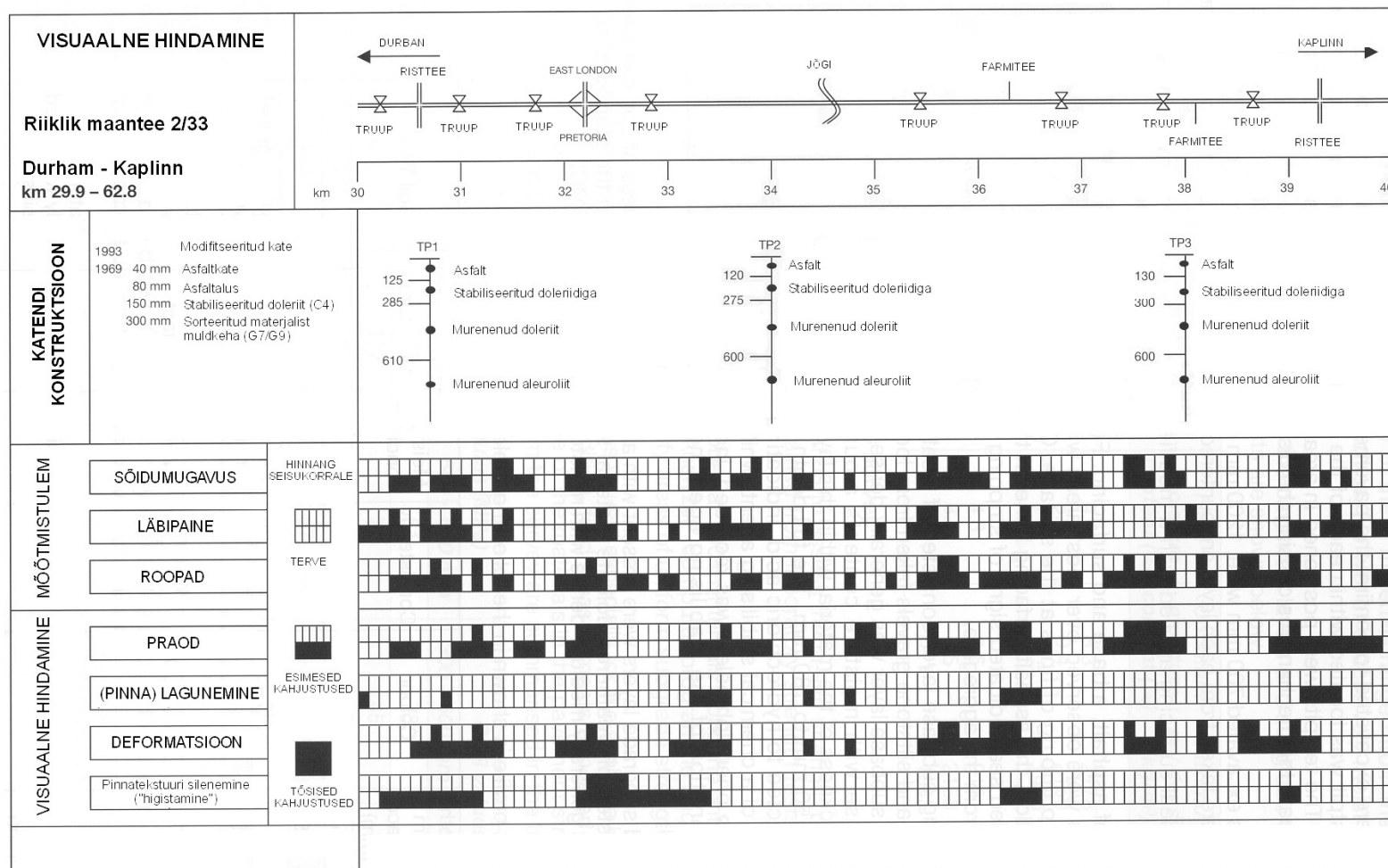
Arvestuslik liiklus jääb T3 liiklusklassi (tabel A4.1) vahemikku 3,0–10 miljonit ESAL-it.

A1.1.4.2 Visuaalne hindamine

Katendi visuaalsel vaatlusel tehti järgmised tähelepanekud, mis on esitatud ka tabelis:

- Tee laius. Tee on suhteliselt konstantse laiusega (12,4 m). Umbes poole lõigu ulatuses on tee möödasõitude võimaldamiseks kolme realine. Üks sõidurada tuleb juurde kattega teepeenra laiuse vähenemise arvelt. Sõiduradade laius on konstantne (3,7 m).
- Katendi kahjustused. Kõige ulatuslikumalt oli katend kahjustatud pragudest, olid ka mõned kühmud ja esines lokaalset deformatsiooni.
- Suurel alal on katendit paigatud asfaldiga. Leiti ka mõned mössiga lapitud paigad, eelkõige piirkondades, kus kate oli kulunud „higistamise“ tõttu. Arvukad lapitud paigad halvendavad sõidumugavust.
- Kolme sõidureaga lõikudes oli välimises sõidureas märgata katendi „higistamist“, mis on tingitud aeglaselt liikuvatest raskeveokitest.
- Mõlemal pool teed on sügavad (> 1 m) külakraavid. Need tuleb taimedest ja mudast puhastada.
- Leiti ka väiksemaid löökauke, enamasti lapitud kohtade juures, mille välimine serv on lagunema hakanud.
- Roopaid pole palju ja need pole sügavad ning deformatsiooni esineb kohati välimises rattajäljes.

Joonis A1.3 Katendi hindamistulemuste kokkuvõte



A1.1.4.3 Prooviaugud ja proovide võtmine

Katendi konstruktsiooni ja olemasoleva materjali seisukorra kindlakstegemiseks tehti üheksa prooviauku. Igasse läbipainde mõõtmistulemuste alusel kindlaksmääratud sarnasesse lõiku tehti vähemalt üks prooviauk. Kahjustuste tekkemehhanismi väljaselgitamiseks tehti prooviaugud nii suurte kahjustustega piirkondadesse kui ka väheste kahjustustega või hoopis kahjustamata piirkondadesse.

Iga prooviauk tehti 700 mm lai, 1200 mm pikk ja 1000 mm sügav. Laborikatsete tarvis võeti igast kihist materjali proovid. Katendi konstruktsioon oli järgmine:

- modifitseeritud sideainega ühekordne pindamiskiht;
- kaks kihti asfalti: aluskiht ja kattekiht. Uuritud piirkondadest enamikes leiti täissügavuses praod ning oli näha, et katendi materjali peenfraktsioon oli kerkinud nn pumpamiseefekti mõjul pinnale. Lähemal uurimisel selgus, et hiljuti pinnatud katte all olevas asfaldikihis oli bituumen hakanud täitematerjali küljest lahti tulema;
- alumine aluskiht koosnes murenenud doleriidist ja kohalikest karjääridest pärit aleuroliit-kruusadest. Aluskihi konsistents varieerus keskmisest tihedani ja niiskussisaldus jäi optimaalse niiskussisalduse piirimaile. Kihi paksus oli 150–180 mm. Kihi materjal reageeris kogu paksuses soolhappele, mis viitab keemilise stabilisaatori olemasolule, samal ajal kui materjal fenoolftaleiinile ei reageerinud, mis tähendab seda, et sideaine oli hakanud karboniseeruma.
- kaks sorteeritud materjalist muldkeha kihti kogupaksusega 300 mm. Kihid koosnesid murenenud doleriidist, mis sarnanes stabiliseeritud aluskihi materjaliga. Materjal oli keskmise tihedusega, niiskussisaldus jäi optimaalse niiskussisalduse piirimaile.

Joonis A1.4 Prooviauk



Järgmises tabelis kirjeldatakse tüüpilist prooviaugu läbilõiget.

Pinnase legend	Sügavus pinnalt (mm)	Värvus	Konsistents	Niiskussisaldus	Struktuur	Pinnase tüüp	Päritolu
	35	Asfalt					
	125	Asfalt					
	285	Hele-kollane oranž	Tihe	Veidi niiske	Puutu-mata	Stabili-seeritud kruus, murene-nud	Mujalt toodud materjalist aluskiht
	610	helepruun hele-kollane oranž	Keskmi-selt tihe	Niiske	Puutu-mata	Kruus, murene-nud doleriit	Mujalt toodud sortee-ritud materjalist muldkeha
	1000	helehall tume Ol	Keskmi-selt tihe	Niiske	Puutu-mata	Looduslik pinnas, murene-nud aleuroliit	Looduslik muldkeha

- muldkeha koosnes kas kohapealsetest või kohalikest karjäärdest toodud aleuriit-liivadest, murenenud doleriidist ja argilliidist. Konsistents varieerus keskmisest tihedusest kuni tihendamata olekuni, mis viitab kehvale kandevõimele. Märki ega liiga niiskeid materjale üheski prooviaugus ei olnud.

Materjalide kvaliteedi kindlakstegemiseks viidi katendikihtidest ja muldkehast võetud proovidega läbi katsed. Tulemused on esitatud järgmises tabelis.

Proovi augu nr	Materjali kirjeldus	Sügavus (mm)	Niiskussisaldus (%)	Optimaalne niiskussisaldus (%)	Maksimaalne kuivtihe- dus (kg/m ³)	Survetugevus CBR	Plastisusarv
1	Asfalt	0 – 125	-	-	-	-	-
	Stab. muren. doleriit	125 - 285	4,5	8,3	2178	82	4
	Murenenud doleriit	285 - 610	6,8	9,4	2150	57	7
	Murenenud aleuroliit	> 610	7,1	11,5	1920	15	10
2	Asfalt	0 – 120	-	-	-	-	-
	Stab. muren. doleriit	120 – 275	4,8	8,5	2151	95	SP
	Murenenud doleriit	275 – 600	8,1	9,5	2168	48	7
	Murenenud aleuroliit	> 600	9,0	12,1	1945	12	12

A1.1.4.4 Dünaamilise koonuspenetromeetriga tehtud uuringud

Katendi materjalide kohapealsete tugevusomaduste määramiseks ja nende võrdlemiseks laborikatsetes saadud tulemustega tehti dünaamilise koonuspenetromeetriga katseid kõikides prooviaukudes.

Lisaks sellele viidi dünaamilise koonuspenetromeetri uuring läbi kogu lõigu ulatuses iga 100 m järel. Tulemusi analüüsiti arvutiprogrammi „DCP Analyzer“ abil ning neid kasutati olemasoleva muldkeha tugevuse määramiseks ning ühesuguse tugevusega lõikude kindlakstegemiseks.

Analüüsitulemused näitasid, et CBR ja elastsusmoodul olid suhteliselt suured, eriti aluskihis, mis tähendab seda, et materjali oli varem stabiliseeritud. Lisaks sellele mõjutasid välimõõtmiste tulemusi katendi materjalide madal niiskussisaldus ja teralisus. Uuringu tulemusel saadud elastsusmoodulid ja dünaamilise koonuspenetromeetri väärtused on võetud kokku järgmises tabelis.

Sarnased lõigud	Elastsusmoodul (MPa)		CBR väärtused (%)	
	300-500 mm	500-800 mm	300-500 mm	500-800 mm
km 29+900 kuni km 32+900	280	61	78	13
km 32+900 kuni km 35+000	177	74	45	16
km 35+000 kuni km 38+600	137	52	33	10
km 38+600 kuni km 49+400	164	67	41	14
km 49+400 kuni km 54+800	161	56	40	11
km 54+800 kuni km 61+000	235	48	64	10
km 61+000 kuni km 62+800	160	37	40	7

Uuringu tulemuste põhjal võib järeldada, et muldkeha kandevõime on vaatlusaluse katendilõigu kogu ulatuses suhteliselt ühesugune.

A1.1.4.5 Roopa sügavuse mõõtmine

Roopa sügavust mõõdeti lasermõõturiga (ARAN) 10 m vahedega mõlemas sõidurajas. Kumbagi sõidurada analüüsiti eraldi.

Väike protsent roobastest jääb tõsiste kahjustuste ja umbes 15% esimeste kahjustuste kategooriasse. A-kategooria teede puhul loetakse vastuvõetavaks, kui tee eluea lõpus jääb kuni 5% mõõtmistulemustest tõsiste kahjustuste kategooriasse.

Hinnang A-kategooria teele	Protsent tee pikkusest		
	Kahjustamata < 10 mm	Esimesed kahjustused 10–20 mm	Tõsised kahjustused > 20 mm
Põhja suunduv sõidurada	83,1	15,7	1,2
Lõunasse suunduv sõidurada	85,0	14,2	0,8

A1.1.4.6 Läbipainde mõõtmine

Üksikasjalik läbipainde uuring viidi läbi langeva raskusega deflektomeetriga (FWD). Läbipainded registreeriti mõlema sõiduraja välimises rattajäljes 100 m vahedega.

Analüüs näitas, et läbipainded olid suhteliselt suured koormamispunktis (D_0) ning varieerusid lühikeste teelõikude ulatuses küllaltki palju. Esialgu analüüsiti läbipaindeid iga sõiduraja puhul eraldi. Kuna aga nii põhja kui lõunasse suunduva sõiduraja analüüsitulemused olid heas korrelatsioonis, pandi tulemused kokku ja hinnati uuesti. Määrati sarnaste lõikude keskmine ja standardhälve. Seejärel arvutati iga lõigu 95-protsendiline tõenäosus (keskmine + 1,625 x standardhälve). Seitsme sarnase lõigu analüüsitulemused on esitatud järgmises tabelis.

Sarnased lõigud	Läbipainde mõõtmistulemused ($\times 10^{-3}$ mm)									SCI	BDI	BCI
	D_0	D_{200}	D_{300}	D_{450}	D_{600}	D_{900}	D_{1200}	D_{1500}	D_{1800}			
km 29+900 kuni km 32+900	719	469	296	218	157	104	78	63	55	423	139	53
km 32+900 kuni km 35+000	482	310	205	165	131	93	67	51	45	277	74	39
km 35+000 kuni km 38+600	572	355	218	157	116	73	52	39	36	353	103	42
km 38+600 kuni km 49+400	526	334	202	148	111	73	53	40	36	324	91	38
km 49+400 kuni km 54+800	526	355	210	142	99	64	47	39	36	316	110	35
km 54+800 kuni km 61+000	445	292	154	98	85	38	25	24	23	291	90	27
km 61+000 kuni km 62+800	891	630	363	225	136	72	49	40	31	527	227	64

kus: D_0 , D_{200} jne – kaugus impulsskoormusest läbipainde mõõtmiskohani (indeks = kaugus mm);

SCI – pinna kõveruse indeks;

BDI – aluse kahjustatuse indeks;

BCI – aluse kõveruse indeks.

Läbipainde kausi näitajaid (SCI, BDI ja BCI) kasutatakse olemasoleva katendi järelejäänud eluea määramiseks. Täpsemad tulemused saab siiski mehaanilise analüüsi käigus ja seda käsitletakse edaspidi.

A1.1.4.7 Olemasoleva katendi mehaaniline analüüs

Olemasoleva katendi konstruktsioonilist kandevõimet määrati mehaanilise analüüsiga, kasutades selleks kihi paksust ning prooviaukude, dünaamilise koonuspenetromeetri uuringutulemuste, langeva raskuse deflektomeetri tagasiarvutuse ja laborikatsetulemuste põhjal saadud vastavaid elastsusmooduleid.

Langeva raskuse deflektomeetriga saadud elastsusmoodulitega tehti iteratiivse arvutiprogrammi abil tagasiarvutus, et joonestada arvutatud läbipainde kõverad (ehk kausid), kasutades selleks saadud elastsusmoodulite ja paksuse väärtusi, ning võrrelda neid välimõõtmistel saadud väärtustega. Elastsusmoodulitega tehti tagasiarvutus sarnaste omadustega lõikudel 95-protsendilise tõenäosusega. Tsementeerunud aluskihi puhul ei saadud väikest elastsusmooduli väärtust ainult ühel juhul, mis viitab sellele, et kiht läheneb ekvivalentsele sidumata seisundile. Üks erand näitas, et aluskiht on seisundis, kus materjal on keskmiste või suurte tükkidena (plokkidena).

Seejärel määrati vastava programmi abil olemasoleva katendi jääkkandevõime, arvutades tuletatud elastsusmoodulitega mitmekihilise lineaar-elastse süsteemi pinged, deformatsioonid ja läbipainded. Järelejäänud eluea prognoosimiseks kasutati saadud pingeid ja deformatsioone lähteandmetena üleminekufunktsioonides. Tulemused on esitatud järgmises tabelis.

Järelejäänud eluiga mehaanilise analüüsi alusel (miljonit ESAL-it)				
Sarnased lõigud	Konstruktsiooniline kandevõime (miljonit ESAL-it), mis põhineb			
	märg CBR		FWD	
	Materjali niiskus			
	keskmine	märg	keskmine	märg
km 29+900 kuni km 32+900	2,8	0,4	2,3	0,4
km 32+900 kuni km 35+000	3,2	1,2	2,6	0,6
km 35+000 kuni km 38+600	1,8	0,3	2,2	0,5
km 38+600 kuni km 49+400	1,6	0,6	1,7	0,4
km 49+400 kuni km 54+800	1,6	0,6	1,8	0,5
km 54+800 kuni km 61+000	2,9	1,3	2,7	0,9
km 61+000 kuni km 62+800	1,1	0,1	1,6	0,6

Mehaanilise analüüsi põhjal on selge, et olemasoleva katendi konstruktsiooniline jääkkandevõime pole piisav, kui pidada silmas prognoositud arvestuslikku liiklust, milleks on 3,7 miljonit ESAL-it, ning olukorras, kus vesi valgub katendikihtidesse. Ebapiisava kandevõime ja kaitstuse tõttu on kriitiliseks kihiks aluskiht.

A1.1.4.8 Uuringute kokkuvõte

Parandatud kate on aastate jooksul väga hästi vastu pidanud, kuid nüüd läheneb selle eluiga kiiresti lõpule. Visuaalsel vaatlusel selgus, et olemasoleva katendi pind on väga pragunenud ning nn pumpamisefekti tõttu pinnale tõusnud peenfraktsioon näitab, et vesi on tunginud pragudesse, mis läbivad asfaltkihte kogu sügavuses. Uurimine näitas, et asfaltkihid on vananenud ning haprad, kusjuures ülemises kattedekihis on märgata sideaine eraldumist täitematerjalist.

Kõik analüüsid näitasid, et varem stabiliseeritud aluskiht on suures ulatuses pragunenud ja läheneb sidumata materjali seisundile. Dünaamilise koonuspenetromeetri katsed näitasid suhteliselt suuri survetugevusi, mis olid tõenäoliselt põhjustatud väikesest kohapealsest niiskussisaldusest. Survetugevuse suured väärtused viitavad sellele, et kuigi karboniseerumine on tõenäoliselt põhjustanud tugevuskadu, pole niiskus aluskihti veel kahjustada jõudnud. Seda kinnitab ka suhteliselt väike roobaste protsent.

Siiski on koos katte terviklikkuse kaoga (modifitseeritud bituumeniga pinnatud katte vananemise ja asfaldi väsimuspragude tõttu) oodata vee tungimist katendi kihtidesse, mis viib katendi kiire lagunemiseni.

A1.1.5 Taastusremondi võimalused

A1.1.5.1 Katendi taastusremondi projekteerimine

Kõik uuringud näitasid, et olemasoleva katendi konstruktsiooniline kandevõime pole piisav ja katend vajab tugevdamist. Kuigi ülemised kihid koosnevad kvaliteetsest materjalist, on katendi konstruktsiooniline terviklikkus korduva koormamise tagajärjel saanud kahjustada. Väsimuspraod ulatuvad läbi kogu asfaltkihi. Praod on alguse saanud kihi põhjast ning need on tingitud korduvatest tõmbepingetest, mis tekivad, kui katend koormuse all läbi paindub. Asfaltülekattega konstruktsioonilist terviklikkust ei taastata, välja arvatud juhul, kui võetakse ette ulatuslik remonttöö, mille käigus parandatakse kõik väsimuspraod. Kui seda ei tehta, tungivad praod suhteliselt lühikese ajaga uuest ülekattest läbi, kuna alumine katendistruktuur on endiselt täis pragusid ja katendi läbipaindumisel koormuse all need avanevad. Kuna pragunemine on ulatuslik, peetakse nii pragude remonti kui ülekatte tegemist ebaökonomiseks ja suure riskiga ettevõtmiseks ning jäetakse taastusremondi variandina kõrvale.

Riski vähendamise üheks võimaluseks on eemaldada kahjustatud asfalt freesiga ning teha uus täispaksuses asfaltkate. Teiste võimaluste puhul keskendutakse olemasoleva katendi konstruktsiooniliste puudujääkide parandamisele, töödeldes vana asfalti sideainega või ilma selleta. Kuna ümbertöötlemine on ökonoomsem (ja pikaajalisem) lahendus, käsitletakse edaspidi kolme alternatiivset taastusremondi varianti, mille kõigi puhul taaskasutatakse olemasoleva katendi materjali.

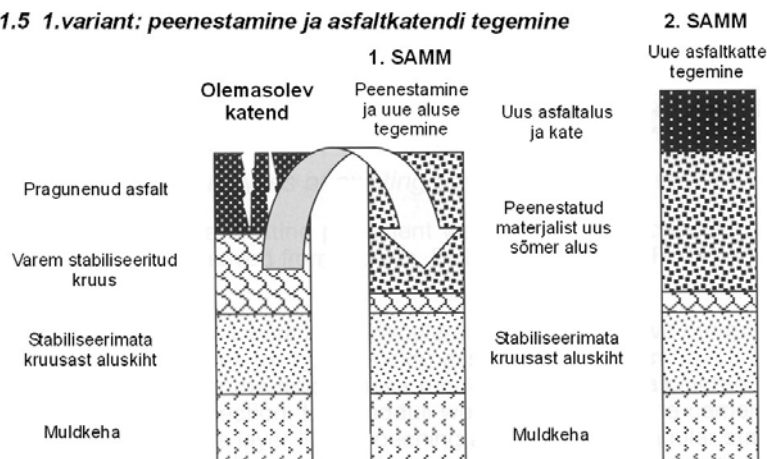
Kuna katendit kavatakse stabiliseerida, võib eeldada, et olemasoleva katendi ülemise osa konstruktsioon muutub. Ainult olemasoleva stabiliseeritud aluskihi alumine osa jääb puutumatuks muldkehale. Dünaamilise koonuspenetromeetri uuringu tulemused näitavad, et muldkeha on suhteliselt ühetaoline ja kui allesjäävat aluskihti lugeda muldkeha osaks, võib kõik sarnased lõigud grupeerida üheks. Lisaks sellele, et see lihtsustab projekteerimist, suurendab see ka usaldusnivood, tuues kasutusele ohutuse varuteguri.

Kõik projektid peavad vastama konstruktsioonilise kandevõime nõudele, milleks on $3,7 \times 10^6$ ESAL-it. Struktuuri numbrilise meetodi kasutamisel (vt 3. lisa punkt A3.2) määrab alumiste kihtide kandevõime (eeldatav keskmine 50 MPa) nõutava struktuuri numbrilise ($N_{nõutav}$), milleks on 4. See number on eesmärgiks kõikide projektide puhul.

A1.1.5.2 Seotud kihtide peenestamine ja asfaltülekatte tegemine

Selle variandi puhul peenestatakse katendi ülemise osa täielikult või osaliselt seotud materjal ning taaskasutatakse seda uue aluse tegemisel. Tavapärane asfaltalus ja kate tehakse seejärel uuele alusele. Järgmisel joonisel kirjeldatakse ehitusjärjekorda.

Joonis A1.5 1.variant: peenestamine ja asfaltkatendi tegemine



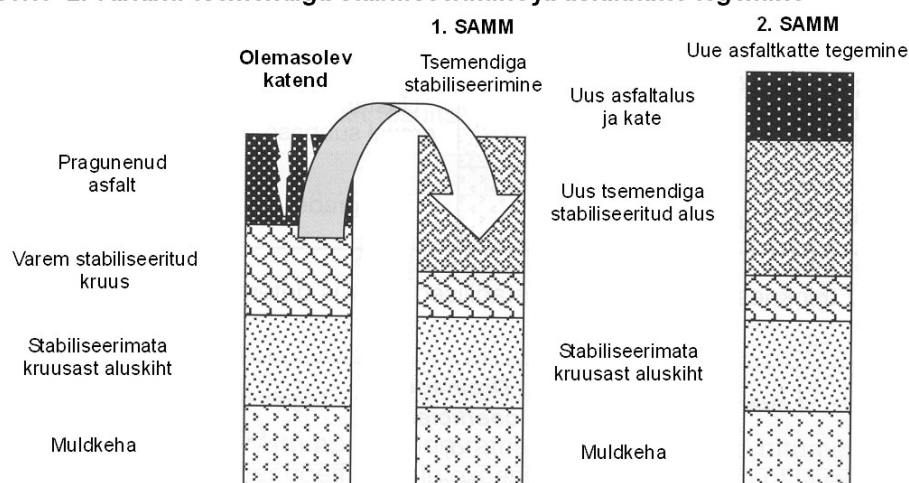
Kuna peenestamise peamiseks eesmärgiks on väsimuspragude kõrvaldamine, tuleb peenestada kõik asfaltkihid ja nii palju alumisest stabiliseeritud kihist, kui see on praktiliselt kasulik, kaasamata seejuures alumisi stabiliseerimata kihte. Järgmises analüüsis eeldatakse, et peenestamissügavus ja uue sõmera aluse paksus on 300 mm.

Kihi tüüp	Kihi koefitsient a_i	Filtratsiooni koefitsient d_i	Kihi paksust (cm)	$a_i \times d_i \times t$
Asfaltkate	0,1654	1,0	4,0	0,66
Asfaltalus	0,1496	1,0	7,5	1,12
Peenestatud materjalist uus alus	0,0551	1,0	30,0	1,65
Sõmer aluskiht	0,0472	0,9	15,0	0,64
$SN_{\text{tegelik}} = \sum a_i \times d_i \times t = 4,07$				

A1.1.5.3 Katendi stabiliseerimine tsemendiga ja asfaltülekatte tegemine

Selle variandi puhul tuleb olemasoleva katendi ülemine osa stabiliseerida tsemendiga ning teha piisava konstruktsioonilise tugevuse saavutamiseks asfaltalus ja -ülekate. Enne raske liiklusega koormamist tuleb asfaltalusele laotada asfaltkate, et uut tsemendiga stabiliseeritud kihti kaitsta.

Joonis A1.6 2. variant: tsemendiga stabiliseerimine ja asfaltkatte tegemine



Stabiliseerimissügavus / tsemendiga stabiliseeritud kihi paksus määratakse struktuuri numbri abil, nagu näidatud tabelis. Arvestades tsemendiga töödeldud kihtide pinnale mõjuvaid purustavaid jõude tuleb asfaltaluse paksuseks arvestada vähemalt 60 mm.

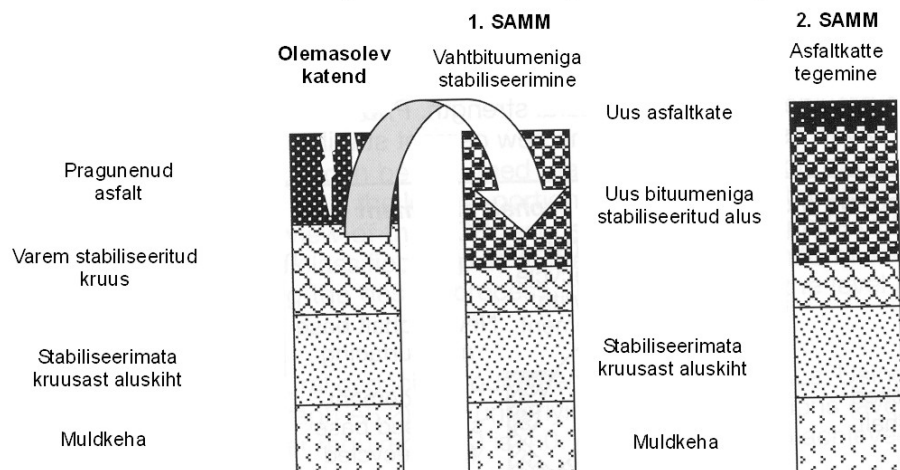
Kihi tüüp	Kihi koefitsient a_i	Filtratsiooni koefitsient d_i	Kihi paksus t (cm)	$a_i \times d_i \times t$
Asfaltkate	0,1654	1,0	4	0,66
Asfaltalus	0,1496	1,0	6	0,90
Tsemendiga stabiliseeritud alus	0,0669	1,0	25	1,67
Sõmer aluskiht	0,0472	0,9	20	0,85
$SN_{\text{tegelik}} = \sum a_i \times d_i \times t = 4,08$				

Osa varem stabiliseeritud materjalist, mida uuesti ei stabiliseerita, loetakse aluskihi stabiliseerimata materjali hulka. Stabiliseeritud materjali puhul tuleb teha tsemendiga seguprojekt, et määrata, kas eespool näites kasutatud kihi koefitsient on reaalne.

A1.1.5.4 Katendi bituumeniga stabiliseerimine ja asfaltülekatte tegemine

Selle variandi puhul tuleb olemasoleva katendi ülemine osa stabiliseerida bituumeniga ning teha peale ainult asfaltülekate. Peegelduspragude kõrvaldamiseks tuleb stabiliseerida olemasolevate asfaltkihtide sügavuselt. Bituumeni kasutamise eeliseks tsemendi ees on see, et suureneb materjali vastupidavus, kuna ei teki pragusid, mis suure sademete hulgaga piirkondades on tsemendiga töödeldud materjalide puhul probleemiks. Näites kasutatakse stabiliseerimiseks vahtbituumenit, kuna teed koormatakse liiklusega kohe, kui stabiliseeritud kiht on valmis.

Joonis A1.7 3.variant: bituumeniga stabiliseerimine ja asfaltkatte tegemine



Stabiliseerimissügavus / bituumeniga stabiliseeritud kihi paksus määratakse struktuuri numbril abil, nagu näidatud tabelis

Kihi tüüp	Kihi koefitsient a_i	Filtratsiooni koefitsient d_i	Kihi paksus t (cm)	$a_i \times d_i \times t$
Asfaltkate	0,1654	1,0	4	0,66
Bituumeniga stabiliseeritud alus	0,1024	1,0	25	2,56
Sõmer aluskiht	0,0472	0,9	20	0,85
$SN_{\text{tegelik}} = \sum a_i \times d_i \times t = 4,07$				

Osa varem stabiliseeritud materjalist, mida uuesti ei stabiliseerita, loetakse aluskihi stabiliseerimata materjali hulka. Stabiliseeritud materjali puhul tuleb teha vahtbituumeniga seguprojekt, et määrata, kas eespool näites kasutatud kihi koefitsient on reaalne.

A1.1.6 Seguprojektid

Sideaine optimaalse koguse ja materjali tugevusnäitajate määramiseks koostati seguprojektid nii tsemendi kui ka vahtbituumeniga.

A1.1.6.1 Seguprojekt tsemendiga

Asfalt ja varem stabiliseeritud doleriit segati proportsioonis vastavate kihtide paksusega 250 mm stabiliseerimissügavuse ja kohapealse tiheduse juures. Seguprojekti koostamisel järgiti 2. lisas kirjeldatud protseduuri. Viidi läbi kaudse tõmbetugevuse (ITS) ja ühetelgse survetugevuse (UCS) katse ning tulemused on võetud kokku järgmises tabelis.

Katse seguga: 60:40 (asfalt:kruus)	Lisatud tsemendi massi%		
	2,0	2,5	3,0
ITS (kPa)	157	235	405
UCS (kPa)	1436	2190	2987

Tsemendiga stabiliseeritud aluse minimaalne tõmbe- ja survetugevus on vastavalt 200 kPa ja 0,75 MPa. Need näitajad saavutatakse, kui tsemendi kulunorm on 2,5%.

A1.1.6.2 Seguprojekt vahtbituumeniga

Kuna soovitatav stabiliseerimissügavus / stabiliseeritud kihi paksus olid samad mis tsemendiga stabiliseerimise puhul, oli ka materjalide segu samasugune. Seguprojekt koostati 2. lisas kirjeldatud meetodil, kasutades Marshalli tihendamismeetodil valmistatud 100 mm läbimõõduga proovikehi. Katsetulemuste kokkuvõtte on esitatud tabelis.

Vahtbituumeni %	2,0	2,5	3,0	3,5
Lisand ja selle %	1% tavalist portland tsementi			
Mahumass (kg/m ³)	2136	2114	2096	2093
Tõmbetugevus kuivalt (kPa)	458	436	386	
Tõmbetugevus märjalt (kPa)	343	323	266	
Jääktõmbetugevus (%)	74	75	74	69

Optimaalsed tugevused saavutatakse 2,5% vahtbituumeni ja 1% tsemendi lisamisel. Sel juhul saavutatakse kihi koefitsient, mis ületab 0,1024 kihi cm kohta, mis viitab sellele, et esialgne elastsusmoodul oli 2000 MPa (vt A3 lisa, joonis A3.2).

A1.1.7 Majandusanalüüs

Iga variandi puhul arvutatakse otsesed ehituskulud, liidetakse katendi 15-aastase eluea jooksul tehtavad muud kulutused ning seejärel võrreldakse variante omavahel.

A1.1.7.1 Ehituskulud

Taastusremondi variantide prognoositavad kulud (euro/m²) esitatakse üksikasjalikult 7. lisas, kuid kokkuvõtte on esitatud järgmises tabelis. Ühe kilomeetri katendi ehituskulude prognoosimisel eeldati, et iga kilomeetri kohta remonditakse 12500 m² katendit. Need on ainult ehituskulud ja siia hulka pole arvatud ettevõttekulud, aja, liikluse ümbersuunamise ja muude lisatöödega seotud kulutused.

Taastusremondi variant		Ehituskulud eurodes	
		m ² kohta	km kohta
1	Peenestamine ja asfaltülekate tegemine	24,49	306,125
2	Tsemendiga stabiliseeritud aluse ja asfaltülekate tegemine	22,26	278,250
3	Bituumeniga stabiliseeritud aluse ja asfaltkatte tegemine	14,79	184,875

Kõikide käsitletud variantide puhul võib korrada taastada poolt tee laiust, vältides nii ümbersuunamise vajadust. Variant, kus kasutatakse bituumenit, on siiski kõige vähem aega nõudev, kuna jääb ära üks tööoperatsioon (asfaltaruse tegemine).

A1.1.7.2 Hooldus

Hooldustööde osas keskendutakse asfaltkatte kaitsmisele, mille eluiga on valdavalt troopilises kliimas 8–12 aastat. Kaheksa aasta järel pinnatakse tee üle ning 15-aastase projekteeritud eluea lõpus tehakse uus kate. Kui asfaltkatte ehitusel kasutada polümeermodifitseeritud bituumenit siis pikeneb katte eluiga, võimalik et 15 aastani, ning

seega pole pindamist vaja teha. Kirjeldatud hooldustööd on kõigi kolme variandi puhul ühesugused.

A1.1.8 Soovitused taastusremondi tegemiseks

Uuringud näitasid, et olemasoleva katendi konstruktsiooniline kandevõime pole piisav ja prognoositavale liiklusele vastupidamiseks tuleb seda tugevdada.

Konstruktsioonilise kandevõime parandamiseks valiti teel stabiliseerimine, kuna sellel on mitmeid eeliseid, eelkõige see, et olemasoleva katendi ülemiste kihtide kvaliteetset materjali saab taaskasutada, tänu millele väheneb materjalide mujalt toomise vajadus ja sellega seotud negatiivne mõju keskkonnale.

Tõestati, et kõik kolmel erineval viisil taastatud katendid olid piisava tugevusega ja seega määrab lõpliku valiku maksumus. Öeldu põhjal tuleks soovitada vahtbituumeniga stabiliseerimise varianti.

Ehitusjärjekord oleks järgmine:

- olemasolevat katendit stabiliseeritakse teel 2,5% vahtbituumeni ja 1% tsemendiga, profileeritakse ja tihendatakse;
- 24 tunni jooksul tehakse 30% emulsiooniga kruntkiht arvestades kulunormiks 0,3 l/m²;
- kui vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi niiskussisaldus on väiksem kui 50% optimaalsest niiskussisaldusest, harjatakse nelja päeva pärast pind üle ja tehakse 40 mm paksune asfaltkate.

A1.2 Olemasolevate kruusateede parendamine

Käesolevas näites kirjeldatakse, milliseid uuringuid tuleb olemasoleva kruusatee parendamiseks teha ja milline on projekteerimisprotsess, et saada tulemuseks bituumenkattega vastupidav tee.

A1.2.1 Olemasolev tee

Pikkus: 5,4 km
Laius: varieerub 8–10 m
Maastik: valdavalt tasane
Kliima: subtroopiline
Sademed: 650 mm (aasta keskmine)

Joonis A 1.8 Olemasolev kruusatee



A1.2.2 Projekteerimisnõuded

Sõiduraja andmed: 2 x 3,5 m, teepeenrad 0,5 m
Kate: bituumenkate
Joondamine: olemasoleva järgi
Projekteeritud eluiga: 15 aastat / 80% usaldatavusega
Katendi tüüp: on oodata ülekoormamist (põllumajandus)

A1.2.3 Uuringud

A1.2.3.1 Liiklusandmed

(Vt 4. lisa, Konstruktsioonilise kandevõime määramine liiklusandmete alusel.) Viidi läbi 12-tunnine liiklusloendus, mille käigus jagati sõidukid kolme kategooriatesse: kerged sõidukid, veoautod ja bussid. 12-tunnise loenduse muutmiseks 24-tunniseks kasutati koefitsienti 1,2, nagu näidatud järgmises tabelis.

Loenduspunkti asukoht	km 3 + 500	
Loendusperiood	12-tunnine loendus (tegelik)	24-tunnine loendus (hinnanguline)
Sõidukid kokku	206	247
Veoautod	21	25
Bussid	10	12

Aasta ööpäevane ekvivalentliiklus (ADE) määratakse 4. lisa valemi A4.1 abil:

$$ADE = AADT \times f_H \times f_E \times f_L \times f_G \times f_W$$

kus: AADT – aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus
 f_H – raskeveokite protsent
 f_E – prognoositud keskmine ESAL raskeveoki kohta
 f_L – sõiduradade vahelise jaotumise tegur (vt tabel A4.3)
 f_G – kalde tegur (vt tabel A4.4)
 f_W – sõiduraja laiuse tegur (vt tabel A4.5)

Asendades valemisse arvud (allikas on viidatud) saab arvutada ADE:

AADT – 247 (liiklusloendusest – vt tabelit eespool)
 f_H – $(25+12) / 247 = 15,0\%$ (liiklusloendusest – vt tabelit eespool)
 f_E – 1,6 (kogemuste põhjal varasematest teljemassi uurimisandmetest)
 f_L – 0,5 (vt tabel A4.3)
 f_G – 1,0 (vt tabel A4.4)
 f_W – 1,1 (vt tabel A4.5)

$$ADE = 247 \times 0,15 \times 1,6 \times 0,5 \times 1,0 \times 1,1 = 32,6 \text{ ESAL-it}$$

Vastus ümardatakse 33 ESAL-ini;

Kuna varasemad usaldusväärsed andmed puuduvad, tehti põhjalik analüüs liikluse kasvu mõju hindamiseks projektis kasutatud konstruktsioonilisele kandevõimele.

ADE (ESAL-it)	33		
Projekteeritud eluiga (aastat)	15		
Liikluse kasvu määr (%)	4	6	8
Liikluse kasvu tegur (tabel A4.6)	7601	9005	10703
Arvestuslik liiklus (ESAL-it)	250 833	297 165	353 199

Arvestuslik liiklus 15-aastase projekteeritud eluea jooksul (ehk konstruktsiooniline kandevõime) jääb T1 klassi (tabel A4.1) vahemikku 0,3–1,0 miljonit ESAL-it.

A1.2.3.2 Visuaalne hindamine

Visuaalse hindamise käigus tehti järgmised tähelepanekud:

- Tee kulgeb mööda kergelt lainjat maastikku, läbides nii puutumata kui kultuurmaastikke.
- Kraavid olid täis kruusateelt uhutud savi.
- Tänu hiljuti teostatud hooldusele oli kruusast kulumiskiht heas korras.

A1.2.3.3 Kontrollaugud / prooviaugud

Kruusast kulumiskihi paksuse kindlakstegemiseks tehti 500 m vahedega üksteist kulumiskihi paksust kontrollauku (300 x 300 mm). Augud asusid telgjoonel ja üks meeter kummastki äärest. Tulemused on esitatud järgmises tabelis.

Kaugus (km)	Kulumiskihi paksus (mm)		
	1 m vasakust äärest	Telgjoonel	1 m paremast äärest
0 + 100	110	175	116
0 + 500	122	164	127
1 + 000	121	148	158
1 + 500	151	154	118
2 + 000	149	138	131
2 + 500	116	145	133
3 + 000	119	154	152
3 + 500	111	180	121
4 + 000	148	164	145
4 + 500	124	167	129
5 + 000	142	169	139
Keskmine	128	160	134

Lisaks sellele tehti prooviaugud katendi konstruktsiooni ja materjali kvaliteedi kindlakstegemiseks. Laborikatsete ja seguprojektide tarvis võeti igast kihist materjaliproovid. Fotol on näha tüüpilise prooviaugu läbilõige, kus katendi konstruktsioon koosneb umbes 150 mm kruusakihist, mille all on tugeva konsistentsiga liivsavist ja aleuriitsavist looduslik muldkeha. Vee nõrgumist prooviaukudes ei täheldatud.

Katsed näitasid, et kõikide materjalide niiskussisaldus oli väiksem optimaalsest niiskussisaldusest. Kruusast kulumiskihi alumine 75 mm osa oli rikutud allpool olevast aleuriitsavist, mis viitab sellele, et materjal sisaldas suures koguses 0,075 mm väiksemat fraktsiooni.

Joonis A1.9 Prooviauk



A1.2.3.4 Dünaamilise koonuspenetromeetri katsed

Katendi materjalide kohapealsete tugevusomaduste määramiseks tehti dünaamilise koonuspenetromeetriga katseid iga 100 m järel, süvistades varda kuni 800 mm sügavusele. Tulemusi analüüsiti arvutiprogrammiga „DCP Analyzer“ ning määrati elastsusmoodul iga 150 mm horisondi puhul kuni sügavuseni 450 mm, ning lisaks muldkehas, nagu näidatud järgmises tabelis.

Kohapealne elastsusmoodul (MPa) 20-protsendilise tõenäosusega	Horisondi sügavus pinnast (mm)			
	0 - 150	150 - 300	300 - 450	450 – 800
	18	140	120	70

A1.2.3.5 Laborikatsed

Järgmistes tabelites on esitatud kruusast kulumiskihi ja muldkeha materjalidega läbi viidud laborikatsete tulemused.

Kruusast kulumiskiht

Terakoostis – läbib sõela protsentides											Plastsus- arv	CBR 95% tõenäo- susega
Sõela ava (mm)	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075		
1. prooviauk	98,5	93,6	85,8	64,6	47,2	31,8	19,1	10,7	7,0	5,7	5	48
2. prooviauk	99,0	91,1	83,7	68,4	50,3	39,2	29,6	20,1	12,7	10,4	7	65
3. prooviauk	94,8	87,8	81,3	65,3	49,5	35,8	28,1	21,4	15,2	12,7	7	56

Muldkeha

Terakoostis – läbib sõela protsentides											Plastsus- arv	CBR 95% tõenäo- susega
Sõela ava (mm)	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075		
1. prooviauk	98,5	93,6	85,8	64,6	47,2	31,8	19,1	10,7	7,0	5,7	5	48
2. prooviauk	99,0	91,1	83,7	68,4	50,3	39,2	29,6	20,1	12,7	10,4	7	65
3. prooviauk	94,8	87,8	81,3	65,3	49,5	35,8	28,1	21,4	15,2	12,7	7	56

A1.2.3.6 Tulemuste kokkuvõte

Kogu liiklus 15-aastase projekteeritud eluea jooksul on 0,35 miljonit ESAL-it.

Kruusast kulumiskihi keskmine paksus keskel on 160 mm ning väheneb 128 mm-ni vasakul teepoolel ja 134 mm-ni paremal poolel.

Dünaamilise koonuspenetromeetri katsetest selgus, et muldkeha tugevus väheneb koos sügavusega. Seda kinnitasid ka prooviaukudest võetud materjaliproovidega tehtud laborikatsed.

A1.2.4 Katendi parendamise võimalused

A1.2.4.1 Projekteerimist mõjutavad tegurid

Arvestuslik liiklus ei anna põhjust asfaltkatte tegemisele. Kohasem on töödelda pinda odavamate meetoditega.

Olemasoleva katendi muldkeha materjalid on suhteliselt halva kvaliteediga, mida tuleb kas tugevdada ja/või kaitsta, suurendades pealmise katendikonstruktsiooni paksust.

Olemasolev kruusast kulumiskiht koosneb suhteliselt kvaliteetsest materjalist. Neid võib tugevuse parandamiseks ja niiskuskindluse suurendamiseks stabiliseerida. Lisaks sellele kaitstakse sellise töötlemisega ka alumisi kihte.

Tee vaatlusalust lõiku läbib päevas umbes 250 sõidukit ja tööde ajaks tuleb need ümber suunata. Eelistada tuleks meetodeid, kus saab taastada pool tee laiust korraga.

A1.2.4.2 Katendi parendamise variandid

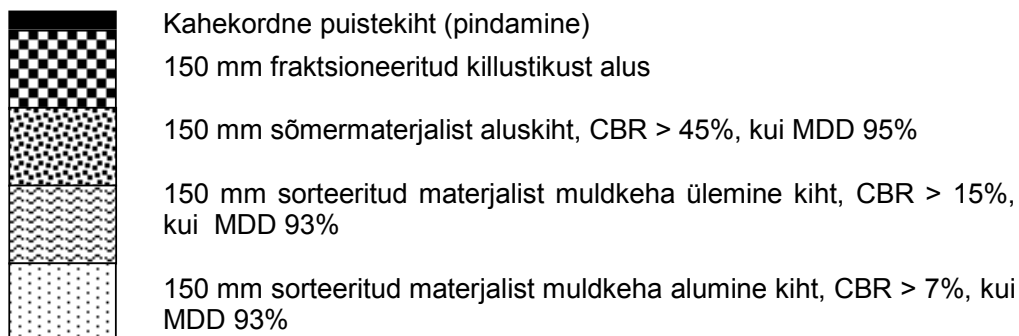
Katendikonstruktsiooni projekteerimisel on kaks alternatiivset varianti:

- traditsiooniline variant, kus kasutatakse sidumata konstruktsioonide tüüplahendusi (nn katalooglahendusi);
- stabiliseerimisvariandid, kus olemasoleva katendi materjale kasutatakse ära maksimaalselt. Vaadeldakse kahte alternatiivset stabiliseerimisprojekti, üks põhineb katalogiseeritud projekteerimismeetodil, kus kasutatakse hüdraulilisi sideaineid, teine struktuuri numbri meetodil, kus kasutatakse hüdrauliliste ja bituumensideainete kombinatsiooni.

A1.2.5 Traditsiooniline variant

Kruusateede parendamiseks on terve rida empiirilisi projekteerimisjuhised. Näiteks, Lõuna-Aafrikas välja antud „TRH 4, Structural design of flexible pavements“ sisaldab tüüpiliste katendikonstruktsioonide katalooge erinevate liiklusklasside ja teekategooriate jaoks. Vastavalt juhiste tuleb C-kategooria tee (80% usaldusväärsuse) puhul, mis kuulub T1 projekteerimisklassi ($0,3-1,0 \times 10^6$ ESAL-it), teha joonisel näidatud katendikonstruktsioon, kasutades sõrmermaterjali „märjas“ keskkonnas ning muldkeha materjali CBR üle 3% (93% maksimaalse kuivtiheduse MDD juures).

Joonis A1.10 Katendikonstruktsiooni traditsiooniline variant



Dünaamilise koonuspenetromeetri katsed näitasid, et muldkeha kandevõime on piisav, tingimusel et materjali veega küllastumise vältimiseks puhastatakse kraavid.

Laborikatsed näitasid, et olemasoleva kulumiskihi materjali survetugevus vastab aluskihile esitatavatele nõuetele. Kontrollaukude põhjal aga selgus, et olemasoleva kihi paksus pole kogu tee laiuses nõutavat 150 mm (vt punkt A1.2.3.3). Seega tuleb tuua juurde uut täitematerjali ning segada seda olemasoleva kruusatee kulumiskihi materjaliga. Kihi paksuse järgi tee vasakul poolel võib öelda, et uut täitematerjali tuleb juurde tuua 15% (kihi mahust). Kui uus aluskiht on valmis, võib ehitada juurdetoodud fraktsioneeritud killustikust aluse, kruntida see ning teostada pindamine kahekordse puistega.

Sel viisil ehitades pole võimalik liiklust ühele tee poolele suunata ja seega tuleb teha ümbersõidud. See tähendab seda, et olemasoleva tee kõrvale tuleb teha ajutine kruusatee.

A1.2.6 Stabiliseerimisvariandid

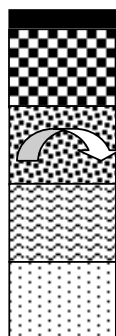
Käesolevas punktis käsitletakse olemasoleva katendimaterjali taaskasutamise kahte võimalust.

A1.2.6.1 Kulumiskihi stabiliseerimine uue aluskihi saamiseks

Selle variandi puhul kasutatakse kataloog-tüüpi projekti, kus uue stabiliseeritud aluskihi saamiseks töödeldakse olemasolevat kruusast kulumiskihiti tsemendiga. Vastavalt TRH 4 juhiste tuleb C-kategooria tee (80% usaldusväärsuse) puhul, mis kuulub T1

projekteerimisklassi ($0,3-1,0 \times 10^6$ ESAL-it), teha joonisel näidatud katendikonstruktsioon, kasutades sõrmermaterjalist alust tsemendiga stabiliseeritud aluskihi all, mis on omakorda muldkehal, mille CBR on üle 3% (93% maksimaalse kuivtiheduse (MDD) juures).

Joonis A1.11 Katendikonstruktsioon vastavalt TRH 4 juhiste



- Kahekordne puistekiht (pindamine)
- 125 mm fraksioneeritud killustikust alus
- 150 mm tsemendiga stabiliseeritud aluskiht, $0,75 > \text{UCS} > 1,5$ MPa (stabiliseerimisel on kasutatud kruusast kulumiskihi materjali)
- 150 mm sorteeritud materjalist muldkeha ülemine kiht, CBR > 15%, kui MDD 93%
- 150 mm sorteeritud materjalist muldkeha alumine kiht, CBR > 7%, kui MDD 93%

Minimaalsete tugevusomaduste saavutamiseks lisatava tsemendi kogus tuleb määrata seguprojektidest. Seguprojektis kasutatav proov peab sisaldama ka muldkeha alumise kihi materjali, kuna 150 mm stabiliseeritud kihi saamiseks on kulumiskihi paksus ebapiisav. Kui uus aluskiht on valmis, võib tuua uut fraksioneeritud killustikku ning laotada seda kihi hoidmiseks. Seejärel võib ehitada uue aluse, kruntida see ning teostada pindamine kahekordse puistega.

Sarnaselt traditsioonilisele variandile pole sel viisil uut kihti ehitades võimalik liiklust ühele tee poolele suunata ja seega tuleb teha ümbersõidud. See tähendab seda, et olemasoleva tee kõrvale tuleb teha ajutine kruusatee.

A1.2.6.2 Kaheetapiline teel stabiliseerimine

Käesoleva variandi puhul stabiliseeritakse kruusast kulumiskihi materjali koos muldkeha alumise kihi materjaliga, lisades kahes etapis kahte erinevat sideainet. Vahtbituumeniga stabiliseeritud aluse tegemiseks sobiva aluskihi saamiseks töödeldakse esmalt kohapealset materjali 200–300 mm sügavuselt. Sobiva elastse aluse saamiseks stabiliseeritakse 24 tunni jooksul eelnevalt töödeldud kihi pealmist 100–150 mm kihti vahtbituumeniga.

Uue aluskihi ja aluse paksuse määramiseks kasutati struktuuri numbri meetodit eeldatava konstruktsioonikihi koefitsiendiga (kuidas nimetatud meetodit vahtbituumeniga stabiliseeritud kihtide projekteerimiseks kasutada vt 3. lisa).

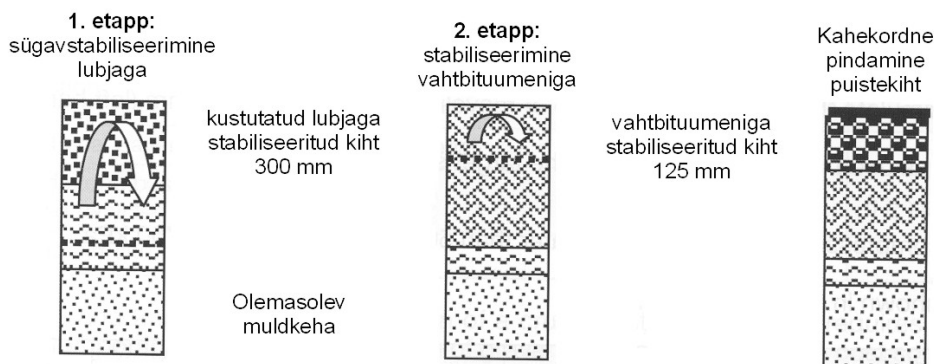
Nõutava struktuuri numbri ($SN_{n\text{out}}$) määramiseks kasutati katendi analüüsi tarkvara Winpas. Algandmetena kasutati muuhulgas konstruktsioonilist kandevõimet, milleks on 0,35 miljonit ESAL-it, ja muldkeha efektiivset kandevõimet, milleks on 70 MPa.

Saadi nõutav struktuuri number $SN_{n\text{out}} = 2,55$.

Kihi tüüp	Kihi koefitsient a_i	Filtratsiooni koefitsient d_i	Kihi paksus t (cm)	$a_i \times d_i \times t$
Töödeldud pind				
Vahtbituumeniga stabiliseeritud kiht	0,095	1,0	12,5	1,19
Lubjaga töödeldud aluskiht	0,079	1,0	17,5	1,38
$SN_{\text{tegelik}} = \sum a_i \times d_i \times t = 2,57$				

Vajaliku konstruktsiooni tegemiseks kaheetapilise teel stabiliseerimisega tuleb esmalt stabiliseerida 300 mm sügavuselt. Protsess on näidatud järgmisel joonisel.

Joonis A1.12 Kaheetapiline teel stabiliseerimine



Lubja ja vahtbituumeni kulunormi ning stabiliseerimisjärgsete tugevusnäitajate määramiseks on vaja koostada seguprojektid. Saadud väärtusi kasutatakse seejärel esialgu eeldatud koefitsientide kontrollimiseks, et vajadusel neid väärtusi muuta ja arvutada tegelik katendi struktuuri number (SN_{tegelik}). Kui uus stabiliseeritud alus on valmis, võib teostada kahekordse pindamise. Bituumeniga stabiliseerimisel pole eelnevalt kruntida vaja. Kirjeldatud variandi puhul on võimalik suunata liiklus ühele tee poolele ning seega pole ümbersõite vaja teha. Kuna uue katendi tegemisel kasutatakse olemasoleva tee ülemiste kihtide materjale, jäävad tee kõrgusmärgid samaks.

A1.2.7 Seguprojektid

Sideaine optimaalse sisalduse ja materjali tugevusomaduste määramiseks tehti seguprojektid:

- tsemendiga stabiliseerimiseks, mis on vajalik punktis A1.2.6.1 nõutud uue aluskihi saamiseks; ning
- 300 mm paksuse stabiliseeritud kihi töötlemiseks, millele järgneb punktis A1.2.6.2 kirjeldatud ülemise 125 mm töötlemine vahtbituumeniga.

A1.2.7.1 Seguprojekt tsemendiga stabiliseerimisel

Kruusast kulumiskihi materjal segati muldkeha materjaliga vahekorras 6:1, et jäljendada halvimat varianti (tee vasakul poolel), mis võib ette tulla olemasoleva katendi stabiliseerimisel 150 mm sügavuselt. Saadud materjaliseguga viidi läbi seguprojekti koostamise protseduur tsemendiga, nagu kirjeldatud 2. lisas.

Seguprojektis kasutati tavalist portland tsementi ning eesmärgiks oli saavutada järgmised tugevusnäitajad:

- kaudne tõmbetugevus: $ITS > 200$ kPa ja
- ühetelgne survetugevus: $750 < UCS < 1500$ kPa.

Tulemused on esitatud järgmises tabelis:

Lisatud tsemendi protsent	2,0	3,0	4,0	5,0
Kaudne tõmbetugevus (ITS) (kPa)	175	230	273	303
Ühetelgne survetugevus (UCS) (kPa)	820	1510	2140	2400
Plastsusarv (PI) pärast stabiliseerimist	6	SP	NP	NP

Tulemused näitavad, et minimaalne tõmbetugevus saavutatakse 3 massi% tsemendi lisamisel, kusjuures survetugevus ületab sel juhul ülemist piirväärtust ainult veidi.

A1.2.7.2 Seguprojekt lubjaga töötlemisel

Kruusast kulumiskihi materjal segati muldkeha materjaliga proportsioonis 45:55, et jäljendada halvimat varianti (tee vasakul poolel), mis võib ette tulla katendi stabiliseerimisel 300 mm sügavuselt.

Seguprojektis kasutati kustutatud lubja ning eesmärgiks oli saavutada järgmised tugevusnäitajad:

- plastsusarv: $PI \leq 6$
- ühetelgne survetugevus: $500 < UCS < 750$ kPa.

Tulemused on esitatud järgmises tabelis:

Lisatud lubja protsent	1,0	1,5	2,0	2,5
Ühetelgne survetugevus (UCS) (kPa)	201	540	690	1200
Plastsusarv (PI) pärast stabiliseerimist	10	7	SP (< 4)	NP

Tulemuste põhjal selgus, et vajalikud näitajad saavutatakse 2 massi% lubja lisamisel.

A1.2.7.3 Seguprojektid vahtbituumeniga stabiliseerimisel

Vahtbituumeniga seguprojektis kasutati samasugust materjalisegu mis lubjaga töötlemise seguprojektiski, kuna materjalid olid samad. Proovid segati 2% lubjaga ning jäeti enne vahtbituumeni lisamist 24 tunniks seisma.

Seguprojekti protseduur viidi läbi 2. lisa kirjeldatud meetodil, kasutades Marshalli tihendamismeetodil valmistatud 100 mm läbimõõduga proovikehi. Katsetulemuste kokkuvõte on esitatud järgmises tabelis.

Vahtbituumeni %	2,0	2,5	3,0	3,5
Lisand	Materjal, mida on töödeldud 2% lubjaga 24 tundi enne vahtbituumeni lisamist			
Mahumass (kg/m ³)	2010	2019	2025	2012
Lõhestus-Tõmbetugevus kuivalt (kPa)	239	259	273	262
Lõhestus-Tõmbetugevus märjalt (kPa)	139	161	188	191
Jääk lõhestus-tõmbetugevus (%)	58	62	69	73

Optimaalne vahtbituumeni sisaldus peaks olema 3,0%. Vastavalt 3. lisa joonisele A3.2 näitab lõhestus-tõmbetugevus kuivalt, et esialgne jäikus 1300 MPa saavutatakse kihikoefitsiendi puhul, mis on 0,24 kihi tolli kohta ehk 0,095 kihi sentimeetri kohta. Jääktõmbetugevus sellise bituumeni sisalduse puhul on üle 60%, mis on minimaalne nõutav väärtus antud keskmise aastase sademetehulga ja vee äravoolutingimuste juures. Seega leidsid struktuuri numbri leidmisel tehtud eeldused kinnitust.

A1.2.8 Majandusanalüüs

A1.2.8.1 Ehituskulud

Taastusremondi erinevate variantide prognoositavad kulud (euro/m²) esitatakse üksikasjalikult 7. lisa, kuid kokkuvõte on esitatud järgmises tabelis. Ühe kilomeetri katendi ehituskulude prognoosimisel eeldati, et iga kilomeetri kohta remonditakse 7000 m² katendit.

Need on ainult ehituskulud ja siia hulka pole arvatud ettevõttekulud, aja, liikluse ümbersuunamise ja muude lisatöödega seotud kulutused.

Taastusremondi variant		Ehituskulud eurodes	
		m ² kohta	km kohta
1	Tavapärane sõmermaterjalist katend	11,99	83,930
2	Killustikalus tsemendiga stabiliseeritud aluskihil	12,55	87,850
3	Kaheetapiline teel stabiliseerimine	10,19	71,330

1. ja 2. variandi puhul tuleb ehitada killustikust alus, mistõttu peab liikluse suunama ajutiselt ümber. Ajutiste kruusateede ehitamine läheb maksma umbes 20000 eurot/km. Ajutisi teid pole vaja ehitada kaheetapilise teel stabiliseerimise puhul, kuna liiklus suunatakse tee ühele poolele. Lisaks sellele on teel stabiliseerimise puhul ajakulu 20% väiksem, peamiselt seetõttu, et tööoperatsioone on vähem.

A1.1.7.2 Hooldus

Killustikust aluskihte tuleb kaitsta vee sissetungimise eest ja seega peab teed regulaarselt pindama, tavaliselt iga 5–7 aasta järel. Bituumeniga stabiliseeritud alused on siiski küllaltki niiskuskindlad ja ei pragune kergesti. Käesoleva variandi puhul nähakse hooldustööna ette pindamist, mida tehakse 10 aastat pärast katendi valmimist.

Seega on kaheetapilise teel stabiliseerimise puhul kulude nüüdisväärtus märgatavalt madalam kui kahe ülejäänud variandi puhul.

A1.2.9 Soovitused taastusremondi tegemiseks

Olemasoleva kruusatee parendamiseks soovitatakse kaheetapilist teel stabiliseerimist. Lisaks otsekuludega seotud eelistele taaskasutatakse selle variandi puhul olemasoleva katendi ülemiste kihtide materjali, tänu millele väheneb materjalide mujalt toomise vajadus ja sellega seotud negatiivne mõju keskkonnale.

Kuigi katendi kõigi kolme taastusremondi variandi puhul tõestati, et konstruktsiooniline kandevõime (kasutades empiirilisi meetodeid) oli piisav, eelistatakse viimast varianti tänu bituumeniga stabiliseeritud aluse elastsusele, mis väljendub vastupidavuses ülekoormamise suhtes. Lisaks sellele paraneb kaheetapilise teel stabiliseerimise puhul katendi pealmiste kihtide suhteliselt halvakvaliteedilise materjali tugevus- ja vastupidavusomadused.

Eespool öeldust lähtudes tuleb eelistada kaheetapilist teel stabiliseerimise varianti.

Ehitusjärjekord oleks järgmine:

- olemasolevat katendit stabiliseeritakse teel pooles laiuses 300 mm sügavuselt 2% lubjaga. Tee profileeritakse, tihendatakse ja avatakse liiklusele;
- 24 tunni jooksul stabiliseeritakse lubjaga töödeldud kihi ülemised 125 mm 3% vahtbituumeniga. Tee profileeritakse, tihendatakse ja avatakse liiklusele;
- 7 päeva pärast pühitakse lahtine materjal kokku ning tehakse kahekordne pindamiskiht.

A1.3 Kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga

Käesolevas näites kirjeldatud taastusremondi projektis kasutatakse tavapärase kuumast asfaltbetoonist ülekatte asemel vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuru. Kuhjadesse kogutud freespuru ülejäägid hakkavad paljudes riikides muutuma keskkonnaprobleemiks ning üha suurenev surve paneb ametkondi mõtlema alternatiivsetele kasutusvõimalustele. Mõnel pool on lubatud kasutada väikest protsenti freespuru asfaltkatete alumistes kihtides, kuid see pole varusid oluliselt vähendanud.

A1.3.1 Projekti kirjeldus

Käesolevas projektis on taastamist vajav teelõik umbes kilomeetri pikkune ning moodustab ühe osa suurest juurdepääsuteest tiheda asustusega elurajooni. Mööda kõnealust lõiku kulgeb paljude busside marsruut ja seega võib seda klassifitseerida A-kategooria teeks 95% usaldusväärsusega. Tee koosneb kahest 3,75 m laiusest sõidurajast ja 1 m laiusest kattega teepeenrast. Kliima on kuum (troopiline), aasta keskmine sademetehulk ületab 1000 mm.

A1.3.2 Uuringud

Läbipainde mõõtmisi pole teel varem läbi viidud ja projekti väikest mahtu silmas pidades ei olnud see uuringu maksumuse tõttu otstarbekas ka nüüd. Seepärast tuli katendit uurida muid meetodeid kasutades.

A1.3.2.1 Liiklusandmed

Viidi läbi põhjalik liiklusloendus, mille käigus jagati sõidukid kolme kategooriasse: kergsõidukid, teenindav transport ja bussid. Loendus viidi läbi 7.00–18.00 ning loenduse muutmiseks 24-tunniseks kasutati koefitsienti 1,06. Tulemused on esitatud järgmises tabelis.

Liikluse koosseis	Loenduse tegelik tulemus	Ööpäevane tulemus (hinnanguline)
Kergsõidukite arv	9352	9913
Teenindavate veokite arv	512	543
Busside arv	166	176
Kokku (hinnanguline AADT)	10030	10632

$$ADE = AADT \times f_H \times f_E \times f_L \times f_G \times f_W;$$

kus: AADT – aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus
 f_H – raskeveokite protsent
 f_E – prognoositud keskmine ESAL raskeveoki kohta
 f_L – sõiduradade vahelise jaotumise tegur (vt tabel A4.3)
 f_G – kalde tegur (vt tabel A4.4)
 f_W – sõiduraja laiuse tegur (vt tabel A4.5)

Asendades valemisse arvud (allikas on viidatud) saab arvutada ADE:

AADT – 10632 (liiklusloendusest – vt tabelit eespool)
 f_H – $(543+176) / 10632 = 6,8\%$ (liiklusloendusest – vt tabelit eespool)
 f_E – 1,5 (kogemuste põhjal varasematest koormuse ja teljemassi uurimisandmetest)
 f_L – 0,5 (vt tabel A4.3)
 f_G – 1,0 (vt tabel A4.4)
 f_W – 1,1 (vt tabel A4.5)

$$\text{ADE} = 10632 \times 0,068 \times 1,5 \times 0,5 \times 1,0 \times 1,1 = 596 \text{ ESAL-it}$$

Varasemate andmetega võrdlemisel selgus, et liiklussagedus oli 10 aastaga kasvanud peaaegu 8%, samas kui raskeveokite osas oli kasv alla 6%. Viidi läbi põhjalik analüüs, mille eesmärgiks oli hinnata liikluse kasvu mõju projektis kasutatud konstruktsioonilisele kandevõimele.

ADE (ESAL-it)	596		
Projekteeritud eluiga (aastat)	20		
Liikluse kasvu määr (%)	4	6	8
Liikluse kasvu tegur (tabel A4.6)	11304	14232	18039
Arvestuslik liiklus (ESAL-it)	6 737 184	8 482 272	10 749 456

Arvestuslik liiklus 20-aastase projekteeritud eluea jooksul (ehk konstruktsiooniline kandevõime) jääb T3 liiklusklassi (tabel A4.1) vahemikku 0,3–1,0 miljonit ESAL-it.

A1.3.2.2 Visuaalne hindamine

Vaatlusalune teelõik on kummaski suunas ühe sõidurajaga asfaltkattega tee, mille kogulaius on umbes 9,5 m. Peaaegu kogu pikkuses on tee ääristatud äärekividega ning tee kõrval jookseb kord ühel, kord teisel pool kraav, sõltuvalt sellest kummale poole on põikikalle.

Joonis A1.13 Olemasoleva tee kate



Asfaltkatte seisukorda kirjeldati kui „vananenut“. Täitematerjali kao tõttu on pinnatekstuur kohati konarlik. Temperatuurimuutustest tingitud praod on peaaegu kõikjal, välja arvatud rattajälgedes.

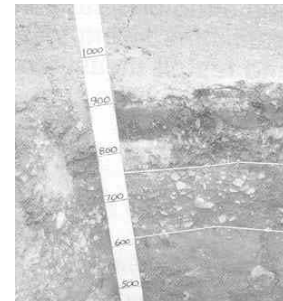
Hindamise tulemusel võib öelda, et teelõik on üldiselt suhteliselt heas korras ja suuri konstruktsioonilisi puudujääke ei esine.

A1.3.2.3 Prooviaugud

Olemasoleva katendi kihtide ning erinevate materjalide tüübi ja seisukorra kindlakstegemiseks tehti kolm 0,9 m sügavust prooviauku. Laborikatsete jaoks võeti igast kihist proovid. Materjalide klassifitseerimise eesmärgil viidi läbi tavapäraseks katsed (survetugevuse katse, Atterbergi piiride katse ja sõelanalüüs).

Katend koosnes sõmera materjaliga aluskihist ja kahest asfaltkihist. Asfaldi paksus varieerus 125–160 mm. Prooviaukude koha peal olid asfaltkihid suhteliselt heas korras, väsimuspragusid ei olnud näha.

Joonis A1.14 Prooviauk



Alus oli ehitatud fraktsioneeritud killustikust. Aluse niiskussisaldus oli suhteliselt suur, ulatudes peaaegu optimaalse niiskussisalduseni. Killustikust täiteaine tundus olema kehva kvaliteediga, sisaldades palju peenosiseid. Alus oli tiheda konsistentsiga ning soolhappe ja fenoolftaleiiniga tehtud katsed näitasid, et kiht oli stabiliseerimata.

Muldkeha pealmised sorteeritud materjalist kihid olid tehtud murenenud tillidist ning alumine looduslik osa koosnes samast materjalist, milles esines kuni 200 mm läbimõõduga kive.

Materjal muldkeha alumises osas tundus olevat niiske. Üldiselt olid kihid konsistentsilt keskmised või tihedad.

A1.3.2.4 Dünaamilise koonuspenetromeetri katsed

Läbipainde andmete puudumise tõttu tehti alumiste kihtide kandevõime määramiseks dünaamilise koonuspenetromeetriga rohkem katseid (100 m vahedega mõlema sõiduraja mõlemas rattajäljes). Katseandmete analüüsi tulemusel määrati katendi erinevate kihtide kohapealne kandevõime/jäikus.

Asfaltkihid olid koonuspenetromeetriga läbistamiseks liiga kõvad. Seepärast tehti asfaldi (keskmise paksusega 150 mm) löökdrelliga augud ning dünaamilise koonuspenetromeetriga alustati süvistamist aluskihi pealt. Varras süvistati standardsügavusele ehk 800 mm sügavusele pinnast. Tulemusi analüüsiti arvutiprogrammiga „DCP Analyzer“ ning penetratsioonistme järgi määrati kohapealne survetugevus ja elastsusmoodul. Analüüsi tulemused on esitatud järgmises tabelis.

Kaugus (km) põhjapoolsest otsast	Keskmine elastsusmoodul (MPa)		Keskmine survetugevus (%)	
	150–300 mm (aluskiht)	300–800 mm (muldkeha)	150–300 mm (aluskiht)	300–800 mm (muldkeha)
100	791	301	227	85
200	416	153	126	38
300	239	176	65	45
400	265	170	74	43
500	318	157	91	39
600	635	270	195	75
700	140	222	34	59
800	535	215	170	57
900	270	68	75	14
1000	197	175	51	45
5-protseendiline tõenäosus (andmete kohta)	166	106	42	25

A1.3.2.5 Laborikatsete tulemused

Killustikust aluskihi kvaliteet on aja jooksul halvenenud. Plastsusarv on suurenenud, olles nüüd keskmiselt 8, ning CBR on vastavalt vähenenud. Kolme proovi keskmine CBR arv märjalt oli 52% 95% modifitseeritud AASHTO T-180 tiheduse juures.

Muldkeha materjalidega läbi viidud katsed näitasid, et plastsusarv jäi vahemikku 9–11. 0,075 mm sõela läbinud fraktsiooni protsent oli suurem kui 20 ning keskmine CBR arv märjalt oli 93% modifitseeritud AASHTO tiheduse juures 9%.

A1.3.3 Olemasoleva katendi hindamine mehaanilise meetodiga

Olemasoleva katendi konstruktsioonilist kandevõimet hinnati mehaanilise meetodiga, kasutades standardset lineaar-elastset modelleerimistehnikat. Üksikute kihtide paksused saadi dünaamilise koonuspenetromeetri katsetest ja prooviaugus tehtud mõõtmistulemustest. Elastsusmoodul määrati laboris tehtud CBR katse tulemuste ning aluskihi ja muldkeha kihtide dünaamilise koonuspenetromeetri analüüsi põhjal, nagu näidatud järgmises tabelis.

ESAL-it	Sügavus pinnast (mm)	Katendi üksikute kihtide järelejäänud eluiga (miljonites ESAL-ites) erinevate elastsusmoodulite puhul, mis saadi:			
		CBR katse põhjal laboris		dün. koonuspenetromeeri katse põhjal	
		El. moodul (MPa)	ESAL-it	EL. moodul (MPa)	ESAL-it
Asfaltbetoon kate	0 – 75	1000 eeldatud	> 1	1000 eeldatud	> 1
Asfaltbetoon alus	75 – 150	2000 eeldatud	0,23	2000 eeldatud	0,40
Aluskiht	150 – 300	200	0,60	270	0,33
Muldkeha	> 1	70	> 1	68	> 1

Analüüs näitas, et olemasoleva katendi järelejäänud eluiga jääb vahemikku 0,23–0,33 miljonit ESAL-it, mis tähendab seda, et katend vajab tugevdamist.

A1.3.4 Taastusremondi võimalused

Tellija tegi ettepaneku, et nõutava kandevõime saavutamiseks võiks olemasoleva katendi katta 140 mm asfaltkihiga (100 mm aluskiht ja 40 mm kattekiht). Mehaanilise meetodiga kontrollides selgus, et sellise lahenduse puhul saavutatakse konstruktsiooniline kandevõime 10 miljonit ESAL-it. Kuid pidades silmas freespuru suuri tagavarasid ja selle kasutamise eeliseid otsustati alternatiivse variandi kasuks, kus asfaltalus asendatakse vahtbituumeniga stabiliseeritud materjaliga.

A1.3.5 Seguprojektid vahtbituumeniga stabiliseerimisel

Freespuru kuhjadest võetud proovidega koostati vahtbituumeniga seguprojektid. Tulemuste põhjal määrati vahtbituumeni ja lisandi (tsemendi) kulunormid, et saavutada optimaalne tugevus ning määrata tugevusnäitajad, mida on vaja katendi projekti koostamiseks.

Proovid valmistati materjalist, millest oli eemaldatud üle 19 mm fraktsioon. Seguprojektis kasutati kohalikust rafineerimistehasest pärit standardse penetratsioonistmega 80/100 bituumenit. Vahtbituumen valmistati välilaboris Wirtgen WLB 10, millega saadud vaht sarnaneb vahuga, mis saadakse käesolevas projektis kasutatava segufreesiga Wirtgen KMA 200.

Seguprojekti koostamisel järgiti 2. lisas kirjeldatud protseduuri 100 mm läbimõõduga proovikehade jaoks. Saadud tulemused on võetud kokku järgmises tabelis.

Tulemuste põhjal selgus, et vahtbituumeni optimaalne kulunorm on 2%. Seejärel valmistati 150 mm läbimõõduga proovikehi optimaalse kulunormi (2% vahtbituumenit, 1% tsementi) ja 100% AASHTO tihendamise juures ning lasti neil kõveneda, nagu kirjeldatakse 2. lisas. Lõhestus-tõmbetugevuseks (ITS_{ekv}) saadi 175 kPa ja survetugevuseks (UCS) 2210 kPa. Kolmeteljelise katse põhjal saadi nidususeks 400 kPa ja sisehõõrdenurgaks 35°.

A1.3.6 Katendi projekt

Olemasoleva katendi ning vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust uue kihi ja asfaltkatte modelleerimisel järgiti mehaanilist projekteerimisprotseduuri, nagu seda tehti punktis A1.3.3 järelejäänud eluea määramisel (vt projekteerimismeetodi selgitust 3. lisa punktis A3.3). Algandmed on näidatud kõrvaloleval joonisel. Esiialgu kasutati vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuru elastsusmooduli määramiseks erinevate kihipaksuste juures 4. peatüki punktis 4.5.5.2 esitatud valemeid. Järgmises näites on kihi paksuseks võetud 125 mm.	Kihi paksus (mm)	Elastsusmoodul (MPa)	Katendi konstruktsioon	
	40	2500		Asfaltkate
	"X"	1. etapp – 1841 2. etapp – 1010		Vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuru
	150	1000		Olemasolev asfalt
	150	200		Olemasolev aluskiht
	∞	70		Olemasolev muldkeha

1. samm: määrata modelleerimiseks vajalik elastsusmoodul.

1. etapi ehk nn rahunemise etapi puhul kasutatakse valemit 4.3:

$$MR_{1. etapp} = (3950 \times \log(ITS_{ekv}) - 7000) \times TSR \times F_{filtr}$$

Kui $ITS_{ekv} = 175$ kPa, $TSR = 0,99$ ja $F_{filtr} = 1,0$, saame, et $MR_{1. etapp} = 1841$ MPa

1. etapi ehk nn stabiilse seisundi puhul kasutatakse valemit 4.4:

$$MR_{2. etapp} = \frac{MR_{1. etapp} \times TSR}{(0,5 \times USC_{ekv}) + 0,7}$$

Kui $MR_{1. etapp} = 1841$ MPa, $TSR = 0,99$ ja $USC_{ekv} = 2,21$ MPa, saame, et

$$MR_{2. etapp} = 1010 \text{ MPa}$$

2. samm: määrata konstruktsiooniline kandevõime 1. etapis.

Arvestades, et $MR_{1. etapp} = 1841$ MPa, modelleeriti katend ja saadi, et deformatsioon vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust kihi põhjas on: $\varepsilon = 94$.

Kasutades TG2 valemit: $N_{F,FB} = 10^{[c-0,708 (\varepsilon/\varepsilon_b)]}$ [ESAL-it]

Kui $\varepsilon = 94$, $\varepsilon_b = 172$ (TG2 tabel B.3) ja $C = 6,339$ (A-kategooria tee), saame, et:

$$N_{F,FB} = 0,9 \times 10^6 \text{ ESAL-it}$$

3. samm: määrata konstruktsiooniline kandevõime 2. etapis.

Arvestades, et $MR_{2,etapp} = 1010$ MPa, määrati pinged vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi $\frac{3}{4}$ sügavusel (paarisrataste jälgede vahes): $\sigma_1 = 251$ ja $\sigma_3 = -52$ kPa.

Kasutades TG2 valemit: $N_{PD,FB} = 1/30 \times 10^{[k + 11,938 RD + 0,0726 PS - 1,628 SR + 0,68 (tsem/bit)]}$

Kasutades pingetsükli asümeetriateguri (SR) leidmiseks kolmeteljelist katsete põhjal saadud väärtusi $C = 400$ kPa ja $\Phi = 35^\circ$ ning $\sigma_1 = 251$ ja $\sigma_3 = -52$ kPa, ning kui $k = -2,047$ (A-kategooria tee), $RD = 80\%$, $PS = 14,4\%$ (18 mm sügavune roobas 125 mm kihil) ja $tsem/bit = 0,5$ (1% tsementi ja 2% bituumenit), saame, et:

$$N_{PD,FB} = 11,6 \times 10^6 \text{ ESAL-it}$$

Kahe etapi tulemuste liitmisel saame, et konstruktsiooniline kandevõime on kokku $12,5 \times 10^6$ ESAL-it.

A1.3.7 Majandusanalüüs

Tavapärase asfaltülekate ja vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust kihi prognoositavad ehituskulud esitatakse üksikasjalikult 7. lisas, kuid kokkuvõtte on esitatud järgmises tabelis. Ehituskulud kilomeetri kohta arvutatakse eeldusel, et tee keskmine laius on 9,5 m (ehk 9500 m²/km).

Taastusremondi variant	Ehituskulud eurodes	
	m ² kohta	km kohta
1 Tavapärane asfaltülekate	25,72	244,340
2 Vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust kiht koos asfaltkattega	13,83	131,385

Kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamisel vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga on kokkuhoid umbes 45%. Muud katendite pika elueaga seotud kulutused on tavatingimustes samad. Tuleb siiski märkida, et vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust kiht pole temperatuuritundlik. Seepärast sobibki ta kasutamiseks paikades, kus katendi temperatuurid on kõrged, eelkõige troopilistes piirkondades ja kõrbetes.

A1.4 Nõuded

Sobivus, järelevalve ja kontrollimiskatsete tarvis võib kasutada tabelites AO.1 ja AO.2 toodud nõudeid. Näitajad tuleb viia vastavusse lisas toodud selgitustega.

Tabel A1.4.1 Külmstabiliseerimisest proovikeha kohta kehtivad nõuded		
Näitaja	Sobivuse kontroll	Järelevalve-/ kontrollimiskatsed
Jäävpoorsus	Keskmine näitaja 8-15 mahu-%, maks. 10 mahu-% ¹⁾	$\leq$ Sobivuse kontroll + 4 mahu-% $\leq$ Sobivuse kontroll + 2 mahu-% ¹⁾
Lõhestus-tõmbetugevus, kui T = +5°C peale 5 päeva $\beta_{sz,7}$	Keskmine väärtus $\geq 0,50 \text{ N/mm}^2$ $\leq 0,80 \text{ N/mm}^2$ ²⁾	$\geq$ Sobivuse kontroll – 20 % ³⁾ $\leq$ Sobivuse kontroll + 30 % ²⁾³⁾
Lõhestus-tõmbetugevus, kui T = +5°C suhtes $\beta_{sz,28}$	Keskmine väärtus $\geq 0,75 \text{ N/mm}^2$ $\leq 1,20 \text{ N/mm}^2$ ²⁾	$\geq$ Sobivuse kontroll – 20 % $\leq$ Sobivuse kontroll + 30 % ²⁾
Lõhestus-tõmbetugevus langus $\beta_{sz,28}$ peale vees hoidmist	< 30 %	-
E-moodul	Tuleb lisada kogutud andmetesse	

Tabel A1.4.2 Külmstabiliseeritud segu kohta kehtivad nõuded	
Näitaja	Järelevalve-/kontrollkatsed
Laotatud kihi paksus ⁴⁾	Nõutav väärtus – 10 %
Tihendusaste ⁴⁾	$\geq 98 \%$ $\geq 96 \%$
Jäävpoorsus	≤ 12 mahuprotsenti ¹⁾
Külmstabiliseeritud kihi deformatsioonimoodul enne ülekatet	$E_{VDd} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ või $E_{V2} \geq 180 \text{ MN/m}^2$
Tasasus	1,5 cm / 4 m
Õige profiil	Nõutav kõrgusprofiil $\pm 2 \text{ cm}$
¹⁾ pigi sisaldavat ehitustoodet; keskkonnakaitsenõuete järgimine normi RuVA-StB alusel ²⁾ külmstabiliseerimisest hüdraulilis-dominantse sideainega ³⁾ kehtib ainult järelevalve puhul ⁴⁾ kihipaksused ja tiheduse määramine laotatud kihil puuriproovi või asendumeetodiga (DIN 18121-2) ⁵⁾ kui aluskihi kandevõime on $E_{V2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$	

A1.5 Sobivuskatsed

A1.5.1 Üldist

Iga ehitusmeetme, antud juhul tööloikude kaupa, kohta tuleb tõestada ehitusmaterjali ja ehitussegu sobivust antud otstarbel kasutamiseks. Sobivuskatse tulemused on lepingu osa ehitustööde teostamise, töö vastuvõtu ja arveldamise puhul. Sobivuskatsed tuleb lasta teostada RAP Stra poolt tunnustatud laboril. Nõutav ajavahemik sobivuskatsete läbiviimiseks ulatub 28 päevast (tugevuskatsed) 6 nädalani.

Sobivuskatseteks vajalikud materjalikogused tuleb võtta proovifreesimise teel teekattest. Proovide võtmisel tuleb jälgida tootmisprotsessi tingimuste võrreldavust (nt. freesimissügavus). Ehitussegu koostise määramisel tuleb arvestada tellija poolt esitatud nõudmisi, liiklusolusid, külmstabiliseeritud kihi ülekattekihi tüüpi ning lokaalseid, kliimaatilisi ja topograafilisi tingimusi.

A1.5.2 Segu täitematerjali uurimine

Testimisasutuse käsutusse antud freesproov peab andma ülevaate ka teelõigu ehitusmeetmetest, keskendudes kihtide konstruktsioonile ja koostisele. Laborisse toimetatud freesproovi mass peab olema vähemalt 150 kg ühe teelõigu kohta. Sellisel juhul on võimalik sideainega ja sideaineta materjali vahekorda visuaalselt hinnata.

Kui freesproov sisaldab pigi sisaldavat materjali, tuleb toiminda dokumendis RuVA-StB sätestatud viisil.

Freesproovis määratakse kindlaks:

- freespuru tükkide terakoostis DIN 52098,
- sideainesisaldus vastavalt normile DIN 1996-6,
- täitematerjali terakoostis DIN 1996-14 järgi .

Kui freespuru terakoostis on ebaühtlane või ei sobi nõutavasse sõelkõvera välja, siis tuleb lisada täitematerjali erinevaid fraktsioone kuni terakoostis vastab nõuetele.

Hüdraulilis-dominantse sideainega segude puhul tuleb juhul, kui $< 0,063$ mm fraktsiooni osakaal on üle 5 massiprotsendi, kahtluse korral proovikeha abil tõestada katte külmakindlust analoogselt nagu katete puhul eeskirjades ZTV T-StB on sätestatud.

Seniste kogemuste põhjal võib järeldada, et löökidena toimuv tihendamine (laboris) on põhjustanud jämedamas kivimaterjalifraktsioonis terade purunemist. Nõutav niiskusesisaldus tuleb kindlaks määrata normi DIN EN 13286-2 järgi võttes aluseks staatilise tihendusenergia ja hüdraulilise sideaine keskmise koguse (1,5 massiprotsenti).

Juurdelisatava vee W_{zu} kogust mõjutab bituumeniemulsioon~~id~~ ja segu täitematerjali niiskusesisaldust W_{eig} hinnatakse järgmiselt:

$$W_{zu} = W_{erf} - W_{eig} - W_{em} - 0,5 B$$

kus,	W_{eig}	– segu täitematerjali niiskusesisaldus (omaniiskus)	[%]
	W_{em}	– emulsiooni niiskusesisaldus (vesi)	[%]
	B	– bituumeni sisaldus emulsioonis	[%]
	W_{zu}	– segule lisatud vee kogus	[%]
	W_{erf}	– nõutav niiskusesisaldus	[%]

Kui kasutatakse vahtbituumenit, on valemis $W_{em} = 0$ ja $B = 0$.

A1.5.3 Külmstabiliseerimisese testimine

Enne proovikehade valmistamist tuleb teha prooviseid, et selgitada välja bituumenemulsiooni ning tsement-vee-segu kokkusobivus. Juhiseid menetlusviisiks saab väljaandest M KRC.

Katsed tuleb läbi viia vähemalt kolme erineva sideainesisaldusega. Sideaine sisaldused eri segudes peaksid olema astmega 1-2 massi% . Vajadusel tuleb katseid teha ka teise sideainega.

Vahtbituumeni kasutamisel tuleb enne segu valmistamist määrata väljaandes M KRC kirjeldatud viisil kindlaks vahtbituumeni omadused, et selle põhjal teha järeldus segus vajaliku veekoguse kohta.

Sideainekombinatsiooni valimiseks tuleb lähtuda järgmistest sideainekogustest:

- bituumenemulsioon: 2 kuni 6 massiprotsenti (vahtbituumeni puhul: 2,5 kuni 5,0 massiprotsenti)
- tsement: 3 kuni 6 massiprotsenti (vahtbituumeni puhul 1,0 kuni 3,0 massiprotsenti).

Hea töödeldavuse tagamiseks peab vee-tsemendi vahekord olema vee-tsemendi segu valmistamisel u. 1,0, kuid mitte mingil juhul alla 0,5. Külmstabiliseerimisese koostise arvutamiseks võib kasutada väljaandes M KRC toodud valemeid.

Külmstabiliseerimisese (proovise) valmistamine peab toimuma nii, et on saavutatud kivimaterjali ühtlane kaetus sideaine(te)ga.

Segu valmistamisel tuleb toimida järgmiselt:

Esmalt tuleb segumaterjali umbes 1 minut, lisades vett, eelsegada. Seejärel lisatakse tsemendi-vee-segu. Lõpuks lisatakse bituumenemulsioon. Segamine lõpetatakse, kui sideaine(d) on ühtlaselt segunenud. Segamise kestus ei tohi ületada 2 minutit.

Kui kasutatakse vahtbituumenit, lisatakse segule pärast tsemendi-vee-segu lisamist laboriseadmes valmistatud vahtbituumen. Eelistatult peaks vahtbituumeniga segu segamisel kasutama sundsegistit.

Külmstabiliseeritud segust tuleb iga katsepartii kohta määrata segu näiv erimass vastavalt normis DIN 52102 kirjeldatud meetodile ning kasutades destilleeritud vett.

A1.5.4 Proovikehade valmistamine ja säilitamine

Külmstabiliseerimissegust tuleb iga valitud sideaine kombinatsiooni kohta valmistada neli proovikeha ja lisaks veel kaks proovikeha, millele määratakse materjali lõhestus-tõmbetugevus peale vees hoidmist.

Proovikehade valmistamisel järgitakse lisatud juhendit.

Esimesel kahel päeval peale proovikehade valmistamist tuleb proovikehi hoida temperatuuril 20 ± 2 °C ja vähemalt 95 % suhtelise õhuniiskuse juures. 3. kuni 7. päeval toimub nn “kuivladustamine” restil, kus suhteline õhuniiskus on vahemikus 40 % - 70 %, temperatuuril 20 ± 2 °C. 7-ndal päeval toimub kahe proovikeha ettevalmistus lõhestus-tõmbetugevuse ($\beta_{sz, 7}$) määramiseks vastavalt lisatud juhisele.

14. päeval paigutatakse prooviseeria kaks ülejäänud proovikeha temperatuuril 20 ± 2 °C veevanni, kus proovikehad peavad olema täielikult kaetud ja hoitakse vannis järgmised 14 päeva.

28. päeval valmistatakse ette kaks kuivas kohas hoitud proovikeha ($\beta_{sz, 28}$) ning kaks kuivalt/vees hoitud proovikeha ($\beta_{sz, 14/14}$) vastavalt lisatud juhendile lõhestus-tõmbetugevuse katseks.

A1.5.5 Proovikehade testimine

Peale proovikehade vormist väljavõtmist määratakse niiske proovikeha mahumass niiske massi ja mahu suhtena (arvutatakse proovikeha kõrguse ja läbimõõdu alusel). Teades kogu segu summaarset niiskusesisaldust, arvutatakse välja kuivtihedus (kuiv mahumass).

Proovikeha jäävpoorsus arvutatakse normi DIN 1996-7 alusel arvestades lõigus 2.1.3 määratud segu näivat erimassi.

7. päeval määratakse kahe proovikeha lõhestus-tõmbetugevus ($\beta_{sz, 7}$) ja 28. päeval ülejäänud proovikehade lõhestus-tõmbetugevus ($\beta_{sz, 28}$) ja ($\beta_{sz, 14/14}$) ning kogemuste omandamise eesmärgiks ka deformatsioonikindlus ja E-moodul, vastavalt lisatud juhendile.

A1.5.6 Uurimistulemuste hindamine ja järeltulemuste tegemine

Olenevalt kasutusotstarbest on lõhestus-tõmbetugevus 28 päeva möödudes ning lõhestus-tõmbetugevus peale 14 päeva vees hoidmist olulised näitajad optimaalse segukoostise määramisel. Erandjuhtudel võib lõhestus-tõmbetugevust määrata ka 7 päeva möödudes. Seejuures tuleb arvestada lõigus 1 toodud nõudeid.

Võib osutada otstarbekaks ka sellise sideainekombinatsiooni valik, mis ei vasta ühelegi uuritud kombinatsioonile. Sellisel juhul tuleb segu omadusi ja muid näitajaid juurde lisada.

Kui kasutatakse pigi sisaldavaid materjale, tuleb segu retsepti kindlaks määramisel järgida normis RuVA-StB toodud nõudeid.

LISA 2

Stabiliseeritud materjalide seguprojektide koostamine

A2.1 Proovide võtmine ja ettevalmistamine

- A2.1.1 Proovide võtmine teel
- A2.1.2 Proovide ettevalmistamine seguprojekti koostamiseks
 - A2.1.2.1 Standardsed pinnasekatsed
 - A2.1.2.2 Proovide segamine
 - A2.1.2.3 Materjalide iseloomulik vahekord
 - A2.1.2.4 Proovide kogused
 - A2.1.2.5 Hügrokoopne niiskussisaldus

A2.2 Seguprojektide koostamine tsemendiga stabiliseerimisel

- A2.2.1 Tsemendiga stabiliseeritud materjali optimaalse niiskussisalduse (OMC) ja maksimaalse kuivtiheduse (MDD) määramine
- A2.2.2 Tsemendiga stabiliseeritud materjalist proovikehade valmistamine tugevuskatseteks (UCS ja ITS)
- A2.2.3 Tsemendiga stabiliseeritud proovikehade kõvenemine
- A2.2.4 Sideaine optimaalse sisalduse leidmine

A2.3 Seguprojektide koostamine bituumeniga stabiliseerimisel

- A2.3.1 Aktiivlisandi kulu
- A2.3.2 Töödeldud materjali optimaalse vedelikusisalduse (OFC) ja maksimaalse kuivtiheduse (MDD) määramine
- A2.3.3 Materjalide ettevalmistamine bituumeniga stabiliseerimisel
 - A2.3.3.1 Materjalide ettevalmistamine bituumenemulsiooniga stabiliseerimisel
 - A2.3.3.2 Materjalide ettevalmistamine vahtbituumeniga stabiliseerimisel
- A2.3.4 100 mm läbimõõduga proovikehade valmistamine
 - A2.3.4.1 Tihendamine (Marshalli meetodil)
 - A2.3.4.2 Kõvenemine
 - A2.3.4.3 Mahumassi määramine
- A2.3.5 Optimaalse bituumenisisalduse määramine
- A2.3.6 150 mm läbimõõduga proovikehade valmistamine
 - A2.3.6.1 Tihendamine (modifitseeritud AASHTO T-180 meetodil)
 - A2.3.6.2 Kõvenemine
- A2.3.7 Bituumeniga stabiliseeritud materjalide tugevuse määramine

A2.4 Tugevuskatsed

- A2.4.1 Kaudse tõmbetugevuse (ITS) määramine
- A2.4.2 Ühetelgse survetugevuse (UCS) määramine
- A2.4.3 Kuivtiheduse määramine

A2.5 Bituumeniga stabiliseeritud materjalide nihkeomaduste määramine

- A2.5.1 Proovikehade valmistamine kolmeteljelise katse tarvis
- A2.5.2 Staatile kolmeteljelise katse

A2.6 Laboriseadmed

A2.1 Proovide võtmine ja ettevalmistamine

A2.1.1 Proovide võtmine

Proovid võetakse uuringute ja prooviaukude tegemise käigus. Katendi pealmise osa igast kihist tuleb võtta eraldi proov ning igast kihist, mille materjali võidakse seguprojekti koostamisel kasutada, tuleb võtta vähemalt 150 kg proov.

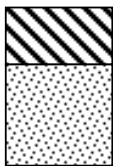
A2.1.2 Proovide ettevalmistamine seguprojekti koostamiseks

A2.1.2.1 Standardsed pinnasekatsed

Igast kihist võetud materjaliproovi puhul tuleb määrata terakoostis (ASTM D 422) ja plastsusarv (ASTM D4318).

A2.1.2.2 Proovide segamine

Et saada proov, mis oleks iseloomulik kogu stabiliseerimissügavuse suhtes, tuleb segada erinevatest kihtidest võetud materjale. Materjalide segamisel tuleb arvestada erinevate komponentide kohapealse tihedusega, nagu näidatud järgmises näite. Kokkusegatud proovi terakoostise ja plastsusarvu määramiseks tuleb korrata punktis A2.1.2.1 kirjeldatud katseid.

Olemasoleva katendi pealmise osa konstruktsioon 	60 mm asfalti (kohapealne tihedus 2300 kg/m³) 200 mm kruusa (kohapealne tihedus 2000 kg/m³)	Stabiliseerimissügavus 200 mm = 60 mm asfalti + 140 mm kruusa	
Materjalid segatakse proportsionaalselt kihi paksuse ja kohapealse tihedusega:			
Materjal	m² kohta (kg)	Masside vahekord (%)	10 kg proovi kohta (g)
Asfalt (60 mm, 2300 kg m³)	0,06 x 2300 = 138	138/418 = 0,33	0,33 x 10000 = 3300
Kruus (140 mm, 2000 kg/m³)	0,14 x 2000 = 280	280/418 = 0,67	0,67 x 10000 = 6700
Kokku	418	1,00	10000

A2.1.2.3 Materjalide iseloomulik vahekord

Iseloomuliku proovi materjal jagatakse nelja fraktsiooni:

- materjal, mis jäi 19,0 mm avaga sõelale;
- materjal, mis läbis 19,0 mm avaga sõela, kuid jäi 13,2 mm avaga sõelale;
- materjal, mis läbis 13,2 mm avaga sõela, kuid jäi 4,75 mm avaga sõelale;
- materjal, mis läbis 4,75 mm avaga sõela.

Seejärel koostatakse 19,0 mm avaga sõela läbinud materjalist uued iseloomulikud proovid vastavalt terakoostisele (vt A2.1.2.2). 19,0 mm sõelale jäänud materjalikogus asendatakse materjaliga, mis läbis 19,0 mm sõela, kuid jäi 13,2 mm sõelale. Protseduuri selgitab järgmine näide:

Terakoostis		10 kg proovi lisatava materjali kogus		
Sõela ava (mm)	Läbib sõela protsentides (tera-koostise määramisel saadud andmed)	Läbis 4,75 mm ava	Läbis 13,2 mm ava, jäi 4,75 mm avale	Läbis 19,0 mm ava, jäi 13,2 mm avale
19,0	90,5	$(53,6/100 \times 10000) = 5,360 \text{ g}$	$((72,3 - 53,6)/100 \times 10000) = 1,870 \text{ g}$	$((100 - 72,3)/100 \times 10000) = 2,770 \text{ g}$
13,2	72,3			
4,75	53,6			

Kui 19,0 mm sõelale jäänud materjali asendamiseks pole piisavalt materjali (s.t sellist, mis läbis 19,0 mm sõela, kuid jäi 13,2 mm sõelale), tuleb 19,0 mm sõelale jäänud materjal kergelt purustada.

A2.1.2.4 Proovide kogused

Katseteks tuleks kasutada proove, mille kogused on esitatud tabelis A2.1:

Tabel A2.1 Proovide koguste juhised	
Katse	Proovi kogus
Modifitseeritud Proctor, AASHTO T180	5 x 7 kg
Kaudne tõmbetugevus (proovikeha Ø 150 mm)	20 kg sideaine kohta
Ühetelgne survetugevus (proovikeha Ø 150 mm)	20 kg sideaine kohta
Bituumeniga stabiliseerimine (Marshalli proovikehad)	Min 10 kg sideaine kohta
Niiskussisaldus	Umbes 1 kg

A2.1.2.5 Hügrokoopne niiskussisaldus

Materjali hügrokoopse (õhkuiva) niiskussisalduse määramiseks läheb vaja kahte, umbes 1 kg raskust õhkuiva proovi. (Märkus: jämedateralisema materjali puhul tuleb kasutada suuremat materjalikogust). Õhkuivad proovid kaalutakse 0,1 g täpsusega ning kuivatatakse kuivatuskapis temperatuuriga 105–110 °C konstantse massini. Hügrokoopne niiskussisaldus on massi vähenemine väljendatuna proovi kuivmassi protsendina.

A2.1.3 Proovikehade valmistamine

1. Kasutusala

Külmstabiliseerimissegude tootmisel saab kasutada kuni 45 mm terakoostisega (kaasa arvatud 10 % suuri kive) täitematerjali. Proovikehad võib valmistada nii laboritingimustes kui ka objektil. Proovikehi on vaja omaduste uurimise, järelevalvemeetmete ning kontrollimistestide läbiviimiseks.

2. Seadmed ja abivahendid

Seadmed:

- proovikehavorm normi DIN 1048 alusel Ø 150 mm; h = 300 mm
- 2 plaati, Ø 149,6 mm ja h = 30 mm nelja külgmise avaga vee ärajuhtimiseks, vt. joonis A0.1.
- 2 täismetallist silindrit, h = 60 mm
- kaal kaalumistäpsusega $\pm 1 \text{ g}$
- press vertikaalse koormusega $\geq 100 \text{ kN}$

või käsi tihendusseade (pressi asemel).

Tihendusseade; õli baasil töötav käsipump maksimaalse töösurvega 700 bar, kõrgsurvevoolik (kuni 700 bar) ja vajalike kiirühendustega; manomeeter, mõõteskaala 0 kuni 700 bar, survesilinder, maksimaalne survejõud $\geq 101 \text{ kN}$, kolvipinnaga $20,3 \text{ cm}^2$ ja töökäiguga üle 101 mm.

Abivahendid:

- plaat kolvi fikseerimiseks survestamisel, vt. joonis 1.1.

- filterpaber Ø 145 mm
- õli

3. Teostus

Kergelt õliga määratud proovikehavorm paigutatakse 30 mm plaadile ja kaetakse filterpaberiga. Seejärel kaalutakse külmstabiliseerimisegu normis DIN 1996-1 kirjeldatud proovisegu jaotamise skeemi alusel iga proovikeha jaoks kaussi. kaussi kaalutakse segu selline kogus, et tihendatud proovikeha kõrgus oleks $125 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.

Segu puistatakse vormi ja kaetakse filterpaberi ja teise plaadiga. Vormi seguga täitmisel tuleb jälgida, et jämedamad terad oleks kogu segusse ühtlaselt jaotunud. Terad või tükid läbimõõduga $> 32 \text{ mm}$ tuleb eelnevalt välja võtta.

Täidetud vorm paigutatakse selliselt pressi alla, et mõlemad plaadid on tihendamisel liikuvad (tihendamine kaksiksilindri põhimõttel).

Lõpuks tekitatakse staatiline surve 49 kN ($2,8 \text{ N/mm}^2$). Seejuures tuleb eriti hoolikalt jälgida seda, et plaat oleks altpoolt puhas.

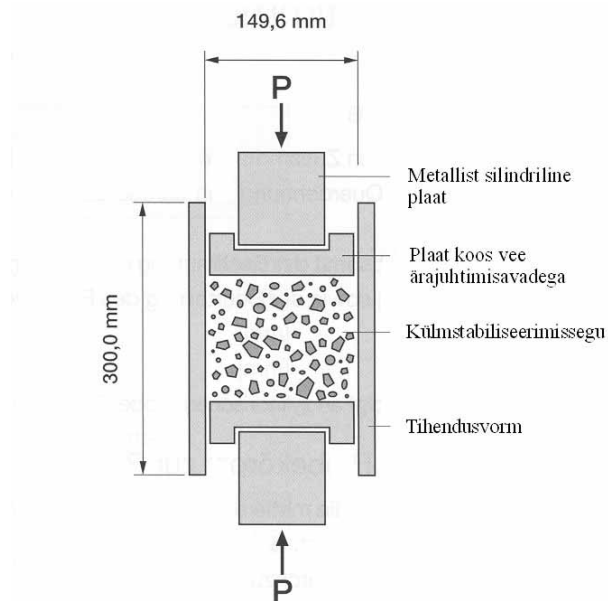
Peale surve tekitamist järgneb segu plastilisuse tõttu pinge kahanemine. Seepärast tuleb peale maksimaalkoormuse (49 kN) vähenemist uuesti survet suurendada (mitmed korrad), kuni on saavutatud lõplik surve 45 kN ($2,6 \text{ N/mm}^2$) – vt. joonis 2.

Iga survestamine tuleb teostada selliselt, et pinge langemine ei jätku või on saavutatud joonisel A0.2 kujutatud piirväärtus. Maksimumsurve tekitatakse jälle hiljemalt 2 minuti möödudes. Tavaolukorras on lõplik surve saavutatud u. 5 kuni 7 survestamiskorra järel.

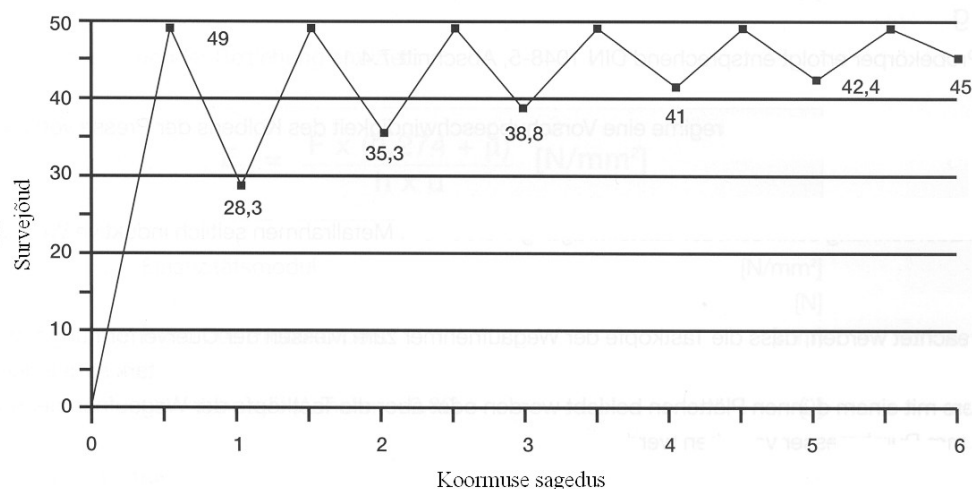
Proovikehad võetakse vormist välja järgmisel päeval.

Proovikehasid kaalutakse peale vormist välja võtmist täpsusega $\pm 1 \text{ g}$ ning määratakse nende keskmine kõrgus, täpsusega $\pm 1 \text{ mm}$.

Joonis A0.1 Tihendusvorm Ø 150 mm ning plaadid Ø 149,6 mm nelja nurkmise avaga vee ärajuhtimiseks.



Joonis A0.2 Survestamiskõver staatilise tihenduse puhul.



A2.1.4 Lõhestus-tõmbetugevuse, põikdeformatsiooni ja elastsusmooduli määramine

1. Kasutusala

Külmstabiliseerimissegude (bituumenit ja/või tsementi ja bituumenit sisaldavat) spetsiifilise koostise tõttu määratakse tõmbetugevuse, põikdeformatsiooni ja sellest veel E-moodul.

Katsetamine on seetõttu vajalik selleks, et määrata tihendatud külmstabiliseerimissegude (proovikeha) deformeerumist tõmbetugevuse mõjul ning hinnata deformatsiooni ulatust (elastust).

2. Proovikehad

Lõhestus-tõmbetugevuse testimiseks kasutatakse silindrikujulist proovikeha läbimõõduga 150 mm ning u. 125 mm kõrgusega.

3. Proovikehade testimiseks ettevalmistamine

Igal proovikehal määratakse keskmine kõrgus. Enne testimist hoitakse proovikehi umbes 5 °C temperatuuril. Kui proovikehad on olnud temperatuuril 20 °C, kestab hoidmine vähemalt 8 ja maksimaalselt 12 tundi.

4. Vormid, seadmed, testimismasinad

Lõhestus-tõmbetugevuse määramiseks kasutatakse normis DIN 1048-5, lõik 7.4.1. kirjeldatud seadmeid ja abivahendeid. E-mooduli määramiseks võib kasutada metallraami kahe induktiivse mõõtkellaga (anduriga).

5. Testimise kulg

Proovikehade testimine toimub normis DIN 1048-5, lõik 7.4.1. kirjeldatud viisil.

Erinevalt sellest on pressi silindri etteandekiirus 50 mm/ min.

Põikdeformatsiooni mõõtmiseks vertikaalselt koormusaluse suhtes paigutatakse metallraamidele külgedele mõõtkellad (andurid).

Tuleb jälgida, et mõõtkellade (andurite). anduripead oleks põikdeformatsiooni mõõtmiseks tihedalt vastu proovikeha pinda. Selle saavutamiseks võib proovikeha pinna katta õhukese plaadiga või varustada mõõtkellade (andurite).anduripead väikse plaadiga, mille läbimõõt on u. 6 mm.

6. Tulemuste analüüsimine

Saadud purunemisjõust F arvutatakse lõhestus-tõmbetugevus järgmiselt:

$$\beta_{sz} = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times l} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

kus	β_{sz}	–	lõhestus-tõmbetugevus	[N/mm ²]
	F	–	maksimaalne koormus	[N]
	d	–	proovikeha läbimõõt	[mm]
	l	–	proovikeha kõrgus	[mm]

Külmstabiliseerimissegu deformatsiooni mõõdetakse järgmise valemi abil:

$$\epsilon_{sz} = 1000 \times \frac{2 \times u(1 + 3 \times \mu)}{\pi \times d \times (0,274 + \mu)} \text{ [‰]}$$

kus	ϵ_{sz}	–	deformatsioon	[‰]
	u	–	põikdeformatsiooni purunemisel	[mm]
	d	–	proovikeha läbimõõt	[mm]
	μ	–	deformatsiooni arv (sisend: 0,30)	[–]

E-moodul arvutatakse järgmise valemi alusel:

$$E_{sz} = \frac{F \times (0,274 + \mu)}{h \times u} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

kus	E_{sz}	–	elastsusmoodul	[N/mm ²]
	F	–	jõud	[N]
	h	–	proovikeha kõrgus	[mm]
	u	–	põikdeformatsiooni 45 % purunemisjõuga	[mm]
	μ	–	deformatsiooni arv (sisend: 0,30)	[–]

Väärtuste väljendamiseks kasutatakse järgmisi ühikuid:

- tõmbetugevus, ühik N/mm²
- proovikeha kõrgus, ühik mm
- purunemisdeformatsioon, %
- E_{sz} -moodul N/mm² 45 % purunemisjõu¹⁾ juures
- Kuivtihedus, g/cm³

¹⁾ kuni uute kogemuste omandamiseni tuleb E-moodul arvutada 45 % max F juures. Selleks tuleb jõu mõjul deformeerumise diagramm määrata põikdeformatsiooni järgi, mis on saavutatud 45 % purunemisjõu juures.

A2.2 Seguprojektide koostamine tsemendiga stabiliseerimisel

A2.2.1 Tsemendiga stabiliseeritud materjali optimaalse niiskussisalduse (OMC) ja maksimaalse kuivtiheduse (MDD) määramine

1. SAMM	Punkti A2.1.2 kohaselt ettevalmistatud iga viie 7 kg materjaliproovi kohta kaalutakse nõutav kogus sideainet. Sideaine nõutav kogus (väljendatuna protsendina proovi massist) peaks olema ligilähedane materjalile lisatava prognoositava optimaalse kogusega. Varasemate kogemuste puudumisel, tuleks juhinduda järgnevast: Aluskihi 2% jämedateralise materjali puhul (4,75 mm sõelale jäi > 50%) kihid: 3% peeneteralise materjali puhul (4,75 mm sõelale jäi < 50%) Aluse kihid: 4% jämedateralise materjali puhul (4,75 mm sõelale jäi > 50%) 6% peeneteralise materjali puhul (4,75 mm sõelale jäi < 50%)
2. SAMM	Materjalile lisatakse sideaine ning segatakse vahetult enne vee lisamist. Tegelikke tingimuste jälgendamiseks tihendatakse stabiliseeritud materjali pärast sideaine ja vee lisamist tund aega. Segatud materjal asetatakse niiskuskao vältimiseks õhutihedasse anumasse ning segatakse iga 15 minuti järel korralikult läbi.
3. SAMM	Stabiliseeritud materjali optimaalne niiskussisaldus ja maksimaalne kuivtihedus määratakse modifitseeritud niiskuse-tiheduse suhte katsega (AASHTO T-180).

A2.2.2 Tsemendiga stabiliseeritud materjalist proovikehade valmistamine tugevuskatseteks (ühetelgse survetugevuse ja kaudse tõmbetugevuse katseks)

1. SAMM	Punkti A2.1.2 kohaselt valmistatud 20 kg proov asetatakse sobivasse segamisanumasse.
2. SAMM	Proovi kuivmass määratakse valemiga A2.1: $M_{\text{proov}} = M_{\text{õhkuiv}} / (1 + (W_{\text{õhkuiv}}/100)) \quad [\text{valem A2.1}]$ kus: M_{proov} – proovi kuivmass [g] $M_{\text{õhkuiv}}$ – õhkuiva proovi mass [g] $W_{\text{õhkuiv}}$ – õhkuiva proovi niiskussisaldus [massi%]
3. SAMM	Sideaine nõutav kogus määratakse valemiga A2.2: $M_{\text{tsement}} = (C_{\text{lisa}} / 100) \times M_{\text{proov}} \quad [\text{valem A2.2}]$ kus: M_{tsement} – lisatava lubja või tsemendi mass [g] C_{lisa} – lisatava lubja või tsemendi protsent [massi%] M_{proov} – proovi kuivmass [g]

4. SAMM	Valemiga A2.3 määratakse optimaalsete segamistingimuste saavutamiseks vajaliku vee protsent. Seejärel arvutatakse valemiga A2.4 proovile lisatava vee mass. $W_{\text{lisa}} = W_{\text{OMC}} - W_{\text{õhkuiv}} \quad [\text{valem A2.3}]$ $M_{\text{vesi}} = (W_{\text{lisa}} / 100) \times (M_{\text{proov}} + M_{\text{tsement}}) \quad [\text{valem A2.4}]$ kus: W_{lisa} – proovile lisatav vesi [massi%] W_{OMC} – optimaalne niiskussisaldus [massi%] $W_{\text{õhkuiv}}$ – õhkuiva proovi niiskussisaldus [massi%] M_{vesi} – lisatava vee mass [g] M_{proov} – proovi kuivmass [g] M_{tsement} – lisatava lubja või tsemendi mass [g]
5. SAMM	Materjal, tsement ja vesi segatakse ühtlaseks seguks. Enne kolme 150 mm läbimõõduga proovikeha tihendamist modifitseeritud AASHTO tihendamisega lastakse segul seda aeg-ajalt segades seisata üks tund (nagu kirjeldatud punktis A2.2.1). (Märkus: iga katse (ITS või UCS) jaoks valmistatakse tavaliselt kolm 150 mm läbimõõduga proovikeha.)
6. SAMM	Tihendamise ajal võetakse proove, et määrata niiskussisaldus vormis.
7.–9. SAMM	Eespool loetletud protseduure korratakse vähemalt kolme erineva sideaine sisaldusega.
10. SAMM	Proovikehad võetakse vormist välja; kui vorm lahti ei käi, eemaldatakse tihendatud proovikeha ettevaatlikult presskangiga, vältides selle vigastamist.
11. SAMM	Märgitakse üles kõikide proovikehade mass ja ruumala (maht) ning arvutatakse kuivtihedus valemiga A2.5. $DD = (M_{\text{proovikeha}} / Vol) \times (100 / (W_{\text{vorm}} + 100)) \times 1000 \quad [\text{valem A2.5}]$ kus: DD – kuivtihedus [kg/m³] $M_{\text{proovikeha}}$ – proovikeha mass [g] Vol – proovikeha ruumala [cm³] W_{vorm} – niiskussisaldus vormis [%] Märkus: Nidususetu materjalide puhul tuleb proovikehad jätta 24 tunniks vormi, et need saavutaksid enne välja võtmist vajaliku tugevuse. Sel juhul tuleb proovikehadega vorme hoida niiskuskambris või katta niiske kotiriidega.

A2.2.3 Tsemendiga stabiliseeritud proovikehade kõvenemine

Proovikehadel lastakse kõveneda niiskuskambris või suletud kilekottides seitse päeva temperatuuril 20–25 °C ja suhtelisel niiskusel 95–100%.

Teise võimalusena võib sulgeda proovikehad kilekottidesse ning lasta kõveneda kuivatuskapis:

tsemendi puhul 24 tundi temperatuuril 70–75 °C;
lubja puhul 45 tundi temperatuuril 60–62 °C.

Pärast kõvenemisaja möödumist võetakse proovikehad kuivatuskapist (või kilekottidest) välja ning lastakse jahtuda keskkonnamperatuurini, kui see on vajalik. Proovikehad, millega hakatakse tegema survetugevuskatseid, uputatakse enne katsetamist neljaks tunniks 22–25 °C vette.

A2.2.4 Sideaine optimaalse sisalduse leidmine

Proovikehi katsetatakse survetugevusele ja tõmbetugevusele nagu kirjeldatud punktis A2.4.

Saadud tõmbe- ja survetugevuste ning neile vastavate sideaine protsentide põhjal joonestatakse graafik, kusjuures igale sideaine sisaldusele vastab kolme proovikeha keskmine surve- või tõmbetugevus. Ilmselt ebaõiged tulemused, mis on tingitud proovikeha rikutud struktuurist, jäetakse kõrvale. Sideaine kulunormiks on protsent, mille puhul on täidetud miinimumnõuded.

A2.3 Seguprojektide koostamine bituumeniga stabiliseerimisel

A2.3.1 Aktiivlisandi kulu

Bituumeniga stabiliseerimisel lisatakse tavaliselt väike kogus aktiivlisandit (tsementi või kustutatud lupja). Juhinduda võib järgmistest lubja ja tsemendi kulunormidest (massi%):

Plastsusarv < 10	Plastsusarv 10–16	Plastsusarv > 16
Lisada 1% tavalist portland tsementi	Lisada 1% kustutatud lupja	Töödelda eelnevalt 2% kustutatud lubjaga

Materjali eeltöötlemise puhul lisatakse lubi ja vesi vähemalt neli tundi enne bituumenemulsiooni või vahtbituumeni lisamist. Töödeldud materjal tuleb niiskusskao vältimiseks asetada õhukindlasse anumasse. Hüdratiseerumise tõttu tuleb niiskussisaldust alati enne bituumensideaine lisamist kontrollida ning vajadusel korrigeerida.

Kuigi aktiivlisandite kasutamist soositakse mitmel pool maailmas, pole need alati vabalt kättesaadavad. Sel juhul kasutatakse sõelmeid (< 6 mm) või muud sarnast materjali. Seguprojekti koostamise käigus tehakse lisakatseid aktiivlisandita ja/või sõelmetega. Nende katsete põhjal otsustatakse, kas aktiivlisandi või sõelmete lisamine on õigustatud.

A2.3.2 Töödeldud materjali optimaalse vedelikusisalduse (OFC) ja maksimaalse kuivtiheduse (MDD) määramine

Märkus: vahtbituumeniga stabiliseerimisel võib optimaalseks vedelikusisalduseks ja kuivtiheduseks lugeda optimaalset niiskussisaldust ja kuivtihedust, mis määrati töötlemata materjalile iseloomulike proovidega.

Bituumenemulsiooniga töödeldud materjali optimaalseks vedelikusisalduseks on massiprotsent bituumenemulsioonist ja lisaniiskusest, mida on vaja maksimaalse kuivtiheduse saavutamiseks töödeldud materjalis. Optimaalne vedelikusisaldus määratakse nii, et lisatakse konstantne protsent bituumenemulsiooni ning varieeritakse siis lisatava vee kogusega.

1. SAMM	Punktis A2.1.2 kirjeldatud protseduuri kohaselt ettevalmistatud iga viie materjaliproovi kohta kaaluda bituumenemulsiooni massiprotsendina õhkkuivast materjalist. Bituumenemulsiooni lisatakse tavaliselt nii palju, et jääkbituumenit oleks 2–3% (nt 3% jääkbituumeni puhul lisatakse 5% 60%-list bituumenemulsiooni).
----------------	--

2. SAMM	Materjalile lisatakse bituumenemulsioon ja vesi ning segatakse ühtlaseks massiks vahetult enne 150 mm läbimõõduga proovikehade tihendamist.
3. SAMM	Stabiliseeritud materjali optimaalne vedelikusisaldus ja kuivtihedus määratakse modifitseeritud niiskuse-tiheduse suhte katsega (AASHTO T-180).

A2.3.3 Materjalide ettevalmistamine bituumeniga stabiliseerimisel

A2.3.3.1 Materjalide ettevalmistamine bituumenemulsiooniga stabiliseerimisel

1. SAMM	Segamiskoosseisus asetatakse vajalik kogus proovi (100 mm läbimõõduga proovikehade valmistamiseks 10 kg ja 150 mm proovikehade valmistamiseks 20 kg).
2. SAMM	Proovi kuivmass arvutatakse valemiga A2.1.
3. SAMM	Aktiivlisandi (lubja või tsemendi) protsent arvutatakse valemiga A2.2.
4. SAMM	Bituumenemulsiooni massiprotsent arvutatakse valemiga A2.6.
	$M_{\text{emul}} = (RB_{\text{nõut}} / PBE) \times M_{\text{proov}} \quad [\text{valem A2.6}]$
	kus: M_{emul} – lisatava bituumenemulsiooni mass [g] $RB_{\text{nõut}}$ – jääkbituumeni protsent [massi%] PBE – bituumenemulsiooni protsent [massi%] M_{proov} – proovi kuivmass [g]
5. SAMM	Optimaalseks tihendamiseks vajalik vee kogus arvutatakse valemiga A2.7
	$M_{\text{vesi}} = \{[(W_{\text{OFC}} - W_{\text{õhkuiv}}) / 100] \times M_{\text{proov}}\} - M_{\text{emul}} \quad [\text{valem A2.7}]$
	kus: W_{OFC} – optimaalne vedelikusisaldus [massi%] $W_{\text{õhkuiv}}$ – õhkuiva proovi niiskussisaldus [massi%] M_{vesi} – lisatava vee mass [g] M_{emul} – lisatava bituumenemulsiooni mass [g] M_{proov} – proovi kuivmass [g]
6. SAMM	Materjal, aktiivlisand, bituumenemulsioon ja vesi segatakse ühtlaseks seguks. 100 mm või 150 mm läbimõõduga proovikehad valmistatakse kohe, järgides vastavalt punktides A2.3.4 või A2.3.6 kirjeldatud protseduuri.
7. SAMM	Tihendamise ajal võetakse proove, et määrata niiskussisalduse vormis.

Kirjeldatud protseduuri tuleb korrata vähemalt nelja erineva bituumenemulsiooni sisaldusega.

A2.3.3.2 Materjalide ettevalmistamine vahtbituumeniga stabiliseerimisel

A2.3.3.2.1 Bituumeni vahutavusomaduste määramine

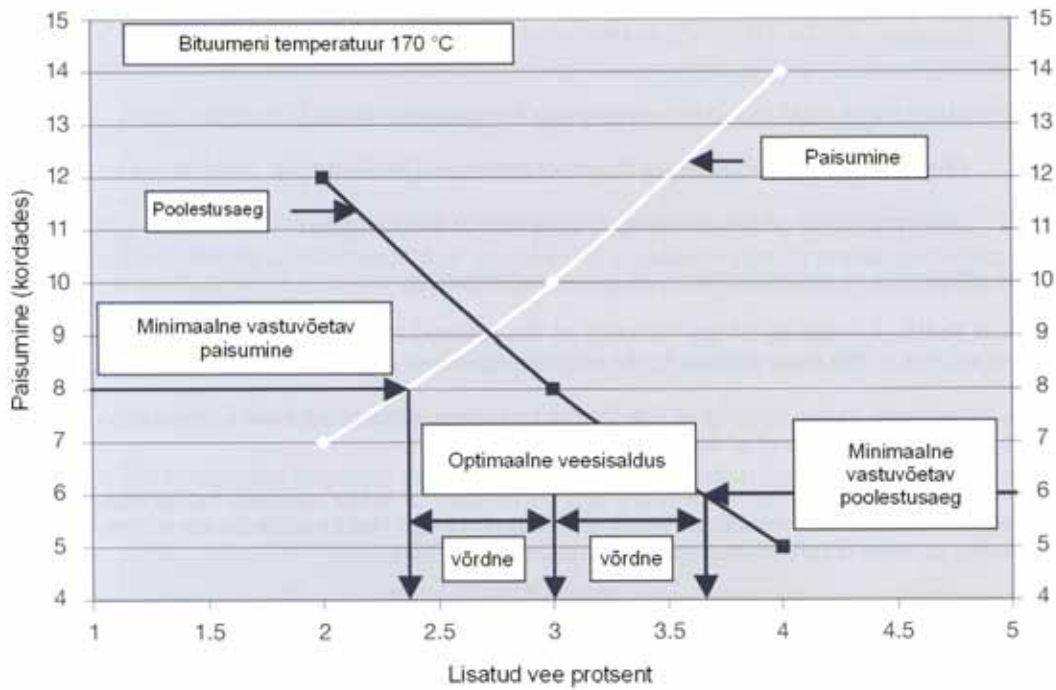
Bituumeni vahutavusomadusi iseloomustavad:

- **paisumisaste**, mis on vahu viskoossuse mõõt ja arvutatakse vahu ja bituumeni esialgse mahu suhtena; ning
- **poolestusaeg**, mis on vahu stabiilsuse mõõt ja arvutatakse ajana sekundites, mis kulub vahu ruumala kahanemiseks poole võrra.

Eesmärgiks on määrata sissepritsitava vee temperatuur ja kogus, mille puhul bituumeni vahutamisomadused on parimad (maksimaalne paisumisaste ja poolestusaeg). Protseduur viiakse läbi bituumeni kolme erineva temperatuuri juures järgmiselt:

1. SAMM	Bituumen kuumutatakse Wirtgen WLB 10 laboriseadme katlas, pumbates seda süsteemis ringi kuni vajalik temperatuur on saavutatud (tavaliselt vähemalt 160 °C). Enne katsetamist tuleb bituumenit hoida vajalikul temperatuuril vähemalt 5 minutit.
2. SAMM	Kalibreeritakse bituumeni vooluhulk ja Wirtgen WLB 10 taimer reguleeritakse nii, et lisatava bituumeni kogus oleks 500 g.
3. SAMM	Vee voolumõõtur reguleeritakse nii, et lisataks vajalik kogus vett (tavaliselt alates 2 massi% bituumenist).
4. SAMM	Väljaarvutatud aja jooksul pritsitakse 500 g bituumenit eelkuumutatud (± 75 °C) terastrumlis. Kohe pärast seda, kui vahu sissepritse on lõppenud käivitatakse stopper.
5. SAMM	Wirtgen WLB 10 varustuses oleva mõõtevardaga (mis on kalibreeritud 275 mm läbimõõduga terastrumli ja 500 g bituumeni jaoks) mõõdetakse vahtbituumeni maksimaalne ruumala trumlis ning märgitakse üles.
6. SAMM	Stopperiga mõõdetakse aeg sekundites, mis kulub vahu ruumala kahanemiseks poole võrra. See märgitakse üles vahtbituumeni poolestusajana.
7. SAMM	Protseduuri korratakse kolm korda või kuni saadakse sarnased lugemid.
8. SAMM	Samme 3–7 korratakse vähemalt kolme veekogusega. Tavaliselt võetakse kogusteks 2%, 3% ja 4% bituumeni massist.
9. SAMM	Ühele ja samale koordinaatteljestikule joonestatakse paisumisastme ja poolestusaja graafikud sõltuvalt veekogusest (vt joonis A2.1). Optimaalseks veekoguseks on veesisalduste keskmine, mille puhul on täidetud miinimumnõuded. Samme 1–9 korratakse veel vähemalt kahe erineva temperatuuri juures (tavaliselt 170 °C ja 180 °C).

Joonis A2.1 Optimaalse veesisalduse määramine



Seguprojektide koostamisel kasutatakse temperatuuri ja optimaalset veesisaldust, mille puhul vahutavusomadused on parimad.

Märkus: efektiivseks stabiliseerimiseks on vastuvõetavad järgmised minimaalsed vahutavusomadused:

paisumisaste: 8 korda

poolestusaeg: 6 sekundit

Kui need miimumnõuded pole täidetud, siis bituumen vahustamiseks ei sobi.

A2.3.3.2.2 Proovi ettevalmistamine vahtbituumeniga stabiliseerimiseks

1. SAMM	Segamismõusse asetatakse vajalik kogus proovi (100 mm läbimõõduga proovikehade valmistamiseks 10 kg ja 150 mm proovikehade valmistamiseks 20 kg).
2. SAMM	Proovi kuivmass arvutatakse valemiga A2.1.
3. SAMM	Aktiivlisandi (lubja või tsemendi) protsent arvutatakse valemiga A2.2.
4. SAMM	Tihendamiseks optimaalse niiskussisalduse saavutamiseks lisatava vee protsent arvutatakse valemiga A2.8. Lisatava vee kogus arvutatakse valemiga A2.9.
	$W_{\text{lisa}} = 1 + (W_{\text{OMC}} - W_{\text{õhkuiv}}) \quad [\text{valem A2.8}]$ $M_{\text{vesi}} = (W_{\text{lisa}} / 100) \times (M_{\text{proov}} + M_{\text{tsement}}) \quad [\text{valem A2.9}]$
	kus: W_{lisa} – proovile lisatav vesi [massi%] W_{OMC} – optimaalne niiskussisaldus [massi%] $W_{\text{õhkuiv}}$ – õhkuiva proovi niiskussisaldus [massi%] M_{vesi} – lisatava vee mass [g] M_{proov} – proovi kuivmass [g] M_{tsement} – lisatava lubja või tsemendi mass [g]
5. SAMM	Materjal, aktiivlisand ja vesi segatakse ühtlaseks seguks.

Märkus: pärast segamist tuleb kontrollida, et materjalisegu ei oleks kogunenud seguri külgedele. Kui nii on juhtunud, tuleb segada uus, väiksema niiskussisaldusega proov. Tuleb jälgida, et materjal seguneks kergesti ning jääks „kohevaks“. Kui segamise lõppedes on näha kuiva materjali, tuleb lisada veidi vett ja segada uuesti kuni segu on „kohev“ ja kuiva materjali ei ole enam näha.

6. SAMM	Lisatava vahtbituumeni kogus arvutatakse valemiga A2.10:
	$M_{\text{bituumen}} = (B_{\text{lisa}} / 100) \times (M_{\text{proov}} + M_{\text{tsement}}) \quad [\text{valem A2.10}]$
	kus: M_{bituumen} – lisatava vahtbituumeni mass [g] B_{lisa} – vahtbituumeni sisaldus [massi%] M_{proov} – proovi kuivmass [g] M_{tsement} – lisatava lubja või tsemendi mass [g]
7. SAMM	Wirtgen WLB 10 taimerile pandav aeg arvutatakse valemiga A2.11:
	$T = \text{tegur} \times (M_{\text{bituumen}} + Q_{\text{bituumen}}) \quad [\text{valem A2.11}]$
	kus: T – WLB 10 taimerile seatav aeg [sek] M_{bituumen} – lisatava vahtbituumeni mass [g] Q_{bituumen} – WLB 10 bituumeni vooluhulk [g/sek] tegur – sellega kompenseeritakse bituumeni kadu segamisseadmetes. Kogemused näitavad, et Hobarti segisti puhul tuleks kasutada tegurit 1,1 ning tigusegisti puhul tegurit 1,0.

8. SAMM	Mehaaniline segisti asetatakse vahustamisseadme kõrvale nii, et vahtbituumenit saab kallata otse segamiskoosse.
9. SAMM	Segisti käivitatakse ja lastakse töötada umbes 10 sekundit, seejärel kallatakse vahtbituumen segamiskoosse. Pärast seda kui vahtbituumen on segistisse kallatud jätkatakse segamist veel 30 sekundit.
10. SAMM	Optimaalse niiskussisalduse saavutamiseks vajalik vee hulk arvutatakse valemiga A2.12. $M_{\text{pluss}} = (W_{\text{OMC}} - W_{\text{proov}}) / 100 \times (M_{\text{proov}} + M_{\text{tsement}}) \quad [\text{valem A2.12}]$ kus: M_{pluss} – lisatava vee mass [g] W_{OMC} – optimaalne niiskussisaldus [massi%] W_{proov} – proovi niiskussisaldus [massi%] M_{proov} – proovi kuivmass [g] M_{tsement} – lisatava lubja või tsemendi mass [g]
11. SAMM	Lisatakse vastav vee kogus ning segatakse ühtlaseks massiks.
12. SAMM	Vahtbituumeniga töödeldud materjal asetatakse vastavasse anumasse ning see suletakse kohe, et vältida niiskuskadu. Selleks, et valmis proovi niiskuskadu oleks minimaalne, tuleb 100 mm või 150 mm läbimõõduga proovikehad valmistada nii kiiresti kui võimalik, järgides vastavalt punktides A2.3.4 või A2.3.6 kirjeldatud protseduuri. Eespool kirjeldatud samme korratakse veel vähemalt nelja vahtbituumeni sisaldusega.

A2.3.4 100 mm läbimõõduga proovikehade valmistamine

A2.3.4.1 Tihendamine (Marshalli meetodil)

1. SAMM	Marshalli vorm ja haamer valmistatakse ette, puhastades vormi, leetri, alusplaadi ja tihendushaamri. Märkus: tihendamisseadmeid ei tohi kuumutada, vaid neid peab hoidma keskkonna temperatuuril.
2. SAMM	Kaalutakse niipalju materjali, et tihendatult jääks proovikeha kõrguseks 63,5 ±1,5 mm (tavaliselt piisab 1150 g). Segu torgitakse spaatliga 15 korda mööda perimeetrit ja 10 korda ülejäänud pinnal, nii et pind jääb kergelt kumer.
3. SAMM	Segu tihendatakse tihendushaamriga 75 korda. Tuleb jälgida, et haamer langeks vabalt.
4. SAMM	Vorm ja lehter võetakse aluselt ja keeratakse ümber. Proovikeha asetatakse tagasi ja surutakse kindlalt alusplaadile. Seejärel tihendatakse proovikeha teine pool 75 löögiga.
5. SAMM	Pärast tihendamist eemaldatakse vorm alusplaadilt ning võetakse proovikeha presskangi abil vormist välja.

Märkus: niiduseta materjalide puhul tuleb proovikehad jätta 24 tunniks vormi, et need saavutaksid enne välja võtmist vajaliku tugevuse

A2.3.4.2 Kõvenemine

Proovikehad asetatakse siledale madalale kandikule ning lastakse kõveneda 72 tundi sundtõmbega kuivatuskapis temperatuuril 40 °C. Seejärel võetakse proovikehad kuivatuskapist välja ja lastakse jahtuda keskkonna temperatuurini.

A2.3.4.3 Mahumassi määramine

Pärast jahtumist viiakse iga proovikehaga läbi järgmine protseduur:

1. SAMM	Proovikeha kaalutakse.
2. SAMM	Proovikeha kõrgus mõõdetakse neljast kohast võrdse vahega mööda perimeetrit ning arvutatakse keskmine kõrgus.
3. SAMM	Mõõdetakse proovikeha läbimõõt.
4. SAMM	Proovikeha mahumass arvutatakse valimiga A2.13.
$BD = (4 \times M_{\text{proovikeha}}) (\pi \times d^2 \times h) \times 1000$ [valem A2.13] kus: BD – mahumass [kg/m³] M_{proovikeha} – proovikeha mass [g] h – proovikeha keskmine kõrgus [cm] d – proovikeha läbimõõt [cm]	
Edasisteks katseteks ei kõlba proovikehad, mille mahumass erineb partii keskmisest mahumassist rohkem kui 50 kg/m ³ .	

Märkus: mahumassi saab kontrollida nn kaal õhus / kaal vees meetodiga.

A2.3.5 Optimaalse bituumenisisalduse määramine

Pärast punktis A.2.3 kirjeldatud protseduuri katsetatakse 100 mm läbimõõduga proovikehi kaudsele tõmbetugevusele kuival ja märjalt.

Koordinaatteljestikule joonestatakse kuiva ja märja kaudse tõmbetugevuse ja lisatud bituumeni sisalduse graafikud. Optimaalseks bituumenisisalduseks loetakse lisatud bituumeni sisaldust, mille puhul on materjali omadused kõige paremad.

A2.3.6 150 mm läbimõõduga proovikehade valmistamine

Kui katendi konstruktsiooniline kandevõime ületab 5 miljonit ESALit, on soovitatav teha surve- ja tõmbetugevuse katsed stabiilse niiskussisalduse juures. Katsete tulemusi on vaja mehaaniliseks modelleerimiseks, nagu kirjeldati 3. ja 4. peatükis.

Kuna katseteks on vaja palju materjali, valmistatakse proovikehi ainult optimaalse bituumenisisalduse juures. Teiste sisaldustega võib proovikehi valmistada materjalide tundlikkuse määramiseks, varieerides eelkõige aktiivlisandi sisaldusega.

Järgmisena kirjeldatava protseduuriga valmistatakse neli 150 mm läbimõõduga proovikeha. Tavaliselt katsetatakse kahte tõmbe- ja kahte survetugevusele. Kui on vaja valmistada rohkem proovikehi, tuleb materjali kogust suurendada.

A2.3.6.1 Tihendamine (modifitseeritud AASHTO T-180 meetodil)

1. SAMM	Valmistatakse ette 24 kg proovi ning töödeldakse seda aktiivlisandiga optimaalse bituumenisisalduse juures.
2. SAMM	Tihendamiseks optimaalse niiskussisalduse saavutamiseks lisatakse vajadusel vett ning segatakse ühtlaseks seguks. Kohe pärast segamist pannakse materjal õhukindlasse anumasse.
3. SAMM	Pärast esimese ja kolmanda proovikeha tihendamist võetakse iseloomulikud proovid ± 1 kg ning kuivatatakse konstantse massini. Niiskussisaldus vormis arvutatakse valemiga A2.14. $W_{\text{vorm}} = (M_{\text{niiske}} - M_{\text{kuiv}}) / M_{\text{kuiv}} \times 100$ [valem A2.14] kus: W_{vorm} – niiskussisaldus vormis [%] M_{niiske} – niiske materjali mass [g] M_{kuiv} – kuiva materjali mass [g]
4. SAMM	150 mm läbimõõduga lahtikäivates vormides tihendatakse vähemalt neli proovikeha, modifitseeritud AASHTO (T-180) tihendamise (5 umbes 25 mm paksust kihti, 55 lööki kihi kohta, haamer 4,536 kg, langemiskõrgus 457 mm).
5. SAMM	Proovikehadelt eemaldatakse ettevaatlikult üleliigne materjal, nagu näeb ette AASHTO T-180 katsemeetod.
6. SAMM	Proovikehad eemaldatakse ettevaatlikult vormidest, asetatakse siledale tasasele alusele ning lastakse seista keskkonnatemperatuuril 24 tundi või kuni niiskussisaldus on vähenenud vähemalt 50%-ni optimaalsest niiskussisaldusest.
Märkus:	Nidususeta materjalide puhul tuleb proovikehad jätta 24 tunniks vormi, et need saavutaksid enne välja võtmist vajaliku tugevuse.

A2.3.6.2 Kõvenemine

Proovikehad asetatakse eraldi kilekottidesse (mille ruumala peab olema vähemalt kaks korda suurem kui proovikeha ruumala) ning asetatakse 48 tunniks 40 °C kuivatuskappi.

Proovikehad võetakse kapist ning seejärel kilekottidest välja, tagades, et proovikehad ei puutuks kokku kottides oleva niiskusega. Proovikehadel lastakse jahtuda keskkonna temperatuurini.

Seejärel määratakse iga proovikeha mass.

Mahumass arvutatakse valemiga A2.15:

$$BD_{\text{vorm}} = (M_{\text{proovikeha}} / Vol) \times 1000$$
 [valem A2.15]

kus: BD_{vorm} – proovikeha mahumass [kg/m³]
 $M_{\text{proovikeha}}$ – proovikeha mass [g]
 Vol – vormi (proovikeha) ruumala [cm³]

Niiskuskao vältimiseks tuleb proovikehi katsetada kohe.

A2.3.7 Bituumeniga stabiliseeritud materjalide tugevuse määramine

150 mm läbimõõduga proovikehi katsetatakse kaudsele tõmbetugevusele ja ühetelgsele survetugevusele vastavalt punktis A2.4 kirjeldatud protseduurile.

Saadud ITS ja UCS väärtuste abil prognoositakse materjali käitumist katendis. Vt 3. ja 4. peatükk.

A2.4 Tugevuskatsed

A2.4.1 Kaudse tõmbetugevuse (ITS) määramine

Kaudse tõmbetugevuse katset viiakse läbi erinevate niiskustingimuste puhul, kaasa arvatud kuivalt, märjalt ja stabiilse niiskussisalduse juures. Kaudse tõmbetugevuse määramisel mõõdetakse proovikeha purustav piirkoormus, mida rakendatakse proovikeha radiaaltelje suunas konstantse kiirusega 50,8 mm/min. Protседuur on järgmine:

1. SAMM	Proovid asetatakse katseseadmele nii, et koormusliistud oleksid paralleelsed ja tsentreeritud vertikaalses radiaaltasapinnas.
2. SAMM	Koormuse ülekande plaat asetatakse ülemisele tugiliistule ning seatakse komplekt tsentraalselt koormamisrakise liuguri alla.
3. SAMM	Proovikehale rakendatakse ilma löögita koormus 50,8 mm/min kuni saavutatakse maksimaalne koormus. Märgitakse maksimaalne koormus P (kN) täpsusega 0,1 kN.
4. SAMM	Kohe pärast proovikeha katsetamist see peenestatakse ja võetakse umbes 1000 g proov ning määratakse materjali niiskussisaldus (W_{purun}). Saadud niiskussisaldust kasutatakse valemis A2.19 proovikeha kuivtiheduse arvutamiseks.
5. SAMM	Iga proovikeha kaudne tõmbetugevus arvutatakse täpsusega 1 kPa valemiga A2.16: $\text{ITS} = (2 \times P) / (\pi \times h \times d) \times 10000 \quad [\text{valem A2.16}]$ kus: ITS – kaudne tõmbetugevus [kPa] P – maksimaalne rakendatud koormus [kN] H – proovikeha keskmine kõrgus [cm] d – proovikeha läbimõõt [cm]
6. SAMM	Kaudse tõmbetugevuse määramiseks märjalt asetatakse proovikehad 24 tunniks vette temperatuuriga $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Seejärel võetakse proovikehad veest välja, kuivatatakse pind ära ja korratakse samme 1–5. Jääktõmbetugevus arvutatakse konkreetse proovikehade partii puhul protsentides väljendatud märja ja kuiva tõmbetugevuse suhtena valemiga A2.17: $\text{TSR} = \text{ITS märjalt} / \text{ITS kuivalt} \times 100 \quad [\text{valem A2.17}]$

A2.4.2 Ühetelgse survetugevuse (UCS) määramine

Proovikehade ühetelgne survetugevus määratakse stabiilse niiskussisalduse juures. Eeldatakse, et see on sarnane katendi niiskussisaldusele. Ühetelgse survetugevuse määramisel mõõdetakse 127 mm kõrge ja 150 mm läbimõõduga proovikeha purustav piirkoormus, mida rakendatakse proovikehale konstantse koormamiskiirusega 140 kPa/s (153 kN/min). Protseduur on järgmine:

1. SAMM	Proovikeha asetatakse lamedale küljele survetugevuskatseseadme plaatide vahele, nii et ta oleks plaatide suhtes tsentreeritud.
2. SAMM	Proovikehale rakendatakse löögita koormus 140 kPa/s kuni saavutatakse maksimaalne koormus. Märgitakse maksimaalne koormus P (kN) täpsusega 0,1 kN.
3. SAMM	Kohe pärast proovikeha katsetamist see peenestatakse ja võetakse umbes 1000 g proov ning määratakse materjali niiskussisaldus (W_{purust}). Saadud niiskussisaldust kasutatakse valemis A2.19 proovikeha kuivtiheduse arvutamiseks.
4. SAMM	Iga proovikeha ühetelgne survetugevus arvutatakse täpsusega 1 kPa valemiga A2.18: $\text{UCS} = (4 \times P) / (\pi \times d^2) \times 10000 \quad [\text{valem A2.18}]$ kus: UCS – ühetelgne survetugevus [kPa] P – maksimaalne rakendatud koormus [kN] d – proovikeha läbimõõt [cm]

A2.4.3 Kuivtiheduse määramine

Kuivtihedus arvutatakse eespool kirjeldatud katsetes määratud niiskussisalduse järgi valemiga A2.19:

$$\text{DD} = (M_{\text{proovikeha}} / \text{Vol}) \times (100 / (W_{\text{purust}} + 100)) \times 1000 \quad [\text{valem A2.19}]$$

kus:	DD	– kuivtihedus	[kg/m ³]
	$M_{\text{proovikeha}}$	– kõvenenud proovikeha mass	[g]
	Vol	– proovikeha ruumala	[cm ³]
	W_{purust}	– proovikeha niiskussisaldus	[%]

A2.5 Bituumeniga stabiliseeritud materjalide nihkeomaduste määramine

Bituumeniga stabiliseeritud materjali nidususe ja sisehõõrdenurga määramiseks kasutatakse kolme teljelist katset. Katsed viiakse tavaliselt läbi optimaalse bituumenisisalduse juures, kuid teiste sisalduste puhul võib uurida nihkenäitajate tundlikkust.

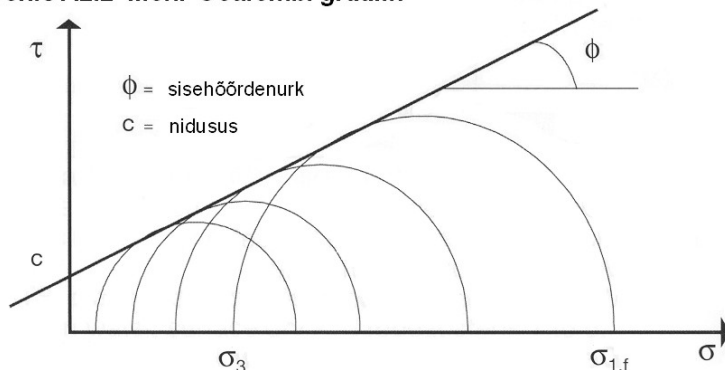
A2.5.1 Proovikehade valmistamine kolme teljelise katse tarvis

1. SAMM	Valmistatakse ette 45 kg proovi (millest piisab nelja proovikeha valmistamiseks) ning töödeldakse seda bituumenemulsiooni või vahtbituumeniga optimaalse vahtbituumeni sisalduse juures. Vajadusel lisatakse aktiivlisandeid.
2. SAMM	Tihendamiseks optimaalse niiskussisalduse saavutamiseks lisatakse vajadusel vett ning segatakse ühtlaseks seguks. Kohe pärast segamist pannakse materjal õhukindlasse anumasse.
3. SAMM	Igast proovikehast võetakse iseloomulikud proovid ± 1 kg ning arvutatakse niiskussisaldus vormis valemiga 2.14.
4. SAMM	250 mm kasuliku sisemise kõrgusega ja 150 mm läbimõõduga lahtikäivates vormides tihendatakse vähemalt neli proovikeha, kasutades modifitseeritud AASHTO (T-180) tihendamist (10 umbes 25 mm paksust kihti, 55 lööki kihi kohta, haamer 4,536 kg, langemiskõrgus 457 mm).
5. SAMM	Proovikehadelt eemaldatakse ettevaatlikult üleliigne materjal, nagu näeb ette AASHTO T-180 meetod, määratakse proovikeha mass ning arvutatakse mahumass valemiga A2.15.
6. SAMM	Proovikehadel lastakse kõveneda. Protseduuri kirjeldati punktis A2.3.6.2.

A2.5.2 Staatiline kolme teljeline katse

Materjali nidususe (c) ja sisehõõrdenurga (ϕ) määramiseks kasutatakse staatilist kolme teljelist katset. Katsed viiakse läbi nelja erineva igakülgse surve juures ning tulemuste põhjal määratakse Mohr-Coulombi ringide mähkjoon (näide joonisel A2.2).

Joonis A2.2 Mohr-Coulombi graafik



Järgnev lühike protseduuri kirjeldus on võetud Lõuna-Aafrika Srellenboschi Ülikooli väljaandest *Test Protocol for Tri-Axial Testing*.

Kolme teljelised katse viiakse läbi temperatuuril 25 °C.

1. SAMM	Õhu juurdepääsu takistamiseks kaetakse proovikeha kahe kummimembraaniga, kuna vastasel juhul on katsetulemused rikutud.
2. SAMM	Membraanid suletakse proovikeha pealt ja alt kummist tihendiga alusplaadil ja koormusplaadil ning asetatakse kambrisse.
3. SAMM	Proovikehadele avaldatakse igakülgset survet, pumbates kambrisse õhku kuni soovitud surve saavutamiseni.
4. SAMM	Katse viiakse läbi seadmega, millel on kiiruse kontrolli automaatrežiim ning kiiruseks on seatud 6,25 mm/min. Katset jätkatakse kuni proovikeha purunemiseni; maksimaalne koormus ja igakülgne surve märgitakse üles.
5. SAMM	Kohe pärast proovikeha katsetamist see peenestatakse ja võetakse umbes 1000 g proov ning määratakse materjali niiskussisaldus (W_{purun}). Saadud niiskussisaldust kasutatakse valemis A2.19 proovikeha kuivtiheduse arvutamiseks.

Samme 1–5 korratakse kõikide katsetatavate proovikehade puhul igakülgse surve erinevate väärtusega.

Seejärel joonestatakse Mohr-Coulombi ringide epüür ning määratakse nidusus ja sisehõõrdenurk.

A2.6 Laboriseadmed

Kirjeldus	Kogus	Kirjeldus	Kogus
Proovi ettevalmistamine		Modifitseeritud proctor-katse (AASHTO T-180)	
Proovijagaja (avadega 25 mm)	1	Vorm (koos alusplaadi, vaheplaadi ja kraega) Ø 150 mm	1
Proovijagaja aluspannid	3	Tihendustamp (mass 4,536 kg, langemiskõrgus 457 mm ja läbimõõt 50 mm)	1
Sõelad (läbimõõduga 450 mm)	1	Kaal (elektrooniline) 12 kg ± 1 g	1
19,0 mm	1	Segamiskauss (umbes 500 x 500 x 300 mm)	1
13,2 mm	1	Kellu	1
4,75 mm	1	Mõõtesilinder (plastik)	1
Õhukindlad anumad (20 l)	20	Terasest silumisvahend (proovikehade pealispinna silumiseks)	1
Mehaaniline kaal (võib kasutada modifitseeritud proctor-katses kasutatavat 50 kg kaalu)	1	Plekktoosid (niiskuse määramiseks) 500 ml	40
Sõelanalüüs (terakoostise määramine)		Kuivatuskapp (väikeste projektide puhul kasutada sõelanalüüsiks mõeldud kuivatuskappi) 400 l	1
Sõelad (läbimõõduga 200 mm)		Valikulised vahendid	
50,0 mm	1	Mehhaaniline tihendaja pöörleva alusplaadiga	1
37,5 mm	1		
25,0 mm	1	CBR katse	
19,0 mm	1	Vormid (koos perforeeritud alusplaadi ja lisakoormustega) Ø 150 mm	30
12,5 mm	1	Tihendustamp (mass 2 495 kg, langemiskõrgus 305 mm ja läbimõõt 50 mm)	1
9,5 mm	1	Mõõtekell	2
4,75 mm	1	Veevannid 2 x 1 x 0,4 m	1
2,36 mm	1	Survekatseseade (soovitavalt reguleeritav, et oleks võimalik mõõta ITS ja UCS)	
1,18 mm	1		
0,60 mm	1		
0,30 mm	1		
0,15 mm	1		
0,075 mm	2		
Sõelaalus	1		
Kaas	1		
Kaal (elektrooniline) 10 kg ± 0,1 kg	1		
Kuivatuskapp 240 l	1		
Pannid 300 mm	20		
Sõela harjad/pintslid	1		
Valikulised vahendid			
Mehhaaniline sõelte raputi	1		
Attenbergi piirid		Vahtbituumeni seguprojektid	
Casagrande seade koos spetsiaalse teravikuga peitliga	1	Wirtgeni WLB 10 vahtbituumeni laboriseade	1
Segamisanum Ø ± 100 mm	2	Õhukompressor (vähemalt 8–10 l mahuti, rõhk 10 bar)	1
Spaatel	1	Segisti (Hobarti segisti 100 mm ja tigusegisti 150 mm läbimõõduga proovikehade jaoks)	1
Pesupudel 250 mm	1		
Taimer	1		
Klaasplaat 300 x 300 mm	1		
Klaaspurgid 100 mm	50		
Kuivatuskapp 40 l (võib kasutada sõelanalüüsis kasutatavat kapp)	1		

Marshalli katsekeha valmistamine Tihendaja (käsitihendaja/automaatne puidust aluse ja haamriga) Vormid (krae ja alusplaadiga) Ø 100 mm Nooniusega nihik 250 mm Presskang	1 1 1 1	Abivahendid Termomeeter 250 °C (kuivatuskapi ja vee temperatuuri kontrollimiseks) Kühvel 300 mm Kindad (kuumakindlad) Pintslid 50 mm Käepidemega hari (pehme) Haamer 2 kg Silikoonõli 100 g Käte puhasti 500 g Puhastuslapid karp Nööri kera Markerpliiats/värv (proovikehade märgistamiseks)	3 1 1 2 1 1 1 1 1 1
Proovikehade järelhooldus Siledad alused 250 x 350 mm Kuivatuskapp 240 l Kilekotid 10 l Kaal (elektrooniline) 10 kg ± 0,1 g (võib kasutada sõelanalüüsis kasutatavat kaalu) Kontrollitava temperatuuriga veevann (võib kasutada CBR katse vanni kui keskk. temp. 25°C)	12 1 500 1 1		
Tõmbetugevuse katse Tõmbekatse seade, kui proovikeha Ø100 mm Tõmbekatse seade, kui proovikeha Ø150 mm (vajadusel) Survekatse seade (koormamiskiirusega 50,8 mm/min. Kasutada CBR katse pressi kui on reguleeritav)	1 1 1		
Survetugevuse katse Koormust edasi andev plaat Ø150 mm Survekatse seade (koormamiskiirus 153 kN/min. Kasutada CBR katse pressi kui kiirus on reguleeritav)	1 1		

LISA 3

Katendi projekteerimine vahtbituumeniga stabiliseerimise puhul

A3.1 Katendi projekteerimismeetodid

A3.2 Katendi projekteerimine struktuuri numbri meetodil

A3.2.1 Ülevaade struktuuri numbri meetodist

A3.2.2 Näide. Kihi paksuse määramine struktuuri numbri meetodil

A3.2.2.1 Olemasolev katend

A3.2.2.2 Taastusremondile esitatavad peamised nõuded

A3.2.2.3 Katendi projekt

A3.2.2.4 Seguprojekt

A3.3 Katendi projekteerimine mehaaniliste meetoditega

A3.3.1 Ülevaade mehaanilisest projekteerimismeetodist

A3.3.2 Näide. Kihi paksuse määramine mehaanilise meetodiga

A3.3.2.1 Olemasolev katend

A3.3.2.2 Taastusremondile esitatavad peamised nõuded

A3.3.2.3 Katendi projekt

A3.4 Katendi projekteerimine pingetsükli asümmeetriateguri piirväärtuse meetodiga

A3.4.1 Ülevaade pingetsükli asümmeetriateguri piirväärtuse meetodist

A3.4.2 Nihkenäitajate määramine (nidusus C ja sisehõõrdenurk φ)

A3.4.3 Vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide elastsusmoodul

A3.4.4 Pinge kasuskoormuse määr vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalides

A3.4.5 Jääkdeformatsioon vahtbituumeniga stabiliseeritud kihis

A3.1 Katendi projekteerimismeetodid

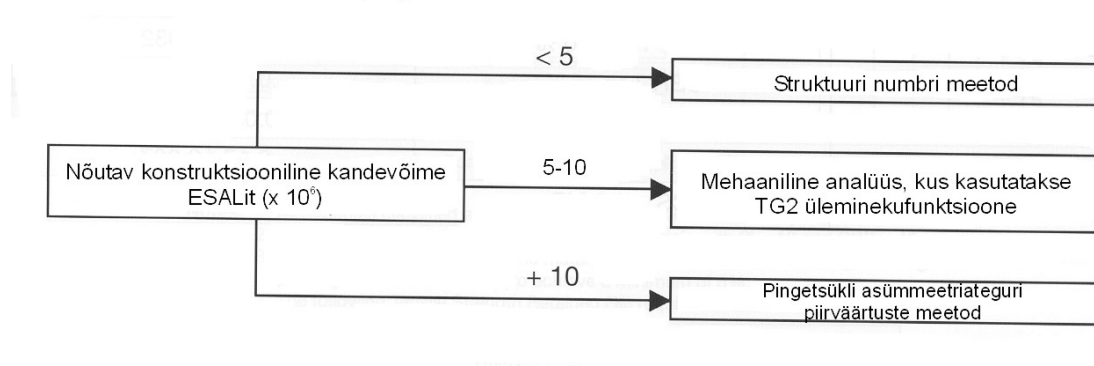
Kolmanda lisa eesmärgiks on anda juhiseid katendi projekteerimiseks vahtbituumeniga stabiliseerimise puhul. Külmsabiliseerimisel kasutatakse vahtbituumenit üha sagedamini kõikjal maailmas, kuna see on majanduslikult tasuv viis olemasolevate materjalide kvaliteedi parandamiseks. Nagu enamike uudsete tehnoloogiate puhul, pole projekteerimismeetodid siiski nii arenenud kui ehituseks vajalik tehnoloogia. Kuigi käesolev juhend pole mõeldud üksikasjaliku projekteerimisjuhendina, on selles valdkonnas vaja selgust ning seega antakse käesolevas lisas mõningaid juhtnööre katendite projekteerijatele.

Käesolevas lisas käsitletakse kolme katendi projekteerimismeetodit, mida saab kasutada taastusremondiprojekti koostamisel vahtbituumeniga stabiliseerimise korral. Need meetodid on struktuuri numbri meetod, mehaanilise analüüsi meetod ja pingetsükli asümmeetriateguri piirväärtuse meetod. Nende projekteerimismeetodite hulgast tuleb valida sobiv kooskõlas konstruktsioonilisele kandevõimele esitatavate nõudmistega. Suure kandevõimega katendikonstruktsioonide puhul tuleb kasutada ka usaldusväärsemaid meetodeid. Keerulisemate projekteerimismeetodite puhul muutuvad aga keerulisemaks ka algandmed ja koos sellega kogu protsess. See tähendab seda, et vahtbituumeniga töödeldud materjalide käitumise kohta on vaja palju rohkem informatsiooni.

Nagu näha jooniselt A3.1, ei soovitata lihtsat empiirilist meetodit, nagu struktuuri numbri meetod, selliste katendite projekteerimiseks, mille konstruktsiooniline kandevõime peab olema keskmine või keskmisest suurem. Struktuuri numbri meetodit kasutatakse vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi paksuse esialgseks hindamiseks, enne kui kasutatakse ühte ülejäänud kahest meetodist. Lisaks sellele kasutatakse kõnealust meetodit materjalide vahekordade määramiseks seguprojektide koostamisel (kui on eelnevalt vaja hinnata stabiliseeritava kihi paksust). Joonisel A3.1 esitatud konstruktsioonilise kandevõime piiridest ei tuleks väga rangelt kinni pidada, kuna need pole selgelt määratletud, kuid päris ignoreerida neid ka ei tohiks.

Käesolevas lisas kirjeldatakse kolme projekteerimisprotseduuri piisavalt üksikasjalikult, et neid oleks võimalik hiljem rakendada. Samuti on toodud ära viited, nii et vajadusel on võimalik saada ka lisateavet. Koos protseduuri kirjeldustega on esitatud ka näited. Nendes taastusremondiprojekti näidetes kirjeldatakse, kuidas rakendada vastavat meetodit praktikas ette tuleva tüüpilise katendikonstruktsiooni puhul.

Joonis A3.1 Juhised sobiva projekteerimismeetodi valikuks



A3.2 Katendi projekteerimine struktuuri numbri meetodil

A3.2.1 Ülevaade struktuuri numbri meetodist

Paljudes maailmas välja antud juhendites kasutatakse katendite projekteerimisel struktuuri numbri meetodit (muuhulgas väljaandes *AASHTO Guide for design of pavement structures (1986) of the American Association of State Highway Officials, Washington DC*). Kõnealusel meetodil on mitmeid eeliseid, näiteks kasutamise lihtsus, sobiva projekti kiire leidmine ning võimalus võtta arvesse kohalikke olusid ja teadmisi, nagu ilmastik ja materjalide käitumine. Lisaks sellele saab struktuuri numbri meetodi puhul kaasata uusi materjale. Nimetatud põhjustel on meetodit laiendatud ka vahtbituumeniga stabiliseeritud kihtidele, et oleks võimalik projekteerida katendeid kandevõimega < 5 miljonit ESALit.

Struktuuri numbri meetod on empiiriline projekteerimismeetod ja seetõttu on sel mitmeid piiranguid, mida tuleb kindlasti silmas pidada. Katendi optimaalse töötamise seisukohalt ei anna meetod tingimata kihilõuete õiget kombinatsiooni, vaid võib anda tulemuseks tasakaalustamata katendi konstruktsiooni. Seepärast ei tohi meetodit rakendada kogenematud projekteerijad ja selle kasutamisel tuleb piirduda lihtsamate katendikonstruktsioonidega.

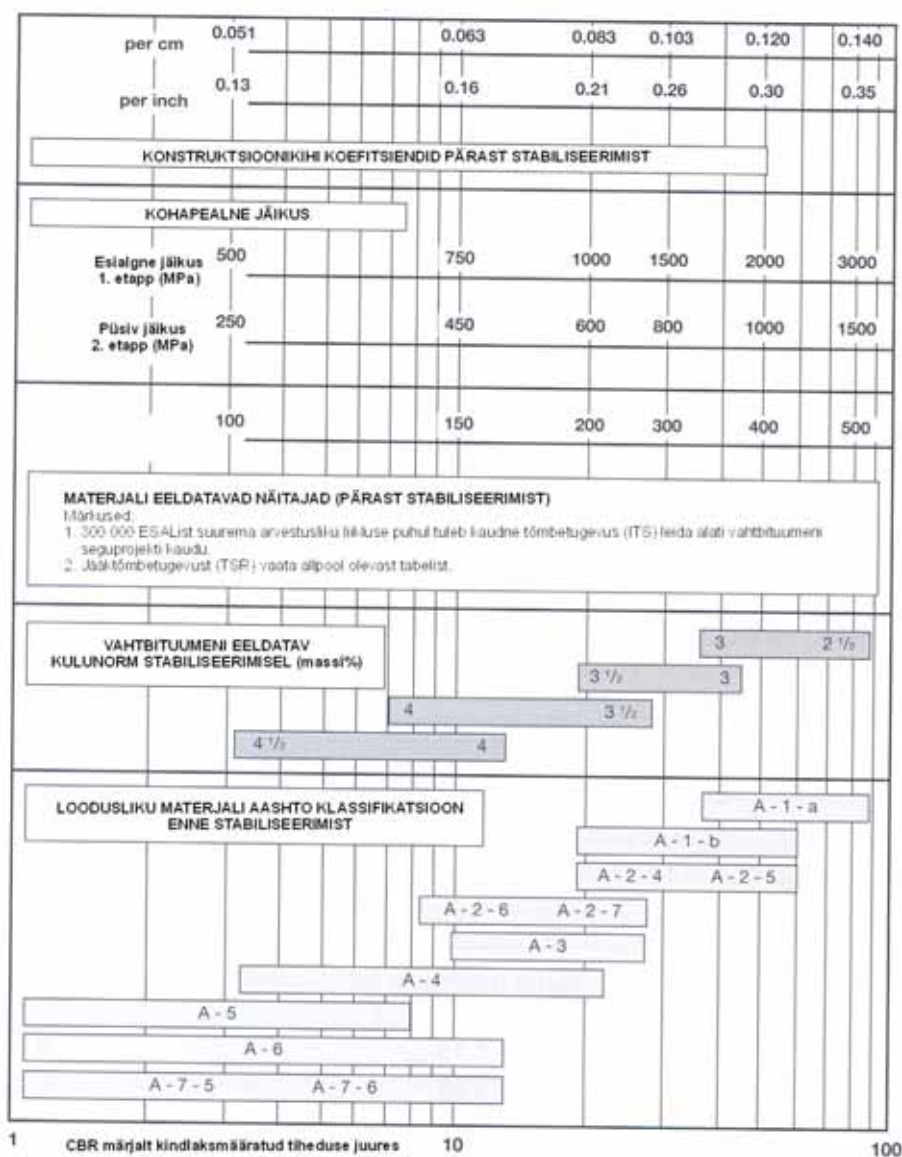
Struktuuri numbri meetodi puhul on vaja teada materjali tüüpi ja kvaliteeti. Tingimusel, et iga üksiku kihi materjali kvaliteeti ja paksust on võimalik prognoosida, saab kogu katendi konstruktsiooni struktuuri numbri arvutada igale materjalile omistatud nn konstruktsiooni kihi koefitsientide abil. Katendi üldine konstruktsiooniline kandevõime arvutatakse kihtide koefitsientide ja paksuste korrutise summana.

Tabel A3.1 Tüüpiliste kihtide koefitsiendid (AASHTO)

Materjali tüüp	Näitaja	Kihi koefitsient (tolli kohta / cm kohta)
Asfaltkate	Elastsusmoodul 2500– >10000 MPa	0,20–0,44 / 0,08–0,17
Asfaltalus	Pidev terakoostis, jäävpoorsus 6%	0,20–0,38 / 0,08–0,15
Bituumeniga töödeldud alus		0,10–0,030 / 0,04–0,12
Fraktsioneeritud killustik	CBR > 80%	0,14 / 0,055
Looduslik kruus, 1. tüüp	CBR 65–80%	0,12 / 0,047
Looduslik kruus, 2. tüüp	CBR 40–65%	0,10 / 0,040
Pinnas, 1. tüüp	CBR 15–40%	0,08 / 0,032
Pinnas, 2. tüüp	CBR 7–15%	0,06 / 0,024
Nidususeta liiv	PI = 0	0,04–0,05 / 0,016–0,020
Tsemendiga töödeldud killustik	UCS 1,0–3,0 MPa	0,17 / 0,067
Tsemendiga töödeldud kruus	UCS < 1,0 MPa	0,12 / 0,047

Joonisel A3.2 on esitatud vahtbituumeniga töödeldud materjali konstruktsioonikihi koefitsiendi määramise juhised.

Joonis A3.2 Vahtbituumeniga stabiliseeritud materjali konstruktsioonikihi koefitsiendid



- Märkused:**
- Kõik A-4 või madalamasse klassi kuuluvad materjalid tuleb eelnevalt töödelda lubjaga.
 - Materjalidele, mille $PI < 10$ ja $CBR < 45$, tuleb lisada 1% tsementi.
 - Vajadusel lisada mitte-plastset materjali, et suurendada 0,075 mm sõela läbinud fraktsiooni protsenti vähemalt 5%.
 - Jäätugevusele (%) esitatavad nõuded on järgmised:

Maastriku tüüp ja filtratsioon	Kuiv (aastane sademete hulk < 600 mm)	Keskmine (aastane sademete hulk vahemikus 600–1000 mm)	Märg (aastane sademete hulk > 1000 mm)
Lainjas – hea filtratsioon	50	60	70
Tasane – halb filtratsioon	60	65	75

Joonisel A3.2 on esitatud vahtbituumeniga stabiliseeritud kihtide konstruktsioonikihi koefitsiendid, mida saab kasutada struktuuri numbri meetodi puhul. Diagrammi kasutamist tuleks alustada alt, kus on antud looduslike materjalide näitajad ning liikuda vertikaalselt ülespoole. Vertikaalselt edasi liikudes kasutatakse lisaandmeid, nagu sideaine sisaldus, kaudne tõmbetugevus ja elastsusmoodul, horisontaalsuunal asuvate näitajate täpsustamiseks. Tuleb meeles pidada, et on võimalik saada ka vastuolulisi tulemusi. Sellisel juhul tuleb kasutada oma inseneriteadmisi ja kogemusi. Jäikusväärtused on tüüpilised kohapeal tehtud mõõtmistulemustele (mida saab kasutada mehaanilise projekteerimise puhul). Laboris korduva koormamise tagajärjel saadud kaudse tõmbejäikuse väärtused annavad märkimisväärselt kõrgemaid väärtusi ja neid ei saa joonise A3.2 puhul kasutada.

Erinevate katendimaterjalide konstruktsioonikihi koefitsientide liitmisel saadakse tegelik struktuuri number (valem A3.1).

$$SN_{\text{tegelik}} = a_1 \times h_1 \times d_1 + a_2 \times h_2 \times d_2 + a_3 \times h_3 \times d_3 + \dots + a_i \times h_i \times d_i \quad [\text{valem A3.1}]$$

kus: SN_{tegelik} – valitud katendikonstruktsiooni tegelik struktuuri number
 a_i – kihi i koefitsient
 h_i – kihi i paksus [cm]
 d_i – kihi i filtratsioonikoefitsient

SN_{tegelik} väärtus peab ületama $SN_{\text{nõutav}}$ (AASHTO, 1986) väärtust, mis määratakse liikluskooormuse, mida katend peab taluma, ning muldkeha kandevõime järgi. Filtratsioonikoefitsiendid määratakse vastavalt tabelile A3.2.

Tabel A3.2 Filtratsioonikoefitsiendid (AASHTO, 1986)		
Filtratsioon	Filtratsioonikoefitsient d_i	
	% ajast, mil katendi niiskustase on lähedane küllastuspunktile	
	1%	25%
Väga hea	1,35	1,2
Hea	1,25	1,0
Keskmine	1,15	0,8
Halb	1,05	0,6
Väga halb	0,95	0,4

Vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi lõplik paksus määratakse seda suurendades või vähendades kuni struktuuri number on võrdne või ületab nõutava struktuuri numbri. Protseduuri selgitatakse järgnevas näites.

A3.2.2 Näide. Kihi paksuse määramine struktuuri numbri meetodil

A3.2.2.1 Olemasolev katend

Tabel A3.3 Olemasoleva katendi konstruktsioon (vt ka joonis A3.3)				
Kiht	Materjali paksus ja tüüp	CBR (%)	Konstruktsioonikihi koefitsient (cm kohta)	Elastsusmoodul (MPa)
Kate	Pinnatöötlus (pindamine)			
Alus	150 mm killustikku	> 80	0,056	
Aluskiht	150 mm fraktsioneeritud	> 45	0,048	
Muldkeha	Looduslik pinnas	Keskmine 8		55

Mõõtmised näitavad, et katendi esialgne kasutamiskõlblikkuse indeks (PSI) on 4,2. Filtratsioonikoefitsiendiks võetakse 1,0 (keskmine, aja jooksul läheneb küllastuspunktile: 1%–5%).

A3.2.2.2 Taastusremondile esitatavad peamised nõuded

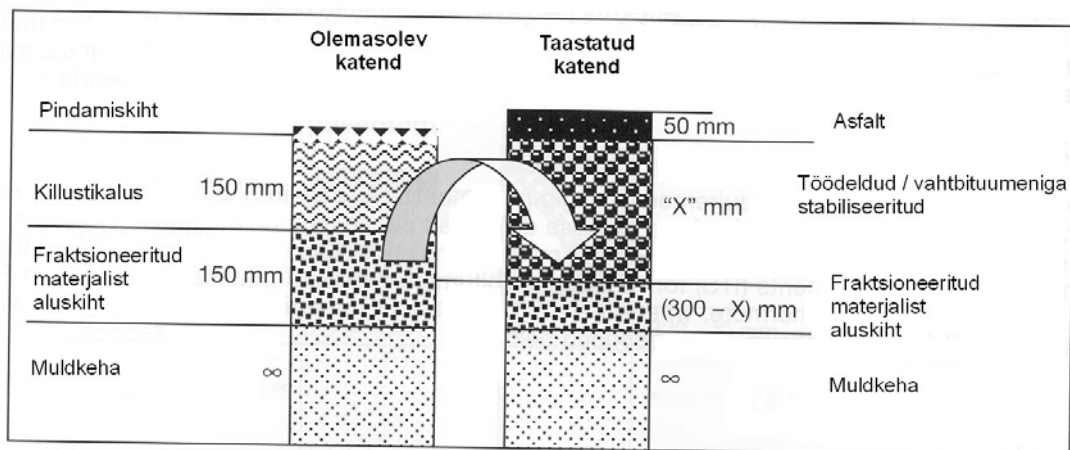
- Usaldatavus 90%
- Standardhälve 0,4
- Lõplik PSI 2,5
- Konstruktiooniline kandevõime (15-aastane projekteeritud eluiga) $2,5 \times 10^6$ ESALit

A3.2.2.3 Katendi projekt

Eespool esitatud informatsiooni kasutatakse algandmetena katendi analüüsi tarkvaras Darwin või Winpas. Teise võimalusena võib nõutava struktuuri numbri ($SN_{nõutav}$) määramiseks kasutada AASHTO käsiraamatus esitatud valemeid. Käesoleva näite puhul saadakse analüüsi tulemusel, et $SN_{nõutav} = 3,83$.

Antud katendi taastusremondi variandina tuleks kaaluda vahtbituumeniga stabiliseerimist, vt joonis A3.3. $SN_{nõutav}$ saavutamiseks arvutatakse stabiliseerimissügavus („X“ mm) struktuuri numbri meetodiga.

Joonis A3.3 Olemasoleva katendi ja taastatud katendi konstruktsioon



Eeldades, et segatud materjali CBR pärast ümbertöötlemist (enne stabiliseerimist) on vähemalt 50%, saab vahtbituumeniga töödeldud kihi koefitsiendi määrata joonise A3.2 põhjal ning selleks on 0,12 cm kohta.

Võrreldakse kahte alternatiivset kattekihi varianti. Eeldades, et stabiliseeritud kihi peale tehakse 50 mm paksune asfaltkate, korrigeeritakse vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi paksust seni kuni arvutuste teel saadud struktuuri number ($SN_{regelik}$) on võrdne või suurem nõutavast ($SN_{nõutav}$), nagu näidatud tabelis A3.4.

Tabel A3.4 Struktuuri numbri arvutamine. Asfaltkate

Kihi tüüp	Kihi koefitsient a_i	Filtratsiooni koefitsient d_i	Kihi paksus t (cm)	$a_i \times d_i \times t$
Asfalt	0,173	1,0	5	0,87
Vahtbituumeniga stabiliseeritud kiht	0,120	1,0	22	2,64
Fraktsioneeritud materjalist aluskiht	0,048	1,0	8	0,38
$SN_{regelik} = \sum a_i \times d_i \times t = 3,89$				

Arvutatud struktuuri number SN_{tegelik} on nõutavast $SN_{\text{nõutav}}$ suurem ($3,89 > 3,83$). See tähendab seda, et 220 mm paksuse vahtbituumeniga töödeldud kihi ja 50 mm paksuse asfaltkatte konstruktsiooniline kandevõime vastab esitatud nõuetele.

Teise võimalusena võib asfaltkatte asemel teha kahekordse pindamiskihi, kuid sel juhul tuleb vahtbituumeniga stabiliseeritava kihi paksust suurendada, nagu näidatud tabelis A3.5.

Tabel A3.5 Struktuuri numbri arvutamine. Pindamiskiht				
Kihi tüüp	Kihi koefitsient a_i	Filtratsiooni koefitsient d_i	Kihi paksus t (cm)	$a_i \times d_i \times t$
Vahtbituumeniga stabiliseeritud kiht	0,120	1,0	32	3,83
$SN_{\text{tegelik}} = \sum a_i \times d_i \times t = 3,83$				

Nõutav struktuuri number saadakse vahtbituumeniga stabiliseeritava kihi paksuse suurendamisel 320 mm. Kuid sellise stabiliseerimissügavuse puhul kaasatakse kehva kvaliteediga muldkeha materjali 20 mm paksuselt. Tekib sideaine puudujääk ja segatud materjali CBR langeb tõenäoliselt alla 50%. Sel juhul tuleks kaaluda varianti, kus kvaliteetset materjali tuuakse mujalt juurde ning laotatakse 30 mm paksuse kihina olemasolevale tee. Nii saavutatakse vajalik stabiliseerimissügavus muldkeha materjali kaasamata.

A3.2.2.4 Seguprojekt

Kuna käesoleva näite puhul jääb katendi konstruktsiooniline kandevõime alla 5×10^6 ESALi, on eespool kirjeldatud protseduuri käigus saadud struktuuri number tõenäoliselt piisav. Kuna aga konstruktsiooniline kandevõime ületab $0,3 \times 10^6$ ESALit, tuleb koostada seguprojekt, millega tõestatakse, et vahtbituumeniga stabiliseeritud materjali minimaalsed tugevusnõuded (ITS) on täidetud (nagu näidatud joonisel A3.2). Kui tekib kahtlus, et nõuded pole täidetud, tuleb projekti kontrollida mehaanilise meetodiga, mida käsitletakse järgmisena.

A3.3 Katendi projekteerimine mehaaniliste meetoditega

A3.3.1 Ülevaade mehaanilisest projekteerimismeetodist

Kui konstruktsiooniline kandevõime ületab 5 miljonit ESALit, soovitatakse vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalidest katendite projekteerimiseks kasutada mehaanilist meetodit. Neid meetodeid, näiteks Lõuna-Aafrika mehaanilist projekteerimismeetodit nimetatakse mehaanilisteks, kuna katendi konstruktsioon modelleeritakse lineaar-elastse teooria alusel ning määratakse peamised näitajad (nt pinged ja deformatsioon). Neid näitajaid analüüsitakse kihtide kriitilistes punktides ning kasutatakse siis algandmetena konkreetse materjali töötamist iseloomustavates funktsioonides, mis leitakse uuringute käigus. Materjali töötamise hindamise puhul on alati olemas empiiriline element (eelduste ja lihtsustuste tõttu) ja tihti kutsutakse meetodeid ka mehaanilis-empiirilisteks.

Mehaanilise meetodi puhul saadakse analüütiliselt usaldusväärsemad ja täpsemad tulemused kui struktuuri numbri meetodi puhul ning seepärast eelistatakse seda suurema liiklusköömusega katendite projekteerimisel. Katendi konstruktsiooni saab modelleerida mehaanilise meetodi abil, kui on teada materjali peamised omadused (elastsusmoodul ja Poissoni tegur) ning on võimalik prognoosida kihtide paksusi. Mitmel pool maailmas on erinevate materjalitüüpide jaoks välja töötatud materjalide töötamist iseloomustavad funktsioonid ehk üleminekufunktsioonid, mis arvestavad kohalikke kliimatingimusi. Üleminekufunktsioonid on prognoositavate pingete ja deformatsioonide ning katendi kahjustuste vahelised empiirilised suhted. Kõnealused funktsioonid on tavaliselt saadud katendi kiirendatud katsetamise tulemusel ning on töötatud välja vahtbituumeni ja

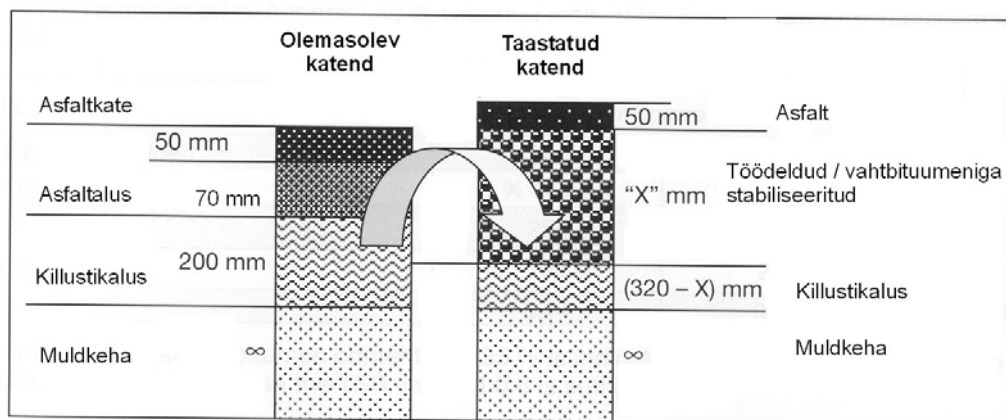
bituumenemulsiooniga stabiliseeritud materjalide jaoks. Uute uurimustulemuste selgumisel parandatakse ja täiendatakse ka üleminekufunktsioone.

A3.3.2 Näide. Kihi paksuse määramine mehaanilise meetodiga

A3.3.2.1 Olemasolev katend

Kiht	Materjali paksus ja tüüp	CBR (%)	Proгноositav elastusmoodul (MPa)
Kate	50 mm asfalti		2500
Alus	70 mm asfalti		1500
Aluskiht	200 mm killustikku	> 80	250
Muldkeha	Looduslik pinnas	Keskmine 10	90

Joonis A3.4 Olemasoleva katendi ja taastatud katendi konstruktsioon



A3.3.2.2 Taastusremondile esitatavad peamised nõuded

- Usaldatavus 90%
- Kliima mõõdukas
- Lõplik seisund 20 mm roopad
- Konstruktsiooniline kandevõime (15-aastane projekteeritud eluiga) 5×10^6 ESALit
- Arvestuslik koormus 20 kN kahe ratta koormus, rehvirõhk 700 kPa

A3.3.2.3 Katendi projekt

Enne kui hakatakse koostama katendi projekti mehaanilise meetodi abil, on soovitatav teha esmane konstruktsiooni projekt struktuuri numbri meetodil, et prognoosida, millise töödeldud / vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi paksuse juures on kandevõime tagatud. Nii saadakse katendi esialgne konstruktsioon, mis on kasulik mehaanilise lähenemise raames tehtava analüüsi jaoks.

Esialgne struktuuri number tuleb leida sarnaselt eespool esitatud näitele, nagu näidatud tabelis 3.7.

Tabel A3.7 Esialgse struktuuri numbri arvutamine				
Kihi tüüp	Kihi koefitsient a_i	Filtratsiooni koefitsient d_i	Kihi paksus t (cm)	$a_i \times d_i \times t$
Asfalt	0,173	1,0	5	0,87
Vahtbituumeniga stabiliseeritud kiht	0,120	1,0	20	2,40
Killustik	0,047	1,0	12	0,56
$SN_{\text{tegelik}} = \sum a_i \times d_i \times t = 3,83$				

Tegelik struktuuri number (3,83) võrdub nõutavaga: $SN_{\text{tegelik}} = SN_{\text{nõutav}}$.
Seega on stabiliseerimissügavus (joonisel A3.4 tähistatud „X“) 200 mm.

Tundlikkuse analüüsis kasutatakse vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi eeldatavaid omadusi. Analüüsimisel kasutatakse sobivat mehaanilise meetodi tarkvara ja vastavaid üleminekufunktsioone. Nõutav konstruktsiooniline kandevõime saavutatakse tabelis A3.8 näidatud väärtuste puhul.

Tabel A3.8 Taastatava katendikonstruktsiooni modelleerimisel eeldatud näitajad					
Taastatud katend		Paksus (mm)	Elastsus -moodul (MPa)	Hindamissügavus (mm) ja kriitilised näitajad	
Asfalt	Uus	50	2500	50	Max horisontaalne tõmbepinge kihi põhjas
Vahtbituumeniga stabiliseeritud 1. etapp: rahunemine	Stabili- seeritud	200	1500	250	Max horisontaalne tõmbepinge kihi põhjas
Vahtbituumeniga stabiliseeritud 2. etapp: stabiilne seisund	Stabili- seeritud	200	800	250	Pinged kihis ¼ sügavusel
Killustik	Olemas- olev	120	250	310	Pinged kihi keskel
Muldkeha	Olemas- olev	Definee- rimata	90	371	Vertikaalne surve- deformatsioon kihi peal

Analüüsiks kasutati tabelis A3.9 esitatud üleminekufunktsioone. Kohalikke üleminekufunktsioone võib kasutada juhul, kui need sobivad konkreetse piirkonnaga.

Tabel A3.9 Väljaanded, kus on avaldatud mehaanilises analüüsis kasutatavad üleminekufunktsioonid	
Materjal	Üleminekufunktsioon
Asfalt	Asphalt Institute – asfaldi väsimus Shell – asfaldi väsimus CSIR – asfaldi väsimus
Vahtbituumeniga stabiliseeritud kiht	CSIR – TG2 väsimus
Killustik (teraline)	CSIR – ohutuse varutegur
Pinnas	Asphalt Institute – roopad muldkehas Shell – roopad muldkehas CSIR – roopad muldkehas

Et materjal sarnaneks 200 mm stabiliseerimissügavusel oleva materjaliga, tuleb vahtbituumeni seguprojektis kasutada materjalisegu, kus 60% on vana asfaldi ja 40% killustikku. Tabelis A3.10 on esitatud sellisele materjalile iseloomulikud esialgse ITS katse tulemused (100 mm läbimõõduga Marshalli proovikehad).

Tabel A3.10 Esialgsete ITS katsete tulemused 100 mm proovikehadega			
Vahtbituumeni sisaldus (%)	2,00	2,24	2,50
Lisand (%)	1% tsementi	1% tsementi	1% tsementi
ITS kuivalt (kPa)	283	316	306

ITS märjalt (kPa)	209	253	260
TSR	0,74	0,80	0,85

Tulemuste põhjal selgus, et vahtbituumeni optimaalne sisaldus on 2,25%, kuna selle puhul on ITS kuivalt maksimaalne ja TSR väärtus 0,8 on piisav.

Nagu Lisas 2 kirjeldati, valmistatakse seejärel 150 mm läbimõõduga ja vahtbituumeni optimaalse sisaldusega proovikehad, kasutades AASHTO tihendamist. Tugevuskatsete tulemused on esitatud tabelis A3.11.

Tabel A3.11 Tugevuskatsete tulemused	
Vahtbituumeni sisaldus (%)	2,25
Lisand (%)	1% tsementi
ITS _{ekv} (kPa)	170
UCS _{ekv} (MPa)	1,5
Stabiilne niiskus (%)	3,2

Kasutades katsetulemusi 4. peatüki valemites 4.3 ja 4.4, saadakse mehaanilise modelleerimise jaoks järgmised algväärtused:

$$MR_{1. etapp} = 1448 \text{ MPa, ja}$$

$$MR_{2. etapp} = 799 \text{ MPa.}$$

Saadud elastsusmoodulite väärtused on ligikaudu samad, mis esialgses hinnangus (vt tabel A3.8). Võib eeldada, et materjalisegu stabiliseerimisel vahtbituumeniga on stabiliseerimissügavuseks 200 mm.

Kui seguprojekti katsetamisel saadud elastsusmooduli väärtused on oluliselt väiksemad, kasutatakse mehaanilises analüüsis just neid ning stabiliseerimissügavust suurendatakse seni kuni saavutatakse nõutav konstruktsiooniline kandevõime. Kui suuremat stabiliseerimissügavust iseloomustav uus materjalide segu on oluliselt teistsugune, tuleb seda katsetada, et teha kindlaks, kas esialgsed ITS ja UCS väärtused on stabiilse niiskussisalduse juures saavutatavad. Selleks, et hinnata, kas materjalide vahekorra muutumise tulemusel on muutunud ka optimaalne vahtbituumeni sisaldus, tuleb katsed läbi viia erinevate vahtbituumeni sisaldustega.

Tabel A3.12 Erinevate katendikihtide konstruktsioonilise kandevõime prognoos					
Taastatud katendikiht		Paksus (mm)	Elastsus-moodul (MPa)	Prognoos	
				Sügavus pinnalt (mm)	Konstrukt-siooniline kandevõime (miljonit ESALit)
Asfaltkate		50	2500	50	$\epsilon_n = 114 \mu\epsilon$ (2. etapp)
Vahtbituume-niga stabiiliseeritud alus	1. etapp: rahunemine	200	1500	250	$\epsilon_n = 179 \mu\epsilon$
	2. etapp: stabiilne seisund	200	800	200	$\sigma_1 = 685 \text{ kPa}$ $\sigma_3 = 167 \text{ kPa}$
Killustikust aluskiht		120	250	310	$\sigma_1 = 112 \text{ kPa}$ $\sigma_3 = 65 \text{ kPa}$
Muldkеha		Defineerimata	90	370	$\epsilon_{vert} = 625 \mu\epsilon$

Kasutades TG2 üleminekufunktsioone, kuulub bituumeniga töödeldud materjal ITS ja UCS katsetulemuste põhjal FB2 materjalide hulka. Kui katendit projekteeritakse 90%

usaldusväarsuse juures, tuleb koostada projekt ka teisi vahtbituumeni andmeid kasutades. Käesolevas näites kasutatakse vahtbituumeniga töödeldud kihi puhul järgmisi andmeid:

Nidusus	– 250 kPa
Sisehõõrdenurk φ	– 45°
Tihedus teel	– 2145 kg/m ³
Täiteaine näivtihedus	– 2600 kg/m ³
Deformatsioon purunemisel ε_b	– 171 $\mu\epsilon$ (FB2 materjal)

90% usaldusväarsusega projektide puhul kasutatakse väsimuse ja jäävdeformatsiooni leidmiseks järgmisi valemeid (TG2 juhendist):

$$N_{EF} = 10^{[6,499 - 0,708 (\epsilon/\epsilon_b)]} \quad [\text{valem A3.2}]$$

$$N_{PD} = 1/30 \times 10^{[-1,951 + 11,938 \times RD + 0,0726 \times PS - 1,628 \times SR + 0,68 \times (tsem/bit)]} \quad [\text{valem A3.3}]$$

kus: RD	–	kuivtihedus / näivtihedus = 2145 / 2600 = 0,825
PS	–	deformatsiooni protsent = lubatud roobas/kihi paksus = 18/200 x 100 = 9%
SR	–	pingetsükli asümmeetriategur = $(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_{1,max} - \sigma_3) = (685 - 167) / (\sigma_{1,max} - 167) = 0,257$
$\sigma_{1,max}$	–	$[(1 + \sin\varphi) \times \sigma_3 + 2C \times \cos\varphi] / (1 - \sin\varphi) = 2180 \text{ kPa}$
tsem/bit	–	1/2,25 = 0,444

Asendades valemities A3.2 ja A3.3 muutujad vastavate väärtustega, saadakse vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi konstruktsioonilise kandevõime väärtused (vt tabel A3.12). Käesolevas näites on kriitiliseks kihiks asfaltkate 8,5 miljoni ESALiga. Seega määratakse katendi eluiga selle kihi järgi.

A3.4 Katendi projekteerimine pingetsükli asümmeetriateguri piirväärtuse meetodiga

A3.4.1 Ülevaade pingetsükli asümmeetriateguri piirväärtuse meetodist

Mõnede taastusremondi projektide puhul tuleb arvestada liiklushulga olulise kasvuga, mistõttu peab konstruktsiooniline kandevõime ületama 10 miljoni ESALit 80 kN teljekoormuse puhul. Sel juhul on tarvis kasutada keerulisemat ja usaldusväärsemat projekteerimismeetodit ning selleks on pingetsükli asümmeetriateguri piirväärtuse meetod. Kõnealust meetodit saab kasutada nii sõmerate kihtide kui ka vahtbituumeni või bituumenemulsiooniga stabiliseeritud kihtide puhul.

Delfti Tehnoloogiaülikoolis läbi viidud uuringud näitasid, et kui katendis olevat sõmerat materjali koormata, määrab jäävdeformatsiooni ehk roobaste sügavuse sõmeras kihis esile kutsutud maksimaalsete pingete kasuskoormuse määr, mis sõltub materjali tugevusest (s.t pingetsükli asümmeetriategur). Materjali rahuldava töö tagamiseks peab pingete kasuskoormuse määr olema sõmerate materjalide puhul umbes 0,4.

Teooriat arendas oma doktoritöös edasi Stellenboschi Ülikooli professor Jenkins, laiendades seda ka vahtbituumenitele. Töö avaldati 2002. aastal ICAPis. Uurimused näitasid, et vahtbituumeniga töödeldud materjalide puhul jäävad pingete kasuskoormuse määra piirväärtused vahemikku 0,4–0,45.

A3.4.2 Nihkenäitajate määramine (nidusus C ja sisehõõrdenurk φ)

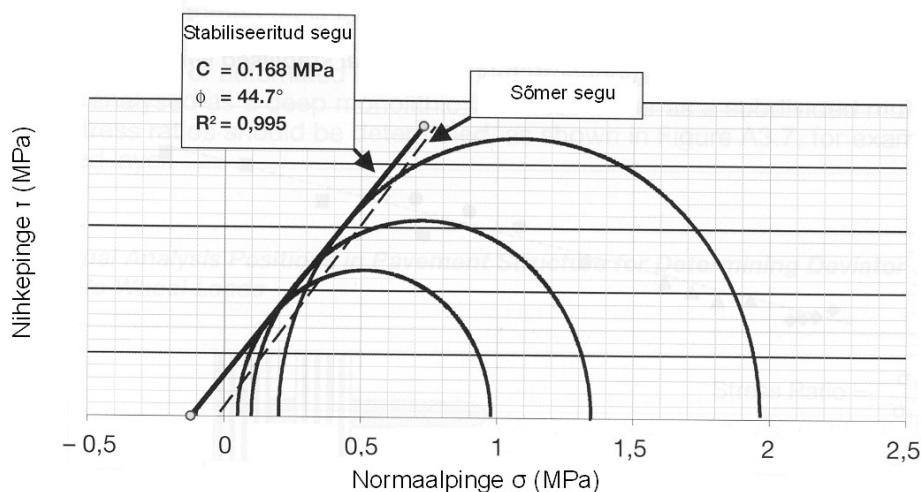
Vahtbituumeniga töödeldud kihi nidusus ja sisehõõrdenurk määratakse kolme teljelise katsega. Katsetatavad proovikehad valmistatakse nii, et vahtbituumeni, aktiivlisandi

(tsemendi või lubja) ja niiskuse sisaldus (pärast kõvenemist) oleks iseloomulik, sama kehtib ka tihendamise ja terakoostise (segatud kihtide puhul) suhtes.

Nidususe ja sisehõrdenurga tüüpilised väärtused on esitatud tabelis A3.13 ning graafiliselt joonisel A3.5. Tüüpiliste väärtuste kasutamise asemel on siiski soovitatav materjale katsetada, kuna tegelikud väärtused võivad olla oluliselt erinevad.

Tabel A3.13 Sõmerate ja vahtbituumeniga segatud materjalide tüüpilised nihkenäitajad C ja ϕ			
Materjal	Tüüp	C (kPa)	ϕ (°)
Fraktsioneeritud killustik	Sõmer	80	53
Fraktsioneeritud killustik	2% vahtbituumenit ja 1% tsementi	160	45
Kruus	Sõmer	160	45
Kruus	3% vahtbituumenit ja 1% tsementi	330	36

Joonis A3.5 Stabiliseerimata ning 2% vahtbituumeni ja 1% tsemendiga stabiliseeritud fraktsioneeritud killustiku nihkenäitajate Mohr-Coulombi graafik



A3.4.3 Vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide elastsusmoodul

Sarnaselt sõmeratele materjalidele sõltub ka vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide käitumine pingest, s.t suure kogupinge rakendamisel on vahtbituumeniga stabiliseeritud materjali vastutoime jäigem (elastsusmoodul on suurem). Stellenboschi ja Delfti ülikoolides läbi viidud kolme teljelised katsed näitasid siiski, et algjäikus (1500–2500 MPa) kadus, kui koormust oli rakendatud 50000–250000 korda. Pärast selliseid koormustsükleid saabub materjali stabiilse jäikuse seisund. Kõnealune asümptootiline jäikus jääb vahemikku 500–1200 MPa, sõltudes vahtbituumeniga stabiliseeritud täiteaine kvaliteedist. Stabiilse jäikuse seisundis sõltub isegi suure tsemendisisalduse (> 2%) juures vahtbituumeniga stabiliseeritud segude käitumine pingetest. Seda nähtust kinnitas CSIR, kasutades vahtbituumeniga stabiliseeritud kihtide puhul läbi viidud *Accelerated Pavement Testing*.

Bituumeniga stabiliseeritud segude elastsusmooduli (M_r) ja kogupinge ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) vahelise sõltuvuse esitatakse järgmiste valemite abil:

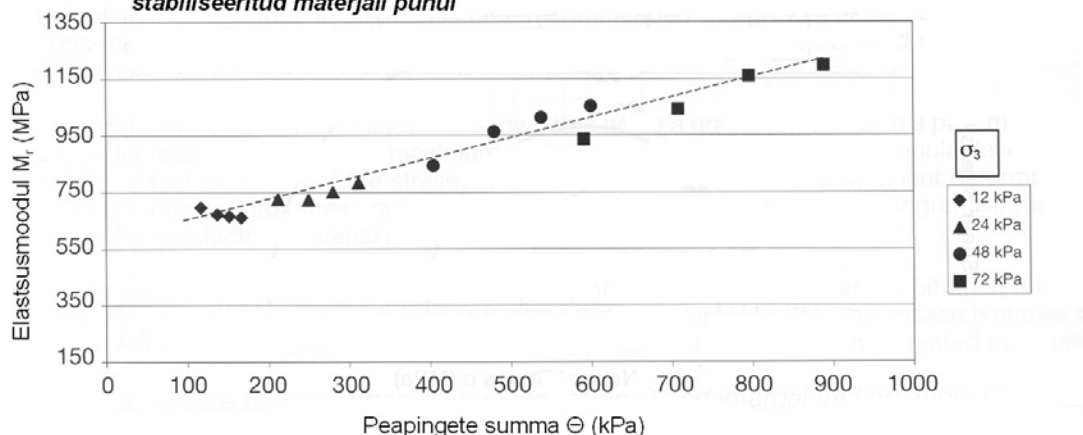
$$M_r = k_1 (\Theta/\Theta_0)^{k_2} \quad [\text{valem A3.4}]$$

$$M_r = k_5 (\Theta/\Theta_0)^{k_6} [1 - k_7(\sigma_d/\sigma_{d,f})^{k_8}] \quad [\text{valem A3.5}]$$

kus: M_r – elastsusmoodul [MPa]
 Θ – peapingete summa ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) [kPa]
 Θ_0 – normväärtus (1 kPa)
 σ_3 – väikseim peapinge [kPa]
 σ_d – pinge kasuskoormus ($\sigma_1 - \sigma_3$) [kPa]
 $\sigma_{d,f}$ – pinge kasuskoormus purunemisel ($\sigma_{1,f} - \sigma_{3,f}$) [kPa]
 $k_1 \dots k_8$ – regressioonikoefitsiendid

Katendi modelleerimiseks vajalike algandmete leidmiseks määratakse kolme teljelise katsega elastsusmooduli ja kogupinge vaheline sõltuvus. Regressioonikoefitsiendid määratakse kolme teljelise katse tulemustest. Tüüpiline näide on esitatud joonisel A3.6.

Joonis A3.6 Jäikuse ja kogupinge vaheline sõltuvus 2% vahtbituumeniga stabiliseeritud materjali puhul



Tabel A3.14 Sõmerate ja vahtbituumeniga segatud materjalide tüüpilised M_r koefitsiendid

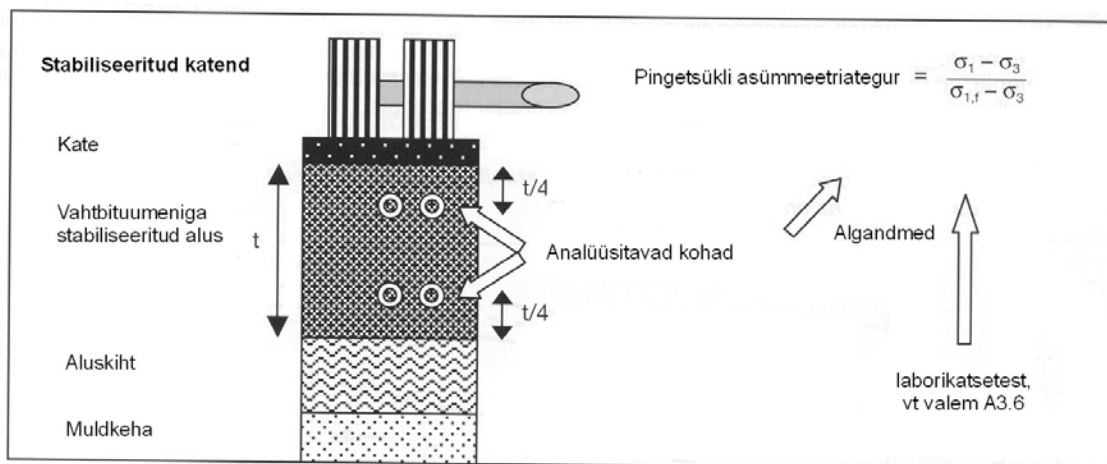
Materjal	Mudel	k_1	k_2	R_2		
Vahtbituumeniga töödeldud sõmer materjal	$M_r - \Theta$	132,5	0,319	0,94		
Materjal	Mudel	k_5	k_6	k_7	k_8	R_2
Sõmer materjal	$M_r - \sigma_3 - \sigma_1/\sigma_{1,f}$	350,0	0,300	0,600	0,100	0,69
Vahtbituumeniga töödeldud sõmer materjal	$M_r - \Theta - \sigma_1/\sigma_{1,f}$	30,0	0,600	0,700	1,000	0,89
Vahtbituumeniga töödeldud sõmer materjal	$M_r - \Theta - \sigma_d/\sigma_{d,f}$	48,0	0,500	0,500	1,200	0,90

A3.4.4 Pinge kasuskoormuse määr vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalides

Katendi modelleerimismeetodeid kasutatakse pingete jaotumise määramiseks katendi konstruktsioonis, kus üks kihtidest on stabiliseeritud vahtbituumeniga. Iteratiivses protseduuris võib kasutada kas standardset mehaanilist meetodit, mida kirjeldati 3. peatükis, kuni elastsusmoodul (M_r) antud pingeolukorras läheneb tekkinud olukorrale ($M_r - \Theta$), või lõplike elementide meetodit. Kummalgi juhul ei tohi stabiliseeritud kihti analüüsida paksu

monoliitse kihina, vaid seda tuleb vaadelda kui mitmekihilist materjali. Igas kihis tuleb määrata pingetsükli asümmeetriategur, nagu näidatud joonisel A3.7.

Joonis A3.7 Kujutletavad kohad katendikonstruktsioonis, kus määratakse rattakoormusest sõltuv pinge kasuskoormuse määr



$$\sigma_{1,f} = (1 + \sin\phi) \sigma_3 + 2 \times C \times \cos\phi / (1 - \sin\phi) \quad [\text{valem A3.6}]$$

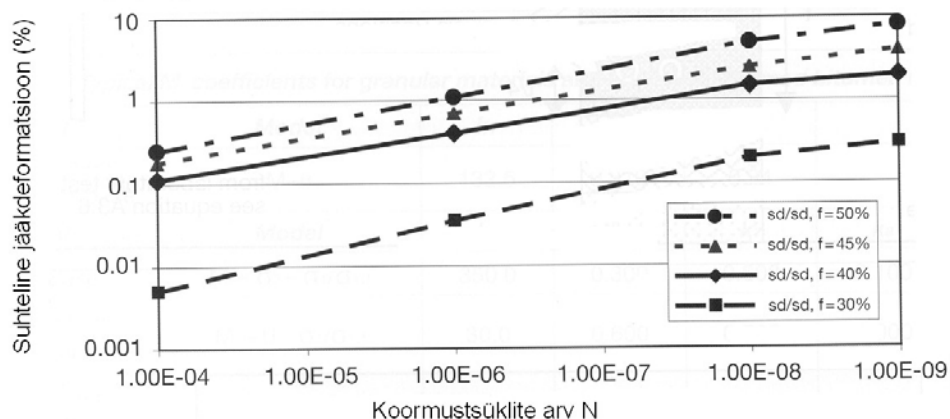
A3.4.5 Jääkdeformatsioon vahtbituumeniga stabiliseeritud kihis

Vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi jääkdeformatsiooni ulatuse määramise viimases etapis kasutatakse eespool leitud pinge kasuskoormuse määra. Joonisel A3.8 on võetud kokku Stellenboschi Ülikoolis kolme teljelise katsega korduval koormamisel jääkdeformatsiooni jaoks välja töötatud seosed, mida võib arvutustes kasutada.

Stabiliseeritud kihi kogu prognoositav jääkdeformatsioon on protsentides väljendatud suhteliste jääkdeformatsioonide (vastava pingetsükli asümmeetriateguri puhul) ja üksikute kihtide paksuste korrutiste summa. Sel viisil saab kontrollida vahtbituumeniga stabiliseeritud kihi adekvaatsust. Kui kogu deformatsioon pole arvestuslike koormustsüklite puhul adekvaatne, tuleb kihi paksust suurendada (et pingetsükli asümmeetriategur väheneks) ning uuesti arvutada pinge kasuskoormuse määr.

Vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide kriitiline pinge kasuskoormuse määr on umbes 40–45%, mis on võrreldav sõmerate materjalide vastavate näitajatega, mida on uuritud Delfti Tehnoloogiaülikoolis. Erinevus on selles, et vahtbituumeniga töödeldud materjali nihketugevus on oluliselt suurem, nii et sama rattakoormuse puhul on vahtbituumeniga töödeldud materjali pingetsükli asümmeetriategurid väiksemad ja katendi eluiga võrreldes sõmerast materjalist katenditega pikem.

Joonis A3.8 Vahtbituumeniga stabiliseeritud materjalide jääkdeformatsioon koormustsüklite arvu ja pinge kasuskoormuse määra funktsioonina



Pingetsükli asümmeetriateguri piirväärtuste meetodi õige rakendamise seisukohalt on oluline, et projekteerija mõistaks hästi materjali käitumise ja pingete vahelisi seoseid ning nende rakendamist katendi mehaanilises analüüsis. Pingetsükli asümmeetriateguri määramine sõltub õigest modelleerimistehnikast. Nende rakenduste puhul pole lihtsustatud lineaar-elstseid meetodeid soovitatav kasutada. Kõige usaldusväärsemad tulemused saadakse lõplike elementide meetoditega, mis hõlmavad iteratiivseid protseduure.

Märkus: on oluline, et laborikatsed segu nihkenäitajate (C ja ϕ) määramiseks viiakse läbi nõutaval tihendamismeetodil ja nõutavates niiskustingimustes. Tingimused laboris peavad sarnanema tingimustega teel.

LISA 4

Konstruksioonilise kandevõime määramine liiklusandmete alusel

- A4.1 Liiklusalased terminid**
- A4.2 Liikluskoormuse klassifitseerimine**
- A4.3 Liikluskoormuse prognoos**
 - A4.3.1 Liiklusloendused
 - A4.3.2 Staatiline või dünaamiline kaalumine
- A4.4 Arvestusliku liikluse (konstruktsioonilise kandevõime) määramine**
- A4.5 Arvestusliku liikluse prognoosimine praktikas**

A4.1 Liiklusalased terminid

Liikluse kirjeldamiseks on kolm põhiterminit ja segaduste vältimiseks peab neid täpselt teadma.

- **Aasta keskmist ööpäevast liiklussagedust (AADT)** mõõdetakse ööpäeva jooksul teed läbinud sõidukite arvuna. Vahel kasutatakse ka lühendit „keskmise ööpäevane liiklus (ADT)“. Sellega mõõdetakse kogu ööpäevast liiklussagedust teel. See hõlmab kogu liiklust kummaski suunas ja sõidukitüüpidel (sõiduauto, veoauto) vahet ei tehta, samuti ei võeta arvesse sõiduradade arvu. Kuigi mõistet AADT kasutatakse liiklussageduse kirjeldamiseks sageli, pole see katendi konstruktsiooni projekteerimise seisukohalt eriti praktiline, kuna seal on oluline teada liikluse koosseisu ja liikluse jagunemist sõiduradade vahel.
- **Normteljekoormuse ekvivalent (ESAL).** Raskete veokite koormamist reguleerivad vastavad õigusaktid ning teekatendid projekteeritakse kooskõlas nendega. Terminit „lubatud teljekoormus“ kasutatakse ühele teljele rakendatud lubatud koormuse tähistamiseks. Riigiti see suurus on erinev, kuid üldiselt jääb vahemikku 80–130 kN. Selleks, et katendi projekteerimisel määrata katendile rakendatud koormus normteljekoormuse ekvivalentides (ESALites), on vaja teada ka sõiduki telgede konfiguratsiooni, kusjuures on määratletud nn standard telg (nt 80 kN).

Katendid on projekteeritud taluma teatud arvu ESALeid. Seda nimetatakse katendi konstruktsiooniliseks kandevõimeks ja väljendatakse tavaliselt miljonites ESALites (nt 5×10^6 ESALit).

- **Aasta ööpäevane ekvivalentliiklus (ADE).** Katendi projekteerimisel on kõige rohkem abi just sellest näitajast, kuna sellega määratakse standardteljekoormuse ekvivalentide arv sõiduraja kohta. Arvu määramist käsitletakse edaspidi.

A4.2 Liikluskooormuse klassifitseerimine

Katendid klassifitseeritakse ESALite arvu järgi, mida tee peab oma eluajal taluma (s.t konstruktsioonilise kandevõime järgi). Siin tulevad mängu ajalised piirid ning seetõttu on vajalik määratleda katendi projekteeritud eluiga. Tellijad tahavad oma investeeringuid tagasi saada ning harilikult arvestatakse selliste arvutuste tegemisel vastavaks perioodiks 5–30 aastat. Tee projekteeritud elueaks loetaksegi investeeringute tagasisaamise perioodi. Arvestusliku liikluse (ehk perioodi jooksul oodatavate ESALite arvu) prognoosimine on väga tähtis, kuna nendest andmetest sõltub katendi kihtide arv, paksus ja materjalide valik ning seega ka tee maksumus.

Liiklussageduse kirjeldamiseks kasutatakse mitmeid erinevaid klassifikatsioone. Sageli kasutatavad terminid „väike/keskmise/suur“ on liiga subjektiivsed ja neid ei saa katendi projekteerimisel kasutada. Tavaliselt kasutatakse süsteemi, mis klassifitseerib liikluse koormamisvahemikeks. Tabelis A4.1 kirjeldatakse ühte sellist süsteemi, mis on kasutusel kõikides Lõuna-Aafrika riikides.

Tabel A4.1 Katendi tüüpiline klassifitseerimine	
Klass	ESAL x 10⁶
T0	< 0,3
T1	0,3 – 1,0
T2	1,0 – 3,0
T3	3,0 – 10,0
T4	10,0 – 30,0
T5	30,0 – 100,0

Selleks, et muuta liiklusloenduste tulemused projekteerimiseks vajalikuks informatsiooniks, tuleb sõidukite koosseisu (käsitletakse edaspidi) väljendada ESALites. Tabelis A4.2 esitatud arve võib kasutada erinevate raskeveokite poolt teele rakendatavate ESALite arvu määramisel. Siinkohal tuleb märkida, et kergeid sõidukeid arvesse ei võeta ja seega pole nad katendi projekteerimise seisukohalt olulised. Tabelis A4.2 esitatud ESALid sõiduki kohta saadi Lõuna-Aafrikas kogutud andmete põhjal ja need ei pruugi sobida teiste riikide puhul, kus on teistsugust tüüpi sõidukid ja sõidukite koosseis. Seetõttu tuleb vastavad andmed saada vastavalt ametilt (kui võimalik) või liiklusloendusest.

Tabel A4.2 ESALite arv sõiduki kohta		
Sõiduki tüüp	Vahemik	Keskmine
2-teljeline veoauto	0,3 – 1,1	0,70
2-teljeline buss	0,4 – 1,5	0,73
3-teljeline veoauto	0,8 – 2,6	1,70
4-teljeline veoauto	0,8 – 3,0	1,80
5-teljeline veoauto	1,0 – 3,0	2,20
6-teljeline veoauto	1,6 – 5,2	3,50
7-teljeline veoauto	3,8 – 5,0	4,40

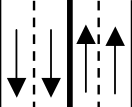
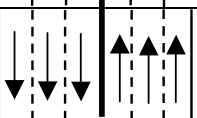
Eriti tugevate katendite tarvis, nagu lennurajad ja kaevandusteel, on vaja määratleda ka eraldi klass. Selliseid katendeid käesolevas juhendis siiski ei käsitleta ning neid võib lugeda eriotstarbeliste katendite hulka.

A4.3 Liikluskoormuse prognoos

Olemasolevaid andmeid kasutatakse liikluskoormuse ADE prognoosimiseks. Kui on olemas AADT arvud, kasutatakse esialgse ADE prognoosimiseks valemit A4.1.

$$\text{ADE} = \text{AADT} \times f_H \times f_E \times f_L \times f_G \times f_W \quad [\text{valem A4.1}]$$

kus: f_H – raskeveokite protsent
 f_E – prognoositud keskmine ESAL raskeveoki kohta
 f_L – liikluse sõiduradade vahelise jaotumise tegur (vt tabel A4.3)
 f_G – kalde tegur (vt tabel A4.4)
 f_W – sõiduraja laiuse tegur (vt tabel A4.5)

Tabel A4.3 Sõiduradade vahelise jaotumise tegur			
Sõiduradade arv (mõlemas suunas kokku)	Aeglane sõidurada	Keskmine sõidurada	Kiire sõidurada
 2	0,5		
 4	0,48		0,15
 6	0,35	0,3	0,13

Liikluse sõiduradade vahelise jaotumise teguri määramisel on vaja olla tähelepanelik, eelkõige mitme sõidurajaga maanteedel, kus aeglasel sõidurajal sõidab alati rohkem raskeid veokeid kui keskmisel või kiirel sõidurajal. Tabelis A4.3 esitatud tegurid põhinevad

Lõuna-Aafrikas dokumenteeritud andmetel. Riigiti on need tegurid erinevad, kuna nad peegeldavad juhtide harjumusi, liiklusseadusi jms. Tabeli A4.3 andmed peegeldavad sõidukite tavalist jaotumist sõiduradade vahel linnadevahelisel maanteel. Pilt ei ole aga selline teede puhul, kus raskeveokid liiguvad peamiselt ühes suunas (nt farmist turule ja kaevandusest raudteejaama).

Kalde teguriga võetakse arvesse efektiivse (mõjuva) rattakoormuse suurenemist, mis on tingitud järskudest tõusudest üles sõitvate raskeveokite aeglasest kiirusest, ning sõiduraja laiuse teguriga võetakse arvesse koormuse kontsentreerumise efekti (paiknemist). Tabelites A4.4 ja A4.5 esitatud tegurid on välja töötatud Saksamaal ja need on avaldatud väljaandes „RStO 01“.

Tabel A4.4 Kalde tegur	
Kalle (%)	f_G
< 2	1,0
2 – 4	1,02
4 – 5	1,05
5 – 6	1,09
6 – 7	1,14
7 – 8	1,20
8 – 9	1,27
9 – 10	1,35
> 10	1,45

Tabel A4.5 Sõiduraja laiuse tegur	
Sõiduraja laius	f_W
< 2,5 m	2,0
2,5 – 2,75 m	1,8
2,75 – 3,25 m	1,4
3,25 – 3,75 m	1,1
> 3,75	1,0

(Mõnede riikide projekteerimiseeskirjades välistatakse sõiduraja laiuse teguri kasutamine, kuna eeldatakse, et liiklusvool on kanaliseeritud. Seega on f_W väärtus konstantne ning võrdne 1).

Ettevaatlik tuleb olla prognooside puhul, mis põhinevad AADT-l, raskeveokite keskmisel protsendil ja ESALite keskmisel arvul raskeveoki kohta (F_E), kuna need näitajad on puhtalt hinnangulised ja neid ei tohi kasutada paksude katendite projekteerimisel esmaste algandmetena. Kui liiklusandmete täpsuse või sobivuse osas on mingeid kahtlusi, tuleb viia läbi üksikasjaline liiklusuuring, et määrata sõiduraja õige ADT. Selleks võib kasutada mitmeid uurimismeetodeid.

A4.3.1 Liiklusloendused

Liiklusloendusi viiakse tavaliselt läbi konkreetsetes kohtades (näiteks ristmikel) 12, 18 või 24 tunni jooksul. Lühema aja jooksul läbi viidud loenduse võib muuta 24-tunniseks, kasutades vastava AADT saamiseks vastavat koefitsienti. Raskeveokite arvu väljendatakse tavaliselt protsendina AADT-st.

Liiklusloendused peavad peegeldama kõikidel sõiduradadel (mõlemas suunas) liikuvate sõidukite arvu sõidukitüüpide kaupa. Tee kategooria (nt kiirtee või sissesõidutee) ja olemasolev tehnoloogia dikteerivad tavaliselt selle, kas loendus viiakse läbi elektrooniliselt või mitte. Tänapäeval on sõiduki telgede loendamiseks (ja isegi liikumise pealt kaalumiseks, vt edaspidi) olemas keerulised meetodid, kuid need on kallid ja seetõttu kasutatakse neid ainult oluliste teede puhul. Kõige levinumaks ja ka kõige usaldusväärsemaks (sõltub siiski

seda läbi viivate inimeste kompetentsusest) meetodiks on endiselt sõidukite füüsiline loendus. Loenduse käigus saab teha ka muid visuaalseid tähelepanekuid, tänu millele leiavad kinnitust teatud oletused ning tagatakse liikluskoormuse täpsem prognoos. Hinnata tuleb järgmisi üksikasju:

- sõidukite koormatus (tühi, pooltühi või täis) ning koorma tüüp;
- sõiduki tüüp ja telgede arv raskeveoki kohta;
- maa kasutus ja arengusuunad; ning
- valmis tee puhul asjaolud, mis nii-öelda tõmbavad liiklust ligi.

Tähelepanekud aitavad määrata erinevat tüüpi sõidukite ESALite arvu sõiduki kohta (tabel A4.2) ning parandada liikluskasvu prognoosi täpsust.

Kui uuringud on lõpetatud, määratakse iga sõidurea ADE valemiga:

$$ADE = \Sigma [n_J \times (F_E)_J] \quad [\text{valem A4.2}]$$

kus: n_J – sõidukite arv iga sõiduki tüübi puhul (J)
 $(F_E)_J$ – keskmine hinnanguline ESALite arv sõiduki kohta iga sõiduki tüübi puhul (J).
 (Vt tabel A4.2).

Sõidukite ülekoormatuse aste ja ulatus on olulised andmed, kuna katendi projekteerimine toimub standard teljekoormuse alusel. Ülekoormatus kahjustab katendit ning seetõttu tuleb vastavat informatsiooni kindlasti hankida, tavaliselt saab seda korrakaitseorganitest. Usaldusväärse informatsiooni puudumisel tuleks läbi viia sõidukite koormatuse uuring. Representatiivne valim raskeveokeid tuleb füüsiliselt ära kaaluda ning määrata ülekoormatud sõidukite arv (või protsent) ning ülekoormatuse aste. Tulemusi võib seejärel ekstrapoleerida raskeveokite koguarvule.

A4.3.2 *Staatiline või dünaamiline kaalumine*

Tegelike teljekoormuste määramiseks viiakse teel läbi kahte sorti kaalumist:

- staatiline kaalumine on seisvate sõidukite kaalumine ja seetõttu piirdub see konkreetsel teel liikuvate sõidukite valimiga. Tuleb jälgida, et valim peegeldaks liikluse tegelikku koosseisu, mitte ainult koormatud sõidukeid. Seega ei tohi kasutada kaalumiste tulemusi, mida korrakaitseorganid on läbi viinud muudel eesmärkidel;
- dünaamilise kaalumise käigus kaalutakse sõidukeid teatud kohas liikumise pealt. Tavaliselt tehakse seda seitsme päeva jooksul. Meetod on liiklusprognooside seisukohalt kõige täpsem ja sobivam ning selle tulemusel saadakse telgede arv kindlaksmääratud teljemassi kategooriate kaupa. Suhteliselt suure maksumuse tõttu see meetod end väikeste teede puhul siiski ei õigusta.

Kui uuringud on lõpetatud, määratakse iga sõidurea ADE valemiga:

$$ADE = \Sigma (n_M \times D_M) \quad [\text{valem A4.3}]$$

kus: n_M – telgede arv igas kindlaksmääratud teljemassi kategooria (M) puhul
 D_M – keskmine arvutatud ESALite arv teljemassi kategooria (M) kohta

Keskmine ESALite arv teljemassi kategooria kohta arvutatakse valemiga:

$$D_M = (P_M / SAL)^d \quad [\text{valem A4.4}]$$

kus: P_M – teljekoormus (kN) iga teljemassi kategooria puhul
 SAL – vastav standardteljekoormus (kN) (nt 80 kN)
 d – kahjustuste koefitsient. See sõltub katendi tüübist ja erinevate kihtide materjalist. Tavaliselt kasutatakse keskmist väärtust, $d=4$. Õhukeste katendite (õhukesed, kuid tugevad pealmised kihid) puhul on $d > 4$, paksemate ja vähemtundlike katendite puhul on $d < 4$.

A4.4 Arvestusliku liikluse (konstruktsioonilise kandevõime) määramine

Kui sõiduraja ADE on määratud, arvutatakse projekteeritud eluea jooksul liikluskasvust tingitud ADE suurenemine järgmise valemiga:

$$ESAL_{\text{kokku}} = ADE \times f_j \quad [\text{valem A4.5}]$$

kus: $ESAL_{\text{kokku}}$ – konstruktsiooniline kandevõime projekteeritud eluea jooksul
 f_j – summaarne kasvutegur

$$f_j = \frac{365 \times (1 + 0,01i) \times [(1 + 0,01)^y - 1]}{(0,01i)} \quad [\text{valem A4.6}]$$

kus: i – liikluse prognoositav kasvumäär protsentides
 y – projekteeritud eluiga aastates.

Summaarse kasvuteguri võib leida ka vastavatest tabelitest, näiteks tabelist A4.6.

Tabel A4.6 Summaarne kasvutegur f_j					
Projekteeritud eluiga y (aastates)	f_j aastase kasvumäära i puhul				
	$i = 2\%$	$i = 4\%$	$i = 6\%$	$i = 8\%$	$i = 10\%$
5	1 937	2 056	2 181	2 313	2 451
8	3 195	3 498	3 829	4 193	4 592
10	4 077	4 558	5 100	5 711	6 399
12	4 993	5 704	6 527	7 481	8 586
15	6 438	7 601	9 005	10 703	12 757
20	9 046	11 304	14 232	18 039	22 996
25	11 925	15 809	21 227	28 818	39 486
30	15 103	21 290	30 588	44 656	66 044

Märkus: tabel A4.6 ei sisalda muutujate i ja y kõiki väärtusi ning vahepealsete väärtuste määramisel tuleb olla ettevaatlik, kuna interpoleerimine või ekstrapoleerimine võivad anda ebatäpseid tulemusi. Seepärast on soovitatav arvutada f_j valemiga A4.6.

Liikluse kasvumäära i hindamisel tuleb peale tavapärase majanduskasvu arvestada ka muid kasvu mõjutavaid tegureid. Korras teid hakkavad sageli kasutama ka need sõidukid, mis varem kasutasid teist marsruuti.

1. lisas on esitatud näide, kuidas antud valemite abil määrata arvestuslikku liiklust.

A4.5 Arvestusliku liikluse prognoosimine praktikas

Konstruktsioonilise kandevõime (projekteeritud eluea) määramisel tuleb järgida eespool kirjeldatud menetlust. Planeerimise hõlbustamiseks ja olemasoleva katendi puudujääkide hindamiseks on sageli vaja teada, milline peaks olema konkreetse tee konstruktsiooniline kandevõime. Selliseid prognoose tehakse tavaliselt kohe projekti alguses, et saada aimu, millist tüüpi katendit on antud liiklustaseme puhul vaja teha.

Kui raseveokite arv on teada, saab konstruktsioonilist kandevõimet ligikaudselt hinnata tabeli A4.7 abil. Tabelist saab määrata $ESALites \times 10^6$ väljendatud katendi arvestusliku liikluse (konstruktsioonilise kandevõime) sõltuvalt päeva jooksul sõidurada läbinud raseveokite arvust ning kolmest muutujast – summaarsest liikluskasvust, katendi projekteeritud elueast (aastates) ning koormustegurist (keskmine ESALite arv raseveoki kohta).

Näide: kui kahe sõidureaga teed läbib ööpäevas ühes suunas 100 sõidukit, keskmine ESALite arv raseveoki kohta on 2 ja summaarne liikluskasv 4% aastas, leiame tabelist, et konstruktsiooniline kandevõime 10-aastase projekteeritud eluea puhul on $0,91 \times 10^6$ ESALit. Kui keskmine ESALite arv raseveoki kohta on 3,5, on konstruktsiooniline kandevõime $1,6 \times 10^6$ ESALit.

Märkus: tabeli kasutamisel tuleb silmas pidada, et konstruktsioonilise kandevõime prognoosimisel on olulisi piiranguid ning väärtusi tuleks käsitleda suunavaina. Suurim puudus on see, et puudub raseveoki täpne definitsioon ja eeldatakse, et teljekoormus on kõigil sama – 80 kN. Seetõttu ei tohiks katendite projektid põhineda üksnes nendel andmetel, vaid käesolevas osas kirjeldatud protseduurile peab alati järgnema nõuetekohane liiklusanalüüs ja prognoos.

Tabel A4.7 Arvestusliku liikluse (konstruktsioonilise kandevoime) määramine miljonites 80 kN standardteljekoormuse ekvivalentides (ESAL x 10⁶)

Raske- veokite arv ööpäevas	Sum- maarne liiklus- kasv	Katendi projekteeritud eluiga															
		5				10				15				20			
		Sõiduki koormustegur (80 kN ESAL raskeveoki kohta)															
		0.6	2	3.5	4.4	0.6	2	3.5	4.4	0.6	2	3.5	4.4	0.6	2	3.5	4.4
10	2%											0.28			0.32	0.40	
	4%											0.27	0.33		0.28	0.40	
	6%											0.32	0.40		0.36	0.50	
	8%											0.37	0.47		0.36	0.63	
20	2%							0.29	0.36		0.26	0.45	0.57		0.45	0.63	0.80
	4%							0.32	0.40		0.30	0.53	0.67		0.57	0.79	0.99
	6%							0.36	0.45		0.36	0.63	0.79		0.72	1.00	1.25
	8%							0.40	0.50		0.43	0.75	0.94		0.90	1.26	1.59
50	2%			0.34	0.43		0.41	0.71	0.90		0.64	1.13	1.42	0.27	1.13	1.58	1.99
	4%			0.36	0.45		0.46	0.80	1.00		0.76	1.33	1.67	0.34	1.42	1.98	2.49
	6%			0.38	0.48		0.51	0.89	1.12	0.27	0.90	1.58	1.98	0.43	1.80	2.49	3.13
	8%			0.40	0.51		0.57	1.00	1.26	0.32	1.07	1.87	2.35	0.54	1.81	3.16	3.97
100	2%		0.39	0.68	0.85		0.82	1.43	1.79	0.39	1.29	2.25	2.83	0.54	2.26	3.17	3.98
	4%		0.41	0.72	0.90	0.27	0.91	1.60	2.01	0.46	1.52	2.66	3.34	0.68	2.85	3.96	4.97
	6%		0.44	0.76	0.96	0.31	1.02	1.78	2.24	0.54	1.80	3.15	3.96	0.85	3.61	4.98	6.26
	8%		0.46	0.81	1.02	0.34	1.14	2.00	2.51	0.64	2.14	3.75	4.71	1.08	9.05	6.31	7.94
500	2%	0.58	1.94	3.39	4.26	1.22	4.08	7.13	8.97	1.93	6.44	11.27	14.16	2.71	11.30	15.83	19.90
	4%	0.62	2.06	3.60	4.52	1.37	4.56	7.98	10.03	2.28	7.60	13.30	16.72	3.39	14.23	19.78	24.87
	6%	0.65	2.18	3.82	4.80	1.53	5.10	8.92	11.22	2.70	9.01	15.76	19.81	4.27	18.04	24.91	31.31
	8%	0.69	2.31	4.05	5.09	1.71	5.71	9.99	12.56	3.21	10.70	18.73	23.55	5.41	18.09	31.57	39.69
1000	2%	1.16	3.87	6.78	8.52	2.45	8.15	14.27	17.94	3.86	12.88	22.53	28.33	5.43	22.61	31.66	39.80
	4%	1.23	4.11	7.20	9.05	2.73	9.12	15.95	20.05	4.56	15.20	26.60	33.44	6.78	28.46	39.56	49.74
	6%	1.31	4.36	7.63	9.60	3.06	10.20	17.85	22.44	5.40	18.01	31.52	39.62	8.54	36.08	49.81	62.62
	8%	1.39	4.63	8.09	10.18	3.43	11.42	19.99	25.13	6.42	21.41	37.46	47.09	10.82	54.28	63.14	79.37
3000	2%	3.49	11.62	20.34	25.57	7.34	24.46	42.80	53.81	11.59	38.63	67.60	84.99	16.28	67.82	94.98	119.41
	4%	3.70	12.34	21.59	27.14	8.20	27.35	47.85	60.16	13.68	45.61	79.81	100.33	20.35	85.39	118.69	149.21
	6%	3.93	13.09	22.90	28.79	9.18	30.60	53.55	67.32	16.21	54.03	94.56	118.87	25.62	108.24	149.44	
	8%	4.16	13.88	24.28	30.53	10.28	34.26	59.96	75.38	19.27	64.22	112.39	141.28	32.47	90.46	189.41	
5000	2%	5.81	19.37	33.91	42.62	12.23	40.77	71.34	89.68	19.32	64.38	112.67	141.64	27.14	113.04		
	4%	6.17	20.56	35.98	45.23	13.67	45.58	79.76	100.27	22.80	76.01	133.02		33.91	142.32		
	6%	6.54	21.81	38.17	47.98	15.30	51.00	89.24	112.19	27.02	90.05			42.70			
	8%	6.94	23.13	40.47	50.88	17.13	57.11	99.94	125.63	32.11	107.03			54.12			
Legend:  < 0.25 x 10 ⁶ ESALs  > 250 x 10 ⁶ ESALs																	

LISA 5

Stabiliseerimisprojektide spetsifikatsioonide koostamise juhised

A5.1 Kasutusala

A5.2 Materjalid

A5.2.1 Kohapealsed katendimaterjalid

A5.2.2 Mujalt toodud looduslik või töödeldud materjal

A5.2.3 Sideained

A5.2.4 Vesi

A5.3 Seadmed

A5.3.1 Segamisfreesid

A5.3.2 Tihendamis- ja viimistlusseadmed

A5.3.3 Bituumensideainete tsisternid

A5.4 Ehitamine

A5.4.1 Üldised piirangud ja nõuded

A5.4.2 Nõuded enne stabiliseerimise algust

A5.4.3 Sideainete lisamine

A5.4.4 Stabiliseerimine

A5.4.5 Muldkeha ebastabiilsus

A5.4.6 Tihendamine ja viimistlemine

A5.4.7 Näidislõigud

A5.5 Kaitsmine ja hooldus

A5.6 Lubatud kõrvalekalded

A5.6.1 Pinnakõrgused

A5.6.2 Kihi paksus

A5.6.3 Laius

A5.6.4 Põikprofiil

A5.6.5 Pinna tasetas

A5.7 Jooksev kontroll ja katsed

A5.7.1 Sideaine kulunorm

A5.7.2 Stabiliseeritud materjali tugevus

A5.7.3 Saavutatud tihedus

A5.8 Mahtude arvutamine ja maksmine

A5.8.1 Mahtude tabeli näidis

A5.9 Näide töökirjelduse kohta

A5.9.1 Sissejuhatus

A5.9.2 Lähtepositsioonid

A5.10 Juhiseid külmstabiliseerimiskihi laotamiseks vajalike masinate valimisel

A5.10.1 Masinad külmstabiliseerimiseks teel

Lisa 5: Stabiliseerimisprojektide spetsifikatsioonide koostamise juhised

Kuna katendite taastamine stabiliseerimise teel on suhteliselt uus tehnoloogia, on ka suhteliselt vähe ehitusele esitatavaid nõudeid käsitlevaid standardspetsifikatsioone. Käesolevad juhised aitavad koostada vastavat lepingudokumentatsiooni. Tavaformaati ja standardspetsifikatsiooni pealkirju järgivates juhistes antakse juhtnööre ja tuuakse näiteid oluliste punktide kohta, mida tuleb käsitleda, et vältida konflikte ja kahjunõudeid, mis on paratamatud, kui spetsifikatsioon ebaselge.

A5.1 Kasutusala

Stabiliseerimist puudutavates spetsifikatsioonides käsitletakse kõiki töid, mis on seotud uue katendikihi ehitamisega, mille käigus taaskasutatakse olemasoleva tee pealmiste kihtide materjali. Kõnealused tööd on järgmised:

- olemasoleva katendi pealmistes kihtides oleva materjali purustamine ja taaskasutamine;
- taaskasutatava materjali terakoostise muutmine mujalt toodud materjali lisamise teel;
- sideainete ja vee tarnimine ning lisamine;
- stabiliseeritud materjali segamine, paigaldamine, tihendamine ja profileerimine.

Tavaliselt ei ole katendi koostis kõikjal ühesugune. Lisaks erinevustele kihi paksuses ja materjali kvaliteedis on erinevusi ka katendi pealmises osas, mis on tekkinud katendi eluajal tehtud hooldus- ja remonditööde tagajärjel. Spetsifikatsioonis tuleb kirjeldada lepingu alusel stabiliseeritavat (stabiliseeritavaid) katendit (katendeid) ning määratleda stabiliseerimissügavus ja tüüp (nt töödelda 175 mm sügavuselt 2,5% tavalise portland tsemendi ja 2,5% bituumenemulsiooniga) ning lõpptootele esitatavad nõuded.

Kui on tegemist rohkem kui ühte tüüpi stabiliseerimisega, tuleb põhjalikult kirjeldada kõiki. Näiteks kui stabiliseerimise teel tuleb taastada 32,9 km pikkune lõik ja erinevat töötlemist vajavaid katendi tüüpe on seitse, tuleb neid üksikasjalikult kirjeldada nagu näidatud järgmises tabelis.

Tabel A5.1 Näide erinevate stabiliseerimistööde kohta

Nr	Algus	Lõpp	Pikkus (m)	Stabiliseerimissügavus (mm)	Stabiliseerimiseks vajalik töötlemine
1	29+900	32+900	3000	175	Eelnevalt töödelda 2% lubjaga. 24 tunni jooksul stabiliseerida 3,5% vahtbituumeniga.
2	32+900	35+000	2100	200	Stabiliseerida 1% tsemendi ja 3% vahtbituumeniga
3	35+000	38+600	3600	150	Lisada 40 mm kiht sõelmeid ning stabiliseerida 2,5% vahtbituumeniga.
4	38+600	49+400	10800	250	Töödelda 3% tsemendiga, see jääb uueks aluskihiks. Tuua mujalt ja laotada teele 125 mm paksune kiht freesipuru ning stabiliseerida 150 mm 2% vahtbituumeniga.
5	49+400	54+800	5400	225	Eelnevalt töödelda 2% lubjaga. 24 tunni jooksul stabiliseerida 3,5% vahtbituumeniga.
6	54+800	61+000	6200	150	Lisada 40 mm kiht sõelmeid ning stabiliseerida 2,5% vahtbituumeniga.
7	61+000	62+800	1800	250	Töödelda 3% tsemendiga, see jääb uueks aluskihiks. Tuua mujalt ja laotada teele 125 mm paksune kiht freesipuru ning stabiliseerida 150 mm 2% vahtbituumeniga.

Lisaks sellele tuleb määratleda projekteerimisnõuded sideaine(te)ga töödeldud iga materjalitüübi kohta. Tavaliselt esitatakse need tabelis, kus on määratletud tugevusnäitajatele ja tihendatud kihi tihedusele esitatavad miinimumnõuded. Järgmine näidistabel hõlmab nii tsemendi kui vahtbituumeniga stabiliseerimist.

Lõik	Materjali päritolu / stabiliseerimis-sügavus (mm)	Sideaine kulunorm (massi%)		Min tugevusnõuded (proovikeha Ø 150 mm)		Min tihedus
		Tsement	Vaht-bituumen	ITS (kPa)	UCS (MPa)	% modif. AASHTO T-180
km 1+200 kuni 2+800	Kohapealne / 250	3		200	1,5	98
km 1+200 kuni 2+800	Mujalt toodud / 125	1	3,5	200	1,2	102
km 2+800 kuni 8+600	Kohapealne / 200	1	2,5	175	1,0	100
km 8+600 kuni 12+800	Kohapealne / 300	2,5		200	1,5	98
km 8+600 kuni 12+800	Mujalt toodud / 150	1	3,0	225	1,2	102

Tabeli koostamisel juhendatakse seguprojektide tulemustest ja katendi projekteerimisel tehtud oletustest. Samuti tuleb täpsustada tugevuse määramise meetod.

Hoiatus spetsifikatsioonide koostajatele: kindlaksmääratud väärtused peavad olema saavutatavad ka tegelikkuses ja seepärast on oluline konsulteerida uuringuid kohapeal läbi viivate ning projekteerimise eest vastutavate spetsialistidega. Näiteks on ebapraktiline nõuda stabiliseeritud kihi 102% tihedust, kui kandev aluskiht on stabiliseerimata. Samuti pole mõtet võtta tugevusnõudeks laborisegu projektis saadud keskmisele tugevusele lähedast väärtust.

Tavaliselt lisatakse spetsifikatsiooni järgmine lause, millega määratakse ära vastutus: „Töövõtja on kohustatud organiseerima ja teostama töid nii, et nimetatud nõuded oleksid täidetud.“

A5.2 Materjalid

A5.2.1 Kohapealsed katendimaterjalid

Ära tuleb näidata projekteerimise ja taastusremondi nõuete kindlaksmääramise eest vastutavate isikute poolt läbi viidud katendi uuringute üksikasjad, tavaliselt tehakse seda lisas. Need uuringud hõlmavad:

- olemasoleva katendikonstruktsiooni üksikasjalikku kirjeldust;
- läbi viidud katsete tulemusi, mis iseloomustavad katendi pealmiste stabiliseeritavate kihtide materjali terakoostist, plastsust ja teisti olulisi omadusi;
- olemasoleva katendi erinevate materjalide kohapealset niiskusesisaldust uuringute läbiviimise hetkel.

Tavaliselt lisatakse spetsifikatsiooni järgmine lõik:

„Käesolev informatsioon edastatakse heas usus, kuid proovide võtmise ja katsetamise ajal valitsenud tingimuste ja edastatud andmete tüübi tõttu ei pruugi kõik andmed olla õiged ehitamise ajal ega peegeldada kohapealseid tingimusi. Kui töövõtja usaldab saadud informatsiooni, teeb ta seda omal vastutusel, kuid ta võib teostada ise katseid, et määrata kindlaks, millised on tingimused ehitamise ajal.“

A5.2.2 *Mujalt toodud looduslik või töödeldud materjal*

Kui projekti tingimused näevad ette mujalt toodud materjali segamist olemasoleva katendi materjaliga, tuleb koos põhjendustega esitada ka mujalt toodava materjali liigi ja koguse spetsifikatsioon. Tavaliselt tuuakse mujalt materjali ühel või mitmel järgmisel põhjusel:

- stabiliseeritava materjali terakoostise muutmiseks;
- viia läbi mehaanilist töötlemist; ja/või
- täiendada stabiliseeritud materjali tee profiili parandamiseks.

Selleks, et teha majanduslikult kõige tasuvam pakkumine, peavad töövõtjad mõistma, milline mõttekäik on selle nõude taga, kuna lahendusi on mitu (nt osta materjal valmis kujul või rajada oma purustussõlm).

Lisaks sellele tuleb ära märkida kõik materjali mujalt toomist käsitlevad eritingimused (nt kas materjal tuleb tuua enne või pärast olemasoleva katendi eelnevat purustamist). Samuti tuleb määrata kindlaks mujalt toodava materjali tüüp (nt fraktsioneeritud killustik, mille CBR > 100% sõelkõverate normpiirkonnas) ja kogus (nt 30% uue kihi mahust; või laotamiseks olemasoleva katendi pinnale 75 mm kihina (enne tihendamist)).

A5.2.3 *Sideained*

Projektis kasutatavate sideainete tüüp ja kvaliteet tuleb selgelt määratlada koos nende tootmist ja kasutamist käsitlevate mis tahes normidega (nt tavaline portland tsement, mis vastab BS 12 nõuetele). Lisaks sellele tuleb ära märkida erinõuded (nt käsitlemise ja ladustamise kohta). Kui sideainena kasutatakse tsementi, lisatakse tavaliselt spetsifikatsiooni järgmine lõik:

„Hankimise hetkest kuni kasutamiseni tuleb tsementi hoida kaetult ning kaitsta seda niiskuse eest vastavalt tootja või tarnija soovitudele. Kõik materjali partiid tuleb ära kasutada nende objektile saabumise järjekorras. Üle kolme kuu objektile seisnud materjale ei tohi ilma vastava loata kasutada.“

Vahtbituumeniga stabiliseerimise puhul tuleb määratlada bituumeni tüüp (nt penetratsiooniate 80/100) ning tavaliselt lisatakse spetsifikatsiooni järgmine lõik:

„Vahtbituumeni valmistamiseks vajalik bituumenit kuumutatakse, ladustatakse ja lisatakse ranges kooskõlas järgmiste nõuetega. (Nõuete loetelu, nt max temperatuur 200 °C). Stabiliseerimiseks vajalik bituumen tuuakse objektile tsisternides. Igale tsisternile antakse kaasa „Laadimistunnistus“, mis sisaldab järgmist teavet:

- tsisterni tunnusandmed;
- toote tunnusandmed (näiteks bituumen penetratsiooniasümega 150/200);
- bituumeni tarnija nimi;
- partii number ja valmistamiskuupäev;
- kaalumistunnistus, kus on näidatud toote netomass;
- temperatuur, mille juures toode peale laaditi;
- pealelaadimise kuupäev, aeg ja koht;
- märkused, mis puudutavad tsisterni seisukorda laadimisel (nt seesmine puhtus, üksikasjad eelmise koorma kohta ning kas eelmisest koormast oli jäänud jääkprodukte); ning
- üksikasjad kemikaalide või muude ainete (näiteks nakkelisandite) lisamise kohta enne laadimist, selle ajal või pärast seda.“

A5.2.4 Vesi

Tuleb ära määratleda ehitusel kasutatava vee kvaliteedile esitatavad piirangud. Kui sideainena kasutatakse tsementi, lisatakse tavaliselt spetsifikatsiooni järgmine lõik:

„Vesi peab olema puhas ja ei tohi sisaldada happeid, leeliseid, soolasid, suhkrut ega teisi orgaanilisi või keemilisi aineid. Kui vett ei võeta ühisveevärgist, tuleb selle sobivust tõestada katsetega.“

A5.3 Seadmed

Et vältida ebasobivate masinate kasutamisest tingitud töö kehva kvaliteeti, lisatakse tavaliselt spetsifikatsiooni järgmine lõik:

„Kõiki seadmeid tuleb tarnida ja käitada viisil, mis võimaldab stabiliseerida materjali nõutud sügavuses ning ehitada uus kiht kooskõlas spetsifikatsioonis esitatud nõuetega. Kõik kohapeal kasutatavad seadmed peavad olema piisava võimsusega ning heas töökorras. Vananenud, kehvalt hooldatud või lagunenud seadmeid ei tohi objektile lubada.“

„Järgmistes punktides loetletakse stabiliseerimisel kasutatavate seadmete miinimumnõuded. Töövõtja esitab järelevalveinsenerile stabiliseerimisel kasutatavate seadmete üksikasjad ja tehnilised spetsifikatsioonid vähemalt kaks nädalat enne nende planeeritavat kasutamist.“

A5.3.1 Segamisfreesid

„Stabiliseerimist tuleb teostada täiustatud freesmasina või spetsiaalse segamisfreesiga, mis taaskasutavad olemasoleva katendi pealmiste kihtide materjali ja segavad seda mujalt toodud ja ühtlase kihina teele laotatud materjaliga. Kasutatavate masinate ja seadmetega peab olema võimalik saavutada vajalik terakoostis ja segu konsistents ühe läbikuga. Segamisfrees peab vastama vähemalt järgmistele nõuetele:

- segamisfrees peab olema valmistatud tehases tootja poolt, kellel on sel alal pikaajalised kogemused;
- kui segamisfrees on üle kümne aasta vana, peab tootja või tootja volitatud esindaja kinnitama selle sobivust otstarbekohaseks kasutamiseks mitte varem kui kolm kuud enne tööde algust;
- freestrumli minimaalne laius peab olema kaks meetrit ja selle pöörlemiskiirus peab olema muudetav. Segamisfrees peab suutma stabiliseerida ühe läbikuga vähemalt x mm sügavuselt (märkida projekti maksimaalne stabiliseerimissügavus).
- segamisfreesil peab olema horisontaaltasapinna kontrollsüsteem, mille abil hoitakse kogu tööoperatsiooni vältel freesimissügavus lubatud kõrvalekalde (± 10 mm) piires;
- vastupäeva pöörlev freestrummel asub suletud kambris, kus taaskasutatavale materjalile lisatakse pidevalt vett ja sideaineid koguses, mis on vajalik, et saavutada segu vastavus laboriseguga;
- kõikide segamisfreesile paigaldatud pihustussüsteemide tööd kontrollib mikroprotsessor, reguleerides voolukiirust vastavalt segamisfreesi edasiliikumiskiirusele. Pihustussüsteemide pihustamislaius peab olema samuti reguleeritav; ning
- segamisfreesi võimsus peab olema piisav, et segada stabiliseeritav materjal kõikide lisanditega, mille tulemusel saadakse homogeenne stabiliseeritud materjal.“

Lisaspetsifikatsioonides käsitletakse sideaine tüübist sõltuvaid nõudeid. Järgmised näited käivad tsemendi, bituumenemulsiooni ja vahtbituumeniga stabiliseerimise kohta.

Lisanõuded tsemendiga stabiliseerimise puhul

Kui tsementi ei laotata enne stabiliseerimist otse teele, lisatakse see segamisfreesis tsemendilobrina, mida valmistatakse segamisfreesi ees lükatavas lobrisegistis. Lobrisegistile kehtivad järgmised nõuded:

- lobrisegisti peab suutma valmistada tsemendilobri kogu tööoperatsiooni vältel koguses, mis on vajalik vastavuse saavutamiseks laboriseguga;
- tsemendilobri etteandekiirust peab olema võimalik reguleerida vastavalt segamisfreesi edasiliikumiskiirusele ja materjali mahule;
- homogeense segu saamiseks tuleb tsemendilobri lisada stabiliseeritud materjalile ühtlaselt; ning
- tsemendi kulu peab olema võimalik töö käigus kontrollida lihtsate mõõtmisega.

Lisanõuded bituumenemulsiooniga stabiliseerimise puhul

Lisaks sellele kehtivad segamisfreesile järgmised nõuded:

- bituumenemulsiooni juurdevool peab kogu tööoperatsiooni vältel olema selline, et saadud materjali segu vastaks laborisegule;
- bituumenemulsiooni etteandekiirust peab olema võimalik reguleerida vastavalt segamisfreesi edasiliikumiskiirusele ja materjali mahule;
- homogeense segu saamiseks tuleb bituumenemulsiooni lisada stabiliseeritud materjalile ühtlaselt; ning
- bituumenemulsiooni kulu peab olema võimalik töö käigus kontrollida lihtsate mõõtmisega.

Lisanõuded vahtbituumeniga stabiliseerimise puhul

Lisaks sellele kehtivad segamisfreesile järgmised nõuded:

- vahtbituumeni juurdevool peab kogu tööoperatsiooni vältel olema selline, et saadud materjali segu vastaks laborisegule;
- vahtbituumeni etteandekiirust peab olema võimalik reguleerida vastavalt segamisfreesi edasiliikumiskiirusele ja materjali mahule;
- homogeense segu saamiseks tuleb vahtbituumenit lisada stabiliseeritud materjalile ühtlaselt; ning
- vahtbituumeni kulu peab olema võimalik töö käigus kontrollida lihtsate mõõtmisega;
- süsteemi töötemperatuuri ja rõhu kontrollimiseks peab bituumeni toititoru olema varustatud vastavate mõõturitega;
- vahtbituumenile iseloomulikku proovi peab olema võimalik saada töö mis tahes etapis (proovidüüsi abil).

Tavaliselt lisatakse käesoleva osa lõppu järgmine lõik:

„Segatud materjal peab segamiskambriist väljuma nii, et ei toimuks osakeste fraktsioneerumist ning materjal laotatakse segamisfreesi edasiliikudes ühtlaselt tagasi freesimisel tekkinud süvendisse. Uue kihi tegemisel laotatakse materjal teehõõvliga alles pärast esmast tihendamist, välja arvatud juhul, kui materjali laotatakse segamisfreesi taha monteeritud tasandusprussiga.“

A5.3.2 Tihendamis- ja viimistlusseadmed

Tihendamisseadmete ebaõige kasutamise ja punktis 6.5.3 kirjeldatud võlvide moodustumise vältimiseks on soovitatav lisada järgmine lõik:

„Stabiliseeritud materjali esmane tihendamine viiakse läbi suure amplituudiga vibratsioonirežiimil töötava raske sileda või nukkidega teerulliga. Teerulli staatiline mass määratakse stabiliseeritava kihi paksuse järgi kooskõlas järgmise tabeliga:

Tihendatava kihi paksus	Teerulli minimaalne staatiline mass (t)
< 150 mm	12
150 – 200 mm	15
200 – 250 mm	19
> 250 mm	24

Esimese teerulli kiirus ei tohi kunagi ületada 3 km/h ja iga paani kogu laiuses tehtud läbikute arv peab olema selline, millest piisab vajaliku tiheduse saavutamiseks kihi alumises kahes kolmandikus. Kui tiheduse kontrollimiseks on ette nähtud kompaktomeeter, peab see seade olema paigaldatud esimesena kasutatavale teerullile.“

A5.3.3 Bituumensideainete tsisternid

Bituumenemulsiooni või vahtbituumeniga stabiliseerimisel tuleb lisada järgmine lõik:

„Segamisfreezi varustamiseks bituumensideainega tuleb kasutada tsisternautosid, mille maht on suurem kui kümme tuhat (10000) liitrit. Tsisternautod peavad olema varustatud kahe kiirühendusega haakeseadmega, milledest üks on ees ja teine taga, ning tänu millele saab segamisfreezi lükata tsisternautot tagant ning viimane omakorda lükata vee tsisternautot enda ees. Objektile ei tohi lubada lekkivaid tsisternautosid. Lisaks sellele peab iga tsisternauto olema varustatud:

- termomeetriga, mis näitab tsisterni sisu temperatuuri alumises kolmandikus; ning
- tagumise toiteventiiliga, mille minimaalne sisemine läbimõõt avatuna on 75 mm ning mis võimaldab tsisterni tühjaks lasta.“

Vahtbituumeni kasutamise puhul lisatakse veel järgmised punktid:

- “välisvoodriga, mis hoiab soojust;
- küttesüsteemiga, mis võimaldab tõsta tsisterni sisu temperatuuri vähemalt 20 °C tunnis.“

A5.4 Ehitamine

Spetsifikatsiooni lisatakse järgmised punktid.

A5.4.1 Üldised piirangud ja nõuded

A5.4.1.1 Ilmastikust tulenevad piirangud

„Töid ei tohi teostada uduse või niiske ilmaga, samuti ei tohi töid alustada, kui on tõenäoline, et neid ei ole võimalik lõpetada enne selliste ilmade saabumist. Töid ei tohi ka teostada, kui õhutemperatuur on alla 5 °C. Kui tööde käigus langeb õhutemperatuur alla 10 °C, tuleb katkestada kõik tööd, välja arvatud viimistlemine ja tihendamine.

Pulbrilisi sideaineid pole lubatud laotada teele taastusmasina ette, kui tuuline ilm seda segab.“

A5.4.1.2 Liikluskorraldus

„Töövõtja on kohustatud tagama liikluse sujuva kulgemise tööalustes lõikudes ning rakendama vajalikke meetmeid ohutuse tagamiseks.“

A5.4.1.3 Ajalised piirangud

„Maksimaalne aeg, mis võib jääda stabiliseeritava materjali sideainega segamise ning paigaldatud materjali tihendamise vahele, sõltub kasutatava sideaine tüübist. Kui kasutatakse kahte või enam sideainet, määratakse maksimaalne aeg lühima aja järgi:

- tsement: kolm (3) tundi;
- kustutatud lubi: kakskümmend neli (24) tundi, kui hoitakse niiskena;
- bituumenemulsioon: aeg enne emulsiooni lagunemist;
- vahtbituumen: nelikümmend kaheks (48) tundi, kui hoitakse pidevalt niiskena;
- patentkemikaalid: vastavalt tootja juhistele.“

A5.4.2 Nõuded enne stabiliseerimise algust

A5.4.2.1 Päevaplaan

Töövõtja peab koostama igaks päevaks plaani, kus oleks loetletud päeva jooksul teostatavad tööd. Päevaplaan peab:

- sisaldama päeva jooksul stabiliseeritava teelõigu eskiisplaani, kus on märgitud lõigu pikkus ja laius, kogu tee laiuse stabiliseerimiseks vajalik paralleelsete paanide arv ning paanide vaheliste pikivuukide ülekatte mõõdud;
- näitama stabiliseeritavate lõikude järjekorda ja pikkust;
- sisaldama hinnangut, kui palju aega kulub iga lõigu freesimiseks, tihendamiseks ja viimistlemiseks. Eskiisil peab olema näidatud ka aeg, mis kulub iga lõigu stabiliseerimiseks;
- näitama ära kohad, kust tuleb kvaliteedi hindamiseks võtta proove.

Kui teisiti pole ette nähtud, peavad pikivuugid hoolimata ülekatte laiusest langema kokku iga muudatusega tee põiklaldes.“

A5.4.2.2 Trassi märkimine

„Enne stabiliseerimistööde algust tuleb olemasolev trass tähistada mõlemale poole teed pandavate tikkudega (või vaiadega). Tikud (või vaiad) tuleb paigutada väljapoole töötsooni, olemasolevast tee telgjoonest konstantsele kaugusele ning sellega täisnurga all. Pärast stabiliseerimistööde lõppu kasutatakse tikke (või vaiu) tee telgjoone taastamiseks. Kõrvuti asetsevate tikkude (või vaiade) vaheline kaugus kurvis ei tohi ületada 20 m ning puutujatel (sirgetel) 40 m.“

A5.4.2.3 Pinna ettevalmistamine

„Enne tööde algust tuleb olemasoleva tee pind valmistada ette järgmiselt:

- puhastada tee taimedest, prahist ja muudest võõrkehadeist kogu laiuses, kaasa arvatud külgnevad sõiduread või teepeenrad, mida ei stabiliseerita;
- eemaldada seisev vesi;

- vajadusel tasandada kõrgemad kohad eelpurustamisega;
- märkida olemasolevale teepinnale täpselt planeeritavad pikilõiked.

Lisaks sellele peab töövõtja märkima stabiliseerimisprotsessi käigus hävivate teepäraldiste (nt kaitsepiirete) asukohad.“

A5.4.2.4 Nõuded tee profiilile ja kõrgusele

„Kui teisiti pole ette nähtud, ei koostata stabiliseeritud tee kõrguse lõplikke nõudeid täpsustavaid projektjooniseid. Kui olemasoleva tee projektjoon ja põikprofiil pole ülemäära moonutatud, peab töövõtja teostama tööd viisil, mis tagaks, et stabiliseeritud tee kõrgused oleksid samasugused kui enne stabiliseerimist. Kui on vaja korrigeerida pinna defekte ja/või muuta projektjoont, antakse vastavad juhised koos tee kõrgusele esitatavate uute nõuetega. Olemasoleva materjali eemaldamiseks võib teed enne stabiliseerimist freesida või tuua materjali mujalt ning laotada täpselt olemasoleva tee pinnale.“

A5.4.2.5 Mujalt toodud loodusliku materjali lisamine

„Kui projektis on ette nähtud tuua tee profiili korrigeerimiseks täitematerjali mujalt, tuleb ettenähtud materjal tuua ja laotada olemasoleva tee pinnale enne freesimist. Mujalt toodud materjali paigaldamiseks ja laotamiseks tuleb kasutada meetodit, mis võimaldab saavutada tee nõutavat kõrgust ning selleks võib kasutada laoturit, teehöövlit või teisi taolisi mehhanisme. Kui mujalt toodud materjalikihi paksus ületab plaanitavat freesimissügavust, tuleb teeprofiili korrigeerimise nõudeid muuta, muutes teepinda kummalgi pool madalat punkti.

Kui projektis on ette nähtud, et stabiliseeritava materjali terakoostise muutmiseks või mehaaniliseks modifitseerimiseks tuleb täitematerjali mujalt tuua, peab ettenähtud materjali kohale tooma ning laotama ühtlase kihina olemasoleva tee pinnale enne stabiliseerimist.“

A5.4.3 Sideainete lisamine

„Lisandi(te) tüüp(tüübid) ja kulunorm väljendatuna protsentides stabiliseeritava materjali massist, määratletakse laborisegude katsetamise käigus ja esitatakse vastavas juhises.“

A5.4.3.1 Keemilised sideained (tsement ja lubi)

„Keemiliste sideainete lisamismeetodi valib töövõtja järgmiste võimaluste seast:

- kuiv sideaine laotatakse ühtlase kihina ettevalmistatud teepinnale enne stabiliseerimist;
- sideaine segatakse eelnevalt veega ning tekkinud lobri pumbatakse segamisfreesi ja lisatakse dosaatorite kaudu segamisprotsessi;
- sideaine segatakse eelnevalt dosaatorseadmes ja laotatakse koos mujalt toodud materjaliga teepinnale.

Kuiv sideaine laotatakse kindlaksmääratud koguses ühtlaselt teele segamisfreesi ühe läbikuga stabiliseeritavas laiuses kas mehaanilise laoturi abil pideva protsessina või käsitsi. Kui sideainet laotatakse käsitsi, tuleb sideaine anumad või kotid paigutada ühtlaste vahedega stabiliseeritava lõigu äärde. Kotid tuleb tühjendada ja sisu laotada ühtlaselt üle kogu stabiliseeritava pinna, välja arvatud ülekatted.

Lobri valmistatakse mehaanilistes segistites pulbrilisest sideainest ja veest. Segisti sõela avad ei tohi ületada 5 mm ning segisti peab suutma toota ühtlase konsistentsi ja ühesuguse vee sisaldusega lobrit stabiliseerimiseks vajalikus koguses.“

A5.4.3.2 Bituumensideained

„Bituumensideainet lisatakse stabiliseerimisprotsessi käigus, pumbates seda segamisfreesi ees lükatavast tsisternautost. Vahtbituumeni lisamisel peavad tsisternid olema varustatud sisseehitatud termomeetrite ja kuumutusseadmetega, millega saab tagada, et bituumensideaine temperatuur ei erineks nõutavast temperatuurist rohkem kui 5 °C. Üle lubatud temperatuuri kuumutatud bituumensideaineid kasutada ei tohi ja need tuleb objektilt ära viia.

Igast objektile toodud tsisternitäiest tuleb võtta üks liitrine proov ning sulgeda see võimaliku hilisema katsetamise eesmärgil õhukindlasse plekkpurki.“

Vahtbituumeni kasutamise puhul tuleb lisada järgmine lause:

„Bituumeni vahutavusomaduste määramiseks tuleb igast uuest tsisternitäiest võtta proovidüüsid proov viie minuti jooksul alates stabiliseerimise algusest.“

A5.4.3.3 Vedelate sideainete doseerimine

„Pumbasüsteemi, mille abil lisatakse segamisprotsessi käigus vedelad sideained, kontrollib sama mikroprotsessorite süsteem, mis kontrollib vee doseerimise eesmärgil segamisfreesi liikumiskiirust.“

A5.4.3.4 Stabiliseeritud materjali niiskussisalduse kontroll

„Stabiliseerimise käigus tuleb lisada piisav kogus vett, et oleksid täidetud allpool toodud nõuded niiskusesisaldusele. Vett tohib lisada ainult segamisfreesi mikroprotsessori poolt juhitud süsteemi abil ning seejuures tuleb jälgida, et ükski teelõik ei jääks liiga märg. Liiga märg lõik tuleb töövõtjal oma kulul uuesti teha, korrigeerides niiskussisaldust materjali kuivatamise ja uue sideainega töötlemise teel, kui kasutatakse hüdraulilist sideainet.“

„Tihendamise ajal määrab stabiliseeritava materjali niiskussisalduse kasutatava sideaine tüüp:

i) hüdraulilised sideained

Tihendamise ajal ei tohi maksimaalse kuivtiheduse juures arvatud niiskusesisaldus ületada 75% loodusliku materjali küllastusniiskusest (enne stabiliseerimist). Niiskussisaldus kindlaksmääratud küllastusastme juures arvutatakse järgmise valemiga:

$$W_v = S_r \times [(X_w / X_d) - (1000 / G_s)] \quad [\text{valem A5.1}]$$

kus	W_v –	materjali niiskussisaldus määratud küllastusastme juures	[%]
	S_r –	kindlaksmääratud küllastusaste	[%]
	X_w –	vee tihedus	[kg/m ³]
	X_d –	loodusliku materjali maksimaalne kuivtihedus	[kg/m ³]
	G_s –	materjali näivtihedus	[kg/m ³]

ii) mittehüdraulilised sideained, vahtbituumensideained ja sideaineteta ümbertöödeldud materjal

„Tihendamise ajal ei tohi niiskussisaldus ületada optimaalset niiskust ega olla sellest väiksem rohkem kui 2%.“

iii) bituumenemulsioonsideained

„Tihendamise ajal ei tohi materjali kogu vedelikusisaldus ületada optimaalset vedelikusisaldust. Kogu vedelikusisalduse määramiseks liidetakse kogu bituumenemulsioon (mitte ainult selle vee osa), olemasolev segamiseelne niiskussisaldus ning eraldi lisatav vesi.“

A5.4.4 *Stabiliseerimine*

Segamisfrees reguleeritakse ja käitatakse nii, et oleksid tagatud järgmised põhinõuded.

A5.4.4.1 *Stabiliseeritud materjali terakoostis*

Segamisfreesi liikumiskiirus, freestrumli pöörlemiskiirus ning “terakoostist kontrolliva” tala asend peavad olema sellised, et purustatud materjali terakoostis oleks nõuetekohane. Töövõtja peab tagama, et stabiliseerimisprotsessi tulemusel tekkinud terakoostis vastaks punktis A5.4.7 kirjeldatud näidislõigu terakoostisele.“

A5.4.4.2 *Vee ja vedela sideaine doseerimine*

„Vee ja vedela sideaine doseerimist kontrolliv mikroprotsessorite süsteem peab olema niimoodi häälestatud ja jälgitav, et materjali niiskus- ja sideaine sisaldus vastaks tihendamiseks vajalikele nõuetele. Iga paani lõpus tuleks võimalusel mõõta bituumeni kogust tsisternis, et teha kindlaks tegelik kulu ning võrrelda seda arvestusliku kuluga.“

A5.4.4.3 *Lõike sügavuse kontroll*

„Lõike tegelikku sügavust tuleb mõõta vähemalt iga 100 m tagant nivelleerimislattide vahele tõmmatud nõõrist, kasutades nivelleerimislattidel samu märke, mida kasutatakse hiljem lõplike kõrgusmärkide saamiseks.“

A5.4.4.4 *Pikivuukide ülekate*

„Et tee saaks stabiliseeritud kogu laiuses, peavad paanide vahelised pikivuugid kattuma üksteisega vähemalt 150 mm. Selle tagamiseks, et ainult esimene paan oleks sama lai kui freestrummel, tuleb kontrollida eelnevalt teele märgitud lõikejooni. Järgmiste paanide laius on freestrumli laiusest väiksem vähemalt 150 mm võrra. Segamisfrees peab liikuma täpselt mööda ettemärgitud jooni. 100 mm-st suuremad kõrvalekalded tuleb kohe parandada. Selleks tagurdatakse segamisfrees kohta, kust kõrvalekaldumine algas ning liigutakse piki õiget joont, lisamata protsessi käigus vett ega sideainet.“

Enne uue paani tegemist tuleb kontrollida ülekatte laiust ning teha parandused, et oleks tagatud lisatava vee ja vedela sideaine vähendamine proportsionaalselt ülekatte laiusega.“

A5.4.4.5 *Stabiliseeritud kihi pidevus (põikvuugid)*

„Töövõtja peab tagama, et järjestikuste paanide vahele (mööda sama pikisuunalist lõikejoont) ei jääks töötlemata materjali ega kiilukujulisi töötlemata ribasid, mis võivad tekkida freestrumli sisenemisel olemasolevasse materjali. Paani lõpu asukoht tuleb täpselt tähistada. Märk tuleb teha segastrumli keskohta punktis, kus lõpetati sideaine lisamine. Stabiliseeritud kihi pidevuse tagamiseks peab järgmine paan algama tehtud märgist vähemalt 0,5 m (500 mm) tagapool.“

A5.4.4.6 *Liikumiskiirus*

„Liikumiskiirust kontrollitakse ja dokumenteeritakse vähemalt kord 200 m tagant, et oleks tagatud vastavus planeeritud jõudluse ja stabiliseerimisprotsessiga. Lubatud kõrvalekalded sõltuvad segamisfreesi tüübist ja stabiliseeritavast materjalist, kuid kiirus ei tohi olla väiksem kui 4 m/min ega suurem kui 12 m/min.“

A5.4.5 *Muldkeha ebastabiilsus*

„Kui eelnevate uuringute või stabiliseerimise käigus avastatakse, et muldkeha on ebastabiilne, tuleb seda korrigeerida järgmiselt:

- koguda ebastabiilse materjali peal olev materjal kas freesimise või kaevamise teel kokku, laadida veokitele ning transportida ajutisele laoplatsile;
- kaevata ebastabiilne materjal ettenähtud sügavuses välja ning vedada ära;
- töödelda alust vastavalt nõuetele; ning
- teha tagasitäide nii ajutiselt ladustatud kui mujalt toodud materjaliga.

Tagasitäide tehakse kihtidena, mille paksus pärast tihendamist ei ületa 200 mm, kuni saavutatakse olemasoleva tee kõrgus ning seejärel jätkatakse stabiliseerimist.“

A5.4.6 *Tihendamine ja viimistlemine*

A5.4.6.1 *Esialgne tihendamine*

„Stabiliseeritud materjali tuleb nõutava tiheduse saavutamiseks rullida esmalt raske vibrorulliga. Rullimist tuleb alustada vahetult segamisfreesi tagant ning teostada ettenähtud järjekorras, nagu kirjeldatakse punktis A5.4.7.“

„Kontrollida tuleb:

- keskmist tihedust kogu kihi paksuses;
- tihedust kihi alumises kolmandikus, kusjuures see ei tohi olla väiksem kui keskmine tihedus kogu kihi paksuses miinus 1%.“

Kui on määratletud maksimaalne tihedus, lisatakse järgmine lõik:

„Stabiliseeritud materjali tuleb esmalt rullida raske, kompaktomeetriga varustatud vibrorulliga. Stabiliseeritud materjali tihendamist tuleb alustada vahetult segamisfreesi järel suure amplituudiga režiimis. Järjestikused, mitte pikemad kui 100 m lõigud tihendatakse, rullides igat lõiku seni, kuni kompaktomeeter näitab, et maksimaalne tihedus on saavutatud.“

On soovitatav kasutada rasket vibro-silevaltsrulli ja massiga min. 16 t. (t. A3.3.2). rull sõidaks võimalikult laoturi taga. Kui rullimisskeem on proovilõigul välja töötatud, tuleb sellest kinni pidada.

Tihendamise kohta kehtivad järgmised nõuded:

- $\geq 98 \%$
- 96 %, (kui aluskihi E_{V2} on $\leq 80 \text{ MN/m}^2$)

A5.4.6.2 *Pinnakõrguse ja profiili kontroll*

„Töödeldud materjal tuleb laotada segamisfreesiga teele tekkinud süvendisse. Seda võib teha kas (roomikutel) segamisfreesi taha monteeritud tasandusprussi abil või avaldades piisavat survet (õhkrehvidel) segamisfreesi stabiliseerimiskambri tagumisele luugile, tagades materjali ühtlase laotumise kogu lõike laiuses. Seejärel laotatud materjal tihendatakse (nagu

kirjeldati punktis A5.4.6.1) ning pind profileeritakse teehöövliga nivelleerimislattidel olevate kõrgusmärkide järgi.“

A5.4.6.3 *Lõplik viimistlemine, kastmine ja hooldamine*

„Pärast profileerimist tuleb teepinda tihendada silevaltsrulliga väikese amplituudiga vibratsioonirežiimil. Seejärel töödeldakse teepinda vähese vee või lahjendatud bituumenemulsiooniga ning rullitakse pneumorulliga, et tekiks tihe tekstuur. Valmis pind peab olema kogu aeg niiske ja selleks kastetakse seda kergelt veega.

Valmis pind ei tohi:

- olla kihistunud;
- sisaldada kohti, kus peen- ja jämematerjal on fraktsioneerunud;
- olla laineline ega sisaldada muid defekte, mis võivad mõjutada katendikihi käitumist.

Bituumensideainest kruntkihti ega pindamist ei tehta enne kui kihi niiskussisaldus on vähemalt 2% alla küllastuspunkti.“

A5.4.6.4 *Tee avamine liiklusele*

„Kui teisiti pole ette nähtud, avatakse tee väljaspool normaalset päevast tööaega liiklusele kogu laiuses. Enne tee avamist peavad paigas olema kõik ajutised teemärgid, äärepostid ja muud liiklust reguleerivad tähised.“

A5.4.7 *Näidislõigud*

Näidislõikude tegemine tuleb alati ette näha, kuna see sunnib töövõtjat tegema enne stabiliseerimistööde algust proovistabiliseerimist. Tavaliselt lisatakse spetsifikatsiooni järgmine lõik:

„Projekti alguses peab töövõtja komplekteerima kõik mehhanismid ja seadmed, mida ta kavatses külmstabiliseerimisel kasutada, ning stabiliseerima esimese teelõigu, selleks et:

- näidata, et kasutatavate seadmete ja valitud meetoditega on võimalik viia stabiliseerimist läbi vastavalt etteantud nõuetele;
- teha kindlaks, kuidas segamisfreesi liikumiskiiruse ja freestrumli pöörlemiskiiruse muutused mõjutavad stabiliseeritud materjali terakoostist; ning
- teha kindlaks minimaalsete tihedusnõuete saavutamiseks vajalik rullimise järjekord või viis.

Näidislõik peab olema vähemalt 200 m pikk ning ühe sõidurea või poole tee laiune. Kui töövõtja teeb töömeetodites, protsessides, seadmete või materjalide kasutuses mingeid muudatusi või kui ta ei suuda olemasolevas materjalis toimunud muudatuste tõttu järgida spetsifikatsioonides ettenähtud tingimusi, võidakse talt nõuda uute näidislõikude tegemist.“

A5.5 *Kaitsmine ja hooldus*

Tavaliselt lisatakse järgmine lõik:

„Töövõtja peab stabiliseeritud kihti kaitsma ja hooldama kuni uue kihi või katte laotamiseni. Lisaks sagedasele kergele kastmisele, mis hoiab ära pinna kuivamise, tuleb viivitamata parandada kõik kihti tekkinud kahjustused ja defektid ning seda nii sageli kui vaja. Parandustööd tuleb teha nii, et lõpptulemuseks oleks tasane ja ühtlane pind. Parandustööde kulud kannab töövõtja, välja arvatud juhul, kui kahjustused on tekkinud varajases

koormamisest põhjustatud normaalse kulumise ja pragunemise tagajärjel. Kahjustusi ei loeta normaalseteks, kui need on tekkinud pikaajalise koormamise tagajärjel, kuna uue kihi pealekandmine või pindamine viibis töövõtja süül.“

A5.6 Lubatud kõrvalekalded

Lubatud kõrvalekalded on sageli sarnased uue ehituse puhul lubatud kõrvalekalletega, nagu näidatud järgmises näites:

„Pinnakõrguste ja kihi paksuste osas teostatakse statistilist analüüsi ainult juhul, kui teed tuleb enne stabiliseerimist vajaliku profiili saamiseks freesida. Lõplik stabiliseeritud kiht peab vastama järgmistele lubatud kõrvalekalletele.“

A5.6.1 Pinnakõrgused

„Valmis teelõigul mõõdetakse pinnakõrgusi vähemalt 50-s vabalt valitud punktis. Teelõik vastab ettenähtud nõuetele, kui kõrvalekalded jäävad järgmistesse piiridesse:

- $H_{90} \leq 20$ mm (s.t et mõõdetud punktidest vähemalt 90%-l jääb kõrvalekalle ettenähtud kõrgusest piiridesse ± 20 mm);
- $H_{\max} \leq 25$ mm (s.t et ühegi mõõdetud punkti kõrgus ei tohi erineda etteantud kõrgusest rohkem kui 25 mm).“

A5.6.2 Kihi paksus

Kuna stabiliseeritud kihi paksus on katendi töötamise seisukohalt väga oluline, peavad lubatud kõrvalekalded olema suhteliselt väikesed:

„Valmis teelõigul mõõdetakse kihi paksust vähemalt 20 punktis. Teelõik vastab spetsifikatsioonis ettenähtud nõuetele, kui kõrvalekalded jäävad järgmistesse piiridesse:

- $D_{90} \geq 10$ mm (s.t et kihi paksus vähemalt 90% kõigis mõõdetud punktides on võrdne või suurem kui ettenähtud paksus miinus 10 mm);
- $D_{\text{keskm}} \geq D_{\text{nõut}} - (D_{\text{nõut}} / 20)$ (s.t et teelõigu keskmine kihipaksus ei tohi olla väiksem kui nõutav kihipaksus miinus nõutav kihipaksus jagatud kahekümnega);
- $D_{\max} < 20$ mm (s.t et üheski mõõdetud punktis ei tohi kihipaksus olla väiksem kui nõutav kihipaksus miinus 20 mm).“

A5.6.3 Laius

„Stabiliseeritud kihi laius ei tohi üheski punktis olla nõutavast laiuusest väiksem.“

A5.6.4 Põikprofiil

„Kui 3 m kontroll-latt asetada tee telgjoonega täisnurga all, ei tohi teepinna ja lati alumise serva vahele jääda rohkem kui 10 mm. Mistahes põiklõikes ei tohi kahe punkti kõrguste vahe erineda antud põiklõike kohta arvutatud kõrguste vahest rohkem kui 15 mm.“

A5.6.5 Pinna tasasus

„Valmis stabiliseeritud pinna kontrollimisel standardse rataslatiga ei tohi 6 mm või suuremate ebatasasuste arv olla suurem kui:

- keskmiselt kuus (6) 100 m kohta, kui kontrollitakse lõiku pikkusega 300–600 m;
- kaheksa (8), kui kontrollitakse lõiku pikkusega 100 m.

Ükski rataslatiga või tee telgjoonega paralleelselt asetatud 3 m kontroll-latiga mõõdetud ebatasasus ei tohi olla suurem kui 10 mm. Kui on võimalik tõestada, et ebatasasused on tingitud asjaoludest, mida töövõtja ei saa kontrollida (nt varajasest koormamisest), võidakse nõuet eirata.“

Pealiskihi nõutava profiili saavutamiseks võib katet veel lõpliku profiili saamiseks tehnoövliga profileerida.

Kehtivad järgmised nõudmised:

- tasasus 1,5 cm / 4 m
- õige profiil: nõutav profiil ± 2 cm.

A5.7 Jooksev kontroll ja katsed

Töövõtja on kohustatud teostama töid nii, et need vastaksid kvaliteedilt ja täpsuselt kõikidele spetsifikatsioonides ja joonistel esitatud nõuetele. Töövõtja kohustatud seadma sisse kvaliteedi kontrolli süsteemi, et oleks tagatud tööde kontroll ja vastavus konkreetsetele nõuetele.

Lisaks geomeetrilistele näitajatele (kirjeldati punktis „Lubatud kõrvalekalded“) on vaja kontrollida veel kolme olulist näitajat:

- sideainete kulunormi;
- stabiliseeritud / töödeldud materjali tugevust; ning
- stabiliseeritud kihi tihedust.

Neid näitajaid käsitletakse järgmistes punktides.

A5.7.1 Sideaine kulunorm

Olemasoleva kahjustatud katendi materjali varieeruvuse tõttu on stabiliseeritud materjal harva homogeenne. Seepärast on nõutava koguse sideaine lisamist tõestavad tavalised katsed sageli ebasobivad, kuna annavad eksitavaid tulemusi. Näiteks, arvutades bituumenisisaldust vahtbituumeniga stabiliseeritud materjali massiprotsendina, ei saada vastust selle kohta, palju vahtbituumenit tegelikult lisati, sest:

- segust eralduva bituumeni kogus varieerub oluliselt bituumeni sisalduse tõttu olemasolevas katendis (asfaldis, lisa kattekihtides ja lappides);
- bituumenisisalduse väljendamine protsendina segu kogumassist on tegelikult asfalditehnoloogias kasutatav kontseptsioon, kus eeldatakse, et täiteaine on ühtlase terakoostisega. Kuna stabiliseeritud materjali terakoostis varieerub, muudab ühe suure täiteaine tüki kaasamine või väljajätmine oluliselt bituumeni protsenti proovis, muutes kogu tulemuse mõttetuks.

Seega on vaja rakendada alternatiivseid kontrollimeetodeid ja tavaliselt põhinevad need sideaine kulu kontrollimisel ehk sideaine tegelikult lisatud koguse mõõtmisel ning selle võrdlemisel ettenähtud kulunormiga.

A5.7.1.1 Tsemendiga stabiliseerimine

Kui tsement laotatakse enne stabiliseerimist tee pinnale käsitsi, on kulunormi kontrollimine suhteliselt lihtne, kuna ühe kotitäiega kaetav pindala on märgistatud.

Kui tsement laotatakse enne stabiliseerimist tee pinnale laoturiga, kontrollitakse kulunormi nn presenditüki katse või mõne muu sarnase katsega.

Kui tsement lisatakse lobrina, saadakse tsemendi (ja vee) tegelik kulu lobrisegisti tööd kontrollivast arvutist. Lisaks sellele tuleks võrrelda tsemendipulbri päevaseid tarneid peegeldavaid sildkaalu andmeid arvuti andmetega, mis näitavad päevas tarbitud koguseid.

A5.7.1.2 Bituumeniga stabiliseerimine

Bituumenemulsiooni ja vahtbituumeni tegelikku kulu saab kõige paremini kontrollida, kui kõikidel materjali tarnivatel tsisternautodel on kaasas sildkaalu tõend. Ühe tsisternitäiega stabiliseeritud materjali massi (saadakse paani pikkuse, efektiivse laiuse, lõike sügavuse ja materjali eeldatava tiheduse korrutamisel) saab võrrelda tarbitud kogusega, tingimusel et kasutatakse ära kogu tsisternis olnud bituumen.

A5.7.2 Stabiliseeritud materjali tugevus

Tavaliselt võetakse segamisfreesi tagant vähemalt üks materjaliproov (200 kg) 2500 m² stabiliseeritud katendi kohta. Materjaliproov pannakse suletud anumasse ja viiakse viivitamata laborisse katsetamisele. Katsetega määratakse:

- niiskussisaldus;
- niiskuse ja tiheduse suhe, mille järgi määratakse maksimaalne kuivtihedus (kasutatakse ka kohapeal saavutatud tihendamisprotsendi määramiseks);
- proovikehade tugevus. (Tuleb meeles pidada, et materjali niiskussisaldust kohandatakse alati optimaalse niiskussisaldusega enne proovikehade valmistamist standard-tihendamisel.)

Vahel on vaja teostada ka muid katseid, näiteks sõelanalüüsi ja plastsuse määramist.

Kui on põhjust arvata, et nõutavat tugevust ei saavutatud, võetakse kihist 150 mm läbimõõduga puurproov ning tehakse katsed. Seda tehakse 4–6 nädalat pärast kihi valmimist.

A5.7.3 Saavutatud tihedus

Stabiliseeritud materjalist ehitatud katendi kohapealse tiheduse määramine pole lihtne kahel põhjusel:

- stabiliseeritud materjali varieeruvuse tõttu, mis mõjutab maksimaalse kuivtihedus väärtust, millega võrreldakse kohapealset tihedust; ning
- bituumeni tõttu asfalt- ja/või bituumenkihist ümbertöödeldud materjalis, mis mõjutab radioaktiivsete mõõturite niiskussisalduse lugemist.

Seetõttu tuleb igas katsekohas võtta materjaliproovid ning katsetada neid laboris, määrates materjali maksimaalse kuivtiheduse ja tegeliku kohapealse niiskussisalduse. See suurendab paratamatult objekti labori töökoormust ning põhjustab tulemuste viibimist.

Kui nõutud tihedust ei saavutata, on põhjust arvata, et see on tingitud alumiste kihtide kehvast kandevõimest ja suuremat tihedust polegi praktiliselt võimalik saavutada. Selline olukord on aga keeruline ja lahenduse leidmiseks on vaja teha lisakatseid (tavaliselt tehakse piiratud DCP uuring).

Viimasel ajal on stabiliseerimisprojektides hakatud kasutama esimese teerulli külge monteeritud kompaktoometerit, mis näitab, millal saavutatakse maksimaalne tihedus. Selle lihtsa seadme kasutamine lahendab eespool kirjeldatud probleemid ja seetõttu on seadme kasutamine muutumas üha populaarsemaks. Järgmine lõik on näide seadme spetsifikatsioonist:

„Nõutavaks tiheduseks on maksimaalne tihedus, mida kohapeal on võimalik saavutada, ning seda näitab integreeritud kompaktomeeter. Seade paigaldatakse ühe sileda valtsiga vibrorulli külge, millega teostatakse esmane tihendamine segamisfreesi järel. Rullimist jätkatakse seni kuni kompaktomeeter näitab, et tihendamise jätkamise korral tihedus enam ei suurene. Informatsioon salvestub süsteemi arvutis ja seda on võimalik iga päev alla laadida ning kasutada ülevaatliku tihendamisdokumentatsiooni koostamiseks, mis näitab tegelikult saavutatud tihedusastet 5 m lõikude kaupa ning tõestab, et maksimaalne tihedus saavutati.“

Valmis kihti on siiski vaja kontrollida tavaliste katsemeetoditega, kuid palju harvem, harilikult üks katse 1000 m² valmis katendi kohta.

A5.8 Mõõtmine ja maksimine

Igasuguste lahkarvamuste ärahoidmiseks tuleb lisada järgmine lõik:

„Makseartiklite kirjelduses on sageli öeldud, et mahud arvutatakse „etteantud mõõtude“ alusel. See tähendab seda, et mõõdud on kindlaks määratud või näidatud ilma lubatud kõrvalekalleteta töövõtjale antavatel joonistel või kirjalikes juhistes. Kui tööd on teostatud etteantud mõõtudes, pluss või miinus lubatud kõrvalekalle, arvutatakse mahud samuti etteantud mõõtudes, arvestamata tegelikke mõõte.“

Stabiliseerimistööde mahtude mõõtmiseks (ja nende eest maksmiseks) kasutatavad artiklid tuleb defineerida. Järgnevalt esitatakse tüüpiliste artiklite näited:

Artikkel

Ühik

A5.01 Olemasoleva teepinna stabiliseerimiseks ettevalmistamine ruutmeeter (m²)

Mõõtühikuks on ruutmeeter olemasolevat teepinda, mida tuleb stabiliseerimisega taastada ning kogu stabiliseeritav pindala saadakse, kui etteantud tee laius korrutatakse piki tee telgjoont mõõdetud tee tegeliku pikkusega.

Pakkumishind peab sisaldama kompensatsiooni kogu töö eest, mida on vaja teha, et puhastada tee veest, taimedest, prügist ning muudest võõrkehadeist ning vedada ära ja utiliseerida selle tagajärjel tekkiv prahst.

Artikkel

Ühik

A5.02 Kõigi materjalide kohapeal stabiliseerimine uute katendikihtide ehitamise eesmärgil:

a) ... mm (*märkida*) paksune valmis kiht:

i) tee laius 5,0 m või vähem

kuupmeeter (m³)

ii) tee laius rohkem kui 5,0 m, kuid vähem kui 6,0 m

kuupmeeter (m³)

iii) sama tee laiuste kohta juurdekasvuga 1 m.

b) sama iga kihi paksuse kohta.

Mõõtühikuks on kuupmeeter valmis katendit, mis ehitati olemasoleva materjali stabiliseerimisel, hoolimata selle materjali kõvadusest või tüübist, ning mujalt toodud materjali lisamisest või lisamata jätmisest. Kogus arvutatakse valmis kihi etteantud laiuse ja paksuse mõõtude korrutamisel tee tegeliku pikkusega, mõõdetuna piki tee telgjoont. Etteantud laiust ei tohi minimaalsete ülekatete ega tee kogu laiuse stabiliseerimiseks vajaminevate läbikute sissearvamisega suurendada.

Pakkumishind peab sisaldama kompensatsiooni ettevalmistustööde, olemasolevas katendis olevate materjalide vajalikus sügavuses stabiliseerimise eest koos mis tahes sideaine ja/või

mujalt toodava materjaliga, vee tarnimise ja lisamise, materjali segamise, paigaldamise ja tihendamise, ülekatetes oleva materjali uuesti töötlemise eest, hoolimata kogu tee laiuse stabiliseerimiseks vajalike läbikute arvust või ülekatete laiusest, kihi hooldamise, kaitsmise ja korrashoiu eest ning protsessi järelevalve ning vastuvõtuks vajalike kontrollide, mõõtmiste ja katsete läbiviimise eest.

Artikkel

Ühik

A5.03 Lisamahud artiklile A5.02, kui olemasoleva katendi stabiliseeritavas osas on asfaltkihte ja asfaltkihi keskmine paksus on:

- | | |
|---|------------------------------|
| a) üle 50 mm, kuid väiksem või võrdne 100 mm | kuupmeeter (m ³) |
| b) üle 100 mm, kuid väiksem või võrdne 150 mm | kuupmeeter (m ³) |
| c) sama paksuste kohta juurdekasvuga 50 mm. | |

Mõõtühik on sama mis artikli 5.02 puhul, kusjuures lisamahtude mõõt kehtib kogu kihi paksusele, hoolimata freesitud kihis oleva asfaldi ja teiste materjalide vahekorra kihi. Kui asfaldi paksus on väiksem või võrdne 50 mm, lisatakse ei tehta.

Pakkumishind peab sisaldama kompensatsiooni kõikide otseste ja kaudsete lisakulutuste eest, mis tekivad materjali stabiliseerimisel, milles on paksemad kui 50 mm asfaltkihid. Need lisakulutused hõlmavad, kuid ei piirdu kulutustega, mis on tingitud masinate ja seadmete kulumisest ja lisa pinnasemasinate kasutamisest ning kulutustega, mis tekivad siis, kui väikese edasiliikumiskiiruse tõttu tuleb katendit enne stabiliseerimist freesida ning kulutustega viivituste eest, mis on tingitud töö aeglasest edenemisest.“

Artikkel

Ühik

A5.04 Mujalt toodud materjal kohapeal külmastabiliseerimisprotsessi lisamiseks:

- | | |
|---|------------------------------|
| a) kaubandusvõrgust hangitud killustik-tooted: | |
| i) killustik-toote fraktsioon ja kirjeldus | tonn (t) |
| ii) sama iga fraktsiooni ja tüübi kohta | |
| b) kaubandusvõrgust hangitud looduslik kruus ja liiv: | |
| i) loodusliku materjali fraktsioon ja kirjeldus | kuupmeeter (m ³) |
| ii) sama iga loodusliku materjali tüübi kohta | |
| c) sama iga mujalt toodud materjali kohta. | |

Kaubandusvõrgust hangitud killustik-toodete mõõtühikuks on objektile toodud ja stabiliseeritava materjali hulka lisatud materjali tonn. Mõõteandmed põhinevad saatelehel märgitud massil. Kaubandusvõrgust või otse karjäärdest hangitud loodusliku materjali mõõtühikuks on kuupmeeter, kusjuures mahuks võetakse 70 % veoki mahust.

Pakkumishind peab sisaldama kompensatsiooni mujalt toodud materjali hankimise ja olemasolevale teepinnale laotamise eest kõrgusi korrigeeriva või ühtlase kihina või stabiliseerimismasina vastuvõtupunkrisse kallamise eest, kui freesimine toimub stabiliseerimisprotsessist eraldi, materjali transpordi eest tarnekohast paigalduskohani objektile, kastmise ja kerge rullimise eest, kui see osutub vajalikuks, ning kadude eest.

Artikkel

Ühik

A5.05 Keemilised sideained:

- | | |
|---|----------|
| a) harilik portland tsement | tonn (t) |
| b) sama iga ettenähtud keemilise sideaine kohta | |

Möötühikuks on kohapeal külmstabiliseerimisprotsessis tegelikult tarbitud sideaine tonn. Mõõteandmed põhinevad sildkaalu piletil märgitud massil, kui on tegemist lahtise puistematerjaliga või kokkulepitud ühikutes, kui on tegemist nõudes või kottides tarnitava materjaliga.

Pakkumishind peab sisaldama kompensatsiooni sideaine hankimise ja selle lisamise eest külmstabiliseerimisprotsessi, kaasa arvatud transport, käsitlemine, ladustamine katte all, kui vajalik, teisaldamine ja laotamine või lobri valmistamine ja lisamine pumpamise teel, ning kadude eest, käsitlemisel vajalike ohutusabinõude rakendamise ning pakendite hävitamise eest.

Artikkel

Ühik

A5.06 Bituumensideained:

a) bituumenemulsioon:

i) 60 % jääkbituumenit, katioonne

tonn (t)

ii) sama iga bituumenemulsiooni tüübi kohta

b) vahtbituumen, mis on toodetud:

i) bituumenist, mille penetratsioonaste on 80/100

tonn (t)

ii) sama iga bituumeni tüübi kohta

c) jne iga muud tüüpi bituumensideaine kohta.

Möötühikuks on kohapeal külmstabiliseerimisprotsessis tegelikult tarbitud bituumensideaine tonn. Mõõteandmed põhinevad tsisterni sisu mõõtmisel, mida tehakse enne ja pärast sideaine lisamist, ning mida kinnitab tarnekohas igale tsisternile kaasa antud sildkaalu piletile märgitud mass.

Pakkumishind peab sisaldama kompensatsiooni bituumenlisandi hankimise ja külmstabiliseerimisprotsessi lisamise eest, kemikaalide või muude lisandite ja vahustamiseks vajaliku vee lisamise eest ning transpordi, kuumutamise, käsitlemise, ladustamise ja pumpamise, kõikide kadude ning käsitlemisel vajalike ohutusabinõude rakendamise eest.

A5.8.1 Mahtude tabeli näidis

Järgmine tabel on näide stabiliseerimisprojekti mahtude kohta. Mahud käivad 30 km pikkuse ja 7,3 m laiuse tee kohta, mida töödeldakse ümber 175 mm sügavuselt (olemasolevas katendikonstruktsioonis on 80 mm paksune asfaltkiht) ning stabiliseeritakse 1,5% tsemendi ja 3% bituumenemulsiooniga.

Artikli	Kirjeldus	Ühik	Kogus		Hulk
A5.01	Olemasoleva teepinna stabiliseerimiseks ettevalmistamine	m ²	220 000		
A5.02	Kõigi materjalide kohapeal stabiliseerimine uute katendikihtide ehitamise eesmärgil: a) 175 mm paksune kiht: i) tee laius > 7,0 m, kuid väiksem kui 7,5 m.	m ³	40 000		
A5.03	Lisamahud artiklile A5.02, kui olemasoleva katendi stabiliseeritavas osas on asfaltkihte ja asfaltkihi keskmine paksus on: a) üle 50 mm, kuid väiksem või võrdne 100 mm	m ³	40 000		
A5.04	Keemilised sideained: a) harilik portland tsement	tonn	1 500		
A5.05	Bituumensideained: a) bituumenemulsioon: i) 60 % jääkbituumenit, katioonne	tonn	3 000		

A5.9 Näide töökirjelduse kohta

A5.9.1 Sissejuhatus

Külmstabiliseerimissegude tootmiseks tööobjektile tuleb töökirjelduse koostamisel vastavalt väljaandes “külmstabiliseerimine teel” kirjeldatule valida esmalt sobivad lähtekohad ja nende kombinatsioonid. Seejuures tuleb arvestada konkreetsest tööülesandest tulenevaid nõudeid.

Ehitustööde kirjeldusse tuleb sisse kanda ka töö kohta kehtivad erinõuded, nt. laotuslaius, tihendamislaius, lubatud pikivuukide arv jms. Töökirjeldus peab hõlmama ka tööobjektile kehtivaid üldnõudeid, tööobjekti piire, ning liiklus- ja ehitustööde korraldust töö ajal.

Arvelduste tarvis tuleb töökirjeldusse kanda materjalikogused/m² punktidest 3.1-3.5 koos nende juurde kuuluvate punktide 4.1-4.5.

A5.9.2 Lähtepositsioonid

1. Uuringute teostamine segu projekteerimiseks

Ehitusobjektile olemas olevate ja külmstabiliseerimiseks ettenähtud ehitusmaterjalide väljaselgitamine sideainega kihtide proovifreesimise ja sideainega töödeldud kihtides kaevise(surfi) kaevamise teel kuni planeeritud töötlemissügavuseni.

Olemasolevate materjalide külmstabiliseerimisseguks töötlemise sobivuse määramine. Sobivuse määramisel tuleb lisaks külmstabiliseerimissegule terasuurusele ja sõelkõvera väljaselgitamisele (vt. p. 5.2, väljaandes M KRC) selgitada välja ka sideaine(te), liik ja kogus nt. stabiliseerimisel kasutatav bituumenemulsioon, vahtbituumen või stabiliseerimisel kasutatav sideaine /tsement, vesi või näiteks mineraalsed ja/või muud lisaained, nt. asfaldipuru (pigi sisaldav).

Uuring peab vastama väljaandes “Külmstabiliseerimine teel” ptk. 7, tabelis 1 toodud nõuetele. Tõrva või pigi tüüpi lisandiga koostisainete töötamisel tuleb järgida ka FGSV antud eeskirju ning vastaval liidumaal kehtivaid nõudeid ja juhiseid.

Täiendavaid juhiseid sobivusuuringute läbiviimiseks saab väljaande M KRC punktist 8.1.

1 kokku €

2. Külmstabiliseerimiskihi tootmine

vt. p. A3.6 “Juhised külmstabiliseerimissegude tootmiseks vajalike seadmete valikuks”.

Kehtivad on väljaandes M KRC toodud nõuded. Need nõuded hõlmavad muuhulgas järelevalvemeetmeid (külmstabiliseerimissegude koostis, sideaine doseerimine ja laotussügavus pärast tihendamist) ja kontrollimistoiminguid (jääpoorsus, proovikehade lõhestus-tõmbetugevus, kihi paksus, tihendusaste, tasasus ja kihi profiil).

2.1 Külmstabiliseerimine ilma materjali järelepurustamiseta

Olemasolevad konstruktsioonikihid, mis koosnevad, kokku kuni cm (max. 20 cm) sügavuselt välja freesida.

Eelnevalt purustatud materjal eemaldatakse m (2,0 – 4,5 m) ja segatakse

Nt. % (arvutuslik sideainesisaldus) bituumenemulsiooniga,

Nt. % (arvutuslik sideainesisaldus) vahtbituumeniga,

Nt. % (arvutuslik sideainesisaldus) hüdraulilise bituumeniga, eelsegatud,

Nt. % (arvutuslik niiskusesisaldus) veega ja

Nt. % (arvutuslik juurdelisatav kogus) kivimaterjali/asfaldipuruga

ja saadakse külmstabiliseerimissegude, laotatakse, profileeritakse ja tihendatakse.

Tihendatud kihi laotussügavus on cm (max. 22 cm).

Lisatud vee hind ja tarnehind lisatakse ühikuhinnale, kõigi teiste ainete kohta esitatakse eraldi arve.

..... m² €/m² €

2.2 Külmstabiliseerimine materjali järelpurustamisega

Olemasolevad konstruktsioonikihid, mis koosnevad, kokku kuni cm (max. 20 cm) sügavuselt välja freesida.

Eelnevalt purustatud materjal, koos lisaainetega, järelpurustatakse sobivate seadmete abil, kuni maksimaalse terasuuruseni cm (max. 45 mm).

Järelpurustatud materjal segatakse

Nt. % (arvutuslik sideainesisaldus) bituumenemulsiooniga,
Nt. % (arvutuslik sideainesisaldus) vahtbituumeniga,
Nt. % (arvutuslik sideainesisaldus) hüdraulilise bituumeniga, eelsegatud,
Nt. % (arvutuslik niiskusesisaldus) veega ja
Nt. % (arvutuslik juurdelisatav kogus) kivimaterjali/asfaldipuruga

ja saadakse külmstabiliseerimisseguga, laotatakse, profileeritakse ja tihendatakse.

Tihendatud kihi laotussügavus on cm (max. 22 cm).

Lisatud vee hind ja tarnehind lisatakse ühikuhinnale, kõigi teiste ainete kohta esitatakse eraldi arve.

..... m² €/m² €

3. Ainete tootmine ja lisamine

3.1 Stabiliseerimisbituumenemulsiooni tarnimine ja lisamine

Stabiliseerimisbituumenit lisatakse vastavalt sobivusuuringutele koguses kg/m².

Vastav kogus (= arvestuslikust sideainesisaldusest) tarnitakse ja lisatakse.

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

3.2 Vahtbituumenemulsiooni tarnimine ja lisamine

Kuumbituumenit tarnitakse vastavalt sobivusuuringutele koguses kg/m²

(= arvestuslikust sideainesisaldusest) ja töödeldakse vahtbituumeniks.

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

3.3 Hüdraulilise sideaine tarnimine ja lisamine

Hüdraulilist sideainet tarnitakse vastavalt sobivusuuringutele koguses kg/m².

(= arvestuslikust sideainesisaldusest) tarnitakse, segatakse vajadusel veega ja lisatakse.

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

3.4 Mineraalsete lisaainete tarnimine ja lisamine

Mineraalseid lisaaineid vastavalt sobivusuuringutele koguses kg/m².

Vastav kogus (= arvestuslikust sideainesisaldusest) tarnitakse ja lisatakse, profileeritakse ja vajadusel eeltihendatakse.

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

3.5 Muude lisaaainete /asfaldipuru tarnimne ja lisamine

Muid lisaaaineid/asfaldipuru vastavalt sobivusuuringutele koguses kg/m²

(= arvestuslikust sideainesisaldusest) tarnitakse ja lisatakse.

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

4. Üleliigsed ja liiga vähesed kogused

4.1 Üleliigne või liiga vähene kogus p. 3.1 juurde

Üleliigne või liiga vähene p. 3.1 'a 0,1 % kõrvalekalle arvestuslikust sideainesisaldusest vastavalt sobivusuuringule (..... kg/m²);

Materjal: bituumenemulsioon

Töö: Tarne ja lisamine

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

4.2 Üleliigne või liiga vähene kogus p. 3.2 juurde

Üleliigne või liiga vähene p. 3.2 'a 0,1 % kõrvalekalle arvestuslikust sideainesisaldusest vastavalt sobivusuuringule (..... kg/m²);

Materjal: vahtbituumen

Töö: Tarne ja lisamine

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

4.3 Üleliigne või liiga vähene kogus p. 3.3 juurde

Üleliigne või liiga vähene p. 3.3 'a 0,1 % kõrvalekalle arvestuslikust sideainesisaldusest vastavalt sobivusuuringule (..... kg/m²);

Materjal: hüdrauliline sideaine

Töö: Tarne ja lisamine

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

4.4 Üleliigne või liiga vähene kogus p. 3.4 juurde

Üleliigne või liiga vähene p. 3.4 'a 0,1 % kõrvalekalle arvestuslikust sideainesisaldusest vastavalt sobivusuuringule (..... kg/m²);

Materjal: mineraalsed lisaaained

Töö: Tarne ja lisamine

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

4.5 Üleliigne või liiga vähene kogus p. 3.5 juurde

Üleliigne või liiga vähene p. 3.5 à 0,1 % kõrvalekalle arvestuslikust sideainesisaldusest vastavalt sobivusuuringule (..... kg/m²);

Materjal: muud lisaained/asfaldipuru

Töö: Tarne ja lisamine

Materjali kogukulu tõestatakse kauba saatedokumentide alusel.

..... m² €/m² €

5. Kaitsekihi rajamine

Igal tööpäeval tuleb laotatud külmstabiliseeritud kihile laotada kaitsekiht, mis kaitseks kihti liikluskoormuse eest enne ülekatte laotamist.

..... kg/m² ebastabiilne bituumenemulsioon, bituumeni osakaal % ja

..... kg/m² killusikku 2/5 koos rullimise ja lahtise materjali kõrvaldamisega.

Üleliigne killustik läheb ettevõtja omandisse ja tuleb ehitusobjektilt eemaldada.

Lähteandmetena võib antud juhul kasutada 0,8 kg/m², bituumeni osakaal 60 % ja 10 kg/m² peent killustikku.

A5.10 Juhiseid külmstabiliseerimiskihi laotamiseks vajalike masinate valimisel

A5.10.1 Masinad külmstabiliseerimiseks teel

Külmstabiliseerimiseks *teel* kasutatakse freese. Seade peab võimaldama ühe läbikuga olemasoleva katendi materjali pealmise kihi koos võimaliku eelnevalt laotatud lisaainetega kuni soovitud sügavuseni freesida, segada valmis nõutud sõelkõveraga ja homogeensusega segu ning sellesse doseerida nõutava vee ja sideaine(te) koguse ja segada. Kvaliteetse, külmstabiliseeritud kihi tootmiseks peab frees vastama järgmistele nõuetele:

- ühe töökäigu jooksul on freesimise miinimumsügavus kuni 250 mm. Täpse freesimissügavuse hoidmiseks peab frees olema varustatud nivelleerimisautomaatikaga.
- Üle 250 mm freesimissügavusel homogeense segu saamiseks peab freesi segamiskambri maht olema vastaval freesimissügavuse suurenemisele olema suurem või tuleb kasutada kahe valli sundsegurit. Muus osas tuleb kahe valli sundsegurit kasutada väga ebahomogeensete materjalide puhul.
- Homogeense tulemuse saamiseks peab masina mootori võimsus olema vähemalt 650 PS.
- Üle 50.000 m² suuruse ehitusobjekti puhul on soovitatav valida töölaius üle 4 m vähendamaks vuukide arvu.
- Taastöödeldava materjali peenestamisel on vajalik terakoostise kontrollimise süsteem.
- Fraktsioneeritud materjali vee ja/või sideainega segamiseks peab segamisfrees olema varustatud järgmise sissepritsesüsteemiga:
 - Nõutavate vee- ja sideainekoguste tagamiseks mikroprotsessoriga juhitud süsteem, mis reguleerib vee ja/või vedela(te) sideaine(te)ga õige etteandekiirusega ja taastöödeldava materjaliga õiges vahekorras.
 - Lisaks sellele peab sissepritsesüsteem olema varustatud vee ja vedela sideaine läbivoolumõõturiga.
 - Topelt-etteandesüsteem vee või tsemendisegu ja vedela, bituumenit sisaldava sideaine üheaegseks etteandeks.
 - Isepuhastuvate düüside süsteem, mis võimaldab üheaegse vee ja/või vedela sideaine üheaegse etteande kogu töölauses. Etteandesüsteem peab olema kabiinist elektrooniliselt ja erinevates töölaistes juhitav.
 - Kui sideainena kasutatakse vahtbituumenit, peab süsteem olema varustatud bituumeni vahustamise testdüüsiga, mis annab vahtbituumenist kasutatava vahtbituumeniga võrreldes identse proovi.

- Vahtbituumenisüsteem peab olema alates imamissüsteemist kuni pihustussüsteemini kogu ulatuses soojendatav, et vältida bituumeni jahtumist töö ajal või võimalike töökatkestuste ajal. Sellise süsteemi olemasolul ei ole töö katkestamise ajal süsteemi läbipesemine vajalik.
- Süsteemi etteanne, pihustussügavus, pihustuslaius, sideainesisaldus ja lisamise andmed peavad olema juhikabiinis pidevate näitadena näha.
- Nõutava tasasuse saavutamiseks peab segamisfreees töötama suurtel objektidel laotamis- ja vibroprussiga. Kui segamisfree si kasutatakse ilma laotustalata, saavutatakse vajalik tasasus teehöövliga.
- Lõplik tihendamine teostatakse sobivate rullidega.

LISA 6

Majandusanalüüsi põhimõtted

A6.1 Sissejuhatus

A6.2 Kulude ajaline võrreldavus

A6.3 Majandusliku hindamise meetodid

A6.3.1 Kulu hetkeväärtuse (PW_{oC}) meetod

A6.3.2 Tulu ja kulu (B/C) suhte meetod

A6.3.3 Sisemise tasuvusläve (IRR) meetod

A6.3.4 Puhta nüüdisväärtuse (NPV) meetod

A6.4 Analüüsiperiood ja transpordirajatiste lõpp- ja jääkväärtus

Lisa 6 : *Majandusliku analüüsi põhimõtted*

Alljärgnev tekst on võetud raamatust „Linnatranspordiprojektide majandusliku hindamise juhend; WJ Pienaar, Stellenbosch'i ülikool”.

A6.1 *Sissejuhatas*

Majanduslik hindamine on kontseptuaalne raamistik investeerimisprojekti kõigi kasude (tulude) ja kahjude (kulude) analüüsimiseks, olenemata sellest, kelle arvele nimetatud kulud ja tulud riigis laekuvad. Tuluks loetakse igasugust transpordirajatise tegevusest ja kasutamisest tulenevat kasumi juurdekasvu ning kuluks loetakse igasugust projekti rakendamisega seotud kasumi vähenemist, kusjuures projekti kasulikkust mõõdetakse alternatiivkuludes. (Majandusliku hindamise alla ei kuulu finantshindamine ega sotsiaalne hindamine).

Majanduslikul efektiivsusel põhinevate linnatranspordiprojektide majandusliku hindamise ja hindamisjärgsete soovitude rakendamise põhieesmärk on transpordi üldkulude minimeerimine eeldusel, et samal ajal täidetakse täielikult ka kõik transpordivajadused. Projektis esitatud transpordi üldkulud hõlmavad püsikuluseid ja ühekordseid kuluseid. Ühekordsete kulude alla kuuluvad esialgsed kulud (planeerimiskulud, millele liidetakse rajatise ehitamise alternatiivkulud). Püsikulud on rajatise kasutusea jooksul tekkivad kulud ja hõlmavad vahendi kasutamise- ja hoolduskuluseid. Ühekordsete kulude suurenemisega vähenevad tavaliselt püsikulud ja vastupidi. Transpordikulude minimeerimiseks on seega vaja kõigepealt kindlaks määrata optimaalne kulukategooriate vaheline kompromiss.

Projekti elujõulisuse hindamisel võib toetuda kolmele järgmisele kriteeriumile:

- absoluutne eelis, mille saab kindlaks määrata puhta nüüdisväärtuse meetodi abil;
- suhteline eelis, mis määratakse tavaliselt kindlaks tulu ja kulu suhte või sisemise tasuvusläve meetodi abil; ning
- minimaalne üldkulu, mille saab kindlaks määrata kulude hetkeväärtuse meetodi abil.

A6.2 *Kulude ajaline vörreldavus*

Alternatiivsete transpordiprojektide majanduslikuks analüüsiks on vaja hinnata iga projekti prognoositavaid kuluseid tavalise aja jooksul, sest rahal on alati pidevalt muutuv ajaline väärtus. See tähendab, et summal X on praegu suurem väärtus kui näiteks aasta pärast. Seda, et käsutuses olevate rahaliste vahendite väärtus on antud hetkel suurem kui nende samade rahaliste vahendite lõppväärtus, nimetatakse ajalise eelise soodumuseks. Kuigi inflatsioonimäär mõjutab ajalise eelise soodumuse tugevust, ei põhjusta inflatsioon iseenesest raha ajalist väärtust. Isegi perioodidel, kus inflatsiooni ei ole, on rahaga seotud ajaline eelis, mis tuleneb säästude ja investeringute pealt saadava ühiskonna keskmise sissetulekuga. Kui teatud rahasummat hoitakse rahakotis ja see ei teeni kasumit, takistatakse nimetatud summal mõnel alternatiivsel viisil tulu kasvatada. Seega võrdub teatud summa keskmine ajaline eelis nimetatud summa ting- või alternatiivväärtusega määral, mil see avaldub perioodi jooksul keskmises kapitalilt teenitud kasumis.

Kuna transpordirajatiste, näiteks maanteed, kasutusega kestab mitmeid aastaid, isegi aastakümneid, võetakse hindamisperioodiks tavaliselt kakskümmend aastat või rohkem. Perioodi jooksul kogunenud rajatise hooldus- ja kasutuskulud muutuvad seega järjest ebaolulisemaks, mida pikemaajalisi väärtusi hindamisel arvestatakse. Tulevaste rahavahendite hetkeväärtuse kindlaksmääramise meetodit nimetatakse diskonteerimiseks. Aasta n kulude hetkeväärtuse arvutamiseks kasutatavat määra nimetatakse diskontomääraks ja see kajastab raha pidevalt muutuvat ajaväärtust. Majanduslik hindamine

on võimalik ainult siis, kui kõik tulevased väärtused esitatakse võrdsustatud kujul ehk taandatud ühise ajahetke väärtuseks, kasutades selleks kindlat diskontomäära.

Tulevase summa hetkeväärtuseks diskonteerimise põhivalem saab selgemaks, kui vaadelda diskonteerimist liitintressi arvutamise pöördtehtena. Liitintressi arvutamine tähendab kindla intressimäära alusel hetkeväärtuse ümberarvutamist tulevikuväärtuseks.

Kui summa ajaväärtus on i protsenti aastas, suureneb summa hetkeväärtus (PW, present worth) ühe aastaga järgmiselt: $PW (1 + i/100)$.

Kahe aasta pärast on hetkeväärtus $PW (1 + i/100) (1 + i/100) = PW (1 + i/100)^2$.

Kolme aasta pärast on hetkeväärtus $PW (1 + i/100)^3$, ning nii edasi, kuni n aasta pärast on hetkeväärtus $PW (1 + i/100)^n$.

Kuna diskonteerimine on intressi arvutamisega pöördvõrdeline, tuleb hetkeväärtuse arvutamisel kasutatud võrrand $PW (1 + i/100)^n$ summa diskonteerimiseks i protsendiga teatud arvul aastatel ümber pöörata. Teiste sõnadega tuleb seda hetkeväärtuse saamiseks korrutada $1/(1 + i/100)^n$ -ga. Valem $(1 + i/100)^n$ nimetatakse intressifunktsiooniks, selle pöördvalem $1/(1 + i/100)^n$ nimetatakse aga diskontofunktsiooniks või hetkeväärtuse faktoriks.

Tulevase summa (FA, future amount) hetkeväärtuse (PW) arvutamiseks aasta n lõpu seisuga diskontomääraga i protsenti aastas kasutatakse järgmist valem:

$$PW = FA / (1 + i)^n \quad [Valem A6.1]$$

kus: PW – hetkeväärtus (väärtus aastal 0)
FA – tulevane summa aasta n lõpus
 t – aastane diskontomäär sajandikes
 n – diskonteerimise periood aastates

A6.3 Majandusliku hindamise meetodid

Hindamiseks esitatud projektid võib jagada kahte gruppi:

- **Üksteist välistavad projektid.** Üksteist välistavad projektid on ühe ja sama eesmärgi täitmise alternatiivsed meetodid. Ühe projekti valimine välistab seega kõigi teiste kasutamise. Üksteist välistavate projektide tasuvuse analüüs tähendab kõige efektiivsema, s.t kõige tasuvama variandi valimist.
- **Iseseisvad projektid.** Iseseisvate projektide eesmärgid on erinevad ja need ei ole seega üksteise alternatiivideks. Iseseisvad projektid on näiteks logistikakeskus alevis X, tänavate laiendamine alevis Y ning liiklussõlm alevis Z. Teostamiseks võib valida rohkem kui ühe projekti. Võimalik on valida rakendamiseks ka kõik iseseisvad projektid, kui see on majanduslikult põhjendatud ja on olemas piisavalt rahalisi vahendeid. Iseseisvate projektide majanduslik hindamine tähendab majanduslikult põhjendatud projektide pingeritta seadmist vastavalt nende majanduslikule kasulikkusele.

Tasuvuse analüüsiks võib kasutada erinevaid meetodeid, mis kõik põhinevad diskonteeritud rahavoogude printsiibil. Järgnevalt on lahti seletatud neli kõige levinumat meetodit, milleks on:

- kulude hetkeväärtuse (PwoC, present worth of cost) meetod;
- tulu ja kulu suhte (B/C, benefit/cost) meetod;
- sisemise tasuvuslääve (IRR, internal rate of return) meetod; ning
- puhta nüüdisväärtuse (NPV, net present value) meetod.

Vastavalt põhimõttele, millest nimetatud meetodid lähtuvad, saab need jagada kahte gruppi. Ühte gruppi kuuluvad meetodid, mille puhul arvutatakse välja ainult iga alternatiivse variandi kulud; argumendiks on, et kõige parem variant on see, mille kulud on kõige väiksemad. Siia gruppi kuulub kulude hetkeväärtuse meetod.

Teise gruppi kuuluvate meetodite puhul arvutatakse välja nii alternatiivsete variantide tulud kui ka kulud. Tuluks loetakse püsikulude pealt kokku hoitud kasumit võrreldes nullalternatiiviga (s.t olemasoleva situatsiooni või rajatisega, mille parandamist või asendamist uuritakse). Käesoleva grupi meetodid lähtuvad põhimõttest, et alternatiivne variant on majanduslikult muutuv, kui tulu ületab kulud. Projekti kulusid defineeritakse läbi projekti rakendamiseks (ellu viimiseks) ohverdatud majanduslike vahendite alternatiivkulude. Parima alternatiivi tuvastamise meetod sõltub eritehnikast. Siia gruppi kuulub kolm meetodit: puhta nüüdisväärtuse, tulu ja kulu suhte ja sisemise tasuvuslääve meetod.

A6.3.1 Kulu hetkeväärtuse (PW_{oC}) meetod

Selle meetodiga valitakse üksteist välistavate projektide seast välja kõige väiksema kuluga variant. Kõik võimaliku variandi valmistamise, hooldamise ja kasutamisega seotud majanduslikud kulud (s.t alternatiivkulud) diskonteeritakse nende hetkeväärtuseks. Vastavalt majandusliku efektiivsuse eesmärgile peetakse kõige tasuvamaks alternatiivi, mille kulu hetkeväärtus on kõige madalam. Seda meetodi väljendab järgmine valem:

$$PW_{oC} = C_a + PW(M + U) \quad [\text{Valem A6.2}]$$

kus: PW_{oC} – kulu hetkeväärtus
 C_a – kõik rajatise valmistamisega seotud esialgsed kulud, millest on lahutatud analüüsiperioodi lõpu diskonteeritud jääkväärtus
 PW(M+U) – kõigi maantee hooldus- ja kasutuskulude hetkeväärtus vaatlusperioodi jooksul

Nullalternatiivi ehk olemasoleva rajatise puhul, mille võimalikku asendamist või uuendamist uuritakse ning mille suhtes võrreldakse teisi üksteist välistavaid alternatiive, on $PW_{oC} = PW(M + U)$.

A6.3.2 Tulu ja kulu (B/C) suhte meetod

Selle meetodiga määratakse kõige kasulikuma alternatiivi leidmiseks kindlaks projekti tulude (s.t palju hoitakse nullalternatiiviga võrreldes aastas kokku) ja diskonteeritud esialgsete kulude suhe. Analüüsiperioodiks prognoositav kasu määratakse kindlaks, lahutades olemasoleva rajatise eeldatavate kulude hetkeväärtusest, millele on liidetud hoolduskulud, alternatiivse variandi eeldatavate kasutamiskulude hetkeväärtus, millele on liidetud hoolduskulud.

Diskonteeritud tulu summa ja projekti esialgsete kulude summa suhe saadakse, jagades esimese viimasega. Kõik projektid, mille vastav näitaja on suurem kui üks, on elujõulised ning majanduslikult kõige kasulik on projekt, mille tulu ja kulu suhtarv on kõige kõrgem. Üksteist välistavaid projekte võrreldes tuleb aga kõige ökonoomsema variandi leidmiseks kasutada lisaanalüüse. Meetodit saab väljendada järgmise valemi kaudu:

$$B/C = \frac{[PW(M_o + U_o) - (PW(M_a + U_a))]}{C_a} \quad [\text{Valem A6.3}]$$

kus: B/C – tulu ja kulu suhe
 o – olemasolev rajatis
 a – uuritav alternatiiv

A6.3.3 Sisemise tasuvuslääve (IRR) meetod

Selle meetodiga arvutatakse võrdluses nullalternatiiviga välja iga alternatiivi eeldatav sisemine tasuvusläävi. Meetodi omapäraks on, et see ei nõua ainult ühe kindlaksmääratud määraga diskonteerimise kasutamist.

Vaatlusperioodi iga-aastased säästud ("tasuvus") diskonteeritakse perioodi alguse seisuks. Diskonteeritud summade kogusummat võrreldakse diskonteeritud esialgsete kuludega. Järgemööda kasutatakse erinevaid tasuvusmäärasid, kuni leitakse määr, mille puhul aastane diskonteeritud tulu võrdub esialgsete kuludega. Seda nimetatakse (eeldatavaks) sisemiseks tasuvuslääveks. Majanduslikult kõige kasulikumaks võib pidada kõige kõrgema sisemise tasuvusläävega varianti, kuigi tegelikult tuleks saadud määra võrrelda prevaleeriva tegeliku diskontomääraga. Kui see on suurem kui prevaleeriv diskontomäär, on projekt majanduslikult elujõuline. Üksteist välistavaid alternatiive võrreldes tuleks kõige ökonoomsema variandi leidmiseks kasutada lisaanalüüsi.

IRR on diskontomäär (r), mis võimaldab järgnevalt esitatud võrrandiga A6.4 arvutatud PW väärtused võrdsustada C_a -ga

$$IRR = r \text{ kui } [PW (M_o + U_o) - PW (M_a + U_a)] = C_a \quad [\text{Valem A6.4}]$$

(s.t. et r on diskontomäär, mille puhul $[PW (M_o + U_o) - PW (M_a + U_a)]$ on võrdne C_a -ga.

A6.3.4 Puhta nüüdisväärtuse (NPV) meetod

Selle meetodiga leitakse üksteist välistavate projektide seast variant, mille puhas nüüdisväärtus on kõige suurem. Iga-aastaste säästude, mida välja pakutud alternatiiv olemasoleva rajatisega võrreldes võimaldab kokku hoida, diskonteeritud summast lahutatakse projekti diskonteeritud esialgsed kulud. Kõik positiivse puhta nüüdisväärtusega variandid on majanduslikult elujõulised ning kõige tulusam on kõrgeima nüüdisväärtusega projekt.

Meetodit saab väljendada järgmise valemi kaudu:

$$NPV = PW (M_o + U_o) - PW (M_a + U_a) - C_a \quad [\text{Valem A6.5}]$$

A6.4 Analüüsiperiood ja transpordirajatiste lõpp- ja jääkväärtus

Investeeringuid transpordirajatistesse peetakse "uppunud" investeeringuteks (s.t et projekti tulemusel pole muid võimalikke rakendusi), mis tähendab, et alternatiivkulu põhimõtte välistab võimaluse, et transpordirajatisel võiks olla lisaväärtusi peale rajatise alla kuuluva maapinna alternatiivkulu rajatise kasutamise perioodil. Seetõttu on soovitatav, et analüüs (hindamine) hõlmaks rajatise kogu planeeritud eluiga. Siiski on olemas mõistlikke praktilisi põhjuseid, miks teatud puhkudel peaks analüüsiperiood olema rajatise planeeritud kasutusajast lühem. Riski ja ebakindluste tõttu tuleviku suhtes on kõik ennustused ja prognoosid, mis puudutavad kahekümnest aastast pikemat ajajärku, äärmiselt spekulatiivsed, sest väga raske on näiteks ette ennustada liiklustihedust, milliseid liiklusvahendeid kõige enam kasutatakse, nende jagunemist, muutusi tehnoloogias, maakasutuses, demograafilistes näitajates jms.

Perioodi, mille kohta ennustusi ja prognoose tehakse, võib pikendada üle 20 aasta tingimusel, et prognoosid säilitavad usaldusväärsuse. Soovitatavalt ei tohiks analüüsiperioodid olla siiski pikemad kui 30 aastat (tavaliselt tehakse analüüsi 20 aasta kohta), kuigi teatud transpordiprobleemide loogilised lahendused võivad olla pikaajalised projektid, mille

kasutusiga on oluliselt pikem kui 30 aastat. Et olla aus ja õiglane (realistlik) pikaajaliste projektide investeeringute suhtes, kasutatakse lihtsa, kuid kindlalt piiritletud alternatiivkulureegli asemel erandkorras jääkväärtuse näol paremuselt teist mõttelise hindamise reeglit. Jääkväärtus tähendab projekti kunstlikku alternatiivväärtust projekti kogu kasutusea jooksul ja on usaldusväärse normina ja õigustatud erandina alternatiivkulu väärtuse reeglist laialdaselt, kui mitte universaalselt, aktsepteeritud. Vastasel juhul oleksid majandusliku hindamise alusel väga vähesed pikaajalised transpordiprojektid üldse kunagi teoks saanud.

Kui leitakse, et projektil on eeldatav lõppväärtus (s.t rajatise likvideerimisväärtus planeeritud eluea lõpus), või jääkväärtus (s.t rajatise likvideerimisväärtus planeeritud eluea kestel), tuleks sellised väärtused diskonteerida ja arvata maha diskonteeritud esialgsetest kuludest. Seda tuleb teha, sest sisemine tasuvusläävi ja tulu ja kulu suhe on investeerimiskuludega seotud. Näiteks kui projekti planeeritud elu- või kasutusiga on 30 aastat ja pärast selle perioodi lõppemist hakatakse rajatise all olevat maad kasutama jälle samadel majanduslikel eesmärkidel nagu 30 aastat tagasi, on algne investeerimiskulu võrdne rajatise loomise alternatiivkuluga (s.t planeerimise, kavandamise ja ehitamise kuludega), millele on juurde liidetud saamata jäänud tulu sellest, et rajatise kasutusea jooksul ei kasutatud maapinda selle alternatiivses rakenduses. Teisiti öeldes on investeerimiskulu, vastavalt sellele, millist tulu arvestatakse, rajatise loomisega seotud alternatiivkulu ning samas ka maa transpordieesmärkidel hõivamise alternatiivkulu ajavahemikus, mil see pole alternatiivseks kasutuseks vaba.

LISA 7

Kuluanalüüs

A7.1 Põhimaterjalide ja tööde maksumus

A7.2 Suure liiklusega teede remont

A7.2.1 1. variant: olemasolevate seotud kihtide purustamine / asfaltülekate tegemine

A7.2.2 2. variant: tsemendiga stabiliseeritud alus / asfaltülekate

A7.2.3 3. variant: vahtbituumeniga stabiliseeritud alus koos asfaltkattega

A7.3 Olemasolevate kruusateede parendamine

A7.3.1 1. variant: ainult sõmerast materjalist traditsiooniline katend

A7.3.2 2. variant: killustikalus tsemendiga stabiliseeritud aluskihil

A7.3.3 3. variant: kaheetapiline teel stabiliseerimine

A7.4 Kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga

A7.4.1 1. variant: traditsiooniline asfaltülekate

A7.4.2 2. variant: vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust alus asfaltkattega

A7.1 Põhimaterjalide ja tööde maksumus

Käesolevas osas analüüsitakse 1. lisas käsitletud mitmesuguseid taastusremondivariante, võrreldes nende ehitusmaksumusi.

Tabelis on esitatud erinevate tööde ühiku maksumus. Need põhinevad juulis 2004 Lõuna-Aafrika tee-ehituses kehtinud hindadel, arvestatuna eurodesse kursiga 1 € = 7,50 R.

Tabel A7.1 Kuluanalüüsis kasutatavad ühiku maksumused		
Artikkel	Ühik	Maksumus (€)
Kohapeal stabiliseerimise tööühm *	m ²	2
Seguris segamine (Wirtgen KMA 200) **	tonn (t)	5
Freespuru sõelumine suurte tükkide eemaldamiseks	tonn (t)	1
Freesimine ja freespuru utiliseerimine	tonn (t)	15
Kuum asfaltbetoon. Tarnimine ja laotamine:		
aluskiht	tonn (t)	70
kulumiskiht	tonn (t)	80
Bituumen, penetratsiooniate (60–200)	tonn (t)	300
Bituumenemulsioon	tonn (t)	325
Tarnimine ja kruntkihi ja/või nakkekihi tegemine	liiter (l)	0,35
Tavaline portland tsement	tonn (t)	120
Kustutatud lubi	tonn (t)	120
Fraktsioneeritud killustiku (purusti fraktsiooni) tarnimine	tonn (t)	20
Sõelmete tarnimine (< 6 mm)	tonn (t)	15
Karjäärast kruusa tarnimine	tonn (t)	10
Uue katendikihi tegemine teehöövliga (segamine, laotamine, tihendamine)	m ²	1
Laoturiga laotatud uued katendikihid (kohale toomine, sillutamine, tihendamine)	m ²	2
Väikeste alade lappimine	m ²	30
Puistepindamine (kahekordne)	m ²	3
Ajutiste ümbersõiduteede ehitamine		
Kruusast kulumiskiht	km	20 000
Bituumenkate	km	30 000

* Maksumus 2 €/m² on arvatud päevase maksumuse põhjal, milleks on 5000 € ning mis kulub keskmiselt 2500 m² stabiliseerimiseks ja viimistlemiseks (siia sisse on arvestatud seadmed, kütus, tarbekaubad, tööjõud). Tuleb rõhutada, et maksumus sõltub mitmest tegurist, nagu näiteks kasutatavate masinate tüübist, projekti ulatusest, ajalistest piirangutest jne. Sõltuvalt konkreetsest projektist võib tegelik maksumus võib jääda vahemikku 1 €/m² kuni üle 10 €/m².

** Maksumus 5 €/t on arvatud päevase maksumuse põhjal, milleks on 5000 € ning mis kulub keskmiselt 1000 t töödeldud materjali segamiseks seguris Wirtgen KMA 200 (siia sisse on arvestatud kütus, tarbekaubad, tööjõud). Tuleb rõhutada, et maksumus sõltub mitmest tegurist, nagu näiteks materjali tüübist, projekti ulatusest, ajalistest piirangutest jne. Sõltuvalt konkreetsest projektist võib tegelik maksumus võib jääda vahemikku 1 €/t kuni üle 10 €/t.

A7.2 Suure liiklusega teede remont (Lisa 1, 1. näide)
A7.2.1 1. variant: olemasolevate seotud kihtide purustamine / asfaltülekatte tegemine

Tabel A7.2 Ühiku maksumuse arvutamine purustamise / asfaltülekatte puhul					
Jrk nr	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Maksumus (€)	Kokku (€)
1	Segamine / purustamine 300 mm sügavuselt	m ²	1	2,00	2,00
2	Planeerimine teeöövliga	m ²	1	1,00	1,00
3	Killustikukihi kruntimine	L	0,7	0,35	0,25
4	75 mm paksune asfaltalus	T	4c	70	13,13
4a	Asfaltkihi paksus	mm	75		
4b	Asfaldi tihedus	kg/m ³	2500		
4c	Asfaldi kogus (tonn/m ²) [(4a/1000 x 4b)/1000]		0,1875		
5	Asfaltkihtide vaheline kruntimine	l	0,3	0,35	0,11
6	40 mm paks asfalkate	t	6c	80	8,00
6a	Asfaltkihi paksus	mm	40		
6b	Asfaldi tihedus	kg/m ³	2500		
6c	Asfaldi kogus (tonn/m ²) [(6a/1000 x 6b)/1000]		0,10		
Katendi ruutmeetri maksumus kokku purustamise / asfaltülekatte puhul (€/m²)					24,49

A7.2.2 2. variant: tsemendiga stabiliseeritud alus / asfaltülekate

Tabel A7.3 Ühiku maksumuse arvutamine tsemendiga stabiliseeritud aluse / asfaltülekatte puhul					
Jrk nr	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Maksumus (€)	Kokku (€)
1	Stabiliseerimine 250 mm sügavuselt	m ²	1	2,00	2,00
2	Tsement stabiliseerimiseks	t	2d	120	1,29
2a	Kihi paksus	mm	250		
2b	Stabiliseeritud materjali tihedus	kg/m ³	2150		
2c	Tsemendi kulunorm	massi%	2,0		
2d	Tsemendi kogus (tonn/m ²) [(2a/1000 x 2b) x (2c/100)/1000]		0,01075		
3	Stabiliseeritud kihi kruntimine	l	0,7	0,35	0,25
4	Kruntimine enne asfalkatte laotamist	l	0,3	0,35	0,11
5	60 mm asfaltalus	t	5c	70	10,50
5a	Asfaltkihi paksus	mm	60		
5b	Asfaldi tihedus	kg/m ³	2500		
5c	Asfaldi kogus (tonn/m ²) [(5a/1000 x 5b)/1000]		0,150		
6	Kruntimine (asfaltkihtide vahel)	l	0,3	0,35	0,11
7	40 mm paks asfalkate	t	7c	80	8,00
7a	Asfaltkihi paksus	mm	40		
7b	Asfaldi tihedus	kg/m ³	2500		
7c	Asfaldi kogus (tonn/m ²) [(7a/1000 x 7b)/1000]		0,10		
Katendi ruutmeetri maksumus kokku tsemendiga stabiliseeritud aluse / asfaltülekatte puhul (€/m²)					22,26

Tabel A7.4 Ühiku maksumuse arvutamine vahtbituumeniga stabiliseerimise puhul					
Jrk nr	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Maksumus (€)	Kokku (€)
1	Stabiliseerimine 250 mm sügavuselt	m ²	1	2,00	2,00
2	Tsement stabiliseerimiseks	t	2d	120	0,65
2a	Kihi paksus	mm	250		
2b	Stabiliseeritud materjali tihedus	kg/m ³	2150		
2c	Tsemendi kulunorm	massi%	1,0		
2d	Tsemendi kogus (tonn/m ²) [(2a/1000 x 2b) x (2c/100)/1000]		0,005375		
3	Sitke bituumen stabiliseerimiseks	t	3b	300	4,03
3a	Vahtbituumeni kulunorm	massi%	2,5		
3b	Bituumeni kogus (tonn/m ²) [(2a/1000 x 2b) x (3a/100)/1000]		0,013438		
4	Kruntimine (asfaltkihtide vahel)	l	0,3	0,35	0,11
5	40 mm paks asfaltkate	t	5c	80	8,00
5a	Asfaltkihi paksus	mm	40		
5b	Asfaldi tihedus	kg/m ³	2500		
5c	Asfaldi kogus (tonn/m ²) [(7a/1000 x 7b)/1000]		0,10		
Katendi ruutmeetri maksumus kokku vahtbituumeniga stabiliseerimise puhul (€/m²)					14,79

A7.3 Olemasolevate kruusateede parendamine (1. lisa 2. näide)

A7.3.1 1. variant: ainult sõmerast materjalist traditsiooniline katend

Tabel A7.5 Ühiku maksumuse arvutamine traditsioonilise sõmerast materjalist katendi puhul					
Jrk nr	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Maksumus (€)	Kokku (€)
1	Kruusa tarnimine	t	1d	10,00	0,44
1a	Aluskihi paksus	mm	150		
1b	Mujalt toodava materjali protsent	mahu%	15		
1c	Materjali tihedus	kg/m ³	1950		
1d	Mujalt toodava materjali kogus (1a/1000 x 1b/100) x (1c/1000)		0,04388		
2	Uue aluskihi töötlemine	m ²	1	1	1,00
3	Fraktsioneeritud killustiku tarnimine	t	3c	20	6,30
3a	Aluse paksus	mm	150		
3b	Materjali tihedus	kg/m ³	2100		
3c	Mujalt toodava materjali kogus (3a/1000 x 3b/1000)		0,315		
4	Uue aluse töötlemine	m ²	1	1	1,00
5	Kruntkiht uue aluse peal	l	0,7	0,35	0,25
6	Puistepindamine	m ²	1	3	3,00
Katendi ruutmeetri maksumus kokku traditsioonilise sõmerast materjalist katendi puhul (€/m²)					11,99

A7.3.2 2. variant: killustikust alus tsemendiga stabiliseeritud aluskihil

Tabel A7.6 Ühiku ehitusmaksumuse arvutamine killustikust aluse tegemisel tsemendiga stabiliseeritud aluskihi					
Jrk nr	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Maksumus (€)	Kokku (€)
1	Stabiliseerimine 150 mm sügavuselt (aluskiht)	m ²	1	2,00	2,00
2	Tsement stabiliseerimiseks	t	2d	120	1,05
2a	Kihi paksus	mm	150		
2b	Stabiliseeritud materjali tihedus	kg/m ³	1950		
2c	Tsemendi kulunorm	massi%	3		
2d	Tsemendi kogus (tonn/m ²) [(2a/1000 x 2b) x (2c/100)/1000]		0,008775		
3	Fraktsioneeritud killustiku tarnimine	t	3c	20,00	5,25
3a	Aluse paksus	mm	125		
3b	Materjali tihedus	kg/m ³	2100		
3c	Mujalt toodava materjali kogus (3a/1000 x 3b/1000)		0,2625		
4	Uue aluse töötlemine	m ²	1	1	1,00
5	Kruntkiht uue aluse peal	l	0,7	0,35	0,25
6	Puistepindamine	m ²	1	3	3,00
Katendi ruutmeetri maksumus kokku killustikust aluse tegemisel tsemendiga stabiliseeritud aluskihi (€/m²)					12,55

A7.3.3 3. variant: kaheetapiline teel stabiliseerimine

Tabel A7.7 Ühiku ehitusmaksumuse arvutamine kaheetapilise teel stabiliseerimise puhul					
Jrk nr	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Maksumus (€)	Kokku (€)
1	Stabiliseerimine 300 mm sügavuselt	m ²	1	2,00	2,00
2	Lubjaga töötlemine	t	2d	120	1,05
2a	Kihi paksus	mm	300		
2b	Stabiliseeritud materjali tihedus	kg/m ³	1900		
2c	Lubja kulunorm	massi%	2		
2d	Lubja kogus (tonn/m ²) [(2a/1000 x 2b) x (2c/100)/1000]		0,008775		
3	Stabiliseerimine 125 mm sügavuselt	m ²	1	2,00	2,00
4	Bituumen stabiliseerimiseks	t	4d	300	2,14
4a	Kihi paksus	mm	125		
4b	Stabiliseeritud materjali tihedus	kg/m ³	1900		
4c	Vahtbituumeni kulunorm	massi%	3		
4d	Vahtbituumeni kogus (tonn/m ²) [(4a/1000 x 4b) x (4c/100)/1000]		0,00713		
5	Puistepindamine	m ²	1	3,00	3,00
Katendi ruutmeetri maksumus kokku kaheetapilise teel stabiliseerimise puhul (€/m²)					10,19

A7.4 Kuumast asfaltbetoonist aluskihi asendamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespuruga (1. lisa 3. näide)

A7.4.1 1. variant: traditsiooniline asfaltülekate

Tabel A7.8 Ühiku ehitusmaksumuse arvutamine traditsioonilise asfaltülekate puhul					
Jrk nr	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Maksumus (€)	Kokku (€)
1	Olemasoleva pinna kruntimine	l	0,3	0,35	0,11
2	100 mm asfaltalus	t	2c	70	17,50
2a	Asfaltkihi paksus	mm	100		
2b	Asfaldi tihedus	kg/m ³	2500		
2c	Asfaldi kogus (tonn/m ²) [(2a/1000 x 2b)/1000]		0,250		
3	Kruntimine (asfaltkihtide vahel)	l	0,3	0,35	0,11
4	40 mm paks asfaltkate	t	4c	80	8,00
4a	Asfaltkihi paksus	mm	40		
4b	Asfaldi tihedus	kg/m ³	2500		
4c	Asfaldi kogus (tonn/m ²) [(4a/1000 x 4b)/1000]		0,10		
Katendi ruutmeetri maksumus kokku traditsioonilise asfaltülekate puhul (€/m²)					25,72

A7.4.2 2. variant: vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust alus asfaltkattega

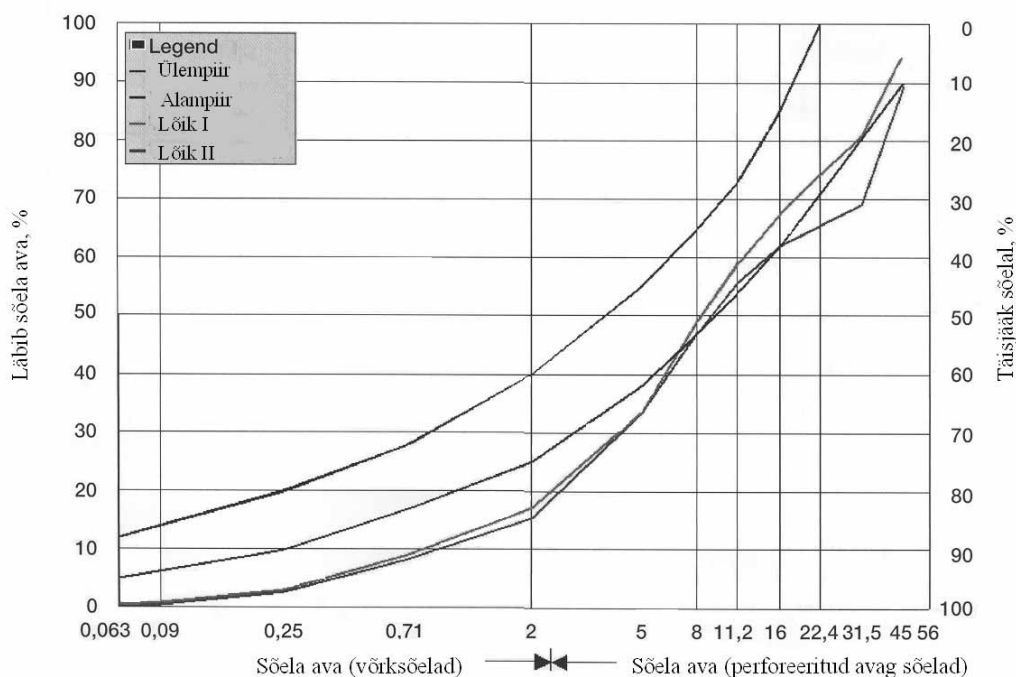
Tabel A7.9 Ühiku ehitusmaksumuse arvutamine vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust aluse ja asfaltkatte puhul					
Jrk nr	Kirjeldus	Ühik	Kogus	Maksumus (€)	Kokku (€)
1	Freespuru sõelumine	t	2c	1,00	0,28
2	Freespuru segamine KMA seguris	t	2c	5,00	1,41
2a	Kihi paksus	mm	125		
2b	Stabiliseeritud materjali tihedus	kg/m ³	2250		
2c	Freespuru kogus t/m ² (2a/1000 x 2b/1000)		0,2813		
3	Tsement aktiivlisandina	t	3b	120	0,34
3a	Tsemendi kulunorm	massi%	1,0		
3b	Tsemendi kogus (tonn/m ²) [(2a/1000 x 2b) x (3a/100)/1000]		0,002813		
4	Sitke bituumen stabiliseerimiseks	t	4b	300	1,69
4a	Vahtbituumeni kulunorm	massi%	2,0		
4b	Bituumeni kogus (tonn/m ²) [(2a/1000 x 2b) x (3a/100)/1000]		0,005625		
5	Stabiliseeritud freespurust aluse laotamine / tihendamine	m ²	1	2,00	2,00
6	Aluse kruntimine	l	0,3	0,35	0,11
7	40 mm paks asfaltkate	t	7c	80	8,00
7a	Asfaltkihi paksus	mm	40		
7b	Asfaldi tihedus	kg/m ³	2500		
7c	Asfaldi kogus (tonn/m ²) [(7a/1000 x 7b)/1000]		0,10		
Katendi ruutmeetri maksumus kokku vahtbituumeniga stabiliseeritud freespurust aluse ja asfaltkatte puhul (€/m²)					13,83

A8. Katsetusmeetmed

A8.1.1 *Esimene töö teostati augustis 2002 Rheinland-Pfalzis.*

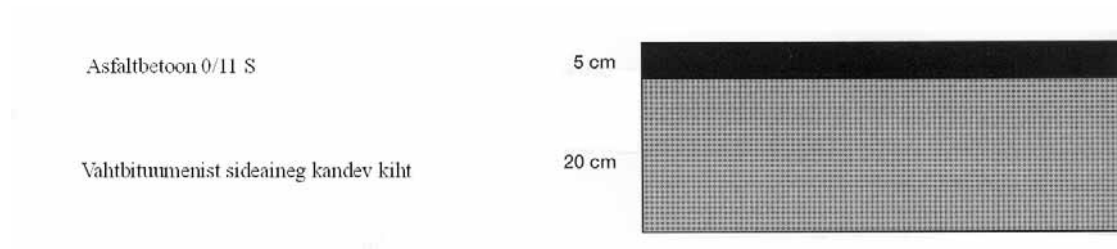
Nende tulemuste põhjal tunnistati L 275 1.025 km pikkune lõik katseliseks teelõiguks sobivaks. Otsustavaks sai sellise tulemuseni jõudmisel alumiste kihtide olemasolev kandevõime, mis lubas oodata vahtbituumenist sideainega kandva kihi head tihendatavust ning kogu konstruktsiooni head kandevõimet. Aluskihi deformatsioonimooduli väärtuse E_{v2} keskmine oli 105 MN/m². Võimalike katseliste lõikude kandevõimeuuringute tulemused on toodud lisas VI.

Joonis A8.1 Väljafreesitud materjali terakoostis ja sõelkõver.



255

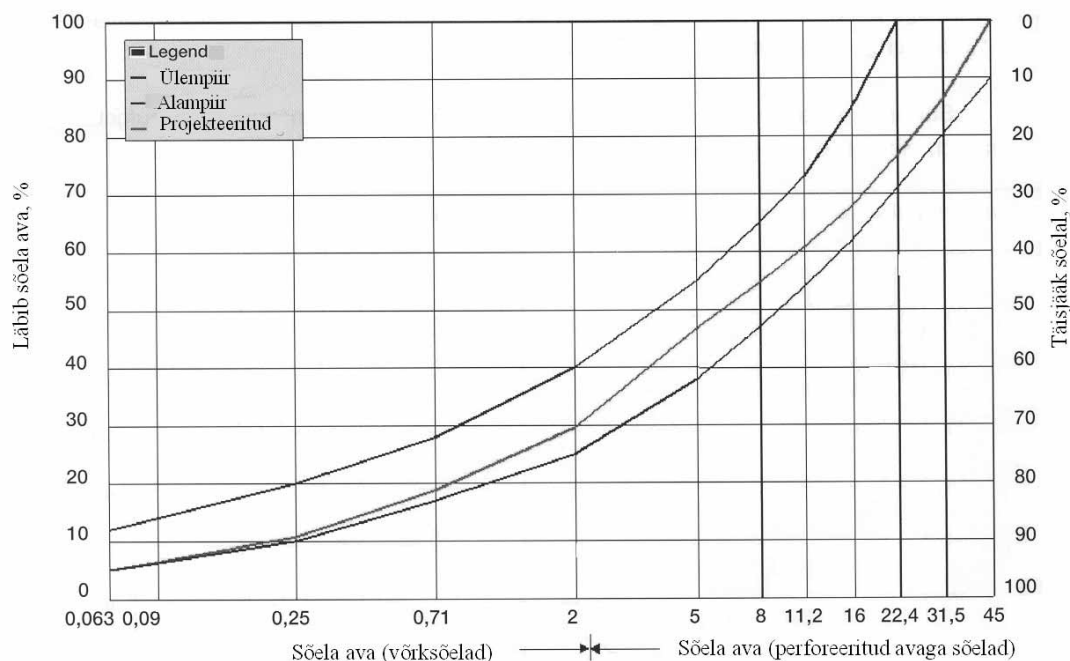
Joonis A8.2 L 275 taastusremondiks valitud konstruktsioon



A8.1.2 Sobivusuuringud

Väljafreesitud materjalile lisati 8 massiprotsenti fillerit ja 10 massiprotsenti liiva, fraktsioon 0/2. Joonisel A8.3 on kujutatud nii saadud sõelkõverat.

Joonis A8.3 Materjali terakoostis projekteerimisel.



Vahtbituumen-külmstabiliseerimissegu optimaalse koostise määramiseks testiti segu neljas erinevas seerias väljaandes M KRC toodud juhiste alusel. Tabelis A8.1 on toodud lisatud vee ja sideainekogused.

Tabel A8.1 Vee ja sideaine kogused

Lisatud kogus	Seeria			
	I	II	III	IV
Sideainesisaldus (massi-%)	3,0	4,0	5,0	3,5
Tsemendisisaldus (massi-%)	1,5	1,5	1,5	2,5
Veesisaldus (massi-%)	3,6	2,9	2,4	3,6

Peale topelt-sundsegistis segu tegemist valmistati sellest proovikehad, mis tihendati ja mida uuriti vastavalt väljaandes M KRC toodud juhiste lehestus-tõmbetugevuse osas 7 ja 28 päeva möödudes. Kolme proovikeha aritmeetilised keskmised on toodud tabelis A8.2.

Tabel A8.2 Projekteeritud segu tulemused					
Test/kriteerium	Seeria				Nõue M KRC järgi
	I	II	III	IV	
Lõhestus-Tõmbetugevus 7 d [N/mm ²]	0,42	0,45	0,49	0,89	≥ 0,50
Lõhestus-Tõmbetugevus 28 d [N/mm ²]	0,94	1,00	1,21	1,12	≥ 0,75
Lõhestus-Tõmbetugevus 14/14 d [N/mm ²]	0,69	0,83	0,92	0,79	-
Jäävpoorsus [mahuprotsenti]	8,7	8,1	8,3	9,5	8 - 15
Arvutuslik kuivtihedus [g/cm ³]	2,297	2,304	2,329	2,314	-

Suure tugevuse tõttu soovitati objektile kasutada vahtbituumen-külmstabiliseerimisseguga IV seeria koostist.

A8.1.3 Ettevalmistustööd

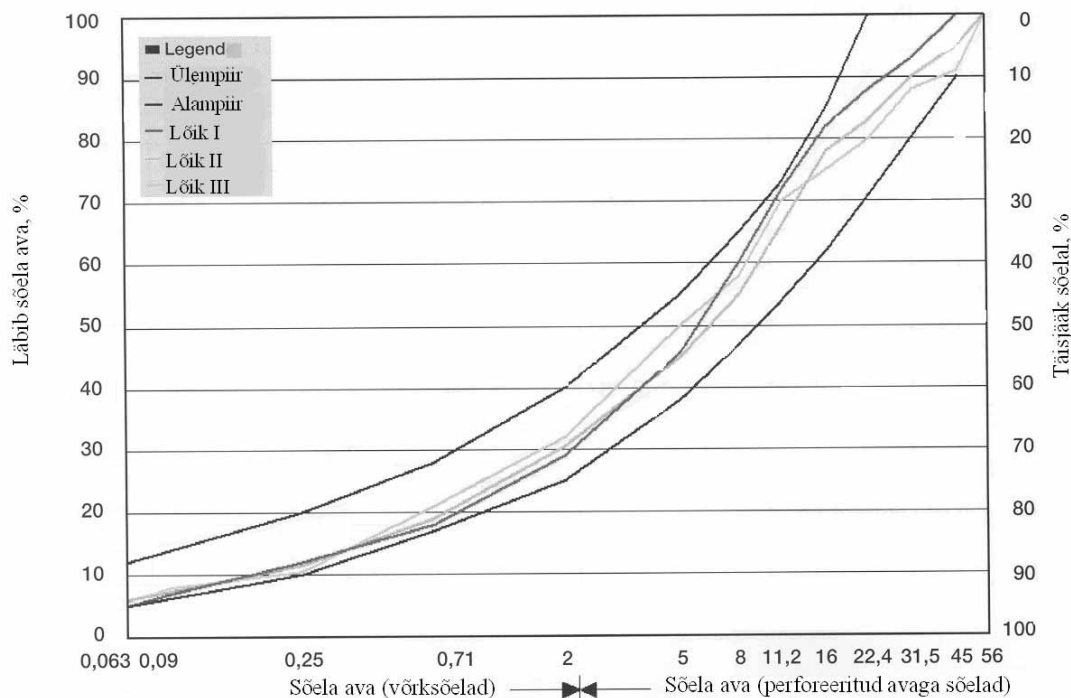
Enne külmstabiliseerimistööde alustamist tuleb teekatte pealmised kihid kuni 20 cm sügavuseni välja freesida. Sellest materjalist määratakse terakoostis ja seejärel jätkatakse materjali purustamist freesiga, kuni on saavutatud nõutav terakoostis vahemikus > 2 mm. Visuaalsel vaatlusel sai selgeks, et < 2 mm suurusega terade osakaal ei ole piisav. Seepärast lisati freesitud materjalile veel 15 kg/m² liiva 0/2 mm.

A8.1.4 Uuringud

Ehitustööde ajal teostati paralleelseid uuringuid. Need uuringud hõlmasid materjaliproove, et selgitada välja täitematerjali terakoostis enne materjali vahtbituumeniga segamist ning ka vahtbituumenit sisaldava kandva kihi põiktasasus, kandevõime ja tihendusaste peale laotamist.

Joonisel A8.4. on kujutatud kolmest kohast võetud proovide terakoostised. Kõik kolm sõelkõverat jäävad soovituslike näitajate piiridesse.

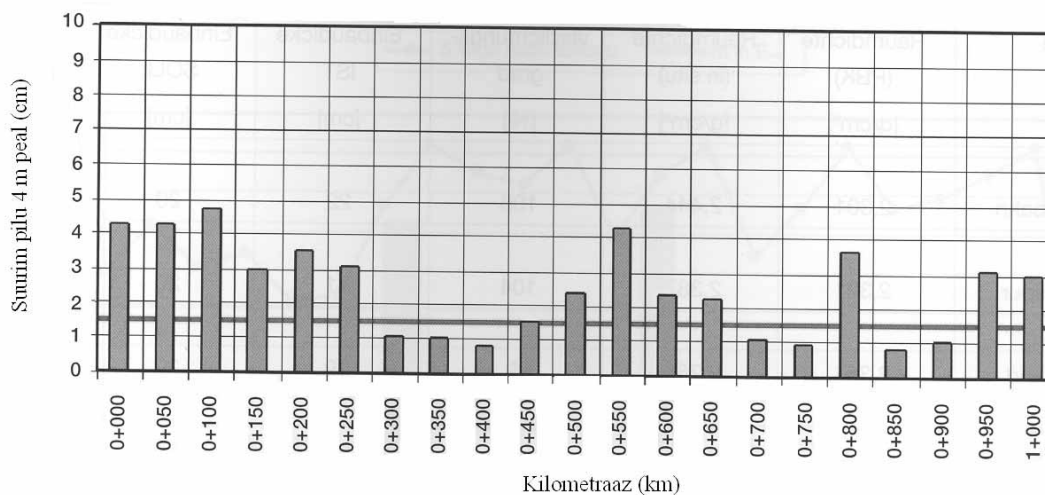
Joonis A8.4 Materjali terakoostis enne segamist.



A8.1.5 Kontrollkatsed

Põikitasasuse kontrollimiseks kasutati 4 m rihtlatti, fikseeriti kõige suuremad pilud ja nende asukoht. Mõõtmiste tulemusi on kujutatud joonisel 8.5.

Joonis A8.5 Vahtbituumen-kandval kihil mõõdetud põikitasasuse väärtused



Väljaande M KRC alusel on nõutav tasasus 1,5 cm 4 m kohta ning seda kogu lõigu ulatuses saavutada ei õnnestunud. Suurimate ebatasasuste põhjuseks on materjali tihendamine servapiirkondades, kus puudub piisav vastutugi.

Ehitusobjektile tehtud proovikehi ladustati väljaandes M KRC kirjeldatud viisil ja seejärel testiti. Uuringute tulemused on toodud tabelis A8.3.

Tabel A8.3 Vahtbituumenit sisaldava segu kontrollkatsete tulemused

Uuring / kriteerium		Proovikehad				Nõue M KRC järgi
		I/I	I/II	II/I	II/II	
Lõhestus-tõmbetugevus 7 d	N/mm ²	0,75	0,69			≥ 0,50
Lõhestus-tõmbetugevus 28 d	N/mm ²			1,21	1,12	≥ 0,75
Jäävpoorsus	Mahu-%	7,8	7,3	7,8	8,8	Projektne väärtus + 2 mahu-% 11,5
Mahumass (niiske)	g/cm ³	2,428	2,424	2,366	2,341	-
Mahumass (kuiv)	g/cm ³	2,297	2,304	2,329	2,314	-

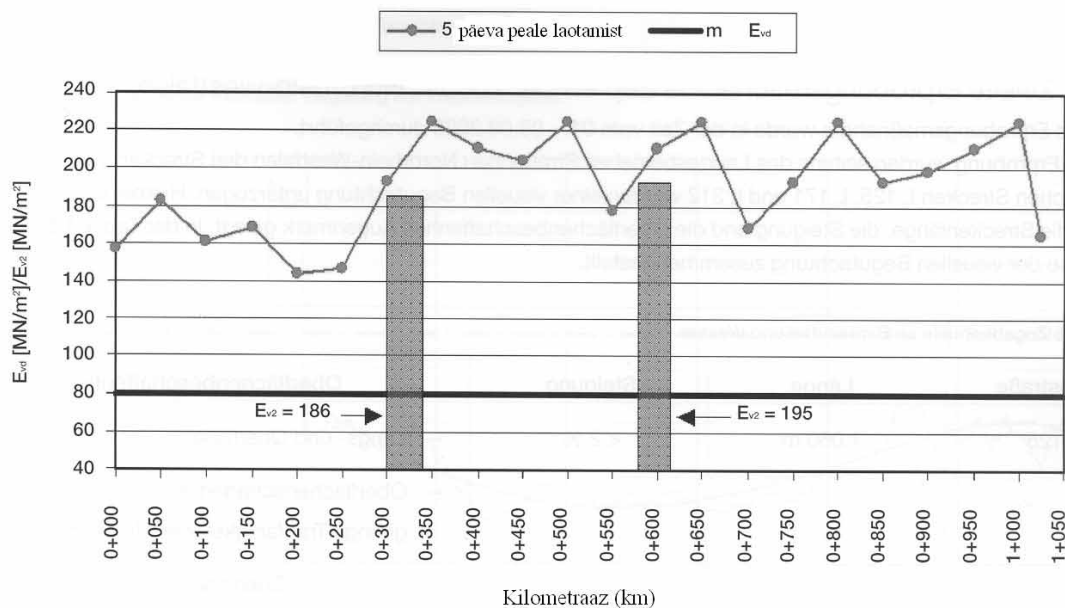
Valmis ja tihendatud kihi tihedust testiti kummi-balloonikatsega vastavalt normile DIN 18121-2, ning tulemuste alusel arvutati tihendusaste. Samas anti ka kihipaksused. Tabelis A8.4. on toodud erinevates testimiskohtades saadud tulemused.

Tabel A8.4. Tihendusaste ja laotussügavus

Mõõtekoht	Labori proovikehade mahumass (PBK)	Katte- proovide mahumass	Tihendus- aste	Tegelik paksus	Projektne (nõutav paksus)	Lubatavad minimaalsed hälbed
[km]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[%]	[cm]	[cm]	
0 + 250 keskmine sõidurida	2,301	2,44	106	22	20	Nõutav väärtus miinus 10 % ≥ 18
0 + 250 keskmine sõidujälg	2,301	2,387	104	21	20	
0 + 250 sõiduraja serv	2,301	2,267	99	19	20	
0 + 650 keskmine sõidurida	2,322	2,344	101	21	20	
0 + 650 sõiduraja serv	2,322	2,275	98	20	20	

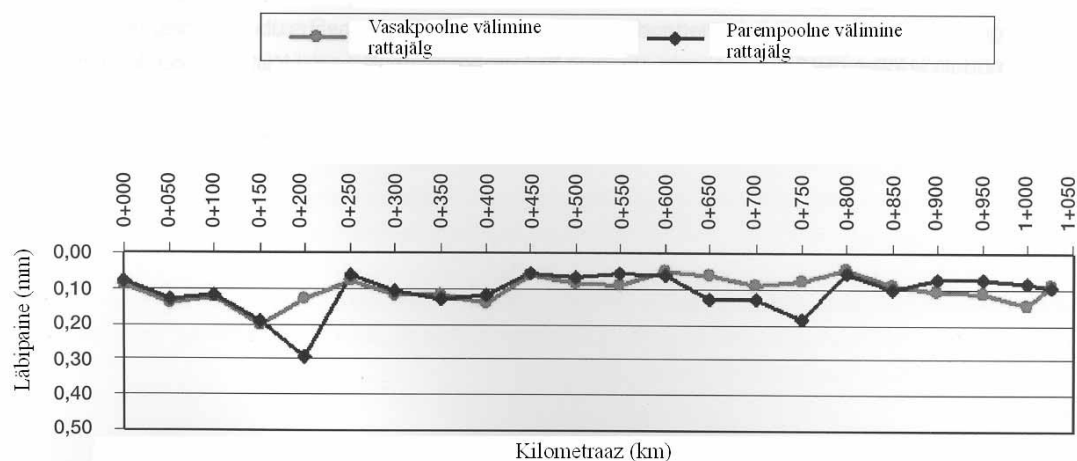
Nagu nähtub jooniselt A8.6, on dünaamilise plaatkoormuskatse tulemused tunduvalt üle 80 MN/m² miinimumväärtuse, mida on nõutud väljaandes M KRC. Läbi viidud staatiliste plaatkoormuskatsete käigus on saavutatud samuti nõutud E_{v2} väärtus 180 MN/m².

Joonis A8.6 Dünaamilise ja staatilise plaadisurvekatse tulemused



Lõpuks viidi läbi läbipainde mõõtmised Benkelmanni talaga, tulemusi on kujutatud jooniselt A8.7, ja sealt on näha, et läbipaine on kogu lõigu pikkuses peaaegu ühtlaselt.

Joonis A8.7 Dünaamilise ja staatilise plaadikoormuskatse tulemused



Keskmine läbipaine väärtusega 0,11 mm näitab kogemuste põhjal head kandevõimet.

A8.1.6. Kokkuvõte

Läbiviidud uuringute tulemusel selgus, et kõik parameetrid, ka tasasus, vastavad nõutavatele kriteeriumidele, mis on toodud väljaandes M KRC. Kokkuvõttes võib öelda, et katsetus osutus edukaks, mis näitab, et vahtbituumeni tehnoloogia on õigesti kasutatuna traditsioonilistele taastusremondimeetmetele heaks alternatiiviks.

A8.2. Teine uuring septembris 2003 Nordrhein-Westfaleenis.

Ajavahemik 01.-03.09.2003.

Selle katsetuse käigus pakkus katsetuse objektiks sobivad kolm teelõigu välja Nordrhein-Westfaleni teedehitusamet. Kolm teelõiku L 125, L 171 ja L 312 valiti visuaalse ekspertiisi tulemusel. Põhitähelepanu pöörati lõigu pikkusele, kaldele ja katendi pealiskihi seisukorrale. Visuaalse ekspertiisi tulemused on toodud tabelis A8.5.

Tabel A8.5 Lisatava sideaine ja vee kogused

Maantee	Pikkus	Kalle	Katendi pealispinna omadused
L 124	1050 m	< 2 %	- piki- ja põikipraad - pealispinna kahjustused ei võimalda aluskihtide kandevõime kohta järeldusi teha
L 171	550 m	kuni 6 %	- piki- ja põikipraad
L 312	1400 m	kuni 6 %	- katendi pealispind on praktiliselt kahjustusteta

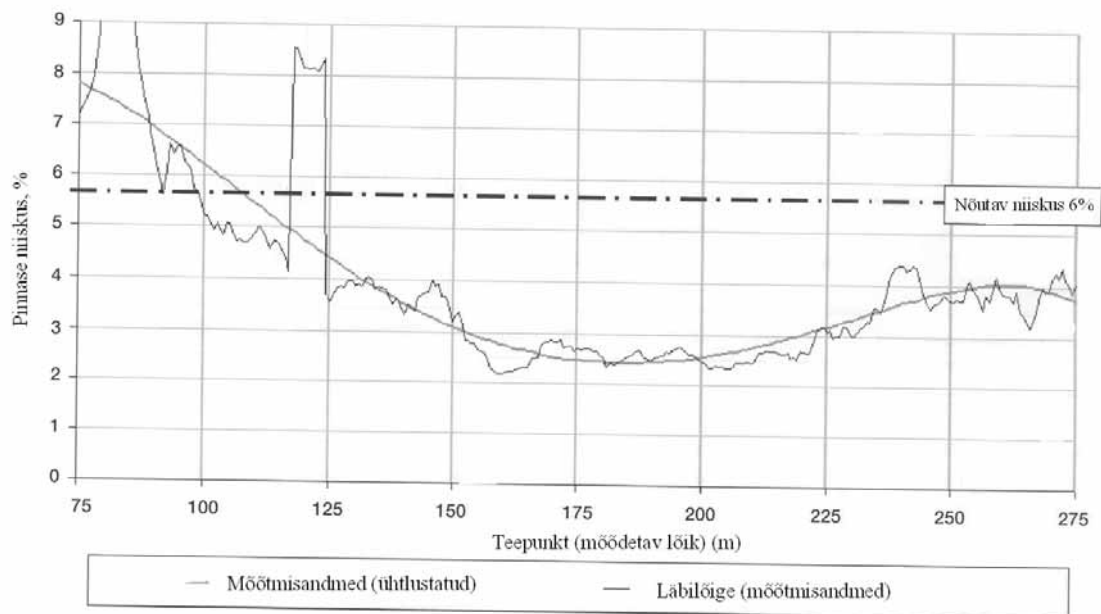
Valitud lõigu aluskihtide kandevõime kohta usaldusväärsete andmete saamiseks teostati Ruhr-Universitāt Bochumi spetsialistide poolt plaatkoormusseadmega 20 cm sügavuselt kandevõimemõõtmised. Kõik kuus kogu lõigu ulatuses mõõdetud deformatsioonimoodulit vastavad eeldustele, mis peavad taastusremondiks külmstabiliseerimisel valimisel täidetud olema. Läbiviidu uuringute tulemused on koondatud lisasse VII.

A8.3. Protsessi juhtimise rakendamine

Teine lõik algas L 125 Bad Honnefi asula lähedal. Taastatav lõik hõlmas kaht lühemalt lõiku, millest pikemal (u. 1000 m) teostati tööd automaatikat kasutades. Väiksemal lõigul kasutati seadmete käsitsijuhtimist. See tähendas, et näiteks lisatava vee kogust reguleeris masinajuht käsitsi ja vajadusel

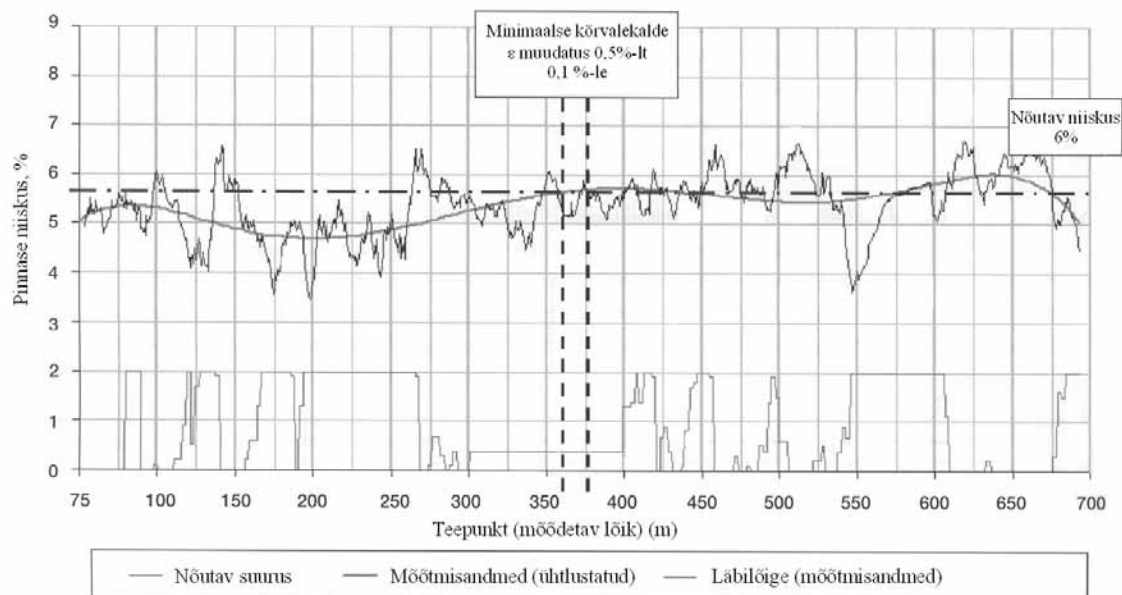
ka täiendavalt uuesti. Mõõteväärtused, mis selle lõigu kohta saadi, on toodud joonisel A8.8. Üle 200 m pikkune teelõik näitab kohati olulisi kõrvalekaldeid nõutavatest väärtustest (niiskusesisaldus 6 %).

Joonis A8.8 Materjali niiskusesisaldus vee lisamise käsitsi reguleerimisel.



Automaatse reguleerimise rakendamine võimaldas kõrvalekaldeid oluliselt vähendada (joon. A.8.9). Sealjuures tuleb tähele panna, et kahe mõõtelõigu puhul ei ole tegemist identsete lõikudega, vaid kõrvuti paiknevate lõikudega, mille puhul sai samas raamtingimuste põhjal lähteandmetena kasutada aluskihi samu omadusi ja konstruktsiooni niiskusesisaldust.

Joonis A8.9 Materjali niiskusesisaldus vee lisamise automaatsel reguleerimisel.



Automaatse reguleerimise rakendamiseks on ette antud nõutud väärtusena niiskuseprotsent 6 %. Katse ajal vähenes lubatud kõrvalekalle 0,5 %-lt 0,1 %-le. Selle väärtuse puhul on tegemist teatud ajavahemiku vältava regulatsiooni ajal genereeritud vee lisamise muutuste kontrollväärtustega. Kui kontrollväärtuse jaoks arvutatud vee juurdelisamise muudatus on teatud ajavahemiku jooksul väiksem kui ε , siis senist veedoseerimise kontrollväärtust ei muudeta. Selle meetme abil saab vältida mehhaaniliselt toimiva veedosaatori töörežiimi liiga sagedast muutmist. Doseerimisseadme reguleerimisele keskendunud uuringute tulemusel selgus, et doseerimisseadme dosaatori regulatsiooni muutmisel on vajalik teatav inert. Kui doseerimise kontrollväärtusi genereeritakse ja edastatakse liiga kiiresti, võib tekkida olukord, et veedoseerimine ei järgi klapi inertsit tõttu protsessori poolt etteantud kiirust. Lisaks sellele ei taga vee lisamise muutus veel ühtlaselt muudetud niiskusesolusid: segamistoimingud sellise tegevuseni, mis on võrreldav diferentseeritud reguleerimiselemendiga, mis töötab viivitusega (DT_1 -liige). Seetõttu on võetud kasutusele kontrollväärtus ε . Tagajärg on, et materjali niiskusesisalduse ja klapi kirjeldatud tüüpiline reaktsioon ei põhjusta regulatsiooni ülekoormamist. Nagu on näha jooniselt A4.9, õnnestus regulatsiooni abil etteantud niiskusesisaldusest väga hästi kinni pidada. Tulemus oli peale kontrollväärtuse ε vähendamist veelgi parem.

Teostatud katsed näitasid, et kõrgetasemeline andurite ja juhtimistehnika võimaldab töömeetodit tunduvalt parendada ning tagab seeläbi ka tööprotsessi suurema stabiilsuse ning kandva kihi kvaliteedi püsimise etteantud piirides ning võimalike kõrvalekallete puhul kergema mõjutatavuse.

A8.4 Katselõigul L 125 Nordrhein-Westfalis eelnevalt läbiviidud uuringud

A8.4.1 Eelnevalt Nordrhein-Westfalis lõigul L 125 läbi viidud uuringud

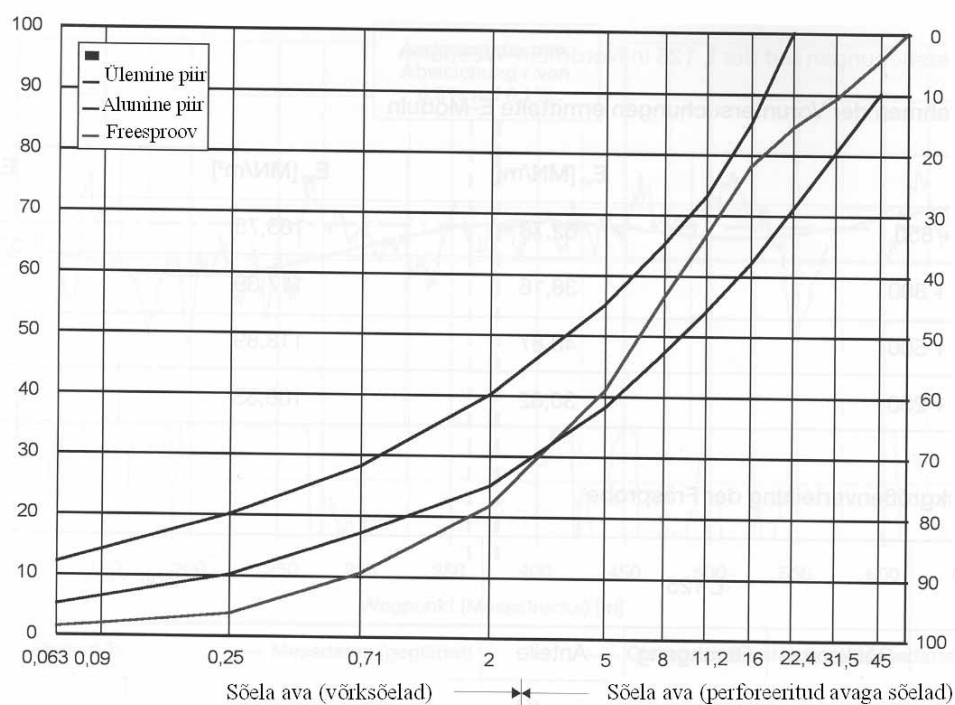
Tabel A8.6 Eelnevate uuringute käigus saadud E-moodulid

Asukoht	E_{v1} [MN/m ²]	E_{v2} [MN/m ²]	E_{v1} / E_{v2}
Lõik I – 2 + 850	62,78	165,75	2,6
Lõik II – 0 + 800	38,16	117,39	3,1
Lõik II – 0 + 500	40,87	118,89	2,9
Lõik II – 0 + 250	30,62	106,33	3,5

Tabel A87 Freesproovi terakoostis

		L 125			Nõue
Sõelaava mm		Jääk massi%	Sõela läbinud massi%	Osakaalud massi%	massi%
56,00	Killustik	0	100	78,4	> 45 mm terasuurus: max. 10,0
45,00		4,4	95,6		
31,50		6,5	89,1		
22,40		4,7	84,4		
16,00		6,3	78,1		
11,20		11,5	66,6		
8,00		10,4	56,2		
5,00		15,4	40,8		
2,00		19,2	21,6		
0,71	Liiv	11,2	10,4	19,9	< 2 mm terasuurus: min. 25,0
0,25		6,8	3,6		
0,09		1,9	1,7		
< 0,09	Filler	1,7		1,7	< 0,09 mm terasuurus: min. 6,0

Joonis A8.10 Sõelkõvera vahemik ja materjali terakoostis



Sideainesisaldus

Freesiproovi sideainesisaldus oli 3,7 massi%.

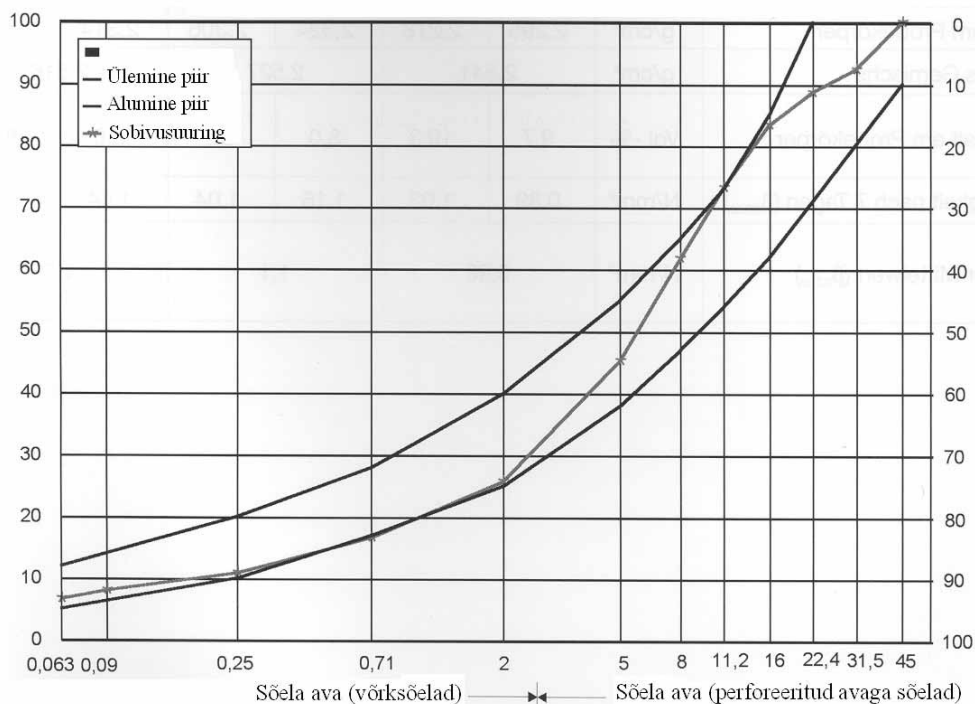
Hinnang sõelkõverale

Toodud freesiproovi terakoostis ei vasta väljaandes M KRC vahtbituumenit sisaldava kandva kihi ehitamise kohta kehtivatele nõuetele. Kui lisada 8 massiprotsenti fillerit, on võimalik saavutada sellise meetodi rakendamisel kasutatava täitematerjali nõuetekohane sõelkõver.

Tabel A8.8 Segu täitematerjali terakoostis

Sõelaava mm		L 125		Osakaalud massi	Nõue massi
		Jääk massi	Sõela läbinud massi		
56,00	Killustik		100	74,3	> 45 mm terasuurus: max. 10,0
45,00		2,4	97,6		
31,50		5,2	92,4		
22,40		3,7	88,7		
16,00		5,3	83,4		
11,20		10,2	73,2		
8,00		11,4	61,8		
5,00		16,6	45,2		
2,00		19,5	25,7		
0,71		9,1	16,6		
0,25	Liiv	5,7	10,9	17,7	< 2 mm terasuurus: min. 25,0
0,09		2,9	8,0		
< 0,09	Filler	8,0		8,0	< 0,09 mm terasuurus: min. 6,0

Joonis A8.11 Sõelkõvera vahemik ja materjali terakoostis enne segamist



Tabel A8.9 Lõhestus-tõmbetugevus 7 päeva möödudes

Proovikehade valmistamine M KRC alusel Tootmise kuupäev: 11.08.2003		Seeria						Nõue M KRC alusel
		A		B		C		
Proovikeha tähistus		1	2	3	4	5	6	
Tsemendisisaldus	massi-%	2,0		2,0		2,0		
Bituumenisisaldus	massi-%	2,0		3,0		4,0		
Niiskusesisaldus	%	4,5		4,5		4,5		
Proovikeha mahumass	g/cm³	2,330	2,301	2,311	2,315	2,300	2,308	
Segu näiv erimass	g/cm³	2,541		2,527		2,516		
Proovikeha jäävpoorsus	mahu-%	8,3	9,5	8,6	8,4	8,6	8,3	8 – 10 mahu-%
Lõhestus-tõmbetugevus 7 päeva möödudes (β _{sz,7})	N/mm²	0,87	0,72	0,88	0,89	1,01	0,97	
Aritmeetiline keskmine (β _{sz,28})	N/mm²	0,8		0,89		0,99		≥ 0,50 N/mm²

Tabel A8.10 Lõhestus-tõmbetugevus 28 päeva möödudes (säilitamine kuivas ruumis)

Proovikehade valmistamine M KRC alusel Tootmise kuupäev: 01.08.2003		Seeria						Nõue M KRC alusel
		A		B		C		
Proovikeha tähistus		3	4	10	11	17	18	
Proovikeha mahumass	g/cm ³	2,295	2,278	2,324	2,306	2,314	2,296	
Segu näiv erimass	g/cm ³	2,541		2,527		2,516		
Proovikeha jäävpoorsus	mahu-%	9,7	10,3	8,0	8,7	8,0	8,7	8 – 10 mahu-%
Lõhestus-tõmbetugevus 7 päeva möödudes (β _{sz,28})	N/mm ²	0,89	1,03	1,16	1,04	1,44	1,24	
Aritmeetiline keskmine (β _{sz,28})	N/mm ²	0,96		1,1		1,3		≥ 0,75 N/mm ²

Tabel A48.11 Lõhestus-tõmbetugevus 28 päeva möödudes (14 päeva kuivades tingimustes ja 14 päeva vees)

Proovikehade valmistamine M KRC alusel Tootmise kuupäev: 11.08.2003		Seeria						Nõue M KRC alusel
		A		B		C		
Proovikeha tähistus		5	6	12	13	19	20	
Proovikeha mahumass	g/cm ³	2,298	2,285	2,309	2,303	2,313	2,313	
Segu näiv erimass	g/cm ³	2,541		2,527		2,516		
Proovikeha jäävpoorsus	mahu-%	9,6	10,1	8,6	8,8	8,1	8,1	8 – 10 mahu-%
Lõhestus-tõmbetugevus 7 päeva möödudes ($\beta_{sz,7}$)	N/mm ²	0,73	0,81	1,00	1,12	1,10	1,04	
Aritmeetiline keskmine ($\beta_{sz,7}$)	N/mm ²	0,77		1,06		1,07		$\geq 0,75$ N/mm ²
Lõhestus-tõmbetugevuse vähenemine vees säilitamise järel ($\beta_{sz,7}$)	N/mm ²	0,77		1,06		1,07		< 30 %

A8.4.2 Sobivusuuringute tulemuste hindamine

Kõik 3 seeriat vastavad väljaandes M KRC toodud nõuetele. Et vältida võimalikke probleeme objektil, osutus valituks seeria C milles on 4 % bituumenit, 2 % tsementi ja 4,5 % vett.

A8.4.3 Külmsabiliseeritud kihi järelevalve raames saadud testimise tulemused

A8.4.3.1 Objektile valmistatud proovikehade omadused

Tabel 8.12 Lõhestus-tõmbetugevusomadused peale 7 päeva möödumist, proovikehad 1 + 2

Seguproovi võtmise koht		Punkt 0 + 025		Nõue segu projekteerimisel	Nõue M KRC alusel	
Proovikeha tähistus		1	2		projektse segu katsetamisel	järelevalve katsed
Proovikeha mahumass	g/cm ³	2,281	2,285			
Segu näiv erimass	g/cm ³	2,588				
Proovikeha jäävpoorsus	mahu-%	11,9	11,7			
Aritmeetiline keskmine	mahu-%	11,8		8,5	8 kuni 10	≤ projektne väärtus +4
Lõhestus-tõmbetugevus 7 päeva möödudes (β _{sz,7})	N/mm ²	0,87	0,83			
Aritmeetiline keskmine (β _{sz,7})	N/mm ²	0,85		0,99	≥ 0,50	≥ projektne väärtus – 20 %

Tabel 8.13 Lõhestus-tõmbetugevusomadused peale 7 päeva möödumist, proovikehad 3 + 4

Seguproovi võtmise koht		Punkt 0 + 025		Nõue segu projekteerimisel	Nõue M KRC alusel	
Proovikeha tähistus		3	4		projektse segu katsetamisel	järele-valve katsed
Proovikeha mahumass	g/cm ³	2,307	2,288			
Segu näiv erimass	g/cm ³	2,622				
Proovikeha jäävpoorsus	mahu-%	12,0	12,7			
Aritmeetiline keskmine	mahu-%	12,4		8,5	8 kuni 10	≤ projektne väärtus +4
Lõhestus-tõmbetugevus 7 päeva möödudes (β _{sz,7})	N/mm ²	0,90	0,86			
Aritmeetiline keskmine (β _{sz,7})	N/mm ²	0,88		0,99	≥ 0,50	≥ projektne väärtus – 20%

Tabel 8.14 Lõhestus-tõmbetugevusomadused peale 28 päeva möödumist

Seguproovi võtmise koht		Punkt 0 + 025		Nõue segu projekteerimisel	Nõue M KRC alusel	
Proovikeha tähistus		7	8		projektse segu katsetamisel	järelevalve katsed
Proovikeha=mahumass	g/cm ³	2,241	2,277			
Segu näiv erimass	g/cm ³	2,587				
Proovikeha jäävpoorsus	mahu-%	13,4	12,0			
Aritmeetiline keskmine	mahu-%	12,7		8,4	8 kuni 10	≤ projektne väärtus +4
Lõhestus-tõmbetugevus 7 päeva möödudes (β _{sz,7})	N/mm ²	0,97	1,14			
Aritmeetiline keskmine (β _{sz,7})	N/mm ²	1,1		1,3	≥ 0,75	≥ projektne väärtus – 20 %

A8.4.4. Valmis kihi kohta kehtivad nõuded

A8.4.4.1. Jäävpoorsus ja tihendusaste

Tabel 8.15 Valmis kihi jäävpoorsused ja tihendusastmed

Punkt	Katteproovi mahumass objektile balloontesti abil normi DIN 18121-2 alusel	Proovikehade mahumass	Segu näiv erimass	Jäävpoorsus	Tihendus-aste	Nõuded M KRC alusel	
						Jäävpoorsus	Tihendus-aste
[km]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[mahu-%]	[%]	[mahu-%]	[%]
0 + 025	2,330	2,283	2,588	10,0	102	≤ 12 mahu-%	≥ 98 %
0 + 300	2,335	2,297	2,622	11,0	102		
0 + 900	2,295	2,259	2,587	11,0	102		

A8.4.4.2. Tasasusmõõtmised

Tabel A8.16 Tasasusmõõtmised

Mõõtmiskoht Punkt	Mõõdetud ebatasasus [mm]	Mõõdetud ebatasasus (15 mm üle lubatava) vastavalt M KRC [mm]
0 + 000	4	-
0 + 050	7	-
0 + 450	39	24
0 + 500	14	-
0 + 550	12	-
0 + 600	11	-
0 + 650	32	17
0 + 700	16	1
0 + 750	34	19
0 + 800	9	-
0 + 850	26	111
0 + 900	11	
0 + 950	9	
1 + 000	28	13
1 + 050	20	5
1 + 100	28	13
1 + 150	14	-