



TRANSPORDIAMET



Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamise lähtekohtade alusuuring

Arendustöö

I etapi vahearuanne

TRANSPORDIAMET 2021

Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamine lähtekohtade alusuuring I etapi vahearuanne

Versioon 1 (17.detsemer 2021)

Tellija: Transpordiamet

Teelise 4

Tallinn 10916

tel. 611 9300

Kontaktisik: Taivo-Ahti Adamson (e-mail: Taivo-Ahti.Adamson@transpordiamet.ee)
Eesti volitatud teedeinsener, tase 8

Töö täitja: IPT Projektijuhtimine OÜ

Aadress: Kalda 60A-2 10922 Tallinn

Telefon: 6 279 220

Koostajad: Peeter Talviste (e-mail: peeter@geotehnika.ee)
PhD, Eesti volitatud ehitusinsener geotehnika), tase 8

Ain Kendra (e-mail: ain@t-konsult.ee)
Eesti volitatud teedeinsener, tase 8

© Transpordiamet [2021]

Töö tellija on Transpordiamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Transpordiameti seisukohaga ega väljenda Transpordiameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö tegijal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

SISUKORD

EESSÕNA.....	5
MÕISTED.....	8
1 LIIKLUSKOORMUSE ARVUTUSE PÕHIMÕTTED ERI RIIKIDES.....	9
1.1 Soome	9
1.2 Rootsi	10
1.3 Taani	10
1.4 Saksamaa.....	11
1.5 Venemaa	12
1.6 Eesti.....	14
2 PINNASTE JA MATERJALIDE LIIGITUS JA OMADUSED ERI RIIKIDES.....	16
2.1 Soome	16
2.2 Rootsi	17
2.3 Taani	18
2.4 Saksamaa.....	18
2.5 Venemaa	19
3 KATENDI PROJEKTEERIMISE PÕHIMÕTTED ERI RIIKIDES.....	20
3.1 Soome	20
3.2 Rootsi	21
3.3 Taani	22
3.4 Saksamaa.....	23
3.5 Venemaa	23
4 TÜÜPKATENDID ERI RIIKIDES.....	25
4.1 Soome	25
4.2 Rootsi	25
4.3 Taani	25
4.4 Venemaa	25
4.5 Itaalia.....	27
4.6 Inglismaa.....	27
4.7 Prantsusmaa	28
5 ERINEVATE RIIKIDE KATENDITE VÕRDLUS.....	29
5.1 T11 Tallinna ringtee lõik	30
5.2 T15 Tallinn-Rapla km 9-15 (Luige-Tõdva).....	31
5.3 T11220 Kernu-Kohila km 9-15 (Hageri-Kohila).....	31
5.4 Kokkuvõte.....	32
5.5 Analüüs	32
6 KONTROLL JA KVALITEEDINÕUDED.....	33
6.1 Üldised põhimõtted mullatööde kontrollil.....	33
6.2 Saksamaa.....	35
6.3 Rootsi	37
6.4 Inglismaa.....	37
6.5 EVS-EN 16907 üldised printsiibid	38
7 MEETODID KVALITEEDI KONTROLLIMISEL.....	42
7.1 Üldised põhimõtted kvaliteedi kontrolli meetodi valimisel.....	42
7.2 Soome	43
7.3 Saksamaa.....	44
7.4 Taani	45

7.5 Rootsi	45
7.6 Inglismaa	46
7.7 Itaalia	46
7.8 Venemaa	47
7.9 Eesti	48
8 ETTEPANEKUD JA HÜPOTEESID II ETAPI LÄBI VIIMISEKS	50
8.1 Kataloogikatendid ja nende arvutuspõhimõtete valik	50
8.2 Kvalitedi kontrolli põhimõtted	50
8.3 Kontrolli katsed ja meetodid	51
8.4 Katendi arvutamise programmid ja seos kontrolli meetoditega	51

EESSÕNA

Eesti riigiteede projekteerimisel on Transpordiamet sätestanud kohustuse kasutada katendite projekteerimisel „Elastsete teekatendite projekteerimise juhendit“ ja sellel juhendil põhinevat katendiarvutusprogrammi „KAP“. Mõlemad baseeruvad 1983. aasta Nõukogude Liidu katendite projekteerimisjuhendi BCH 46-83 (baasvariant) tõlgitud versioonil ja on Eestis kasutusele võetud lihtsustatult limiteeritud valikutega.

Seoses Eesti liitumisega Euroopa Liiduga 2004.a, tuli ka teedehituse nõuded harmoniseerida EL-s kehtivale, mistõttu muutusid näiteks nõuded ehitustoodetele ja katsetamismeetoditele ning põhimõtted pinnaste klassifitseerimisel.

Vene Föderatsiooni ja Euroopa Liidus kehtivate standardite vahel puudub ühene seos, seetõttu muudeti küll Transpordiameti (endine Maanteeamet) juhendmaterjalid võimaluste piires vastavaks EL ehitusmaterjalide ja katsete nõuetega, mida katendiarvutuses on üritatud kohandada EL nõuetele, jättes põhimõtted ja valemid samaks. Seega, kuna puudub üks-ühene üleminek Vene ja Euroopa pinnaste standardite vahel, sama nimetusega pinnastel on erinevad omadused, siis üleminekut täismahus ei ole lihtsalt võimalik teostada. 2021 aastal valminud uuring ja selle alusel koostatud raamistik „Tee muldkeha geotehniline projekteerimine. Tee projekteerimise normi ptk.5 kasutamise raamistik“ (IPT Projektijuhtimine OÜ töö nr.19-05-1490/2) küll osundab võimalusele läbi Mullatööde standardite EVS-EN 16907 senise projekteerimise süsteemi jätkamisele (seejuures kooskõlas EL regulatsiooniga), kuid osundab ühtlasi, et töö ette valmistamise, kvaliteedi kontrolli ja vastu võtmise tegevusi tuleks sel juhul oluliselt muuta viimaks viimased vastavasse Mullatööde standardiga.

Transpordiamet peab oluliseks ka võimalust kontrollida projekteeritud katendit kohe selle ehitamisel tööde vastuvõtmisel, et hinnata kas tulenevalt eeldatavast koormusest on arvutustes ettenähtud katendi omadused saavutatud. Kuid tänapäeval puudub selgus adekvaatsete kontrollimeetodite osas, mis võimaldaks objektil kontrollida mullet ja konstruktsiooni kihte ning üheselt otsustada kas projekteeritud katendikihtide omadused on saavutatud kihtidena kui ka tervikuna ka ehitustööde tulemusel. Kuna katendiarvutuse meetodid, mida maailmas kasutatakse, põhinevad enamuses samadel füüsikalistel alustel (elastse poolruumi teooria, sellel põhinev Odemarki valem jne) siis on mõistlik esmalt teostada teaduslik metauuring, kuidas Euroopas on Euroopa ehitusmäärusega sh (toote)standarditel põhinevalt katendiarvutused tehniliselt lahendatud, millel need baseeruvad ja teaduslikult hinnata millised lahendused võiksid Eestile põhimõtteliseks edasiminekuna aluseks olla.

Uuringu põhieesmärgiks on välja töötada adekvaatsed ajakohased katendi projekteerimise ja arvutamise baasalused, mis arvestavad nii Eesti eripärade kui ka EL seadusandlusega, samas säilitades võimalusel järjepidevuse (võimalusel võrreldavuse) seni kasutatavaga. Uuringu alameesmärgiks on välja selgitada võimalikud erinevad katendi püsioomaduste kontrollimeetodid, mis võimaldaks objektil töö vastuvõtmisel kontrollida tee konstruktsiooni

kihtide projekteeritud omadusi ning jooksvalt otsustada kas projekteeritud katendikihtide omadused on saavutatud kihtidena või tervikuna ehitustööde tulemusel arvestades ka tüüpkatendite võimalikku kasutuselevõttu, mida paralleelselt uuritakse.

Eurostandardite rakendamise põhialused on esitatud dokumentides:

EVS-EN 1990 seeria

EVS-EN 1991 seeria

Peamised käesoleva aruande koostamisel aluseks olnud materjalid, millega kooskõlas olemist käeoleva aruande koostamisel arvestati:

- [1] EVS-EN 1997-1:2006.
Eurokoodeks 7: Geotehniline projekteerimine. Osa 1: Üldeeskirjad.
- [2] EVS-EN 1997-2:2007.
Eurokoodeks 7: Geotehniline projekteerimine. Osa 2: Pinnaseuuringud ja katsetamine.
CEN/TC 250/SC 7 N1437 Eurocode 7 - Geotechnical design M515 SC7.PT6 1997-2
Ground properties (PT6) Oct-2020
- [3] prEN 1997-3.
Eurocode 7: Geotechnical design – Part 3: Geotechnical structures" dated April 2019
for review by CEN/TC 250/SC.
- [4] EVS-EN ISO 14688-1:2018.
Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 1:
Identifitseerimine ja kirjeldamine.
- [5] EVS-EN ISO 14688-2:2018.
Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 2:
Liigituspõhimõtted.
- [6] EVS-EN ISO 14689:2018.
Geotehniline uurimine ja katsetamine. Kalju identifitseerimise kirjeldamine ja
liigitamine.
- [7] EVS-EN 16907-1:2018.
Mullatööd. Osa 1. Põhimõtted ja üldeeskiri.
- [8] EVS-EN 16907-2:2018
Mullatööd. Osa 2. Materjalide klassifitseerimine.
- [9] EVS-EN 16907-3:2018
Mullatööd. Osa 3. Ehitusprotsess.
- [10] EVS-EN 16907-5:2018.
Mullatööd. Osa 5. Kvaliteedikontroll.

Käesoleval ajal (2020-21) on välja töötamisel uued Euroopa standardid, mis hakkavad asendama ülal loetletud standardeid. Kasutades uute standardite mustandversioone, on käesolev juhend viidud kooskõlla nendes toodud seisukohtadega. Mustandversioonide loetelu on toodud alljärgnevalt:

- [1]’ CEN/TC 250/SC 7 N1436. Eurocode 7 - Geotechnical design.
M515 SC7.PT6 1997-1 Geotechnical design - General rules (PT6) Oct-2020.

- [2]’ prEN 1997-2:202x
CEN/TC 250/SC 7 N1437. Eurocode 7 - Geotechnical design.
M515 SC7.PT6 1997-2 Ground properties (PT6) Oct-2020.

- [3]’ prEN 1997-3:202x
CEN/TC 250/SC 7 N1438. Eurocode 7 - Geotechnical design.
M515 SC7.PT6 1997-3. Geotechnical structures (PT6) Oct-2020.

MÕISTED

Aluspinnas käesolevas juhendis on looduslik pinnas või kalju, ümbertöötatud looduslik või tehispinnas, millele rajatakse või millel paikneb tee konstruktsioon või millesse kaevatakse või on kaevatud tee süvend. Muude geotehniliste struktuuride (sillad, tugiseinad, viaduktid jne) juures antud mõistet ei kasutata.

Elastusmoodul e. Young'i moodul (E) on materjali elastseid omadusi iseloomustav võrdetegur, normaalpinge ja suhtelise deformatsiooni suhe, määratakse pinge-suhtelise deformatsiooni graafiku lineaarselt osalt.

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Pinnase elastsusmoodul määratakse kompressiooniolukorras. Pinnase puhul ei ole tegemist pideva materjaliga, elastsusmoodulis sisaldub alati ka mingi jäävdeformatsiooni komponent. Selle tõttu kasutatakse teedevaldkonnas elastsusmooduli asemel suurust „**taastuv elastsusmoodul**“ (**M_r**) (*resilient modulus*), mis on pinge ja sellele vastava taastuva deformatsiooni suhe, sisuliselt E_{v2} . Pinge ja kogudeformatsiooni suhe on tinglikult E_{v1} .

Püsiomadused on pinnase või materjali omadused, mis käitlemisel ei muutu nagu näiteks lõimiskoostis ja Atterbergi piirid.

Olekuomadused on pinnase või materjali omadused, mis käitlemisel võivad muutuda nagu näiteks veesisaldus ja tihedus.

Pinnaserühma moodustavad on teatud püsiomaduste alusel teatud mullatööde ülesande lahendamiseks loodud ja tüüpomadustega iseloomustatud pinnased.

Tüüplahendus on pinnaserühmadesse liigitatud pinnaste tüüpomaduste abil arvutatud ja projekteeritud lahendus.

Kataloogilahendus on tüüplahenduse erijuht, esitatud pinnaserühmadena liigitatud materjalide järgnevuste ja kihi paksustena.

Erilahendus on lahendus, kus ei ole kasutatud tüüppinnaseid ja/või nende tüüpomadusi.

1 LIIKLUSKOORMUSE ARVUTUSE PÕHIMÕTTED ERI RIIKIDES

Alljärgnevalt on võrreldud Soome, Rootsi, Taani, Saksamaa ja Venemaa liikluskooormuse arvutustel kasutatavaid andmeid ja lahendusi.

1.1 SOOME

Linnad

Liikluskooormuse grupid (1...6) on taandatud liiklussagedusest. Liiklussageduse maksimumgrupp on üle 30 000 auto/ööpäevas ja miinimumgrupp on sõidukiliikluseta kergliiklustee). Igale koormusgrupile on määratud arvutuslik vähim kandevõime (E-moodul katte pinnal) vahemikus 175...500 MPa. Tegemist on 10-nda aasta prognoositud liiklussagedusega, seejuures ei analüüsita liikluse koosseisu ega esitata tulemust koormusklassidena (mis maanteedele on toodud „miljonit normtelge“).

Maanteed

Juhend katendite arvutamiseks on tõlgitud ka eesti keelde. Tegemist on tehniliselt võttes erialalise terminoloogia korrektuurita toortõlkega, mis vajab terminite ühtluse osas korrastamist.

Liikluskooormuse prognoos tugineb 10-nda aasta prognoosile ja siirdetegurite osas arvestab kuni 76-tonniste autorongidega, seejuures maksimumkoormustel on eeldatud on vähemalt 9-t telge. Autorong võrdub 3,2 normteljega ja kõik muud raskesõidukid üle 3,5 tonni on 0,9 normtelge.

Arvutuste aluseks on 10-tonnine normtelg paarisrataste ja 700 kPa rehvirõhuga. Varasem juhend (2004) arvestas 60 tonniste maksimaalkaaluga autodega. Autorong võrdus 2,9 normteljega ja kõik muud raskesõidukid üle 3,5 tonni 0,8 normtelge.

Toimunud siirdetegurite muutuses (2018) on korraga kaks faktorit – täismass, mis on tegelikult lahendatud telgede arvu lisamisega ja oht on pigem koormuse korduvuses, ning tavavedudes super-single rehvi kasutuse osakaaluga (lubatud täismassi suurendamisega on kohustuslik paarisrataste kasutus, kuid rahvusvahelistes vedudes lubatud piirides paarisratta nõudeid pole). Need kaks tegurit toimivad vastassuunaliselt. Seega, 10-nda aasta arvutuslik ööpäevane koormussagedus taandatakse suunale ja korrutatakse teguriga 7300 (20*365). Liikluskooormuse prognoosi koostamine on reguleeritud eraldi juhiseiga.

Arvutatud koormussagedust korrutatakse lisateguriga, mis sõltub sõiduraja ja sellega piirneva peenra kogulaiusest ja nõlva kaldest – tegur rakendub juhul kui nimetatud laius on

alla 5 meetri. Nõlva kalde osas on eeldatud kitsastel teedel (nimetatud laius alla 3,5 meetri) 1:2...1:4 ja laiematel 1:3...1:4 kallet. Võrdluseks on Eestis kasutusel ka 1:1,5 kalle.

Saadud tulemuse järgi valitakse koormusklass (KKL) – 7 koormusgruppi. Grupid on KKL 60, KKL 25, KKL 10, KKL 5, KKL 2, KKL 0,8 ja KKL 0,3.

Kui arvutatud koormus ületab 60 miljonit normtelge, väljub lahendus antud juhendi raamest ja nimetatud 7 koormusgruppi seda juhtu ei kata.

Soome katendid arvutatakse 20-le aastale, arvutused tehakse 10-nda aasta prognoositud liikluskooormusega.

1.2 ROOTSI

Rootsi juhis TVRINFRA-00224¹ (aprill 2021, V2 – 2020 oli V1, enne seda TDOK 2011:264).

Koormuseks 10 tonnine paarisratastega normtelg rehvirõhuga 800 kPa. Tööiga betoonkattel 40 aastat, asfaltkattel 20 aastat, alusel 40 aastat. Sisendinfo algne liiklussagedus (AKÖL), raskeliikluse osakaal ja raskeliikluse keskmine siirdetegur, mis saadakse kaaluandmete analüüsist.

Liikluse eeldatav iga-aastane kasvuprotsent sõltub tee liigist. Koormuse arvestamisel on rida parandustegureid, mis sõltuvad kiirusest, tee ja sõiduraja laiusest, naastrehvide kasutusosast talveperioodil, talihoolduse kloriidikasutusest jne.

Rootsi katendite tööiga on valitav 10 ja 30 aasta vahel, vaikeväärtuseks on 20 aastat.

Rootsi puhul on oluline, et liikluskooormus määrab tee projekteerimise meetodi – kataloogilahendused on väikese liikluskooormusega teedele kuni 500 000 normtelge, suurema liikluskooormuse korral arvutatakse tüüplahendus (tarkvara PMS Objekt). Mõlemal juhul on lubatud erilahenduse kasutamine (PPP hanked tuginevad erilahendustele).

1.3 TAANI

Liikluskooormuse järgi jagatakse teed 8 koormusklassi T0 (kergliiklus) kuni T7. Kataloogilahendused on antud T0 kuni T5 koormusklassidele, kuid ka neid saab ja tohib soovi korral arvutada. Koormusklasside T6 ja T7 katend arvutatakse tüüplahendusena.

Normtelgede summaarse arvu leidmisel kasutatakse parandustegureid – rajategur (0,45...1,0), kanaliseerimistegur (1,0...2,0), ringristmiku tegur (1,0...2,0) ja tee liigi tegur (1,2...1,8 mis arvestab ka supersingle rehvide kasutamise taset).

¹ <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/1095b19b-3f91-499a-a6bd-0c0c63e5726e>

Maanteedel on sooloveoki siirdetegur 0,35 poolhaagisega veokil 1,65, täishaagisega veokil 1,3 ja bussidel 0,75. Kohalikel teedel on need tegurid lubatud kasutada mõnevõrra madalamatena. Võimalik on siirdetegureid kasutada ka pikkuse baasil, sel juhul näiteks üle 5,8 meetristel autol on siirdetegur 0,8 või lahutades sooloveokid kuni 12,5 meetristeks veokiteks siirdeteguriga 1,2 ja pikemad siirdeteguriga 1,35. Kui liiklusloendus on läbi viidud üksnes tööajal, siis kasutatakse parandustegurit 0,86, mis arvestab väiksemat koormust öösel ja nädalavahetusel.

Koormuse prognoosi osas saab valida normtelgede arvu aastas, kasvuprotsenti aastas, eeldatavat kasutusega ja keskmist kiirust (seejuures sõltub asfaldi elastsusmoodul kiirusest: alla 60 km/h kasutatav moodul kahaneb ja ummikufaasis on kasutatav moodul on vaid 20% algsest moodulist). Koormuse arvestuses kasutatakse rida parandustegureid, valitakse ülakehtide tüübid ja paksused (asfaldi alakihi paksuse pakub programm – MMOPP 2017), aluse tüüp ja aluspinnase tüüp.

Taani katendi tööiga on valitav, kataloogilahendud on loodud 10 ja 20 aastase kasutuseale (koormusklassidele T0 kuni T5). Suurema koormusklassiga teedele soovitatakse kasutusega 25 aastat. Samas ühest reeglit kasutusea osas ei eksisteeri

1.4 SAKSAMAA

Koormusgrupid (bauklasse- Bk) miljonites normtelgedes

- Bk100 (32...100), Bk32 (10...32), Bk10 (3,2...10), Bk3,2 (1,8...3,2), Bk1,8 (1,0...1,8), Bk1,0 (0,3...1,0) ja Bk0,3 (alla 0,3). Katendi tööiga antakse ette, reeglina vahemikus 10...30 aastat.
- Antud eeldatav üleminekutabel tänavate liigitusest (ES IV-V; HS III-V, VS II-III) koormusklassidele
- Antud on ühissõidukiraja ja -peatuse üleminekutabel kasutussagedusest lähtuvalt (kuni 65 bussi ööpäevas – Bk1,8 ... üle 1400 bussi ööpäevas – Bk100)
- Antud soovitus parklate ja puhkealade katendi valikuks sõltuvalt kasutusliigist (Bk0,3...Bk3,2)

Koormusarvestus 5...30 aasta kohta kas muutuvate teguritega valemiga

$$B = 365 \cdot q_{Bm} \cdot f_3 \cdot \sum_{i=1}^N [DTA_{i-1}^{(SV)} \cdot f_{1i} \cdot f_{2i} \cdot (1 + p_i)]$$

või konstantidega, valemiga

$$B = N \cdot DTA^{(SV)} \cdot q_{Bm} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365$$

, kus f_z on taandatud kasvutegur.

Valemi tegurite süsteem on üsna komplitseeritud, arvestades liikluse aastase kasvuga tee liigist sõltuvalt (autobahn – 3%, riigitee – 2%, kohalik tee – 1%), sõiduradade arvuga f_1 , sõiduraja laiusega kui see on alla 3,75 – f_2 ; pikikaldega f_3 ; raskesõidukite keskmise telgede

arvu f_A (kohalikel teedel 3,3, riigiteedel 4,0 ja autobahnil 4,5) ja kandevõime kasutusteguriga q_{BM} (kohalikel teedel 0,23; riigiteedel 0,25 ja autobahnil 0,33). Teljearu ja kandevõime kasutuse osas kasutatakse raskeliikluse üle 6% osalusel autobahni tegureid, ja 3...6% puhul riigimaantee tegureid).

Kasutusiga on reeglina 30 aastat. Kõikidele koormusklassidele on loodud kataloogilahenduste komplektid sõltuvalt aluspinnasest. Alla 45 MPa kandevõimega aluspinnased on vaja välja vahetada, tihendada või stabiliseerida (kataloogilahendused algavad aluspinnase kandevõimest 45 MPa).

1.5 VENEMAA

Venemaa süsteem tugineb 2017 koostatud eelstandardil PNST 265-2018. Võrreldes seni kehtiva ODN 218.046-01 (2001) väljaandega (mida ei ole tühistatud) on PNST 265 puhul rakendatud olulisemaid muudatusi:

- kapitaalremontide vahe (teekonstruktsiooni kasutusiga) I-IV klassi teedel 24 aastat
- kulumiskihi kaitsekihi puudumisel arvutatakse katend tegelikust lubatud; roopasügavuse võrra õhemana (st sisuliselt lisatakse kulumisvaru võrdsena lubatud roopasügavuse piirväärtusele);
- püsikatendi koormusel rehvirõhk 0,8 MPa, kerg- ja siirdekatenid jäi see senise 0,6 MPa tasemele;
- siirdetegurid on tõstetud 3...5 korda arvestades telgede arvu ja telgede vahega alla 2 meetri;
- suurendatud on rajategurit;
- üheselt on määratletud tugevustegur ja töökindlustegur igale konkreetsele tüübile;
- laiendatud on materjalivalikut (lisatud SMA, PMB ja ka asfaldid USA standardi alusel tüübina Superpave - PG), toodud sisse võimalus kasutada jäigemaid või vedelamat bituumenit.

Kuigi PNST 265-2018 oli kehtestatud kolmeks aastaks ja 265-versiooni kehtivus lõppes 21.05.2021 on just sellel baasil koostatud kataloogilahendused ning kehtestatud PNST uus versioon 542-2021² sest muudatused senise ODN-ga võrreldes on siiski radikaalsed.

Olulisemad tähelepanekud:

- püsikatend 11,5 tonnisele normteljele 800 kPa rehvirõhul;
- kandevõime muldkeha peal 2 kliimavööndis – vähemalt 60 MPa;
- I...III klassi teedel peab olema töökiht konstruktsiooni all vähemalt 50 cm;
- Koormuse arvestuses kasutatakse siirdetegureid standardist 541 (tüüpsed siirdetegurid on esitatud PNST 265 tekstis, 541 käsitleb teoreetilisi aluseid siirdetegurite leidmiseks), rajategureid ja aktiivset päevade arvu 3 kliimavööndis 125

² [ИИСТ.pdf \(tk418.ru\)](#)

päeva korrutatud teguriga 0,7 ning tee klassist ja katte liigist sõltuvat prognoosi ebatäpsuse tegurit 1,4 kuni 1,62.

PNST seerias on huvipakkuvad standardid alljärgnevad:

- 191...192-2017, 266-2018 - väävelasfaltbetoon
- 323-2019 - CBR
- 324-2019 – optimaalse niiskuse ja maksimaalse tiheduse määramine (Proctor)
- 371-2020 – madala koormusega teede katendite konstrueerimine ja arvutus
- 390-2020 – elastsete katendite tüüpkonstruktsioonid (kataloog)
- 502-2020 – teede funktsionaalne klassifikatsioon
- 503-2020 - geosünteedid
- 541-2021 – siirdekatendite meetoodika
- 542-2021 – elastsete katendite projekteerimisjuhend (asendab 265 versiooni), 12.05.2021

GOST seerias on huvipakkuvad

- 32729-2014 – elastse läbipainde mõõtmine
- P 58818 – siirdekatendi projekteerimine
- P 59628-2021 – betoonkatendi tüüpkonstruktsioonid (kataloog)
- Projekt (arutus) – sidumata kihtide kandevõime mõõtmine (Ev2, Evd)

Kehtib ka M(ODN) süsteemi lühikirjeldus:

- Kolm erinevat normtelge – 10 tonni, 11 tonni püsikattele ja 13 tonni magistraalteedele, rehvirõhk kõigil 0,6 MPa.
- Siirdekatendid autorongidele üldistatult vastavalt 1,5 – 0,99 – 0,47.
- Katendi tööiga püsikatendil 11...18 aastat, kergkatendil 8...13 aastat ja siirdekatendil 3...8 aastat.
- Koormusprognoos miljonites normtelgedes arvutatakse valemiga

$$\sum N_p = f_{\text{kor}} \sum_{m=1}^n (N_{\text{lm}} K_c T_{\text{pdr}} 0,7) S_{\text{mcm}} k_n$$

- Lähtuvalt normtelgedest leitakse vajalik kandevõime valemiga

$$E_{\text{min}} = 98,65 \times [\lg (S N_p) - c], \text{ MPa,}$$

kus $S N_p$ on eeltoodud normtelgedes summa enamkoormatud sõidurajale ja empiiriline parameeter c on 10-tonnise normteljel 3,55 ja 11,5-tonnise 3,25.

- Tee klassist (I-V) tulenevalt on reguleeritud vähim arvutuslik koormussagedus ja sellele vastav vajalik minimaalne kandevõime väärtus MPa (tabelis)

	Koormus	püsikatend	kergkatend	Siirdekatend
I	750,000	230 MPa		

II	500,000	220 MPa		
III	375,000	200 MPa	200 MPa	
IV	110,000	150 MPa	150 MPa	100 MPa
V	40,000		100 MPa	50 MPa

PNST 265 süsteemi lühikirjeldus:

- Kaks erinevat normtelge: 10 tonni 0,6 MPa rehvirõhuga kerg- ja siirdekatendile ja 11,5 tonni 0,8 MPa rehvirõhuga püsikatendile.
- Siirdetegurid enamlevinud 5-teljelisel autorongil 10-tonnisele normteljele 7,42 ja 11,5-tonnisele 6,48.
- I-IV klassi teedel on tööiga kapitaalremontide vahel 24 aastat, V klassi teel 10 aastat, remontide vaheline periood on poole väiksem.
- Koormusproгноos miljonites normtelgedes arvutatakse valemiga:

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q(T_{cn} - 1)} T_{pdr} k_n,$$

- Arvutuslik koormuspäevade arv meie kliimatsoonis (T_{rdg}) on 125. Et normsõidukite arvestuses on rehvirõhk 0,6 MPa, on vajaliku elastsusmooduli leidmise valem korrigeeritud kujule jättes samaks konstandi c väärtused (10-tonnisele 3,55 ja 11,5-tonnisele 3,20)

$$E_{min} = \sqrt{\frac{p}{0,6}} 98,65 [\lg \sum N_p - c],$$

- Tee klassist tulenevalt on reguleeritud vähim arvutuslik koormussagedus ja sellele vastav kandevõime väärtus:

	Koormus	püsikatend	kerkatend	siirdekatend
I	1,285,000	330 MPa		
II	1,090,000	325 MPa		
III	820,000	310 MPa	235 MPa	
IV	240,000	250 MPa	180 MPa	110 MPa
V	50,000		150 MPa	75 MPa

1.6 EESTI

Eestis projekteeritakse püsikate vähemalt 15 aastaks, kergkate 10 aastaks ja siirdekate 7 aastaks (vastav MKM määrus on hetkel muutmisel; TRAM juhendiga on kasutusiga püsikatenditele tõstetud 20-le aastale).

Tallinna linna jaoks on loodud kataloogilahendused 35 aastast kasutusiga silmas pidades, Tartule on loomisel kataloogilahendused 30 aastast kasutusiga silmas pidades.

Liikluskoormusena arvutusel on 15-nda aasta prognoositud päevane keskmine koormus, mis on leitud perioodi summaarse prognoositud telgede arvu jagamise 5000-ga (summaarne koormus taandatud 15-nda aasta koormuseks, sest arvutusalgoritmid ei muutunud tööea tõstmisel 20 aastani) . See erineb arvutusalgoritmide aluseks olnud Venemaa lähenemisest. Tingtelje koormus on 10 tonni, siirdetegureid suurendati 2015 aastal ca 2 korda.

2 PINNASTE JA MATERJALIDE LIIGITUS JA OMADUSED ERI RIIKIDES

2.1 SOOME

Aluspinnased on liigitatud 7 gruppi (A...G), igale grupile on eeldatud kandevõime (Ev2) vahemikus 300...10 MPa ja antud üleminekutabel pinnaseliikide ja gruppide vahel arvestades niiskusežiimi.

Soome juh³ – Odemarki valem ja alljärgnevad arvutusparameetrid:

- Liivad, kruusad ja pinnased – Tabel 6, väärtused vahemikus 5...100 MPa
- Seotud materjalid – Tabel 19, väärtused vahemikus 600...3500 MPa
- Materjalina deklareeritud, täpse sõelkõveraaga:
 - o Killustikud (standardikohased tooted) 0/8...0/80 – tabel 20, E100...280
- Looduslikud (mittestandardised), sõelkõvera järgi
 - o Killustikud pilt 7, E100...280
 - o Looduskruusad pilt 8, E100...280
 - o Filterkihi liiv pilt 9, E35...100
 - o Taaskasutatud materjalid (purustatud betoon ja šlakitooted), tabel 21, E350...700

Stabiliseeritud ja taaskasutatud materjalide elastsusmoodulist saab kasutada vaid osa juhul, kui alumise kihi kandevõime on madalam kui antud materjalile vastav miinimum (see ei ole keelatud, lihtsalt antud materjali potentsiaali saab kasutada osaliselt – vaid alumise kihi kandevõime 6 kordset kandevõimet sidumata kihtidel, stabiliseeritud kihtidele on suhtarv suurem). Sidumata kihtide paksus on arvestuslikult 20...30 cm, paksema kihi vajadusel näidatakse arvutuses sama materjaliga mitut kihti. Asfaldid on reeglina kõik ühe fikseeritud E-mooduliga, ei eristata bituumenit ega SMA-segu.

Soome maanteejuhend 38/2018 – A...J (tabel 6)

- A. 280 - Purustatud kaljupinnas
- B. 200 - Killustik
- C. 100 – kruus S1 (kuni 7% peenosis)
- D. 70 – kruus S2 kuivas, liiv H1
- E. 50 – kruus S2 märjas, liiv H1 märjas, liiv H2, kruus S3 kuivas
- F. 35 – kruus S3 märjas, kruus S4 kuivas, liiv H3 kuivas, liiv H4 kuivas, jäik savi U2
- G. 10 – pehme savi U3, muda U4
- H. 20 – kruus S4 märjas, liiv H3 märjas, liiv H4 märjas, möllmoreen U1 kuivas
- I. 20 – möllmoreen U1 märjas (kirjas J-grupp, erisus H-ga on külmakerke protsendis)

³ https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_web.pdf

Neile aluspinnastele on linnade tarbeks loodud kataloogilahendused sõltuvalt tee koormusklassist. Maanteede kataloogilahendused on välja töötatud liikluskoormuse alusel.

2.2 ROOTSI

Pinnaseid klassifitseeritakse lõimiskoostise põhjal. Identifitseerimine ja klassifitseerimine toimub vastavalt standarditele EN ISO 14688-1 ja EN ISO 14688-2. Kalju tuvastamine ja klassifitseerimine toimub vastavalt standardile EN ISO 14689.

Kui pinnas sisaldab suuri rahne (> 630 mm), tuleb see ära märkida, kui eeldatav sisaldus ületab 1%.

Kui osakeste teralise koostise, osakeste kuju jne alusel loetakse pinnas moreeniks, tuleks seda alati märkida. Sellisel juhul tuleks pinnas klassifitseerida moreeniks.

Mullatöodel kasutatavad looduslikud materjalid jaotatakse materjali klassidesse. Tööstuslikult toodetud ja ringlusse võetud materjalide puhul tuleb läbi viia spetsiaalne uuring, milles kirjeldatakse materjali omadusi. Mõnel juhul tuleks kalju materjaliklassi kindlaksmääramiseks teha petrograafiline uuring.

Pinnaste klassifitseerimine SS-EN ISO 14688-1 ja -2 järgi, kaljupinnastel SS-EN 932-3 alusel. Juhendi tabelina esitatud eelmises juhendis 2011-072 TRVK

- 1 – kaljupinnas
- 2 – liivad-kruusad – peenosis kuni 15% - Bl, St, Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, SaMn
- 3A – nõrgad kaljupinnased, peenosis kuni 30%
- 3B – liivad-kruusad peenosisega 16-30% - siSa, siGr, siSaMn, siGrMn
- 4A – peenosis 30-40%, siMn
- 4B – peenosis üle 40%, savi peenosises üle 40% - Cl, ClMn
- 5A – peenosis üle 40%, savi peenosises kuni 40% - Si, clSi, siCl, SiMn
- 5B – huumus 3-6%, gyCl, gySi
- 6A – huumus 7-20%, clGy
- 6B – huumus üle 20%, Pt, Gy
- 7 – muud materjalid mis eespool pole kirjeldatud

Klassid 4B ja 5A liigitatakse täiendavalt ka savi omaduste järgi (dreenimata nihketugevuse alusel) ning liigitused laienevad vastavalt mõlemas grupis B...F laiendini E-moodulitega 10...35 MPa.

Neli külmakindluse (külmakerkelisuse) klassi:

- Pinnased 1-2 ja 6B – 1 klass (külmakindel);
- 3A ja 3B – 2 klass (külmatuskindel);

- 4A, 4B ja 6A – 3 klass (külmaohtlik)
- 5A, 5B – 4 (väga külmaohtlik).

Lubatud külmakerge sõltub lubatud liikluskiirusest, uusehitisel (10...120 mm), 110 km/h puhul 2 kliimatsoonis 20 mm, 3 kliimatsoonis 50 mm ning rekonstrueerimisel 20...140 mm.

2.3 TAANI

Taani juhendi kohaselt antakse mitteliivpinnasest aluspinnasele kolm erinevat külmakindluse ja kandevõime taset:

- 100 MPa, külmakindel
- 40 MPa, külmakartlik
- 20 MPa, külmaohtlik

Külmakindlale aluspinnasele või külmakaitse liivale:

- 150 MPa, kui $Cu > 3$
- 100 MPa, kui $Cu < 3$

Taani skeemi eripäraks on väga lai materjalide valik, asfaldid erinevate bituumenite baasil, poolelastsed kulumiskihid (Confalt/Densifalt), kivisillutised, külmsegud (SKM E-1000, SIM E-600), kruus (E-300, 350), erinevad taaskasutatud ehitusmaterjalid (purustatud betoon, asfaldi freespuru). Siiski tuleb arvestada, et asfaltide elastsusmoodulite määramisel on aluseks veidi soojemad temperatuurid Eestiga võrreldes.

Arvutustulemusena antakse lisaks kihipaksustele erinevate kihtide jaoks suhtelise deformatsiooni piirväärtused ja arvutatud väärtused ning eeldatav kihi tööiga.

Taani juhises ja tarkvaras MMOPP2017 on esitatud väga lai materjalide valik, mis abistab erinevate alternatiivide võrdlust ka siis, kui kogu konstruktsiooni ei dimensioneerita Taani reeglite alusel. Oluliseks on ka lai tsemendi kasutus (erinevate tugevusklassidega stabiliseerimised ja betoon).

Hüdraulilise sideainega materjalid (HBB) degradeeruvad aja jooksul ja seetõttu kirjeldatakse nende puhul elastsusmoodulina algset ja lõplikku. HBB grupeeritakse täitematerjali teralisuse järgi peeneteralisteks (HBB-A, ühtlaseteralise peentäitematerjaliga) ja jämedateralisteks (HBB-B, jämedateralise kruusase täitematerjaliga), vastavalt on lõplik (terminal) E 1500 või 2000 MPa. HBB tugevusklassid on betooni analoogina C5/6 kuni C21/28 lähtetasemega E-7500...E-24300. Betoonil loetakse E-35000 ja Poissoni tegur 0,15. Betooni arvutused tuginevad Westergaardi valemitele või FEM meetodile (mida ei ole integreeritud MMOPP koosseisu).

2.4 SAKSAMAA

Pinnaserühmad on määratletud püsiomaduste alusel. Detailne liigitus ja kasutamine pinnaserühmadesse jaotatud pinnastel on toodud EVS-EN 16907-1 Lisa D. Rühmadele on

omistatud külmakerke suurused, nad on liigitatud kasutatavuse alusel erinevates muldkeha osades.

Aluspinnased jagatud kategooriatesse F1...F3; F1 kategooria kandevõime on piisav. Külmakaitsekihi ulatus sõltub kliimatsioonist (on olemas vastava kaart).

2.5 VENEMAA

Detailselt käsitletud „Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis 2001-52“.

Huvi pakuvad veel Venemaa süsteemi hilisemalt muudetud materjalide E-moodulid ja käsitlused:

- Tsemendiga stabiliseeritud kivimaterjalid, sõltuvalt margist – 300...1000 MPa
- Bituumenstabi – 450 MPa
- Kompleksstabi – 700 MPa
- Segud vana asfaldiga – 450...1200 MPa
- 32/63 kiilutud killustikuga 400-450 MPa, asfaldiga 500 MPa, tsemendiliivaseguga 450-700 MPa
- Killustikusegud 0/8 – 175 kuni 0/90 – 280 MPa

Vene juhend (PNST 542) – kuus savipinnast ja viis liivapinnast, milledele arvutatakse tüüplahendused – reeglina muutmatult BCH (GOST 25584) pinnased:

- Tolmliiv
- Kerge saviliiv
- Tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv
- Kerge liivsavi, raske liivsavi
- Kerge tolmne liivsavi, raske tolmne liivsavi
- Savi
- Segu (kruus-liiv-killustik) standardi uuema lisa järgi
- Kruusliiv jämeliiv
- Keskliiv
- Peenliiv
- Jäme kerge saviliiv

Vene kataloogilahendused (ODM) on toodud kolmele aluspinnasele:

- liivsavi ja liivane savi
- saviliiv
- liiv

3 KATENDI PROJEKTEERIMISE PÕHIMÕTTED ERI RIIKIDES

3.1 SOOME

Linn

Igas koormusgrupis on igale aluspinnasele konstrueeritud kataloogilahendus, kus määratletud kõik konstruktsiooni kihtide paksused ja kandevõime sihtväärtused jagaval kihil, kandval kihil, esimesel asfaldikihil ja katte pinnal.

Kataloogilahendused on arvutatud Odemarki valemiga, eeldades filterkihi liiva elastsusmooduliks 70 MPa, jagava kihi kruusal 200 MPa, kandevkihi killustikul 300 MPa ja asfaldil 2500 MPa.

Kataloogilahendused tagavad külmakerkekindluse. See tähendab, et juhul kui kandevõime tagamiseks vajalikud minimaalsed kihipaksused ei taga külmakindlust (sõltuvalt aluspinnasest), siis on kihi paksusi külmakindluse tagamiseks suurendatud ja nii võib teatud aluspinnaste korral kataloogikonstruktsiooni kandevõime olla suurem kui koormusgrupile ettenähtud minimaalselt vajalik kandevõime.

Maanteed

Saadud tulemuse järgi valitakse koormusklass (KKL) – 7 koormusgruppi. Grupid on KKL 60, KKL 25, KKL 10, KKL 5, KKL 2, KKL 0,8 ja KKL 0,3. Kui arvutatud koormus ületab 60 miljonit normtelge, väljub lahendus antud juhendi raamest ja nimetatud 7 koormusgruppi seda juhtu ei kata.

Igale koormusgrupile on koostatud vähemalt kaks baaslahendust – asfaltkate kas killustikalusel või tsementstabiliseeritud alusel. Lisaks on kahele madalamale grupile koostatud neli erinevat varianti. KKL 0,8 puhul lisanduvad kahele standardsele kaks varianti pehme bituumeniga (Eesti analoog võiks olla siin kergasfaltbetoon ja ka mustsegu). KKL 0,3 puhul ei kasutata tsementstabiliseeritud alust, kuid on lisatud pinnatud kruusatee. Killustikaluse klassi loetakse stabiliseeritud šlakikillustikuga alust.

Kõigil juhtudel konstruktsiooni kandevõime arvutatakse. Olulisemateks piiranguteks on eeldatud aluse vajalik kandevõime, nõuded kandevõimele on kõrgemad kui Eestis seni harjutud (reeglinas killustikalusel 160 MPa ja tsementstabiliseeritud alusel 290 MPa) ning nõue järgnevatel kihtides kasutatud materjali või pinnase elastsusmooduli suhtele. Viimane nõue väljendub selles, et kui elastsusmoodulite suhe ületab 6-t, siis arvutustes tohib sidumata kihtidel kasutada vaid 6 kordset alumise kihi elastsusmoodulit (stabiliseeritud kihtidel on see suhtarvu nõue suurem).

Saadud arvutustulemused igal kihil on sihtväärtuseks ehituse kontrolliprotsessis – mitte vastuvõtutingimuseks. Kui mõõdetud kandevõime (Ev2) osutub väiksemaks projektsest, kontrollib insener tegelikku kihipaksust ja materjali vastavust projektile ning otsustab mida tuleks teha.

Kergliiklusteedena eristatakse teed põhitee muldkehal ja lahutatud kergliiklusteed. Mõlemal juhul on tegemist tüüplahenditega: 4 cm asfaltkate killustikalusel (lahutatud kergliiklustee korral 120 MPa, põhitee muldkehal 150 MPa asfaldilt mõõdetuna ja vastavalt 20 MPa madalam väärtus aluselt mõõdetuna).

Kruusateede osas on aluspinnased grupeeritud kandevõime järgi 4 gruppi ja esitatud neile gruppidele kataloogilahendid (materjal ja kihipaksuse määratlusena). Igale grupile kolmes kruusatee funktsionaalses grupis (Ev2 väärtused 60, 70 ja 80 MPa) ja kolmele kergliiklustee variandile (kandevõimega 50 MPa ja 70 MPa tavakonstruktsioonis ning 70 MPa purustatud kaljupinnasel).

Soomes on välja töötatud (VTT) põhjalikum katenditarkvara APAS, kuid selle rakendustel ei ole riigi tuge, so tarkvara on tasuline. 2004 valmis Reijo Orase koostatud lihtsam tüüplahendus ja APAS-e arendamine seiskus.

3.2 ROOTSI

Projekteerimine toimub PMS Objekt ja selle uuenduste alusel. Viimased uuendused on aastast 2013 ja hetkel (2021 detsember) koostatakse uut süsteemi. Rootsi katendiprojekteerimise tarkvara arendust koordineerib Tomas Winnerholt.

Võimalik on valida 3-e erineva lahenduse võimaluse vahel:

- DK1 on sisuliselt kataloogikonstruktsioonid koormusele kuni 500,000 normtelge aastas
- DK2 puhul arvutatakse konstruktsioon programmiga PMS Objekt (Eurokoodeksi seisukohalt sisuliselt tüüplahenduse projekteerimine)
- DK3 rakendatakse üldiselt PPP skeemis, kus kasutatav algoritm ei ole ette antud ja partneril on võimalik tõestada oma pakutava toimivust (Eurokoodeksi seisukohalt sisuliselt erilahenduse projekteerimine).

Rootsis on reeglina tüüpne aluskonstruktsioon kõikidel aluspinnastel. See on sidumata aluse puhul 42 cm purustatud kaljupinnast ja 8 cm tasanduskihti optimaalsest killustikusegust või 22 cm stabiliseeritud alust samuti 8 cm tasanduskihiga. Selle kihi alla vajaliku külmakaitsekihi paksuse määrab külmakerkearvutus ning kattekihid valitakse vastavalt koormusele (tarkvara PMS Objekt).

Arvutused teostatakse iga aastaaja kohta eraldi ja tulemused integreeritakse. Riik on jagatud 5 kliimatsooni ja materjalide arvutusparameetrid valitakse kliimatsooni vastava aastaaja kohaselt (igas tsoonis on antud aastaaja kestvus ja keskmine temperatuur) ja materjalide

moodulid on igas tsoonis igale aastaajale eraldi antud. Külmakerke arvutuses rakendatakse PMS Objekti andmebaasist projekteeritavale objektile lähima vaatluspunkti kliima aegrida.

Viis kliimatsooni (Eesti tõenäoliselt 2 ja 3 tsoonis) ja neis kuus aastaaga mille pikkused kliimatsooni kohta fikseeritud. Samuti muutub iga tsooni ja aastaaja kohta asfaldikihtide keskmine temperatuur.

Reeglina fikseeritud aluse konstruktsioon vahetult asfaltkatte all on 42+8 cm (purustatud kaljupinnas ja kiilekillustik) ja stabiliseeritud aluse all on 22+8 cm. Betoönülekatte all sidumata 22+8 cm ning betooni all 10 cm asfalti. Tsemendiga kandevekihil sidumata alus 22+8 cm ja kihi peal 5+4 cm asfaltkate.

Kulumiskihi asfaldi E-moodul 2 ja 3 tsoonis vahemikus 4000...15500 MPa, sidekihil 4000...15000; kandevkihil kuni 10 cm kihipaksusel 3000...13500 ja üle 10 cm kihipaksusel 2500...12500 MPa; tsemendiga kihil 17000 MPa sõltumatult kliimatsoonist ja aastaajast.

Sidumata kihtide elastsusmoodulid sõltuvalt aastaajast, kandevkihis (bärlager) 150...1000 MPa, jagavas kihis 200...1000 ja filterkihis 70...1000 MPa kuid numbrid sõltuvad ka niiskuspakkonnast (dräneringsgrad).

Arvutuste käigus tarkvaraga PMS Objekt (v5.0, vabalt kasutatav, kuid viimased uuendused on aastatst 2012), mis peaks järgima Shell BISAR algoritme, kuid empiirilises osas on kohandatud Rootsi tingimustele ja konstruktsioonile. Muu hulgas eeldatakse, et asfaldi alakihis kasutatakse suurema penetratsiooniga ehk vedelamat bituumenit, mis vähendab riske et asfaldi alakihis tekiks pragu, mis üles välja jõuab. Kontrollitakse:

- Tõmbepingeid asfaldi alakihis
- vajumit konstruktsiooni all dūnaamilisest (korduv)koormusest
- vajumit konstruktsiooni all staatilisest koormusest
- külmarkerget arvestades pika aegrea järgi leitud maksimaalsega valitud tee asukohale lähima ilmavaatluspunkti andmete baasil

3.3 TAANI

Taani juhis MMOPP2017⁴ on välja antud 2017, juhiste viimane versioon on aastast 2019. Lahendus on koostatud prof. Per Ullidtz'i juhtimisel, tehniline koordinaator Christian Busch (Sweco) ja projekti juht insener Susanne Baltzer (Vejdirektorat).

MMOPP tugineb WESDEF lineaarelastse teooria algoritmidel, mis on võrreldavad BISAR, ELSYM5 ja CHEVRON tarkvaralahendustega.



⁴ <https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/2019-05/MMOPP%20Guidance.pdf>

Kliima osas juhindutakse Skane parameetritest Rootsi mudelis, kuid aastaegadele on üks lisatud, seega kokku 7 aastaega. Talve kestvus on 49 päeva keskmise temperatuuriga -2C, samas 20-kraadist suve on 143 päeva ja lisaks on 10-päevane kuumalaine 35C temperatuuril.

Külmumissügavused ei ulatu aluspinnasesse ja nii ei sisalda Taani juhised külmakindlusarvutust. Siiski eristatakse ja kasutatakse aluspinnasena kolme kategooriat – külmaohtlik (E-20 MPa), külmakartlik (E-40 MPa) ja külmakindel (E-100 MPa).

Asfaldi elastsusmoodulid on sõltuvuses temperatuurist, vaikeväärtused on antud 30C juures, alakihile asfaldile ka 25C juures.

Kasutaja valib koormusklassi (7 koormusklassi) – see määrab võimalikud konstruktsioonivalikud ning täpsustab koormuse ja katendi eeldatava tööea.

Katendite projekteerimisel on kolm tasandit. Esimene sisaldab kataloogilahendit väiksema koormusega teedele, teine analüütilis-empiirilist rakendust tüüpkatendina ning kolmas simulatsioonimudelit, millega modelleeritakse katendi elukaare käitumist kvaliteediparameetritena määratletud elukaare lõpuni.

Nii teine kui kolmas skeem tuginevad MMOPP tarkvarale. Siiski loetakse modelleerimismeetodit veel tooreks et seda baasvariandina rakendada. Kogu arvutusalluste osa on detailsemalt kirjeldatud projekti koordinaatori C.Buschi töös⁵.

3.4 SAKSAMAA

Külmumissügavus – kaardil määratud külmumissügavuselt kolm tsooni (detailne kaart www.bast.de saidil), vastavalt tsoonile ja koormusklassile ette antud külmakindla konstruktsiooniosa paksus. Lahendused alati kataloogilahendustena. Mingeid nõudeid katendi kui terviku kandevõimele ei kehtestata. Kandevõime nõuded on määratletud sidumata alusele.

7 konstruktsioonivarianti igale koormusgrupile on eraldi asfaltkattele, betoonkattele ja sillutiskattele; üks variant asfaldil ja üks betoonil ilma lisakihtide ja aluseta.

Kergliiklusteedele kolm konstruktsioonivarianti eraldi asfaltkattele, betoonkattele, sillutiskattele ja sidumata segust kattele

3.5 VENEMAA

Tüüpkatend - üleriigiliselt kehtiv norm ODN 2001 (ОДН 218.046-01) tugineb normil BCH 46-83 ning selle (ODN) alusel on koostatud ОДН 2-2001 mis kehtib SRÜ riikides ja on täna kehtiv.

⁵ Busch, C., "Danish analytical surfacing design", October 2010.
<http://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?q=dansk+analytisk+bel%c3%a6gnings&docId=vd-2016-0111-full>

Tüüpkatend - katseliselt rakendatud PNST 265 (eelstandard IIHCT 265—2018) mis kehtis kuni 15.05.2021. Täna on valminud katseline eelstandard PNST 542.

Arvutusjuhised sarnanevad „Elastsete teekatendite projekteerimise juhises 2001-52“ tooduga. Olulisemad erisused on sisse toodud juba 2001 aastal ODN juhise, kus muudeti põhjalikult varutegurite süsteemi ja vajaliku kandevõime arvutusalgoritmi.

Tähtis on märkida, et on loodud 2 kataloogilahenduste komplekti vajaliku kandevõime tagamiseks (vt. ptk. 4.4).

4 TÜÜPKATENDID ERI RIIKIDES

4.1 SOOME

Linnade jaoks on igale koormusgrupile vastavalt aluspinnasele konstrueeritud kataloogilahendus, kus määratletud kõik konstruktsiooni kihtide paksused ja kandevõime sihtväärtused jagaval kihil, kandval kihil, esimesel asfaldikihil ja katte pinnal.

Manteedel on igale koormusgrupile koostatud vähemalt kaks baaslahendust – asfaltkate kas killustikalusel või tsementstabiliseeritud alusel. Lisaks on kahele madalamale grupile koostatud neli erinevat varianti. KKL 0,8 puhul lisanduvad kahele standardsele kaks varianti pehme bituumeniga (Eesti analoog võiks olla siin kergasfaltbetoon ja ka mustsegu). KKL 0,3 puhul ei kasutata tsementstabiliseeritud alust, kuid on lisatud pinnatud kruusatee. Killustikaluse klassi loetakse stabiliseeritud šlakikillustikuga alust.

Sisuliselt on katendi projekteerimine Soomes kataloogilahenduse sobitamine.

4.2 ROOTSI

DK1 on kataloogikonstruktsioonid koormusele kuni 500,000 normtelge aastas. Suuremale liikluskoormusele kataloogilahendusi ei ole.

Rootsis on reeglina tüüpne aluskonstruktsioon kõigil aluspinnastel (sidumata aluse puhul 42 cm purustatud kaljupinnast ja 8 cm tasanduskihti optimaalsest segust või 22 cm stabiliseeritud alust samuti 8 cm tasanduskihiga), aluse all vajaliku külmakaitsekihi paksuse määrab külmakerkearvutus ning kattekihid valitakse vastavalt koormusele (tarkvara PMS Objekt).

4.3 TAANI

Kasutaja valib koormusklassi (7 koormusklassi) – see määrab võimalikud konstruktsioonivalikud ning täpsustab koormuse ja katendi eeldatava tööea. Kataloogilahendused eksisteerivad vaid väiksema liikluskoormusega teedele. Üks Taani eripära on veel selles, et nii liiklusuuringuid kui geotehnilisi pinnasuuringuid manteelele teostab riigiasutus ja nende tulemused antakse projekteerijale lähteülendana.

4.4 VENEMAA

2000-ndatel aastatel on Venemaal tüüplahendused edasi arendatud kataloogilahendusteks. Kasutusel on 2 kataloogi ODM – maanteelele ja PNST avalikele teedele. Kõigil juhtudel leitakse liiklus- ja koormussagedused ning tee klassi ja summaarse koormuse alusel kas

valitakse kataloogilahend või arvutatakse katend. Arvutamiseks on kasutada mitmeid erinevaid tasulisi tarkvarapakette.

Kataloogikatend - Vene maanteedele ODM (ODM 218.2.104-2020) – soovituslik dokument.

- Baseerub PNST 265 metoodikal, koormus leitakse selle järgi ning kui arvutatud vajalik kandevõime on väiksem kui juhises antud tüüplahendusel, tohib kasutada juhise konstruktsiooni, vastasel juhul tuleb konstruktsioon arvutada PNST 265 alusel.
- Kataloogilahendused on esitatud suurema koormusega föderaalteede püsikatenditele (I...IV klass, normtelg 11,5 tonni ja 0,8 MPa) kolme erineva aluspinnase baasil, liivsavid – saviliivad – liivad. Töökihi materjali elastsusmoodul peab olema vähemalt 40 MPa

Kataloogikatend – elastsed katendid Vene avalikele teedele PNST 390 (eelstandard IIHCT 390—2020), mis kehtib kuni 01.03.2023

- Baseerub PNST 265 metoodikal, koormus leitakse selle järgi ning siis valitakse PNST 390 kataloogist tee klassi ja arvutatud koormuse järgi reaalsele kliimatsioonile pakutud konkreetne kataloogilahend
- Juhis ei laiene linnatänavatele ja madalama koormusega teedele, samuti remondile ja rekonstrueerimisele.
- Ilmselt katab juhise madalamakoormusega teed võrreldes eelnenud ODM juhisega

ODM 2020 kataloogilahendid

Iga tee kategooria jaoks on antud kolm arvutusliku kandevõime vahemikku.

	I (4+4)	I (3+3)	I (2+2)	II (2+2)	II (1+1)	III	IV
alumine piir (kuni)	760	695	600	440	440	370	350
Ülemine piir	940	865	720	595	595	510	475

Baaskonstruktsioonis on kolm asfaldi, seotud või sidumata aluse ülakiht, killustiku-kruusaliiva segust aluse alakiht ning aluse lisakiht kui aluspinnasena ei esine liiv. Reeglina nähakse ette armeeriva vahekihi (asfaldivõrgu) kasutamine teise ja kolmanda asfaldivõrgu vahel ning geotekstiili kasutamine aluse alakihi all ja aluse lisakihi all kui aluspinnaseks ei ole liiv ja lisakihi kasutamine on ette nähtud.

PNST 390 kataloogilahendused

Tüüpkonstruktsioonid (kataloogilahendused) on antud erinevatele katendiliikidele alljärgnevas (tabelis on toodud vajalik kandevõime vastavana korduvkoormuste arvule):

	Püsikatend (11,5 t normtelg)	Kergkatend (10 t telg)	Siirdekateend (10 t telg)
I	$1,3 \cdot 10^6 - 330$; $1,1 \cdot 10^8 - 550$		
II	$1,1 \cdot 10^6 - 325$; $9,4 \cdot 10^6 - 430$		
III	$8,4 \cdot 10^5 - 310$; $9,4 \cdot 10^6 - 430$	$8,6 \cdot 10^5 - 235$; $4,9 \cdot 10^6 - 310$	
IV	$2,5 \cdot 10^5 - 250$; $1,9 \cdot 10^6 - 350$	$2,4 \cdot 10^5 - 180$; $1,9 \cdot 10^6 - 270$	$2,1 \cdot 10^4 - 110$; $2,4 \cdot 10^5 - 180$ $1,1 \cdot 10^5 - 180$
V		$1,2 \cdot 10^5 - 150$	$2,0 \cdot 10^4 - 75$

4.5 ITAALIA

Lõuna-Tiroomi piirkonna kohalik lahend (Itaalias puudub ühtne üle-riiklik süsteem) - tüüpkatendid, kus teed on liigitatud 8 gruppi (sh kolm gruppi linnatänavaid) ja kolm aluspinnase taset (M_R 30, 90 ja 150 MPa).

Raskema liikluse puhul eeldatakse nõrgema aluspinnase puhul selle asendamist või tugevdamist.

Katendi elueaks 30 aastat, tsementstabiliseeritud aluse paksus üldjuhul 30 cm, asfaltkatted 20...25 cm.

Asfaldi alakihiti asendava stabiliseeritud kihi puhul kasutatakse SBS või bituumenemulsiooni ning see on võrdne külmasfaldiga (Eesti tingimustes - MSE). Tüüplahendused kolme erineva aluse kandevõime jaoks (Ev2 - 80-120-160 MPa)

4.6 INGLISMAA

Juhis toob sisse järgmised kandevõime väärtuste tasemed:

- "design subgrade surface modulus";
- "long term modulus";
- "short term modulus".

Pikaajaline väärtus peaks olema võrdne projekteerituga. Muldkeha kandevõime nõuded on neljas grupis 50-100-200-400 MPa sõltuvalt eeldatavast koormusest. Normtelg on 8-tonnine, igale grupile on sisuliselt ette antud deformatsiooni suurus standardratta all (koormusplaat 151 mm raadiusega 40 kN koormuse all) vastavalt suuruses 3 mm kuni 0,3 mm. Katendikihipaksused sõltuvad koormusest ja leitakse vastavate nomogrammide alusel.

Et mitte lubada aluse kandevõime saavutamist õhukeste kihtidega, on sätestatud ka maksimaalne aluse materjali elastsusmoodul (100-350-1000-3500 MPa).

Asfaldi paksuse valik tugineb vananenud AASHTO alustele (CBR-põhised lahendid). 45 cm katte pinnast kasutatakse külmakindlaid materjale (rannikul 35 cm), seotud kihtide all on drenikiht 15...22 cm sidumata teralisest materjalist (killustikust).

4.7 PRANTSUSMAA

Katendid dimensioneeritakse ALIZE rakendusega (standard NF-P 98-086), normtelg 13 tonni, põhiteedel 30 aastaks, kõrvalteedel 20 aastaks. Kuus tüüpset lahendust (kaks betoonil), mille kihipaksused saadakse tarkvaraliselt. Aluspinnased grupeeritud vahemikus 20...200 MPa. Tsemendiga stabiliseerimist rakendatakse kõigis aluse kihtides ja aluspinnases vastavalt vajadusele. Sidumata teralisel materjalil kolmes tugevusklassis 200-400-600 MPa.

5 ERINEVATE RIIKIDE KATENDITE VÕRDLUS

Võrrelda saab eri riikide lahenduste skeeme lähtudes konkreetsetest pinnasetingimustest. Võrreldakse teiste riikide konstruktsioone Eesti senise praktika alusel määratud konstruktsiooniga. Analüüsitud on järgmisi tüüpeid lahendusi:

- T11 Tallinna ringtee lõik (väga raske koormus);
- T15 Tallinn-Rapla km 9-15 Luige-Tõdva lõik;
- Kõrvalmaantee lahendus.

Kõigile neile lõikudele on alusandmed arvutuste tegemiseks pinnaseuuringute näol piisavad. Aluspinnaseks on Soome D-grupi liiv, 50 MPa (keskliiv), peenosis kuni 15%.

Võrreldud on Eesti kehtiva juhendi (MA-2017-003) tüüpkatendit, Soome maantee tüüpkatendit ja linnajuhise kataloogikatendit, Vene kataloogikatendeid, Saksamaa kataloogikatendit ja Taani reglemendi tüüpkatendit ülalmainitud teelõikudele.

Eestis kehtiva prognoosi metoodikaga on leitud liiklus/koormus 10 ja 20 aastases prognoosis lähteaastast (2020). Katendi nõuded Soome maanteeeeglites on esitatud traditsioonilisel alusel (killustik või šlakistabiliseerimine) või tsementstabiliseeritud alusel. Vene reglemendis eeldatakse püsikatendi normkoormuseks 11,5 tonni ja kasutatakse vastavaid siirdetegureid.

Vene süsteem (PNST 542, mis asendab PNST 265 mis oli katseline pärast 2001 aasta ODN) – on siirdetegurid, püüame leida vene normteljed. Valime aluspinnase analoogselt liiva. Nõue II kliimatsoonis 60 MPa muldkeha töökihi peal. Saab teha paralleelsed rehkendused kuid mitte tüüp- vaid kataloogikatendi suhtes. Kõigil püsikatenditel on kavandatud tööiga 24 aastat, remontidevaheline tsüklil 12 aastat (ülakiht arvutatakse 12 aastale, alumised 24 aastale). Normkoormusest tuletatud kandevõime järgi leiame kataloogikatendi normi ODM218.2.104-2020 alusel II₃ kliimatsooni järgse konstruktsiooni.

Eesti keskmisest sõidukite liigiline jaotus Vene siirdetegurite (PNST 265 alusel, PNST 541 sisaldab detailse metoodika siirdetegurite arvutuseks kuid mitte koondit) kasutamiseks annab Eesti sooloveokite keskmiseks 1,69 ja autorongide keskmiseks 6,38 (arvestusest on välja jäetud autobussid, eeldame et nende keskmine on lähedane sooloveokitele, PNST järgi autobusside keskmine 0,75). Veokite läbisõidus on autorongidel 86% ja sooloveokitel 14%.

Valem arvutusliku koormuse leidmiseks sisaldab ööpäevase liikluse (summa), efektiivse katendi tööea aastas mis meie kliimatsoonis 125 päeva kuid näites kasutati aastaringset režiimi seega 365 päeva, teguri 0,7 ja rajateguri ning varuteguri mis on I klassi püsikatendil 1,62 – II klassil 1,49 ja III klassil 1,42.

Valem kandevõime arvutamiseks sisaldab rehvirõhu taandamist $\sqrt{0,8/0,6}$, konstanti 98.65 ja kordajat $\log(N)-3,2$.

Soome süsteem – linnatänavade lahend InfraRYL baasilt kataloogikaubana, Odemarkiga maanteevariandis tüüpkatendina

Taani süsteem – enamvähem on siirdetegurid, konstruktsioon tervikuna on võrreldav, vaid külmakerkevutus ei rakendu, kuid eeldades aluspinnaseks külmakindla liiva, ei ole see oluline.

Taani koormusarvestuses neljarajalise tee rajategur 0,45 ja kaheajalisel 0,50; normaalne rajalaius 3,75 – 1,0 (eeldame põhi ja tugimaanteel täislaiuses rada) ja kitsamal rajal 1,5 (kõrvalmaantee); supersingle tegur põhimaanteel 1,8 ja teistel riigiteedel 1,6 ja kohalikel vahemikus 1.2-1.5 valime 1.4. Siirdetegur autorongil (üle 12,5 m) 1,25 ja soolosõidukil 0,30.

Rootsi süsteem – koormusarvutus on komplitseeritud kuna adekvaatset siirdetegurit on raske leida, kuid kuna paljuski on Taani süsteemi ülesehituses ühist, oletame et nende normteljed on lähedased.

Saksa kataloogisüsteemi aluseks on samuti normteljed, nende leidmisel tuleb kasutada tegureid – raskesõiduki telgede arv (1 – 4,5; 2 – 4,0; 3 – 3,3), kandevõime kasutustegur (1 – 0,33; 2 – 0,25; 3 – 0,23), rajategur (0,45/0,55), raja laius (3,75 – 1; 3,25-3,75 – 1,1), pikikalle (1,0).

5.1 T11 TALLINNA RINGTEE LÕIK

T11 Tallinna ringtee km 4,9-8,7 (Lagedi-Jüri) – 17683 AKÖL (13944-1329-2410)

- a. EST: @10 – 21300 (17027-1329-2943)
- b. EST: @20 – 22700 (18190-1292-3228) – 47,5 M telge, I klass Q15 9494 (E347)
 - i. 3+4+10 asfalt, 15+20 killustik
- c. FIN (maantee) – KKL25 (20,000-50,000); $(3,2 \cdot 2943 + 0,9 \cdot 1329) \cdot 7300 \cdot 0,5 = 38,7 \text{ M} = \text{KKL60}$, koormuse järgi dimensioneerides KKL60 ka vanadest 60-tonnise max massiga teguritest
 - i. KKL60 = 540/545 MPa, 24/14 cm ac, 160/290 MPa alusel
 - ii. 24 asfalt, 20+23 killustik E543
 - iii. 14 asfalt, 20 TS 20 killustik E554
- d. FIN (linn) – K2 (10,000-30,000) 420 MPa
 - i. 4+15 asfalt, 15+30 killustik
- e. RUS
 - i. PNST – 40,1 miljonit 11,5-tonnist telge ülakihile 30 aastaga, Evaj 501 MPa
 - ii. ODM – kuni 650 MPa - 5+7+võrk+8, 10 immut, 15 kil.segu, geotekstiil
- f. DEN – 24 miljonit 10-tonnist telge 20 aastaga
 - i. 4+4+18 asfalt, 39 kruus/killustik
- g. GER – 20,8 miljonit telge 20 aastaga;
 - i. 12+14 asfalt, 20 kruus/killustik
- h. SWE – 24 miljonit telge
 - i. 4+17 asfalt, 8+42 killustik

5.2 T15 TALLINN-RAPLA KM 9-15 (LUIGE-TÕDVA)

T15 Tallinn-Rapla km 9-15 (Luige-Tõdva) – 8647 AKÖL (8233-200-214)

- i. EST: @10 – 10200 (9759-193-248)
- j. EST: @20 – 10600 (10154-185-261) – 5,7 M telge, II klass Q15 1147 (E272)
 - i. 4+7 asfalt 13+20 killustik
- k. FIN (maantee) – KKL10 (6700-14,000); $(3,2*248+0,9*193)*7300*0,5 = 3,5$ M = KKL5, koormus on väiksem (raskeliiklust vähe), seega dimensioneerime tegeliku koormusega
 - i. 360/470 MPa, 14/11 asfalt, 160/290 MPa alusel
 - ii. 14 cm asfalt, 20+23 killustik
- l. FIN (linn) – K3 (2500-10,000), 350 MPa
 - i. 4+12 asfalt, 15+30 killustik
- m. RUS
 - i. PNST – 4,1 miljonit 11,5-tonnist telge 24 aastaga, Evaj 389 MPa
 - ii. ODM – kuni 440 MPa - 5+6+võrk+7, 15 killustikusegu, geotekstiil
- n. DEN – 2,1 miljonit 10-tonnist telge 20 aastaga
 - i. 4+4+9 asfalt, 29 kruus/killustik
- o. GER – 1,6 miljonit telge 20 aastaga
 - i. Bk1.8 – 4+12 asfalt, 15 killustik
- p. SWE – 2,1 miljonit telge
 - i. 4+8 asfalt, 8+42 killustik

5.3 T11220 KERNU-KOHILA KM 9-15 (HAGERI-KOHILA)

T11220 Kernu-Kohila km 9-15 (Hageri-Kohila) – 1257 AKÖL (1186-42-29)

- q. EST: @10 – 1500 (1423-43-34)
- r. EST: @20 – 1500 (1425-41-34) – 0,93 M telge, IV klass Q15 186 (E210)
 - i. 5.5 asfalt 26 killustik
- s. FIN (mnt) – KKL2 (1300-3000); $(3,2*34+0,9*41)*7300*0,5 = 0,5$ M = KKL0,8
 - i. 285/420 MPa, 10/9 ac, 160/290 alusel
 - ii. 4+6 asfalt, 20+23 killustik
- t. FIN (linn) – K4 (500-2500), 250 MPa
 - i. 4+5 asfalt, 15+30 killustik
- u. RUS (pnst) – 0,59 miljonit 11,5-tonnist telge 24 aastaga, Evaj 292 MPa
 - i. ODM – IV klass kuni 340 MPa - 5+7, 25 killustikusegu, geotekstiil
- v. DEN – 0,42 miljonit telge 20 aastaga
 - i. 4+12 asfalt, 24 kruus/killustik (ülakiht 160/220)
- w. GER – 0,23 miljonit telge 20 aastaga – Bk32 (10...32 miljonit)

- i. Bk0,3 – 4+10 asfalt, 15 kruus/killustik
- x. SWE – 0,42 miljonit telge
 - i. 4,5 asfalt, 8+42 killustik

5.4 KOKKUVÕTE

Võttes tulemused tabelina kokku, saame võrdluse kui aluspinnaseks on liiv. Võrdluseks on Odemarki valemiga läbi arvutatud kõik eri riikide katendikonstruktsioonid, et saada võrreldavat kandevõimet.

T11	EST	FIN/m	FIN/I	RUS	DEN	GER	SWE	avg
Asfaldid	17+1	24	19	20	26	26	21	
killustikud	35	43	45	10 im +15	39	20	50	
Odemark:	375	543	462	407	555	436	517	471
T15								
Asfaldid	11+1	14	16	18	17	16	12	
Killustikud	33	43	45	15	29	15	50	
Odemark:	260	361	406	289	354	262	342	325
T11220								
Asfaldid	5,5+1	10	9	12	16	14	4,5	
Killustikud	26	43	45	25	24	15	50	
Odemark:	160	285	272	255	314	234	208	247

5.5 ANALÜÜS

Eesti katend on reeglina oluliselt väiksema kandevõimega võrreldes teiste riikide tüüp- ja kataloogikatendite kandevõimega. Silma hakkab asfaldikihi väga väike paksus ja see on võrreldav vaid asfaldi paksusega Rootsi katendis. Kuid Rootsis on asfaldi all tüüpiline 50 cm graniitkillustiku kiht, samal ajal kui Eestis on see vaid 26...35 cm. Soome katendites on asfaldi paksus 3...6 cm suurem ja killustiku paksus 8...17 cm suurem. Isegi Venemaa kataloogilahendused on suurema kandevõimega, võrreldes Eestis kasutatavatega.

6 KONTROLL JA KVALITEEDINÕUDED

6.1 ÜLDISED PÕHIMÕTTED MULLATÖÖDE KONTROLLIL

Alljärgnevalt on resümeeritud võimalikult täpselt EVS-EN 16907-1 mullatööde kontrolli osa. Tähelepanu tuleb pöörata asjaolule, et EVS-EN 16907-5 ja EVS-EN 16907-2 (materjalid ja kontrollimeetodid) on hetkel tõlkimise lõppfaasis.

Pinnaserajatisele esitatavad projekteerimisnõuded mullatööde tegemisel on sätestatud tehniliste tingimuste ja ehitusjooniste komplekti abil. Mullatööde jaoks kasutatakse peamiselt kolme liiki kirjeldusi:

- Lõpptoote kirjeldus;
- Meetodi kirjeldus;
- Kestvuse kirjeldus.

Lõpptoote kirjeldus (spetsifikatsioon)

Sellisel juhul määratletakse tehnilises kirjelduses konkreetse materjali jaoks vajalik tihendusaste ja vajaduse korral jäikuse nõue, lähtudes kas kasutuspiiriseisundi või kandepiiriseisundiga seotud kriteeriumidest. Nõutavat tihendatuse taset väljendatakse tavaliselt valitud geotehniliste omaduste, nt maksimaalse kuivtiheduse protsendina või ettenähtud minimaalse jäikusena ja seda kontrollivad kohapeal läbiviidavad katsed.

Kui kasutatakse lõpptoote kohast kirjeldust (spetsifikatsiooni), määratletakse nõuetes tavaliselt üldised eesmärgid, mis tuleb saavutada, täpsustamata nendeni jõudmiseks kasutatavaid meetodeid. Tehnilises kirjelduses kirjeldatakse nõudeid, millele pinnaserajatis tervikuna peab vastama, ning need võivad hõlmata ka erinevaid osalisi sihtmärke, mida kontrollitakse (nt kihi miinimumnõuded enne järgmise kihi paigaldamist).

Pinnasetööde kontrollimiseks võib kasutada lõpptoote spetsifikatsiooni, tingimusel et lähenemine kontrollib piisaval määral erinevaid mullatöid mõjutavaid probleeme.

Eespool nimetatud kriteeriumid on seotud näitamisega, et tööd peaksid olema projekteeritud selliselt, et need sobivad kavandatud lõppkasutuseks. Nende eesmärkide saavutamiseks peaksid mullatööde teostaja ja projekteerija läbi arutama mitmeid praktilisi küsimusi ning selleni jõudmiseks tuleks tegelikult nõuda, töö/spetsifikatsiooni meetodi kasutuselevõtmist.

Enamikul juhtudel on mullatööde läbiviimise ajal vaja rakendada mullatööde kvaliteedikontrolli süsteemi (isegi kui spetsifikatsioon seda ei nõua) tagamaks, et paigutatud materjal saavutab tõenäoliselt lõpptootele esitatavad nõude ja on pikas perspektiivis stabiilne

(nt tihendamisjärgsed niiskusesisalduse muutused ei põhjusta täitematerjali lubamatut halvenemist või vajumisi).

Meetodi kirjeldus (spetsifikatsioon)

Meetodi spetsifikatsioon määrab kindlaks, kuidas tihendamine tuleks läbi viia (tihendusseadmete liikide seisukohalt), töömeetodid, seadme läbimiste arvu ja tihendatava kihi lõpliku paksuse. Need tehnilised kirjeldused on välja töötatud teadusuuringute põhjal, kasutades seadme täismahulisi katseid (katsetöö katselõigul). Seda viisi tuleb kasutada kas täielikult või üldse mitte.

Kui pinnasetööde projekteerija otsustab kasutada olemasolevat kehtestatud meetodi spetsifikatsiooni, rakendatakse projektis ka selle aluseks olevat klassifitseerimissüsteemi (vt klassifitseerimise kohta standard EN 16907-5 ja tihendusmeetodite kohta EN 16907-3).

Kui projektis kavatakse kasutada meetodi spetsifikatsiooni, peaks see olema hästi kindlaks määratud meetod, mis sobib töökeskkonna/kliima/täite liigi olemusega ning põhineb ulatuslikel labori- ja välikatsetel; hea tava näited on esitatud teabelisades C kuni H. Spetsifikatsioon peaks sisaldama piiratud arvu *in situ* tiheduskatseid tõendamaks, et meetodi abil saavutatakse ootuspärane tihendusaste.

Kui hästi tõendatud kogemuspõhist meetodi spetsifikaati ei ole, saab tihendusmeetodi sobivust hinnata ehitusplatsil läbiviidavate hästi kontrollitud katsetega, kasutades pakutud täitematerjali ja seadet. See lähenemine võimaldab tööde teostajal ehitusplatsi tööd efektiivselt hallata. Samas on selles olukorras tõenäoline, et tööd tuleb kinnitada ikkagi lõpptoote spetsifikatsiooniga.

Kestvuse spetsifikatsioon

Kestvuse spetsifikatsioonide kohaselt peavad tööd olema määratletud pikaajaliste projektiinõuete seisukohalt, mis on tavaliselt kehtestatud suhteliselt kõrgel tasemel. Näiteks võib kriteeriumid määratleda lõpetatud mullatöö käigus rajatava hoone või tee muldkeha ja katendi pikaajalise kasutuskõlblikkuse alusel. Sellise lähenemisviisi piiratus seisneb asjaolus, et kriteeriumite täitmata jätmine ilmneb alles pärast ehitamist, mil on sageli liiga hilja parandusmeetmete rakendamiseks. Kestvuse spetsifikatsioone rakendatakse tavaliselt hüdraulilise täitmise moodustuvate muldkehade puhul (vt EN 16907-6), kuna paigalduse ajal on täitematerjali testimiseks vähe võimalusi. Kuivades tingimustes rajatud muldkehade puhul on siiski üldiselt eelistatav juhtida ehitustöid lõpptoote või meetodi spetsifikatsioonide järgi, mis kehtestavad mullatööde läbiviimiseks kindla järelevalve.

Kui on vaja esitada kestvuse spetsifikatsioon, tuleks see määratleda vastavalt nõutavale kasutuspiiriseisundile. Näiteks võib maapinna lubatud maksimaalset liikumist

kindlaksmääratud ajavahemiku jooksul defineerida lahkvajumina esitades viimast lubatud gradiendina kindlaksmääratud lõigul, mis määrab maksimaalse lubatud vajumise suvalise punktis sellel lõigul. Kuigi kestvuse spetsifikatsiooni puhul võib arvesse võtta ainult lõpetatud mullatööde pinda, võib mullatööde projekteerija olla kohustatud arvestama nii mulde (mida mullatööde standard käsitleb) kui ka aluspinnase käitumist (mida mullatööde standard ei käsitle).

Seda võib pidada lepingulisest seisukohast koormavaks spetsifikatsiooniks, kuna sellega püütakse vastutust kõigi tulevaste sündmuste eest panna mullatööde projekteerijale ning seda võib praktikas olla väga raske jälgida. Seetõttu peaks mullatöödega tegelev töörühm käesoleva spetsifikatsiooni rakendamisel kasutama nõuetekohast kvaliteedikontrolli vormi.

Tuleb märkida, et standardis EN 16907-5 seda teemat ei käsitleta, kuna tegemist ei ole tihenduse kontrolliga seotud katsetega.

6.2 SAKSAMAA

Saksamaal on EVS-EN 16907-es oma rahvuslik lisa, mida alljärgnevalt käsitletakse.

Kvaliteedikontrolli katsete puhul eristatakse kolme tüüpi katseid:

- sobivuskatsed;
- sisekontrolli katsed (enesekontroll);
- vastavuskatsed.

Sobivuskatsed on töövõtja läbiviidavad katsed, et kontrollida ehitusmaterjalide sobivust ettenähtud otstarbeks vastavalt lepingulistele nõuetele.

Sisekontrolli katseid viib läbi töövõtja, et teha kindlaks ehitusmaterjalide kvaliteedi ja tehtud mullatööde vastavust lepingutingimustele. Katsetulemused dokumenteeritakse vastavalt ehituse käigule.

Vastavuskontrolli katsed viib läbi tellija, et teha kindlaks ehitusmaterjalide ja teostatud mullatööde kvaliteedi vastavust lepingutingimustele. Teostatud mullatööde aktsepteerimine põhineb vastavuskatsete tulemustel.

Kõik katsetulemused tuleb töö käigus dokumenteerida ja need on osa aktsepteerimiseks vajalikust vastavust tõendavast dokumentatsioonist.

Kvaliteedikontroll põhineb kolmel erineval meetodil. Iga meetod pakub konkreetseid eeliseid sõltuvalt selle rakendusest ja projekti tüübist. Sobivaima meetodi valikul lähtutakse konkreetse ehitusplatsi tingimustest ja põhiteguritest, pinnaserajatise tüübist, suuruselt ja

olulisusest, ehitusmaterjali tüübist ja koostisest, seadmete tüübist ja rakendusest. Valitud meetod on lepingus osaks olevate tehniliste tingimuste osa.

Põhimõtteliselt peab töövõtja tööde alguses katsepolügoonil tõendama oma valitud töövõtete (seadmed, rullide tihenduskordade arv, töötempo, sagedus jne) sobivust (lepingulised nõuded täidetakse).

Peamised omadused ja nõuded, mida tuleb täita, on:

- tihedusaste;
- kandevõime;
- drenaažisüsteem;
- parameetrid, nagu kuivtihedus, poorsus (veega küllastunud), kuivpoorsus (veeküllastamata), pikisuunaline tasasus, põikprofiil, deformatsioonimoodul.

Eristatakse järgmiste meetodite järgi kontrolli (sarnane üldiste nõuetega eespool):

- Meetod M1 – lõpptoote spetsifikatsioon vastavalt katseplaanile;
- Meetod M2 – jätkuv tiheduse kontroll;
- Meetod M3 – meetodi spetsifikatsioon ja pistelised katsed.

Meetodi M1 (TP BF-StB osa E1) puhul määratakse lõpptoote saavutatud kvaliteet asjakohaste parameetrite nagu tihendamine, kandevõime, veeläbilaskvus jne, pisteliste kontrollkatsetega. Katsete tulemusi hinnatakse statistilise analüüsi põhjal, kas nõuded on täidetud (katsepartii aktsepteeritud) või mitte (katsepartii lükati tagasi). Sõltuvalt testitava ala suurusest on nõutavate katsete arv fikseeritud standardis toodud tabelis (ZTV E-StB).

Meetodit M1 on soovitatav kasutada igat liiki pinnase jaoks, eriti suurte partiide kvaliteedi kontrollimiseks ja tihendamise ühtluse kontrollimiseks.

Meetodi M2 (TP BF-StB osa E2) puhul jälgitakse saavutatud kvaliteeti rullidega tihendamise käigus. Rullile paigaldatud instrumendid mõõdavad rulli ja tihendatud pinnase vastastikuse mõjuga määratud dünaamilist väärtust, mis korreleerub iga kihi jäikuse ja tihendamiseiga. Meetod M2 nõuab dünaamiliste mõõteväärtuste kalibreerimist vastavalt iga rajatava kihi nõuetele (korrelatsioonikordaja määramine). Pidevate mõõtmiste tulemused tuleb dokumenteerida aktsepteerimiseks vajaliku vastavuse tõendina koos ühekordse vastavuskatsega.

Meetodit M2 on soovitatav rakendada projektide puhul, mille päevane väljund on suur, arenduste puhul, kus tihendamise hindamine on tööprotsessi lahutamatu osa, ja tihendamise ühetaolisuse hindamiseks.

Meetodi M3 (TP BF-StB osa E3) puhul põhineb kvaliteedikontroll meetodi spetsifikatsioonil. Tihendamistööde alguses viiakse läbi proovitihendamine, et kontrollida protsessi vastavust lepingutingimustele. Proovide tulemuste põhjal määratletakse konkreetsed tööjuhised ja tööprotseduurid. Tihendamise protseduuri kirjeldavad põhitunnused on näiteks seadme tüüp, mass, vibratsiooni sagedus, rulli tihenduskordade arv, pinnaserühm, täite paksus ja täite veesisaldus.

Tihendamine tehakse vastavalt neile juhistele ja protseduuridele. Töövõtja dokumenteerib tööde edenemise enesekontrolli käigus korrektset nende juhiste ja protseduuride järgimist. See dokumentatsioon (päevaraamat) on aktsepteerimisel vastavuse tõendiks (kvaliteedikontroll). Lisaks viiakse läbi kindlaksmääratud arv vastavuskatseid (pistelised katsed).

Meetodi M3 rakendamine on soovitatav vähese tähtsusega arenduste puhul ja ühtlaste pinnasetüüpide ning ühesuguste keskkonna- ja töötingimustega objektidel.

6.3 ROOTSI

Rootsi kohaldatakse üldiselt Eurocode 7 ja sellega seotud dokumente.

Tavaliselt kasutatakse mullatööde jaoks meetodi kirjelduse (spetsifikatsiooni) nõudeid. Lõpptööde spetsifikatsiooni (jäikus, E_{v2}) kasutatakse tavaliselt ülemise kihi pinnal.

Maantee- ja raudteeprojektide puhul nõutakse meetodi spetsifikatsioonis suurimat kihi paksust pärast tihendamist ja minimaalset tihendamiskordade arvu konkreetsete tihendamisseadmete jaoks. Nõuded on erinevad, sõltuvalt tegelikust materjaliklassist.

Jäikuse nõuded kihi pinnal sõltuvad ehitise tüübist ja kaugusest tee pinnast.

Jäikust kontrollitakse täite ülemises kihis või lõikudes, mis on kattekihtide aluseks. Kõige tavalisem jäikuse kontrollimise meetod on staatiline plaatkoormuskatse. Elastse katte puhul peaks aluspinnase E_{v2} väärtus olema vähemalt 20 kuni 40 MPa, sõltuvalt sillutise projektist.

Eespool toodud E_{v2} väärtused on tavaliselt 8 kontrollpunkti keskmised väärtused maksimaalselt 5000 m² kontrollalal. Kui kasutatakse jätkuvat tihendamise kontrolli (CCC) rulli abil, võib kontrollpunkte vähendada kõigest 2-ni, mida saab teha nõrkadel aladel.

6.4 INGLISMAA

BS 6031:2009 punkt 9 sätestab mullatööde teostamise juhtimise üldnõuded, millest olulise osa moodustab ehitamise käigus tehtav kvaliteeditagamise/kvaliteedikontrolli (QA/QC) katsete tegemine, mis peab olema kooskõlas objekti mullatööde tehniliste tingimustega.

Mullatööde kontrollkatsete läbiviimine hõlmab nii täite klassifitseerimist kui ka ehitamise kontrolli.

Projekteerija peaks kvaliteeditagamise/kvaliteedikontrolli protsessi raames ette nägema mullatööde materjalide katsetamise nõuded ehitamise ajal, sealhulgas kõik katsed materjali allikate aktsepteerimiseks ja tavapärased täite kontrollimise katsed tööde käigus. SHW-s on see teave esitatud lisas 1/5, mis võib olla SHW [1] tabelis NG1/1 esitatud kujul.

Projekteerija peaks lisama katsete sageduse või arvu, sõltuvalt tehtavate tööde ulatusest või kestusest.

Kõiki mullatööde materjale kontrollitakse katsetega, et kontrollida täitematerjali sobivust enne paigaldamist tööde käigus, et kinnitada vastavust projekti tehnilistele tingimustele. Tihendamise kontrolli kahe peamise vormi erinevus kvaliteedikontrolli lähenemise seisukohalt on järgmine:

- Meetodi spetsifikatsiooniga korraldatavate mullatööde puhul keskendutakse sellele, kas kordade arv ja sellest tulenev tihendatud kihi paksus vastavad SHW tabelis 6/4 määratletud tihendamise meetodile. Lisaks tehakse piiratud arv *in situ* tiheduse määramise katseid, et kontrollida, kas standardne meetod sobib täitele ja ehitusplatsi tingimustele.
- Lõpptöote spetsifikatsiooniga kontrollitavaid täitematerjale lihtsalt testitakse tihendatud täite *in situ* kuivtiheduse ja/või jäikuse määramiseks, tehes katseid korrapäraste ajavahemike tagant mullatööde käigus, et kontrollida aktsepteeritavate tulemuste järjepidevat saavutamist.

Ehitustööde alustamisel soovitatakse ehitusplatsil läbi viia tööstuslikud suurmastaapsed katsed eesmärgiga kinnitada, et kavandatud töömeetoditega saavutatakse oodatud tulemused.

Kõigi läbiviidud kvaliteeditagamise/kvaliteedikontrolli katsete kohta tuleb pidada üksikasjalikku arvestust koos detailsete tööde käigus tehtud katsete asukoha ja asjakohaste ehitusplatsi vaatluste andmetega.

Ühendkuningriigis soovitatakse geotehnilise tagasiside aruandes ehitusdokumentide kokkuvõtte tegemisel lisada sinna ka saadud kogemused, et edaspidi töömeetodeid paremaks muuta.

6.5 EVS-EN 16907 ÜLDISED PRINTSIIBID

Püsiomadused

Materjalide kasutuskõlblikkuse määratlemiseks ja kontrollimiseks võib kasutada järgmisi, sh. põhiklassifikatsioonis kirjeldamata, omadusi:

- Terade mineraloogia, sh esinevate savimineraalide tüüp, samuti terade litoloogia;
- Teke;
- Osakeste kuju;

- Osakeste tihedus;
- Optimaalne veesisaldus;
- Maksimaalne kuivtihedus;
- Terade või osakeste tugevus;
- Osakeste mehaaniline püsivus, sh tera kõvadus (mullatöödega ei kaasne olulist purunemist);
- Murenevus (sh külmumine-sulamine, kokkutõmbumine ja vee imendumine) ning osakeste vastupidavus;
- Külmakerkelisus;
- Keemiline püsivus ja vastupidavus;
- Tuhasisaldus.

Olekuomadused

Mullatöödel kasutatavate pinnaste klassifikatsioon põhineb vastavalt vajadusele järgmistel olekuomadustel:

- veesisaldus;
- Dreenimata tugevus ja rikutud pinnase tugevus;
- Dreenitud tugevus;
- Ühetelgne survetugevus;
- Tõmbetugevus;
- Jäikus / Young'i moodul (Elastsusmoodul või kandevõime);
- Pundumisvõime;
- Äkkvajumise potentsiaal (vee all);
- Tihedus või tihedusaste;
- Otseste/Vahetu kandevõime indeks;
- Kalifornia kandevõimetegur (CBR);
- Filtratsioonimoodul;
- Kapillaarsus;
- Seismiline kiirus;
- Külmaskindlus;

Tüüplahendused

Projekteerimisel ja projekti vastu võtmisel kontrollitakse tüüplahenduse vastavust aluspinnasele ja tee liikluskoormusele.

Ehitamise ajal kontrollitakse kasutatud pinnaste ja materjalide vastavust pinnase või materjali rühmale, mida projektis kasutati. Samuti kontrollitakse paigaldatud materjali tihedust ja kihi paksuse vastavust projektile. Geosünteedide korral kontrollitakse kihtide paksust ja paigaldatud geosünteedi vastavust projektile.

Tüüplahendused

- kihi paksuse kontroll (mõõdistus),
- materjalide kontroll (lõimis)
- tiheduse kontroll vastavalt standardi soovitusel sageduse osas

Kehtib nii tüüp- kui kataloogilahendustele.

Erilahendus

Projekteerimine tehakse katsetöödel saadud andmetele tuginedes. . Katselõigul testitakse materjale ja saavutatud kandevõimet, vajadusel muudetakse projektlahendust või vahetatakse välja materjalid

Ehitamise ajal kontrollitakse saavutatud kandevõimet. Kontrollitakse kuni saavutatakse vajalik kandevõime.

Erilahendused

- kihi paksuse kontroll (mõõdistus)
- saavutatud kandevõime kontroll plaatkoormus või dünaamilise katsega
- vajadusel korrigeeritakse lahendust kihtide paksuse muutmise või kihtide materjalide välja vahetamisega
- kontrolli teostatakse kuni lahendus saavutab vajaliku kandevõime

Kontrollimiseks tuleks valida sobivad näitajad EVS-EN 16907-2:2018 tabelist 13, ei ole vaja määrata kõiki näitajaid (boldiga on märgistatud Eestis teede ehituses kindlasti vajalikud määrandud):

Asend pinnaserajatises	Näitajad
Aluspinnas	pinnaserühm, granulomeetriline koostis, veesisaldus, plastsus , dreenitud nihketugevus, jäikus, CBR indeks, niiskustingimused , <i>Proctortihedus, keemiline koostis, tervistkahjustavad materjalid, materjali vastupidavus</i>
Drenaažikiht	pinnaserühm, granulomeetriline koostis , dreenitud nihketugevus, filtratsioonimoodul , tervistkahjustavad materjalid, materjali vastupidavus, keemiline koostis
Üldtäide (ja muldkeha südamik)	pinnaserühm, granulomeetriline koostis , veesisaldus, plastsus, Proctortihedus , CBR indeks, dreenimata tugevus, kandevõime, niiskustingimused , keemiline koostis, orgaanilise aine sisaldus, pundumis- ja äkkvajumise potentsiaal, mehhaaniline püsivus, keemiline püsivus, savide tundlikkus ja aktiivsus
Täide rajatise taga (üleminekutsoonid)	pinnaserühm, granulomeetriline koostis, veesisaldus, plastsus, Proctortihedus , CBR indeks, dreenimata või dreenitud nihketugevus, veejuhtivus, keemiline koostis, tervistkahjustavad materjalid, materjali püsivus vastupidavus
Välisnõlvad (külgtsoonid)	pinnaserühm, granulomeetriline koostis , veesisaldus, plastsus , tugevus, jäikus, Proctortihedus , CBR indeks, keemiline koostis, tervistkahjustavad materjalid, materjali vastupidavus
Tugevdatud pinnas	pinnaserühm, granulomeetriline koostis , veesisaldus, plastsus , Proctortihedus, CBR indeks, dreenitud nihketugevus, filtratsioonimoodul, keemiline koostis, tervistkahjustavad materjalid
Isoleeriv kiht	pinnaserühm, granulomeetriline koostis, veesisaldus, plastsus, dreenimata tugevus, Proctortihedus , filtratsioonimoodul, keemiline püsivus, savide tundlikkus ja aktiivsus
Töökihi alune ülemine kiht (aluskiht)	pinnaserühm, granulomeetriline koostis , veesisaldus, plastsus , tugevus, jäikus , CBR indeks, keemiline koostis
Töökiht	pinnaserühm, granulomeetriline koostis , veesisaldus, plastsus, külmakindlus , dreenimata tugevus, Proctortihedus , CBR indeks, keemiline koostis, organic content, tervistkahjustavad materjalid, külmakerkelisus
MÄRKUS 1 Mehaaniline püsivus hõlmab pundumise ja äkkvarisemisega seotud omadusi.	
MÄRKUS 2 Maapinnast välja kaevatud ja mullatööde protsessi kaasatud kaljude käitumist iseloomustatakse tavaliselt pinnasega sarnanevana.	

7 MEETODID KVALITEEDI KONTROLLIMISEL

7.1 ÜLDISED PÕHIMÕTTED KVALITEEDI KONTROLI MEETODI VALIMISEL

EVS-EN 16907-2:2018 Lisa A sisaldab detailset loetelu mullatöödel kasutavate katsete ja nende standardite osas. Vastavalt vajadusele kontrollitakse 40 näitajat, iga kontrollkatse kohta on olemas Euroopa standard ja on täpsustatud millise pinnase või materjali tüübi jaoks meetod sobib.

Mullatööde kvaliteedi kontrolli käsitlev standardi osa 5 – EVS-EN 16907-5:2018 Mullatööd. Osa 5: Kvaliteedi kontroll ilmub tõlkena 2022 aastal ja seetõttu konkreetsed meetodid selles aruandes käsitlemist ei leia.

Tööstuslikke tihendamiskatseid võib kasutada konkreetse materjali jaoks sobiva tihendamismeetodi valimiseks (eelkatsed) või et kontrollida, kas valitud tihendamisprotsess annab konkreetse materjali jaoks oodatud tulemuse (vastuvõtukatse). Sisuliste tulemuste saamiseks tuleb katsed eelnevalt kavandada ja hoolikalt korraldada. Katse eesmärgid tuleb selgelt sõnastada koos tulemuste hindamiseks kasutatavate kvantitatiivsete andmetega.

Täpsustatakse järgmist:

- pinnase liik;
- kihi paksus (tihendamata ja tihendatud);
- tihendaja tüüp, töörežiim ja tihendamise energia;
- ülesõitude arv jne;
- kasutatud mõõtmismeetodid ning mõõtmiste arv, asukoht ja jaotumine;
- tulemuste analüüsimiseks ja järelduste tegemiseks kasutatav meetod.

Tulemuseks on katseprogramm. Katseprogrammis määratakse kindlaks katsetööde arv ja asukoht, kasutatav täitematerjal, selle kohale toimetamise ja kihiti paigaldamise viis, tihendamise protseduur ja mõõtmised. Määratakse kindlaks vajalik personal ja pädevus. Tihendamisseadmeid kontrollitakse vastavalt tootja spetsifikatsioonidele ja märgitakse kõik lahknevused. Proovitöö minimaalsed mõõtmed on pikkus 30 m ja laius kolmekordne tihendaja laius, kusjuures kihi paksuse mõõtmised tehakse keskmisel sõidurajal. Paigaldada tuleb vähemalt neli tihendatud kihti ja mõõta *in situ* tihedus kogu katsealal ühtlaselt jaotatud kohtades.

Katsete tulemused kogutakse ja analüüsitakse keskmise väärtuse ja standardhälbe alusel. Tulemused esitatakse aruandes, mille sisu täpsustatakse eelnevalt. Tavaliselt on tihendamiskatse esmane eesmärk näidata vastavust tihendamise nõuetele. Siiski võib uurida ka teisi parameetreid või materjali käitumisega seotud küsimusi, näiteks:

- deformatsioonimoodul plaatkoormuskatsete abil. Sellisel juhul tuleb katsed teha plaadi läbimõõdust vähemalt kaks korda suurema tihendatud täite paksusega, et vältida vastastikust mõju aluspinnasega;
- niduspinnaste nihketugevus *in situ* tiivikkatsete, penetratsioonikatsete või rikkumata proovide kogumise abil;
- teraliste pinnaste suhteline tihedus penetratsioonikatsete abil;
- *in situ* CBR väärtused;
- liigeldavuse toimimine;
- tihendamisprotsessi põhjustatud granulomeetrilise koostise muutused.

7.2 SOOME

Katendiarvutusele on vastavalt koormusklassile ette antud vajalik kandevõime alusel (so. enne asfaldi paigaldamist). Reeglina on sidumata alusel sihtväärtuseks 160 MPa, madalama klassiga teedel võib see sihtväärtus olla väiksem.

Kontrolli nõutakse reeglina plaatkoormuskatsega, kuid võimalik on ka FWD seadme kasutamine. Võimalusel eelistatakse FWD suuremat kasutamist, seda kiiruse tõttu.

Kui etteantud kandevõime väärtust (E_{v2}) ei ole saavutatud, peab insener (omanikujärelevalve) kontrollima materjalide vastavust projektsele, samuti paigaldatud kihtide paksused ning teostama kontrollarvutused tegelikult tuvastatud materjalide E -moodulite ja kihipaksustega. Kontrollarvutuste alusel insener otsustab kas ja mida tuleb ette võtta. Oluline on, et insenerile ei kirjutata ette kohustuslikku otsust, tegemist ei ole kihi vastuvõtutingimusega.

Kataloogilahendite korral on kataloogis antud kandevõime väärtused iga kihi peal. Soome ehituspraktikas ei teostata süsteemseid mõõtmisi enne, kui sidumata aluse peal pärast killustikukihtide kiilumist, enne asfaldi paigaldamist. Aluspinnaste ja vahepealsete kihtide mõõtmisi tehakse "enda seljataguse kindlustamiseks", et kinnitust saada, et projekti aluseks olnud eeldused on täidetud, seda juhul kui esinevad kahtlused. Kergseadmete kasutus on tavaline mitmesuguste trasside ja truupide paigaldusel mõõtmistel, mis tuleb teostada süvendis kuna FWD ja PLT nendes tingimustes ei sobi.

Soome InfraRYL – muldkeha ehitamise juhise. Vajalik tihendustegur (keskväärtus) – KKL 0,8...60 ülemine 2 m tihendustegur 0,95 (nõrkadel pinnastel 0,92), 2...5 m 0,90 (nõrkadel pinnastel 0,87) ja üle 5 m eeldab 6 kuud tihenemist (nõrkadel pinnastel 12 kuud).

Üksikmõõtmise tulemus võib olla kuni 5 protsendiühikut madalam.

Madala liiklusega teedel (KKL 0,1 ja KKL 0,4) kuni 3 m ulatuses 0,9 (nõrkadel pinnastel 0,87) ja üle 3 m puhul 6 (12 nõrkadel pinnastel) kuud tihenemiseks.

Kui kasutatakse aluskonstruksiooni klasside A...E materjale (E vähemalt 20 MPa) muldkeha ehituseks, on tiheduskontrolli nõuded seostatud mõõdetava kandevõime (Ev2) väärtusega.

Kuni 125 MPa korral on Ev2/Ev1 nõue sõltuvalt eeldatavast koormusest ja sügavusest kuni 2,6 (head pinnased ja kuni 2 meetrit) suurenedes iga 10 MPa kandevõime kohta 0,1 ühiku võrra. Algtasemeks 2...5 m sügavusel või nõrkadel pinnastel on 3,2.

Analoogne tabel on esitatud ka FWD seadme kohta. Samas süsteemis on esitatud nõuded ka raudtee ja tänava kohta (nõue ülemise 3 m kohta ja alumise kohta, keskväärtus ja miinimum), nii plaatkoormuskatsele kui FWD-seadmele. Lubatud on kasutada ka teisi meetodeid, kuid need tuleks kalibreerida plaatkoormuskatsega.

MaaRYL 2010 sisaldab kontrollinõuete osas ka Loadman kergseadet. InfraRYL-is alates 2010 aastast vastavad viited puuduvad kuna seos plaatkoormuskatsete ja FWD katsete tulemustega ei ole ühene. Loadman tootja (AL Engineering OY) juhendi järgi on seos seeria maksimaalse ja minimaalse näidu suhte ning tihedusteguri (Proctori tiheduse) vahel olemas, kuid ei ole esitatud piisavalt esinduslikke võrdluskatsete andmeid selle tõestamiseks.

Tihedusastme kontrollimiseks kasutakse Troxler-seadet, mis mõõdab tiehndatud materjali niiskuse ja mahukaalu, mille kaudu leitud kuivmahukaalu võrreldakse tihedusastme kontrollimiseks Proctor katsega laboris määratud maksimaalse kuivmahukaaluga.

7.3 SAKSAMAA

Saksamaal on selgelt ette on antud vajaliku kandevõime väärtus Ev2 aluspinnasele (45 MPa) ja alusele enne asfaldi paigaldamist (100...180 MPa sõltuvalt valitud konstruktsioonist ja klassist). Kui aluspinnase $Ev2 < 45$ MPa, tuleb see enne muldkeha rajamist tugevdada.

Mõõdetakse plaatkoormuskatsega või 300 mm plaadiga 100 kPa režiimis töötava GDP (german dynamic plate) seadmega (Zorn, HMP). Staatilise ja dünaamilise mõõtmise üleminekud on toodud tabelis. Saksa reglemendi järgi tohib kasutada tabelis toodud ulatuses plaatkoormuskatse asemel kergseadet. Märkus on juures, et neid suhteid (suhtarve) ei tohi ekstrapoleerida üles kõrgematele väärtustele. Siit tulenevalt Zorni ja analoogsete seadmetega ei peaks mõõtma killustiku kihil, kus Ev2 väärtus saab olla 150 või enam MPa.

Dynatesti võrdlustabelid koostatuna Tallinna tüüpkatendite kontrollimiskes on esitatud peatükis 7.9 on tuletatud plaatkoormuskatse ja saksa seadme ning Dynatest LWD ja saksa seadme võrdlusest.

Benchmarks for the allocation of the static deflection modulus E_{v2} or the dynamic deflection modulus E_{vd} to degree of compaction D_{pr} on coarse-grained soil types			
	Required compaction in different depths (ZTVT-StB 95*) (ZTVE-StB 94)	Based on benchmarks for the allocation to D_{pr} (ZTVE-StB 84 Chart 8)	1) Proposal for the allocation of E_{vd} to E_{v2} (acc. ZTV-E StB, Oct. 09)
Soil Types DIN 18 196	Degree of compaction D_{pr} in %	Deflection modulus E_{v2} in MN/m ²	Deflection modulus E_{vd} in MN/m ²
Gravels and sands with $\leq 7\%$ by weight $<0,063$ mm (gravels with wide or intermittent grain size distribution, gravel-clay and gravel-peat mixtures)	≥ 103 ≥ 100 ≥ 98 ≥ 97	≥ 120 ≥ 100 ≥ 80 ≥ 70	≥ 65 ≥ 50 ≥ 40 ≥ 35
Gravels and sands with narrow grain size distribution, sands with wide or intermittent grain size distribution	≥ 100 ≥ 98 ≥ 97	≥ 80 ≥ 70 ≥ 60	≥ 40 ≥ 35 ≥ 32
Mixed gravels and sands with 7-15% by weight $<0,063$ mm (gravel-silt and gravel-clay mixtures, sand-silt and sand-clay mixtures)	≥ 100 ≥ 97	≥ 70 ≥ 45	≥ 35 ≥ 25
Silty and clayey as well as mixed soils 15-40% by weight $<0,063$ mm (silt, clay, gravel-silt and gravel-clay mixtures, sand-silt and sand-clay mixtures)	≥ 97 ≥ 95	≥ 45 ≥ 30	≥ 25 ≥ 20

1) In accordance with ZTV E-StB 09 §14.2.5 and ZTV E-StB 12 client and contractor may agree upon these reference values as benchmarks for verification of the achieved compaction.

To be on the save side always perform a correlation measurement with the static plate load test in accordance with DIN 18134.

Tabel. Staatiliselt mõõdetud E_{v2} ja dünaamiliselt mõõdetud E_{vd} ja Proctori tiheduse seos.

7.4 TAANI

Taanis ei ole otsest reglementi ega nõudeid kandevõimele. Ka arvutustes ei ole ka toodud kandevõime väärtust, mida üldse nõuda või kontrollida. Kogu kvaliteedikontroll põhineb kihipaksuste ja tiheduste mõõtmisele ja materjali vastavuse kontrollile.

7.5 ROOTSI

Rootsis kasutatakse kontrollil plaatkoormuskatset. TRV 2011:073 TDOK 2011:267 järgi peab tegema alusel 5000 m² kohta katse, seerias vähemalt viis katset. Nõue kihi pinnal arvutatakse.

Juhise järgi peab kandevõime E_{v2} olema asfaltkatte all vähemalt 110 MPa. Nõutav tihendustase E_{v2}/E_{v1} väiksem kui $1,5 + 0,023 \cdot E_{v2}$.

7.6 INGLISMAA

Juhises MCHW series 800 – road pavements – unbound, cement and other hydraulically bound mixtures, sätestab kvaliteedikontrolli meetodid (lk 33) erinevate seadmetega:

- DCP (dynamic cone penetrometer);
- FWD (falling weight deflectometer);
- LWD (lightweight deflectometer).

DCP protseduur on toodud juhises CD225, tulemuseks saadakse CBR väärtus mis teisendatakse elastsusmooduliks. FWD peab olema kalibreeritud. LWD kasutamisel on kaks võimalust, objektipõhine kalibreerimine FWD seadmega, või iga-aastane korrelatsioonitõend. Mõõtmisel on kaks protseduuri, üks standardpingel mis on määratud BS 1924-2 standardis, või 100 kPa lähialas et määrata elastsusmooduli pingesohtuvust.

TABLE 8/16 (03/20) Foundation Surface Modulus Requirements

Foundation Class		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Mean of 5 foundation surface modulus tests (MPa)	Unbound mixtures	40	80	N/A	N/A
	Fast-setting mixtures	50	100	300	600
	Slow-setting mixtures	40	80	150	300
Minimum of any foundation surface modulus test (MPa)	Unbound mixtures	30	50	N/A	N/A
	Fast-setting mixtures	30	50	150	300
	Slow-setting mixtures	30	50	75	150

Nõutud tulemus peab olema saavutatud vahetult enne järgmiste katendikihtide rajamist. Viie järjestikuse mõõtmise libisev keskmine peab olema mitte vähem kui 80% projektsest kandevõime väärtusest ning ükski üksikmõõtmine mitte vähem kui 50% projektsest väärtusest.

Kvaliteedikontrolliks on ka sõidukatsel alusel, mille käigus tehakse veoki ratta 1000 läbikut ning 10-meetrise sammuga mõõdetakse (rattajäljes) vajumit 2-meetrise lati all.

7.7 ITAALIA

Itaalias kasutatakse plaatkoormuskatset või LWD seadet. UNI 11531-1 standard sätestab nõutavad tasemed plaatkoormuskatsele, kuid reguleeritud pingerežiimile (erinevatel kihtidel erinev tase).

prospetto 5b **Requisiti per l'addensamento e la portanza degli strati per tutte le altre opere**

Strato	Grado di addensamento	Modulo di deformazione	M_d/M'_d	Cedimento permanente	Modulo con LWD	Modulo con FWD
	% ρ_d max.	M_d [MPa]		Δh [mm]	E_{LWD}	E_{FWD}
	UNI EN 13286-2 ¹⁾	2)	2)	3)		
Piano di posa del rilevato	≥ 95 Proctor modificato	≥ 20 Tra 0,05 e 0,15 MPa				
Anticapillare	≥ 95 Proctor modificato	≥ 20 Tra 0,05 e 0,15 MPa	$\geq$ del valore determinato in campo prove	$< 4,0$	$\geq$ del valore determinato in campo prove	$\geq$ del valore determinato in campo prove
Rilevato	≥ 95 Proctor modificato	≥ 40 Tra 0,05 e 0,15 MPa	$\geq$ del valore determinato in campo prove	$< 4,0$	$\geq$ del valore determinato in campo prove	$\geq$ del valore determinato in campo prove
Sottofondo	≥ 98 Proctor modificato	≥ 50 Tra 0,05 e 0,15 MPa	$\geq$ del valore determinato in campo prove	$< 2,5$	$\geq$ del valore determinato in campo prove	$\geq$ del valore determinato in campo prove
Fondazione	≥ 98 Proctor modificato	≥ 100 Tra 0,15 e 0,25 MPa	$\geq$ del valore determinato in campo prove	-	prestazione di progetto	prestazione di progetto
Base	≥ 100 Proctor modificato	≥ 100 Tra 0,25 e 0,35 MPa	$\geq$ del valore determinato in campo prove	-	prestazione di progetto	prestazione di progetto
1) L'argomento è trattato nel CNR B.U. n° 22/72 Peso specifico apparente di una terra in sito. 2) L'argomento è trattato nel CNR B.U. n.146/92 Determinazione dei moduli di deformazione M_d e M'_d mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare. 3) L'argomento è trattato nella SNV 670 365 Essai d'ornièrage – Décembre 1972.						

Lisaks on kohaliku maanteameti tehniline spetsifikatsioon (standarddokument hankes), mis sisaldab nõuded LWD kasutamisele (Dynatest või kloon), sidumata kihi (killustik) kandevõime nõue (Dynatest) – 80 MPa (150 mm plaat, 300 kPa pinge talla all), seotud kihtidel (stabiliseeritud kihid) 4 tundi pärast tihendamist 60 MPa (300 mm plaat, 100 kPa pinge talla all) ja 24 tundi pärast tihendamist 200 MPa (150 mm plaat, 300 kPa pinge talla all). Pingerežiimi nõuded Dynatesti osas täpsustati Itaalia kolleegiga A.Marradi (Dynatest Italy, Pisa ülikool).

7.8 VENEMAA

Venemaal toimub kontroll sidumata kihtidel peamiselt plaatkoormuskatsega (ODM 218.5.007-2016). Kasutatakse 300 mm plaati, liival ette nähtud koormus 50% standardsest ratta alusest koormusest, killustikul 100%.

STO 2.31-2018 käsitleb ka kergseadet, mis peaks olema analoog Saksa Zornile (100 kPa maksimaalne koormus, 300 mm plaadiga). Kergseadmega mõõtes peab mõõtetulemuse variatsioon mahtuma lubatud piiridesse.

Таблица 2 – Требуемые значения параметров деформативности оснований дорожных одежд

		Требуемые показатели деформативности				
Материал слоя	Конструктивный элемент	При статическом нагружении			При динамическом нагружении	
		Модуль упругости E _y , МПа	Модуль деформации E _{v2} , МПа*	Условный показатель уплотнения K _{Етр}	Модуль деформации E _{vd} , МПа**	Коэффициент вариации модуля деформации V(E _{vd}), не более****
ЩПС, ЩГПС	Верхний несущий слой основания	Не ниже проектного значения	≥ 180	≤ 2,2	≥ 60***	0,12
	Нижний несущий слой основания		≥ 150	≤ 2,5	≥ 60***	0,12
	Дополнительный слой основания		≥ 120	≤ 2,5	≥ 60***	0,12
Песок	Нижний слой основания		≥ 80	≤ 2,5	≥ 40	0,18
	Дополнительный слой основания		≥ 70	≤ 2,5	≥ 35	0,18

Примечание

* Допускаются отклонения 20% значений модуля деформации на поверхности основания при втором цикле нагружения E_{v2} из общего числа измерений на контролируемом участке, в меньшую сторону от требуемого модуля деформации, но не более чем на 10% при соблюдении требований п. 5.2 настоящего стандарта.

** Допускаются отклонения 5% значений модуля деформации при динамическом нагружении E_{vd} из общего числа измерений на контролируемом участке, в меньшую сторону от требуемого значения, но не более чем на 10% (при соблюдении требований п. 5.8.1 настоящего стандарта).

*** Наибольшая крупность фракции, при которой целесообразно определять модуль деформации установками динамического нагружения D_{дин} = 70 мм (¼ диаметра штампа).

**** Для слоёв, устроенных из фракционированного щебня однородность слоёв основания не должна превышать 0,18.

7.9 EESTI

Eestis on määruses 101 sisse kirjutatud konkreetseid kandevõime E_{v2} väärtused erinevate kihtide pinnal, määratuna Inspector seadmega. Tavalise sõidutee killustikaluse osas on nõue 170 MPa, mis ei sõltu tee konstruktiivsest lahendusest ja muudest teguritest. Aladel, kus autokoormus puudub – näiteks kergliiklusteel on see nõue 140 MPa. Kruusateel on nõue 120 MPa. Selline praktika ei vatsa projekteerimise süsteemsusele ja komplitseerituse tasemele – projektid koostatakse üldjuhul Eurostandardite mõistes erilahendustena, kuid kontroll teostatakse vaid üht kontrollnumbrit aluseks võttes. Inspectoriga mõõdetud väärtus ei ole otseselt võrreldav plaatkoormuskatse E_{v2} väärtusega.

Inspector-seadme omapäraks on väga kõrge pinge talla all, mis ületab oluliselt konstruktsioonis reaalse koormuse all esineva pingetaseme ja seetõttu materjalidel, mille elastsusmoodul sõltub pingest, ei ole tulemus võrreldav arvutuslikega. Liivadel mõõtes tihendab Inspector-seade materjali seadme talla all ja esineb oluline vajum ning mõõtetulemus kirjeldab pigem katse käigus ületihendatud materjali/pinnast, mitte reaalselt töö tulemust mõõtejäljest väljaspool.

Inglise reglemendist lähtuvalt on Tallinna tüüpkatendite puhul sisse toonud seos Dynatest LWD ja plaatkoormuskatse vahel. Tartu tüüpkatendite juures on seda seost veidi modifitseeritud ja lisatud on võrdlus 100 kPa (300 mm tald) ja 300 kPa (150 mm tald) pingerežiimide vahel.

PLT Ev2	180	150	120	100	80	70	60	50	45
Evd 100 kPa avg			99	82	66	58	50	45	41
Evd 100 kPa min			79	66	53	46	40	36	33
Evd 300 kPa avg	158	138	119	98	79	70	60		
Evd 300 kPa min	127	110	95	79	64	55	48		

Ka see tabel ei pruugi olla perfektne, sest nagu näha Saksa seostest, on seos plaatkoormuse ja kergseadme vahel seotud ka pinnase/materjali omadustega ja ei ole ühene. Seega, peaks lähiaegadel täpsustama ja erinevate seadmete võrdlustes võib leida parema seose, kuid kusagilt tuleks alustada.

Eesti dokumendis „Muldkoha pinnaste tihendamise ja tiheduse kontrolli juhised (Maanteeameti peadirektori käskkiri nr.264, 29.12.2006)“ tuleb kustutada punktid 2.10.2 kuni 2.10.4 kogu ulatuses. Ettepanek selles osas on edastatud TRAMile ekspertarvamusega 16.09.2021.a.

8 ETTEPANEKUD JA HÜPOTEESID II ETAPI LÄBI VIIMISEKS

Töö teise etapi läbiviimisel lähtutakse Tehnilise kirjelduse p.3.2, mille teaduslikuks uurimiseks on püstitatud allolevad hüpoteesid (I etapi tulemuste alusel), mida on täpsustatud vastavate ettepanekutega otsides vastuseid tuginedes I etapis kogutud andmestikule.

8.1 KATALOOGIKATENDID JA NENDE ARVUTUSPÕHIMÕTETE VALIK

Hüpotees 1: Kõige lähedasemad Eestis kasutavale teede projekteerimisele on Soome ja eriti Venemaa normistik ja nii on nad ilmselt sobivaimad Eesti tulevaseks projekteerimise ja arvutamise baasaluseks, sest need arvestavad nii Eesti eripärade kui ka EL seadusandlusega, samas säilitades võimalusel järjepidevuse (võimalusel võrreldavuse) seni kasutatavaga katendiga. Venemaa iseenesest mõistevana, kuna Eesti normistik on algselt olnud Venemaa 1983.a. normistiku tõlge, mida on aastate jooksul muudetud. Muudatused on olnud segased ja vasturääkivad ning 2017 aasta Elastsete katendite projekterimise juhises ei ole säilinud enam Venemaa juhise struktuuri ja osaliselt on moondunud sealne sisu. Soome normistik on kõige lähedasem Venemaa normistikule ja sellel on ilmselt ajaloolised põhjused. Soome iseseisvuse algaastatel moodustas insenerkonna tsaari Venemaal väljaõppe saanud insenerid.

Ettepanek:

Teise etapis analüüsitakse detailselt Venemaa ja Soome kataloogikatendite koostamise põhimõtteid ja võrreldakse nende lahendeid Eesti TPN alusel projekteeritud katendiga.

Lisaks võrreldakse Venemaa ja Rootsi analüütilisi lahendeid.

8.2 KVALITEDI KONTROLLI PÕHIMÕTTED

Hüpotees 2: Tulevase katendiarvutuse alusel ehitatavate tee konstruktsioonide kvaliteedikontrolliks sobivad kõige enam Soome ja Venemaa kvaliteedikontrollimeetmed.

Hüpotees 3: Soome ja Venemaa kvaliteedikontrollimeetmed saab viia kooskõlla EVS 16907.

Ettepanekud:

Analüüsitakse EVS 16907 valguses erinevaid aluse, aluse erinevate kihtide ja katendi ehitusaegse ning järgse kontrolli rakendamise võimalusi. Tähelepanu pööratakse katsemeetodite viimisele vastavusse EVS põhimõtetega.

Analüüstitakse katsetihendamise või katsetööga seotud aspekte erilahenduste kasutamisel tee projekteerimisel. Määratletakse katsetöö vajalik sisu ja mastaap, katsetöö ajal kontrollitavad parameetrid ja kontrolli meetodid. Täpsustatakse katsetihendamise aruande sisu.

Võrreldakse ette pandud põhimõtteid Venemaa ja Soome ning erinevate Euroopa riikides rakendatavate põhimõtetega.

8.3 KONTROLLI KATSED JA MEETODID

Hüpotees 4: Erinevad katendi kihtide elastsusmooduli mõõtmise metoodikad ei anna võrreldavaid tulemusi. Tuleb otsustada või valida missuguse metoodikaga hinnata erilahenduste vastavust projekteeritud elastsusmoodulile

Ettepanekud:

Analüüsitakse erinevate elastsusmooduli mõõtmise metoodikaid katseplaadi suuruse ja katsel rakendatava pinge valguses. Tehase ettepanek kontrollkatsete tegemiseks erinevatel katendi ja aluse kihtidel arvestades erinevaid koormuseid (koormus ratta alla asfaldi pinnal, koormuse jaotumine asfaldi ja killustiku lasutel kihtidel jne.).

Analüüsitakse Troxler-seadme kasutamise võimalusi tiheduse/mahukaalu ja niiskuse mõõtmiseks tööde erinevatel etappidel.

8.4 KATENDI ARVUTAMISE PROGRAMMID JA SEOS KONTROLLI MEETODITEGA

Hüpotees 5: Erinevate analoogseid tulemusi andvate katendiarvutusprogrammide kasutusele võtt sõltub otseselt välja pakutud ja valitud Eesti teede projekteerimise uutest baasalustest.

Hüpotees 6: Erinevate katendiarvutusprogrammide kasutusele võtmine tuleb analüüsida koos tüüp ja kataloogilahenduste kasutuselevõtmise võimalustega (tervikliku lahendusena).

Hüpotees 7: Katendi ja muldkeha ehitamise kvaliteedi kontrolli katsed jagunevad püsi- ja olekuomaduste kontrolli katseteks ja neid saab rakendada vastavalt otstarbele, katse tehnilistele võimalustele ja EVS 16907 seeria juhiste.

Hüpotees 8: Kontrollmeetodid ei saa sõltuda kasutatud katendi arvutamise programmist. Võrdlemiseks kasutatavad nn. eesmärkväärtused tuleb põhjendada, arvestades rattakoormuse jaotumist katendi ja muldkeha kihtidel, ning katsete koormusrežiim ja katseplaatide suurus tuleb vastavalt korrigeerida. Tüüp-või kataloogilahendusi kontrollitakse materjalide püsiomaduste vastavuse ja tiheduse kaudu. Katendi ja muldkeha universaalkontrollimeetodit ei ole ja ei saa EVS 16907 valguses määratlada.