



MAANTEEAMET



TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

Elastsete teekatendite arvutusmetoodika arendamine

Teadus- ja arendustöö



MA 2016-45

Töö on koostatud Maanteeameti teede arengu osakonna tellimusel

Tallinn
2016

Projektijuht:
Ain Kendra

Töös osalesid:
Sven Sillamäe (MSc, TKTK)
Andrus Aavik (PhD, TTÜ)
Harri Rõuk (MSc, TKTK)
Kaivo Jürgenson (TKTK)
Rasmus Renter (TTÜ)
Ott Ojapõld (TTÜ)
Artjom Pożarski (TTÜ)

Tänu:

Taavi Tõnts (Maanteeamet)
Tomas Winnerholt (Trafikverket)
Tom Casey, Sean Cassidy, Edward Winterlich (Transport Infrastructure Ireland)
Rita Kleiziene ja Audrius Vaitkus (Vilniuse Tehnikaülikool)

© Maanteeamet, 2016

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

SISUKORD

1	Tänane olukord	5
1.1	Kehtiv juhised ja selle muudatused.....	5
1.2	Probleemid katendi arvutuses.....	5
1.3	KAP rakendusega seonduvad probleemid.....	10
2	KAP täiendused	12
2.1	Uued materjalid	12
2.2	Korrigeeritud elastsusmoodulid	13
2.3	Täiendavad võimalused KAP abitabelites.....	13
3	Teiste riikide süsteemide ülevaade	15
3.1	Skandinaavia	15
3.2	Endine Nõukogude Liit	16
3.3	Lahendused väljaspool mandri-Euroopat.....	16
3.4	Katendi niiskusrežiimi tagamine	17
3.5	Katendi tööea pikendamine	18
3.6	Järeldused	19
4	Võrdlus Ramboll 2011 tööga (2011-18).....	21
4.1	Võrdlusbaas.....	21
4.2	Varutegurite korrektuur vastavalt Rothenburgi soovitusel.....	21
4.3	Kandevõime võrdlus	23
4.4	Konstruktiooni paksuse võrdlus	24
4.5	Hinnavõrdlus	24
4.6	Põhimõttelised ebatäpsused Ramboll 2011 töös	26
4.7	Teekonstruktsiooni elutsükli hindamine	27
5	Arendusettepanekud ja strateegia	28
5.1	Lühike perspektiiv. Tegevused ja teemad sõltumatult edasise suunast.....	28
5.2	Pikem perspektiiv	29
5.3	Ettepanekud projekteerimismäärade korrigeerimiseks.....	31
6	KAP parandused ja arendusettepanekud	34
6.1	KAP muudatused ja täiendused.....	35
6.2	Muudatuste mõju hindamine	37
7	Täiendusettepanekud	44
7.1	Erinevad aspektid projekteerimismäärades	44
7.2	Varutegurite süsteemne täiendamine	53
7.3	Materjalide elastsusmoodulite korrektuur	53
7.4	Järjestikuste kihtide elastsusmoodulite suhtarvu kontroll.....	57
7.5	Teeregistri andmete kasutamine tee remondi projekteerimisel.....	58
8	KASUTATUD ALLIKAD	59

SISSEJUHATUS

Eestis kasutatav elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52 põhineb NSVL 1983.aasta juhendil VSN 46-83, mistõttu on süsteemil mõningaid puudusi. Käesolevas töös püütakse neid ka kirjeldada. Maailmas kasutatakse vägagi erinevaid süsteeme, kuid meie tingimustele ei pruugi kõik sobida. Seetõttu on vajalik nii korrigeerida olemasolevat süsteemi parandades viimase viie aasta jooksul KAP kasutuses ilmnunud vigu ja korrigeerides mittevastavusi ning samal ajal uurida detailsemalt naabrite kogemusi ja analüüsida võimalusi kaasaegsema süsteemi adapteerimiseks Eesti tingimustesse.

Käesolevas töös on lisaks olemasoleva juhendite süsteemi analüüsile ja eriti elastsete katendite projekteerimiseks kasutatava programmi KAP täiendamisele, tehtud olulisi ettepanekuid nii projekteerimisharjumiste korrigeerimiseks kui ka süsteemi arendamiseks lähiaastatel.

Töös kasutatud olulisemad lühendid:

2001-52	-	kehtiv katendite projekteerimise juhend
VSN	-	VSN 46-83, NL elastsete katendite projekteerimisjuhend (1983)
ODN	-	ODN 218.046-01 – Vene Föderatsiooni juhend (2001)
MODN	-	MODN 2-20014 – SRÜ juhend (2001)
TKP	-	TKP 45-3.03-112-2008 – Valgevene juhend (2008)
STB	-	Valgevene standard
KAP	-	Excel rakendus mis realiseerib 2001-52 juhendi arvutusalgoritmid
SNiP	-	SNiP 2.05.02-85 – VF teede projekteerimisjuhend (aktualiseeritud 2012)
FWD	-	Falling Weight Deflectometer – tee kandevõime mõõtesead
MMOPP	-	MMOPP2013 – Taani katendite dimensioneerimise tarkvara
PMS Objekt	-	Rootsi katendite dimensioneerimise tarkvara
AASHTO	-	American Association of State Highway and Transportation Officials
FHWA	-	Federal Highway Administration (USA)
LA	-	Los Angeles katse materjali purunemiskindluse määramiseks
KKL	-	kuormituskertaluku – normtelgede arv katendi tööea jooksul
SCI, BCI, BDI	-	FWD mõõtetulemustest arvutatud kihtide seisundiindeksid
HDM	-	Highway Development and Maintenance – tasuvusarvutuse tarkvara
WIM	-	Weight in Motion – liikuva transpordi kaalupunkt
TTÜ	-	Tallinna Tehnikaülikool
TKTK	-	Tallinna Kõrgem Tehnikakool

1 TÄNANE OLUKORD

1.1 Kehtiv juhised ja selle muudatused

Projekteerimisnormid tuginevad üldjoontes SNiP 1985 väljaandele, elastsete teekatendite projekteerimisjuhend 2001-52¹ on koostatud mõnevõrra adapteerituna VSN 46-83² baasil (edaspidi VSN; samal aastal võeti Venemaal kasutusele uuem juhised ODN 218.046-01³, edaspidi ODN). ODN derivaatide hulka võib lugeda nii MODN 2-2001⁴ mis kehtib SRÜ riikides ja on sisuline koopia ning Valgevene norm TKP 45-3.03-112-2008⁵, mis sisaldab mõningaid uuendusi. 2006 on juhendit 2001-52 täiendatud (korrigeeritud ja lisatud materjale ja tühistatud kulumisvaru). 2009 kahandati killustiku elastsusmoodulit, 2011 koostati katendite kontrollarvutuste teostamiseks rakendus KAP ning taastati kulumisvaru. 2014 otsustati tõsta katendi tööiga 15-lt 20-le aastale ja 2016 rakendati uued siirdetegurid.

1.2 Probleemid katendiarvutuses

Kuna juhend 2001-52 tugineb 1983. süsteemil, siis on sellele omased ka nõukogudeaegse süsteemi puudused, millest osa on kõrvaldatud või kahandatud Venemaal 2001 (uuendatud juhendi väljaandmisega), kuid mitte Eestis.

1.2.1 Professor Rothenburgi kommentaarid

1993 on Maailmapanga tellimisel (seoses Venemaa maanteede rekonstrueerimiseks kavandatud laenuprojekti ettevalmistusega) Vene normdokumente ja juhendeid uurinud Kanada Waterloo ülikooli (Ontario) professor Leo Rothenburg⁶ ning välja toonud alljärgnevad probleemid koos muudatusettepanekutega (järgnevalt käsitleme neid koos võrdluste ja järeldustega):

- VSN (ja 2001-52) koormusarvestuse aluseks on katendi tööea maksimaalne aastakeskmise koormussagedus enamkoormatud sõidurajale, taandatud 10-tonniste standardtelgedele. Katendi dimensioneerimisel väsimusele ei mõju maksimaalne, vaid summaarne korduvkoormuste arvestus (*seetõttu on ka 2001 rakendunud ODN ja selle derivaatide puhul koormusarvestus üle viidud kumulatiivsele ehk summaarsele, mõnevõrra on muudetud ka standardtelgedeks teisendamise algoritmi*). Arvestades normitekstis toodud koormusprognoosi põhimõtet (koormuse kasv 1,5% aastas), on Rothenburg esitanud üleminekuteguriks 15-nda aasta koormussageduselt kumulatiivsele koormusele 5000. *Samale järeldusele on sõltumatult jõudnud TTÜ asjatundjad (A.Olkaineneni magistritöö ning A.Kendra, A.Aaviku ja P.Talviste uurimistöö⁷)*.
- Projekteerides tee 10-tonnisele teljele vastavalt SNiP ja VSN reeglitele, on katendi tegelik ressurss (arvutatuna lääneriikide tarkvaraga) alla 30% arvutuslikust. Standard nõuab I ja II klassi teedel katendi projekteerimist üksikrattale (mitte paarisrattale) et vältida jääkdeformatsioonide kogunemist (*standardi tekstist otseselt sellist kohustust välja ei loe, Rothenburgi on konsulteerinud Vene praktikud ja tegemist on normis dokumenteerimata lahendusega*).
- Lubatud deformatsioonide ulatust, mis on juhendis määratletud läbi katendi minimaalselt vajaliku kandevõime (elastsusmooduli), tuleks muuta, leevendades nõudeid madala koormusega teedel ja tõstes nõudeid suurema koormusega teedel. *Analoogilisele*

¹ https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/projekteerimine/elastsete_teeakatendite_projekteerimise_juhend.pdf

² http://www.znaytovar.ru/gost/2/VSN_4683_Instrukciya_po_proekt.html

³ http://www.znaytovar.ru/gost/2/ODN_21804601_Proektirovanie_ne.html

⁴ <http://meganorm.ru/Index2/1/4294845/4294845908.htm>

⁵ http://www.npmod.ru/3/Perechen_1/tk303112.doc

⁶ Koopia L.Rothenburgi aruandest Maailmapangale (61 lk)

⁷ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/2001-52_pinnaste_nimetused_09102014.pdf

järeldusele jõuti ka Ramboll Eesti uuringus 2011-18⁸ (52-tonni uuring), võrreldes kehtivat reglementi Soomes sätestatud nõuetega (normkoormustel kuni 1000 normtelge enamkoormatud sõidurajale on Soome nõuded lähedased meil kehtivatega, kuid seal edasi kasvab vahe kiiresti). Vene uuemas süsteemis (ODN ja derivaadid) on püütud probleemi lahendada läbi varutegurite laiendatud käsitle ja lisatud „liiklusproгноosi ebatäpsuse parandusteguri“.

- Elastusmooduli (kandevõime) arvutuse algoritmi täpsus on võrdleval hinnangul ca 20%, kuid tulenevalt kandevõime ja korduvkoormuse vahelisest logaritmilisest seosest viib väike ebatäpsus deformatsiooni arvutuses suurte erisusteni lubatud koormustes.
- Asfaldisegude elastusmoodulid on liialt madalad, arvutustes võiks kasutada oluliselt suuremaid mooduli väärtusi. Samadele järeldustele on jõudnud ka TTÜ ja Teede Tehnokeskuse uurijad (Aavik, Rõuk, Kaal) võrreldes arvutuslikke elastusmooduleid FWD mõõtmistulemustega. Vene uuemates süsteemides (ODN ja derivaadid) kasutatakse suuremaid väärtusi.
- Asfaldi alakihis tõmbepingete arvutuse algoritm (nomogramm) on vigane ja sellest tuleks loobuda. Arvutuse eeldused kihtidevahelise nakke toime kohta on vastuolulised ja tänapäeval on käsitle oluliselt muudetud. VSN ja ka ODN ei arvesta võimalusega, et tõmbepingetele töötavaid kihte on rohkem (tõmbepingete vastuvõtmine jaguneb mitme kihi vahel). Samas on kihtidevahelise nakke käsitle ka uuemates süsteemides veidi erinev - seda on käsitletud Rootsi ja Taani süsteemide võrdluses Ida-Elise Lindset Trangen oma magistratöös NTNU (Norra Teaduse ja Tehnoloogia Ülikool, Trondheim) 2016⁹. Rootsi PMS Objekt arvestab kihtide kokkukleepumist ehk maksimaalset naket, Taani MMOPP eeldab piiratud naket – nakke ulatus sõltub rakenduvast jõust ning piirväärtuse ületamisel kihid libisevad. Ka vene uuemas skeemis on säilitatud samad nomogrammid, kuigi tõmbepingete arvutusalgoritmi on sisse toodud ka parandustegur kumulatiivse korduvkoormuse mõju arvestamiseks.
- Elastse vajumi arvutusalgoritm tugineb paljukihilise süsteemi astmelisel taandamisel kahekihiliseks, mis on ebatäpne ja tuleks asendada kolmekihiliste süsteemide arvutusalgoritmidega. Ka Soomes kasutusel olev Odemarki valem (mis kaudselt, Odemark-Boussinesq' teooria järgi on aluseks ka VSN nomogrammidele - kuigi sellele otseselt ei viidata, esineb viiteid Vene teaduskirjanduses) käsitleb kahekihilise süsteemi arvutust kuid Soome süsteemis on see sisuliselt ainus arvutusalus ja seetõttu on nõutud kandevõime väärtused sätestatud oluliselt kõrgemad ilmselt sisaldades suuremat varutegurit.
- Sidumata kihtide elastusmooduli väärtused vajavad korrigeerimist et paremini arvestada kevadise sulamisperioodi ebasoodsaid tingimusi. Varasemas teede projekteerimismisnormi redaktsioonis (kuni 2012) on räägitud koormuse jagunemisest erinevate aastaaegade vahel, kuid seda ei ole arvestatud ei Vene ega ka Eesti juhendites. Nii Taani kui Rootsi süsteemides on materjalide ja pinnaste arvutusparameetrite muutust eri aastaaegadel arvestatud oluliselt paremini.
- Asfaldikihtide lubatud tõmbepingete väärtused tuleb üle vaadata ja seostada korduvkoormuse mõjuga. Seda on püütud teha Vene 2001 süsteemis (ODN ja selle derivaadid). Rothenburg soovib selles osas aluseks võtta analoogilise skeemi Jaapani empiirilise valemist mis käsitleb koormusarvestust 98 kN normtelje korral (USA ja Inglise süsteemide koormusarvestus tugineb 80 kN normtelgedel).

⁸ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/riigi_mnt_tugevdamise_maksumuse_hindamine_52t_ma_loplik.pdf

⁹ <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2399071>

- Rothenburg soovib kasutusele võtta USA Asfaldi Instituudi juhise „Thickness Design Manual MS-1“ analoogi (Thickness Design – Full-Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets).



Skeem 1. Paks asfaltkate - full-depth asphalt pavement

MS-1 tugineb nomogrammidel, koostatud 1969, AASHTO ja teiste testide tulemuste baasil ning selle hilisemad edasiarendused on tarkvaralise lahenduse SW-1 (2005, MS Access keskkonnas) ja täna USA-s kehtiv MEPDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide)¹⁰.



Link 1: MEPDG-Guide - USA katendi projekteerimisjuhend

- Rothenburg soovib tõsiselt kaaluda liivast alakihtidega konstruktsioonidest loobumist piirkondades, kus on potentsiaalsed külmakerke probleemid ja pehmed aluspinnased. Põhjuseks tuuakse asjaolu, et ka Vene reeglite kohaselt korrektselt valitud liivad ei taga piisavat vee väljaviimist konstruktsioonist ja materjali külmakindlust. Vee konstruktsioonist väljaviimiseks tuleb siiski kasutada purustatud pindadega kivimaterjali (killustikku).
- Asfaldi ja sidumata segu projekteeritud paksused ei ole piisavad, et kaitsta konstruktsiooni alakihte ja aluspinnast koormuste mõju eest kevadisel sulamisperioodil. Võrdsele koormusele (7 miljonit normtelge) dimensioneeritud katendis on Vene skeemi järgi asfaltkatte paksus 13 cm, kui Jaapani reeglite järgi nõutakse 26 cm. Võrreldes Kanada reeglitega on asfaldikihi paksus 6 cm väiksem.
- Rothenburg soovib kaaluda bituumeni valiku alusena viskoossust (viscosity grading) penetratsiooninäitaja asemel et vähendada riske madalal temperatuuril katendikihtide pragunemiseks. Teemat on põhjalikult käsitletud Maanteeameti tellimusel koostatud bituumeniuuringus (Sillamäe, Aavik, Kontson)¹¹

Muuhulgas viitab Rothenburg praktikale mille kohaselt kõrgema klassi teedel kasutatakse koormusena üksikrataid – võib oletada, et sel teel saab kompenseerida nii üksikrataste (super-single) laiemat levikut kui ka suurenenud rehvisurvet, mida juhendi kohaselt korrektselt ja otseselt arvesse võtta ei saa.

1.2.2 Rehvisurve

Lisaks Rothenburgi analüüsis toodule mõjutab katendiarvutust oluliselt ka koormuse iseloom. Vene süsteemid (nii VSN kui ka ODN ja uuemad) eeldavad rehvisurvet 0,6 MPa kuigi tänapäeval raskesõidukitel kasutatakse valdavalt rehvisurvet vahemikus 0,8-1,0 MPa seda ka rehvitootjate soovitusel (levinud 0,85-0,9 MPa külmalt, tegelik rehvisurve liikluses ca 0,5 MPa suurem). Kuigi arvutusalgoritmid sisaldavad rehvirõhu, toob kehtiva juhendi valemitega rõhu tõstmine kaasa ka katendi kandevõime tõusu, mis viitab põhimõttelisele veale algoritmides (arvutustega kontrollimata hüpoteesid). Erinevates riikides kasutatakse normtelgede arvestuses erinevaid rehvirõhu väärtusi, millest tulenevalt ei ole ka normtelgede arvud võrreldavad isegi siis, kui normtelg on määratletud paarisrataste ja 10-tonnise teljekoormusega.

1.2.3 Rehvitüübid – super-single

¹⁰ <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/guide.htm>

¹¹ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/bituumeniuuring_2015.pdf

Viimase paari aastakümnega on kardinaalselt muutunud raskesõidukite struktuur, enamlevinud on seniste sooloveokite ja järelhaagiste asemel poolhaagisega autorongid, kus poolhaagiste valdavaks rehvitüübiks on kujunenud nn super-single – rehvid laiuselga 365...415 mm. Seejuures on täna säilitatud paarisrattad veoteljel, rehvitootjad pakuvad aga uut rehvitüüpi – extra-wide super-single, mille laius on 445-455 mm ja mis ongi mõeldud paarisrataste asendamiseks ning mille mõju katendile läheneb paarisratta mõjule. Probleemiks on osutunud lühikese vahemaaga korduvkoormus – tridem ehk kolmeteljelisel telikul järgnevad rattad jälg-jäljes 1,3-meetrise vahel ja nõrgemate katendite puhul ei jõua katend deformatsioonist taastuda enne järgmist koormamist, mistõttu tavaolukorras elastse deformatsiooni asemel moodustuvad jäävdeformatsioonid. Super-single osakaalu on püütud arvestada erinevatel viisidel, kuid enamlevinud on sõltuvalt teeliigil raskeliikluse esinemise protsendist täiendava nn super-single teguri lisamine.

1.2.4 Siirdetegur

Kui lisategureid ei osata kohe rakendada deformatsioonide ja pingete arvutamise algoritmides, püütakse nende mõju arvesse võtta läbi koormuse tingliku suurendamise. Seda meetodit esindavad nii erineva teeliigi puhul rakendatavad lisategurid (Taani, Rootsi) kui ka Valgevene (siirdeteguri suuremahuline suurendamine enamlevinud autorongide puhul arvutuslikule 10-tonnisele standardteljele, kuni tasemeni 7,0). ODN ja selle derivaatide puhul on mängu toodud ka raskemad normteljed (11,5 ja 13 tonni), mille puhul on arvutusalgoritme korrigeeritud nii läbi koormuse numbrite kui ka otseselt parandusteguritena pinge- või deformatsiooni arvutusreeglites.

Siirdeteguri leidmise lihtsamaks viisiks on tavapäraste kaalumistulemuste kasutamine – sel juhul on sisuliselt võimalik arvestada nii telgede vahekaugusi kui teljekoormusi. Praktikas piirduakse enamasti vaid teljekoormuste arvestamisega. Juba AASHTO katsetest pool sajandit tagasi välja selgitatud neljanda astme reegel – teljekoormuse mõju avaldub läbi mõõdetud teljekoormuse ja standardtelje koormuse suhte neljanda astme. Siiski tuleb märkida, et neljanda astme reegel kehtib asfaltkatetele. Austraalia uuringud näitavad, et betoonkatendi aga ka kruusateede puhul ei ole astendaja väärtus sama. Meil kehtiva juhendi järgi on astendajaks 4,4 seda sõltumata katendi tüübist.

Rootsis on seejuures eristatud ka teliku koormus, eeldades ilmselt et ühel telikul on teljed võrdselt koormatud. Taanis on, tõsi küll, eriveoste (täismassilt tavapärasest raskemate) mõju hindamiseks komplitseeritud süsteem, mis võtab lisaks arvesse nii rehvirõhu, telgede vahekaugused, rehvitüüpi (paaris/üksik) ja rehvilaiuse ning sellel tuginevalt on korrigeeritud ka Eestis kasutatavaid siirdetegureid, taandades tüüpsõidukite koormused normteljele muuhulgas rehvirõhkude osas.

Kehtivad siirdetegurid (koostatud 2015, kehtestatud 2016) on koostatud tüüpsõidukite alusel, taandades sõidukite koormuskasutuse senikehtinud siirdetegurite tagasiarvutuse kaudu. Kasutades Adavere ja Luige kaalupunktide uuemaid mõõtmistulemusi (Artjom Požarski magistratöö) 2015 ja 2016 aasta suvest, leiab kinnitust autorongidele valitud keskmine siirdetegur kuid veoautode ja autobusside osas on olukord segasem, seda tõenäoliselt seetõttu, et voolikloendur ja kaalupunkt käsitlevad keskmise pikkusklassi sõidukeid (veoautod ja autobussid, 6-12 meetrit) erinevalt – kaalupunkt liigitab ca 50% voolikloenduses sõiduautoks/pakiautoks hinnatud sõidukitest veoautode ja autobusside klassi. Lisaks on suur osa autobussidest pikemad kui 12 meetrit kuigi ka seda on raske tuvastada voolikloenduse käigus kuna teljevahe võib olla väiksem sõiduki tagaosa ülendi tõttu.

1.2.5 Standardtelje koormus.

USA, Austraalia ja Ühendkuningriigid aga ilmselt ka paljud teised, kelle katendiarvutuse alused angloameerika päritoluga, kasutavad tänaseni 8-tonnist standardtelge ka juhul, kui tegelikud lubatud koormused sellest oluliselt suuremad on. Üldjuhul on 8- ja 10-tonniste telgede erisus fikseeritud ja üleminekuteguriks on 0,41 eeldusel, et erinevate teljekoormuste normtelgedeks taandamise valem astendajaks on valitud 4,0.

Vene koolkonnas on alates 2001 kasutusele võetud raskema telje kontseptsioon, mille kohaselt lisaks senisele 10-tonnisele normteljele on toodud sisse 11,5 (kõigile püsikatenditele) ja 13-tonnised (rahvusvahelistele raskeveotrassidele) teljed.

1.2.6 Varutegurite käsitus

2001-52 puhul on varutegurid võetud otseselt VSN-ist. VSN esitab tugevusteguri ja töökindlusteguri seose graafikuna (sellele graafikule on juhendis 2001-52 antud matemaatiline vaste). Tegurid kehtivad VSN tabeli 3.1 järgi vastavalt (juhendis 2001-52 tabel 6.1):

Katendi liik	Tee klass (VSN)	Tee klass (2001-52)	Töökindlus	Tugevus
Püskatend	I, II, IIIp, Is III, IVn, IIs	Kiirtee, I, II III	0,95 0,90	1,0 0,94
Kergkatend	III, IV, IVn, IIs	III, IV, V	0,85	0,90
Siirdekate	IV, V, IIs, IIIs	IV, V	0,60	0,63
Lihtkatend		V, klassivälised teed	0,60	0,63

Tabel 1. Varutegurid VSN ja 2001-52 juhendites

Selle järgi ei ole ette nähtud kerg- ja siirdekate ehitamine kõrgema klassi teele ja vastupidi, püskate ehitamine madalama klassi teele.

ODN toob sisse komplitseeritud varutegurite süsteemi milles on uus purunemise piirtegur püskatendil 0,05 või 0,10, kergkatendil 0,15 ja siirdekateil 0,40. Töökindlustegur (kokkuvõttes, vahemikus 0,98...0,7) on esitatud valikutena ka tee klassi siseselt ning igale töökindlusteguri väärtusele konkreetsele tee klassil vastavad tugevustegurid, erinevad elastsele vajumile (vahemikus 1,5...0,9) või nihke- ja tõmbepingetele (vahemikus 1,1...0,8). Lisatud on koormusprognosi ebatäpsuse tegur vahemikus 1,49...1,04 vastavalt igale katendiliigile ja tee klassile. Püskate on ette nähtud I...IV klassile, kergkate II...V ja siirdekate III...V klassile.

Valgevene juhendis TKP 45-3.03-112-2008 mis järgib üsna täpselt ODN sisu, on lisaks eristatud varutegurid sõltuvalt normatiivsest teljekoormusest (10 t üldjuhul, 11,5 t püskatendile ja 13 t intensiivse transiitliiklusega rahvusvahelistele magistraalidele) ja toodud sisse katendi arvutuslik tööiga sõltuvuses katendi liigist, tee klassist (lisandunud on ka VI klass) ja valitud töökindlustegurist (vahemikus 17...2 aastat).

Säilitades üldiselt olemasoleva jaotuse juhendis 2001-52 on otstarbekas tuua sisse analoogiliselt ODN-ga töökindlustegur 0,98 ja diferentseerida tegurid täpselt vastavuses tee klassile. Varuteguri käsitus Eesti riigiteedel soovitud 20-aastase tööeaga seondult vajaks täpsemat lahtimõtestamist eelkõige seetõttu, et 20-aastane tööiga on ette nähtud püskatendile, aga ka seetõttu, et asfaltkatend on kasutusel kõigi teeklasside korral (vastavalt projekteerimismäärade tabeli 4.5 järgi I...V klassi, uusehitistel tegelikkuses ka VI klassi teedel), kergkatend projekteerimismäärade järgi V-VI klassi teedel.

1.2.7 Minimaalselt nõutav kandevõime väärtus

Projekteerimismäärade tabelis 4.10 on kahjuks mittevastavused. Mitte käsitledes vormistusviga vaatleme vaid kandevõime (elastsusmooduli) väärtusi ja võrdleme neid analoogidega.

Tabelis VSN osas on toodud sulgudes () grupi B teljekoormuse (6 tonni) alusel arvestatud kandevõimenäitajad. Juhendi 2001-52 osas on kantsulgudes [] esitatud tabelis esinevad väärtused. Probleem seisneb vastuolus – normi P 4.5 (7) sätestab: Katendi arvutusel tuleb lähtuda eeldatavast koormussagedusest. Vaatamata arvutustulemustele ei tohi katendi üldine elastsusmoodul 100 kN normkoormuse korral olla väiksem tabelis 4.10 toodust. Juhendi valemite 13.4 ja 13.5 järgi tuleb aga tabelist saadud väärtus korrutada ka tugevusteguriga K_t ning võrrelda arvutatuga juba korrutist. Oleme seisukohal, et nimetatud valemist 13.5 tuleb tegur K_t välja võtta (koormuse järgi arvutatud kandevõime väärtust korrutada jätkuvalt ka tugevusteguriga, kuid mitte tabelist võetud miinimumväärtust). See tähendaks aga ka kerg- ja siirdekatele esitatud miinimumnõuete ülevaatamist koos koormussageduse arvutusega eeldatava katendi tööea jooksul.

	Juhend 2001-52			Juhend VSN 46-83			Juhend ODN 218 046-01			TKP (Valgevene)		
	Püsi	Kerg	Siirde	Püsi	Kerg	Siirde	Püsi	Kerg	Siirde	Püsi	Kerg	Siirde
KT	260											
I	240	200		230			230			230		

II	220	180		220	180		220	210		220		
III	180	160		180	100		200	200		200	180	
IV	180	140	130 [70]		(125)	(65)		150	100	180	150	100
V	180	130 [120]	130 [70]		(100)	(55)		100	50		110	90
VI	180	130 [120]	130 [70]									70

Tabel 2. Minimaalselt vajaliku kandevõime võrdlus erinevates normdokumentides

Võrreldes kehtivaid nõudeid VSN ja ODN nõuetega, on tõenäoliselt otstarbekas tõsta III klassi teede miinimumnõue 200 MPa tasemele.

Normides ja juhendis on kergkatendile esitatud väärtused alates II klassist, kuid samas on normi tabelis 4.5 esitatud kergkatendi kihimaterjalid ainult V ja VI klassile. Järelikult tuleb kaaluda ka nõuete eemaldamist kergkattele I...IV klassil, samuti ka siirdekattete IV klassil (või jätta nõuded kehtima ainult IV klassi osas, viies need vastavusse analoogidega – kergkattel 150 MPa).

Pinnatud freespuru loetakse siirdekattteks nagu ka pinnatud kruuskatet. Paraku puuduvad freespurule arvutusparameetrid. VSN seda ei käsitle, küll aga käsitleb Valgevene TKP asfaldi freespuru sõltuvalt terastikulisest koostisest (norm STB 1705) elastsusmooduliga 220 või 240 MPa sisehõordenurgaga vastavalt 44 või 46 kraadi ja nidususega 0,05. Võimalik on freespuru käsitleda ka võrdselt killustikuga, kuigi sel juhul peaks freespuru terastikuline koostis vastama killustiku nõuetele, tavapärast sõelanalüüsi freespurule aga teha ei saa ilma sideaine eemaldamiseta – seetõttu on tõenäoliselt mõistlik esitada nõudeid ainult maksimaalsele terasuurusele. Et freespuru võib, sõltuvalt sideainesisaldusest, tihendatud kujul käituda ka seotud kihina, on otstarbekas teostada labori- ja välikatsed arvutusparameetrite täpsustamiseks.

1.2.8 Katendikihtide minimaalselt lubatud paksused

Projekteerimismisnormide tabelis 4.11 on esitatud lubatud paksused liialt detailselt ning Maanteeameti peadirektori käskkirjaga kinnitatud katendikihtide ehitamise juhendites toodud paksused on vastuolus projekteerimismisnormides sätestatuga. Juhendis 2001-52 on seni kasutusel üheselt projekteerimismisnormidega sama tabel.

Normis ja juhendis on esitatud nõutud miinimumpaksused asfaltbetoonidele astmena (suurem väärtus I-II klassi teedel, väiksem madalama klassi teedel) kuid asfaltkatete ehitamise juhises on need seotud ainult terasuurusega. Lisaks on konkreetsete terasuuruste korral normitabelis näidatud väärtus vastuolus juhises sätestatuga. Ilmselt on otstarbekas korrigeerida nii normi kui juhendit, ehitusjuhises sätestatud väärtused on paremini põhjendatud. Võimalik lahend on ka tabeli väljaviimine mõlemast nii normist kui juhendist sest teema on piisavalt reguleeritud juhiseiga.

1.3 KAP rakendusega seonduvad probleemid

1.3.1 Otsesed vead

- Kõige olulisem viga KAP versioonis 1.0.01 on **andmekaitstes**. Programmi tööleht tuleb kaitsta kas tervikuna või töötsooni osa, otse lehelt teostatavate muudatuste vastu. Senikasutatava versiooniga on sel viisil võimalik muuta materjalide nimetusi ja omadusi ja seejärel muudetud näitajatega arvutada viisil, mida suudab avastada vaid kogenud kasutaja, kes teab peast süsteemis kasutatavaid materjale ja nende omadusi. Näiteks, on võimalik tõsta oluliselt materjali elastsusmoodulit et saavutada konstruktsiooni nõutud kandevõimet. Uute materjalide defineerimiseks on süsteemis olemas piisavad võimalused, nende kasutamisel markeeritakse uued kasutatud materjalid vastava tärniga. Projekti seletuskirjas tuleb aga iga selline juhtum lahti seletada ja põhjendada.
- Tehniline viga või pigem **dokumenteermata omadus** seisneb arvutatud tugevusvaru protsendi algoritmis, kus on arvutatud varule lisatud dokumenteermata väärtus **2%**. Selle tulemusena ei ole omavahel vastavuses arvutatud elastsusmooduli või pinge ja maksimaalselt lubatud väärtuse kaudu arvutatud varu. 2% konstant on lisatud seetõttu, et tellija oli esitanud nõude KAP arvutatud tugevusvaru üheseks vastavuseks programmi koostamisel aluseks olnud KRAADE (KREDO tõlge) tulemustega.

- Mingil põhjusel võib sattuda katendiliik vastuollu katendi ülakihi määratlusega. Seega tuleb lisada automaatne kontroll, kui ülakiht on asfalt, peab olema tegemist püsikatendiga, kui ülakihis on MSE või stabiliseeritud segu, kergkattega ja ülejäänud juhtudel siirdekatttega.
- Kuna KAP on koostatud varasema Exceli versiooniga, siis esineb probleeme uuema Exceli kasutamisel kui automaatselt rakendub „ühilduvusrežiim“.

1.3.2 Katendiarvutuse alused – nomogrammid ja valemid

Kuna senised rakendused on pigem nomogrammide kesksed ja arvutusvalemid ei kata kõiki arvutusi, lisaks erinevad nomogrammidega saadud tulemused kohati oluliselt esitatud valemite tulemustest, siis on ka KAP jaoks valitud arvutusmeetod digitaliseeritud nomogrammide kasutamisega, interpoleerides iga konkreetse juhtumi korral vajalikud väärtused risttabelitest. Seejuures on nomogrammidel määramis- ja muutumiskiirkonnad, kuid et need on täpsemalt piiritlemata (nomogrammi põhiosa pidevjoontega, äärealad katkendjoontega ning teljelähedane piirkond määratlemata) siis ilmselt nii mõnigi anomaalia seondub valitud lähenemisega (käsitsi nomogrammide kasutamisel on inseneri otsustada, millist skeemi kasutada ja kus muuta katendi konstruktsiooni seetõttu, et valitud konstruktsioon ei lange nomogrammide tööpiirkonda). Samas, matemaatiliste algoritmide korrigeerimiseks ei ole piisavaid aluseid.

Järgnevalt väike valik probleemsematest teemadest KAP kontekstis:

- 1) **Asfaltkihtide käsitus ühtsena** – VSN juhises ei ole määratud kas kihid arvutustes ühendatakse üheks või käsitletakse neid eraldi (näidisarvutustes on küll kasutatud ühendatud lähenemist kuid seda ei ole juhendis kohustuslikuna dokumenteeritud). Kuna me teame et eraldi arvutades on arvutuslik vajum suurem (katendi elastsusmoodul ehk kandevõime natuke väiksem) ja võrreldes teiste riikidega on katendid siiski aladimensioneeritud, siis oleme valinud lahus käsitluse. Soome Odemarki valemi kasutusreeglites on asfaldikihid käsitletud ühtsena eeldusel, et kihi bituumenisisaldus on vähemalt 3,8% ja tegemist on tehases segatud kuumade või soojade segudega.
- 2) **Lubatud suurim kihipaksus sidumata kihtidel** – VSN juhises ei ole arvutuslikule kihipaksusele esitatud muud piirangut, kui vaid maksimaalne - kiht paksusega vähemalt 75 cm loetakse lõpmatu paksusega aluspinnaseks ning arvutustega sügavamale ei minda. Soome juhises on analoogilisel juhul piirväärtus viidud 100 cm-ni. Samas on Soome juhises selgelt määratletud, et sidumata kihtide paksused on vahemikus 20...30 cm ja paksema kihi kasutamisel defineeritakse sama materjal mitmes kihis. Sellisel lähenemisel on ka oma loogika – tegemist on elastse poolruumi arvutustega ja samasse suurusjärku jääb ka kontaktjälje diameeter, paksemate kihtide puhul ilmselt ei kehti enam teoorias Odemark-Boussinesq valemi rakendamiseks valitud eeldused. Kuna valitud on nomogrammide lähend ja juhendis esitatud nomogramme ei tohi muuta, siis puudub võimalus korrektseks lahenduseks. Otseselt Odemarki valemit kasutades ja rakendades Soome juhise piirangut, sellist probleemi ei esine. KAP rakenduse korrigeerimine võib eeldada nomogrammide muutmist, milleks puuduvad alused. Tõenäoliselt tuleks arvutusloogikat korrigeerida ja võimaldada sama mooduliga kihtide järjestikust paigutust.
- 3) **Materjali kihipaksused, mis lähenevad maksimaalselt lubatavale** – loogika järgi peaks kandevõime arvutatava kihi peal, kihi paksuse lähenemisel 75 cm-le ka maksimaalselt lähenema materjali elastsusmooduli väärtusele, seda suurst ületades edasi mitte tõusma. KAP algoritmides sellekohane piirang puudub ja arvutatud kandevõime väärtus küll läheneb moodulile kuid mitte piisavalt et tagada sujuvat üleminekut aluspinnaseks. 75 cm piiri ületades aga tõuseb arvutuslik kandevõime kontrollimatult ebaloogilistesse kõrgustesse. Lisaks eelmisele punktile tuleb rakendada ka kihipaksuse piirangut.

- 4) **Nihkepingete arvutus** aluspinnastes ja liivades, kui aluspinnas on olulise savisisaldusega – tegemist on algoritmiliste probleemidega, mistõttu konstruktsioonil on olemas optimum, kuid teatud olukordades ka see arvestuslik optimum ei taga nõutud varutegurit.
- 5) **Staatika** – VSN sisaldab staatilise koormuse arvutuse algoritmid, sama on ka ODN puhul – juhendi 2001-52 koostamisel on staatilise kontrolli osa välja jäetud. Üldjuhul maanteede puhul ei ole see osutunud probleemiks, küll aga on teema linnatingimustes aktuaalne aga ka stopppjoonega ristmikualadel asulavälistel teedel (kolme- ja neljakülgsed reguleerimata või foorreguleerimisega ristmikud ja ka ringristmikud). Normidesse on sisse viidud täiendused, mis tuginevad Soome normides sätestatud nõuetele staatilise koormusega aladel tugevama konstruktsiooni kasutamiseks. Paraku ei ole neid nõudeid tänase reglemendi raames võimalik otseselt taandada arvutuslikeks (on võimalik kehtestada näiteks suurema kandevõime nõue, arvutuslikule lisaks kokkuleppeline väärtus mis võiks olla 20 MPa), kuid tegelikult kandevõime tõstmiseks ettevõetavad meetmed ei pruugi kajastuda katendiarvutuses – näiteks suurema terasuuruse valik või polümeerbituumeni kasutus, kuna materjalide arvutusparameetrid ei sõltu neist näitajatest. Lisaks on vajadus staatilise kontrolli arvestamiseks raskeliikluse parklates ja kaubaterminalides ning erikoormusega aladel tööstuses (näiteks, puidutöötlemine või kaevandus) või laomajanduses (sh sadamakaid) kus piiratud alal liiklevad oluliselt suurema teljekoormusega sõidukid. VSN algoritmidega suletud territooriumite probleeme ei saa lahendada kuna koormused on mittestandardised ja seetõttu võivad ka pakutavad lahendused väljuda etteantud võimalustest (ja KAP ulatusest). Võrreldes teiste riikide süsteemide, siis Rootsi arvestab staatilise koormuse vajumit ning seetõttu peaks PMS Objekt arvutused tavakoormuste puhul olema adekvaatsed, erikoormusi paraku see arvestada ei suuda. Erikoormuste taandamine tavakoormusteks dünaamilise korduvkoormuse mõistes on võimalik läbi erijuhtumitel arvutatavate siirdetegurite väärtuste, kuid see ei ole lahenduseks staatilise koormuse suhtes.

1.3.3 Katendi konstrueerimise reeglid

Kihtide elastsusmoodulite kasvav järjestus – reegli eiramine eriti rekonstrueerimisel on probleemiks kõigi lahenduste puhul, uusehitisel reeglina seda ei juhtu, kuigi tehnoloogiliste kihtide osas on see võimalik. Tuleb analüüsida ja kirjeldada erinevaid lahendusvõimalusi, sealhulgas õhukese nõrgema kihi lugemist tehnoloogiliseks kihiks, paksema kihi puhul aluspinnaseks ka juhul kui tegemist ei ole vähemalt 75 cm kihiga, kihtide kaalutud keskmiste arvutusparameetrite kasutamist.

Etteantud piiridest kõrgem veetase mida tehniliste võtetega langetada ei õnnestu ja teekonstruktsiooni tõsta pole võimalik piirneva maakasutuse tõttu – eeldab, et kogu töökihi ulatuses kasutatakse külmakindlaid materjale. Paraku arvutustes selle mõju kajastada ei õnnestu, probleem on enamjaolt linnatänavatel.

2 KAP TÄIENDUSED

2.1 Uued materjalid

2.1.1 Mõõdukalt ühtlaseteraliseid liivad

VSN ja juhend 2001-52 sätestasid, et liivad, mille lõimisetegur on alla 3, tuleb lugeda ühtlaseteraliseks ja nendele rakendada vastavat elastsusmoodulit 75 MPa. Ka Vene juhistes juhatakse tähelepanu sellele, et tegelikult on kriitilisemaks lõimiseteguri väärtus 2 sest sellest väiksema puhul on ette nähtud paksema eristava kihi kasutamine mis peaks takistama kihtide segunemist. Samas on EVS 1488 reeglite järgi ühtlaseteralisuse piirväärtuseks 6. Kasutades jätkuvalt Vene süsteemi, ei saa juhendada EVS piirväärtusest. Eesti liivakarjäärade materjalid võib lihtsustatult jagada kaheks – hästidreenivad ja halvastidreenivad liivad. Üldkoguste järgi on

halvastidreenivaid rohkem ning hästidreenivad on reeglina ühtlaseteralised. Seoses filtratsiooninõuete tähtsustamisega on selgunud, et sobivaid hea kandevõime ja filtratsiooniga materjale Eestis napib ning seetõttu tuleb valikut veidi avardada.

TTÜ teadustöös 2014 aastal on analüüsitud ühtlaseteraliste materjalide omadusi ja jõutud järeldusele, et liivadel, mille löimisetegur on vahemikus 2...3 on võimalik kasutada ca 10% võrra vähendatud elastsusmoodulit selle asemel, et taandada kõik ühtlaseteralised liivad 75 MPa tasemele.

2.1.2 Kruusa-liiva-killustiku segud

VSN 46-83 sisaldab nomogrammi (joonis 9), mille alusel on võimalik määrata elastsusmoodul materjalile, mis sisaldab üle 5 mm osiseid üle 20% ja kuni 0,63 mm osiseid kuni 40% ning peenosise plastsus ei ole üle 7 (Vassiljevi järgi). Materjali elastsusmoodul on vahemikus 60 MPa kuni 200 MPa (200 on võimalik vaid juhul, kui peenosis ei ole plastne). Projektis ei ole üldjuhul võimalik sellise materjali kasutust ette näha, küll aga on võimalik projektis ettenähtud materjali asendada nimetatud seguga, kui vajalikud parameetrid on täidetud. Siiski, tuleb katsetada killustiku ja liiva segu (mõõta kandevõimet plaatkoormuskatsega) et kontrollida, milline võiks olla selle segu arvutuslik elastsusmoodul. Seni oleme kasutanud kruusliiva moodulit 180 MPa või kruuspinnase moodulit 150 MPa, nomogramm annab võimaluse mooduli väärtuse 200 MPa kasutamiseks.

2.2 Korrigeeritud elastsusmoodulid

2.2.1 Kompleksstabiliseerimine (KS32)

Teel segatud KS32 elastsusmoodul on 2001-52 järgi 600 MPa, segistis segatul 700 MPa ning uutest materjalidest segistis segatud 900 MPa. VSN järgi peaks sellise materjali elastsusmoodul sõltuma lähtematerjali kvaliteedist, I tugevusklassi korral 950 MPa, II tugevusklassil 650 MPa ja III tugevusklassil 450 MPa. ODN pakub analoogiliselt materjali elastsusmooduliks kattekihiks 950 MPa ja aluses 700 MPa. KS32 koostamisel kasutatakse reeglina asfaldi freespuru kusjuures asfalt on tehtud I klassi kivimaterjalist, koos ca 50% uue killustikuga LA35. Lisaks võib võrrelda materjali ka Soome normide kohase stabiliseeritud seguga KOST mille normaalne moodul on 1250 MPa, nn lahja või paksu kihi korral (20...25 cm) on mooduliks 900 MPa.

Siit tulenevalt on tehtud ettepanek KS moodulite rakendamiseks alljärgnevalt:

- Freespurust, teel segamisega – 700 MPa (seni 600)
- Freespurust, segistis segamisega – 800 MPa (seni 700)
- Uutest materjalidest, segistis segamisega – 900 MPa (muutusteta)
- Uutest materjalidest, teel segamisega – 800 MPa (väärtus seni puudus)

2.2.2 Paekillustike eristamine

Seni kasutatakse fraktsioneeritud killustikaluste puhul sõltumata kivimaterjali tugevusnäitajatest elastsusmoodulit 280 MPa. Otstarbekas on eristada seejuures materjalid nende tugevusnäitajate alusel – LA<33 – 280 MPa; LA>33 – 240 MPa.

Tuleb kaaluda ka valdavalt tardkivikillustiku puhul lävendit LA<20 või 25 – tasemeks sobib vahemik 320 MPa. Paekillustikust segudel, mis sisaldavad mitteplastset nullfraktsiooni, võiks rakendada taset 200 MPa. Nn pika fraktsiooniga killustikusegude puhul, mis peenemat (alla 4 mm) fraktsiooni ei sisalda, võiks rakendada eeltoodud seost LA näitajaga. Ridakillustik on varasema määratluse järgi 250 MPa, kuid uues valguses tuleks pidada otstarbekaks peenosise sisalduse tõttu taset 200 MPa (vastavalt ka nomogrammile nr 9 VSN normis).

2.3 Täiendavad võimalused KAP abitabelites

2.3.1 Materjalide sõelkõvera analüüs ja nimetuse leidmine

Sõelkõvera analüüs on vajalik, et kontrollida materjali vastavust projektis ettenähtud näitajatele. Sõelkõvera järgi saame hinnata, kas on tegemist ühtlaseteralise materjaliga aga ka korrigeerida materjali terastikulist koostist segades erinevaid materjale eesmärgil saada etteantud nõuetele vastav segu.

Kuna kasutame kombineeritud süsteemi – materjali määratlused katendiarvutuseks tuginevad Vene skeemil, kuid üldjoontes kehtib EVS kohane liigitus, siis reaalselt Vene skeemi järgse nimetuse leidmiseks on tarvis vahepealsete sõeltega määratud jääke. Excel-rakendus võimaldab sisestada valitud sõelte jäägid ning interpoleerib kõigi vajalike sõelte jäägid kasutades interpoleerimise alusena sõelte diameetri logaritmilist skaalat. Kui materjali peenos on plastne, sisestatakse ka plastsusnäitaja (see on vajalik pinnaste ja segude liigitamisel).

Seega, annab sõelkõvera rakendus projekteerijale ja ehitajale info selle kohta, millised arvutuslikud tugevusnäitajad konkreetse materjalisegu puhul kehtivad.

Lisaks, kuna oluliselt jämedamaid osiseid sisaldavate segude puhul on võimalik välja arvutada parandustegur filtratsioonimoodulile sest me katsetame filtratsiooni vaid 0/4 fraktsioonile. Teguri väärtus on Vene segude juhise¹² (P.5.11.3) järgi kogu segu ja katsetatud (0/4) segu efektiivdiameetrite (d₁₀) suhte ruut.

Seega, on võimalik sõelkõvera analüüsi töövahendi kasutus ka sobiliku sidumata segu projekteerimiseks, et selle parameetrid vastaksid projekteerija soovitatud materjaliga.

2.3.2 Koormussageduse kontrollarvutused

KAP rakenduses on olemas tööleht, mis on ette nähtud käsiloendusel saadud loendustulemuse teisendamiseks normtelgedeks. Viies sellele lehele sisse uuendatud siirdetegurite väärtused ja integreerides ka prognoosi meetodika, saame tulemuse, mis võimaldab nii koostada liiklusprognoose (võttes aluseks liiklusuuringu) kui taandada prognoosi kaudu saadud konkreetse aasta koormuse väärtused arvutuslikuks (15-ndale aastale taandatud 20 aasta kumulatiivse koormuse arvutus).

¹² GOST 25607-2009

3 TEISTE RIIKIDE SÜSTEEMIDE ÜLEVAADE

Mõisted (wiki): elastne katend koosneb kihtidest:

- Kate - surface course [HMA – 1”...10”];
- Alus - base course [stabiliseeritud või sidumata alus – 4”...12”];
- Lisakiht, mis võib ka puududa (subbase course [kohalik materjal, mille ülaosa võib olla stabiliseeritud tsemendi või lubjaga – 6”...20”]),
- Aluspinnas - compacted natural subgrade.

3.1 Skandinaavia

Soome

Kasutuses Odemarki valem ja tüüpkatendid. Maanteekatendid arvutatakse Odemarki valemiga kuid nõuded kihipaksuste ja kandevõime väärtuste (elastsusmoodul mõõdetuna katendikihi pinnal) on astmelised. Linnatänavatele kasutatakse InfraRYL toodud tüüpkatendeid (samadel alustel on koostatud ka tüüpkatendid Tallinna linnale). Aluspinnaste nomenklatuur on laiem (9 liiki), asfaltbetoonide omadused üldistatud, kihtide elastsusmoodulite erisuse mõju arvestatud läbi nõude vaadeldava kihi elastsusmooduli ja selle all paikneva kihi peal arvutatud kandevõime suhtarvule, mis üldjuhul sidumata kihtidel ei tohi olla suurem kui 6,0; taaskasutatud tugevatel materjalidel 6 või 10 ja seotud kihtidel kuni 35 (tsementstabiliseerimise korral) – erinevus Eestis kehtivast, VSN-põhisest süsteemist, kus materjalikasutuse lubamise piiriks on materjalide elastsusmoodulite suhtarv. Odemarki valem on kasutuses lihtsas Excel-rakenduses. Ramboll Eesti töödes (2009-10 ja 2011-18) on võrreldud Eesti ja Soome katendiarvutust ja toodud välja Soome oluliselt kõrgemad nõuded eriti suurema koormusega teedele, seejuures tuleks siiski tähelepanu juhtida ühele ebatäpsusele – FWD tulemused taandatakse ühtsele tasemele veidi erineva algoritmiga. Vea tõenäoline mõju järeldustele on siiski minimaalne, kuid täpsuse huvides tuleks tulemusi detailsemalt võrrelda.

Rootsi

Tüüpkatendid ja PMS Objekt. Tuginedes Shelli tarkvarale BISAR ja arvestades Rootsi kliima eripära on koostatud MS Access põhine laialdaste võimalustega tarkvara PMS Objekt. See võimaldab näiteks kliima osas valida Eesti konkreetsetele piirkondadele lähedased analoogid. Otseseks kasutuseks on siiski vaja täpsustada siirdetegurid (Rootsis käsitletakse kõiki üle 3,5 tonnise täismassiga sõidukeid raskesõidukitena ja nendele rakendatakse ühtset siirdetegurit – tõenäoliselt on ka töös 2011-18 kasutatud võrdluses Rootsi süsteemi järgi dimensioneeritud katendite koormusarvestuses ebatäpsused), lisada meil kasutatavad teedehitusmaterjalid ja asendada erinevate aluspinnaste puhul süsteemi poolt aluseks võetavad katendite tüüplahendused meile paremini sobivatega (Rootsi skeem eeldab praktiliselt kõigi kaljupinnasest erinevate aluspinnaste korral alusena 50 cm tardkivikillustikku ja asfaldikihtide paksused määratakse sõltuvalt koormusest). Kuni 500,000 normtelje koormusega teedel kasutatakse reeglina tüüpkatendeid.

Detailsemalt on Rootsi süsteemi käsitletud lisas.

Taani

Tüüpkatendid ja MMOPP2013. Per Ullidtz'i analüüsitud teoreetilised alused, tarkvaralahendus MS Access põhine. Aluspinnasena käsitletakse külmaohtlikku (20 MPa), külmakartlikku (40 MPa) ja külmakindlat (100 MPa) liivpinnast. Materjalide valik laiaulatuslik, kuid paekillustikku ega sellega koostatud segusid ei kasutata. Kliimamoodul piiratud (Skane piirkond). Võrreldes teistega on lisatud poolelastsed katendid (Confalt/Densifalt, elastsusmoodul 8000 MPa), põhjalik valik nii asfaltbetooni kui ka hüdraulilise sideainega segusid ning kivilustisid; liiv vaikumisi ühtlaseteraline. Nii teoreetiliste aluste osas (Rothenburg ja Tinden - kihtidevahelise nakke arvestamine; asfaltbetooni elastsusmooduli seos sõidukite kiirusega) kui süsteemis defineeritud ehitusmaterjalide osas (poolelastsed katendid, kivilustis, erinevad hüdraulilise sideainega segud) aga ka katendi konstrueerimisloogika osas (piirates imporditava tardkivikillustiku kasutust alustes ja kasutades külmakaitsekihi kohalikku liiva) tundub Taani süsteem Eestile sobivamana kuid

kahjuks on kliimatingimuste osas valitud ühtne lähenemine mille aluseks on võetud Skåne piirkonna (Lõuna-Rootsi) kliima, mis on märkimisväärselt soojem kui Eestis.

3.2 Endine Nõukogude Liit

Venemaa

ODN (Vene Föderatsioon, 2001), ODM, MODN (SRÜ, 2001) ja TKP (Valgevene, 2008) – võrreldes VSN juhendiga on asendatud nn viimase aasta koormuse kontseptsioon kumulatiivse koormusega, sisse toodud komplitseeritud varutegurite süsteem, lisatud korduvkoormuse mõju tegur ka tõmbepingete arvutusalgoritmile ja tõstetud oluliselt asfaltbetoonide elastsusmoodulite väärtusi, kuid muutmata on jäetud aluspinnaste parameetrite ja nomogrammide osa, samuti ei ole lisatud aastaaegade erisuse arvestust.

Läti

ODN baasil võrgupõhine rakendus. Süvenetud süsteemi kitsaskohtadesse ja pööratakse enam tähelepanu aspektidele, millel on arvestatav mõju. Dreenkihi nõutavat paksust oluliselt suurendatud ja dreenkihi nõudeid määratletakse läbi peenosiste sisalduse (nagu praktikas ka Venemaal) kuigi formaalselt on jäetud kehtima ka filtratsiooni nõuded koos määramise meetodikaga (praktikas filtratsioonitesti ei kasutata, ainult sõelkõverat). Koormuse muutuse mõju on logaritmilise seose läbi suurematel tasemetel suhteliselt väike, millest tulenevalt ei pruugi olla otstarbekas liiklus- ja koormussageduste arvutus teisest tüvenumbrist kaugemale, kuid näiteks pinnase liigitamisel võib teatud osas olla väga suur mõju, seda eriti juhul, kui pinnase parameetrid jäävad erinevate liikide piirimaile.

Leedu

Saksa süsteemi baasil tüüpkatendid (kihipaksusi on oluliselt kahandatud arvestades riigi finantsilist võimekust, kuid seda ilma tugevusarvutusliku analüüsita). Aluse reglement kopeeritud Saksa skeemist (aluspinna 45 MPa, alus 120 MPa plaatkoormuskatsega mõõdetuna). Pikas perspektiivis (5 aastat) USA (Minnesota) lahenduse adapteerimine, kuid mitte igapäevakasutuseks vaid tüüpkatendite kontrollarvutusteks ja erijuhtumite lahendamiseks, samuti tüüpkatendite süsteemi uuendamiseks. USA süsteemide analüüs võimaldab mõista katendi vananemise ja defektide arengu protsessi ja seeläbi korrigeerida ja kalibreerida nii tüüpkatendeid kui igapäevaseks kasutuseks sobilikumat süsteemi.

3.3 Lahendused väljaspool mandri-Euroopat

Iirimaa

Kasutab vanemat UK nomogrammi põhist süsteemi mis on end aegade jooksul õigustanud, kuid mis sisaldab suhteliselt paksud asfaltkatted (miinimumpaksus 200 mm, kiirteedel 300 mm) ja ei arvesta Eesti oludes talvetingimustega (Iirimaa arvutuslik külmumissügavus 450 mm). Tänu paksude kihtide kasutamisele loetakse asfaltkatte tööeks 40 aastat, mis tugineb asjaolul, et katendit vanandav koormus (väsimus) ei ulatu alakihtidesse ja alakihtide temperatuurid ei tõuse ka suvel nii kõrgele et tugevusnäitajaid mõjutada. Intensiivselt kasutatakse tsemendiga stabiliseeritud kihte aluses, piisavalt paksu asfaldi tõttu ei jõua võimalikud põikpraod ülakihtidesse. Kuigi uuritud on kandevõimemõõtmiste kasutusvõimalusi, piirdutakse mõõtmistega vaid aluspinnastel ja alusel sest mõõtetulemused varieeruvad liiast nii aluspinnase mittehomogeensuse kui muutliku niiskussisalduse tõttu, mis ei pruugi sõltuda ehitusprotsessist. On küll katsetatud kandevõime mõõtmise kasutust, kuid sellest on loobutud kuna ehitaja protsessis ja kohtus ei suudetud tõendada, et ehitaja oleks midagi valesti teinud. Kivimaterjalide osas kasutatakse intensiivselt ka kohalikku lubjakivi, kuid projekteerimisprotsessis valitavate materjalide puhul ei eristata lubjakivikillustikku tardkivikillustikust. Inglise normide materjalinõuetes eristatakse kvaliteedilt materjale tugevusega LA30 ja LA50, lisaks kasutatakse ka magneesiumsulfaadi lahuse katset (soundness, MSI). Selgelt on määratletud, et konstruktsioonist vee väljaviimise ülesanne on killustikukihil.

USA

Uus katendite projekteerimise süsteem MEPD (2004), mille juhendi võib leida <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/guide.htm> kuid tarkvara on üsna komplitseeritud ja selle kasutuse aastatasu on suurusjärgus 5000 USD. Et juhend on siiski kättesaadav, on võimalik katendi konstrueerimisel arvestada kaasaegseid põhimõtteid, mis tõenäoliselt peaksid tagama paremad tulemused võrreldes täna kasutuses oleva süsteemiga. Katendi tööea kohta on P Babashamsi et al avaldanud artikli¹³, milles kirjeldatakse FHWA uuringute alusel, et USA katendite keskmine ülekatte teostamise vanus on 15,7 aastat ja järgnev ülekate 12 aastat hiljem. Katendi elutsükliks arvestatakse vähemalt 35 aastat ja üldjuhul mitte üle 50 aasta (ja diskontomäär varieerub 2...4%).

3.4 Katendi niiskusrežiimi tagamine

Katendi töötingimused sõltuvad veerežiimist. „Guide for Mechanistic-Empirical Design“ (2004) osa 3¹⁴ kirjeldab drenaažiga seonduvat põhjalikult, sellest tuleb ülevaade anda väljaspool käesolevat uuringut. Siiski lühidalt mõnedest olulistest punktidest:

- Vesi viiakse konstruktsioonist välja aluses. Alus võib olla bituumeni ehk tsemendiga stabiliseeritud või stabiliseerimata. Stabiliseerimata aluse paksus peab olema 4“ (10 cm) – ei rohkem ega vähem, sest sellise paksusega kiht tagab vajaliku veekanali ja paksem kiht ei ole enam piisavalt stabiilne. Aluse materjal peab sisaldama vähemalt kaks murtud pinda, LA mitte üle 45, kadu naatriumsulfaadi katses mitte üle 12% või magneesiumsulfaadi katses mitte üle 18%, sõelkõver peab tagama filtratsiooni vähemalt 1000 ft/day (300 m/ööp)¹⁵
 - o Stabiliseerimata aluse materjal, mis läbib sõela #40 ei tohi olla plastne.
 - o Bituumeniga stabiliseeritud alusel, bituumenisisaldus on 3% (±0,5%)
 - o Tsemendiga stabiliseeritud alusel, tsemendisaldus peab olema vähemalt 235 lbs/yd³ (ca 135 kg/m³)
- Aluse all paikneb filterkiht kas geosünteedist või teralisest materjalist (töödeldud või töötlemata), mis täidab kolme ülesannet – kaitseb alust segunemise eest, suunab vee tee serva, tagab aluse ehitusaegsele transpordile. Teralisele materjalile esitatakse alljärgnevad nõuded:
 - o Vähemalt kaks murtud pinda materjalile, mis ei läbi sõela #4; LA mitte üle 50; naatriumsulfaadi või magneesiumsulfaadi katse vastavalt 12 või 18% (nagu ka eelmisel juhul); sõelkõver tagab filtratsiooni 15 ft/day (4,5 m/ööp) sellega, et alla 12% materjalist läbib sõela #200 (0,075 mm); materjal mis läbib sõela #40 ei tohi olla plastne. Tasub märkida, et kui 12% peenosisega materjal tagab nimetatud filtratsiooni, ei ole filtratsiooni mõõtmise meetoodika kuigivõrd ühilduv Eestis kasutatava standardiga EVS 901-20.
- Nõuded sidumata aluse sõelkõverale:
 - o Cu>4 et taluda ehitusaegset transporti – nõue kehtib materjalile, mille sõela #200 läbik ei ole üle 12%

Sõel mm	Sõel #	Iowa	Minnesota	New Jersey	Wisconsin 1 AaSHTO #67	Wisconsin 2
37,5	1-1/2“			100		
25,0	1“	100	100	95-100	100	100
19,0	3/4“		65-100		90-100	

¹³ <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1996681416300177>

¹⁴ www.trb.org/mepdg/Part3_Chapter1_Subdrainage.pdf

¹⁵ Construction of pavement subsurface drainage systems, FHWA 2000 - <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/013293.pdf>

12,5	½"			60-80		
9,5	3/8"		35-70		20-55	45-65
4,75	#4		20-45	40-55	0-10	15-45
2,36	#8	10-35		5-25	0-5	
2,0	#10		8-25			0-20
1,18	#16			0-8		
0,425	#40		2-10			0-10
0,300	#50	0-15		0-5		
0,075	#200	0-6	0-3			0-5

Tabel 3 Sidumata aluse materjali sõelkõveranõuded USA osariikides.

- Sidumata aluse tihendamisel ei saavutata maksimaalset tihedust, kuna sellega rikutakse kihi drenivus. Tihendamiseks kasutatakse 4,5..9-tonnist terasrulli 1...3 läbikuga, vibrorežiimi kasutamisega tuleb olla ettevaatlik.
- Filterkihi materjali D15<5*D85, mis tagab et peenosiseid ei uhuta läbi kihi. Soovitav sõelkõver:

Sõel mm	Sõel #	Läbib %
37,5	1 ½"	100
19,0	¾"	55-90
4,75	#4	25-60
0,300	#50	5-25
0,075	#200	3-12

Tabel 4. Filterkihi materjali sõelkõveranõuded USA-s

3.5 Katendi tööea pikendamine

Vene süsteemis oli arvestuslik tööiga 15 aastat. Valdavalt kasutatakse katendi tööeks 20 aastat, kuid seda on võimalik suurendada seda 40 aastani mitmel viisil.

Üks neist Iiri/Ühendkuningriikide kogemuste alusel, näeb ette suurendada asfaldikihtide paksust esmases konstruktsioonis üle 20 cm. Paksem kiht tagab pikema aja seetõttu, et:

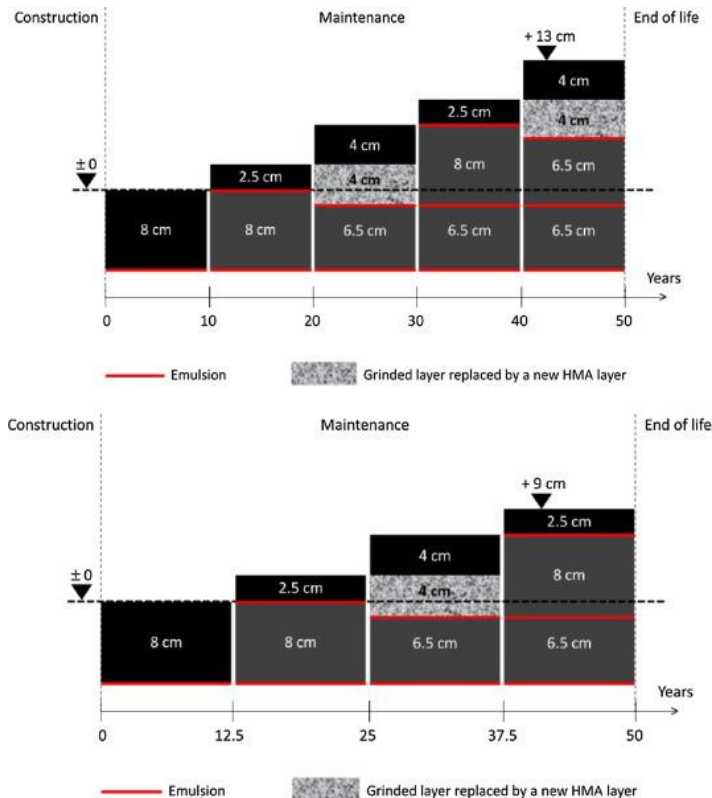
- Kaitseb alust lagunemise eest
- Elastsed deformatsioonid võetakse vastu katte ülakihtides ja deformatsioon ei jõua alakihtidesse
- Ultraviolettkiirgus mis vanandab bituumenit, ei ulatu katte alakihtidesse ja seega bituumen ei vanane
- Katte alakihtide bituumeni temperatuur ei tõuse suvel nii kõrgele ega kahane talvel nii madalale kui ülakihtides, seetõttu on võimalik kasutada alakihtides jäigemalt bituumenit

Juhul, kui nafta ja naftasaaduste hinnad jäävad enamvähem tänasele tasemele, võib see isegi toimida. Katendi ülakihtide asendamine peab igal juhul toimuma vastavuses roopa moodustumisega (Iirimaa tingimustes võib roobas tekkida vaid raskesõidukite mõjul).

Ka Rootsi arvutusmudeli alusel on selline protsess võimalik, tööea pikendamine suurendab asfaldikihtide paksust kuid mitte liiga palju. Rootsi mudeli järgi on alus fikseeritud ja asfaldi alakiht vedelama bituumeniga (160/220) takistab pragude arengut ja aeglustab bituumeni vananemise mõju.

T.Schlegel etc on avaldanud artikli¹⁶ kus kirjeldatakse asfaldi tööea pikendamise meetodit osalise filleri asendamise teel kustutatud lubjaga (2% filleri asemel 1,5% kustutatud lubja ja 0,5% fillerit). Tee elueana kirjeldatakse 50 aastat, klassikalise AC kihi tööeana katte ülakihtis 10 aastat, lubja lisamisega pikendatakse seda 25% ning tulemusena kirjeldatakse ökonoomiat alljärgneva graafiku näol:

¹⁶ <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916304631>



Skeem 2. Katendi kihtide skeem pikema tööea saavutamiseks

Katend on algselt projekteeritud Prantsuse reeglite järgi 5 miljoni normtelje läbikule 30 aastaga (USIRF, Bilal et al 2008) tüüpikataloogist, mis on arvestatud 13-tonniste paarisratastega üksiktelgede läbikutele. Kulumiskihi tööiga on tavaliselt 7...12 aastat, keskmiseks arvestatakse 10 aastat (NB! Need väärtused kehtivad riigis, kus naastrehve ei kasutata). Graafikult nähtub, et algele katendile tehakse ülekate, seejärel asendatakse ülakiht ja lisatakse kohe ka uus. Järgnevas tsükliks lisatakse uus kiht ja seejärel asendatakse. Iga asenduse käigus freesitakse sisuliselt viimane kiht (4 cm) ja osa eelviimast (1,5 cm). Uuringu eesmärk on küll keskkonnamõju hindamine ja kahandamine, hinnates mõju kogu tee elukaare jooksul, kuid samas valgustab ka katendi tööea küsimust.

3.6 Järeldused

Tuginedes Rootsi süsteemi põhimõtetele, Ühendkuningriikide metoodikale ja Iirimaa kogemusele, aga samuti professor Rothenburgi järeldustele Vene süsteemi võrdlusel teiste riikidega, saab järeldada alljärgnevat:

- Külmakerke arvutusel on oluline kõige halvem aasta. Kui kõige halvemates tingimustes on külmakekindluse nõuded täidetud, ei ole takistust katendi tööea pikendamisele.
- Külmakerke lubatav piirväärtus vajab paindlikumat lähenemist, sõltudes nii tee funktsionaalsest liigitusest (tee klass, projektkiirus) kui liiklussagedusest. Ei ole põhjust nõuda 4 cm piirväärtust madalama klassi ja madala liiklussagedusega, kuid ka madalama projektkiirusega kitsastel teedel, sest kriitiline ei ole külmakerke ulatus vaid selle muutus ehk pikikalde muutumise kiirus. Seetõttu on oluline ka muuta siirdekiilude käsitlemist viies selle vastavusse projekteerimismõõnides sätestatuga. Täna, seda eriti rajatiste rekonstrueerimisel (truubid, kommunikatsioonikaevised), püütakse mitte ühtlustada konstruktsiooni kogu külmumissügavuse või töökihi ulatuses vaid piirduda ainult drenikihi ulatusega mis on põhimõtteliselt vale lähenemine.
- Rootsi süsteemis (PMS Objekt) on võimalik otse sisestada katendi soovitatav tööiga ja arvestuslik koormus, samuti analüüsida katendi vastupidavust järkjärgulise ehituse protsessis. Süsteemi tuleks põhjalikumalt tundma õppida et mõista ja osata kasutada kogu funktsionaalsust.

- Paksemad asfaltkatted kaitsevad alust, tagavad aluse hea seisundi ja kui võtta tarvitusele USA uute normide järgsed võtted vee konstruktsiooni sattumise takistamiseks ja vee konstruktsioonist väljaviimiseks, võib alumiste asfaldikihtide ja aluste tööiga oluliselt pikendada.
- Naastrehvide mõju tingimustes tuleb asfaldi ülakihti intensiivse liiklusega aladel uuendada 5...10 aastase intervalliga ja iga uuendamise käigus on võimalik kihi paksust suurendada, mille tagajärjel uuendamise järgse konstruktsiooni kogupaksus vastab järjest suuremale koormusele ja seeläbi varasemate kihtide tööeest võetakse tsükliga väiksem osa, on oluline tagada kihi ressursi summeerimisel igale kihile aktsepteeritav ressursikasutus (mis ei ületa summeerides 100%)
- Eriti esmase konstruktsiooni, kus on tegemist suhteliselt õhukese asfaldikihiga, terviklikkuse säilimiseks on oluline kasutada stabiliseeritud aluseid, mis jagavad koormuse laiemale pinnale ja seeläbi hoiavad koormusest tuleneva deformatsiooni lubatava piires ning kaitsevad sidumata kihte, eriti paekillustikku, purunemise eest
- Kuna Rootsi ekspertide hinnangul on meie kliimas kriitiline asfaldi alakihiki kaitse pragude tekke eest, tuleb asfaldi alakihis hakata kasutama vedelamat bituumenit (160/220), mis säilitab oma töövõime ka väga madalatel temperatuuridel. See kiht ei pruugi olla väga paks, kuid elastne ja seeläbi väldib alt-üles pragude arengut.
- On oluline modelleerida tõmbepingete vastuvõtmise algoritm viisil, mis arvestab koormuse vastuvõtu jagunemist erinevate kihtide vahel, seda eriti juhul, kui kasutatakse paksemaid kattekonstruktsioone ning ka aluse ülakiht töötab tõmbele kasvõi piiratud ulatuses. Vene metoodika seda ei arvesta, Rootsi metoodikas on see põhinäitaja (selle kõrval uuritakse vajumit katendi all nii dünaamilisel kui staatilisel koormusel)
- Liivakihtide roll konstruktsioonis seondub ainult külmakaitsega, sest ülalt ja küljelt võimalikult lisanduva vee eest tuleb konstruktsiooni kaitsta teiste vahenditega, konstruktsiooni võimalikult sattuva vee väljaviimise peab tagama fraktsioneeritud killustikust kiht. Rothenburgi analüüsi järel dustena tuleks püüda liivakihtidest üldse loobuda.

4 VÕRDLUS RAMBOLL 2011 TÖÖGA (2011-18)

4.1 Võrdlusbaas

Siirdetegurite muutuse mõju võrdluse aluseks on esmalt valitud 2011 uuringus välja toodud tee koormusklasside vaheline jaotus (klassid KKL25...KKL0,4) üldpikkuses 5426 km (riigiteede koormussageduse kahanevas järjestuses). Võrdluse adekvaatsuse huvides ei ole muudetud klasside vahekordi ega tehtud uut liiklusprognoosi. Esialgsed koormussagedused on leitud 2011 uuringus, analüüs 2015 andmetega näitab, et erinevates teegruppides on siirdeteguri muutuse mõju üsna ühetaoline minimaalse erisusega – 1,94..1,97 korda, keskmiseks 1,95 ning seetõttu on uute siirdetegurite rakendamiseks seniseid koormussagedusi korrutatud 1,95-ga. 20 aasta koormuse taandamiseks KAPi 15-ndale aastale on kasutatud kumulatiivse koormuse (miljonid teljed) jagamist konstandiga 5000 (millele viitab ka professor Rothenburg).

Eesti konstruktsioonide võrdluses on esmalt käsitletud 2011 uuringus kasutatud konstruktsioone tollastes hindades, siis võrreldud tänaste hindadega – hinnad on oluliselt langenud (või on siis 2011 uuringus kasutatud hindade puhul oletatud edasist hinnatõusu, mille asemel tegelikult tuli langus). 2016 hindadena on kasutatud Skepast&Puhkim AS poolt projektides käesoleval aastal kasutatud hinnatasemeid (Kernu möödasõit). Keskmise maksumus on langenud 27€/m² tasemelt 16€/m² tasemele (hinnalangus 40%), seda kõigis kuluartiklites, eriti suur on langus bituumeni osas. Siiski tuleb ära märkida, et 2011 töös ei käsitletud asfaldi liike eraldi.

Seejärel on viidud sisse koormuse korrektuur (nii 15 vs 20 kui siirdetegurid) – analüüsis „2016“. Koormusarvestuse muutusega tõusid hind ja ka valitud katendi kandevõime 7%. Järgmisena on asendatud aluspinnas mõõdukalt ühtlaseteralise keskliivaga (uMSa - E-105) kogu töökihi ulatuses (150 cm miinus konstruktsiooni paksus) – sel teel moodustab uMSa arvutusliku aluspinnase. Et tagada seejuures ka nihkepingete vastuvõtmine, on arvutuslikult kasutatud ka drenikihti keskliivast (E-120, 20 cm) – analüüsis „2016L“ ja kandevõime tõus 11% ning maksumuse tõus 22%. Ja lõpetuseks on sisse viidud ka killustiku elastsusmoodulite korrektuur mis toimib siiski ainult madalamate koormuste korral (LA35 kasutusvõimalikkus) koos varutegurite täienduse ja 2% parandusega – analüüsis „2017“ – tulemuseks on nii kandevõime kui hinna langus 3% (kõik võrdlused esitatud „eelmise variandi suhtes“).

Skandinaavia konstruktsioonid ja nende parameetrid on võetud Ramboll 2011 tööst (2011-18). Võrdluseks on lisatud käesoleva uuringu raames detailsemalt käsitletud Iirimaa, Leedu ja Saksamaa (kaks viimast on väga lähedased). Viimasel kolmel juhul ei ole arvutuslikult kasutatud liivakihte, kuna Iirimaa on killustikaluse all aluspinnas ja Saksa ning Leedu eeldavad aluspinnaselt teatud fikseeritud kandevõimetaset (45 MPa plaatkoormusega).

Kokkuvõtteks on võrreldes 2011 konstruktsiooniga (tänaastes hindades) tõusnud nii maksumus kui konstruktsiooni kandevõime, mõlemad 27%. **Kui varasem konstruktsioon moodustas keskmiselt kandevõimelt 74% Rootsi keskmisest siis 2017 skeemi järgi on see juba 86%.** Nagu ka käsitletud eelnenud uuringus (2011) on Rootsi ja Taani tulemused lähedased. Samuti on lähedased Leedu, Saksa ja Iirimaa – neil kolmel on ühine suhteliselt tusedate asfaldikihtide kasutus. Korrektsuse huvides tuleb mainida, et Eesti katendivõrdlustes ei ole ka hinna arvutuses lisatud kulumisvaru – tugevusarvutuses ei avalda see mõju.

Kandevõime võrdlused on üsna hästi tasakaalus, kuid hinnavõrdluste korrektsus eeldaks täpsemat ühikhindade analüüsi. On tõenäoline, et kui Iiri-Saksa-Leedu kolmiku suhtes meie kliimatingimusi arvestada võrdselt Rootsi ja Soomega, kujuneb hinnavahe veelgi suuremaks. Võrdlus Taaniga ei ole just külmakindlusarvutuste puudumise tõttu korrektne.

4.2 Varutegurite korrektuur vastavalt Rothenburgi soovitusetele

Rothenburg soovitab kahandada nõudeid madalama klassi osas ja tõsta neid kõrgema klassi teedel, järelikult on otstarbekas sisse tuua varutegurite korrektuur mis võimaldab saada just selle suuna parandused.

Tee klass	Katend	Ktt	Ktk
Kiirtee	Püsikatend	1	0,95
Kiirtee	Kergkatend	0,9	0,85
Kiirtee	Siirdekateend	0,63	0,6
1	Püsikatend	1,03	0,98
1	Kergkatend	0	0
1	Siirdekateend	0	0
2	Püsikatend	1	0,95
2	Kergkatend	0	0
2	Siirdekateend	0	0
3	Püsikatend	0,95	0,9
3	Kergkatend	0,9	0,85
3	Siirdekateend	0	0
4	Püsikatend	0,9	0,85
4	Kergkatend	0,84	0,8
4	Siirdekateend	0,8	0,75
5	Püsikatend	0,85	0,8
5	Kergkatend	0,79	0,75
5	Siirdekateend	0,68	0,65
6	Püsikatend	0,79	0,75
6	Kergkatend	0,68	0,65
6	Siirdekateend	0,63	0,6

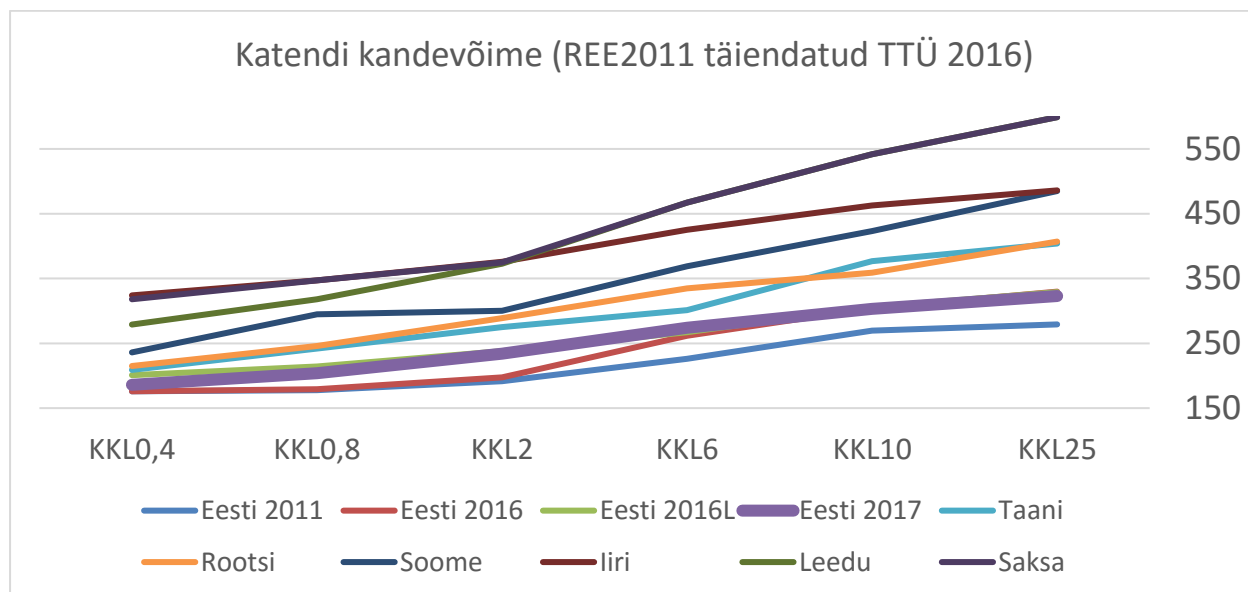
Tabel 5. KAP tee klassist sõltuvad varutegurid

Muutuse suund on korrektne, kuid paraku ei ole muutuse ulatus piisav ja siin on ka ilmselt põhjus, miks ODN tõi mängu liiklusproгноosi ebatäpsuse teguri – seletus ei ole sugugi veenev, kuid ilmne on, et pelgalt koormuse kunstliku tõstmisega seda probleemi ei lahenda. Vajalik oleks logaritmivalemi põhjalikum muutmine. Selleks ei ole aga piisavaid teoreetilisi aluseid. Korraga tuleb käsitleda nõutud kandevõime väärtust ja varutegurite mõju ning et tulemused siduda praktiliste kogemustega, oleks kasulik teostada kandevõime mõõtmisi ka kerg- ja siirdekateenditel, et täpsustada, kas ja kuivõrd arvutustulemused haakuvad tegelike mõõdetutega.

Arvestades, et Eesti riigiteedest üsna olulise osa moodustavad madala liiklussagedusega teed ning et asfaltkate on alati kallim, kui mustsegu või kergasfaltbetoon ja samas tundlikum deformatsioonidele (külmakerked), on otstarbekas madala liiklus- ja koormussagedusega teedel siiski kerg- või koguni siirdekateendite rajamine.

Arvutustes kasutatud konstruktsioonid on (2011 puhul) tegelikkuses õhemad, kui projekteerimisnormide järgi tohiks olla – 2016 konstrueeritu vastab reeglina nõuetele.

4.3 Kandevoime võrdlus



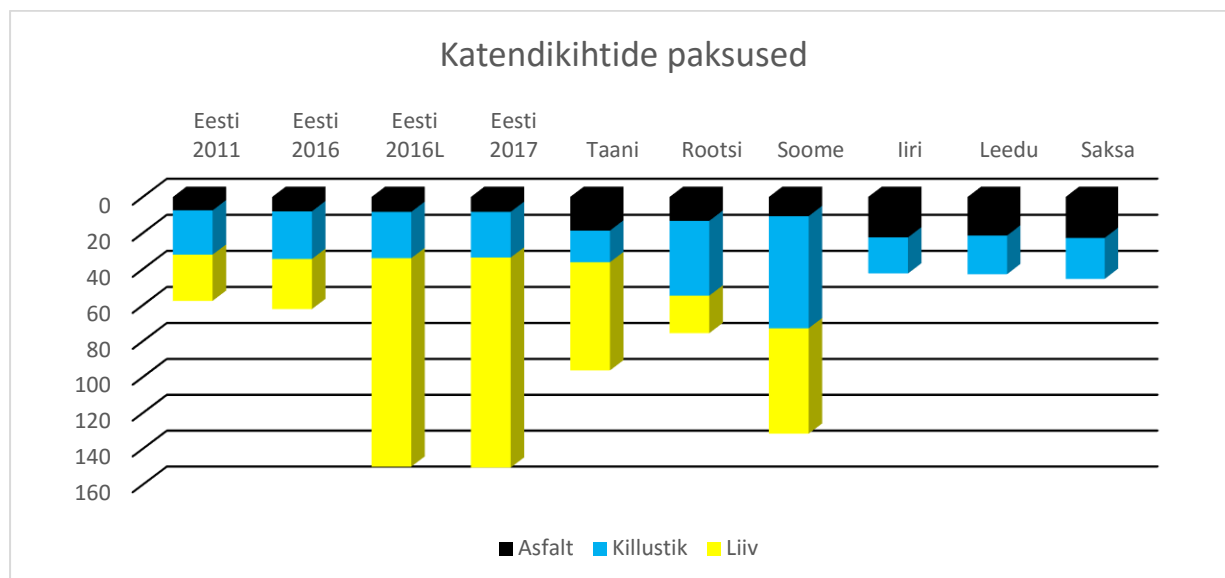
Joonis 1. Katendi kandevoime võrdlus eri riikide vahel

	KKL25	KKL10	KKL6	KKL2	KKL0,8	KKL0,4	KOKKU
Eesti 2011	279	270	226	191	178	176	202
Eesti 2016	330	304	262	198	179	176	216
Eesti 2016L	329	306	267	238	215	201	241
Eesti 2017	323	303	274	234	204	186	235
Taani	404	377	301	275	242	209	273
Rootsi	407	359	335	289	246	215	285
Soome	485	423	369	300	295	236	317
Iiri	486	463	425	376	347	324	380
Leedu	599	542	467	373	318	279	383
Saksa	599	542	467	375	347	318	398

Tabel 6. Katendi kandevoime võrdlus eri riikide vahel

Graafik kinnitab ka varem käsitletud tulemit mille järgi siirdeteguri tõstmine mõjub lähedaselt kõigile koormusklassidele. Madalamates koormusklassides ei ole mahajäävus teistest nii suur, kuid kolmes suurema koormusega klassis on mahajäävus oluline.

4.4 Konstruksiooni paksuse võrdlus



Joonis 2. Katendikihtide paksused eri riikide süsteemides

Katendikonstruktsiooni kogupaksus läheneb (arvestades katendi hulka ka 75 cm mõõdukalt ühtlaseteralise keskliiva, mis tagab filtratsiooni ning 10 cm kruusliivast vahekihi et killustik ei seguneks liivaga) Soome katendile ja on selgelt paksem Taani ja ka Rootsi katenditest. Kui konstrueerida katendid ilma kruusliivast vahekihita, tuleb asfaldi ja killustikuga tagada vajalik tugevus (üldine tugevusvaru 14...24%) et arvutuslikud nihkepinged aluspinnases (liivas) ei ületaks lubatud.

KAP arvutustes kujuneb arvutuslik nihkepinge liivakihtides liiga tihti kriitiliseks mistõttu tuleks uurida KAP kriitilisi konstruktsioone teiste riikide süsteemides, konkreetset, Rootsi.

Et paremini mõista arvatava seoseid, tuleb katsetada ka teisi alternatiive, võimalusel ka USA kaasaegsemaid rakendusi. Nende osas on kahtlemata probleeme kliima ja materjalide omaduste adekvaatse kirjelduse juures, kuid samas tuleb selgusele jõuda, kas arvutuslikult kriitiline parameeter seda ka realselt on.

	Asfalt	Killustik	Liiv	€/m ²	Mpa
Eesti 2011	7	25	26	16,04	202
Eesti 2016	8	26	28	17,10	216
Eesti 2016L	8	26	116	20,89	241
Eesti 2017	8	25	117	20,37	235
Taani	19	18	60	28,56	273
Rootsi	13	41	21	29,25	285
Soome	11	62	59	28,52	317
Iiri	22	20	0	29,16	380
Leedu	21	21	0	30,85	383
Saksa	23	23	0	32,10	398

Tabel 7. Katendikihtide paksused eri riikide süsteemide alusel

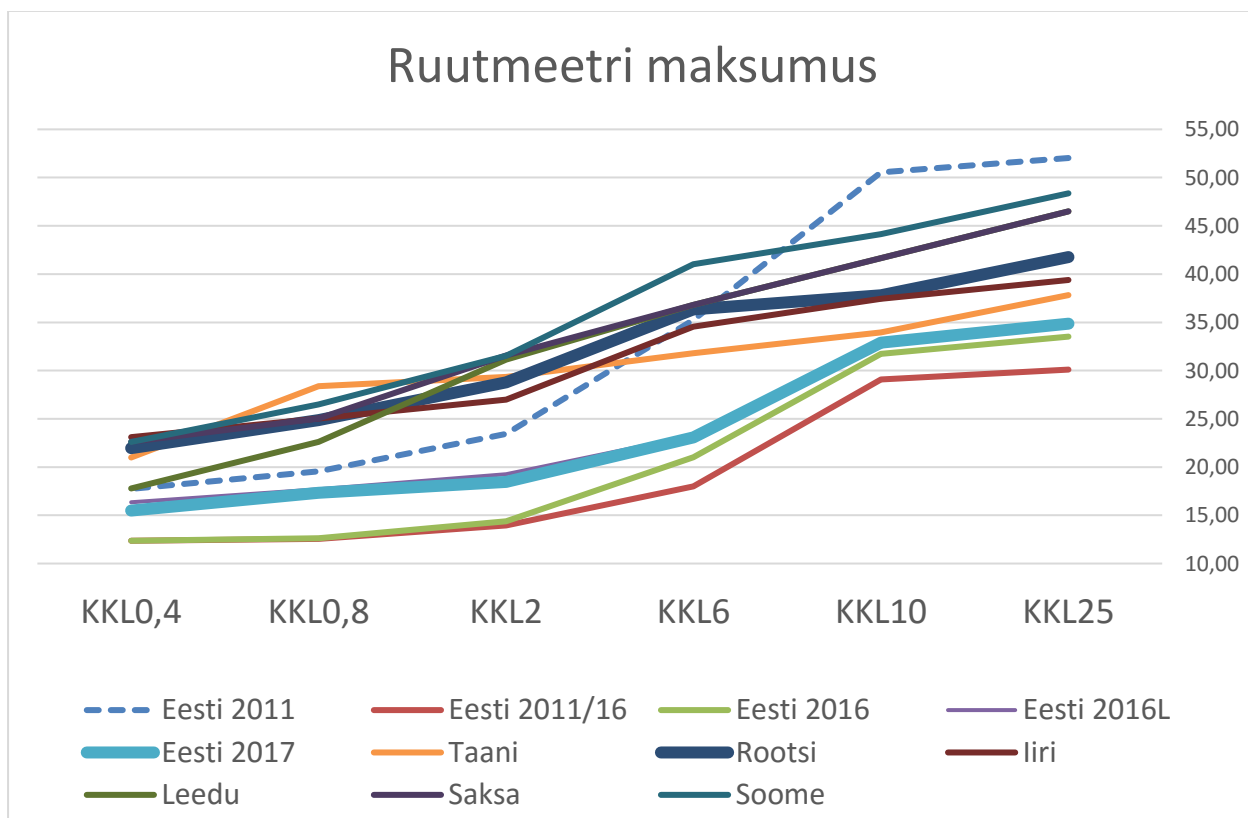
4.5 Hinnavõrdlus

Võrreldes konstruktsioonide maksumusi tänastes hindades, on ruutmeetri maksumus tõusnud tasemelt 16€/m² tasemele 20 €/m². Samas tuleb arvestada et sellest viimasest moodustab 3 € lisanduv liiv, mida filtratsiooninõude täitmiseks peaks olema kokku 1,5 meetri sügavuseni. Käesolevas töös seoses katendiarvutusega on liivakihi paksuseks eeldatud vähemalt 75 cm. Katendikonstruktsiooni paksus on 43 kuni 57 cm, seega peab liivakihi paksus olema keskmiselt meeter ning konstruktsiooni kogumaksumusele lisandub seega veel üks euro.

	KKL25	KKL10	KKL6	KKL2	KKL0,8	KKL0,4	KOKKU
Eesti 2011	52,03	50,54	35,24	23,44	19,57	17,74	27,02
Eesti 2011/16	30,10	29,09	18,01	13,94	12,55	12,36	16,04
Eesti 2016	33,52	31,74	21,03	14,38	12,63	12,36	17,10
Eesti 2016L	34,86	32,91	23,26	19,25	17,70	16,35	20,89
Eesti 2017	34,86	32,91	23,06	18,47	17,32	15,49	20,37
Taani	37,82	33,95	31,81	29,36	28,39	20,99	28,56
Rootsi	41,77	37,81	36,36	28,80	24,87	21,96	29,25
liri	39,39	37,45	34,54	26,98	25,04	23,10	28,52
Leedu	46,50	41,66	36,82	31,14	22,62	17,78	29,16
Saksa	46,50	41,66	36,82	31,56	25,04	22,62	30,85
Soome	48,37	44,14	41,02	31,52	26,48	22,60	32,10

Tabel 8. Hinnavõrdlused (€/m²)

- Eesti 2011 – REE-2011 hindadega, kõik ülejäänud 2016 hindadega
- Eesti 2016 – korrigeeritud koormusarvestus (15 vs 20 ja siirdetegurid)
- Eesti 2016L – arvestatud konstruktsiooni hulka kogu töökiht, mis peab olema dreniv, E-105 materjalist
- Eesti 2017 – lisatud E240 madalama tugevusega killustikule ning 2% korrektuur ja varutegurite täiendus, muutuse mõju on minimaalne.



Joonis 3. Katendi hinnavõrdlused graafilisel kujul

Võrreldes esialgsesga, kus konstruktsiooni paksuseks oli valitud keskmiselt 60 cm, kuid sellest 28 cm moodustas drenikiht, tuleb 1,5 m nõude täitmiseks siiski lisada 62 cm liiva (ca 2,5 €). Arvutuskäik ei ole selles mõttes korrektne, et siin eeldasime aluspinnaseks jämeda kerge saviliiva – eeldus, mida me rakendasime ka kõigi võrreldavate katendite puhul.

4.6 Põhimõttelised ebatäpsused Ramboll 2011 töös

Viimase viie aasta jooksul on selgunud mõningad ebatäpsused, mida 2011 töös ei ole arvestatud:

Rootsi süsteem:

- Rootsi eeldab, et asfaldi alakiht on tehtud bituumeni 160/220 baasil ning asfaldikihtide kogupaksus on vähemalt 75 mm (kihipaksuste suhtes ei ole eksitud, kuid Eesti arvutusparameetrid on eeldanud B70/100 kasutust.
- Siirdeteguri arvestuses kasutatakse üle 3,5-tonniseid sõidukeid. Nende keskmine kujuneb välja ainult telje või teliku koormust arvestades. Täna on olemas meie kaalupunktide andmed, mille kohaselt on võimalik leida korrektne Rootsi süsteemi siirdetegur. See võib tulemust korrigeerida, kuid suuremat muutust ei eelda.

Taani süsteem:

- Taanis eeldatakse, et liiv on ühtlaseteraline ($C_u=2$). Me oleme võrdluseks valinud peenliiva, mooduliga 100 MPa. See ei pruugi olla korrektne, peaks valima ühtlaseteralise – E-75. Selle tagajärjel langeb veidi ka Taani süsteemi võrreldav kandevõime

Soomes süsteem:

- Arvutuse osas ei ole probleeme, küll aga on selgunud et uurimistöös kasutatud võrdlus Soomes mõõdetud kandevõime kohta ei pruugi olla korrektne seetõttu, et erinevatel aegadel mõõdetud tulemused taandatakse üldjuhul võrreldavaks, kuid Soome taandusalgoritm pole sama mis Eestis. Selle tulemusena võib Soome mõõdetud kandevõime number olla veidi kõrgem kui võrdluses korrektne oleks. Siiski on hinnatud selle erisuse minimaalset mõju, alla 10% - kandevõimeerisused Eesti ja Soome vahel on oluliselt suuremad.

Üldised märkused

- Võrreldakse sidumata alusega konstruktsioone ja vaid ühel aluspinnasel.
- Kõigis süsteemides on võimalik konstrueerida ka seotud aluseid, üldjuhul on kõigil olemas hüdraulilise sideainega seotud alused kuid Eestis selliseid mõnda aega pole kasutatud. Põhjuseks põikpraod mis tekivad termokahanemisest külma ilmaga või kivistumisprotsessis, üldjuhul on põhjuseks kaudselt olnud ebaühtlane sideaine aktiivsus, mistõttu on sideainet üle doseeritud (seda ka OSAMAT-projektis). Viimase viie aastaga on Eestis väga laialt levinud kompleksstabiliseeritud aluste kasutamine – Soomes on küll analoog kuigi tardkivikillustike kasutamisega, Rootsist ja Taanist pole sellist ette sattunud. Stabiliseeritud aluse kasutamine võimaldab õhemaid killustikukihte ning tõenäoliselt on see just võtmeks, kuidas saavutada tugevamaid ja pikaajalisemaid aluseid. Teadaolevad ebaõnnestumised seonduvad tõenäoliselt nii ebasoodsate kliimatingimustega (sademete hooaeg enne järgmise kihi paigaldamist) või tehnoloogia rikkumistega (sideainesisaldus).
- Erinevate aluspinnaste osas tuleb süveneda savi sisaldavate pinnaste kasutusse – see on võimalik nii Rootsi kui Soomes süsteemides, Taanil seda ei ole. Eesti katendite dimensioneerimine on kõige probleemsem just savipinnastel, kus konstruktsioonid kipuvad väga paksuks minema.
- Valdkond, mida Ramboll 2011 uuring praktiliselt ei käsitle, vähemalt arvutuste osas, on külmakerked. Nii Rootsis kui Soomes on madalama liigi teedel lubatud selgelt suuremad külmakerked kui meie püsikatenditel. Seetõttu tuleb edaspidi põhjalikumalt võrrelda külmakerkearvutust.
- Eraldi tasub küsida, kas madalama koormussagedusega teedel (Soomes KKL 0,4 ja KKL 0,8; meie mõistes V-VI klassi teed) on üldse otstarbekas projekteerida asfaltkatteid – tõenäoliselt on mõistlikum kergkatendite kavandamine (mustsegu või ka stabiliseeritud aluse pindamine) mis tagab ka põhilise nõude – tolmuveo pinna. Eriti arvestades asjaoluga, et nende teede koormussagedused on valdavalt klassimääratlusest tuleneva miinimumi piirimail ning reeglina ei ole kandevõime neil teedel probleemiks, küll aga võivad probleemiks olla lühiajalisemad raskeveosed – seotud kas karjäärimaterjalide veoga suuremate teedehitusobjektide jaoks või metsa väljaveoga.

4.7 Teekonstruktsiooni elutsükli hindamine

Seoses analüüsis lisandunud riikides (Iirimaa, Saksa, Leedu – 30-40 aastat) kasutuselolevate pikema elueaga katenditega, põhimõttega et alus võiks vastu pidada kaks katendit ja vajadusega hinnata ka elutsükli jooksul teostatavate täiendavate tööde maksumust (pindamine, remix, ülekate) koos kulutuste diskonteerimisega, on oluline nende täiendavate tööde ajastamise seostamine arvestusliku liiklussagedusega ning pikema tsükli analüüs. Katendi dimensioneerimise aluseks on koormussagedus katendi tööea (eluea jooksul), kuid selle aja sees asendatakse katendi ülakiht kas korra või koguni kaks korda. Rekonstrueerimise käigus näeme üldjuhul ette asfaldikihtide freesimise ning kompleksstabiliseeritud kihi rajamise ja sellele uue asfaltkatte ehituse.

Tulemuslikkuse analüüsi (tasuvusarvutused) käigus tuleb samuti ette näha järgnevate toimingute ajastamine ja kui järgnevate toimingute hulka kuulub lisaks kulumiskihi asendamisele ka võimalus uut kihti lisada või asendada olemasolevat paksema kihiga, on tegemist ka katendiarvutusega.

Arvestades asjaoluga, et Rootsis on jätkuvalt katendi arvutuslikuks elueaks 20 aastat, tuleb pikema võimaliku eluea teemat käsitleda esmalt teoreetilises võtmes et mõista tegureid, mis eluiga piiravad. PMS Objekt sisaldab võimalused olemasoleva katendi remondi ja lisakihi lisamise arvutusteks, mis on valdkond, mis vajab täiendavat süvenemist. Nii 2011 kui ka käesoleva töö raames on süvenetud siiski ainult uue konstruktsiooni arvutustele.

Etapiviisilise ehituse kavandamisel on võimalik teekonstruktsiooni ressursiarvutus lähtuvalt konkreetse kihi amortiseerumise hinnangust, kuid täna on realiseeritud algoritmid, mis näevad ette kattekihtide ressursi võrdelist langust – tõenäoliselt tuleks arvestada konkreetse kihi ressursi kahanemist seosena selle kihi sügavusest katte pinna suhtes. See võimaldab algoritmiliselt realiseerida ka eeltoodud eelduse, et aluse tööiga on kahekordne katte tööiga.

Täna on esitatud nõuded, et igal ajahetkel peaks konstruktsiooni tugevusarvutuses varutegur olema positiivne (v.a. esimese viie aasta jooksul etapiviisilisel ehitusel). Et kandevõime algoritm on logaritmiline, mõjutab lisatav konstruktsioonikiht (kulumiskiht) tulemust (ressurssi) väga suurel määral ja sel teel saavutatakse katendi etteantud tööea lõpuks väga suur arvutusliku ressursi jääk (katendi jääkväärtus), mis annab omakorda aluse oletusele, et sel teel tööea jooksul paksemaks kujundatud konstruktsiooni summaarne tööiga on oluliselt suurem, kui tänased regulatsioonid seda ette näevad, loomulikult tingimusel, et katte ülakiht on hoitud terve ja ei lase (sool)vett alakihtidesse.

5 ARENDUSETTEPANEKUD JA STRATEEGIA

5.1 Lühike perspektiiv. Tegevused ja teemad sõltumatult edasisest suunast

KAP tuleb käigus hoida, kuid süsteemseid puudusi (vt: Rothenburg) ilma oluliselt põhjalikumate alusuuringuteta likvideerida ei ole võimalik ning puudub sügavam põhjus aegunud süsteemi (VSN 46-83) kasutuse jätkamiseks olukorras, kus kõik teised endise NL vabariigid on sellest loobunud (kas on üle mindud uuemale ODN-põhisele või võetud suund tüüpkatenditele).

Vastavalt lähteülesandele vahearuandes käsitletud teemad:

1. Teha ettepanekud milliseid Teeregistri andmeid ja kuidas tuleb tee remondi korral analüüsida (defektide analüüs, kandevõime ja SCI, BCI, BDI analüüs jms, lisasse näidised);
Otseselt KAP muudatusi ja täiendusi kaasa ei too
 - 1.1. Kandevõime – et otsustada, KAS on vajalik konstruktsiooni tugevdada, võrdlus E_{vaj} väärtusega
 - 1.2. SCI, BCI ja BDI – et selgeks teha, millises kihis on probleem, kui sügavalt asendada vana, algoritmiline võrdlus kirjeldatud töös 2011-18
 - 1.3. Defektide analüüs – leida defektide kogunemiskohtades tõenäolised põhjused (tavaliselt - vesi, geoloogia, rajatised) ning projekteerimise käigus nendes kohtades kavandada adekvaatsed lahendused
2. Arvestada juhendi kavandi muudatusettepanekutes: Tee projekteerimise normidega¹⁷, kõigi Maanteeameti käskkirjadega kehtestatud muudatustega ning Geotehniliste pinnaseuuringute juhendiga¹⁸;
3. KAP andmebaasidesse lisada uued materjalide andmed. Vastavalt TTÜ tööle: mittestandardised kruusad ja killustikud, (nomogramm: E60, 110, 160, 200, lisada arvutusvalem KAPi); ühtlaseterised liivad (E115, 105, 90);
 - 3.1. Mittestandardised kruusad – kasutus vaid juhul, kui tegu on konkreetse materjali sobivuse hindamisega, üldjuhul uusehitise projekteerimisfaasis selline info puudub
 - 3.2. Killustikud – E-mooduli diferentseerimine, $LA > 33$ – E240; peenosisega fr 0/x – E200
 - 3.3. Liivad – mõõdukalt ühtlaseterised liivad ca 10% kahandatud E-mooduliga 75 MPa asemel
 - 3.4. KS32 – tõsta 100 MPa võrra – nt: teel segatud vanast materjalist – E700
4. Teostada kontrollarvutused KAPga (teostatud esimeses etapis)
5. Teostada majandusliku mõju arvutused väiksemate kruus- ja liivpinnaste moodulitega, analoogselt Elastsete katendite projekteerimisjuhendi 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas¹⁹ tooduga (teostatud esimeses etapis);

Lisaks lähteülesandes toodule käsitletud teemad

Teekatte defektide arengu analüüs

Roopa moodustumise ja tasasusnäitajate arengu protsessi matemaatiline modelleerimine, seosed erinevate katteliikide ja mõõdetud kandevõimega. Vajalik nii HDM-4 mudeli kalibreerimiseks kui katendiprojektides katte tööea jooksul teostatavate remondi- või hooldustoimingute adekvaatseks planeerimiseks. Täna on remondimeetme valiku juhistes välja toodud arengseos ainult astmeliselt, kuid projekteerimisel erinevate katendikonstruktsioonide adekvaatseks võrdlemiseks on vaja enamasti sealhulgas arvestades ka algruupa moodustumisega sest etapiviisilise ehituse korral tuleb

¹⁷ <https://www.riigiteataja.ee/akt/107082015014?leiaKehtiv>

¹⁸ http://www.mnt.ee/public/Geotehniliste_pinnaseuuringute_juhend_05_01_16.pdf

¹⁹ http://www.mnt.ee/public/Elastsete_katendite_juhendi_taiendamine_siirdeteguritega_2015_8.pdf

ka enne viimase kihi paigaldamist kate tasandada et juba moodustunud roobas ei peegelduks värskest paigaldatavas kihis.

Konstruksioonikihtide ühikhinnad

Paljudes riikides on selleks süsteemid andmete kogumiseks ja esmaseks töötlemiseks, meil peab iga projekterija sisuliselt jalgratast leiutama või kasutama vananenud andmeid. Süsteem peaks hõlmama ka remondi- ja hooldustoimingute maksumused sedavõrd, kuivõrd neid tuleb arvestada katendikonstruktsioonide võrdluses katendi elukaarekulude leidmiseks.

Koormuse täpsustamine, milleks on vajalik:

- Kumulatiivse koormuse rakendamine – vahearuandes käsitletud taandamine 15-ndale aastale summaarse koormuse jagamisega konstandiga 5000.
- Baasprognoosi edasiarendus – arvestades nii teadaolevaid pikemaid prognoose kui tegelikke trende viimase 15 aasta jooksul – Kaal/Metsvahi 2017
- Loendustulemuste võrreldavus erinevate tehnoloogiate vahel, et taandada erineval viisil loetu ühtselt voolikloenduri jaotusse ning kasutada edasistes arvestustes üldistatud klassi vähemalt VAAB osas. AR osas võib olla vajadus eristada liigiliselt
 - o WIM ja voolikloenduse võrdlus – A.Požarski 2016/2017 magistritöö
 - o Püsiloenduse ja voolikloenduse võrdlus – 2017 võimalusel

Vajaliku kandevõime korrektuur

Vajaliku elastsusmooduli algoritmi korrektuur koos varutegurite täpsustamisega, analüüsides paralleelselt nii Soome kui ODN skeeme sest mujal ei opereerita nõutava elastsusmooduliga (puudub tee klassile või koormusele vastav konkreetne mõõdetav näitaja) – varutegurite ettepanek kirjeldatud vahearuandes, töötada välja kerg- ja siirdekatendi tüüplahendused (Rootsi mudel töötab alates 500,000 normteljest, kerg- ja siirdekatendite koormus on üldjuhul väiksem)

Materjalide analüüs

- asfaldi freespuru omaduste uurimine labori- ja stendikatsetega, et täpsustada arvutusparameetrid ja nõuded madalama koormusega teede katendiarvutuseks ehk vastavate tüüpkatendite dimensioneerimiseks. (Sillamäe/TKTK; Tehnokeskus)
- kompleksstabiliseeritud kihi uurimine arvutusparameetrite täpsustamiseks ja segu koostise ning paigaldus- ja tardumisaegsete ilmastikutingimuste muutuste (tundlikkus) mõju uurimine kvaliteedinõuete täpsustamiseks (Sillamäe/TKTK)
- pinnaste ja materjalide stabiliseerimisel uute sideainete kasutusvõimalused (polümeersideained ja tsemendilisandid) mis vajavad labori- ja välikatseid et täpsustada tehnoloogilisi piire ja arvutusparameetreid

Excel rakenduse kasutajamugavuse täiendamine

1. Täiendava töölehe lisamine sõelkõvera analüüsiks (ei ole integreeritud KAP koosseisu, Rasmus Renter magistritöö)
2. KAP – koormusarvestus nii normtelgede arvutuseks uute siirdeteguritega kui 20 aasta koormuse taandamiseks tinglikult 15-nda aasta arvutuslikuks koormuseks
3. KAP - Aluse loomine etapiviisilise ehituse ressursiarvutusteks, risttabelid (Kendra 2017)
4. KAP – erinevate töölehtede ühiskasutus – koondtabelite genereerimine (Kendra 2017)
5. KAP – pinnaseteguri B automaatika; kattetüübi kontroll – vastavalt 2014 töö tulemustele (Kendra/Rõuk 2017)

5.2 Pikem perspektiiv

Sarnastest kliimaatilistest tingimustest on võimalikud valikud Rootsi ja Taani. Leedu on teinud panused tüüpkatenditele ja pikas perspektiivis USA süsteemi kasutamisele nii uurimistöödeks kui ekspertiisiks ja tüüpkatendite väljatöötamiseks. Vaadeldes teiste riikide (sh Rootsi ja Taani)

süsteeme saab järeldada, et ka Eestis on mõistlik väikse liiklussagedusega teedel tüüpkatendeid kasutada. Täpsemalt tuleks määrata, mida loeme väikeseks liiklussageduseks. Teiste riikide kogemuse järgi võiks piiriks olla 500,000 normtelge katendi tööea jooksul – 20 aasta puhul tähendaks see keskmiselt 68 normtelge, seega võiks valik olla 50...100 normtelje vahemikus ehk liiklussagedustel 500...1000 autot ööpäevas.

Seega on käesolevas töös eesmärgiks valitud Rootsi süsteemi (tüüpkatendid madala liiklussagedusega teedele ning PMS Objekt tarkvara adapteerimine) kohandamine meie tingimustele.

Koormusarvestus

Rootsi skeemis arvestatakse raskesõidukite (üle 3,5 tonni) keskmist siirdetegurit, taandades koormused 800 kPa rehvirõhule. Adavere ja Luige kaalupunktide andmete analüüs näitab et WIM sõidukite liigilise jagunemise algoritm erineb oluliselt enamkasutatud voolikloenduse algoritmist – autorongide osas on liigitus üsna hea, kuid erisused tekivad SAPA (sõiduaudod-pakiaudod-väikebussid) ja VAAB (sooloveokid ja autobussid) kategooriate piirimail, ca pooled WIM järgi pikemasse klassi liigitatud sõidukitest sattusid voolikloenduse järgi lühemasse klassi. Ühtlustamise huvides on WIM andmete kasutamisel mõistlik rakendada voolikloenduse liigitust. Esmased siirdetegurite väärtused keskmisele raskesõidukile on lihtsalt leitavad – selleks on andmed olemas. Probleem on pigem reaalsest loendusandmetest raskesõidukite väljafiltreerimises.

Esmased analüüsid näitavad, et kaalupunkti loendurid liigitavad keskmise pikkusega raskesõidukeid väga erinevalt levinud vooliloenduritest – erisus kahekordne. Seda on võimalik arvestada, kui kaalupunktide andmed filtreerida liigituse jaoks voolikloenduri algoritmiga (Artjom Požarski magistr töö 2017)

Detailselt tuleb analüüsida püsiloenduspunktide ja perioodilise loenduse punktide andmeid, kui on võimalik kätte saada toorandmed koos süsteemi poolse liigitusega ja sellele rakendada voolikloenduri algoritmi, on analüüs võimalik kameraalselt ilma täiendavate välitöödeta. Juhul, kui toorandmete kasutus mingil põhjusel võimalikuks ei osutu, tuleb valida statsionaarne loenduspunkt ning korraldada selle lähialal ka voolikloendus ja analüüsida täpselt sama perioodi andmeid kahes erinevas tehnoloogias teostatuna. 2017/2018

Katendi tööiga, etapilise ehituse modelleerimine

Uurida teekonstruktsiooni erinevate kihtide tööiga. Üldjuhul on aluse tööiga võrdne kahekordse katte tööeaga, kuid etapiviisilise ehituse korral pikendatakse sisuliselt katte tööiga aluse tööeani. Seega tuleb modelleerida erinevate kihtide seisund ja hinnata ressursijääk. Põhimõtted on rakendatud MMOPP rakenduses. 2019

Geoloogia

Rootsi süsteemi katendarvutuse pinnaseliigituse alused vastavad EVS-EN regulatsioonile. Detailsemat analüüsi vajab vaid savipinnaste liigituse osa. 2017, Innovatsioonihange (Are näide).

Kliima

Eesti tsoneerimine, alustuseks Rootsi analoogtsoonid, bituumeniuuringu raames tehtud tsoneerimine ja külmumissügavuste kaart, võimalusel asendada Eesti kliimaandmetega lähima ilmajaama andmete kasutamise põhimõttel – 2017 kevad/sügis

Külmakindlusarvutus

Analüüsida Rootsi rakenduse aluseid ja Soome uuemaid arenguid (Roadscanners). Igal juhul tuleb arvutust Eesti mõistes diferentseerida, külmumissügavus on oluliselt erinev rannikupiirkonnas ja rannast ca 100 km kaugemal. Sillamäe teostatud võrdlusarvutuste järgi on Soome ja Eesti arvutustulemused lähedased, erisused on lubatud külmakerke tasemes. 2017/2018.

Materjalid

Liivpinnastega tõenäoliselt suuremaid probleeme pole, kuid süveneda tuleb paekiviga seotud materjalidesse.

Kivimaterjalide liigituses kasutatakse Rootsis Nordic katset ning selleks, et leida meie paekillustiku õige liigitus, tuleb teha võrdluskatsed LA ja AN katsetamisega samas seerias. Lisaks, võiks arvestada ka Ühendkuningriikide/Iiri reglementi. Seal on LA piirväärtusteks 30 ja 50. Ilmselt on otstarbekas meil kasutada mitmeastmelist liigitust – LA<33 (tugev paekivi); LA 33...45 (nõrk paekivi) ja LA>45 (aheraine). Neile gruppidele tuleks leida laboratoorsete katsete teel tugevusnäitajad ning võrrelda tugevust kuivalt ja märjalt et määrata arvutuslikud parameetrid erinevatele aastaaegadele.

Hüdraulilise sideainega materjalide kohta on Rootsi ja Taani süsteemides suhteliselt palju infot, kuid igasugune info puudub kompleksstabiliseeritud kihtide kohta.

Uurida tuleb ka praegu üsna levinud pinnatud freespurust katendite omadusi, et mõista, kuivõrd need erinevad pinnatud kruuskattest või mustsegust. Ilmselt on otstarbekas madalama liigi teedel, kus liiklussagedused on madalad ja oluliseks osutub tolmuvaaba konstruktsiooni tagamine, mitte kasutada kuumat asfaltsegu. Vajalikud laboratoorsed ja stendikatsed - TKTK

Katendi konstrueerimine

Rootsi süsteemis kasutatakse üldjuhul tardkivikillustikust alust, purustatud kaljupinnas 0/125 42 cm ja sellel 8 cm 0/31,5. Eestis selline võimalus puudub, seega tuleb süsteemselt asendada Rootsi standardi alus Eesti omaga. Et meil ei ole ka paekillustiku varud piiramatud (Rootsil graniidi varud ilmselt on), siis on võimalik asendus paekillustikust aluse ja stabiliseeritud kihiga (võrdlev kandevõimearvutus Odemarki valemiga näitab, et sel teel on võimalik saavutada sama tulemus 15-20 cm KS32 ja 20 cm paekillustikuga, kuid põhimõtteliselt pole takistust ka tsemendiga stabiliseeritud kihi kasutamiseks). Seejuures on oluline, et stabiliseeritud aluse kiht ei kujuneks liiga tugevaks, kuna tõenäoliselt ei kavandata stabiliseeritud alusele paigaldavat asfaldikihti Iiri kogemuste alusel vähemalt 18 cm paksusena mis kaitseks aluse liigse tugevuse tõttu tekkivate põikpragude peegeldumise eest asfaldi ülapiinda. Samas on võimalik, et juhul, kui asfaldi alakihis kasutada vedelat bituumenit, kaitseb see ka aluse pragude peegeldumise eest.

Kaasaegne katendikonstruktsioon võib mitte sisaldada granulaarset sidumata kihti – näiteks, stabiliseeritud aluspinnasel stabiliseeritud alus millele paigaldatakse vahetult asfaldikiht. Sellisele konstruktsioonile on viited nii Vene kui USA juhendites. Innovatsioonihankes on kavas teemat lähemalt käsitleda (2017).

Tüüpaluse (42+8 graniit) asendamine Eestile sobiliku aluse konstruktsiooniga (kahekihiline alus, paekillustikust aluskiht ja hüdraulilise, sh komplekssideainega stabiliseeritud ülakiht), õhema katte ja tsemendiga stabiliseerimise korral asfaldikihid lahutatakse alusest et vältida pragude peegeldumist – 2018-2019, stendikatsed, 42+8 võrdlus alternatiiviga.

Eritingimuste analüüs ja adapteerimine

Katte minimaalsed kõrgused erinevatest aluspinnastest, täiendavad piirangud ja juhised - 2018

Süsteemi kasutajaliidese tõlkimine ja testkasutus

Kasutajaliides MS Access keskkonnas on täna rootsikeelne, osalt ka ingliskeelne. On valmidus lisada eestikeelne tõlge – 2018

5.3 Ettepanekud projekteerimismääruste korrigeerimiseks

Teiste riikide määruste kasutus.

Täna redaktsiooni kohaselt on lubatud teiste riikide norme ja juhendeid kasutada, kui see on tee omaniku poolt seletuskirjas põhjendatud. Et seletuskirja koostab projekteerija, mitte tee omanik, tuleb seda nii kajastada ka määruse tekstis. Lisaks, on tarvilik juhul, kui normis sätestatu järgimine ei ole otstarbekas ning normi konkreetse sätte eiramine ei põhjusta ohtu liiklusele ega kahanda rajatise omadusi, sätestada regulatsioon mis võimaldab normile mittevastava parameetri kasutamist ilma selleks määruse väljaandnud ministri resolutsioonita. Sobilik võiks olla kolmanda, sõltumatu osapoole hinnang ning käesoleva töö koostajad on seisukohal, et sellise hinnangu võiks anda

teedeinseneride kutseühingu vastav komisjon mis tuleb veel luua. Igal juhul on tarvilik, et komisjonis oleks nii liiklusohutuse audiitorid kui teedeinsenerid ja mitte tee omanikust ehk rahastajast otseselt sõltuvad isikud.

Uusehitis vs rekonstrueerimine

Normitekstis tuleb täpselt määratleda, mida loeme remondiks (katte ülakihi asendamine), mida rekonstrueerimiseks (rohkem kui ühe kihi asendamine või kihi lisamine). Kui uusehitise puhul ei ole kaksipidimõistmist, siis probleeme tekitab rekonstrueerimisel olemasolevate konstruktsioonikihtide asendamise vajaduse hindamine lähtuvalt kihtide omadustest ja/või tee omaniku eelarvelistest võimalustest. Et projekteerimisel eeldatakse rekonstrueeritavalt objektilt uuega võrdseid parameetreid (sh garantii-aeg ja tööiga), siis ei saa vanade, tänastele nõuetele mittevastavate kihtide jätmisel konstruktsiooni tagada uuega võrdset garantiid ja tööiga. Kui remondi osas on loogiline, et nõuded kehtivad ainult asendatava kihi materjalile, siis rekonstrueerimisel ei ole see enam nii üheselt selge. Terminoloogia selgitamiseks on koguni koostatud vastav määrus, kuid see ei ole piisav ja ka seda tegelikkuses ei järgita (või jätab määrus siiski võimaluse kaksipidimõistmiseks).

Tee klassi määratlus

Juhindudes Rootsi normidest tuleb juurutada teede funktsionaalne liigitus, analoogiliselt nagu seda on rakendatud standardis EVS 843:2016 Linnatänavad. Samas tuleb lahendada ka projekteerimistaseme vastuolu, mille kohaselt täna tuleb projektkiirus valida „H“ tasemele kuid geomeetrilised elemendid „R“ tasemele. See ei ole loogiline kuna geomeetrilised elemendid on otseses sõltuvuses kiirusest.

Kihtide miinimumpaksuste tabel 4.11

Tabel tuleb vastavusse viia juhenditega (asfaltkatete ehitamise juhised, teetööde tehnoloogianõuded). Tõenäoliselt on otstarbekas loobuda tabelist määruses ja reguleerida seda vaid Maanteeameti juhenditega.

Asendada siirdetegurite väärtused

Asendada tabel või loobuda tabelist 4.2 normitekstis

Korrigeerida tabel 4.10

Tabelipäised on nihkes (ilmselt vormistuse viga muudab sisu)

Lühendada normiteksti 4.5 (9)

Lühendus punktis, mis piirab naaberkihtide elastsusmoodulite suhtarvu - piirdudes vaid lause algusega (elastsusmoodulid peavad suurenema) ning praktilises rakenduses juhendada Soome reglemendis sisalduvast reeglist mille kohaselt sidumata kihi elastsusmoodulina saab kasutada kuni kuuekordset kihi all arvutatud kandevõime väärtust.

Võtta normitekstist välja jäiku katendeid käsitlev osa

Nimetatud osa on sisuliselt vananenud ja seal sisalduvad parameetrid ei ole enam rakendatavad.

Kerg- ja siirdekatendid

Kaaluda kerg- ja siirdekatendi määratlust (täpsustada seda) ning loobuda nende katendiliikide puhul arvutustest kuna väikese koormussageduse tõttu ei ole nendel teedel võimalik adekvaatse detailse liiklusprognoosi koostamine eriti koormussageduse osas. Otstarbekas on kasutada tüüpkatendikonstruktsioone. Probleeme valmistab nende katendiliikide puhul ka see, et liiklusprognoosi perspektiiv (20 a) ei kattu katendi arvutusliku tööeaga (7 või 10 aastat).

Kaaluda materjalinõuete väljavõtmist normitekstist.

Ühtlustada tabelites AKÖL käsitus (kas AKÖL 15 või ilma märgista)

Korrigeerida määratlust staatilise koormuse arvestusel.

Autoronge loendatakse ühikutes, kuid AKÖL numbrit ei ole võimalik võrrelda autorongide arvuga.

Täpsustada tehnoloogiliste kihtide vajalikkust

Tehnoloogiliste kihtidena mõistame esiteks, kihtide segunemise vastu vajalikke vahekihte (tavaliselt liiva ja killustiku, aga ka aluspinnase ja konstruktsiooni vahel) ning, teiseks, stabiliseerimisprotsessil vajalikku varu et segisti ei kaasaks mittesobivat kihti. Samuti kuulub siia drenkihi kaitse funktsioon kihi ummistumise vältimiseks.

Filtratsiooninõude otstarbekus

Teiste riikide praktika uurimine näitab, et liivpinnaste, liivade ja kruusade kasutamisel hinnatakse nende materjalide sõelkõverat, mitte filtratsiooni. Vene normides on olemas nõuded püsikatendi töökihi ülaosa külmakindlusele (külmakindlad materjalid asfaltkatte pinnast 100 cm ulatuses, tsementbetoonkattel 120 cm), kuid neid nõudeid ei ole kerg- ja siirdekatenditele. Filtratsiooninõue on esitatud ainult drenkihile, mitte kogu ülemisele meetrile või koguni töökihile. Töökihi (defineeritud 150 cm) osas on ainult nõutud, et selles ulatuses ei tohi esineda nõrkasid pinnaseid (turbad, järvemuda jms), ülejäänud osas peaks konstruktsiooni külmakindlusarvutus andma piisava aluse materjali või pinnase sobilikkuse hindamiseks.

6 KAP PARANDUSED JA ARENDUSETTEPANEKUD

Käesolevas peatükis on käsitletud uuringu vahearuandes (juuni 2016) esitatud osa. Seetõttu võib esineda mõningast kattuvust varasemate peatükkidega.

1. TTÜ 2014 teadustöös soovitatud muudatuste-täienduste realiseerimine KAP keskkonnas – KAP 1.1
 - a. Mõõdukalt ühtlaseteraliste liivade lisamine (E115, E105, E90)
 - b. Paekillustiku eraldamine tardkivikillustikust (E240)
 - c. Liivpinnaste nimetuste korrigeerimine vastavalt TTÜ tööle
 2. Eeltoodud muudatuste majandusliku mõju analüüs. Selleks on analüüsitud Teeregistri andmeid (2015 liiklussagedused), koostatud liiklus- ja koormussageduste prognoosid ja jaotatud teedevõrk klassidesse perspektiivse liiklussageduse alusel. Arvutustes käsitletakse I...V klassi riigiteid (VI klassi perspektiivne liiklussagedus kuni 50 autot ööpäevas näitab pigem vajadust konkreetne teelõik üle anda kohalikule omavalitsusele), igale klassile on valitud esinduslik katendikonstruktsioon, valitud on kolm erinevat aluspinnase liiki 2. niiskuspäikkonnas (niiske) ning kõigile variantidele (5 klassi 3 aluspinnasega) on koostatud eraldi KAP töölehed.
 - a. Katendi ressursi arvutus (15 aasta asemel 20 aastat; kumulatiivne koormusarvestus)
 - b. Siirdetegurite muutmine (käskkiri 0005, 2016)
 - c. Dreenkihi materjalide tehnilis-majanduslik võrdlus (looduslik keskliiv, pestud keskliiv, liiva-killustikusegu, ühtlaseteraline keskliiv, mõõdukalt ühtlaseteraline keskliiv uue elastsusmooduliga)
 - d. Paekillustiku elastsusmooduli muutmine
 - e. Varuteguri arvutuse algoritmi korrektuur
- Saadud tulemuste koondanalüüs, mis võimaldab täpsemalt uurida muudatuste mõju sõltuvalt arvutuste aluseks kasutatavatest ühikhindadest.
3. KAP tehniliste paranduste ja täienduste teostus
 - a. KAP varuteguri arvutuse algoritmi korrigeerimine (2%)
 - b. Töökindlus- ja tugevustegurite kasutuse korrigeerimine
 - c. Abilehe lisamine (pinnasetegur, liiklusprognoos ja koormusprognoos arvestades katendi pikema tööea ja muutunud siirdeteguritega, mittestandardsete kruusade ja killustike arvutusparameetrite arvutusalgoritm)
 - d. Turvaseadete korrigeerimine, mis välistaks KAP arvutuslehel materjalide, arvutusparameetrite ja tulemuste otsese muutmise võimaluse
 4. Ettepanekud arendamiseks
 - a. Varutegurite käsitlet (töökindlusteguri diferentseerimine sõltuvalt tee klassist)
 - b. Asfaltbetoonide arvutusparameetrite korrektuur (lisada PMB bituumeni baasil toodetavad segud; korrigeerida olemasolevaid)
 - c. Killustike arvutusparameetrite korrektuur (sõltuvus terasuurusest ja kivimaterjali tugevusnäitajatest)
 - d. Teeregistri FWD andmete kasutamisest tee remondi projekteerimisel

6.1 KAP muudatused ja täiendused

6.1.1 Lähtetingimused (eelnenud uuringud ja normatiivdokumendid)

Varasemad muudatused katendi projekteerimisjuhendis (2001-52)

- 2004 (kk 72) – muudeti stabiliseeritud materjalide ja MSE elastsusmooduleid
- 2006 (kk 222) – lisati SMA; eemaldati kulumisvaru
- 2009 – muudeti killustike elastsusmoodulit – E400 asendus E280-ga, parandati trükivigu juhendis (alus – ekspertnõukogu protokoll)
- 2011-2012 (kk 0144) – koostati KAP, ilmus KAP kasutusjuhend (töö 2011-19)

Järgnevalt on tehtud muudatusi ja ettepanekuid

- 2013 (kk 0171) – taastati kulumisvaru, pikendati püsikatendi tööiga 20 aastale (uuringute komisjoni otsus)
- 2014 – analüüsiti ühtlaseteraliste liivade eripära ning kohandati pinnaste klassifikatsiooni (TTÜ)
- 2016 (kk 0005) – rakendati uued siirdetegurid (töö 2015-8)

6.1.2 Kaasnevad tegurid

Katendite projekteerimist, eriti materjalide valikut ja sellega seonduvalt maksumusi, mõjutavad otsused:

- 2012 (kk 0065) – filtratsioonimooduli määramine (maksimaalne standardtihedus, optimaalne niiskus)
- 2013 (kk 0069) – eelmise käskkirja tühistamine ja nõuete leevendamine (filtratsioonimoodul 0,5; 1,0; 2,0 m/ööp; kihipaksus vähemalt 20 cm, 3. niiskuspakkonnas 30 cm)
- 2012; 2014; 2015 – uuendati projekteerimismorme – dreniv 0,2 m/ööp; drenikihi vajadus kui ülemises meetris pole tagatud 0,5 m/ööp

Probleem seondub asjaoluga, et nõutud filtratsiooni tagavad ühtlaseteralised liivpinnased, kuid just ühtlaseteralisus koos terade ümardumisega toovad kaasa materjali oluliselt madalama elastsusmooduli. Et praktikas napib looduslikke liivpinnaseid, mis töötlemata kujul vastaks uuenenud nõuetele filtratsiooni suhtes ja samas ei oleks ühtlaseteralisuse ja terade ümara kuju tõttu madalama kandevõimega, on tõenäoliselt vajalik eriteraliste materjalide pesemine et eemaldada liigne peenosid ja seeläbi parandada filtratsiooni. Praktikas ei ole pesemist suuremas skaalas kasutatud ja seetõttu ei ole selge, kuivõrd muutub materjali pesemisega ka lõimisetegur – kas materjal muutub sellega ühtlaseteraliseks. Alternatiiv võiks olla ebapiisava filtratsioonimooduliga (mitteühtlaseteralise) keskliiva väärimine mehaanilise stabiliseerimise teel – 50/50 keskliiva ja killustiku segu kasutamise näol.

6.1.3 Olulisemad lähteandmed

- Otsus pikendada püsikatendi tööiga 20 aastale, siirde- ja kergkatendi osa ei muutunud – vajadus korrigeerida koormuse arvestust
- Ühtlaseteraliste liivade liigituse täiendamine mõõdukalt ühtlaseteraliste liivade osas (TTÜ tööst):

Tabel 1.16 Sideainetega töötlemata materjalide arvutuslikud (empiirilised) korrigeeritud tugevuskarakteristikud (uus tabel L2.T2 Juhendis 2001-52)

Jrk. nr.	Materjali nimetus	E-moodul, MPa	Sisehõõrde nurk ϕ , °	Nidusus C, MPa
1	Tardkivikillustik	280	-	-
2	Lubjakivikillustik	240	-	-
3	Optimaalse terastikuga kruusliiv	180	45	0,03
4	Killustikusegu (<0,63 mm fr <15%)	200	45	0,04
5	Kruusa- või killustikusegu (>6,3 mm fr >20%; <0,63 mm fr <40%; $W_{LR} \leq 26$ ehk $I_{PV} \leq 7$) vastavalt graafikule	E*	160	41
6		F*	110	36
7		G*	60	31
8	CSa (jämeliiv) (valdav fr 0,63-2 mm)	130	42	0,007
9	MSa (keskliiv) (valdav fr 0,2-0,63 mm)	120	40	0,006
10	FSa (peenliiv) (valdav fr 0,063-0,2 mm)	100	38	0,005
11*	CSa (jämeliiv) (valdav fr 0,63-2 mm), Cu<3	115	40	0,007
12*	MSa (keskliiv) (valdav fr 0,2-0,63 mm), Cu<3	105	38	0,006
13*	FSa (peenliiv) (valdav fr 0,063-0,2 mm), Cu<3	90	36	0,005
14	Paetuhk	120	30	0,01
15	Tuhkbetooni freesepuru	150	40	0,01
16	Munakivi-, parkettkivi sillutis	500	-	-

Tabel 10. Siirdetegurite uued väärtused (uurimistöö 2015-8; kehtestatud käskkirjaga nr 0006)

Tabel 29. Ettepanek siirdetegurite kehtestamiseks

Liik	Teljed	PN tbl.4.2	UUS**
Keskmine veoauto (VK)	1+1	0,11	0,4
Kaheteljeline raske veoauto (VR2; 18 tonni)	1+1	0,8	2,66
Kaheteljeliste veoautode keskmine (VA2)	1+1	0,75	1,5
Kolmeteljeline raske veoauto (VR3; 26 tonni)	1+2	1,8	2,56
Neljeteljeline raske veoauto (VR4; 32 tonni)	2+2	2,7	4,33
Keskmine buss (BK2)	1+1	0,05	0,4
Kaheteljeline raske buss (BR2)	1+1	0,75	2,6
Kaheteljeliste busside keskmine (B2)	1+1	0,72	1,5
Kolmeteljeline raske buss (BR3)	1+2	1,7	2,6
6-12 meetri pikkuste sõidukite keskmine (VA/AB)			2,67
Sadulrong või autorong, 3 telge	3	0,85	2,56
Sadulrong või autorong, 4 telge (36t)	4	1,1	4,23
Sadulrong või autorong, 5 telge* (40t)	5	2,05	4,35
Sadulrong või autorong, 6 ja enam telge (44t)	6 ja enam	4,8	4,8
Viieteljeline konteineriveok (2+3; 44 tonni)	5		8
Kuueteljeline metsaveok (3+3; 48 tonni)	6		5,46
Seitsmeteljeline metsaveok (3+4; 52 tonni)	7		4,2
Üle 12 meetri pikkuste sõidukite keskmine (AR)		2	3,76

* Sadulrong, 5 telge, ISO konteinerite veol 44 tonni – siirdetegur 8,0 (100% koormatud)

** osalise koormusega, vastavalt varasema teguri suhtele täiskoormusele vastavasse tegurisse (75%)

6.1.4 Muudatused materjalide elastsusmoodulites

Muudatusettepanekud on koostatud TTÜ teadustöö raames (2014).

1. Lisada mõõdukalt ühtlaseteraliste liivade kategooria (kui Cu on vahemikus 2...3); senine ühtlaseteraline liiv E-75 määratletakse Cu<3 asemel väärtusega Cu<2. Cu<2 tähistatakse uSa (uniform sand) ilma terasuuruse liigitusega. NB! Tegemist ei ole mooduli

langetamisega vaid pigem tõstmisega. Mõõdukalt ühtlaseteralise liiva elastsusmooduli väärtus ca 10% madalam eritalise liiva jaoks kehtivast.

- a. Kruusliiv (uGrSa), jämeliiv (uCSa) – E-130 – E-115
 - b. Keskliiv (uMSa) – E-120 – E-105
 - c. Peenliiv (uFSa) – E-100 – E-90
2. Lahutada tardkivikillustik ja paekivikillustik (seni mõlemad võrdsete parameetritega E-280)
 - a. Tardkivikillustik ja paekillustik $LA < 33$ – E-280
 - b. Paekivikillustik $LA > 33$ – E-240
 3. Korrigeerida settekivimist valmistatud ridakillustiku elastsusmoodul (E-250) lisades samasse kategooriasse mittestandardse killustiku (peenosiste sisaldus kuni 10%)
 - a. Ridakillustik, mittestandardne killustik – E-200
 4. Lisada jämedateraliste materjalide gruppi VSN 46-83 nomogrammi põhiselt väheplastse peenosise sisaldusega kruuspinnased elastsusmoodulitega vahemikus 50...200 MPa

Eeltoodud materjalide moodulite muudatustest võrrelda konstruktsioone ja maksumusi esimesel kahel juhul, sest paekivist ridakillustikku praktiliselt ei kasutata (probleemid materjali veejuhtivuse ja peenosiste sisaldusega) ning kruuspinnaste erisus ei esine materjalidena vaid aluspinnasena või rekonstrueerimisel olemasoleva konstruktsiooni aluskihtidena, mistõttu täiendus võimaldab adekvaatsemalt arvestada tegelikke pinnaste omadusi, kuid selle rakendamine toimub läbi kasutajapoolse materjali määratlemise.

6.2 Muudatuste mõju hindamine

6.2.1 Algandmed - arvutuste kontrollpaneel

Liiklus ja koormussagedused

2015 aasta liiklusloenduse tulemuste baasil, arvestades maakonda ja teeliiki (põhi-, tugi- ja kõrvalmaanteed) on koostatud liiklusproгноosid aastateks 2018 (esimene ekspluatatsioonista, eeldades 2016 projekteerimist ja 2017 ehitamist), 2032 ja 2037 (vastavalt, 15 ja 20 aastase tööea kohta). 20-nda aasta liiklussagedus määrab tee klassi, arvutused on teostatud I...V klassi teedele, VI klass (alla 50 auto ööpäevas) on arvutustest välja jäetud, kuna sel juhul analüüsitud muudatused ei mõjuta arvutustulemusi. Eeldatud on I klassi liiklussageduste korral 2+2 ristlõikega teed, madalamate sagedustega 1+1.

Eesti 2015 keskmised liiklussagedused ja nende jagunemine tee klassideks (tee liik ses mõttes ei loe, loeb liiklus). Arvestus on teostatud tuginedes perspektiivsele liiklussagedusele – igale riigitee lõigule on baasproгноosi alusel (arvestades tee liigile ja tee asukohale [maakond] vastavaid arengutegureid) leitud perspektiivne liiklussagedus mis määrab tee klassi ja koormussagedus mis määrab katendi nõutud kandevõime.

Koormussageduste osas on seega võrdluses neli taset:

- 1) 15-nda aasta koormussagedus (tase, mis kehtis kui KAP koostati) koos siirdeteguritega, millised kehtisid kuni 2015 lõpuni
- 2) 20-nda aasta koormussagedus (eeldusel, et katend dimensioneeritakse maksimaalsele koormusele ning katendiarvutus ei ole seotud katendi tööeaga) koos nn vanade siirdeteguritega
- 3) 20 aasta kumulatiivse koormuse (miljonid normteljed) alusel taandatud võrdväärne 15-nda aasta koormus koos nn vanade siirdeteguritega
- 4) 20 aasta kumulatiivse koormuse alusel taandatud võrdväärne 15-nda aasta koormus koos uute siirdeteguritega (kehtivad alates 2016).

Tabel 11. Eesti riigiteede võrgu jaotus ja koormussagedused

Tee klass perspektiivse liikluse alusel	I	II	III	IV	V	VI
AKÖL (+20) vahemik	14,500+	6000-14,500	3000-6000	500-3000	50-500	1-50
Teepikkus klassis km (AKÖL+20)	148,099	705,823	894,911	4 207,123	8 258,703	2 375,402
Rajategur	0,45	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6
Vana Q15 (reaal)/E (1)	1561/277	1081/266	370/235	99/196	11/131	2/76
Vana 15 aasta SQ	7 797 111	5 401 328	1 880 437	516 214	56 375	8 563
Uus Q15 (reaal)/E (2)	3143/298	2153/287	743/255	200/217	22/153	3/98
Vana Q20 (reaal)/E (3)	1663/279	1132/268	387/236	104/198	11/131	2/76
Vana SQ (20 aastat)	10 770 211	7 390 488	2 569 999	709 437	75 503	11 444
Q15 (taandatud SQ baasil)/E (4)	2153/287	1477/276	514/245	142/207	15/141	2/86
Uus Q20 (reaal)/E (5)	3348/300	2255/288	778/257	211/218	23/153	4/98
Uus SQ (20 aastat)	21 702 887	12 733 488	5 169 858	1 437 708	157 617	24 386
Q15 (taandatud SQ baasil)/E (6)	4338/307	2945/296	1033/265	287/227	32/163	5/108
AKÖL 2037	20 855	9 437	4 164	1 277	188	31
AKÖL +10	8616	3994	1793	566	84	26

2015 liiklussagedustest on leitud vastavalt teeliigile (põhi-tugi-kõrvalmaantee) iga maakonna arenguteguritele baasprognosis, 2018, 2032 ja 2037 liiklussagedused (liigilises jaotuses ning AKÖL) ning nendest tuletatud koormussagedus „Q“, summaarne (kumulatiivne) koormus „SQ“ igale teelõigile (15-nda aasta koormus, 15 aasta kumulatiivne koormus, 20-nda aasta koormus, 20 aasta kumulatiivne koormus), arvestades nii seniseid siirdetegureid („vana“ - lihtsustus – 6-12 meetrisel 1,0 ja üle 12-meetrisel 2,0) kui ka uusi („uus“ - 2016 aastast kehtestatud vastavalt 2,67 ja 3,76). Siit tulenevalt leiti teedevõrgu jaotus vastavuses perspektiivsele liiklussagedusele ning igale teeklassile riigi teedevõrgu jaotusega kaalutud keskmised koormused. Koormused on esitatud reaalkoormustena (Q15, Q20) kui ka taandatuna 15-ndale aastale (20-aastase katendi tööea korral). Kui prognoos sõltub tee liigist (põhi-tugi-kõrvalmaanteed), siis katendiarvutus sõltub ainult koormussagedusest ja tee klassist (mis ei sõltu tee liigist).

Tabeli järgi võib teha alljärgnevad üldistused:

- 20nda aasta koormussageduse kasutamine 15nda aasta asemel tõstis elastsusmooduli nõuet ca 2 MPa (ilma taandamata, mistõttu see koormusarvestuses pole adekvaatne lähenemine)
- Siirdeteguri kahekordistamine tõstis elastsusmooduli nõuet 20...22 MPa
- 20 aasta summaarse koormuse taandamine 15-ndale aastale tõstis nõuet 8...10 MPa (sõltumata sellest, kas tegu on uute või vanade siirdeteguritega)
- Kokku, siirdeteguri muutus (kahekordne) koos katendi tööea muutuse (15-20 a) ja taandamisega 15-ndale aastale tõstab nõuet 30...32 MPa

ODN (P3.25 märkus 1) määratleb Evaj arvutusvalemi kasutusel summaarse telgede arvu 40,000 normtelge katendi tööea jooksul (5,5 normtelge ööpäevas eeldusel, et katendi eluiga on 20 aastat). Seega, VI klassi teedel (keskmiselt) ei arvestatagi koormust kuna esiteks, valemid ei kehti ja teiseks, koormus on igal juhul väiksem klassi miinimum-määrast.

Aluspinnas ja niiskuspaikkond

Katendiarvutused on teostatud eeldades 2 niiskuspaikkonda (niiske), kolmele erinevale aluspinnasele:

- A-grupp (kerge saviliiv)
- D-grupp (raske tolmne saviliiv)
- Kõrge mulle (katendi töökiht 150 cm ulatuses katte pinnast peab olema rajatud drenivast materjalist, mis tähendab et dreniva materjali paksus on üle 75 cm ja seetõttu konkreetne aluspinnas ei mõjuta katendiarvutust – liivakihi paksuseks on arvestatud 150 cm miinus kõik konstruktsioonikihid)

Igale tee klassile arvutuslik konstruktsioon (uusehitised)

Tee klassist sõltub katte liik.

VSN määratleb varutegurid püsikatenditele I...III klassile ja siit tulenevad ka juhendis 2001-52 esinevad tegurid. Tegelikult on võimalik ka IV klassi teedele asfaltkatendite projekteerimine ja sel juhul kasutatakse odavamaid materjale ning katendi tööiga peaks olema väiksem. VSN ja ODN siirdetegurite põhimõtte viitab sellele, et katendi tööiga sõltub tee klassist ja 20-aastane tööiga peaks olema võimalik ainult kiirteedele.

Arvutustes on eeldatud püsikatendi kasutust I...III klassi teedel ning kergkatendit IV-V klassi teedel.

- I – püsikate, kolmekihiline asfaltbetoon, kulumiskihis SMA, KS32 killustikul, kahekihiline liiv
- II – püsikate, kolmekihiline asfaltbetoon, kulumiskihis AC surf, KS32 killustikul, ühekihiline liiv
- III – püsikate, kahekihiline asfaltbetoon, killustik, ühekihiline liiv
- IV – kergkate, kergasfaltbetoon 4 cm immutatud killustikalusel, ühekihiline liiv
- V – kergkate, pinnatud mustsegu killustikalusel, ühekihiline liiv

Katendite dimensioneerimisel mõjuhindamiseks võtsime aluseks minimaalselt lubatud kihipaksused (KS – 12 cm; killustikul ja liivadel 20 cm). Seejuures tuleb killustike kihipaksuse valikul võtta aluseks killustiku all paikneva materjali liik – keskliival ja peenematel materjalidel on 20 cm kihipaksus minimaalne, kruusliival ja kruusal võib killustikukiht olla õhem. Realistlike kihipaksuste valikul juhitud muuhulgas Maanteeameti varasemas statistikas kasutatud kihipaksuste jaotusest. Optimeerimisel jätame reeglina asfaldikihid samaks, leiame KS kihi paksuse mille korral nõuded ei ole täidetud ning tõstame alumiste kihtide paksust nõuete täitmiseni. Kuigi katendit on võimalik kihipaksuse kahandamise teel (liivakihid alla 20 cm) veel täiendavalt optimeerida, on see vastuolus eeldusega.

Kulumisvaru arvestus

Kulumisvaru on lisatud I...IV klassi teedele, 1 cm kulumiskihile lisaks arvutatule. V klassi tee on arvestatud mustsegust kattega, kulumisvaru asemel on kasutatud pindamist mis katendi arvutuses ei kajastu.

Ühikhinnad

TTÜ Logistikainstituudi töös (2013)²⁰ on prognoositud materjalide ühikhinnad aastani 2022. ERC Konsultatsiooni OÜ on 2015 teostanud uuringu ehitusmaavarade varustuskindlusest²¹ mille raames on oluliselt täiendatud ühikhindade prognoosi metoodikat. Käesolevas töös on kasutatud Maavarade varustuskindluse II etapi töö vahetulemuste baasil prognoositud 2016 aasta ühikhindu.

- | | |
|---|---|
| - Täiteliiv (peenliiv) | - 10,9 €/m ³ = 0,11 €/cm |
| - Dreenliiv (keskliiv) | - 11,9 €/m ³ = 0,12 €/cm |
| - Paekillustik | - 24,0 €/m ³ = 0,24 €/cm |
| - Graniitkillustik | - 54,3 €/m ³ = 0,54 €/cm |
| - KS32 | - 24,1 €/m ³ = 0,24 €/cm |
| - AC base (paekivi) | - 110 €/m ³ = 1,10 €/cm |
| - AC base (graniit) | - 136 €/m ³ = 1,36 €/cm |
| - AC surf/bin (graniit) | - 172 €/m ³ = 1,72 €/cm |
| - AC surf (graniit) | = 2,00 €/cm (karmimad nõuded mis lähenevad SMA omadele) |
| - SMA (graniit) | - 202 €/m ³ = 2,02 €/cm |
| - SMA (graniit, PMB) | - 274 €/m ³ = 2,74 €/cm |
| - Dreenliiv (pestud keskliiv) | 0,19 €/cm – eeldusel, et pesemine maksab 2...5€/t ehk 7€/m ³ |
| - Dreenliiv (killustiku-liiva segu 50/50) | 0,22 €/cm – eeldusel, et segamine maksab 1€/t ehk 2€/m ³ |

²⁰ http://www.mnt.ee/public/Teetode_uhikhinnad_ja_nende_prognoos_aastani_2022.pdf

²¹ http://www.mnt.ee/public/MaVa_lopparuanne_231115_uus_ERC.pdf

Mustsegule (MSE) ja kergasfaltbetoonile (nimetus pole kasutusel alates 2012 - odavamatest materjalidest ning teistsugusest bituumenist koostatud AC surf segu) ei arvatud 2015 uuemaid hindu. Võrreldes keskmisi mõlemale materjalile aastatest 2004-2009 ja eeltoodud hindu, võib nendele kahele lisada alljärgnevad ühikhinnad:

- | | |
|----------------------------------|--|
| - MSE | - 0,52 €/cm (Koppel) |
| - KAB | - 1,40 €/cm (tuletatud) |
| - Paekillustikust immutatud alus | - 0,5 €/cm (tuletatud, 4 cm sisaldab killustiku) |
| - Pindamine | - 0,9 €/m ² (tuletatud) |

Et varasemate (2013-2016) muudatuste ja ettepanekute majandusliku mõju analüüs vajas täpsustamist on käesolevas töös teostatud vastav võrdlev analüüs.

6.2.2 Erinevad arvutusvariandid

Alltoodud arvutuspaneel on rakendatud viies teeklassis (I...V) kolmel aluspinnasel (seega 15 erinevat blokki, igaüks sisaldab samaväärset komplekti arvutustabeleid).

Kontrollarvutuste eesmärgiks on hinnata erinevate otsuste majanduslikku mõju:

- 1) Koormussageduse arvutuse erinevate lähenemiste (15-nda ja 20-nda aasta koormus ning 15-ndale aastale taandatud koormus) mõju katendi maksumusele
 - a. 15-nda aasta koormuse alusel
 - b. Vastavalt käskkirjale 0171 (30.04.2013) katendi tööea tõstmine 20 aastani:
 - i. Arvestades maksimaalse (20-nda aasta) koormusega
 - ii. Arvestades 20 aasta summaarse koormuse alusel taandatud 15-nda aasta koormusega, mis tugineb kuni 2012 kehtinud projekteerimismäärade redaktsioonis toodud koormussageduse kasvutempole (1,5% esimese aasta koormusest iga-aastaselt) – teema detailsemalt käsitletud A.Olõkaineni magistratöös, TTÜ 2014 – saame arvutusliku (15-nda aasta) koormussageduse katendi tööea (20 a) summaarse telgede arvu jagamisega konstandiga 5000 (täpsemalt, 5003).
- 2) Siirdeteguri mõju katendi maksumusele (siirdetegurid rakendati käskkirjaga 0005, 06.01.2016 – selle rakendamisel koormussagedus sisuliselt kahekordistub
- 3) Materjalide arvutuslike elastsusmoodulite muutmise mõju katendi maksumusele, võrreldes:
 - a. Paekillustiku elastsusmooduli muutmist E280-E240
 - b. Mõõdukalt ühtlaseteralise keskliiva (Cu 2...3) elastsusmooduli tõstmist E75-E105, sealhulgas võrreldes
 - i. Pestud keskliiva, E-120
 - ii. Segu (50/50 ebapiisava filtratsiooniga keskliiv ning killustik)
 - iii. Looduslikku ühtlaseteralist keskliiva, E-75; Cu<3
 - iv. Mõõdukalt ühtlaseteralist keskliiva, E-105 (uus moodul, Cu 2...3) – põhimõtteliselt sobiv väärtus, kui tegemist ei ole ümarate teradega
- 4) Varuteguri arvestuse korrektuuri mõju katendi maksumusele, võttes maha programmselt lisatud 2% (dokumenteermata otsus KAP koostamisel)

6.2.3 Arvutustes kasutatud võrreldavad variandid

- Baas (tööea võrdlus, vana siirdeteguri põhjal)
 - o Katendi 15-aastane tööiga, arvutus 15-nda aasta koormussageduse alusel
 - o Katendi 20-aastane tööiga, arvutus 20-nda aasta koormussageduse alusel
 - o Katendi 20-aastane tööiga, arvutus kumulatiivse koormusarvestuse põhjal (baas)
- Vana siirdeteguriga (kuni 2016) võrdlus baasi suhtes
 - o Baas (eelmise jaotuse järgi) – liiv E-120 (pestud), killustik E-280
 - o Dreenkihis killustiku/liiva segu E-180 (E120 ja E240 keskvaartus, arvutustes kasutatud optimaalse terastikulise koostisega kruusasegu parameetreid – on võimalik, et segu tegelik elastsusmoodul on madalam, kuid seda tuleb testidega tõestada), alus killustikust E280
 - o Liiv ühtlaseteraline (looduslik) E-75, killustik E-280

- Liiv mõõdukalt ühtlaseteraline (looduslik) uus E-105, killustik E-280
- Liiv eriteraline E-120 (pestud), killustik E-240
- Liiv mõõdukalt ühtlaseteraline (looduslik) E-105, killustik E-240
- Uue siirdeteguriga (alates 2016)
 - Baas (eelmise jaotuse järgi) – liiv E-120 (pestud), killustik E-280
 - Dreenkihis killustiku/liiva segu E-180 (E120 ja E240 keskvärtus, arvutustes kasutatud optimaalse terastikulise koostisega kruusasegu parameetreid), alus killustikust E280
 - Liiv ühtlaseteraline (looduslik) E-75, killustik E-280
 - Liiv mõõdukalt ühtlaseteraline (looduslik) uus E-105, killustik E-280
 - Liiv eriteraline E-120 (pestud), killustik E-240
 - Liiv mõõdukalt ühtlaseteraline (looduslik) E-105, killustik E-240
 - Viimane, korrigeeritud varuteguritega (dokumenteerimata täiendav varu 2% eemaldatud)

Mõjuhinnangu tulemused

6.2.4 Mõju analüüs komponentide lõikes

Järgnevalt toodud tulemused kajastavad riigiteid tervikuna – eraldi on välja arvutatud tulemused I...V klassile ning koondis on need kaalutud vastava klassi teepikkustega (perspektiivses liiklussageduses).

1. Võrreldes tervikut – algset maksumust, olukorras, kus katendi tööeks loeti 15 aastat ja tavaline keskliiv vastas nõuetele, kujunes keskmiseks hinnaks 21,98 €/m² – uue olukorraga (20 aastat, liiva pesemisvajadus, uued siirdetegurid, uued elastsusmoodulid ja korrigeeritud 2% KAPis) on keskmine hind 24,28 €/m². Seega räägime kokkuvõttes **kallinemisest 10,5%**. Järgnevalt – millised on kallinemise komponendid.
2. Katendi tööea ja koormussageduse arvestamise reeglite muutuse maksumust võib käsitleda kahes etapis; (kontrollarvutused pesemata liivaga, E-120)
 - a. Algtase – 21,98 €/m² (15-s aasta, looduslik keskliiv E-120)
 - b. Vahetase – 22,05 €/m² (20-s aasta) – kallinemine 0,32%
 - c. Lõpptase – 22,31 €/m² (20 aasta summaarne koormus taandatud 15-ndale aastale) – **kallinemine 1,18%** - kokku kallinemine **algtasemelt 1,5%**
3. Siirdetegurite muutusest tulenev **kallinemine – 4,1%**
 - a. Algtase – vana siirdeteguriga kõigi arvutuste kaalutud keskmine – 24,67 €/m²
 - b. Võrreldav tase – uue siirdeteguriga samade juhtude kaalutud keskmine – 25,68€/m²
4. Kallinemine dreenniiva nõuete ja arvutusparameetrite muutmisest (kontrollarvutused „vana siirdeteguriga“ / „uue siirdeteguriga“)
 - a. Algtase (E-120) – legaalne, kuid praktikas sellist keskliiva napib mis ei ole ühtlaseteraline ja vastab samas standardi 901-20 nõuetele
 - i. 22,31 €/m² / 23,06 €/m²
 - ii. Risk – ettevõtja valik, kannatada olulist kahju (oluliselt suurem veokaugus) või kasutada materjali mis ei vasta nõuetele (trahvirisk)
 - b. Maksumus juhul, kui liiv tuleb pesta (E-120) – **hinnatõus 19%**
 - i. 26,49 €/m² / 27,26 €/m²
 - ii. Risk – pole piisavalt proovitud, kas pesemise järgselt saadud toode ei ole ühtlaseteraline
 - iii. Risk – hinna kalkulatsioonis ei ole arvestatud vee ja pesemisjäätmekäitlemisega (keskkonnatasud), on arvestatud ainult tehnoloogiliste kuludega
 - c. Maksumus juhul, kui loodusliku liiva asemel kasutada liiva-killustiku segu (E-180) – **hinnatõus 8%**
 - i. 24,13 €/m² / 25,11 €/m²
 - ii. Risk – segamise tehnoloogia, kas on võimalik saavutada ühtlane tulemus

- iii. Risk – segades ühtlaseteralist liiva, on raske hinnata tulemuse mehaanilisi omadusi
- iv. Risk – segades eriteralist liiva, ei vasta tulemus kindlasti 901-20 nõuetele sest tulemuse määrab 0/4 fraktsioon. Võimalik, et olukorda parandab vene segude standardi järgne protseduur (901-20 järgne mõõtetulemus korrutatakse segu ja testitud fraktsiooni efektiivdiameetrite suhte ruuduga)
- d. Maksumus juhul, kui liiv on ühtlaseteraline (E-75) – **hinnatõus 10%**
 - i. 24,48 €/m² / 25,33 €/m²
 - ii. Risk – materjal on halvasti tihendatav, kandevõime mõõtmine tuleb teostada plaatkoormuskatsega läbi vaheplaadi või killustikukihi
- e. Võrdlus E120 pesemata, E105 pesemata liivaga
- f. Maksumus juhul, kui liiv on mõõdukalt ühtlaseteraline (elastsusmooduli tõstmine tasemelt E-75 tasemele E-105) – hinnatõus 4% võrreldes pesemisega kuid **odavnemine 5%** võrreldes ühtlaseteralise materjali senise mooduliga (4,9-5,2%)
 - i. 23,10 €/m² / 24,10 €/m²
 - ii. Risk – materjal võib olla halvasti tihendatav
- g. Perspektiiv – loobuda liiva filtratsiooninõuetest, rakendades liivale ainult külmakindlusnõuet konstruktsiooni ülemise meetri või külmumissügavuse ulatuses (kontroll sõelkõvera järgi) ja suurendades killustikaluse paksust mis tagab ka vee väljajuhtimise konstruktsioonist
- 5. Paekillustiku elastsusmooduli langetamine
 - a. Algtase (E-280)
 - i. 26,49 €/m² / 27,26 €/m²
 - b. Võrreldav tase (E-240) – **hinnatõus 1,2%**
 - i. 26,71 €/m² / 27,75 €/m²
- 6. Korraga liiva elastsusmooduli (E-105) ja killustiku elastsusmooduli (E-240) muutmine
 - a. Algtase (280/75) – ühtlaseteralise liivaga
 - i. 24,48 €/m² / 25,33 €/m²
 - b. Võrreldav tase (240/105) – **odavnemine 4,3% (uute siirdetegurite korral 3%)**
 - i. 23,10 €/m² / 24,56 €/m²
- 7. KAP dokumenteerimata täienduse (varuteguri lisamine 2%) tühistamine
 - a. Algtase (240/105)
 - i. 24,56 €/m²
 - b. Võrreldav tase (kehtivas KAPis varutegurid -2%) – **odavnemine 1,1%**
 - i. 24,28 €/m²

Võttes eeltoodu lühidalt kokku, saame järjestuse:

- Koormussageduse arvestuse muutmine (katendi tööiga 20 aastat ja taandamine) – 1,2% kallimaks
- Siirdetegurite tõstmine – 4,1% kallimaks
- Liiva pesemine – 17,8% kallimaks
 - o Ühtlaseteralise liiva kasutamine ilma töötlemata – 9,8% kallimaks võrreldes pestud liivaga
 - o Liiva-killustikusegu kasutamine drenkihis – 8,5% kallimaks võrreldes pesemata liivaga ja 8,9% odavamaks võrreldes pestud liivaga
- Mõõdukalt ühtlaseteralise liiva elastsusmooduli tõstmine - 12,8% odavamaks võrreldes pestud liivaga
 - o Sama, 3,5% kallimaks võrreldes pesemata liivaga ja
- Paekillustiku elastsusmooduli langetamine – 1,2% kallimaks
- 2% varuteguri korrektuur – 1,1% odavamaks

Summeerides eeltoodu saame üldise kallinemise 10,4% mis langeb kokku otsearvutatud 10,5% kallinemisega (sealhulgas 2016 jaanuarist rakendunud siirdetegurite muutus mõjuga 4,1%).

6.2.5 Mõju analüüs eraldi teeklassidele

	I	II	III	IV	V	Keskmine
Perspektiivse koormuse alusel teepikkus (km)	148	706	895	4207	8259	14215
Koormusarvestuse mõju	+0,8%	+1,1%	+1,9%	+2,6%	+1,0%	+1,2%
Siirdetegurite mõju	+2,1%	+3,0%	+4,9%	+4,4%	+4,0%	+4,1%
Liiva pesemise mõju (pesemata E120 suhtes)	+7,2%	+10,5%	+13,0%	+14,3%	+23,7%	+17,8%
Liiva segamise mõju (pesemata E120 suhtes)	+7,0%	+7,1%	+8,5%	+7,5%	+9,7%	+8,5%
Ühtlaseterise (E75) kasutamine (pesemata E120 suhtes)	+3,2%	+2,7%	+7,4%	+8,3%	+13,3%	+9,8%
Mõõdukalt ühtlaseterise kasutamine (E105 E75 suhtes)	-2,1%	-1,8%	-4,7%	-4,6%	-6,6%	-5,2%
Paekillustiku mooduli langetamine (240 vs 280)	+0,5%	+0,5%	+1,3%	+1,7%	+0,8%	+1,2%
Elastsusmoodulite muutmine (240/105 vs 280/75)	-1,7%	-1,3%	-3,4%	-2,8%	-6,3%	-4,3%
KAP 2% korrektuur	-0,4%	-0,6%	-1,4%	-0,9%	-1,4%	-1,1%

7 TÄIENDUSETTEPANEKUD

Kuna kehtivate normdokumentide hierarhias katendite projekteerimisel on võtmekohal Maanteeameti juhend 2001-52 (ka ETPJ) – Elastsete teekatendite projekteerimise juhend, mis tugineb NSVL normdokumendil VSN 46-83 ning nimetatud normdokumendis on viited varasemale, siis tuleb alustada koguni aastast 1959, kui määratleti teede projekteerimises kasutatavad koormused. VSN 46-83 kehtivusajal reguleeris teede projekteerimist SNiP II-D.5-72 ning muldkehadega seonduvat SN-449-72. 2001 asendati VSN uue juhisega ODN 218.046-01, mille baasil laiendati dokumenti SRÜ normdokumendiks MODN 2-2001. 2008 kehtestas Valgevene oma juhise TKP 45-3.03-112-2008 (02250), mis järgib üldjuhul ODN põhimõtteid, täpsustades mõningaid aspekte ja käsitledes ainult asjakohaste kliimavööndite ala. Vene Föderatsioonis kehtib raamdokumendina veel SNiP 2.05.02-85 ajakohastatud redaktsioon SP 34.13330.2012. Siin ja edaspidi püüame käsitleda erinevaid dokumente paralleelselt kuni tänapäeval kehtivateni, et mõista protsessi ja arenguid.

Järgnevalt on võrreldud erinevaid normdokumente ja välja toodud olulisemad erisused mida tuleks täna arvestada.

7.1 Erinevad aspektid projekteerimismismides

Tee klass, katendi liigid, drenkiht

7.1.1 Tee klassi määratlus Vene normdokumentides ja Eestis

Tabel 12. SNiP II-D.5-72 tee klassi määratlused

	AKÖL	Neto-koormus	Raskeveokid taandatus	Tiipitud (suunad kokku) a/h	Projektkiirus (plaan ja pikiprofiil / teised elemendid)
I	7000+			1200+	150/120
II	3000-7000			800-1200	120/100
III	1000-3000			400-800	100/90
III-p		1,0+ milj. t	2000+ sa/ööp	250+	80/80
IV-p		<1,0 milj. t	<2000 sa/ööp		
IV	200-1000				
V	<200				60/60

Tabel 13. SNiP 2.05.02-85 tee klassi määratlused

	liiklussagedus	projektkiirus
I-a (automagistraal)	14000+	150
I-b (kiirtee)	14000+	120
I-v	14000+	100
II	6000+	120
III	2000-6000	100
IV	200-2000	80
V	<200	60

Eestis kehtiv projekteerimismääratlus maanteeklassid tabelina, võrreldes varasemate redaktsioonidega pole klasside vahel ülekattet ning seetõttu peaks tee klassi valik olema perspektiivsest liiklussagedusest tulenevalt üheselt määratud.

Tabel 1.1

Maantee klassid		
Maantee klass	Eeldatav aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus	
	Füüsiline	Taandatud sõiduautole
	Liiklussagedus a/ööp	Liiklussagedus a/ööp
Kiirtee	üle 40000	üle 45000
I*	üle 14500	üle 18500
II	6000-14500	7200-18500
III	3000-6000	3500-7200
IV	500-3000	1000-3500
V	50-500	100-1000
VI**	Kuni 50	Kuni 100

Märkus: * Liiklussagedusel kuni 20 000 autot ööpäevas võib tee projekteerida kaheajalisena, 5 m laiuste sõiduradadega;

** VI klassi maantee võib projekteerida ka üheajalisena projektkiirusega 40 km/h.

Põhimõtteline probleem tuleneb seejuures asjaolust, et tee klass fikseerib liikluskorralduslikud aspektid (ristmike ja mahasõitude lubatud arv teelõigu pikkuse kohta), mis näiteks linnalähedasel alal sunnivad ka kohaliku tähtsusega tee välja ehitama kõrge klassinõudega. **Otstarbekam oleks kasutusele võtta funktsionaalne liigitus, mis võimaldaks ehitada ka madalama klassi tee suurema sõiduradade arvuga.**

7.1.2 Sõiduradade arv

Sõiduradade arv (72) – 7000-20,000 – 2+2; 20,000-40,000 – 3+3; üle 40,000 – 4+4.

Sõiduradade arv (85) – 14,000-40,000 – 2+2; 40,000-80,000 – 3+3; üle 80,000 – 4+4

Seega, olemasolev liiklussagedus üle 10,000 AKÖL eeldab 2+2 ristlõiget, perspektiivne üle 40,000 AKÖL 3+3 ristlõiget.

7.1.3 Muldkeha nõlvus

(SNiP 72) Tee muldkeha nõlvus kohalike materjalide kasutamisel (kuni 0,5 km) – I...III klass – kuni 2 m muldel 1:4; IV-V klass – kuni 1 m muldel – 1:3.

(SNiP 85) Kuni 3 m kõrgusega muldkeha I...III klassi teel peaks olema mitte järsema nõlvaga kui 1:4, teistel kategooriatel kuni 2 m kõrgusel nõlv mitte järsem kui 1:3. Väärtuslikel maadel on lubatud järsem nõlv, kui on tagatud liiklusohutus.

Meil levinud 1:1,5 nõlva kalle peegeldab säästurežiimi, mida ei VSN ega ODN ei näe ette.

7.1.4 Taandustegurid

Sõiduautodele taandamiseks kasutatakse taandustegureid (vajalik liiklusarvutusteks)

Tabel 14. Taandustegurid liiklussageduse taandamiseks sõiduautodeks

	(72)	(85)	Kehtiv (85)	Eesti*
Sõiduauto	1,0	1,0	1,0	1,0 (SA)
Külgkorviga mootorratas		0,75		0
Mootorratas/mopeed	0,5	0,5		0
Veoauto, kandevõime <2,0 t	1,5	1,5	1,3	1,0 (PA)
- Kandevõime 2...5 t	2,0	2,0		2,0 (VA)
- Kandevõime 2...6 t			1,4	
- Kandevõime 5...8 t	2,5	2,5		
- Kandevõime 6...8 t			1,6	
- Kandevõime 8...14 t	3,5	3,0	1,8	
- Kandevõime 14+ t	4,5	3,5	2,0	
Autorong, kandevõime <6,0 t	3,0			3,0 (AR)
- Kandevõime 6...12 t	3,5	3,5		
- Kandevõime <12 t			1,8	
- Kandevõime 12...20 t	4,0	4,0	2,2	
- Kandevõime 20...30 t	5,0	5,0	2,7	
- Kandevõime 30+ t	6,0	6,0	3,2	
Autobussid, väikesed			1,4	1,0 (SA)
Autobussid, keskmise mahutavusega			2,5	2,0 (AB)
Autobussid, suure mahutavusega			3,0	
Liigendbussid, trollibussid			4,6	3,0 (AR)

* kehtivas projekteerimismisnormis nähakse ette neljane liigitus, mis koostaja arvates on trükiviga ja tuleks parandada.

7.1.5 Koormused

Koormused on SNiP (72) puhul määratletud GOST 9314-59 järgi, I...III klassile A-grupist ja IV-V klassile B-grupist.

SNiP (85) järgi on koormused I-II klassile 11,5 tonni; III-IV klassile 10 tonni ja V klassile 6 tonni (kui IV klassi teel ei nähta ette 10-tonnise teljekoormusega liiklust võib arvestada 6-tonnise teljekoormusega).

Kehtiva SNiP järgi (85, uuendatud – ja sama ka ODN ning Valgevene TKP) – püsikatend – 11,5 tonni (A2); kergkatend ja siirdekateend – 10 tonni (A1); rahvusvaheliste vedude trassidel – 13 tonni (A3).

Eesti normide järgi on koormuseks 10 tonni. Et erisused 10 ja 11,5 tonnise koormuse vahel on väikesed, võib kaaluda 11,5 tonnist normkoormust I klassi teedele. Probleem seejuures seondub nii nõutava kandevõime väärtuse kui siirdetegurite diferentseerimisega.

7.1.6 Katendi liigid

1972 jaotus (üldiselt järgib seda jaotust ka VSN-83):

- Püsikatend – tsementbetoon, kuum asfaltbetoon, sillutis betoon või kivialusel
- Kergkatend – soe või külm asfalt, tehases segatud bituumen-mineraalsegu, immutatud ja teel segatud segud, pinnatud kulumiskihiga katted
- Siirdekateend – killustik, kruus ja muud mineraalsed materjalid; sideainega töödeldud vähese tugevusega kivimaterjalid ja pinnased
- Pinnasteed – pinnased, kohalike materjalidega tugevdatud, puiduga tugevdatud.

Tsementbetoonkatend on eelistatud kui teed läbib ööpäevas vähemalt 250 raskekaalulist sõidukit (üksiktelje koormus 10 tonni või enam). Püsikatendit rajatakse liiklussagedustele vähemalt 3000 AKÖL kui teljekoormus võib ulatuda 10 tonnini.

VSN: Asfaltbetoonkatteid ei tehta maanteedele, mille geomeetria ei ole arvestatud kiirusele 80 km/h tasasel maastikul (60 km/h liigendatud maastikul, 10 km/h mägiteedel) [tabel 1.1 märkus 1].

7.1.7 Dreenkiht

SN 449-72 on maantee ja raudtee muldkeha projekteerimise juhend. 1. jaanuarist 1987 ei kehti enam eeltoodud SNiP II-D.5-72 sest kehtestati uus SNiP 2.05.02-85. SN 449-72 P2.6 kohaselt²² loeti raudteemulde materjalid drenivaks (kaljupinnas ja jämedapinnas, kruusliiv, jämeliiv, keskliiv) ja ka peenliiv, kui - filtratsioonimoodul on vähemalt 0,5 m/ööp või alla 0,1 mm osiste sisaldus alla 15% ja alla 0,005 mm osiste sisaldus alla 2%. Mittedrenivaks loeti savipinnased ja peenliivad millised ei vastanud eelnenud tingimustele. Selle teksti järgi kontrolliti AINULT peenliiva filtratsiooni, sest ülejäänud eelpool loetletud (jämedamad) materjalid aktsepteeriti tingimusteta.

SNiP (85) järgi loetakse drenivaks pinnased, mille standardtihendamise maksimaalse tiheduse juures GOST 22733-2002 järgi filtratsioon on vähemalt 0,5 m/ööp. Ühtlaseteraliseks loetakse liivad, mille $C_u < 3$ aga ka peenliivad milles 0,1-0,25 mm vahemik moodustab vähemalt 90% kogumassist.

SNiP (85) uuendatud versioon drenikihtiks sobivaid materjale enam ei liigita, käsitletakse ainult filtratsiooninõuet.

VSN loeb drenikiht kasutamiseks sobilikuks teralise materjali (killustik, kruus, liiv, šlakk), mis vastab GOSTi nõuetele. Kui alla 0,15 mm osiste sisaldus ei ületa 5% massis ja muude parameetrite osas vastab materjal ehitusliivale esitatud nõuetele, on materjal sobilik drenikihi ehitamiseks (P5.8). Materjal, mille filtratsioon on 1...2 m/ööp, sobib kasutamiseks kui drenikiht rajatakse kogu laiuses. 3 niiskuspakkonnas, süvendis ning juhul kui drenikiht rajatakse vaid katte laiuses, tuleb kasutada materjali filtratsiooniga vähemalt 2 m/ööp [P5.10].

7.1.8 Varutegurite käsitus

VSN näeb ette töökindlusteguri ja tugevusteguri. Juhend 2001-52 [T6.1] järgib täpselt VSN [T3.1] sätestatud tegurite väärtusi. Etteantud töökindlusteguri väärtuse järgi leitakse tugevusteguri väärtus.

²² 2.6. По степени водопроницаемости грунты, используемые для железнодорожных насыпей, разделяются на: - дренирующие, к которым относятся скальные и крупнообломочные грунты, пески гравелистые, крупные и средней крупности, а также пески мелкие, удовлетворяющие одному из следующих условий: коэффициент фильтрации грунта должен быть 0,5 м/сутки; содержание частиц размером меньше 0,1 мм должно быть <15%, в том числе размером менее 0,005 мм <2% по весу; - недренирующие, к которым относятся глинистые грунты, а также пески мелкие, не удовлетворяющие вышеуказанным условиям.

Примечание. Коэффициент фильтрации следует определять при максимальной плотности для данного грунта, устанавливаемой по методу стандартного уплотнения согласно приложению 2. (лиив, saviliiv – 25 lõõki; liivisavi, savi – 40 lõõki) http://www.znaytovar.ru/gost/2/SN_44972_Ukazaniya_po_proektir.html ehk <http://meganorm.ru/Index2/1/4294854/4294854730.htm>

Tabel 15. Tugevustegur ja töökindlustegur 2001-52 ja VSN tekstis

2001-52 tee liik	Katendi liik	K _{tt}	K _{tk}	VSN tee liik
Kiirtee, I, II	Püsikatend	1,0	0,95	I, II, III _n , I _c
III	Püsikatend	0,94	0,90	III, IV _H , II _c
III, IV, V	Kergkatend	0,9	0,85	III, IV, IV _H , II _c
IV, V	Siirdekataend	0,63	0,60	IV, V, II _c , III _c
V, klassivälised teed	Lihtkatend	0,63	0,60	

Kui VSN tekstis on mõistetavad III ja IV klassi erijuhud (III_n ja IV_H) mis mõlemad on tõlgendatavad kui tööstuspiirkondade juurdepääsuteed mille kõrgemad nõuded tulenevad raskeliikluse koormusest, siis I...III klassi erijuhud (I_c, II_c, III_c) on tõenäoliselt mõeldud linnalähedaste alade kohta (nende klasside kohta puuduvad otsesed viited teistes normdokumentides).

Ühelt poolt on võimalik käsitus, mille kohaselt ka kergkatend võib olla asfaltbetoonist. Ja teiselt poolt, ka püsikatendit võib paigaldada IV klassi teedele. Need käsitlused leiavad tuge ka hilisematest normitekstidest (ODN, TKP).

Probleemseks võiks lugeda erinevates tee klassides kasutatavat sama varuteguri taset. Seda nii püsikatendil (Kiirtee, I, II) kui kergkatendil (III, IV, V) ja siirdekataendil (IV, V). Lisaks on nii Eesti normides kui ka näiteks Valgevenes võetud kasutusele VI klassi mõiste. Siit tulenevalt on igal juhul vajalik korrektuur.

7.1.9 Varutegurite kasutus

VSN v3.6: $K_{np} \leq E_{o6III}/E_{TP}$, on aga põhimõtteliselt vigane, sest selle järgi ei tohiks arvutatud $E_{\text{üld}}$ olla suurem kui $E_{\text{vaj}} \cdot K_{tt}$. Arvutusvalemite poolel P3.35 on see viga siiski kõrvaldatud sest kontrollitakse $K_{tt} \cdot E_{\text{vaj}} = E_{\text{üld}}$. Teiste parameetrite kontrollis seda viga siiski ei ole tehtud. Sama viga on kopeeritud ka VSN kasutusjuhendisse (valem 4).

2001-52 puhul on valemid kirjeldatud $E_{\text{üld}} \geq E_{\text{vaj}} \cdot K_{tt}$ [V13.4] ja $E_{\text{üld}} \geq E_{\text{min}} \cdot K_{tt}$ [V13.5]. Siit tulenevalt, kui $E_{\text{min}}=180$ MPa, on tegelik $E_{\text{üld}}$ sellest madalam, tugevusteguri kordselt. 2001-52 ei näe ette kergkatendit asfaltbetoonist ega püsikatendi ehitamist IV klassi teedele. Mõlemad variandid on siiski võimalikud nii vanema kui uuema vene normatiivi alusel.

Töökindlusteguri kasutus

Arvutusliku niiskuse leidmisel on kasutusel töökindlustegur, millest tulenevalt leitakse normhõlbetegur t arvutusliku niiskuse arvutusvalemisse. Otseseid probleeme sellest ei ole, kuid KAP algoritmides on vaja varutegurite kasutus korrigeerida, kuna programmitekstis on „näpuvead“

Varutegurid ODN normis

ODN varutegurite käsitus on komplitseeritud. Ilmselt on seejuures võetud vähemalt osaliselt arvesse prof. Rothenburgi soovitusi, kuid ei ole suudetud asja süsteemselt lahendada. Seetõttu on senine varutegurite süsteem asendatud oluliselt komplitseerituma skeemiga. Ühelt poolt on selgelt kirjeldatud kuuma asfaltbetooni ka kergkatte materjalina ning püsikatteid ka IV klassi teedele (sellega läheb vahe püsi- ja kergkatte vahel ähmasemaks). Teiselt poolt on varutegurite süsteem põhjalikult muudetud – esmalt on tugevustegur elastsele vajumile eristatud tugevustegurist nihkele ja tõmbele. Ning teiseks on lisatud koormussagedusele rakenduv liiklusproгноosi ebatäpsuse tegur sõltuvalt tee katte liigist ja tee klassist, 1,04 kuni 1,49.

Kui püsikatendil on tegurid I...IV klassile, siis tõenäoliselt vähemalt Eestis pole vajadust kergkatendile II ja isegi III klassi teedel.

Tabel 16. Püskatendite varutegurid (ODN)

Tee klass		I	II	III	IV
Purunemise piirtegur K_p^{np}		0,05			0,10
Töökindlustegur K_H		0,98	0,95	0,98	0,95
Tugevustegur K_{np}^{Tp}	Elastsele vajumile	1,50	1,30	1,38	1,20
	Nihkele ja tõmbele	1,10	1,00	1,10	1,00

Tabel 17. Kergkatendite varutegurid (ODN)

Tee klass		III			IV			V				
Purunemise piirtegur K_p^{np}		0,15										
Töökindlustegur K_H		0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70
Tugevustegur K_{np}^{Tp}	Elastsele vajumile	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90
	Nihkele ja tõmbele	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80

Tabel 18. Siirdekateendite varutegurid (ODN)

Tee klass		IV					V		
Purunemise piirtegur K_p^{np}		0,40							
Töökindlustegur K_H		0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70
Tugevustegur K_{np}^{Tp}	Elastsele vajumile	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90
	Nihkele ja tõmbele*	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80

*-V klassi teedele siirdekattel tõmbepingeid ei kontrollita

Varutegurid TKP lahenduses (Valgevene)

Valgevene projekteerimisnorm baseerub ODN ehk SRÜ redaktsioonis MODN dokumendil kuid on vaadeldutest uusim. Samas ei saa olla veendunud, et muudatused baseeruksid põhjalikumatel uurimistöödel, pigem on lahend koostatud spetsialistide konsiliumi poolt, tuginedes spetsialistide isiklikele arvamustele ja süsteemi summaarse toime analüüsile.

Analoogiliselt ODN-ga on lahendatud varutegurite teema ka TKP (Valgevene) süsteemis. Siiski on tegemist mõningate erisustega. Detailsemalt ei käsitleta purunemise piirtegurit (see on küll ODN tabelites toodud kuid juhendi tekstis ei kasutata) ning tabelid on toodud eraldi A3 (13 t) koormusele ja tavakoormustele A1 (10 t) ning A2 (11,5 t).

Tasub tähelepanu juhtida, et tavakoormused (10 t telg) on arvestuslikud AINULT kerg- ja siirdekatele, püskatendil on valida üldjuhul 11,5 t telg ja magistraalteedel 13-tonnine telg. Erinevalt ODN tekstist on TKP puhul detailsemalt käsitletud ka katendi tööiga aastates, kuid seejuures puudub siiski 20-aastase katendi tööea kirjeldus. Intervjuude järgi võib järeldada, et kuigi tunnistatakse reaalselt pikema tööea võimalikkust, ei soovita riskeerida põhjusel, et kui konkreetset juhendumist katendi tööiga osutub lühemaks normatiivsest, võidakse järeldada,

et kusagil on vead tehtud – aga tõenäoliselt on tegemist komplitseeritud protsessiga, mille lihtne kirjeldus jääb alati puudulikuks.

Tabel 19. Püskatendite varutegurid (Valgevene) koormusele A1 (10t) ja A2 (11,5t)

Tee klass		I		II		III			IV		
Töökindlustegur		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85
Tööiga		19	14	17	13	15	12	11	10	9	8
Tugevustegur	Vajumile	1,25	1,15	1,20	1,10	1,20	1,10	1,00	1,05	0,95	0,85
	Nihkele sidumata kihtides	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90
	Tõmbele	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90

Tabel 20. Kergkatendite varutegurid (Valgevene) koormusele A1, 10 tonni

Tee klass		III		IV			V		
Töökindlustegur		0,95	0,90	0,90	0,85	0,80	0,80	0,75	0,70
Tööiga		11	10	8	7	6	6	5	4
Tugevustegur	Vajumile	1,17	1,10	1,06	1,02	1,00	0,98	0,94	0,90
	Nihkele sidumata kihtides	1,00	0,94	0,90	0,87	0,94	0,87	0,84	0,80
	Tõmbele	0,98	0,93	0,85	0,80	0,78	0,77	0,76	0,75

Tabel 21. Siirdekateendite varutegurid (Valgevene) koormusele A1, 10 tonni

Tee klass		IV			V, Vi		
Töökindlustegur		0,85	0,80	0,75	0,80	0,75	0,70
Tööiga		6	5	4	5	4	3
Tugevustegur	Vajumile	1,06	1,02	1,00	1,06	0,98	0,90
	Nihkele sidumata kihtides	0,90	0,87	0,85	0,94	0,87	0,80

7.1.10 Katendi tööiga

VSN ega selle rakendusjuhis ei käsitle kusagil katendi tööea mõistet konkretiseerituna aastatele. ODN sisaldab lisa 6 koosseisus tabeli 6.3 mis kirjeldab koormuse summeerimise tegurit sõltuvuses katendi tööeas (8...20 aastat) ja iga-aastasest kasvutegurist (0,90...1,10). ODN näidetes esinevad I klassi tee 20 aastase tööea ja töökindlusteguriga 0,95; II klassi tee 15-aastase tööea ja III klassi tee 10-aastase tööeaga.

MODN (SRÜ normdokument samuti aastast 2001) toob katendi tööea välja siiski eraldi lisa 6 tabelis 2

Tabel 22. Katendi tööiga MODN (SRÜ 2001) järgi

	I	II	III	IV	V
Püskatend	14-15-18	11-15	11-15	11-15	
Kergkatend			10-13	8-10	8-10
Siirdekateend				3-8	3-8

Siit tulenevalt on üle 15 aastane katendi tööiga normi järgi mõeldav vaid I klassi teedel. MODN näidetes esinevad I klassi tee 15-aastase tööea ja töökindlusteguriga 0,98; II klassi tee 12-aastase tööea ja töökindlusteguriga 0,95; III klassi tee 10-aastase tööea ja töökindlusteguriga 0,90; IV klassi tee 5-aastase tööea ja töökindlusteguriga 0,80.

7.1.11 Liiklusprognoosi ebatäpsuse tegur (ODN, TKP)

Tõenäoliselt on selle teguri sisu hoopis seotud tegeliku sõidukite koormuse muutusega ajas - nii sellega, et rehvisurved tõusevad kui ka sellega, et kasutusele võetakse teistsugused rehvitüübid mis võivad olla katendile ohtlikumad aga ka asjaoluga, et uued sõidukid kulgevad täpsemalt jälg-

jäljes mistõttu koormus kontsentreerub kitsamale alale. Võrreldes ka Soome normide koormuse ja nõutud elastsusmooduli seost juhendist 2001-52 tuleneva seosega (Ramboll, 2011-18) ilmneb, et erisus madala koormussageduse juures on minimaalne kuid kasvab kiirelt koormussageduse tõusuga. Analoogilises suunas toimib ka liiklusproгноosi ebatäpsuse teguriks nimetatud parandustegur – muutus on väike madala koormusega ja suurem suure koormusega.

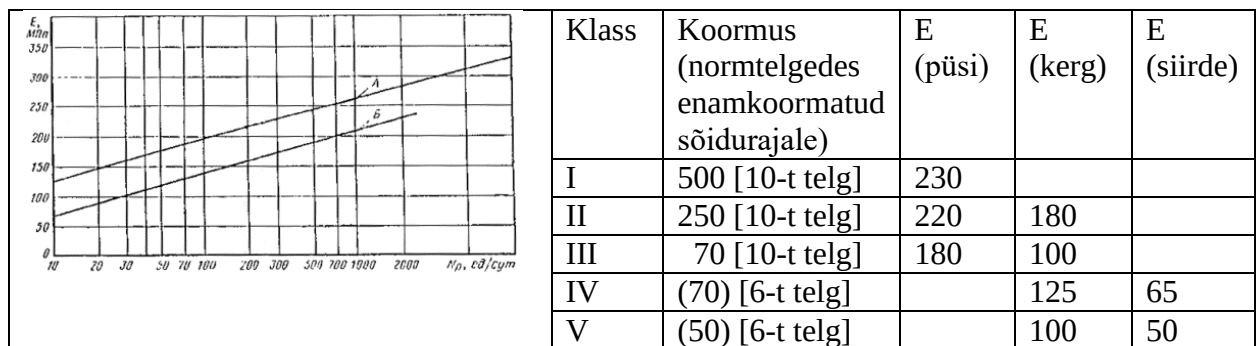
Tabel 23. Liiklusproгноosi ebatäpsuse tegur (ODN, MODN, TKP)

Teekatte liik	Varutegur sõltuvalt tee klassist				
	I	II	III	IV	V, VI
Püsikate	1,49	1,49	1,38	1,31	—
Kergkate	—	1,47	1,32	1,26	1,06
Siirdekate	—	—	1,19	1,16	1,04

7.1.12 Vajaliku kandevõime arvutus

VSN näeb vajaliku kandevõime arvutamiseks ette graafiku ja tabeli:

Tabel 24. Vajalik kandevõime sõltuvalt koormusest (VSN)



Siit tulenevalt ei ole IV ja V klassi minimaalsena sätestatud nõuded võrreldavad kuna tegemist on teistsuguse teljekoormusega.

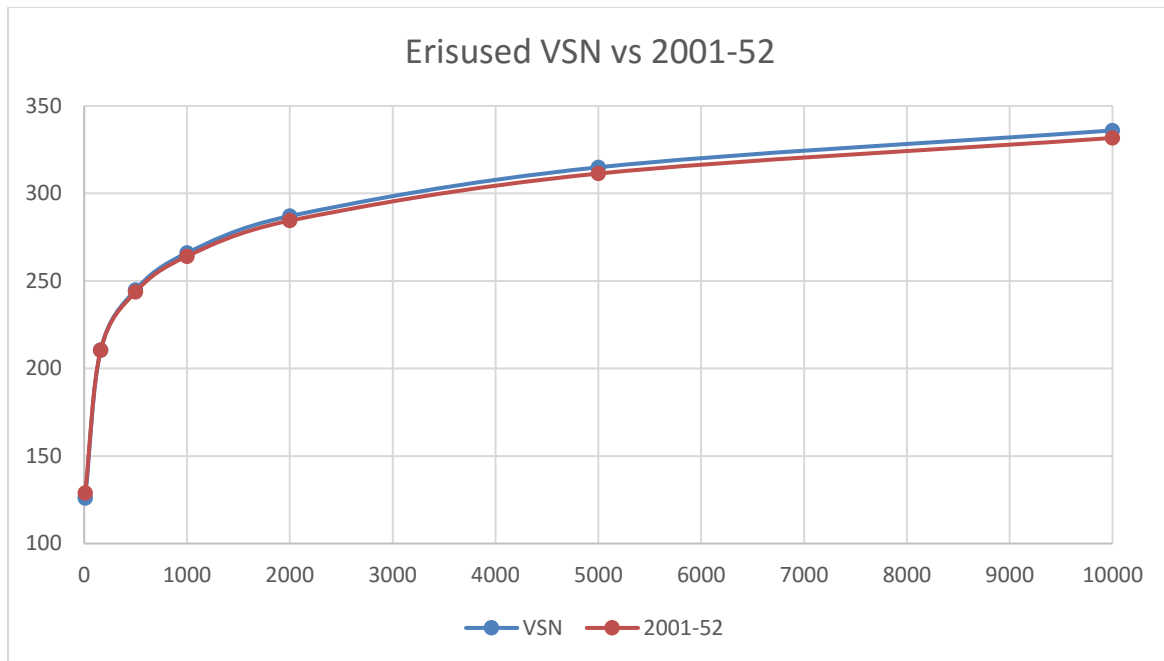
Normtelgede arvu määramiseks on VSN rakendusjuhises (lisa 3) toodud ka arvutuslikud koormused arvutusliku kolmeteljelise sõiduki tagatelje rattale, A-grupi veoautodel 63,7 kN; B-grupi veoautodel 38,2 kN; A-grupi autobussidel 70,6 kN ja B-grupi autobussidel 45,1 kN. Need väärtused on huvitavad seetõttu, et sellisel juhul oleks arvutuslik teljekoormus vastavalt 12,74; 76,4 ning 141,2 ja 90,2 kN kui normi tekstis figureerivad samas positsioonis arvutuslikud teljekoormused vastavalt 10 ja 6 ning 11 ja 7 tonni.

Eüld arvutuseks on VSN 46-83 rakendusjuhises toodud valem $E_{üld} = a \cdot \log(N) + b$ ja lisa toodud tabel 4:

Tabel 25. Vajaliku kandevõime arvutusvalemi kordaja ja konstandi väärtused (VSN, 2001-52)

Koormuse liik	VSN rakendusjuhises		Juhend 2001-52	
	a	b	A	b
Veauto, A	70	56	67,6	61,3
Veauto, B	70	0	73,37	-7,7
Autobuss, A	77	62	77	62
Autobuss, B	77	0	84,7	0

Et põhiliselt toimuvad arvutused A-grupi veoautode alusel, siis võrdleme valemite tulemusi ainult selles kategoorias.



Joonis 4. Arvutuslikult vajalik kandevõime sõltuvalt koormussagedusest (VSN vs 2001-52)

Tabel 26. Arvutatud vajalik elastsusmoodul (kandevõime) VSN ja 2001-52 järgi

Q (normteljed)	10	100	500	1000	2000	5000	10000
E _{üld} (VSN) MPa	126,00	196,00	244,93	266,00	287,07	314,93	336,00
E _{üld} (2001-52) MPa	128,90	196,50	243,75	264,10	284,45	311,35	331,70

Nagu näha, on Vaimeli koostatu siiski veidi erinev võrreldes VSN juhiseiga, graafiku algosas (kuni 161 normtelge) veidi kõrgemate nõuetega, edasi madalamatega ulatudes suurematel koormustel kuni 4,3 MPa võrra madalamale kandevõime väärtusele. **Seega oleme võrreldes VSN juhiseiga alates 161 normteljest enamkoormatud rajale, katendeid kergelt aladimensioneerinud ning tuleb soovitada algsete parameetrite taastamist VSN järgi.**

2001-52 juhendis ja kehtivas projekteerimismisnormis on kasutatud alljärgnevaid väärtusi (punasega on toodud Eesti projekteerimismisnormides esitatud väärtused):

Tabel 27. Minimaalselt nõutud kandevõime ja sellele vastav koormussagedus (2001-52 ja projekteerimismisnorm)

Klass	Koormus (püsi)	E (püsi)	Koormus (kerge)	E (kerge)	Koormus (siirde)	E (siirde)
Kiirtee		260 260				
	870					
I	500 [10-t telg] 440	240 240	500 [10-t telg] 115	200 200		
II	250 [10-t telg] 225	220 220	250 [10-t telg] 60	180 180		
III	70 [10-t telg] 57	180 180	70 [10-t telg] 29	160 160		
IV	57	180	(70) [6-t telg] 15	140 140	(70) [6-t telg] 10	70 130
V	57	180	(50) [6-t telg] 10	120 130	(70) [6-t telg] 10	70 130
Muud teed	57	180	10	130	10	130

Nõuded seotud kihtide paksusele

Nõutud orgaanilise sideainega kihtide paksused VSN, 2001-52 ja PN järgi (ODN seda enam ei reguleeri), tõenäoliselt on tabelis toodud väärtused ajale jalgu jäänud:

Tabel 28. Nõuded seotud kihtide paksusele (VSN, 2001-52 ja projekteerimisnorm)

	Kuni 125	125-180	180-220	220-250	250-300	>300
VSN; 2001-52	4-6	6-8	8-10	10-13	13-16	
PN	4	6	8	10	13	16

Võrreldes VSN ja senikehtiva juhendi lähenemist projekteerimisnormide lähenemisega, on tegemist ilmse vastuolu ja koorderdamisega – minimaalse nõutava väärtuse osas asendatakse vahemik selle miinimumväärtusega.

ODN käsitleb koormust vaid summaarselt (kumulatiivsena) ja TKP annab püsikatendil nõuded sõltuvalt koormuse liigist:

Tabel 29. Minimaalselt nõutav kandevõime

Tee klass	Kumulatiivne koormus	Püsikatend (10/11,5/13)	Kergkatend (ODN-TKP)	Siirdekateend (ODN-TKP)
I	750,000	230/270/310		
II	500,000	220/250/280	210	
III	375,000	200/230/260	200-180	
IV	110,000	180/200/220	150-150	100-100
V	40,000		100-110	50 -90
VI				-70

Kumulatiivse koormuse järgi kandevõime leidmiseks on valem $E_{min}=98,65 (\lg(SN)-c)$, kus SN on kumulatiivne koormus ja c konstant, mis sõltub teljekoormusest – 13-tonnisel 3,05 (rahvusvahelised raskeveotrassid); 11,5-tonnisel 3,25 (ülejäänud püsikatted / Valgevene TKP puhul 3,23) ja 10-tonnisel 3,55 (kerg- ja siirdekatted). Tasub märkida asjaolu, et valem on ette nähtud kasutamiseks ainult koormustele vähemalt 40,000 normtelge katendi tööea jooksul. Probleemi komplitseerib ka see, et need normteljedki ei ole omavahel võrreldavad nii teljekoormuse erisuse kui tööea erisuse tõttu. Kontrollarvutustes loetakse siis minimaalseks vajalikuks suurem kahest – logaritmivalemist või tabelist võetu.

Rajategurid

Kui senistes normitekstides on rajategurid suhteliselt stabiilsena kirjeldatud ning need ühtivad ka mujal kasutatavatega, siis ODN toob sisse erinevad tegurid erinevatele sõiduradadele, samuti muutub lähenemine nelja- ja enamarajalise tee osas:

Tabel 30. Rajateguri väärtused

Radade arv	Sõiduraja rajategur (arvestus tee äärest)		
	1	2	3
1	1,00	-	-
2	0,55	-	-
3	0,50	0,50	-
4	0,35	0,20	-
6	0,30	0,20	0,05

ODN järgi arvestatakse peenra tugevusarvutustes rajateguri väärtuseks 0,01. Erisus meil kehtivate rajateguritega ilmneb nelja- ja enamarealistel teedel, samuti on toodud erinevad tegurid sisemistele sõiduradadele. Analoogiline lähenemine on ka Soomes. Selline arvestus paraku eeldab ka võimalust projekteerida teekonstruktsioon tee ristlõikes sõiduradadele erinev, mis täna normdokumentidega suisa keelatud on.

7.2 Varutegurite süsteemne täiendamine

Tabel 31. Varutegurid ja ettepanek

	Kehtiv	Ettepanek (ODN ja TKP alusel)			Valgevene töökindlusteguri vahemik		
Klass	Ktk (EST)	Ktk	Ktt	Tööiga	Ktk P	Ktk K	Ktk S
I	0,95	0,98	1,027	20	0,98-0,95		
II	0,95	0,95	0,997	17	0,98-0,95		
III	0,90/0,85/-	0,90/0,85/-	0,947/0,896/-	15/12/-	0,98-0,90	0,95-0,90	
IV	- /0,85/0,60	0,85/0,80/0,75	0,896/0,844/0,792	12/11/8	0,95-0,85	0,90-0,80	0,85-0,75
V	- /0,85/0,60	- / 0,75/0,70	- / 0,792/0,739	- / 10/7		0,80-0,70	0,80-0,70
VI		- / 0,70/0,65	- / 0,739/0,685	- / 9/6			0,80-0,70

Kuna Vene normides, sealhulgas kaasajastatud redaktsioonides, ei räägita madalama klassi tee katendi pikemast tööeest, kaaluda võimalust et madalama klassi puhul kasutada mitte 20 aastast tööiga vaid lühemat. Sellega kaasnevad korraga koormussageduse prognoosi kestvus kui ka varutegurite komplekti kasutus. Samas, on loogiline seostada tee klass siiski vastava varuteguriga, loobudes senisest üldistatud käsitlest. Võiks alustada lihtsustatud lähenemisest, püsikatendil I klassi teedel tõstes tegureid ja IV klassi teedel langetades.

7.3 Materjalide elastsusmoodulite korrektuur

Piirdudes käsitluses ainult vene koolkonnaga (2001-52; VSN; ODN; TKP) tasub märkida alljärgnevad erisused:

1. Asfaltbetooni arvutusparameetrid sõltuvad bituumeni penetratsioonist. Täna tasuks eristada polümeerbituumeni baasil valmistatud segud seetõttu, et üldjuhul on tavaks kasutada bituumenit 70/100 ja teiste markide kasutus teedehituses on haruldane. Et madalama klassi teedel on otstarbekas kasutada ka suurema penetratsiooniga (vedelamat) bituumenit, tuleb ka sellisel juhul sätestada vastavad arvutusparameetrid kuna sel juhul enam 70/100 bituumenile optimeeritud lähenemine ei ole adekvaatne
2. Vene süsteemides on eristatud killustike arvutusparameetrid. Kaaluda tardkivikillustiku elastsusmooduli väärtuse 300 MPa või 320 MPa kehtestamise võimalikkust ja selle mõju. Analüüsida killustiku elastsusmooduli sõltuvust terasuurusest ja materjali omadustest (Los Angeles).
3. Seoses TTÜ 2014 ettepanekuga korrigeerida järjestikuste kihtide elastsusmooduli suhtarvu kontrolli metoodikat viisil, mis võimaldab ka kontrollialgoritmi lahendust Excelis (täna skeemis on probleemid kihi funktsiooni määratlemisega sest skeemis näidatud parameetrid ei haaku KAP rakenduse põhimõtetega).

7.3.1 Asfaltbetooni arvutusparameetrid

Asfaltbetooni arvutusparameetritest VSN ja ODN puhul on kirjeldatud sõltuvused bituumeni penetratsioonist, TKP puhul on täpsustatud ja lisatud lisandite kasutusele vastavad näitajad. Tabelis on punasega esitatud võimalik ettepanek, seega kehtestada polümeerbituumeniga asfaldile uued arvutusparameetrid ja kaaluda teiste asfaltbetoonide parameetrite muutust (üldjuhul on valitud parameetrid vastavad 90/130 bituumenile). Pakutud parameetrid on 60/90 ja 90/130 vahel (keskväärtus), kuigi tõenäoliselt tuleks valida lähemale 60/90 väärtustele vastavalt meil kasutatavale bituumenile 70/100. Tõmbepingete arvutuse algoritm on muutunud, näitajad pole üheselt võrreldavad.

Tabel 32. Asfaltbetooni arvutusparameetrid (Valgevene vs Eesti)

Segu	Bituumen/lisand	Tõmbele	Vajumile nihkele			ja Eesti		
			10 kr	20 kr	50 kr	Tõmbe	vajumi 10 kr	Nihke 20 kr
AC surf	Termoreaktiiv	E6100 R14,0	4000	2350	660	5500 – 3,0	4000	2350
	Kummibituumen	E5800 R13,8						
	SBS-lisand	E5500 R13,0						
SMA	60/90	E5600 R11,0	3700	2100	530	4500 – 2,8 5200	3200	1800 1750
	90/130	E4800 R10,5	2700	1400	460			
AC surf/bin	60/90	E4500 R9,0	3200	1800	460	3600 – 2,4 4050	2400 2800	1200 1500
	90/130	E3600 R9,5	2400	1200	420			
AC base	60/90	E2800 R8,0	2000	1200	360	2200 – 1,6 2500	1400 1700	1200 800
	90/130	E2200 R7,8	1400	800	350			

7.3.2 Sidumata killustikusegud

GOST killustiku margi määramiseks

GOST 8269.0-97 määrab proovimeetodi killustiku margi määramiseks “marka po drobimosti”, mille P4.8 kohaselt katsetatakse killustikku silindris D75 mm või D150 mm (silindri kõrgus võrdub diameetriga) hüdraulilise pressiga, väiksema silindri puhul rõhuga 50 kN, suurema pressi puhul 200 kN. Killustik sõelutakse fraktsioonideks 5-10, 10-20 ja 20-40. Kui on vaja katsetada suurema max diameetriga killustikku, purustatakse see eelnevalt max 40 mm teradeks. Silindril D75 on vajalik proovi kogus 0,5 kg, D150 korral 4 kg. Katset võib läbi viia nii kuivas kui veega küllastunud olekus (märja katse jaoks hoitakse eelnevalt kuivatatud proovi vees 2 tundi). Kuni 20 mm killustikku võib katsetada D75 silindris, suurem vajab igal juhul D150 silindrit. Survekatse käigus tõstetakse koormust kiirusega 1-2 kN/sec kuni vastavalt 50 kN või 200 kN tasemele (sõltuvalt silindri diameetrist). Pärast survekatset proovid sõelutakse (D5-10 – sõel 1,25 mm; D10-20 – sõel 2,5 mm ja D20-40 sõel 5,0 mm – teisisõnu, sõela diameeter on veerand fraktsiooni alampiirist). Tulemus $DR = (m - m_1) / m \cdot 100$, kus m on proovi mass ja m1 on sõela jääk pärast surveproovi. Dr väärtus on seega surveproovil terveks jäänud terade mass – mida väiksem see on, seda nõrgem on materjal.

GOST 8267-93²³ tabel 3 alusel määratakse sõltuvalt massikaoprotsendist killustiku mark (settekivimitel ja metamorfsetel kivimitel).

Killustiku purunemiskatse ja LosAngeles katse vaheline seos

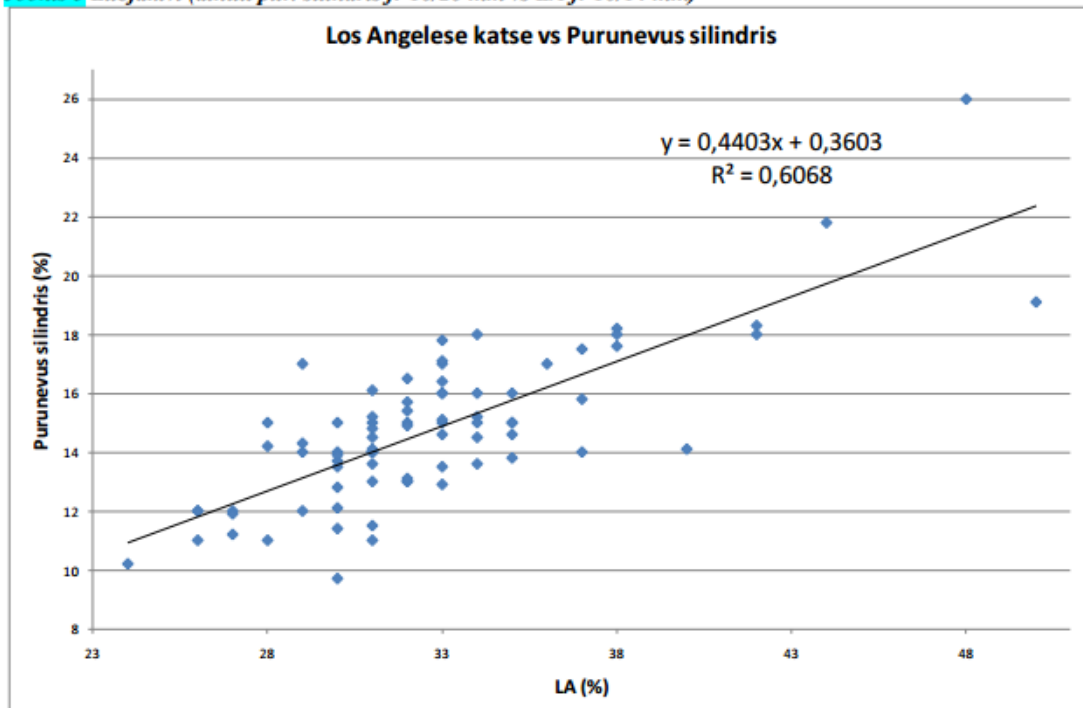
Maanteeameti uurimistöös 2011-1 on uuritud GOST 8269 ja purunemiskindluse EVS-EN 1097-2 seoseid²⁴. Eeldame, et seosed on saadud kuiva materjali katsetamisel.

²³ <http://www.vashdom.ru/gost/8267-93/>

²⁴ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/110812_aruanne_umardunud_terad.pdf

Tardkivi puhul on seos margi ja LA näitaja vahel väga tugev ($R=0,849$), lubjakivil tugev ($R=0,6068$) ja dolokivil alla keskmise tugevusega ($R=0,3573$). Lubjakivi puhul on seose valemiks $Dr=0,4403*LA+0,3603$.

Joonis 5 Lubjakivi (ainult pur. silindris fr 10/20 mm vs LA fr 10/14 mm)



Joonis 5. Paekillustiku tugevusomaduste seosed (Teede Tehnokeskus)

Kuna GOST 8267-93 tabel 3 määratleb purunemisprotsendi seose killustiku margiga, on võimalik üldistatult näidata LA ja killustiku margi vahelist seost. Järgnevalt ongi püütud tabelis esitada purunemiskatse seost killustiku margiga (GOST tabel 3) ja sellele vastavat Los Angeles katse tulemust (Tehnokeskuse töö alusel).

GOST tabelis on toodud:

Tabel 33. Killustiku margi ja silindrikatse seos (GOST) ja võrdlus Los Angeles katsetulemustega

	M1200	M1000	M800	M600	M400	M300	M200
Kuiv katse	Kuni 11	11-13	13-15	15-19	19-24	24-28	28-35
Märg katse	Kuni 11	11-13	13-15	15-20	20-28	28-38	38-54
Los Angeles	<24	24-28	29-33	34-43	44-50		

Järelikult normdokumentides näidatud parameetrid M600 kohta kehtivad meil suure tõenäosusega LA35, LA40 puhul (tavaline paekillustik), M800 vastab LA30 (väga hea paekillustik) ning M1000 vastab LA25 näitajale (esineb harva paekillustikul).

Meie mustkillustik valmistatakse LA35 killustikust, seega Valgevene mustkillustiku parameetreid sellele rakendada ei saaks. Lubjakivikillustike elastsusmooduli osas on Valgevene analoogi alusel võimalik kasutada moodulit 240.

SNiP P7.46 järgi alused killustikust M400 ja nõrgemad, ehitatakse ilma kiilekillustikku kasutamata. Üldiselt võib kiilekillustik olla ühe margiastme võrra madalam. I-III klassi teede alustele sobib M600, IV-V klassi teedel võib kasutada aluses M300 killustikku. SNiP P7.49 sätestab lisakihtide materjali filtratsiooniks vähemalt 1 m/ööp, külmakaitsekihis 0,2 m/ööp, I-III klassi teede lisakihtides võib kasutada killustikku M200.

Killustike ja sidumata segude arvutusparameetrid (TKP)

- Mustkillustik, M1000+, D_{max} 40 – E900
- Frakts. killustik M1000+, kiilutud ja immutatud – E600

- Frakts. killustik, D kuni 70 mm, **settekivimist M800+** (LA33) / tardkivimist M1000+ (LA25)
 - o kiilutud lubjakivikillustikuga – E 450/350 – C 0,07/0,06 – F 48/45
 - o kiilutud freespuruga – 440/330 – 0,06/0,05 – 45/44
 - o kiilutud sõelmetega – 400/300 – 0,05/0,04 – 43/42
- Killustikusegud GOST 25607 – C1-C2 – E 240 – C 0,03 – F 43
- Killustikusegud GOST 25607 – C3-C11 – E 200 – C 0,02 – F 42
- Optimaalse koostisega killustikusegud D kuni 40 mm – E180 - C 0,02 - F 41
- Dolomiitkillustik, **M600+** (LA43), kiilutud freespuruga – E240-C 0,03 – F 46
- Dolomiitkillustik, M600+, kiilutud sõelmetega – E200 – C 0,03 – F 44
- Freespuu, STB 1705 - tüüp A1 – E 240 – C 0,05 – F 46
- Freespuu, STB 1705 – tüüp A2 – E 220 – C 0,05 – F 44

Märkus – murrujoonega antud parameetritel: settekivim/tardkivim (tardkivimi parameeter on väiksem kuna killustik on raskemini tihendatav)

Kiilutud killustikud (GOST 25607-94);

- Killustik 40-80 (80-120) kiilutud
 - o peenema killustikuga – 450/350
 - o peene segu või šlakiga – 400/300
 - o peene aktiivse šlakiga – 450/400
 - o asfaldiseguga – 500/450

Valgevene normides (DMD-02191.2.058-2012) sätestatakse kaheksa erineva granulomeetrilise koostisega killustiku kasutus:

Tabel 34. Killustikusegu elastsusmoodulid (Valgevene)

	M1000+ (LA<29)	M800-1000 (LA 29...33)	M600-800 (LA34...43)	C / E
1 (D120)	320	288	250	0,04 / 42
2 (D80)	330	297	280	
3 (D60)	330	297	280	
4 (D40)	250	225	220	
5 (D120)	370 (asf)			0,05 / 45
6 (D80)	370 (asf)			
7 (D60)	370 (asf)			
8 (D40)	290 (asf)			

Tabelist võib teha järeldused, et:

- freesasfaldiga kiilumisel saame elastsusmooduli 40-50 MPa suurema. Tõsi, antud tabelis on kasutatud tugevaid kivimaterjale, kuid asfaldi freespurus ongi see tugevam materjal. Freesasfaldiga kiilutakse tardkivikillustikke ning see aitab parandada materjali tihendatavust (tekib mõningane nake)
- D120 tavalise kiilumisega on nõrgem (materjal on hõlpsamalt edasi purustatav)
- D60-D80 on suhteliselt võrdsed
- D40 on nõrgem kui eeltoodud
- Meil enamlevinud 16/32 ja 0/31,5 klassifitseeruks tardkivil 250 MPa piirkonda (arvestades "harju keskmist" ehk ka 280 MPa)
- Paekillustikul on enamlevinud LA30, LA35 ja kohati ka LA40 – analoogiliselt võib põhjendada ka 240 MPa.
- Meil kasutatavad killustikud piirduvad reeglina suurema diameetri osas 63 mm-ga, mistõttu tuleks hinnata jämedamaterjalised materjalid (D63) tugevamateks kui peeneteralised (D31,5)

Killustike elastsusmooduli korrektuur (seos terasuuruse ja kivimaterjali tugevusega)

Tabel 35. Ettepanek killustiku elastsusmooduli määramiseks sõltuvalt terasuurusest

Max D	LA 25	LA 30	LA 35	LA 40	LA 45
D 31,5	280	240	220	200	180
D 63	300	280	260	240	200
D 31,5 (kiilutud freespuruga)	300	260	240	220	200
D 63 (kiilutud freespuruga)	350	300	280	260	240

Nõuded kiilumiseks kasutatava freespuru granulomeetrilisele koostisele tuleb täpsustada, võttes aluseks Valgevene normi STB

7.3.3 Seotud kivimaterjalide arvutusparameetrid

ODN järgi on optimaalse koostisega killustiku-kruusa-liiva segu elastsusmoodul **kompleksstabiliseeritud** kattekihis 950 MPa, **aluse kihis 700 MPa, bituumenstabiliseeritud** vastavalt 450 MPa ja **350 MPa** (tabel P3.4). Meil miskipärast valiti bituumenstabiliseeritud materjali mooduliks 500 (teel segatud) ja 600 (seguris segatud) MPa ning kompleksstabiliseeritud 900 MPa (uuestest materjalidest seguris), 700 (asfaldipurust seguris) ja 600 MPa (teelsegamisega). Seega peame õigustatuks ka teel segamisega toodetud KS-segu mooduli tõstmist vähemalt 700 MPa tasemele.

Mustkillustiku moodul kattes on ODN järgi 900 MPa, **aluses 600 MPa** – meil valitud 800 MPa kuigi tegemist on ilmselt aluse materjaliga. Siinjuures juhiks tähelepanu ka TKP viitele, mille kohaselt mustkillustiku parameter 900 MPa kehtib vaid M1000+ kivimaterjali korral – seega on siin tegemist igal juhul ülehindamisega.

Immutatud killustikukihi moodul ODN järgi kattes 600 MPa, aluses 400 MPa, meil valitud 450 MPa tundub loogilisena.

7.4 Järjestikuste kihtide elastsusmoodulite suhtarvu kontroll

VSN tekstis puudub otsene viide järjestikuste kihtide mooduli kontrollile. Projekteerimismäärde varasemates redaktsioonides esineb tabel 4.19 kujul: Normide kehtivas redaktsioonis esineb P4.5 (9), mis sätestab „ebasoovitavate tõmbepingete vältimiseks ülalpool olevas kihis ei tohi selle kihi materjali elastsusmoodul erineda allpool olevast rohkem kui 1,5–5 korda”, kuid otsene tabeliviide puudub.

Viide moodulite suhtarvu

kontrollivajadusele puudub ka Vene koolkonna normide uuemates redaktsioonides. Seoses killustiku elastsusmooduli muutmisega 2009 (280 MPa) läks formaalselt suhtarv juba lubatud piirile AC base ja paekillustiku kontaktpinnal. Käesolevaga muudetava mooduli väärtusega see piir ületatakse. Samas sisuliselt muutust kihtide kasutuses olnud ei ole ja kui see ei põhjustanud probleeme varem (võrreldes, killustiku elastsusmoodulit 400 MPa poorse asfaldi mooduliga) on muudatused vaid formaalsed.

Soome normides on kasutusel 6-kordse erisuse põhimõte – võrreldakse materjali elastsusmoodulit materjali all arvutatud kandevõime väärtusega (NB! – mitte materjalide elastsusmooduleid) ning juhul, kui see erineb üle 6 korra (sidumata kihtide puhul), kasutatakse materjali moodulist vaid kuuekordne selle all arvutatud kandevõime väärtus. Algoritm on lihtsamalt realiseeritav, puudub

Tabel 4.19

Üksteisele järgnevate katendikihtide materjalide E-moodulite suurimad lubatavad suhtarvud

Katendikiht	E-mooduli suhe	
Asfaltsegust püsikate	2–3	3–5
Sideainetega töödeldud alus	2,5–3,5	
Sideainetega töötlemata alus või aluse alumine kiht	1,5–3	3–4
Dreenikiht, lisakiht	2–4	
Mulde pinnas		

Märkus. Suuremaid väärtusi kasutatakse paksude kihtide puhul.

vajadus täpsemalt määratleda, millised kihid on dren kihid ja millised aluse alakihid (tegeliikkuses funktsioone ühildatakse). Lisandub vajadus määratleda kordaja (mis sidumata kihtidel on 6) ka seotud kihtidele. Soome näite puhul on see suhtarv seotud kihtide jaoks kõrgem.

Erinevus senise (2001-52 fikseeritud) meetodiga võrreldes seisneb esiteks, kihtide moodulite võrdluse asemel kihi ja selle all arvutatud kandevõime võrdluses ning teiseks, piirväärtuse ületamisel ei tule katendit ümber konstrueerida (lisada näiteks, madala koormussagedusega teedel killustiku ja asfaldi vahele mustkillustikku), vaid järgneva kihi elastsusmoodulist saab kasutada kandevõime kordse väärtuse.

KAP kontekstis on lahendus võimalik kahel viisil – üks, et esitatakse projekteerijale hoiatus „elastsusmoodulite suhtarv ületab lubatu“ või teine, mille korral igale materjalile lisatakse arvutusparameetrite hulka kordaja piirväärtus.

7.5 Teeregistri andmete kasutamine tee remondi projekteerimisel

Teeregistri andmetest on võimalik kasutada tee defekteerimise informatsiooni ja tee kandevõime mõõtmise informatsiooni.

Defekteerimise tulemused koos kattekihtide vanuse infoga võivad anda viite selles osas, kas defektid võivad tuleneda lihtsalt vananemisest või võivad olla põhjustatud defektidest sügavamates katendikihtides.

Katendi kandevõime mõõtmiste andmetest on registris kandevõime mõõtmishetke käsitlev info (aeg, temperatuur ja ka langeva koormuse raskus). Kandevõime väärtus on taandatud võrreldavaks, kuid tee konstruktsioonikihtide seisundiindeksite (SCI, BDI, BCI) väärtused ei ole taandatud.

Esmalt arvutatakse välja vajalik kandevõime väärtus, mis tugineb koormusprognosile. Seda võrreldakse FWD mõõtmistulemusega. Kui kandevõime on piisav, siis analüüsitakse defekte ja valitakse sellest tulenevalt katendi remondimeetod (kuumtaastamine, freesimine ja ülekate või ainult ülekate). Igal juhul analüüsitakse ka FWD indeksite väärtuse vastavust vajalikule kandevõimele. Esmalt taandatakse indeksite väärtused võrreldavaks (temperatuuri ja langeva raskuse korrektuur deformatsioonide väärtustes ja sellest tulenevalt uued indeksite väärtused). Indeksite väärtuse analüüsil juhendatakse Rambolli töös 2011-18 välja toodud seostest.

Kui FWD indeksite järgi on probleem ainult katendi ülakihis, on võimalik piirduda asfaldikihtide asendamisega.

Keskmise kihi probleemide korral tuleb asendada ka killustikukiht.

Alakihi defektide osas kontrollitakse esmalt kas need defektialad kattuvad sildade ja truupide asukohtadega – kui seejuures eeldatakse ka silla pealesõidu remonti või truubi asendamist, kaasneb sellega automaatselt kogu konstruktsiooni, sh katendi rekonstrueerimine selles osas. Aladel, mis ei seonu otseselt sildade-truupidega, võrreldakse esmalt geoloogiauuringus tuvastatud veesügavust normis lubatuga (125 cm katte pinnast ka katte servas). Järgnevalt võrreldakse geoloogiauuringu tulemusi, kas leidub tee konstruktsiooni all külmumissügavuse ulatuses külmakartlikke pinnaseid. Kui FWD indeksite järgi on tuvastatud probleem alakihis ja sellega kaasneb ka veetaseme või aluspinnase probleem, tuleb probleemne aluspinnas asendada ning veerežiim korrigeerida.

Põhimõtteliselt on võimalik ka kandevõime mõõtmistulemuste alusel arvutada välja vajalik ülekatte paksus, kuid see eeldab katseteid, tuginevalt Soome praktikast Odemarki valemi kasutuses, enne kui seda meetodit saab juhendisse lisada kohustuslikuna.

8 KASUTATUD ALLIKAD

Kasutatud allikad on vormistatud igal lehel joonealuse märkusena

1. 2001-52 – Elastsete teekatendite projekteerimise juhend (Maanteeamet)
2. VSN 46-83 – Nõukogude Liidu Üleliiduline Ehitusnorm (1983)
3. ODN 218.046-01 – Vene Föderatsiooni elastsete teekatendite projekteerimisjuhend
4. MODN 2-2001 – SRÜ elastsete teekatendite projekteerimisjuhend
5. TKP45-3.03-112-2008 – Valgevene elastsete teekatendite projekteerimisjuhend
6. Carl Rothenburgi aruanne Maailmapangale Vene projekteerimisnormide kohta, 1993
7. 2001-52 pinnaste klassifikatsiooni juhendi kohandamine (TTÜ/Maanteeamet 2014)
8. 2011-18 Riigimaanteede tugevdamise maksumuse hindamine (Ramboll/Maanteeamet)
9. I-E L Trangen magistritöö (NTNU 2016)
10. MEPDG – Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (USA 2004)
11. Bituumeniuuring – (TTÜ/Maanteeamet 2015)
12. GOST 25607-2009 – Killustiku-liiva-kruusa segude standard (2009)
13. Peyman Babashamsi et.al – Katendi elukaare analüüs (2016)
14. MEPD Osa 3 projekteerimine-analüüs Peatükk 1 – Drenaaž (2004)
15. Katendi drenaažisüsteemide ehitamine – juhend (FHWA 2002)
16. T.Schlegel et.al – Katendi elukaare osalise hindamise piiridest (2016)
17. Tee projekteerimise normid (MTM määrus 106 lisa; 2015)
18. Geotehniliste pinnaseuuringute juhend (Maanteeamet 2015)
19. 2015-8 – Juhendi 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas (Kendra/Maanteeamet)
20. Teetööde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022 (TTÜ/Maanteeamet 2013)
21. 2015-42 - Ehitusmaavarade varustuskindlus Maanteeameti objektidele (ERC/Maanteeamet)
22. SN-449-72 – Maantee ja raudtee muldkeha projekteerimise juhend (1972)
23. GOST 8267-93 – Ehituskillustiku ja kruusa standard (1993)
24. 2011-1 – Erinevate purustus- ja ümardusastmega killustike analüüs (TTK/Maanteeamet)

LISAD

Lisa 1. Rootsi töökoosolek

Lisa 2. Iirimaa töökoosolek

Lisa 3. Leedu töökoosolek

Lisa 1 - Rootsi töökoosolek

Ain Kendra, Taavi Tõnts, Sven Sillamäe. 29.09.2016

Tähelepanekud:

Rootsis on 6 teljega lubatud vedada 48 t (Eestis sama 44 t). 7 teljega veetakse 64 t. Nad näevad, et 72 t tuleb nagunii (9 või 10 teljega). See tekitab madalama erisurve tee, kui 6 telje ja 64 t.

Teevad kolme suurt uurimisprojekti:

- Single vs topeltrehvid;
- Telgede arv üksteise järel, kuidas mõjutab telgede arvu tõstmine koos täismassi tõstmisega (Sigurdur teeb seda uuringut. Ta tegeleb ka põhjas oleva teega, millel on andurid sees);
- Koormamine nõrkadel pinnastel

Nendel on kandevõimeklassid 1...3, kuid nad ei mõõda kandevõimet.

Praod, ebatasasused ja roopad on need, mis näitavad probleeme teedel.

Peamised probleemid kandevõimetega pole neil mitte teedega, vaid sildadega.

Single tyres 4,9x halvem väsimusele ja 3,5x halvem roopa tekkele võrreldes topeltrehviga

Rootsis on 98000 km riigiteid + 41600 km tänavaid + 76300 km teid, mida riik rahastab, kuid muidu nendega ei tegele ja siia juurde veel ca 100'000 km teid, millega riik ei tegele (metsateed jms). Riigiteedest 19300 km on kruusateed ja 2050 km on kiirteid (120 km/h).

Frederik Linström – tema on vastutav Rootsi teeregistri osas (<https://pmsv3.trafikverket.se/>)

Kogu riigiteede võrk on sees teeregistris ning selle alusel otsustatakse, mida ja kui palju tehakse.

Töövõtjal on täpselt sama info, mis tellijalgi ning keegi ei saa öelda, et nad ei teadnud midagi.

Geoloogilised uuringimised – kasutatakse igasugused eri meetodikad, mis on levinud, et saada kätte vajalik info. Ei ole standardiseeritud, mida peab kindlasti kasutama (nagu Eestis).

Filtratsioonimoodulit nad ei kasuta - ei ole probleemi kuna 0/125 (420mm) jämetäitematerjal on katendi all valdavalt ning see laseb vett piisavalt läbi.)

Külmakaitsekihi omadused ja kuidas arvestatakse selle all oleva kihi omadusi? Külmakaitsekihina kasutavad kas purustatud kaljut või liiva olenevalt sellest, kumb on saadaval. Moreeni nad teekonstruktsioonides ei kasuta. Nõutavad omadused katendikihtide materjalidele võivad olla väga laia skaalaga.

Kõik (uued) teekatendid on sellised, et asfaldi all kasutavad 8 cm 0/32, mille all on 42 cm 0/125, mille all külmakaitsekiht (Skyddslager till belagda vägar), mille vajalik paksus tuleb külmakerkearvutusest (kui see on õhem, kui 20 cm, kasutatakse selle asemel 0/125) – peenosist mitte üle 9%. Katendiarvutus muudab vaid asfaltkatte paksust. Nende põhimõtte on see, et teed peavad olema avatud kogu aasta ringi.

Materjalide nõuded:

https://www.vti.se/global/vti%20erbjuder/vba/obundna%20lager%20f%C3%B6r%20v%C3%A4gkonstruktioner%20tdok%202013_0530.pdf

Katendiarvutus:

<http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/tekniska-dokument/vagteknik/pms-objekt/>

Autod ühel rajal (mitte ühel suunal) - ADTk

Stabiliseeritud katendikiht arvutatakse koos asfaltkihtidega (all on ikka „tüüpkonstruktsioon“).

Kõik materjalid (külmakaitsekihis kasutatavad) on spetsifitseeritud – omade lähteandmetega.

Külmakerkearvutuses kasutatakse teeilmajaamade andmeid – külmakerge arvutatakse iga aasta andmete kohta (kui teeilmajaamast on saadaval 20 aasta andmed, siis tehakse 20 arvutust).

1,7% kasvab liiklus kesklmiselt aastas (euroteedel on kiirem kasv). Raskeveokite hulka arvestatakse vaid üle 3,5 t täismassiga sõidukid.

Kiirteedel 2 cm lubatud külmakerge, väiksematel teedel rohkem. Rootslastel on külmakerge seotud liiklussageduse ja liikumiskiirusega.

Kompleksstabiliseeritud kihti neil arvutustes pole.

PMSi taust:

1994 alustati VTIs projekti tegemaks uut katendiarvutusprogrammi. BISAR (Shell'i katendiarvutus) oli selle aluseks kihiliseks arvutuseks.

Hobiprogrammeerija tegi uue programmi, mis pidi saama samad tulemused mis BISAR. Ja seda ta sai.

Väsimusarvutuseks kasutati valemit – seda me ei tohi nendelt kopeerida, kuna see kehtib nende asfaltbetoonile (asfaldi alakihis pehme bituumen). Vastasel juhul saame vale arvutusväärtuse. Sisuliselt on tegemist *fourth power law*. See on kalibreeritud alumise kihi bituumenile 160/220 ning olukorrale, kui asfaltkihtide kogupaksus on vähemalt 75 mm. Selle järgi peaks tegema iga ca 14 aasta tagant ülekatte (asfaltkatte väsimuse tõttu).

Eesmärgiks oli, et katendi eluiga oleks 20 aastat.

Peamiseks probleemiks on roopad (lubatud 64t, singlid, kavandavad 74t, 2017a), aga ka stabiilsus sidumata kihtides (suurematel teedel). Väiksematel teedel on ka stabiilsuse probleeme, kuid need on sügavamal (*do not have enough pressure on the sides*).

Nendel on kolm katendite lahendamisvarianti:

1. Kuni 500'000 ESAL kasutatakse tüüpkatendit (DK1)
2. PMS Object (DK2)
3. Tee, kuidas tahad, kuid kirjelda nullist kõik vajalik + põhjenda. See on väga suur töö. Põhimõtteliselt FEMi või muu taolise kasutamine. Kasutatakse kui on PPP või projekteeri-ehita-hoolda leping

Objektipealne kvaliteedikontroll. Töövõtjad teevad ise oma kvaliteedikontrolli (nad peavad kõike kirjutama, mis omadusi kontrollitakse). Maanteeamet teeb pistelisi kontrole.

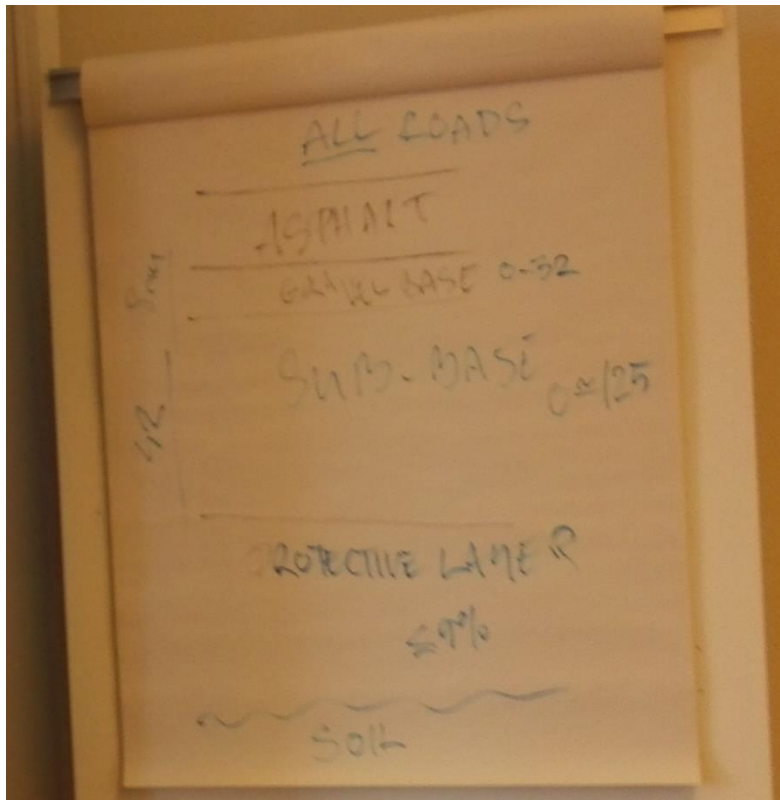
Teevad kandevõimemõõtmisi staatilise plaadiga. Neil on tabelkujul väärtused, mis peavad saama tagatud – mõõtmiskohad PMSi juhendis ja numbrilised väärtused IFS 2009.

Sellist kontrolli ei ole, nagu Eestis. Eeldatakse, et kui tehakse nii, kuidas projekteerimisjuhendi nõutud, on kõik OK.

Peaaegu alati, kui nad näevad tees enneaegselt roobast või pragusid, on probleem ehituses või kasutatud materjalis (näiteks probleemid asfalditehases).

PPP projektidega nad ei näe mingisugust innovatsiooni. Üritatakse vaid kasutada õhemaid kihte ja teenida rohkem raha. Seetõttu peab Maanteeamet sekkuma liiga palju ja liiga tihti. Näiteks saavutatakse väga kõrged killustikaluste tihedused, mis annab mõõtmisel suured kandevõimed ja mistõttu vähendatakse asfaltkihtide paksusi. Selle peale mängitakse juba pakkumise ajal. Väliskurvides arvestatakse, et autod seal nagunii ei sõida ja asfalti pannakse minimaalselt, mis hakkab hiljem kiiresti pragunema.





PMS Objekt - ülevaade

PMS Objekt - päritolu ja võrdlus teistega

PMS Objekt tarkvara on võrreldud Taani MMOPP2013 toimiva rakendusega ja Saksa uue rakendusega ADtoPave (Analysing and Dimensioning Tool for Pavements), mis on kavas rakendada programmi valmimisel. Kolme erineva rakenduse funktsionaalsust, ja toimivust võrdles Ida-Elise Lindset Trangen oma Norra ülikooli (NTNU) magistritöös²⁵ (juuni 2016) – juhendaja Helge Mork. Töö eesmärgiks oli leida rakendus, mis võiks asendada senise Norras kasutatava süsteemi. Norra mudel on empiiriline, indeksmeetod mis tugineb tabelitel ja valemitel “Handbook N200 Road Construction” (süsteem baseerub USA varasematel töödel, seetõttu on ka põhikoormusena 8-tonnine telg ja sellest on üle mindud 10-tonnisele). Töös on võrreldud M-E (mechanistic-empirical) projekteerimismeetodeid, mis võtavad arvesse rohkem kohalikke tegureid. Kõigil kolmel võrreldud rakendusel on oluliselt erinev funktsionaalsus ning neid on testitud konkreetsete näidete varal.

Esimeses katses analüüsiti horisontaalpingete arvutust asfaldi alakihis (MMOPP/PMS Objekt). Teine test oli kolmeosaline, esimeses osas hinnati programmi käitumist etteantud konstruktsioonidele. Esimene katend oli Norra empiirilise mudeli tulem, teine aladimensioneeritud ja kolmas üledimensioneeritud. Teises osas võrreldi optimaalseid katendeid – iga programm pakkus välja oma eelistuse. Kolmandas osas võrreldi optimaalseid lahendusi kuid ilma külmakaitsekihita – et võrrelda tulemusi ka juhul, kui program külmakindlusarvutusi ei teostanud. Viimane test käsitles kasutuskõlblikkust ja hindas nii positiivseid kui negatiivseid aspekte. Kokkuvõttena:

- MMOPP ja ADtoPave ei käsitlenud piisavalt külmakindlusarvutusi
- MMOPP on liiga lihtne, kasutab palju asfaldi (teedehituseks sobilikku kivimaterjali napib Taanis, liivad on nõrgad ja seetõttu tuleb tugevus saavutada ülakihtides)
- ADtoPave on saksakeelne ja liialt komplitseeritud
- AASHTOWare Pavement ME Design tarkvara katsetati, kuid tehniliste raskuste tõttu ei ole seda võrreldud (litsents, lähteandmete kompleks)

Et teiste rakenduste külmakindlusarvutused ei osutunud piisavaks soovitati Norra jaoks kasutusele võtta PMS Objekt. Samad järeldused pädevad ka Eesti suhtes, kuna kliima probleemid on Eestis lähedased Rootsi ja Norraga.

PMS Objekt - alused

PMS on loodud BISAR (Shell – Bitumen Stress Analysis in Roads) eeskujul, kuid arvestades konkreetset Rootsi tingimusi ja kasutajate vajadusi. A.J.Bush ja G.Y.Baladi (1989) võrdlesid BISAR ja WESLEA tarkvarasid, mis on aluseks mitmele tänapäevasele süsteemile. MMOPP ideoloogiliseks allikaks võib lugeda WESDEF (WESLEA) tagasiarvutustarkvara (FWD mõõdetud deformatsioonidest elastsusmoodulite/kandevõime väärtusteni). BISAR ja WESLEA erinevus seisneb põhiliselt katendikihtide vahelise hõõrde modelleerimises, BISAR järgi on nakke muutus lineaarne täielikust nullini, WESLEA järgi määrab hõõrde Coulomb'i valem ning iga vertikaalse survega kaasneb ka nihkepinge, kuid nihkepinge võib areneda kuni teatud piirväärtuseni, selle järel nake kaob.

PMS kuulub mehhanistlik-empiirilisse klassi ning seda võib käsitleda alamudelitena

- Koormusmudel (ringikujuline rattajalg; staatiline koormus ja summaarsed standardteljed)
- Kliimamudel (temperatuur, vesi)
- Materjalimudel (isotroopne, lineaarelastne)
- Struktuurimudel (lõpmatu elastne poolruum)

²⁵ https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2399071/15027_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Katendi kulumise mudel (naastrehtvide mõju)

Eeltoodust vaid kulumise mudel on empiiriline, teised teaduslikel (füüsikalistel) alustel PMS arvutusalgoritme ja materjaliparameetreid ning katendi konstrueerimise reegleid on detailsemalt kirjeldatud juhendis TRVK Väg – TRV 2011:072²⁶.

Rootsi katendite projekteerimise nõuetest

Rootsis kasutatakse kolme katendite projekteerimise klassi:

- DK1 - tüüpkonstruksioonid teedele, mille koormussagedus jääb alla 500,000 normtelje 20 aastaga (ligikaudse arvutuse alusel 7 normtelge ööpäevas)
- DK2 - lahendatakse PMS Objekt tarkvaraga ning
- DK3 - kui on tegemist komplekslepinguga, mis katab nii projekteerimise, ehitamise ja hoolduse ja sellisel juhul ei kehti normid ja nõuded materjalidele ja töödele, ainult nõuded teekatte kvaliteedile (performance-based contract). Kasutatakse arenenud mehhanistlikke arvutusmeetodeid ja laboratoorseid katseid, kuid detailse lähenemise määrab töövõtja kooskõlastades selle siiski tellijaga.

Siit tulenevalt on Eestis mõistlik ka edaspidi madala liiklus- ja koormussagedusega teedel kasutada tüüpkatendeid – Maanteeameti kodulehel on soovituslikud konstruksioonid, mis vajaksid veidi kohendamist. DK3 vastava reglemendi rakendamine eeldab siiski stabiilsemat ettevõtluskeskkonda ja ka tellijapoolset kompetentsi protsessi reglementeerimisel, sest siin ei saa kasutada tüüplahendusi ega tavalahendile sobivat juhendmaterjali.

Järgnevalt käsitleme ainult skeemile DK2 vastavat katendite projekteerimist

Kliima



Rootsi on jagatud kliimatsoonideks. Eesti tingimused peaksid langema tsoonidesse 2...4 (seda tuleb täpsustada konkreetsete võrdlustega). Programmis valitakse esmalt kliimatsoon (1...5) ning hiljem täpsustatakse tee asukoht kaardil, mille tulemusena valitakse lähim ilmavaatluspunkt ja selle temperatuuride aegrida.



Average Annual Minimum Temperature

°C	Zone	°F
-40 to -35	3	-40 to -30
-35 to -29	4	-30 to -20
-29 to -23	5	-20 to -10
-23 to -18	6	-10 to 0
-18 to -12	7	0 to 10

Kaardil on toodud piirkonna miinimumtemperatuurid. Vastavalt kliimatsoonile valitakse materjalide arvutusparameetrid erinevatele aastaaegadele. Asukoht kliimatsooni piires määrab arvutusparameetrid külmakindlusarvutuseks.

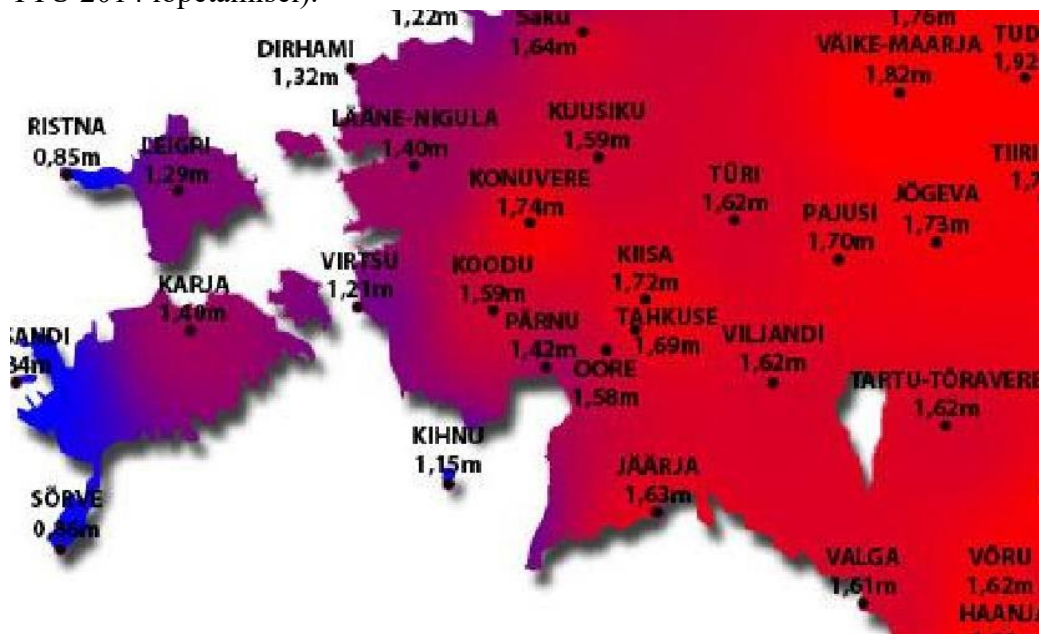
Materjalide omadused on fikseeritud igale aastaaajale, antud kontekstis ei tegelda astronoomiliste aastaaegade. Tabelis on toodud aastaaaja kestus päevades ja keskmine temperatuur asfaltkattes 5 cm sügavusel (välja on jäetud ekstreemsed tsoonid 1 lõunast ja 5 põhjast, mis kindlasti ei esine Eestis).

²⁶ https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10750/RelatedFiles/2011_072_TRVK_vag_2.pdf

Aastaaeg/tsoon	2		3		4	
Talv	80 p	-1,9 C	121 p	-3,6 C	151 p	-5,1 C
Sulaperiood talvel	10 p	1,0 C				
Teedelagunemisperiood kevadel	31 p	2,3 C	45 p	4,5 C	61 p	6,5 C
Kevad	15 p	3,0 C				
Suvi	153 p	18,1 C	123 p	17,2 C	77 p	18,1 C
Sügis	76 p	3,8 C	76 p	3,8 C	76 p	3,8 C

Eestis tuleks analüüsida seda jaotust ning vastavalt leida ajaperioodidele adekvaatsemad kestvused. Võimalik on seejuures ka perioodi keskmist temperatuuri korrigeerida, kuigi see toob kaasa kliimast sõltuvate arvestusparameetrite muudatused vastavatel perioodidel.

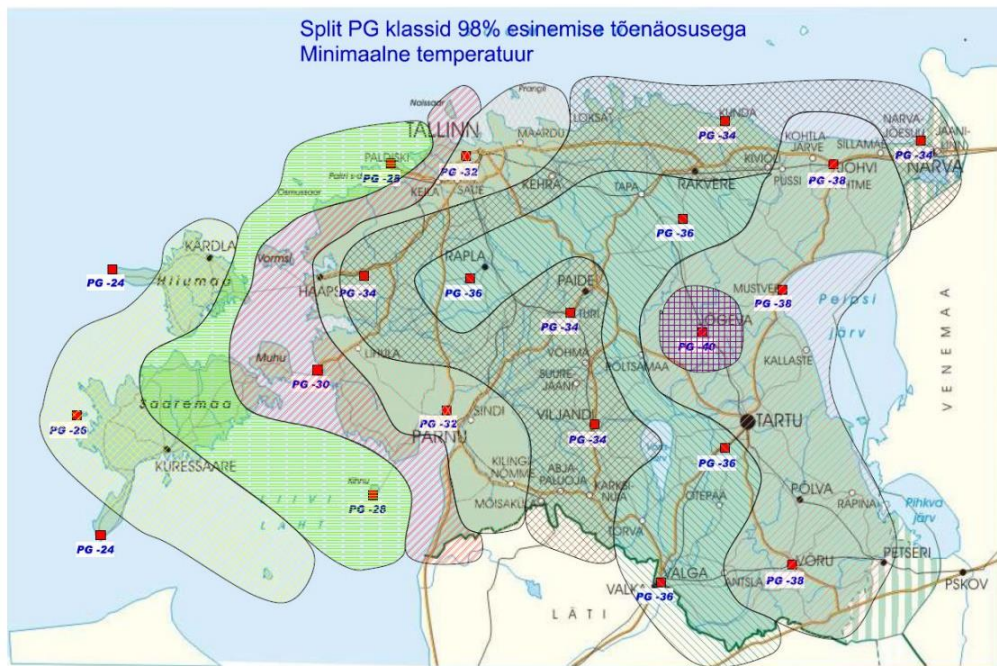
Eesti kliimatsoonide jaotust on uuritud külmumissügavuse teemas (Mart Olmanni tööd TKTK ja TTÜ 2014 lõpetamisel).



Kaart 1. Teede külmumissügavus (M.Olmann 2015)

Sarnane lähenemine esineb ka bituumenite uurimistöös²⁷ (TTÜ 2015 Maanteeameti tellimusel) – joonis 5.12

²⁷ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/bituumeniuuring_2015.pdf

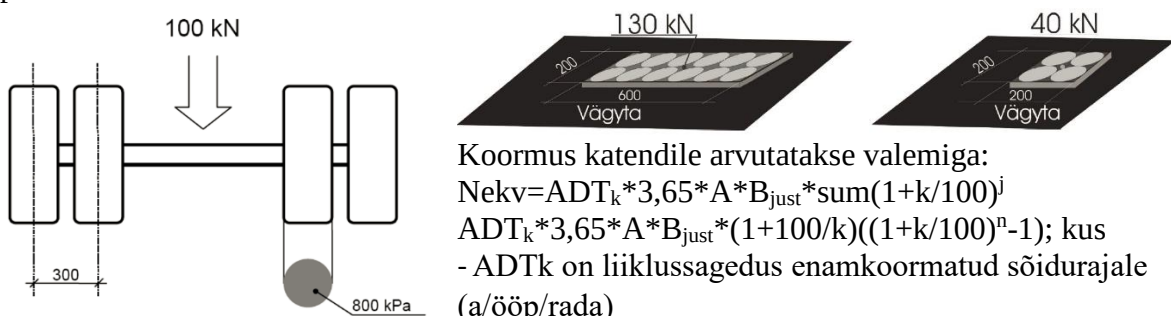


Kaart 2. Eesti "alumise temperatuuri tsoonid" (S.Sillamäe 2015)

Liiklus ja koormus

Dünaamilise koormuse jaoks loetakse standardteljeks 10-t telge paarisratastega mille rehvide tsentrite vahe on 300 mm (vastab rehvilaiusele 285 mm) ja rehvirõhk 800 kPa. Katendi tööiga on tellija poolt ette antav (vaikeväärtuseks siiski 20 aastat).

Staatilisele koormusele kontrollitakse katendeid sõiduteede puhul 130 kN koormusele mis jaguneb plaadile 200*600 mm. Kergliiklusteete puhul on kontrollkoormuseks 40 kN 200*200 mm plaadile.



Koormus katendile arvutatakse valemiga:

$$N_{kv} = ADT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B_{just} \cdot \sum (1 + k/100)^j$$

$$ADT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B_{just} \cdot (1 + 100/k) \cdot ((1 + k/100)^n - 1); \text{ kus}$$

- ADT_k on liiklussagedus enamkoormatud sõidurajale (a/ööp/rada)

- A on raskesõidukite protsent liikluses
- $B_{just} = B \cdot f_a \cdot f_b \cdot f_c$, korrigeeritud siirdetegur, kus
 - f_a – sõiduraja laiuse parandustegur, kitsamal teel koormus kontsentreeritud
 - f_b – tee kategooria parandustegur, kõrgema kategooria teedel suurem varutegur
 - f_c – referentskiiruse parandustegur, suurem kiirus langetab, väiksem tõstab ja
 - B – raskesõiduki siirdetegur (kaalutud keskmine üle 3,5-tonniste sõidukite kohta)
 - siin tuleb arvestada Rootsi standardtelje rehvirõhku 0,8 MPa millest tulenevalt võib siirdetegur 1,5-1,6 korda väiksem olla meie 0,6 MPa järgi arvutatuga võrreldes. Rootsi siirdetegurite juhises ei arvestata rehvirõhu erisusi, rehvi mõõtu, vedrustuse tüüpi ega telgedevahelist kaugust. Samas ei välista Rootsi skeemi kasutamine nende tegurite arvestamist, mis täna Taani eeskujul meil rakendatud on, lihtsalt tuleb tegur taandada arvestuslikule 0,8 MPa rõhule.
 - lisaks, kaasatakse arvutustesse KÕIK sõidukid mille täismass on üle 3,5 tonni, mistõttu kaalutud keskmine liigub veelgi allapoole.
- n – dimensioneerimisperiood

- k – raskesõidukite liiklussageduse kasvuprotsent aastas
 - kasvuprotsendid võetakse vaikumisi sõltuvaks tee klassist ning kuna koormuse numbri muutus on suhteliselt vähe tundlik lõpptulemuse suhtes, siis ei pöörata sellele liigset tähelepanu ja kasutatakse üsna suuri üldistusi

Programmis arvestatakse eraldi autoliikluse (sõiduaudod, kuni 3,5 tonni) ja raskeliikluse (üle 3,5 tonni) iga-aastast kasvutempot ning leitakse summaarne kumulatiivne koormus. Üldise autoliikluse arvestus ei kuulu katendi tugvusarvutuse alla vaid on oluline modelleerimisel arvestamiseks tõenäolist asfaldi kulumiskiirust (lähteandmetes on ka naastrehvide kasutuse osakaal ning naastrehvide kasutuse lubatud aeg päevades). Andmed tuginevad liiklusloenduste tulemustel, WIM kasutatakse juhul, kui samal trassil valmistatakse ette mitme lõigu projekteerimist. Üldiselt on välja kujunenud arvestuslikud kasvuprotsendid sõltuvalt tee funktsionaalsest jaotusest. Raskeliikluse osakaal üldjuhul peateedel 14%, regionaalteedel 8% ja kohalikel teedel 5%. Loomulikult, kui loendusega selgitatakse välja täpsemad numbrid siis kasutatakse neid.

Rootsi siirdetegurite arvutuse aluseks on sõiduki teljemasside ja normtelje massi suhte neljanda astme summa (telje või hiljem ka teljegrupi põhisel)²⁸, kontrollarvutuseks valiti varem neli-viis enamlevinud sõidukit kuid WIM kasutus (B-WIM = Bridge-WIM, 14 fikseeritud kaalupunkti) võimaldab täpsemate arvutuste teostust ka suuremas mahus. Arvutuslik siirdetegur B oli erinevatel teedel 2004-2005 andmetel vahemikus 0,5...2,5, siirdetegur oli erinev ka sõidusuundade lõikes. Kasutades Eesti statsionaarsete kaalupunktide (WIM) andmeid, on võimalik leida analoogsed siirdetegurid. Võrreldes Taani meetodiga arvutatavatega (sellel tuginevad ka meil praegu kehtivad tegurid) on Rootsi siirdetegur väiksem kuna esiteks, WIM-põhiselt kaasatakse arvutusse kõik üle 3,5-tonnise täismassiga sõidukid ning teiseks, ei arvestata rehvi laiuse, rehvide konfiguratsiooni ja rehvirõhuga (konfiguratsioon on kaudselt arvestatud tee liigi määratluses, super-single osakaalu teguriga, kuid sama esineb ka Taani süsteemis). Nimetatud Taani süsteemis arvestatavate tegurite kasutamine on siiski probleemne kuna parameetrid on raskesti mõõdetavad.

Materjalid

Pinnased on määratud vastavuses SS EN 14 688-1 ja SS EN 14 688-1 standarditele mis kehtivad ka Eestis. Pinnaseks loetakse materjalid jämeosise >630 mm sisaldusega kuni 1%.

Materjali tüüp	Kalju-pinnase tüüp	Kõvadus kuul-veskis (Nordic)	Kaaluprotsent x/y			Nimetused	Külma-kindlus klass
			Peen-osis 0,063/63	Savi 0,002/0,063	Orgaanika %/63		
1	1 2	≤18 19-30	<10		≤2		1
2			≤15		≤2	Bo, Co, Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, SaMn	1
3A	3	>30	≤30		≤2		2
3B			16-30		≤2	siSa, siGr, siSaMn, siGrMn	2
4A			30-40		≤2	clMn	3
4B			>40	>40	≤2	Cl, ClMn	3
5A			>40	≤40	≤2	Si, clSi, siCl, SiMn	4
5B					3-6	gyCl, gySi	4

²⁸ Road wear from heavy vehicles - 2008, <http://nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=261>

6A					7-20	clGy	3
6B					>20	Pt, Gy	1
7	Muud materjalid						

Rootsis on kivimaterjalide purunemiskindluse hindamiseks valitud Nordic katse (EN 1097-9; VVMB 612) seetõttu et sama tardkivikillustikku võidakse kasutada nii asfaldis selle kulumiskihis kui ka aluses. Katse spetsiifika ei kajasta kivimaterjali töötingimusi aluses ja seetõttu põhimõtete adapteerimisel tuleb valida teised väärtused näiteks LA katsest (EN 1097-2). Konkreetsete väärtuste täpsustamiseks tuleb võrrelda laboritulemusi Nordic ja LA katsetel samadele materjalidele.

Sisuliselt võrreldes materjale 1, 2 ja 3, tuleb leida erinevatele paekillustikele sobivad kohad tabelis, sest selle kaudu on määratud ka materjalide arvutusparameetrid. Materjalide parameetrid sõltuvad kihipaksusest (seotud materjalidel) ja niiskuspakkonnast (dräneringsgrad; sidumata materjalidel – eraldi uued materjalid või juba oleva tee konstruktsioonist).

Pinnaste liigitust võiks pidada pinnapealseks, kuid arvestades asjaoluga, et ka Eestis senikehtiva liigituse korral (GOST; KAP) jagatakse pinnased vaid nelja gruppi, on üldistusaste lähedane. Olulised erisused tulenevad aga materjalide omaduste sõltuvuses niiskuspakkonnast ja mis meil täna puudub, olemasoleva konstruktsiooni materjalide (mis võivad olla juba degradeerunud), omaduste arvestamises.

Väga selgelt on seotud pinnaste/materjalide külmakindlusklassid (neli klassi) pinnase liigitusega EN 14688 alusel.

Parklate katendiarvutus tugineb kiirusel 50 km/h ja koormusel 500,000 normtelge enamkoormatud rajale. Kergliiklusteede ekvivalentkoormuseks loetakse 150,000 normtelge (45 mm asfaltbetooni killustikust tasanduskihil).

Programmis võrreldakse kokku nelja näitajat

- horisontaalsed pinged asfaldi alakihis, kuid arvestades et asfaldikihtide kogupaksus on üle 7,5 cm ja asfaldi alakiht on tehtud bituumeni 160/220 baasil – soovides seda kriteeriumit kasutada ka 70/100 bituumenil, tuleb valem kalibreerida. 160/220 tagab bituumenile ka külmal aastaajal piisava elastsuse ja pragudekindluse (tõenäoliselt tasub ka meil see juurutada, kuid selleks tuleb katsetada asfaldi retseptidega, et saada garanteeritult sobivad poorsus- ja tihendusnäitajad) – arvutuslikku koormust võrreldakse horisontaalpingetest tuletatud ressursiga
- survepinged aluspinnasel – arvutuslikku ressursi võrreldakse kahekordse katendi töökoormusega
- staatilise koormuse survepinged aluspinnasel
- arvutuslik külmakerke ulatus, arvestades detailse ilmavaatluspunkti andmetega 20-aastases perioodis (valitakse kriitiline sellest vahemikust). Võimalik on korrigeerida lubatud külmakerke moodustumise kiirust aluspinnase tasemel ja kogu konstruktsiooni peal, samuti juhul, kui ei õnnestu tagada nõutavat veetaseme kõrgust, korrigeerida veerežiimist tulenevat tegurit

Katendi konstrueerimine

Rootsi katendite konstrueerimisel on üldjuhul tegemist tüüpse alusega, lisakihid aluse all (külmakaitsekiht) on määratud külmakindlusarvutusega. Asfaldikihtide dimensioneerimine tugineb prognoositaval koormusel.

Rootsi aluseks on 50 cm tardkivikillustiku kiht – 42 cm 0/125 ja 8 cm 0/32 tasandamiseks. Selle all vajaliku kihi määrab külmakindlusarvutus. Et tardkivikillustik Eesti tingimustes on samuti importmaterjal, tuleb püüda seda asendada kohalike materjalidega. Seetõttu konstrueerime katendi aluse kompleksstabiliseeritud ülakihi ja paekillustikust alakihiga (see omakorda kahekihilise, alakiht jämedateralisest killustikusegust 32/63 ja ülakiht 16/32 mis paigaldatakse koos KS 32 vajaliku killustikuga) . Paekillustikust alakihil on seega ka vee väljaviimise funktsioon. Arvestades, et soovime killustikaluse viia välja mulde nõlvani ja seda ei kaeta ka kasvupinnasega, siis peaks vee väljavoolu kanal põhimõtteliselt olema avatud ning paekillustik ei tohiks jääda

pikaks ajaks niiskesse režiimi. Kui ehitusprotsessis piirata vibrorežiimi kasutamist killustikaluse tihendamisel, võiks loota materjali paremat vastupidavust, seda enam, et otsene koormus jagatakse laiali ka kompleksstabiliseeritud kihis.

Et paekillustikuga ei ole Eestis varem püütud drenkihti ehitada, siis tuleb teostada stendikatseid ja tõenäoliselt ka katselõike, mille käigus tuleb veenduda paekillustiku terastikulise koostise piisavas säilimises koormuse all kasutades tegelikkust imiteerivat niiskus- ja temperatuurirežiimi. Paekillustik ja selle alla paigaldatav külmakaitsekiht tuleb eristada omavahel geosünteedidega, mis peavad olema piisavalt tugevad et taluda paekillustiku paigaldust ja tihendamist (tugevam geokangas).

Eesti alternatiiviks on tõenäoliselt ca 15 cm KS32 mille all on vähemalt 22 cm paekillustikku. Et killustiku alapind on profileeritud 4% põikkaldele, ülapind aga järgib asfaltkatte kallet 2,5%, on 22 cm killustikaluse paksus katte servas II klassi tee puhul 34 cm. Odemarki valemi kasutamine näitab, et 50 cm tardkivikillustikku on võimalik asendada pakutava konstruktsiooniga alljärgnevas näites:

Materjal	E-moodul	Paksus	Kandevõime
Tardkivikillustik	E=400 MPa	50 cm	224 MPa
Aluspinnas	E=65 MPa		
KS-32	E=760 MPa	15 cm	224 MPa
Paekillustik	E=280 MPa	22 cm	126 MPa
Aluspinnas	E=65 MPa		

Tabelis on valitud paekillustikule meil täna kehtiv väärtus, mis on realistlik, võrreldes tardkivikillustiku elastsusmooduliga Rootsi skeemis. Stabiliseeritud kihi elastsusmooduli väärtus on tagasiarvutatud et saada võrdset tulemust, tuginedes asjaolule, et Soome süsteemis arvestatakse kompleksstabiliseeritud kihi elastsusmooduliks vähemalt 1050 MPa. Seega näiteks 800 MPa puhul mis on selgelt madalam Soome stabiliseeritud kihi moodulist, saame Rootsi tüüpkatendiga võrdse kandevõime. Aluspinnase 65 MPa osas on arvestatud tänast nõuet drenkihi kandevõimele.

Aluspinnaste stabiliseerimise juures tuleb püüda võrrelda erinevaid variante, Rootsi kogemus näitab, et kui stabiliseerimisel on kasutatud hüdraulilisi sideaineid, tuleb stabiliseeritud kiht eristada kattekonstruktsioonist kruusa või killustiku kihiga, mis lahutab aluse ja katte ning võimaldab kihtide omavahelist liikumist – et vältida aluskihi võimalike pragude peegeldumist kattes. Lahutava kihi paksus võib olla ka vaid 8 cm (graniit 0/31,5) kuid kindlasti sõltub see valitavatest tehnoloogiatest. Õhuke kiht võib täita vaid tehnoloogilist funktsiooni ja sel juhul ei pruugi sisalduda kattearvutustes – sel juhul peab arvutusalgoritm eeldama ka, et kihtidevaheline nake puudub.

Teine võimalus aluste tugevdamisel on seotud geovõrkude kasutamisega. Ka Rootsi vaikimisi konstruktsiooni (50 cm graniitkillustikku) paksust on võimalik kahandada kuid mitte alla 20 cm – geovõrkude tarnijate andmetel võib miinimumpaksus siiski jääda 20-30 cm vahele ja sellest õhema kihi puhul geovõrgu kasutus arvutuslikku efekti ei annaks.

Lisa 2. Iirimaa töökoosolek

Iirimaa (Transport Infrastructure Ireland)

02.11.16

Taavi Tõnts, Ain Kendra, Rasmus Renter, Sven Sillamäe (protokollija)



Kiirteedevõrk on ca 15 aastat vana – kogu raha tuli Euroopa Liidult. Nad on saanud meeletult ELilt grante oma teedevõrgu arendamiseks. 1979 kinnitatud „Road Development Plan for the 1980s“ alusel. NDP 1989-1993: 290 km kiirteid, 290 km laiad üheniidilised (7.3 m sõidutee ja 3 m kaetud peenrad)

Ca 100'000 km teede koguvõrgust haldab TII 5135 km, sellest 916 km on kiirteid ja sellest omakorda 320 km hallatakse PPP skeemiga.

25 peateed (N1...N25) ja 33 tugimaanteed (N51...N83), kiirtee lõigul asendatakse täht M-ga. Algsele on lisandunud Dublini ringtee, mida varem ei olnud. 1994: 70 km kiirteid, 2015: 921 km kiirteid ja lisaks 271 km 2+2 teid mis ei ole kiirteed.

TII eesmärk on tagada riiklik teedevõrk, et piirkonnad saaksid areneda. Ajalooliselt on KOVdel olnud oma teed, aga kokkuleppeid nende vahel ei ole toimunud, et tagada head töötavat teedevõrku. Seetõttu moodustatigi üleriigiline amet.

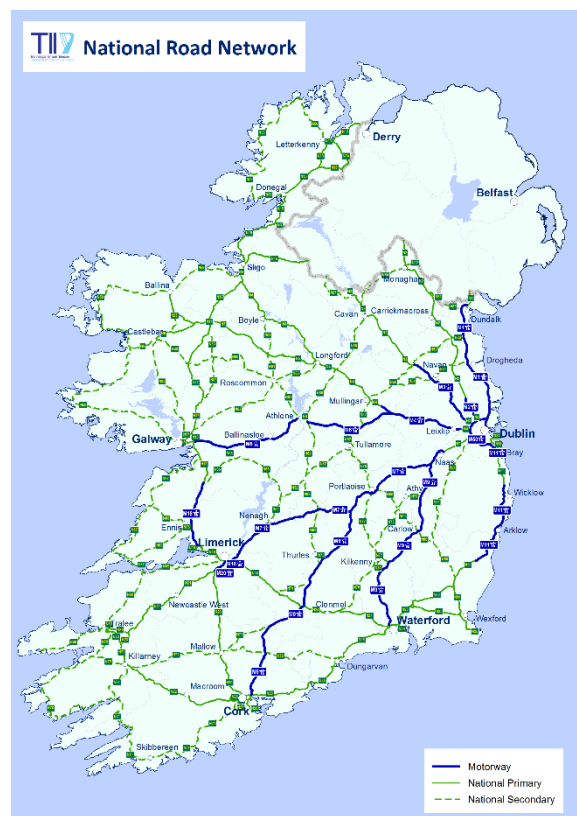
1/3 kogu rahvastikust elab Dublini ümbruses – seetõttu lähtuvad kõik kiirteed sealt. Liiklussagedused Dublini lähialadel on kõrged.

Community roads network on väga tihe ja väga pika ajalooga (ulatub aastatesse 1500 ... 1600).

PPP teed (tasulised teed) on nendel sisuliselt olemas juba 1600. aastatest (400 aastat tagasi).

Peamine kaubavedu toimub teedel, mitte raudteedega.

PPP osas – töötab väga hästi, kui on piisavalt liiklust (raha kogutakse tollimaksude näol). Projekti pikkus on 30 aastat peale mida antakse tee üle riigile. On kokkulepe, et kui liiklus kukub alla teatud taseme, hakkab riik tee omanikule maksma. PPP ei ole rahalises mõttes kuigi tasuv, kuna riigil on odavam võtta laenu, kui erafirmal, kuid poliitilisest poolest on PPP väga populaarne.



Hetkel on 10 PPPd, 2 tk ehitamisel ja 3 hankes. Riik maksab äärealadel peale, kus pole piisavalt liiklust, et see suudaks tee eest maksta. Seega äärealadel inimestelt tollimaksu ei küsita ja riik maksab töövõtjale renti.

Lääne-Iirimaal on keerulised ehitusolud – turba- ja karstialad, kuid elanikke vähe ja see ei õigusta suuri ehituskulusid. Siiski on sinnapoole suurem tähelepanu, kuna teedevõrk on halvas seisus.

Riigi teedevõrgu (5135 km) väärtus on ca 30 miljardit EUR (kui nad hakkaksid nüüd ehitama seda võrku üles, sh maade maksumused).



Teede aadressüsteem on NRA Linear Referencing System – et leida alati üles täpselt sama punkt teelt, mis alati, et teha inventuuri tee olukorrast (referents sisaldab piketaaži, punkti asukoha tee telje suhtes, rambid). Tehtud *custom made* vaid nende jaoks.

Igal aastal tehakse ühes suunas inventuur (ühes suunas ühel aastal, vastassuunas teisel aastal). Mõõdetakse IRI, roobas, pikiprofiili muutus, haardetegur, automaatne defektide uuring LCMS (laser ja videokaamera 2,3 m kõrguselt) ja GPR. Kogu teedevõrgu saab uurimiseks vaid üks töövõtja. Tehakse üleeuroopaline hange. Hetkel teeb tööd Iiri ettevõtte, 7 aasta leping. Ja selle infoga saab otsustada, mis tee vajab esmakorras tähelepanu.

dTIMS – kasutatud PMSi süsteem (pavement management system) - Kanada tarkvara (www.deighton.com). Nad modifitseerisid selle vastavalt enda soovidele. Tarkvara ennustab teedevõrgu seisukorra muutust ja seda, mis see kõik maksab -> annab ette ka remondivajadused ja ennustab sellest tulevaid kulusid / säästu ette. Sellega saab modelleerida ka olukorda, kus on kasutada vaid teatud hulk raha teedevõrgu ülalhoidmiseks (mitte lõpmatult palju ressursse). See sisaldab ka funktsionaalsust mis on vajalik tasuvusanalüüsidele (CBA) ja erinevate teehoolduse stsenaariumite põhjalikuks analüüsiks.

Peamine näitaja tee seisukorrale on IRI, kuna see viitab eri probleemidele. Kandevõimeid mõõdetakse FWDga vaid kohtades, kus on eelnevate uuringutega avastatud probleeme.

Kokku ca 200 mil. EUR aastas 5000 km teedevõrgu ülalhoidmiseks ja arendamiseks, sealt läheb raha ka PPP projektidele maksmiseks. Ideaaleelarve oleks 350 milj. EUR.



Kiirteede asfaltkatte paksus on 30 cm. Katendijuhendis on kirjas, et min. asfaldipaksus peab olema 20 cm (siis, kui killustikaluselt CBR on 15% -> kui vähem, peab asfaltkatte paksus olema suurem). Levinud on SMA 14. Kasutavad ka sellist tehnoloogiat, kus valuasfalt on kulumiskihis, mille sisse on rullitud 20 mm kivi.



Bituumen 40/60 pealmises kihis ja 70/100 alumises kihis. Kasutavad järjest enam polümeermodifitseeritud bituume. Valuasfaldis on alati 40/60. SMAs on modifitseeritud bituumen. Polümeer on ainult pealmises kihis, mitte kunagi alumises.

Teehoolduse hanked teevad kohalikud piirkonnad. Kiirteedele on eraldi lepingud (5 aastat). PPP puhul teeb hoolet tee ehitaja kogulepingu raames (30 aastat).

Betoonteid neil ei ole – ei olnud piisavalt rahastust, et neid teha enne, kui saadi eurorahastust. Suurtel teedel korraldati hanked, kus oli vabalt valida, kas kasutada asfaldi või betooni. Asfaltteed võitsid alati hanked, kuna neid on lihtsam ehitada, ei vajatud eritehnikat, ei pidanud ootama jne. Probleem on ka selles, et betoonteed ei saa lihtsalt laiendada. Ratta jälg ei tohi jääda vuuki ja see nõuab, et betooniplaat oleks laiem (laiendamise pärast). PPPd ei põhine tehnilistel kaalutlustel, vaid rahal. Raha tuleb pangast. Pank nõuab väga kindlat lahendust ja nad ei tahtnud riskida betooniteedega, kuna neid polnud siin varem tehtud. Tahtsid näha referentsi. Asfaltteed täidavad kõik vajalikud nõuded teede toimivusele ja betooniga seotud risk ei pruugi kaaluda seda üles.

Iiri katendiarvutus

Põhineb TRLi nomogrammidel -> kõik publikatsioonid leitavad www.tiipublications.ie

Iirimaa katendiarvutus põhineb UK alustel, mis sisuliselt on empiiriline, analüütilist praktiliselt ei kasutata. Kui on analüütiline lähenemine, siis kasutatakse BISAR programmi.

UK meetod on väga lihtne. Mõõdetakse aluse kandevõimet (määratakse CBR) ja sinna peale pannakse nomogrammi põhjal kindel kihipaksus killustikku ja asfaltkatet. Asfaltkatte paksus oleneb sellest, mis CBR saavutatakse killustikaluse peale. Selle probleem on see, et nii ei eristata eri omadustega materjale (parem asfaltsegu, parem killustik jne, kihipaksused sellest ei muutu, kuigi peaks).

Pinnase CBR peab olema min 2% ja killustiku peale peab jõudma ideaalis 15 %. Aga kui tuleb rohkem (nt 20%), siis seda UK meetod arvesse ei võta ja asfaldipaksus jääb samaks, mis 15% juures. UK meetod põhineb teekatsetustel, millega nad on näidanud, et nende süsteem töötab, aga see on selgelt liiga konservatiivne.

Nende tihe asfaltbetoon on poorsusega kuni 9%. Poorne asfaltbetoon poorsusega kuni 20%.

RAP on kuni 15% uues asfaltkattes. Läheb enamasti alumistesse asfaltkihtidesse. 70 % bituumenist asfaltkattes peab olema täitsa uus.

Asfaltkattes LA20...LA30 sõltuvalt liiklusest ja katte liigist. Killustikaluses LA30, stabiliseeritud aluses LA50. Külmaskindlus MS25 ja veeimavus WA₂₄2

On site recycling – seda nad ei tee, kuna kas pole vajadust (liiga uued teed) või ei saa (liiga varieeruvad kihipaksused vanadel teedel).

Nad on liikumas mehaanilis-analüütilise lähenemise poole. Vajalikud andmed on siamaani saadud FWD tagasiarvutustest. FWD kasutatakse ainult remondiobjektidel, üleriigilist regulaarset mõõtmist ei ole. Analüüsivad Lõuna-Aafrikas tehtud katseid. Partner on Arup. Katselõik 4,5 km kus katsetatakse raskeliiklusega lõigul erinevaid konstruktsioone, suunaga stabiliseeritud materjalide kasutamisele. 20 eksperimentaalset lõiku meie KS analoogiga (2,4% bituumen 1-2% tsement) vanal lagunenenud tsementstabiliseeritud alusel – FWD tagasiarvutusega materjali moodul kõigub väga laias vahemikus. Tsemendiga stabiliseeritud materjali elastsusmoodul langeb koormuse all tööea jooksul algselt 3000-4000 MPa tasemelt kiiresti efektiivse väsimise perioodile 1500-2000 tasemele ja lõpuks taandub sidumata segu tasemele 200-300 MPa. Kompleksstabiliseeritud materjali moodul on 800 MPa mõlemal poolel, omandades täisväärtuse ca poole aastaga algsest ca 450-500 MPa tasemest.

Irimaa lubjakivi LA on vahemikus 20...30. Külmakindluse test on EN 1367-2 (soundness).

Õhutemperatuur oli paar aastat tagasi korra -15 ja see oli äärmiselt erakordne. On suhteliselt harv, kui temperatuur langeb alla nulli ja teid peab soolatama.

Dreenikihti neil kasutusel teekatendites ei ole. Nende jaoks on oluline, et nii teekatendi all kui peal oleks põikkalded paigas. Maksimaalne külmumissügavus on Irimaal kuni 50 cm (arvutuslik 45). Asfaltbetoonis kasutavad lubjakivifillerit (kulumiskihis peab olema see, alumistes kihtides võib olla ka taaskasutatud materjal, nt ka graniitfiller).

Low energy bound mixtures – sinna alla kuulub ka sama, mis meie kompleksstabi (tsement ja bituumen koos), aga ka muud segud, mis ei ole kuumad. Neid kihte nad praktiliselt ei kasuta, kuna korralikult ehitatud teedevõrk on alles kuni 15 aastat vana ja need ei vaja *rehabilitation*. Muud teed on ehitatud väga pika aja jooksul, kihipaksused kõiguvad meeletult ja seega seal ka kompleksstabi ei tehta, kuna ei teata täpselt kihipaksusi ja materjalide omadusi ning uurimine võtab meeletult aega ja raha.

Nad peavad mõiste „bound granular layer“ all silmas tsemendi või lubjaga seotud kihti.

Neil on killustikalusele ette antud minimaalsed vajalikud nõuded ja selle kasutamine on siis lubatud katendis. Parema materjali kasutamine katendis arvutuste puhul midagi juurde ei anna.

Killustikaluse elastsusmoodul on FWD tagasiarvutuse põhjal Lõuna-Aafrikas olnud vahemikus 500...800 MPa. E-moodul sõltub pingeseisundist.

Nad on minemas katendi konstrueerimisega sinnasuunda, et kui nad saavad mõõta mõne materjali käitumist / omadusi, siis miks mitte seda teha ning saada nii katend tugevamaks, optimaalsemaks. Katendiarvutus peab arvestama seal kasutatavate materjalide tegelikke omadusi. Nad on näinud, et killustike ja asfaltsegude omadused võivad kõikuda väga suures vahemikus.

Kohalikud teed on kitsad. Sõiduraja laius 2,80 kuid peenart ei ole, kraavi ka mitte. Seetõttu ei ole ka kiirused kohalikel teedel suured kuigi eraldi piiranguid ei ole tarvis.





Lisa 3. Leedu töökoosolek

Vilniuse Tehnikaülikool 07.11.16

Eestist: Taavi Tõnts, Kaivo Jürgenson, Ain Kendra, Sven Sillamäe (protokollija)

Leedust: PhD tudengid, sh Rita Kleiziene, Audrius Vaitikus (instituudi juht)

39 töötajat teedeinstituudis, kellest 6 PhD kraadiga ja 6 PhD tudengit. Teedeinstituudis on 3 eri programmi – bakalaureus (üldine civil engineering, sillad on eraldi, 4 aastat), millele järgneb magistritasemel (2 aastat) kolme võimaliku spetsialiseerimisega, milleks on liiklusohutus, teed ja raudteed ning teed ja sillad.

VTGU road research institute -> Youtube video

Magistritudengeid 60 teede osas astus sel aastal sisse (väga populaarne on liiklusohutus). Bakalaureuseõppesse astus sisse vaid 30 tudengit (mõned aastad tagasi oli 2 x rohkem). Teevad väga tugevat tööd gümnaasiumiõpilastega ja meediaga, et saada rohkem tudengeid. Tänu sellele on nad ainus ülikool, kelle sisseastujate hulk jäi sel aastal samaks (võrreldes eelmise aastaga), mitte ei kukkunud. Õpilaste programm on ka selline, kus kogu ülikool, sh ühiselamud on tulevastele tudengitele avatud, et nad saaks nädala aja jooksul tulla vabalt tutvuma ülikooliga. Peaaegu iga nädal toimuvad eri koosolekud, kus arutatakse selle üle, kuidas saada rohkem tudengeid. Otsustatakse, kes näiteks esineb meedias, mis reklaame tehakse jne.

250 on kokku teedealal õppimas.

Rita Kleiziene ettekanne (saatis oma slaidid)

Naastrehviprobleeme neil pole. Suuremad probleemid on väsimuspragunemise ja veel suuremad püsivate deformatsioonidega.

Killustik on kohalik dolomiit, mille omadused on nagu öö ja päev võrreldes graniidiga, mistõttu impordivad viimast sisse.

Katendiarvutus on kataloogipõhine. Arvutatakse ESALid, mille alusel valitakse katend ja kust tulevad katendikihtide vajalikud omadused. Probleem on see, et parandatud omadustega materjale ei saa kasutada (sama jutt, mis Iirimaal), s.t paremad materjalid ei muuda katendi omadust paberil paremaks. Uued ja paremad materjalid ei muuda meetodikas tee toimivust.

ESAL pole parim viis liikluse kirjeldamiseks ja peaks tegema protseduuri täpsemaks. Me elame 21. sajandil, s.t kõik on uuenenud ja seega peaksime tegema midagi paremini, kui toimus 60-ndatel.

Välimine ring on standardkataloogid. Keskmisel ringil on meetodikad, mille alusel saab arvutada katendis olevaid pingeid, s.t mehaanilis-analüütilised mudelid.

Maksimaalne täismass on 48 t erilubadega, mille eest tuleb maksta ja see läheb teede jaoks mõeldud „potti“. Mõeldud on eelkõige metsavedajaid. Reeglina eelistatakse seda mitte maksta ja veetakse ikka muidu lubatud 44 t täismassiga.

Vähemalt 60% kütuseaktsiisist peab minema teedele, kuid siiski võidakse teha erandeid ja teedele läheb vähem.

Oma katendiarvutuses arvutavad iga koormuse poolt tekitatud stresses and strains arvestades ka asfaltbetooni temperatuuri. Ehk siis analüütilise programmiga arvutatakse pinged ja deformatsioonid ja selle alusel leitakse vajalikud kihipaksused, kus arvestatakse materjalide omadustega. Eelnevalt on välja arvutatud koormused, mida on 11 eri tüüpi. Riik on jagatud tsoonidesse katte pinna temperatuuride alusel (kolm eri klassi). Loodud on 14 koormusklassi (veokikoormused + temperatuurid kokku liidetuna).

Eelneva alusel on loodud uus katendite kataloog, mis võetakse vastu järgmine aasta. Kaheldavates olukordades tehakse läbi arvutusprogramm.

PPP projektide puhul võib kasutada midagi muud peale tüüpkataloogi.

Renoveeritavate teede puhul kasutatakse sama kataloogi. Eemaldatakse vananenud materjalid (näiteks vaid asfalt, või minnakse ka nii sügavale, kunas tuleb vastu materjal, mis on sobivate omadustega uue katendi alla). Mõõdetakse olemasolevate materjalide omadusi ja hinnatakse nende sobilikkust võrreldes nõuetega võttes need tüüpkataloogi aluseks.

Mõõdavad näiteks ka veeläbilaskvust külmakaitsekihtidele. Materjaliproov võetakse valmis ehitatud kihist ja testitakse laboris (tihendatakse laboris uuesti). Testitakse kogu materjali lõimist (kuni 22 mm).

Dreenkihtide jaoks ei ole filtratsioonimooduli nõudeid, kasutatakse terakoostist. Dreenkihiks on killustik. Külmakaitsekiht on liivast ja selle filtratsioonimoodul peab olema piisav, mis eemaldaks vee killustikust ja viiakse nõlvade kaudu välja.

Membraani kasutatakse nõlvadel takistamaks vee sisenemist teekatendisse. Membraan võib ulatuda kuni külmakaitsekihini, mitte sügavamale.

Dreenimiseks kasutatakse mõnikord ka teeääredreene, mis juhivad vee kindlasse kohta (nt. kilomeeter kaugele jõkke). Selle all on membraan, mis takistab vee imbumist katendisse (ca 15 cm sügaval).

Teekatendi ehitamisel mõõdetakse igalt kihilt kandevõimet staatilise plaadiga. Saksamaal on 45 MPa nõue aastaringsest.

