



TRANSPORDIAMET



# **Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamise lähtekohtade alusuuring**

## **Arendustöö**

## **II etapi vahearuanne**

**TRANSPORDIAMET 2022**

# **Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamine lähtekohtade alusuuring II etapi vahearuanne**

**Versioon 1 (15.juuli 2022)**

**Tellija: Transpordiamet**

Teelise 4

Tallinn 10916

tel. 611 9300

Kontaktisik: Ann Siniväli (e-mail: [Ann.Sinivali@transpordiamet.ee](mailto:Ann.Sinivali@transpordiamet.ee))

**Töö täitja: IPT Projektijuhtimine OÜ**

Aadress: Kalda 60A-2 10922 Tallinn

Telefon: 6 279 220

Koostajad: Peeter Talviste (e-mail: [peeter@geotehnika.ee](mailto:peeter@geotehnika.ee))

PhD, Eesti volitatud ehitusinsener geotehnika), tase 8

Ain Kendra (e-mail: [ain@t-konsult.ee](mailto:ain@t-konsult.ee))

Eesti volitatud teedeinsener, tase 8

© Transpordiamet [2022]

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

## SISUKORD

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| EESSÕNA.....                                                         | 4  |
| MÕISTED.....                                                         | 9  |
| 1 EESTI MAANTEED JA LIIKLUSSAGEDUS.....                              | 10 |
| 2 LIIKLUSKOORMUS.....                                                | 13 |
| 2.1 Siirdetegurid.....                                               | 13 |
| 2.2 KESKMISE LiikluskormusE VÕRDLUS.....                             | 15 |
| 2.3 LIIKLUSKOORMUS TEE LIIGITI.....                                  | 17 |
| 3 VAJALIK KANDEVÕIME.....                                            | 18 |
| 4 KATALOOGIKATENDID.....                                             | 22 |
| 4.1 Aluspinnas.....                                                  | 23 |
| 4.2 Katendi alus.....                                                | 23 |
| 4.3 Katendi tööiga.....                                              | 23 |
| 4.4 Kliimatsioon ja külmakindlus.....                                | 24 |
| 4.5 Soome kataloogid.....                                            | 27 |
| 4.5.1 Koostamise üldpõhimõtted.....                                  | 27 |
| 4.5.2 Pinnase ja materjalid Soome kataloogis.....                    | 28 |
| 4.5.3 Aluse dimensioneerimine.....                                   | 29 |
| 4.5.4 Asfaltkatte dimensioneerimine.....                             | 30 |
| 4.5.5 InfraRYL kataloogilahend linnadele.....                        | 30 |
| 4.6 Vene kataloogid.....                                             | 31 |
| 4.6.1 ODM 218.2.104-2020.....                                        | 31 |
| 4.6.2 PNST 390-2020.....                                             | 32 |
| 4.7 Soome ja Vene kataloogide võrdlus.....                           | 33 |
| 4.8 Eesti kataloog.....                                              | 35 |
| 5 ARUTELU.....                                                       | 39 |
| 6 ETTEPANEKUD JA HÜPOTEESID III ETAPI LÄBI VIIMISEKS.....            | 41 |
| 6.1 Kataloogikatendid ja nende arvutuspõhimõtete valik.....          | 41 |
| 6.2 Kvalitedi kontrolli põhimõtted.....                              | 42 |
| 6.3 Kontrolli katsed ja meetodid.....                                | 42 |
| 6.4 Katendi arvutamise programmid ja seos kontrolli meetoditega..... | 43 |

# EESSÕNA

## Kogu alusuuringu eessõna

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

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

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

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

Uuringu põhieesmärgiks on välja töötada adekvaatsed ajakohased katendi projekteerimise ja arvutamise baasalused, mis arvestavad nii Eesti eripärade kui ka EL seadusandlusega, samas säilitades võimalusel järjepidevuse (võimalusel võrreldavuse) seni kasutatavaga. Uuringu

alameesmärgiks on välja selgitada võimalikud erinevad katendi püsiomaduste kontrollmeetodid, mis võimaldaks objektil töö vastuvõtmisel kontrollida tee konstruktsiooni kihtide projekteeritud omadusi ning jooksvalt otsustada kas projekteeritud katendikihtide omadused on saavutatud kihtidena või tervikuna ehitustööde tulemusel arvestades ka tüüpkatendite võimalikku kasutuselevõttu, mida paralleelselt uuritakse.

Eurostandardite rakendamise põhialused on esitatud dokumentides:

EVS-EN 1990 seeria

EVS-EN 1991 seeria

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

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

## Mullatööd. Osa 5. Kvaliteedikontroll.

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

- [1]’ CEN/TC 250/SC 7 N1436. Eurocode 7 - Geotechnical design.  
M515 SC7.PT6 1997-1 Geotechnical design - General rules (PT6) Oct-2020.
- [2]’ prEN 1997-2:202x  
CEN/TC 250/SC 7 N1437. Eurocode 7 - Geotechnical design.  
M515 SC7.PT6 1997-2 Ground properties (PT6) Oct-2020.
- [3]’ prEN 1997-3:202x  
CEN/TC 250/SC 7 N1438. Eurocode 7 - Geotechnical design.  
M515 SC7.PT6 1997-3. Geotechnical structures (PT6) Oct-2020.

### Uuringu II etapi aruande eessõna

Käesolev aruanne on koostatud järjena töö I etapi vahearuandele „Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamine lähtekohtade alusuuring. I etapi vahearuanne.“ (dets 2021)

Vastavalt I etapis koostatud ettepanekutele, hüpoteesidele ja andmebaasidele teostati meta-analüüs huvi pakkuvate riikide katendile mõjuvad koormuste ning nende alusel eeldatavate katendi karakterisikute määramise põhimõtete ja rakenduste osas võrreldes ka GOST ning EN ISO põhiste toodete ja pinnaste valikut ning selle ajas muutumist arvestades optimaalses mahus kohalike materjalide ja pinnaste kasutamise võimalust. Teostati meta-analüüs eesmärgiga hinnata kuidas leitakse erinevates riikides vajaliku katendi kandevõime koos sellega, kuidas see mõjutab katendi kandevõimet ajas, arvestades erinevate toodete/materjalide kihtide (paksuste) omadustega arvestades ka aluspinnase omadusi. Eeltoodu alusel hinnati integreeritult kuidas ja miks erinevates EL riikides kasutatakse kataloogikatendeid ning millal ja missugustel põhimõtetel võetakse kasutusele tüüp- ja/või individuaallahendused. Samuti, millal ja missuguseid püsi- või seisundiomadusi mis kihtidel jms missuguste meetoditega neid kontrollitakse, et hinnata individuaallahenduse vastavust. Kontrolliti, võrreldi ja hinnati I etapi ettepanekuid ja hüpoteese ning nende seoseid. II etapis valminud vahearuanne võtab kokku etapis tehtud tööd ja leiud koos süvaanalüüsiga.

II etapi tööde täpsemaks sisuks oli osade I etapi vahearuandes esitatud hüpoteeside läbi töötamine. Hüpoteesid olid järgmised:

Hüpotees 1: Kõige lähedasemad Eestis kasutavale teede projekteerimisele on Soome ja eriti Venemaa normistik ja nii on nad ilmselt sobivaimad Eesti tulevaseks projekteerimise ja arvutamise baasaluseks, sest need arvestavad nii Eesti eripärade kui ka EL seadusandlusega, samas säilitades võimalusel järjepidevuse (võimalusel võrreldavuse) seni kasutatavaga katendiga. Venemaa iseenesest mõistevana, kuna Eesti normistik on algselt olnud Venemaa

1983.a. normistiku tõlge, mida on aastate jooksul muudetud. Muudatused on olnud segased ja vasturääkivad ning 2017 aasta Elastsete katendite projekterimise juhises ei ole säilinud enam Venemaa juhise struktuuri ja osaliselt on moondunud sealne sisu. Soome normistik on kõige lähedasem Venemaa normistikule ja sellel on ilmselt ajaloolised põhjused. Soome iseseisvuse algaastatel moodustas insenerkonna tsaari Venemaal väljaõppe saanud insenerid.

Ettepanek:

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

Lisaks võrreldakse Venemaa ja Rootsi analüütilisi lahendeid.

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

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

Ettepanekud:

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

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

Märkus:

Detailne analüüs esitatakse III etapi lõpparuandes.

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

Ettepanekud:

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

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

Märkus:

Detailne analüüs esitatakse III etapi lõpparuandes.

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

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

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

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

Märkus:

Detailne analüüs esitatakse III etapi lõpparuandes.

## MÕISTED

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

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

$$E = \sigma / \varepsilon$$

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

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

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

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

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

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

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

# 1 EESTI MAANTEED JA LIIKLUSSAGEDUS

Täna jagunevad riigiteed põhi-, tugi- ja kõrvalmaanteedeks järgmises mahus:

- põhimaanteed 1605 km,
- tugimaanteed 2407 km,
- kõrvalmaanteed 12505 km.

Lisaks eksisteerivad kohalikud teed, mis jagunevad maanteedeks ja tänavateks:

- kohalikud maanteed 17573 km,
- tänavad 5286 km.

Eesti teedevõrgu osaks on ka era- ja metsateed mahus 18398 km.

Põhimaanteed osas tehakse vahet TEN-T teede ja E-teede vahel (jaotus osaliselt kattub, st. et tee võib olla samaaegselt nii TEN-T kui E tee):

- TEN-T teed (mahus 1291 km), mille ehitus on kaasfinantseeritav Euroopa Liidu rahadega, need ühendavad pealinna teiste suuremate linnadega ja piiripunkte sadamatega,
- E-teed (mahus 950 km – peateed ehk A-klassi teed E20, 67, 77 ning haruteed ehk B-klassi teed E263, 264, 265) on Euroopa maanteedevõrgustikus (UNECE süsteem, rahvusvaheline teede numeratsioon).

Tugimaanteed ühendavad linnu omavahel ja põhimaanteedega. Kõrvalmaanteed ühendavad linnu ülejäänud asustusega.

Haldusreformi käigus on algatatud muudatusi, millega soovitakse osa riigiteedest (ilmselt kõrvalmaanteedest) üle anda KOV bilanssi ja samas on ka teelõike, millel üleriigiline tähtsus ja seetõttu tõenäoliselt antakse KOV-lt riigile, muuhulgas RailBaltic projektiga seondult. Loogiline oletus oleks, et KOV bilanssi liiguksid teed, kus liiklus jääb alla 500 a/ööp, kuid see eeldab ka põhjalikke muutusi teehoiu rahastamise süsteemis. Senise analüüsi järgi võiks siiski oletada, et KOV bilanssi liiguks kuni 3000 km kõrvalmaanteed ja järelikult põhiliselt need, kus liiklus on alla 50 a/ööp (madala liiklussagedusega põhi- ja tugimaanteed lõigud on funktsionaalse liigituse järgi siiski korrektsed). Kahtlemata sõltub tegelik üleminek teehoiu rahastamisest, sest teede üleandmisega koos liiguvad ka rahad. Et seni puudub lähiaastate jaoks selge ülevaade eeldatavatest muutustest, käsitleme siinjuures teedevõrgu ainult riigile kuuluvat osa ja tänases jaotuses.

Koondinfo riigiteede kaalutud keskmisest liiklussagedusest (AKÖL) aastatel 2017-2021 on esitatud *Tabelites 1 ja 2*. *Tabelis 1* on liiklussagedus ja *Tabelis 2* on toodud liiklussageduse analüüs teeliikide lõikes aastatele 2020 ja 2021. Andmete analüüsil tuleb arvestada, et 2020 aasta väike liikluskooormus on seotud koroonapiirangute mõjuga – kevadel-varasuvel 2020 oli liikluskooormus väga väike.

Tabel 1. Riigiteede liiklussagedused AKÖL aastatel 2017-2021

|                | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | Keskmine |
|----------------|------|------|------|------|------|----------|
| Põhimaanteed   | 5266 | 5395 | 5602 | 5407 | 5573 | 5445     |
| Tugimaanteed   | 1559 | 1601 | 1663 | 1641 | 1651 | 1623     |
| Kõrvalmaanteed | 299  | 310  | 321  | 321  | 328  | 316      |
| Keskmine       | 965  | 993  | 1030 | 1008 | 1031 |          |

Tabel 2. Riigiteede pikkus (km) teeliikide lõikes ja kaalutud keskmised liiklussagedused (AKÖL) aastatel 2021 ja 2020.

| 2021       | põhimaantee |       | tugimaantee |      | kõrvalmaantee |       | kokku   |               |
|------------|-------------|-------|-------------|------|---------------|-------|---------|---------------|
|            | pikkus      | AKÖL  | pikkus      | AKÖL | pikkus        | AKÖL  | pikkus  | Keskmine AKÖL |
| 14500+     | 81,4        | 19415 | 0           | 0    | 4,6           | 19395 | 86,0    | 19414         |
| 6000-14500 | 497,7       | 8757  | 55,6        | 7808 | 50,2          | 8262  | 603,6   | 8628          |
| 3000-6000  | 436,9       | 4076  | 229,8       | 4091 | 61,5          | 4378  | 728,2   | 4106          |
| 500-3000   | 577,7       | 2119  | 1875,4      | 1335 | 1859,2        | 942   | 4312,3  | 1247          |
| 50-500     | 11,6        | 239   | 245,6       | 393  | 7767,2        | 192   | 8024,3  | 187           |
| <50        | 0           | 0     | 1,0         | 47   | 2762,1        | 30    | 2763,1  | 29            |
| Kokku      | 1605,3      | 5573  | 2407,5      | 1651 | 12504,8       | 328   | 16517,5 | 1019          |

| 2020       | põhimaantee |       | tugimaantee |      | kõrvalmaantee |       | kokku   |               |
|------------|-------------|-------|-------------|------|---------------|-------|---------|---------------|
|            | pikkus      | AKÖL  | Pikkus      | AKÖL | pikkus        | AKÖL  | pikkus  | Keskmine AKÖL |
| 14500+     | 73,5        | 18830 | 0           | 0    | 0,8           | 18102 | 74,3    | 18822         |
| 6000-14500 | 505,1       | 8450  | 45,4        | 7859 | 52,0          | 8684  | 602,5   | 8425          |
| 3000-6000  | 477,0       | 4032  | 236,5       | 4228 | 68,6          | 4371  | 782,1   | 4121          |
| 500-3000   | 538,2       | 2042  | 1866,8      | 1335 | 1760,6        | 936   | 4165,6  | 1258          |
| 50-500     | 11,5        | 462   | 256,0       | 383  | 7864,0        | 194   | 8131,5  | 201           |
| <50        | 0           | 0     | 1,0         | 43   | 2796,2        | 31    | 2797,2  | 31            |
| Kokku      | 1605,3      | 5407  | 2407,5      | 1641 | 12542,0       | 321   | 16553,2 | 1006          |

Tabelis 3 on toodud liikluskoormuse jagunemine sõidukite gruppide kaupa. Sõidukiliigid on grupeeritud järgmiselt:

- SAPA – sõiduaudod ja pakiaudod,
- VAAB – sooloveokid ja autobussid,
- AR – kõik raskeveokitega autorongid.

Tabelites 1...3 toodud liikluskoormuse andmed on Eesti, Soome ja Venemaa katendite analüüsil tehtud võrdlevate arvutuste sisendiks.

Tabel 3. Liikluskoormus sõiduki gruppide kaupa

|             | <b>põhimaantee</b> |      | <b>tugimaantee</b> |      | <b>kõrvalmaantee</b> |      | <b>kokku</b> |      |
|-------------|--------------------|------|--------------------|------|----------------------|------|--------------|------|
| <b>2020</b> | %                  | AKÖL | %                  | AKÖL | %                    | AKÖL | %            | AKÖL |
| <b>SAPA</b> | 86.5%              | 4822 | 91.8%              | 1515 | 94.2%                | 309  | 89.6%        | 923  |
| <b>VAAB</b> | 3.4%               | 188  | 2.4%               | 40   | 2.5%                 | 8    | 2.9%         | 30   |
| <b>AR</b>   | 10.1%              | 563  | 5.8%               | 96   | 3.3%                 | 11   | 7.5%         | 77   |
| <b>2021</b> |                    |      |                    |      |                      |      |              |      |
| <b>SAPA</b> | 86.4%              | 4674 | 91.7%              | 1505 | 93.7%                | 301  | 89.5%        | 900  |
| <b>VAAB</b> | 3.2%               | 174  | 2.4%               | 39   | 2.6%                 | 8    | 2.9%         | 29   |
| <b>AR</b>   | 10.3%              | 559  | 5.9%               | 96   | 3.6%                 | 12   | 7.7%         | 77   |

## 2 LIIKLUSKOORMUS

### 2.1 SIIRDETEGURID

Liiklussageduse teisendamiseks liikluskooormuseks kasutatakse siirdetegureid. Protseduur teisendab liiklusloenduse andmed nn tingsõiduki normtelgedeks.

Mandri-Euroopas on reeglina arvutuste aluseks 10-tonnine paarisratastega normtelg. Kahjuks arvestatakse erinevates riikides erineva rehvisurvega ja lisaks rea lisateguritega, mistõttu koormused ei ole üheselt võrreldavad.

Lisategurid arvestavad:

- sõiduraja laiusega, mida kitsam tee, seda suurem parandustegur,
- tee kiirusrežiimiga, mida madalam kiirus seda suurem parandustegur,
- tee liigiga, transiidimagistraalidel on raskeliiklus reeglina intensiivsem, rohkem kasutatakse super-single tüüpi rehve, mille mõju katendile on kordades suurem, kui tavalistel veokitel.

Aastatel 2004-2018 arvestasid Soomes kasutusel olnud siirdetegurid kuni 60-tonnise täismassiga sõidukitega, alates 2018 kuni 76-tonniste veokitega. Eesti siirdetegurites on arvestatud kuni 44-tonnise täismassiga. Maksimumpiiri ja koormuse tegeliku mõju seos ei ole lineaarne vaid veidi keerulisem. Kõikide arvutusalgoritmide järgi on 5- või 6-teljeline 40/44 tonnise täismassiga veok kõige suurema mõjuga. Lubatud täismassi suurenemisel kasvab nii telgede arv, kui sõiduki kogupikkus ja nii on hoolimata täismassi suurenemisest mõju katendile väiksem. Suure kandevõimaga asfaltkatte puhul kirjeldatud loogika kehtib. Kuid õhukese katendi ja/või märja aluspinnase puhul ei taastu sõiduki telgede poolt põhjustatud deformatsioon täielikult enne järgmise telje koormuse rakendumist ning elastsest deformatsioonist võib areneda aja jooksul plastne- ehk jäävdeformatsioon. Seega on täismassi tõstmine ohuks väiksema kandevõimega madalama kategooria teedel.

Eesti katendiarvutus tugineb NL aegsele normile VSN 46-83. Vene Föderatsioonis asendati 1983.a. kehtestatud norm 2001.a. uuega. Norm ODN (harukondlik teedenorm) laiendati kogu SRÜ aladele MODN-nimelisena (rahvusvaheline harukondlik teedenorm). Alates 2018.a. on Venemaal juurutamisel uudne normatiivne strateegia. Normatiivbaasi rakendatakse katselisena kolmeaastaseks perioodiks eelstandardina (PNST), millele järgneb kogemuste alusel kas uue redaktsiooni koostamine või PNST kehtestamine päris ehk kohustusliku normina. 2018.a. ilmus uus juhis PNST 265-2018, mis sisaldab muuhulgas oluliselt korrigeeritud (tõstetud) siirdetegureid. PNST 265-2018 alusel on 2020.a. ilmutatud katendite kataloogid PNST 390-2020 ja ODM 2018.2.104-2020 (mõlemad tuginevad PNST 265-1 ehk tõstetud siirdeteguritel). Samas on 2021.a. ilmunud uus standard PNST 541, mis käsitleb otseselt siirdetegureid ja PNST 542-2021, mis asendab eeltoodud PNST 265-2018 lähtudes kolmeaastasest tsüklist. Seega tekib Vene kataloogide rakendamisel kohe küsimus kataloogide rakendamise aluseks olevast siirdeteguri tasemest. Kaasnevat on käsitletud ka

käesolevas aruandes kataloogikatendite võrdlemisel. PNST 542-2021 kasutab asfaltkatte kavandamisel 11,5-tonnist normtelge 800 kPa rehvirõhuga.

Analüüsil on siirdetegurite väärtused võetud täna kehtivast juhendist. Kõik võrdlevad arvutused on teostatud 2021 loendusandmete baasil. Liiklussageduse võimalikku muutust järgmise 20 aasta jooksul ei ole arvestatud. Liikluskoormuse sisulist muutust - lisanduvad raskemad sõidukid, muutuvad kasutatavate rehvide parameetrid – samuti ei ole arvestatud. Seda põhjusel, et käesolev analüüs võrdleb eri riikide lahendeid ning eri riikides tulevikus rakenduvad siirdetegurite korrigeerimised ei ole ennustatavad.

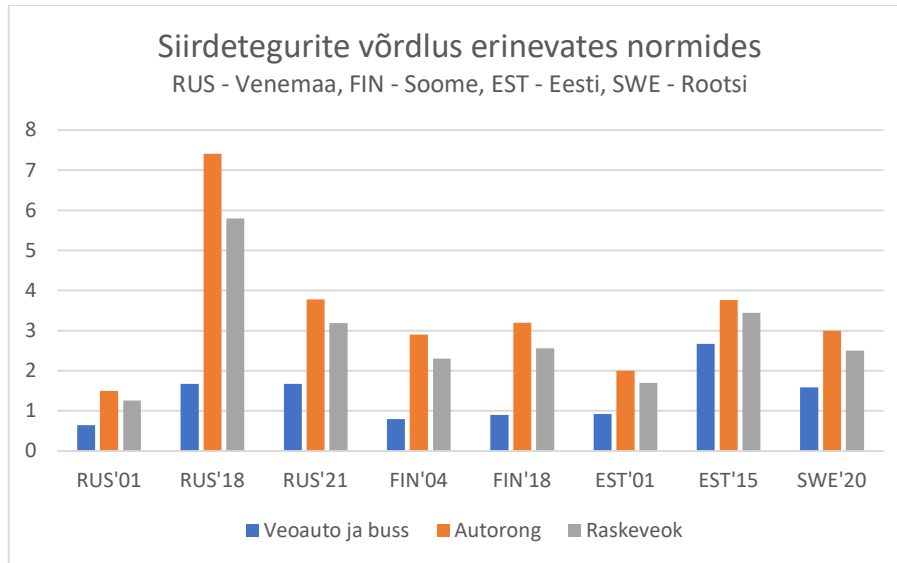
Tegelikult ei arvesta tänased algoritmid ka sõiduautode koormusega. Ühe sõiduauto koormus võib küll siirdeteguri mõttes olla marginaalne, kuid enamkoormatud teedel kujuneb ka väikese siirdeteguriga lõpuks arvestatav koormus. Ka Soome süsteem ei arvesta sõiduautode koormusega.

*Tabelis 4 ja Joonisel 1* on toodud siirdetegurid, millega arvestatakse eri riikide liiklussageduse teisendamisel liikluskoormuseks. Tähelepanuväärne on, et Eestis on kehtivad siirdetegurid suuremad kui Soomes ja Rootsis ja on võrreldavad Vene 2021.a. teguritega 10 tonnisele normteljele taandamisel. Vene normides on siirdetegurit üleminekul 2001-2018-2021 oluliselt muudetud, ilmselt oli 2018.a. siirdetegur liiga suure varuga ja seda taandati 2021.a. väiksemaks. Täpsemalt on seda temaatikat käsitletud kataloogikatendite analüüsi juures.

Oluline on siinjuures märkida, et normtelgede läbisõitude arvu alusel leitakse tee vajalik kandevõime väärtus. Eestis suurendati siirdetegurite väärtust 2015 aastal oluliselt (ca 2 korda), millega suurendati arvutuslikku normtelgede ülesõitude arvu. Vene normides tõsteti siirdetegurid 2018 aastal samuti äärmuslikult suureks, kuid 2021 aastal vähendati neid ning nad on samas suurusjärgus teiste riikide siirdeteguritega. Ilmselt oli siinjuures põhjuseks, et ainult siirdetegurite muutmisega süsteemi korrastada ei ole võimalik, pealegi on just siirdetegur tee katendi projekteerimise süsteemi kõige subjektiivsemalt määratletav suurus. Arvestada tuleb, et vajaliku kandevõime ja normtelgede läbisõitude arvu vahel valitseb logaritmseos ning suure liikluskoormuse korral ei piisa üksnes siirdetegurite korrigeerimisest. Vajalik on seose kaasajastamine ja suurenenud liikluskoormusega vastavusse viimine.

*Tabel 4. Siirdetegurid eri riikide normides*

| <b>Riik</b>     | <b>Vene</b> |             |      |      |             | <b>Soome</b> |             | <b>Eesti</b> |             | <b>Rootsi</b> |
|-----------------|-------------|-------------|------|------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
| <b>Aasta</b>    | <b>2001</b> | <b>2018</b> |      |      | <b>2021</b> | <b>2004</b>  | <b>2018</b> | <b>2001</b>  | <b>2015</b> | <b>2020</b>   |
| Normtelg, tonni | 10          | 10          | 11,5 | 10   | 11,5        | 10           | 10          | 10           | 10          | 10            |
| VAAB            | 0,64        | 1,67        | 0,99 | 1,67 | 1,09        | 0,8          | 0,9         | 0,93         | 2,67        | 1,59          |
| AR              | 1,50        | 7,41        | 6,37 | 3,78 | 2,58        | 2,9          | 3,2         | 2,00         | 3,76        | 3,00          |
| RS              | 1,26        | 5,80        | 4,86 | 3,19 | 2,16        | 2,31         | 2,56        | 1,70         | 3,45        | 2,50          |



Joonis 1. Siirdetegurite võrdlus eri riikide normides

Märkus: Vene skeemis on lisatud „liiklusprognoosi ebatäpsuse tegur“ (1,15...1,5) ja teised varutegurid, pärast summaarse koormuse arvutusi. Rootsi skeemis lisanduvad täiendavad tegurid summaarse koormuse arvutusvalemis, Soome skeemis lisandub tegur sõiduraja ja piirneva peenra ning nõlva kaldega seoses, mõlemal juhul tegurid suurendavad arvutuslikku koormust.

## 2.2 KESKMISE LIIKLUSKOORMUSE VÕRDLUS

Liikluskooormusena on käsitletud milj. normtelje (10 tonni) ülesõitu teatud ajaperioodil (päev, aasta, 10 aastat, 20 aastat jne.).

Probleemid seonduvad liiklusloenduses kasutatavate sõidukite liigilise jaotuse definitsioonidega – erineva loendustehnoloogia korral on saavutatud hea katvus autorongide eristamises, kuid suured vahed on soolosõidukite puhul sõiduautode (sh pakiautod ja väikebussid) ja veoautode-busside eristamises. Katendi kontekstis on oluline pigem 3,5 tonnise täismassiga sõidukite eristamine. See on võimalik vaid kaalupunktides, mis Eestis asuvad Adaveres ja Luigel. Kahjuks ei ole olemasolevad kaalupunktid pidevalt hoolduslepingutega kaetud, mistõttu on kasutada olev andmestik selles osas lünklik. Igal pool mujal Eestis liigitavad loendurid sõidukeid pikkuse või telgede vahede kaudu. On selge, et erinevad loetlemise tehnoloogiad annavad lõpptulemusena veidi erinevaid andmeid, kuid Adavere ja Luige kaalupunktides ja vahetult enne ja pärast kaalupunkti paigaldatud loendurite andmeid võrreldes võib väita, et erinevus ei ületa tavapärasest statistilisest muutlikust (Tabel 5).

Tabel 5. Liiklusloendus kaalupunktis ja nende lähialas

|                                  | 2021 andmed |       |    |      |   |      |    | 2020 andmed |         |
|----------------------------------|-------------|-------|----|------|---|------|----|-------------|---------|
|                                  | AKÖL        | SAPA  | %  | VAAB | % | AR   | %  | VAAB<br>%   | AR<br>% |
| <i>Enne Adaveret (107-115)</i>   | 8098        | 6726  | 84 | 223  | 2 | 1149 | 14 | 3           | 14      |
| <i>Adavere KP 117,2</i>          | 8739        | 7323  | 85 | 327  | 3 | 1089 | 12 | 3           | 12      |
| <i>Pärast Adaveret (120-124)</i> | 7088        | 5926  | 85 | 277  | 3 | 885  | 12 | 3           | 12      |
|                                  |             |       |    |      |   |      |    |             |         |
| <i>Enne Luiget (15-19)</i>       | 19663       | 15887 | 82 | 1255 | 6 | 2521 | 12 | 6           | 12      |
| <i>Luige KP 19,5</i>             | 16257       | 12694 | 79 | 1107 | 6 | 2456 | 15 | 6           | 19      |
| <i>Pärast Luiget (24-26)</i>     | 17907       | 14303 | 81 | 1197 | 6 | 2407 | 13 | 6           | 13      |

Tabelis 6 on toodud liikluskoormuse võrdlus Eesti liiklusloenduse andmeid aluseks võttes Eesti ja Soome normi kohaselt teisendades.

Tabel 6. Liikluskoormuse võrdlus, Eesti liiklussagedus on teisendatud liikluskoormuseks Eesti ja Soome kehtivaid siirdetegureid kasutades.

|                       | Sõidukite liigiline jaotus |      |     |                                    | Normtelgede arv enamkoormatud sõidurajale, tuh. normtelge |                   |                   |
|-----------------------|----------------------------|------|-----|------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                       | SAPA                       | VAAB | AR  | Raske-<br>veokite<br>osakaal,<br>% | EST-<br>päevas                                            | EST-20<br>aastaga | FIN-20<br>aastaga |
| <i>Põhimaanteed</i>   | 4822                       | 188  | 563 | 13,5                               | 1,316                                                     | 9 612             | 9 009             |
| <i>Tugimaanteed</i>   | 1515                       | 40   | 96  | 8,2                                | 0,211                                                     | 1 538             | 1 771             |
| <i>Kõrvalmaanteed</i> | 309                        | 8    | 11  | 5,8                                | 0,034                                                     | 250               | 229               |

Üheks peamiseks Tabeli 6 alusel tehtavaks järelduseks võiks olla – võttes arvesse Eesti keskmist liiklussagedust teeliikide kaupa, saame liikluskoormuse normtelgedes nii Eesti kui Soome normi kohaselt arvutades väga sarnase. Siinjuured tuleb kindlasti rõhutada, et ka normtelje parameetrid on Eestis ja Soomes samad (10 tonni teljele, 600 kPa rehvirõhk) ja projekteeritav eluiga on mõlemas riigis 20 aastat.

Tabelis 7 on toodud liikluskoormuse võrdlus Eesti liiklusloenduse andmeid aluseks võttes Venemaa ja Soome normi kohaselt teisendades. Tabeli koostamise aluseks olid erinevate sõidukite liikide (SAPA, VAAB, AR) läbisõidu statistika Statistikaameti andmetel. Liikluskoormus arvestatud >500 AKÖL riigiteede keskmisena.

Tabel 7. Liikluskoormuse võrdlus, Eesti keskmine liiklussagedus on teisendatud liikluskoormuseks Venemaa ja Soome erinevate normide siirdetegureid kasutades.

|                     | Normtelgede arve enamkoormatud sõidurajale, milj. normtelge | Normtelg |
|---------------------|-------------------------------------------------------------|----------|
|                     | (Eesti keskmise liiklussageduse korral)                     | (tonni)  |
| <i>Venemaa 2018</i> | 3,63                                                        | 11,5     |
| <i>Venemaa 2021</i> | 1,61                                                        | 11,5     |
| <i>Soome 2004</i>   | 3,07                                                        | 10       |
| <i>Soome 2018</i>   | 3,40                                                        | 10       |

## 2.3 LIKLUSKOORMUS TEE LIIGITI

Keskliste liiklussagedusega opereerimine annab üldise võrdlusbaasi erinevate riikide projekteerimissüsteemi võrdlemiseks. Võrdlus tee klassi (liiklussagedus AKÖL alusel) ja liigi (põhi-, tugi- ja kõrval maantee) liiklussageduste teisaldamisel liikluskooormuseks on toodud Soome ja Eesti normidest lähtuvalt Tabelis 8.

Tabel 8. Tee koormus 20 aasta jooksul (tuhat normtelge, arvestades 2021 liiklusega ilma kasvuta)

| Liiklussagedus | Tee klass | Rajategur | Eesti 2015 |      |        | Soome 2018 |      |        | Soome 2004 |      |        |
|----------------|-----------|-----------|------------|------|--------|------------|------|--------|------------|------|--------|
|                |           |           | Põhi       | Tugi | Kõrval | Põhi       | Tugi | Kõrval | Põhi       | Tugi | Kõrval |
| 14500+         | 1         | 0,45      | 25900      |      | 4200   | 18200      |      | 1700   | 16400      |      | 1500   |
| 6000-14500     | 2         | 0,55      | 17700      | 6700 | 6900   | 13500      | 4400 | 4300   | 12200      | 4000 | 3900   |
| 3000-6000      | 3         | 0,55      | 7200       | 4400 | 2700   | 5500       | 3100 | 1600   | 4900       | 2800 | 1500   |
| 500-3000       | 4         | 0,55      | 4000       | 1600 | 700    | 3100       | 1200 | 500    | 2800       | 1100 | 400    |
| 50-500         | 5         | 0,6       | 1500       | 500  | 200    | 1200       | 300  | 100    | 1100       | 300  | 100    |
| 0-50           | 6         | 0,6       |            | 30   | 20     |            | 20   | 20     |            | 20   | 20     |

Tabelist on näha, et kõikide teeliikide liiklussageduste jaoks eraldi võetuna saame Eesti loendatud liiklussageduse (Tabelid 2 ja 3) korral teele langevaks koormuseks Eesti normiga arvutades alati suurema koormuse kui Soome normiga arvutades.

Põhjuseks ilmselt suurem siirdeteguri väärtus Eesti normis. Arvestada tuleb asjaolu, et Soome reeglite kohane koormusarvutus sisaldab ka parandustegurit sõiduraja ja sellega piirneva peenra laiusel ja nõlva kaldest, millest tulenevalt suurendatakse arvutuslikku koormust kitsamal teel ja järsuma nõlva korral. Soome normis kohaldatakse parandustegureid, kui nõlva kalle on 1:3 kuni 1:4 ja kui tee laius on alla 10 meetri. Eestis on nõlvad sageli ka nii järsud kui 1:1,5 ja seda ka kõrgema klassi teedel. Seega võiksime oodata, et hoolimata väiksematest siirdeteguritest võiks madalama klassi teede korral olla Soome arvutuslik liikluskooormus olla siiski sama liiklussageduse juures suurem, kui Eesti arvutuslik liikluskooormus. Et see nii ei ole on tingitud ilmselt veoauto ja bussi (VAAB) siirdeteguri suurest väärtusest Eesti normis (2,64 v 0,9).

Seega saame Tabel 8 väärtuseid käsitleda hinnangulistena, sest registriandmed ei sisalda piisavat infot täpsemate tegurite rakendamiseks. Käesolevas analüüsis on eeldatud II klassi teele tegurit 1,4 ja tee klassi ehk liiklussageduse alusel madalamates gruppides kuni tegurit 2,0. Kuni 7 m laiuse tee puhul on nõlva kaldel 1,2...2,5 teguri väärtuseks Soome vastava tabeli järgi parandustegur isegi 2,8.

Võime seega väita, et tervikuna annab Eesti siirdetegurite süsteem suurema liikluskooormuse väärtuse kui Soome siirdetegurite süsteem.

### 3 VAJALIK KANDEVÕIME

Järgmiseks sammuks on liikluskormusele vastava tee vajaliku arvutusliku kandevõime väärtuse leidmine. Tee vajalik kandevõime on kandevõime (elastsusmoodul) tee pinnal. Arvutuslik tähendab, et vajalik kandevõime tuletatakse liiklussageduse, liikluse loenduse ja siirdetegurite kaudu leitud liikluskormuse jaoks kindla eeskirja (valemi) abil arvutades. Arvutus sisaldab mitmeid empiirilistelt leitud tegureid ja kordajaid, mis võtavad arvesse tee laiust, sõiduradade arvu, tee muldkeha nõlvust jm.

Eesti juhendis leitakse vajalik kandevõime logaritmseosest kujul:

$$E_{vaj} = a \cdot \log(Q) + b,$$

kus

- $a = 70$  ja  $b = 56$ ;
- $Q$  on taandatud koormussagedus ehk 20 aasta summaarne koormus jagatud konstandiga 5000.

Hilisemas katendiarvutuses kontrollitakse, et arvutatud  $E_{\text{üld}}$  ei oleks väiksem kui  $E_{vaj} \cdot K_{tt}$  kus  $K_{tt}$  on tugevustegur mis sõltub tee klassist ja katte liigist. Püsikatendi tugevusteguri väärtused on toodud Tabelis 9 ja  $K_{tt}$  sisuks on lubatud lagunemise ulatus tööea lõpuks (20 või 24 aastat).

Tabel 9. Tugevustegurid püsikatetele

| Tee klass        | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| $K_{tt}$ väärtus | 1,03 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,79 |

Soome süsteemis on tegemist astmelise reglemendiga, mistõttu vajalik kandevõime väärtus on sätestatud koormussageduse vahemiku jaoks arvestusega, et sageduskahvli ülempiiri juures on varu minimaalne ja kahvli alampiiris maksimaalne.

Joonisel 2 ja Tabelis 10 on esitatud vajaliku kandevõime väärtused liikluskormusest sõltuvalt:

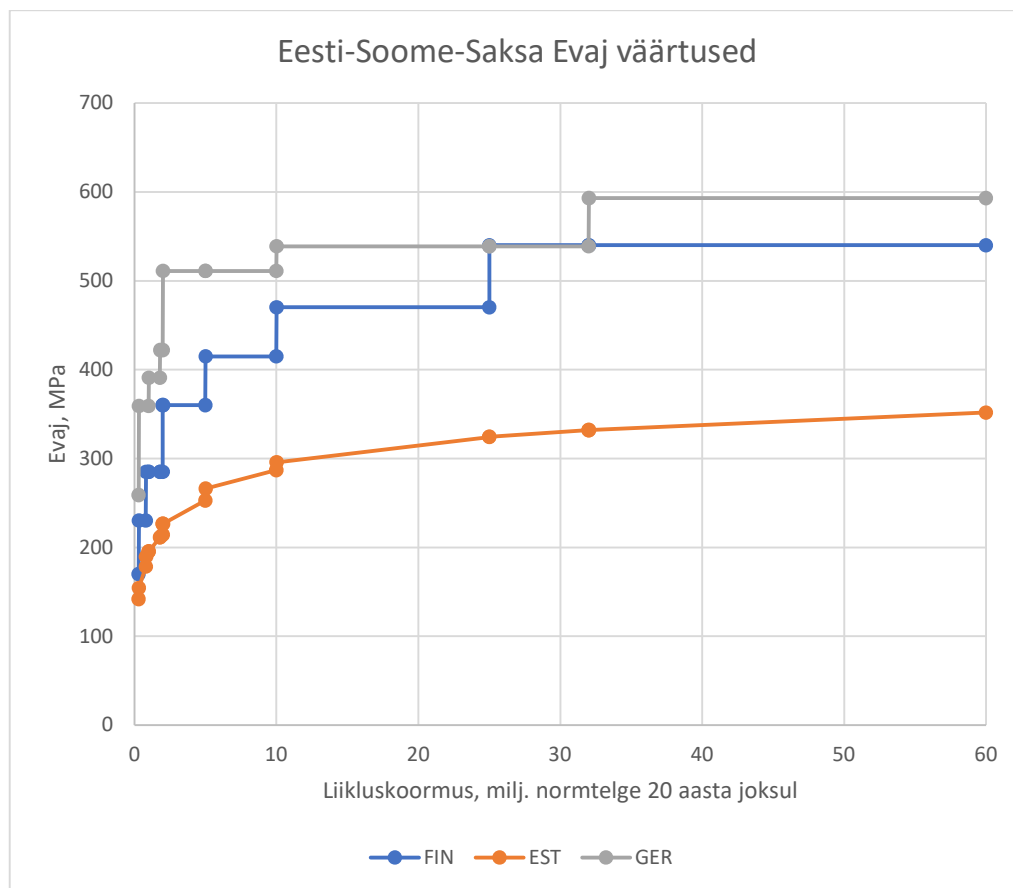
- Joonisel 2 üldiselt, Soome ja Saksa vajaliku kandevõime väärtused vastavalt liiklusklassidele ja Eesti vajaliku kandevõime väärtused ülaltoodud logaritmseosest.
- Tabelis 10 Soome ja Eesti vajaliku kandevõime vastavalt registreeritud liiklussagedusele (AKÖL) Eestis.

Arvestada tuleb, kui Eestis saadakse  $E_{vaj} < 180 \cdot K_{tt}$ , tuleb lähtuda viimasest väärtusest.

Olulised järeldused on järgmised:

- Eesti ja Soome arvutuseeskirjades on sama normtelje koormus ja rehvirõhk, sama katendi arvutuslik eluiga;
- Eesti kasutab oluliselt suuremaid siirdetegureid, mis viib suurema prognoositud ülesõitude normtelgede arvule;
- Hoolimata väiksemast normtelgede ülesõitude arvust on Soome eeskirja kohane vajalik kandevõime oluliselt suurem, kui Eesti eeskirja kohane.

Kirjeldatud fenomeni põhjusena saab välja tuua vaid asjaolu, et Eesti kasutatav valem  $E_{vaj}$  arvutamiseks aastast 1983 ei ole enam ajakohane. Vahepeal on oluliselt muutunud liiklusintensiivsus, samuti raskeveokite ja veokite ning autorongide kaal ja telgede arv. Joonise 2 põhjal võime väita, et siirdetegurite muutmisega  $E_{vaj}$  väärtust oluliselt tõsta ei ole võimalik ja muutmist vajaks valemi parameetrid  $a$  ja  $b$ .



Joonis 2. Vajalik kandevõime  $E_{vaj}$  Soome, Saksa ja Eesti normi kohaselt arvutatuna liikluskoormusest.

Tabel 10. Vajalik kandevõime  $E_{vaj}$  Soome ja Eesti eeskirja kohaselt arvutatuna Eesti riigiteede tänase keskmise liiklussageduse kaudu arvutatuna

| Liiklussagedus | Tee klass | Ktt  | Eesti 2015      |      |                 | Soome 2018            |                 |                                    |
|----------------|-----------|------|-----------------|------|-----------------|-----------------------|-----------------|------------------------------------|
|                |           |      | Milj. normtelge | $Q$  | $E_{vaj}$ , MPa | $180 \cdot Ktt$ , MPa | Milj. normtelge | $E_{vaj}$ , MPa<br>$E_{min}$ , MPa |
| 14500+         | 1         | 1,03 | 28,7            | 5733 | 329             | 185                   | 20,0            | 461 470                            |
| 6000-14500     | 2         | 1,00 | 18,3            | 3660 | 305             | 180                   | 13,8            | 433 470                            |
| 3000-6000      | 3         | 0,95 | 6,9             | 1376 | 262             | 171                   | 5,1             | 361 415                            |
| 500-3000       | 4         | 0,90 | 1,8             | 359  | 211             | 162                   | 1,3             | 263 285                            |
| 50-500         | 5         | 0,85 | 0,21            | 41   | 144             | 153                   | 0,15            | 102 170                            |
| 0-50           | 6         | 0,79 | 0,03            | 6    | 86              | 142                   | 0,02            | -45 170                            |

Vene süsteemis (PNST 542-2021) kasutab asfaltkatte kavandamisel 11,5-tonnist normtelge 800 kPa rehvirõhuga. Juhendi valem 4 või valem 6 järgi:

$$\sum N_p = 0,7 f_{\text{pda}} K_c T_{\text{pdr}} k_n \sum_{m=1}^n N_{1m} S_m \text{ cym} \quad \text{või} \quad \sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{\sqrt{f_{\text{pda}} - 0,5}} T_{\text{pdr}} k_n.$$

Liikluskooormuse prognoos normtelgedes  $N_p$  moodustub järgmistest komponentidest:

- $f$  - rajategur (analoogne Eestis kasutatavaga, enamlevinud 0,55 ja 0,45)
- $k_c$  – eeldatav kapitaalremontide vaheline periood (täna reeglina 24 aastat, võrdlusena Eesti ja Soome 20 aastat)
- $T$  – „nõrkade“ päevade arv aastas, tabeli järgi peaks see Eesti tingimustes olema 125
- $q$  – aastane liikluse kasv protsentides
- $N$  ja  $S$  vastavalt konkreetse sõidukiliigi loendatud esinemiste arv ja siirdetegur
- $k_n$  – liiklusprognoosi eeldatava hälbe tegur I...IV klassi teedel (1,49 – 1,49 – 1,38 – 1,31)

Siirdetegurid on määratletud juhises PNST 541:2021. Arvestades eelnevalt analüüsitud Eesti liiklussagedust ja statistilist veokite jaotust, kujuneks keskmiseks sooloveoki siirdeteguriks 2,0 (11,5 tonnisele normteljele) ja autorongidele 2,6.

Võrdluseks oleme kontrollinud siirdetegureid ka normist PNST 265-2018. Viimane on olnud aluseks kataloogide koostamisel (PNST 390-2020 ja ODM 218.2.2104-2020 kataloogid).

Liiklusprognoosi ulatuses eeldame liikluse kasvuks 1,5% aastas, mis vastab 20 aasta kasvule 1,35 korda. Juhendi valem 9 annab minimaalse kandevõime väärtuse valemiga, rehvirõhk  $p$  on 0,8 ja konstant  $C$  11,5-tonnise normtelje jaoks 3,20.

$$E_{\text{min}} = \sqrt{\frac{E}{1,35}} m_{0,45} (1,5 \sum N_p - C).$$

$E_{\text{üld}}$  on  $E_{\text{min}}$  läbi korrutatud tee klassist tuleneva tugevusteguriga (1,5-1,2-1,17-1,15), sisuliselt on  $E_{\text{üld}}$  Eest ja Soome lähenduses vajalik kandevõime  $E_{\text{vaj}}$ .

Arvestamata teede funktsionaalset jaotust, saame Eesti riigiteede keskmistele liiklussagedustele leida Vene standardi kohased  $E_{\text{min}}$  ja  $E_{\text{üld}}$  (Tabel 11). Eeldatud on koormuse kasvu tööea 24 aastat jooksul 1,35 korda (1,5% aastas).

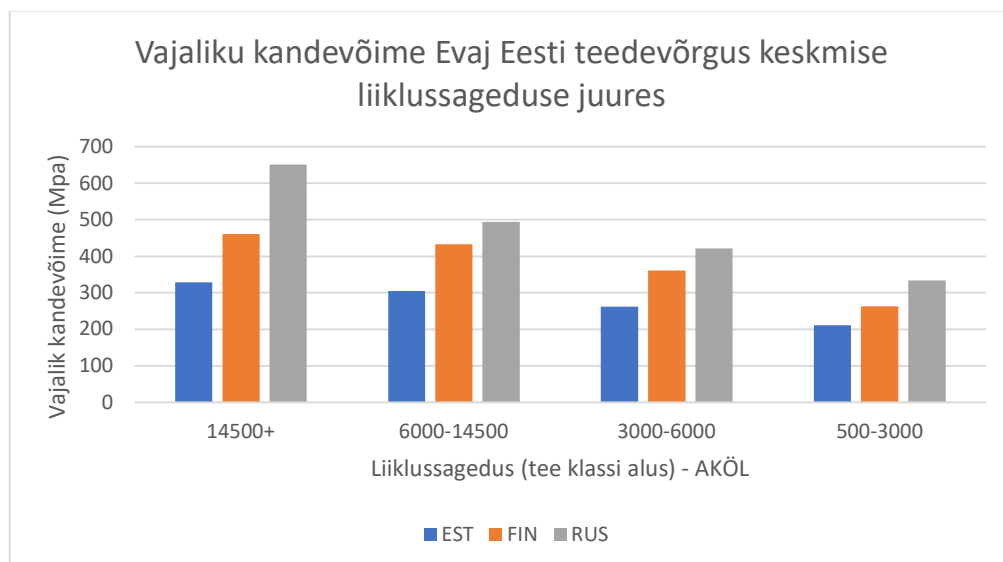
Tabelis 11 toodud  $E_{\text{üld}}$  väärtused ületavad kõigi teeklasside Eesti keskmiste liiklussageduste juures tee klassist tuleneva miinimumpiiri ja sellisena Vene kataloogilahendusi Eestis kasutada üldjuhul ei saaks. Teisest küljest on Vene reglemendi kohane vajalik kandevõime  $E_{\text{üld}}$  alati oluliselt suurem, kui Eesti ja Soome vastavad  $E_{\text{vaj}}$  suurused (Joonis 3). Põhjuseks võib olla asjaolu, et Soomes ja Eestis kasutatakse asfaldile universaalset elastsusmooduli väärtust, Vene reglemendis on asfaldil aga elastsusmoodulite väärtused diferentseeritud asfaldi kvaliteediklassist lähtuvalt. Detailselt on temaatikat käsitletud kataloogikatendite

võrdluses peatükis 4. Samal põhjusel on ka Vene reglemendi siirdetegurite väärtus oluliselt suurem (vt. *Joonis 1*), suurem siirdetegur väljendubki suuremas vajaliku kandevõime numbris.

Tabel 11. Vene kataloogikatendite liiklussagedus ja koormuspiirid

| Liiklussagedus | Tee klass (Eesti) | Raske | PNST 390:2020         |                 |                        |     |     |                               | ODM 2020 |     |     |
|----------------|-------------------|-------|-----------------------|-----------------|------------------------|-----|-----|-------------------------------|----------|-----|-----|
|                |                   | %     | $N_p$ milj. normtelge | $E_{min}$ , MPa | $E_{\text{üld}}$ , MPa | V1  | V2  | Koormuspiirid, milj. normtege | V1       | V2  | V3  |
| 14500+         | 1                 | 11,6  | 10,4                  | 435             | 651                    | 330 | 550 | 1,3-110                       | 600      | 645 | 720 |
| 6000-14500     | 2                 | 13,1  | 6,6                   | 412             | 494                    | 325 | 430 | 1,1-9,4                       | 400      | 465 | 530 |
| 3000-6000      | 3                 | 10,4  | 2,3                   | 360             | 421                    | 310 | 430 | 0,84-9,4                      | 370      | 425 | 510 |
| 500-3000       | 4                 | 8,8   | 0,56                  | 291             | 334                    | 250 | 350 | 0,25-1,9                      | 350      | 380 | 475 |

Märkused:  $E_{min}$  – leitakse koormusest, vt eespool seletus,  $E_{\text{üld}}$  leitakse  $E_{min}$  läbi korrutatud tugevusteguritega. Koormuspiirid – miljonid normteljed, antud kataloogis lahendi kasutuspiirkonnaks. V1, V2, V3 on katendi variandid. Kui  $E_{\text{üld}}$  (arvutatakse) suurem, kui katendi variantide kontrollnumber tabelis (PNST-930-2020), siis ei saa kataloogi kasutada, siis tuleb kasutada ODM-2020 kataloogi variante või arvutada (tüüpkatend).



Joonis 3.  $E_{\text{vaj}}$  (Vene süsteemis  $E_{\text{üld}}$ ) väärtused eri liiklussagedusega teedele (teeklassidele 1-4) Eesti keskmise liiklussageduse jaoks.

## 4 KATALOOGIKATENDID

Käesoleva analüüsi eesmärgiks on süsteemsem lähenemine katendite projekteerimisele. See nõuab mõningate varasemate postulaatide ümber hindamist. Esiteks katendite projekteerimise metoodikast laiemas tähenduses EVS-EN 16907 „Mullatööd“ aluseks võttes.

Katendi projekteerimisel saab EVS-EN 16907 kohaselt lähtuda kataloogilahendustest (mis on läbi arvatud variandid teatud eeldustele – aluspinnas, liikluskoormus, kliimavöönd jne.), tüüplahendustest (materjalide ja pinnaste klasside tüüpomadustel tuginev metoodika, kus arvutuslikult määratakse vajalikud kihipaksused) ja erilahendustest (materjalide ja pinnaste omadused mõõdetakse katsetöö ajal ning mõõtetulemusi kasutatakse arvutustes).

EVS-EN 16907 „Mullatööd“ järgi on Eestis valdav meetod, mis tugineb KAP 2.0 arvutustel sisuliselt tüüpkatend, kui kasutatakse VSN 46-83 toodud pinnaste ja materjalide omadusi ning sisuliselt erilahendusel põhinev katend, kui kasutatakse mingeid muid materjale ja pinnaseid ning nende omadusi. Kataloogilahendused puuduvad. Kuna valdavalt ei kasutata VSN 46-83 pinnaseid ja nende omadusi, vaid muudetud ja korrigeeritud omadusi, on valdavaks erilahendusel põhinevad katendid.

Ka Odemarki valemil põhinev Soome maanteede projekteerimise praktika ning ka Rootsis ja Taanis kasutatavad tarkvarad (PMS Objekt ja MMOPP) on oma sisult tüüpkatendid – vajalike pinnaste ja materjalide kihtide paksused arvutatakse tüüpomadusi aluseks võttes.

Soome linnalahendus, mis on kirjeldatud InfraRYL kogumikus ja Saksa tüüpkonstruktsioonid on puhtakujulised kataloogilahendid.

Kataloogilahend on ka Tallinna tüüpkatendid, mis tuleks ümber nimetada katendikataloogiks ja ka Tartu (veel kinnitamata) kataloog.

Et geosünteedide kasutamisel teeb arvutused reeglina materjali tootja või tarnija, ei sisalda kataloogilahendused reeglina konkreetseid tooteid ja tehnilisi kriteeriume.

Venemaa on 2018 ja 2021 aastal välja andnud oma katendite lahenduste kataloogid (PNST 390 ja ODM-218.2.104-2020). Kuigi PNST 265/542 ei sisalda geosünteedide kasutust, on kataloogikatendites arvestatud asfaldivõrkude kasutusega (I-II klass, kahe asfaldekihi all) ja geotekstiilidega (killustiku all ja saviliiva või liivsavi puhul ka muldkeha ja lisakihtide vahel), fikseerides ka üsna üldised nõuded geomaterjalidele.

Kataloogilahendid on kallimad kui tüüp- või erilahendused, kuid kuna kataloogid on koostatud teeklaasi liikluskoormuse ülemisele piirile, siis on nad reeglina pikaajalisemad - reaalselt tuleb suurem investeering tagasi läbi suurema ressursi ja pikema tööea.

Teede projekteerimisnormide uue redaktsiooni kavandis on loobunud tee klassi mõistest. Sõiduradade arvu määrab liiklussagedus, projektkiiruse tee liigitus (põhimaantee, tugimaantee, kõrvalmaantee) ja asukoht (hajaasustus, linnalähiala, tiheasustus). Seega tuleb läbi mõelda ka varutegurite uus kontseptsioon tüüpkatendite (KAP) rakendamiseks. Kataloogikatendi puhul ei ole selleks vajadust – kataloogid koostatakse ülaltoodut silmas pidades.

PPP võiks anda uue võimaluse ka innovatsiooniks – kuna partnerile makstakse kvaliteetse tee käigushoidmise eest, saab optimeerimisel arvestada ka vajalike hoolduskuludega ja pikemaajalise tee suurema ehitusmaksumuse korvab väiksem remondivajadus kogu tööea jooksul.

#### 4.1 ALUSPINNAS

Aluspinnased on tavaliselt eri riikides jaotatud rühmadeks, millele on antud tüüpomadused.

- Soome tiheasustusaladel kasutatavas InfraRYL (2017) kataloogis on antud teekonstruktsioonid seitsmele aluspinnasele kandevõimega vahemikus 5...300 MPa.
- Vene kataloogides on üldistatult kolm aluspinnast – liiv, saviliiv ja liivsavi/savi.
- Eestis seni kasutatav KAP2.0 kasutab aluspinnaste liigituses nelja gruppi, lugedes ülejäänud võimalikud aluspinnased pigem materjalideks.

Üldiselt soovitatakse nõrgad aluspinnased muldkeha alt kas välja vahetada või nende omadusi parandada stabiliseerimisega.

- Saksa kataloogis eeldatakse teekonstruktsiooni alusena pinnast või muldkeha kandevõimega vähemalt 45 MPa. Kui see nõue ei ole täidetud, tuleb aluskonstruktsioon arvutada ja rajada – lisades muldkeha paksust, asendades pehmeid aluspinnaseid tugevamatega või stabiliseerides neid.
- Vene kataloogikatendid eeldavad kandevõimet kataloogikihtide all vähemalt 40 MPa.
- Soomes soovitatakse aluspinnase kandevõime <10 MPa korral kataloogilahendusi mitte kasutada.

Soovitame Eestis kataloogid välja töötada aluspinnastele kandevõimega alates 45 MPa ja rohkem. Pinnasetingimused Eestis on üldjuhul paremad, kui Soomes ning alla 45 MPa kandevõimega aluspinnaste osakaal on väike – reeglina turvas ja mõnel üksikul juhul pehme savi ja möll. Soome kataloogide üle võtmisel tuleb lähtuda üle võetud kataloogist täies mahus sh. piirangud aluspinnasele.

#### 4.2 KATENDI ALUS

Üldiselt on suund tugevama aluse loomisele. Nii on Soomes aluse kandevõime nõudeks 160 MPa sidumata alusele ja 290 MPa stabialusele. Rootsi tüüpkatendites (PMS Objekt) on valdavaks 50 cm paksused graniitkillustikust alused, mille võib asendada 30 cm paksuse stabiliseeritud ülahihiga graniitkillustikust alusega ning koormusest sõltub vaid asfaldikihtide paksus. Stabialuse puhul saavutatakse sääst sellega, et stabikihihile on võimalik rajada kahekihiline asfaltkate, sidumata aluse puhul on asfaldikihtide paksus suurem - kolm või koguni neli kihti. Analoogne lähenemine on valitud ka Vene kataloogikatendites – stabialuse kasutamine võimaldab kahandada kallimate kihtide paksust.

Eesti reglemendis seni puudub aluse minimaalse arvestusliku kandevõime nõue.

#### 4.3 KATENDI TÖÖIGA

VSN 46-83 juhises eeldati, et püsikatend (asfalt) kestaks vähemalt 15 aastat. Nii on see ka kirjas MKM kehtivas määruses (projekteerimismäärus) ja ka kavandis. Muu maailma eeskujul

on amet (TRA) eeldatavat tööiga riigiteedel tõstnud 20 aastani, kuid põhimõtteliselt pole ka see piiriks. Asfaltkatte elueaks on erinevates riikides tavaliselt 20...30 aastat, betoonkattel kuni 30...50 aastat.

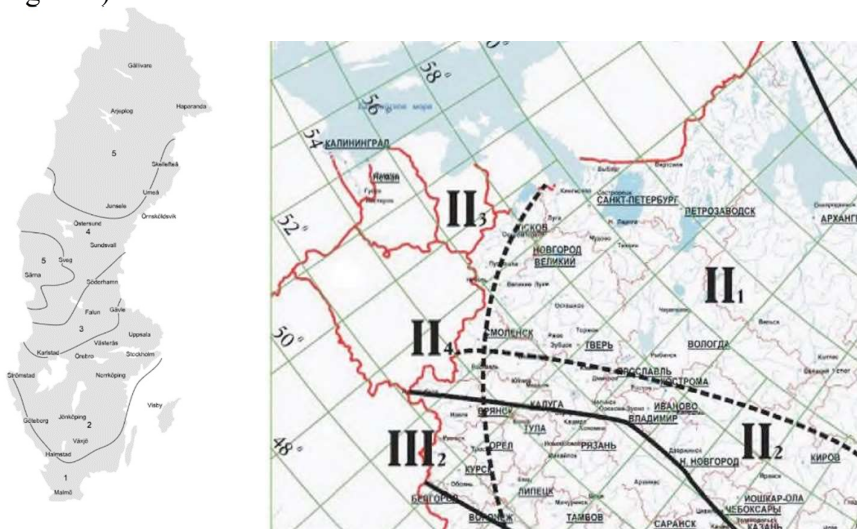
Kataloogikatendite tööiga on reeglina veidi suurem, mistõttu võib eeldada isegi investeringuvajaduse kahanemist pikemas perspektiivis. Soomes on seni arvestuslik tööiga 20 aastat, Venemaal on seda püsikatetel (2017) tõstetud 24 aastani.

Eluea tagamiseks on oluline, et kulumiskiht asendatakse vastavalt tegelikule kulumisele, vajumisele või vananemisele õigeaegselt. Katte deformatsioonid on meie tingimustes tingitud kahest põhjusest – esiteks, naastrehvide kasutus, teiseks raskeliikluse põhjustatud vajumised. Lisaks kahaneb vananemise tagajärjel bituumeni elastsus ja asfalt muutub rabedaks ning ei käitu suurematel koormustel enam elastselt, vaid rabedalt ja selle tagajärjel praguneb. Tekkib võrkpragulisuus, pragude kaudu liigub vesi kattelt alakihitudesse ja need purunevad. Seega tuleb õigel ajal pragude areng peatada kas pindamise teel või vajadusel ülakiht asendada.

Prantslaste väitel ei kesta asfaldist ülakiht üle 10 aasta – bituumen vananeb päikese mõjul ja asfalt muutub rabedaks. Suurema koormusega on vajalik ülakihi asendamine varem kulumise tõttu, väiksema koormusega kestab katend ka ilma ülakihti asendamata etteantud tööea.

#### 4.4 KLIIMATSOON JA KÜLMAKINDLUS

Rootsi on jagatud viieks kliimatsooniks. Venemaa on jagatud 5 kliimatsooniks, koos alamtssoonidega on neid tsoone kokku 12. Eesti ala kuuluks põhimõtteliselt II<sub>3</sub> tsooni (II<sub>2</sub> on Kaug-Idas).



Joonis 4. Kliimatsoonid (Rootsis ja Venemaal)

Vene süsteemi baasilt on kokkuleppeline keskmine külmumissügavus Eestis 1,25 m. Tegelikult asub 2018 Vene juhendi järgi 1 m külmumissügavuse isobaas orienteeruvalt lähedal Pärnu maanteel ja 1,2 m isobaas ulatub teispoole Peterburi linna (seda nii 1983 BCH 46-83 alusel kui ka PNST 265-2018 järgi).



Joonis 5. Külumumissügavus (Soomes ja Venemaa idaosas)

Soomes kasutatakse külumumissügavuse hindamisel üldistatud näitajat, milleks on keskmine külumumissügavus liivpinnases. Arvutusalgoritmide erinevad, kuid arvutuslik külmakerke ulatus on lähedane nii Eesti kui Soome normist lähtuvate arvutusskeemidega.

Eestis on külumumissügavust uuritud Mart Olmani töödes, *Joonistel 6 ja 7* on toodud lumevaba maapinna keskmised külumumissügavused mõõteperioodil (TKTK 2012 BSc ja TTÜ 2014 MSc).

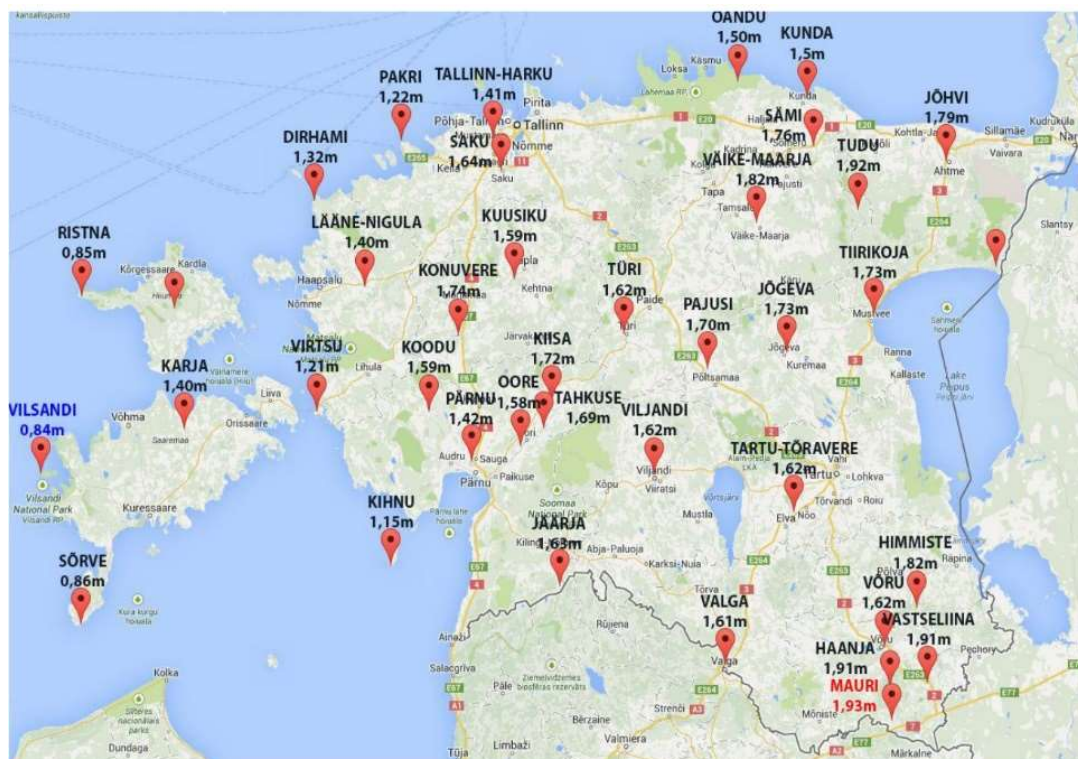
Soome juhises on selgelt lisatud, et külmakerkearvutuse aluseks on liivpinnaste keskmine külumumissügavus, mistõttu tänaste teadmiste valguses on otstarbekas arvestada toodud tabelis liivade andmetega ning interpoleerida tulemused objekti asukohale lähimatest vaatlusjaamade andmetest. Eeldusel, et objekti asukohas on suhteliselt kõrge veeseis ja lubatud külmakerke ulatus senise reegli järgi asfaltkattel kuni 4 cm, on külmakerkearvutus teekonstruktsiooni kihipaksuste ja materjalide määratlemisel kriitilise tähtsusega. Seda eriti rekonstrueerimisel, kui olemasolev teekonstruktsioon ei ole külmakindel.

Lubatud külmakerke piirväärtuste määramisel on projekteerimisnormide uues versioonis (kavandatud rakendus 2023 jaanuarist) juhitud Soome juhistes sätestatust.

**Tabel 4.6** Lumevaba maapinna keskmised külmumissügavused

| Jaam           | Keskmine külmumissügavus, m |      |      |       |  | Jämedam täide |
|----------------|-----------------------------|------|------|-------|--|---------------|
|                | Savi                        | Möll | Liiv | Kruus |  |               |
| Jõgeva         | 0,91                        | 1,11 | 1,19 | 1,35  |  | 1,58          |
| Jõhvi          | 0,95                        | 1,15 | 1,23 | 1,40  |  | 1,64          |
| Kunda          | 0,79                        | 0,96 | 1,03 | 1,17  |  | 1,38          |
| Kuusiku        | 0,84                        | 1,02 | 1,09 | 1,24  |  | 1,46          |
| Lääne-Nigula   | 0,74                        | 0,90 | 0,97 | 1,10  |  | 1,29          |
| Pakri          | 0,64                        | 0,78 | 0,84 | 0,95  |  | 1,12          |
| Pärnu          | 0,75                        | 0,91 | 0,97 | 1,10  |  | 1,30          |
| Ristna         | 0,46                        | 0,55 | 0,59 | 0,67  |  | 0,78          |
| Sõrve          | 0,46                        | 0,56 | 0,60 | 0,68  |  | 0,79          |
| Tallinn-Harku  | 0,74                        | 0,91 | 0,97 | 1,10  |  | 1,29          |
| Tartu-Tõravere | 0,86                        | 1,04 | 1,12 | 1,26  |  | 1,49          |
| Tiirikoja      | 0,91                        | 1,11 | 1,19 | 1,35  |  | 1,58          |
| Türi           | 0,85                        | 1,04 | 1,11 | 1,26  |  | 1,48          |
| Valga          | 0,85                        | 1,04 | 1,11 | 1,26  |  | 1,48          |
| Viljandi       | 0,85                        | 1,04 | 1,11 | 1,26  |  | 1,48          |
| Virtsu         | 0,64                        | 0,78 | 0,83 | 0,94  |  | 1,11          |
| Võru           | 0,86                        | 1,04 | 1,12 | 1,27  |  | 1,49          |
| Väike-Maarja   | 0,96                        | 1,17 | 1,25 | 1,42  |  | 1,67          |
| Kihnu          | 0,61                        | 0,74 | 0,79 | 0,90  |  | 1,06          |
| Vilsandi       | 0,45                        | 0,54 | 0,58 | 0,66  |  | 0,77          |
| Sämi           | 0,93                        | 1,13 | 1,21 | 1,37  |  | 1,62          |
| Tudu           | 1,01                        | 1,23 | 1,32 | 1,50  |  | 1,76          |
| Koodu          | 0,84                        | 1,02 | 1,09 | 1,24  |  | 1,45          |
| Oandu          | 0,79                        | 0,96 | 1,03 | 1,17  |  | 1,38          |
| Saku           | 0,87                        | 1,05 | 1,13 | 1,28  |  | 1,51          |
| Dirhami        | 0,70                        | 0,85 | 0,91 | 1,03  |  | 1,21          |
| Himmiste       | 0,96                        | 1,17 | 1,25 | 1,42  |  | 1,67          |
| Karja          | 0,74                        | 0,90 | 0,96 | 1,09  |  | 1,29          |
| Kiisa          | 0,91                        | 1,11 | 1,18 | 1,34  |  | 1,58          |
| Oore           | 0,83                        | 1,02 | 1,09 | 1,23  |  | 1,45          |
| Pajusi         | 0,90                        | 1,09 | 1,17 | 1,32  |  | 1,56          |
| Tahkuse        | 0,89                        | 1,09 | 1,17 | 1,32  |  | 1,55          |
| Haanja         | 1,01                        | 1,23 | 1,31 | 1,49  |  | 1,75          |
| Konuvere       | 0,92                        | 1,12 | 1,20 | 1,36  |  | 1,60          |
| Mauri          | 1,02                        | 1,24 | 1,33 | 1,51  |  | 1,77          |
| Vastseliina    | 1,01                        | 1,23 | 1,31 | 1,49  |  | 1,75          |

Joonis 6. Mõõdetud lumavaba maapinna kekmise külmumissügavus Eestis.



Joonis 7. Keskmiste külmumissügavuste tabel ja kaart (keskmine pinnas).

## 4.5 SOOME KATALOOGID

### 4.5.1 Koostamise üldpõhimõtted

Aluspinnaste nomenklatuur elastsusmooduli (kandevõime) alusel. Võib kaaluda 10 MPa pinnastele mitte kasutada kataloogi.

Koormusklassid (KKL) miljonites 10-tonnistes normteljedes, otseselt tee klassi või liiklussagedust ei arvestata, ka mitte varuteguritega.

Aluse vajalik kandevõime on väikese, kuni 0,8 miljonit normtelge, liikluskoormuse jaoks 145 MPa. Suurema, >0,8 miljonit normtelge, liikluskoormuse jaoks on aluse vajalik kandevõime 160 MPa, kui aluse moodustab killustik või kompleksstabi (KS) ja 290 MPa, kui aluse moodustab tsementstabi (TS). Stabialustele on ette antud ka vajalik kandevõime stabiliseeritud kihi all. KS puhul on see 70 MPa ja TS puhul 80 MPa. Seda saab käsitleda ka nii, et juhul, kui kandevõime kihi all on väiksem, saame rakendada kihi elastsusmoodulist väiksemat osa. Sidumata materjalide puhul on see kasutuskordaja (ülemise ja alumise kihi elastsusmoodulite suhtarv) 6, TS ja KS puhul 18.

Konsulteerides Soome juhendi koostajatega selgus, et kuna Soomes on kompleksstabi (Soome kirjanduses KOST) vähe kasutatud, siis on killustikalusega võrdseks loetud nii bituumenstabiliseeritud (BS, VBST, BEST) kui kompleksstabiliseeritud (KS, KOST) alused. On loogiline, et stabialuse kandevõime on tegelikult parem kui stabiliseerimata alusel ning

seetõttu ei peaks ka stabiilusele sama paksu asfaltkatet rajama kui sidumata alusele, seega tuleks KS puhul rakendada mingit vahepealset kriteeriumi, mida on alljärgnevalt ka rakendatud – aluse kandevõime KS korral on edaspidi Eesti kataloogi koostamisel arvestatud 200 MPa.

Seega on katted Soome kataloogides konstrueeritud erinevatele alustele:

- a. Alus 145 MPa (killustik, KKL 0,3 ja KKL 0,8);
- b. Alus 160 MPa (killustik, KKL 2,0 ja üle)
- c. Alus 200 MPa (KS, tuletatud olukord)
- d. Alus 290 MPa (TS)

#### 4.5.2 Pinnase ja materjalid Soome kataloogis

- A) 280 MPa - lõhatud kaljupinnas (Eestis paeplatoole või paekivisse süvistatud alusele ehitamine) – oluline on tagada vee väljajuhtimine aluspinnast, mistõttu on vajalik aluspinna profileerimine ja kattealuse kihi veejuhtivus, selleks tuleb kasutada kas tardkivikillustiku kihti, spetsiaalset geosünteti või muud väga poorset katendikihti (mustkillustik), mida katendiarvutuse lihtsustatud algoritmidega ei ole võimalik arvestada.
- B) 200 MPa - kandevkihi materjal – killustik või sõelutud kruus
- C) 100 MPa (S1) - kruus, kruusliiv, kruusmoreen – f7
- D) 70 MPa (S2/k, H1) - kruusmoreen, kruusliivmoreen kuivas – f15; liiv, liivmoreen – f7
- E) 50 MPa (S2/m, S3/k, H2) - kruusmoreen, kruusliivmoreen märjas – f15; kruusmoreen, kruusliivmoreen kuivas – f30; liiv, liivmoreen – f15
- F) 35 MPa (S3/m, S4/k, H3/k, H4/k, U2) - kruusmoreen, kruusliivmoreen märjas – f30; mölline kruusmoreen, mölline kruusliivmoreen kuivas – f50; liiv, liivmoreen kuivas – f30; mölline liiv, mölline liivmoreen kuivas – f50; kõva savi
- G) 10 MPa (U3, U4) - pehme savi, möll
- H) 20 MPa (S4/m, H3/m, H4/m, U1) - mölline kruusmoreen, mölline kruusliivmoreen märjas – f50; liiv, liivmoreen märjas – f30; mölline liiv, mölline liivmoreen märjas – f50

Märkus: f7; f15; f30 ja f50 – peenosise maksimaalne sisaldus, %.

- H2 – 50 MPa liiv, kuni 15% peenosist (olenevalt olukorrast asendatav ka kruusaga)
- H3 – 35 MPa täiteliiv G-grupi pinnastel (10 MPa) – arvestame võimaliku kohaliku pinnasega
- M – 200 MPa killustik või sõelutud kruus
- K – 280 MPa kvaliteetkillustik (LA<35)
- TS – 1500 MPa, tsementstabiliseerimine (7-päevane survetugevus 3...5 MPa)
- KS – 1250 MPa, kompleksstabiliseerimine (7-päevane kaudne tõmbetugevus vähemalt 1 MPa)
- Asfaltbetoonid – 2500 MPa, kõigil tehases segatud kuumadel asfaltbetoonidel sama arvutuslik elastsusmoodul, formaalselt arvestatakse kaalutud keskmisega

### 4.5.3 Aluse dimensioneerimine

Tabel 12. Killustikalused (KKL 0,3 ja KKL 0,8 – 145 MPa nõutud kandevõime)

| Aluspinnas | 10 MPa |     | 20 MPa |     | 35 MPa |     | 50 MPa |     | 70 MPa |     | 100 MPa |     |
|------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|
| Kihi       | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm      | MPa |
| E35 (H3)   | 30     | 20  |        |     |        |     |        |     |        |     |         |     |
| E50 (H2)   | 60     | 43  | 60     | 43  | 60     | 48  |        |     |        |     |         |     |
| E200       | 30     | 101 | 30     | 101 | 27     | 101 | 26     | 102 | 16     | 102 |         |     |
| E280       | 16     | 145 | 16     | 145 | 16     | 145 | 16     | 146 | 16     | 146 | 16      | 144 |

Tabel 13. Killustikalus (tavakoormused, 160 MPa)

| Aluspinnas | 10 MPa |     | 20 MPa |     | 35 MPa |     | 50 MPa |     | 70 MPa |     | 100 MPa |     |
|------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|
| Kihi       | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm      | MPa |
| E35 (H3)   | 21     | 18  |        |     |        |     |        |     |        |     |         |     |
| E50 (H2)   | 60     | 42  | 58     | 43  | 60     | 48  |        |     |        |     |         |     |
| E200       | 30     | 100 | 30     | 101 | 28     | 103 | 27     | 104 | 20     | 111 |         |     |
| E280       | 21     | 160 | 21     | 160 | 20     | 160 | 20     | 161 | 18     | 161 | 21      | 160 |

Tabel 14. Tsementstabiliseeritud alus

| Aluspinnas | 10 MPa |     | 20 MPa |     | 35 MPa |     | 50 MPa |     | 70 MPa |     | 100 MPa |     |
|------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|
| Kihi       | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm      | MPa |
| E35 (H3)   | 30     | 20  |        |     |        |     |        |     |        |     |         |     |
| E50 (H2)   | 53     | 42  | 55     | 42  | 46     | 46  |        |     |        |     |         |     |
| E200       | 30     | 99  | 30     | 100 | 27     | 100 | 25     | 100 | 16     | 102 |         |     |
| E1500      | 20     | 290 | 20     | 290 | 20     | 290 | 20     | 291 | 20     | 294 | 20      | 291 |

Tabel 15. Kompleksstabiliseeritud alus (kui selle nõue on 160 MPa nagu Soome juhises)

| Aluspinnas | 10 MPa |     | 20 MPa |     | 35 MPa |     | 50 MPa |     | 70 MPa |     | 100 MPa |     |
|------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|
| Kihi       | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm      | MPa |
| E35 (H3)   |        |     |        |     |        |     |        |     |        |     |         |     |
| E50 (H2)   | 35     | 27  | 24     | 32  |        |     |        |     |        |     |         |     |
| E200       | 20     | 56  | 15     | 56  | 13     | 56  | 12     | 71  | 12     | 91  |         |     |
| E1250      | 18     | 160 | 18     | 161 | 18     | 161 | 15     | 174 | 15     | 208 | 15      | 221 |

Tabel 16. Kompleksstabiliseeritud alus (kui selle nõue sätestada 200 MPa tasemele)

| Aluspinnas | 10 MPa |     | 20 MPa |     | 35 MPa |     | 50 MPa |     | 70 MPa |     | 100 MPa |     |
|------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|
| Kihi       | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm     | MPa | cm      | MPa |
| E50 (H2)   | 50     | 34  | 38     | 37  | 16     | 40  |        |     |        |     |         |     |
| E200       | 20     | 70  | 18     | 70  | 16     | 70  | 12     | 71  | 12     | 91  |         |     |
| E1250      | 18     | 199 | 18     | 200 | 18     | 201 | 18     | 201 | 15     | 208 | 15      | 221 |

Märkus. KAP 2.0 on raske kasutada Soome pinnastele, selleks puuduvad vastavad aluspinnaste kategooriad. Võrdlus on siiski võimalik, võttes tüüpsetele alustele kandevõime väärtused aluse peal orienteeruvad KAPi väärtused, kuid mitte arvutades neid igale erinevale aluspinnasele. Sellest lähtuvalt on kandevõime väärtused erinevate kihtide pinnal arvutatud.

#### 4.5.4 Asfaltkatte dimensioneerimine

Tabel 17. Asfaltkatte paksus ja arvutatud kandevõime asfaldi pinnal

| <b>Koormus-<br/>klass</b>             | <b>0,3</b>  |     | <b>0,8</b>  |     | <b>2,0</b>  |     | <b>5,0</b> |     |
|---------------------------------------|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|------------|-----|
| <b>Aluse tüüp</b>                     | cm          | MPa | cm          | MPa | cm          | MPa | cm         | MPa |
| <b>Killustik<br/>145 MPa</b>          | 4           | 170 | 8           | 229 |             |     |            |     |
| <b>Killustik<br/>160 MPa,<br/>KS</b>  |             |     |             |     | 10          | 284 | 14         | 360 |
| <b>TS 290<br/>MPa</b>                 |             |     | 8           | 400 | 9           | 424 | 11         | 473 |
| <b>KS<br/>(tuletatud<br/>200 MPa)</b> |             |     | 9           | 316 | 11          | 357 | 14         | 421 |
| <b>Koormus-<br/>klass</b>             | <b>10,0</b> |     | <b>25,0</b> |     | <b>60,0</b> |     |            |     |
| <b>Aluse tüüp</b>                     | cm          | MPa | cm          | MPa | cm          | MPa |            |     |
| <b>Killustik<br/>145 MPa</b>          |             |     |             |     |             |     |            |     |
| <b>Killustik<br/>160 MPa,<br/>KS</b>  | 17          | 416 | 20          | 472 | 24          | 542 |            |     |
| <b>TS 290<br/>MPa</b>                 | 12          | 498 | 13          | 523 | 14          | 548 |            |     |
| <b>KS<br/>(tuletatud<br/>200 MPa)</b> | 16          | 463 | 18          | 505 | 20          | 545 |            |     |

Märkus. Tabelis toodud asfaldikihtide paksus (cm) ja kogu katendi kandevõime (MPa) Odemarki valemi alusel.

#### 4.5.5 InfraRYL kataloogilahend linnadele

InfraRYL jagab tänavad 6 klassi liiklussageduse alusel, kuues klass on kergliiklusteed ilma autoliikluseta. Kataloog on koostatud Odemarki valemiga. Konstruktsioonid antud igale teeklassile kokku seitsme erineva aluspinnase jaoks (A...G, vt. ptk. 4.5.2).

Kokkuvõtvalt on linnatänavate katendikataloog esitatud Tabelis 18.

Tabel 18. Soome kataloogikatendid linna tänavatele

| <b>Liik (tänavaklass)</b>                     | <b>1</b>         | <b>2</b>          | <b>3</b>            | <b>4</b>          | <b>5</b>        | <b>6</b> |
|-----------------------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------|----------|
| <b>AKÖL 10</b>                                | <b>&gt;30000</b> | <b>10...30000</b> | <b>2500...10000</b> | <b>500...2500</b> | <b>10...500</b> | <b>0</b> |
| <i>E<sub>uld</sub>, MPa</i>                   | 500              | 420               | 350                 | 250               | 200             | 175      |
| <i>AC surf/SMA, cm</i>                        | 4                | 4                 | 4                   | 4                 | 4               | 4        |
| <i>AB, cm</i>                                 | 18               | 15                | 12                  | 5                 | 5               | 0        |
| <i>Kandev (killustik), cm</i>                 | 15...20          | 15                | 15                  | 15                | 15              | 15...20  |
| <i>Jagav/tugi<br/>(killustik/kr/liiv), cm</i> | 0...60           | 0...55            | 0...50              | 0...55            | 0...40          | 0...60   |

## 4.6 VENE KATALOOGID

Kataloogikatendina on PNST 390-s toodud igale teeklassile kaks varianti (V1 ja V2), ODM 218.2.104-2020-s kolm varianti (V1, V2 ja V3), mis valitakse arvutatud vajaliku kandevõime  $E_{uld}$  väärtusest lähtuvalt. Variandid on toodud kolmele aluspinnasele, kuid ei sisalda nende aluspinnaste arvutuslike kandevõime väärtuseid:

- liivsavi,
- saviliiv,
- liiv.

Katendi konstruktsioonid on koostatud kolmele erinevale alusele:

- bituumenstabi BS,
- tsementstabi TS,
- sidumata alus.

Huvitav on täheldada, et esimese klassi teedel, kus ületatakse liikluskoormus 1,3 miljonit normtelge, kasutatakse sama kataloogilahendit kuni väga suure koormussageduseni (110 miljonit normtelge). Ilmselt on PNST 390 orienteeritud väiksematele liikluskoormustele ja ODM 218.2.104-2020 suurematele.

Kergkatenditele on lahendid vaid III-V klassi teedele ja siirdekattenditele IV-V klassi teedele.

Vene kataloogides on küll antud katendi kandevõime  $E_{uld}$  katte peal, kuid ei ole nõudeid kandevõime väärtustele katendi erinevatel kihtidel. Samuti puuduvad nõuded tihendamise kontrollimiseks. Nõuded tihendamisele on tõenäoliselt toodud üldistes ehitusreeglites.

Üldine probleem kataloogikatendite aluste kohta seondub liiklusproгноosi, konkreetselt kasutatavate siirdeteguritega, sest 2020 koostatud kataloogid tuginevad normil PNST 265-2018, mis sätestas oluliselt suuremad siirdetegurite väärtused võrreldes 2021 rakendunud PNST 542 standardiga (vt. peatükk 2.1).

### 4.6.1 ODM 218.2.104-2020

Kataloog on koostatud I...IV klassi teede katenditele teatud lisatingimuste täitmisel:

- Aluspinnased töökihis võivad olla liivsavid, saviliivad, liivad ja savid, kuid välistatud on rasked savid ja tolmsed materjalid. Juhul, kui esinevad nimetatud erijuhud, ei saa rakendada antud kataloogi katendeid.
- Muldkeha või aluspinnase kandevõime kataloogikihtide all peab olema vähemalt 40 MPa
- Aluse lisakihis tohib kasutada liiva (peen-, kesk-, jäme- ja kruusliiv), liiva-kruusa, liiva-killustiku ja killustiku-liiva-kruusa segusid, materjali filtratsioon peab olema vähemalt 1 m/ööp
- Aluses võib kasutada kirjeldatud segude asemel killustikke kihipaksusega kuni 20 cm ja ainult kiilutult
- I...III klassi teede katendites, kui vajalik kandevõime on üle 390 MPa on ette nähtud asfaldivõrgu (100 kN) kasutamine kahe ülemise asfaldikihi all. Reeglina nähakse ette geotekstiilide kasutamine nn aluse lisakihi peal ja all (muldkeha/aluspinnase ja konstruktsiooni vahel)

Koormussagedus ja vajalik kandevõime määratakse normi PNST 265-2018 alusel. Niiskuspaikkonnast sõltuvust ei ole arvestatud, ilmselt on põhjuseks ka eeldus, et ODM rakendatakse üheselt vaid 1. niiskuspaikkonnas (normi järgi tuleks teistsuguses olukorras teostada ka kontrollarvutused).

I...III klassi teedele on ette nähtud ainult kolmekihilised asfaltkatted, IV klassis kahekihilised – kokkuvõttes on asfaldikihtide paksus 12...26 cm. Igas teeklassis on antud konstruktsioonid kolmele koormussagedusele, kui koormus on suurem antud vahemikest, ei saa kataloogilahendit kasutada. Aluses kasutatakse killustiku-liiva-kruusa segu, võimalik on ka stabiliseeritud segude kasutamine.

#### 4.6.2 PNST 390-2020

Kataloog on koostatud kogu koormusspektrile, kuid tegemist on katselise standardiga (kolmeaastane kehtivus). Koormussagedus ja vajalik kandevõime määratakse samuti PNST 265-2018 alusel. Aluspinnased on jagatud kolme gruppi – liivsavid, saviliivad ja liivad. Igale aluspinnasele on antud lahendid minimaalsele ja maksimaalsele koormusele, tugevama konstruktsiooni rakendusvahemik on üsna lai, mistõttu on eeldada üledimensioneerimist suhteliselt suures ulatuses.

Materjalid vastavad standarditele:

- Asfaldid – PNST 183 ja 184, GOST-R-58400 ja 58401 ning GOST-R-52056 ja GOST 33133
- Pinnased, töödeldud orgaanilise sideainega (BS) – PNST 321
- Pinnased, töödeldud anorgaanilise sideainega (TS) – PNST 322
- Killustiku-liiva kruusa segu, töödeldud orgaanilise sideainega (BS) – PNST 325
- Killustiku-liiva-kruusa segu, töödeldud anorgaanilise sideainega (TS) – PNST 326

- Killustik 32/63 kiilutud erinevate materjalidega (killustik, asfalt, freespuru, liivatsemendisegu) – GOST 32703 ja 32826
- Killustiku-liiva-kruusa segu – PNST 327 (max terasuurusest sõltub kontrollitav vähim terasuurus ja läbiku väärtus reglementeeritakse sõltuvalt kasutuskohast, näiteks 0/32 drenkhis 5...15% osiseid alla 0,5 mm)

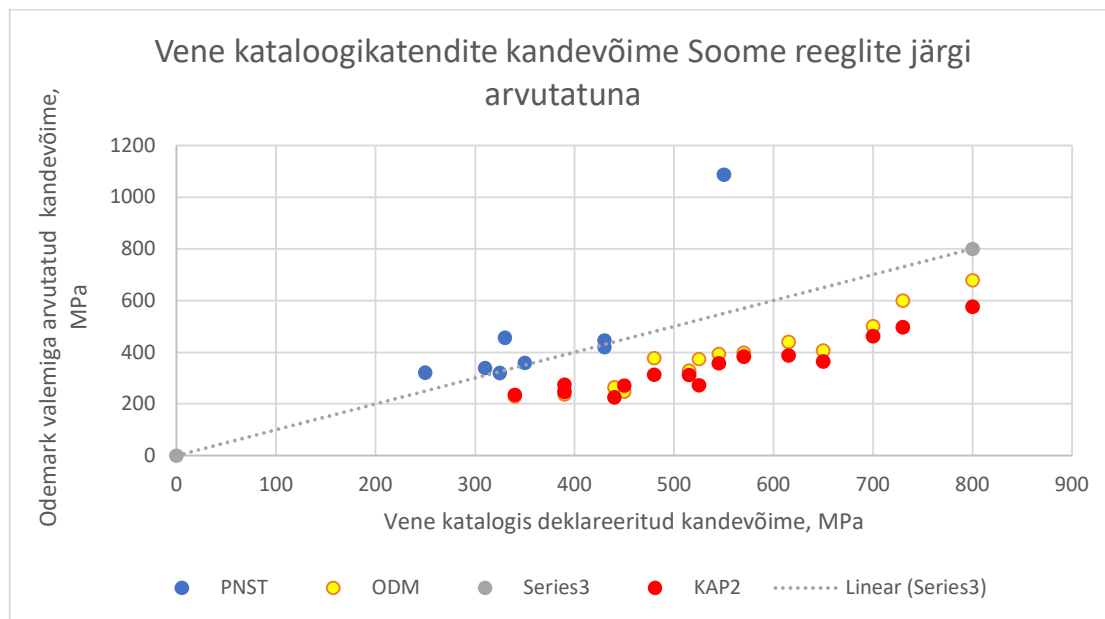
Normitekstis on loogikavead IV klassi püsikatendi konstruktsioonides, kõigis kergkatendites ja IV klassi siirdekateendite konstruktsioonides. Samas on antud igale konstruktsioonikihile ka elastsusmooduli väärtus, mida on kasutatud kontrollarvutustes. Antud ei ole vahetulemusi ehk kandevõime väärtusi vahepealsete kihtide pinnal.

GOST 32824-2014 reguleerib loodusliku liiva omadusi ning sätestab kaks kvaliteediklassi, kusjuures I klassi puhul tohib peenosiseid olla kuni 2%, peenliivas kuni 3%, II klassi puhul kuni 3%, peenliivas 5 või isegi 10%. See GOST ei sisalda filtratsiooninõuet.

#### 4.7 SOOME JA VENE KATALOOGIDE VÕRDLUS

Soome ja Vene kataloogilahenduste võrdlus on tehtud järgmiselt:

1. Aluseks on Vene kataloogi lahendus materjalide, pinnaste ja kihi paksustega. Teada on kataloogilahenduse E igale variandile (V1, V2) tee klassist (I-IV) sõltuvalt. Teada on materjalidele Vene kataloogis omistatud omadused.
2. Materjalidele on leitud Soome omadused ja Odemark valemiga on leitud Vene kataloogilahenduste kandevõimed Soome normi järgi.
3. Aluspinnaseks on liiv, kandevõimega 45 MPa.



Joonis 8. Vene kataloogikatendite kandevõime Soome pinnaseomaduste ja Odemark valemi kaudu arvatuna. Vaata ka Tabelid 19 ja 20.

Tabel 19. PNST 390 katendite võrdlusarvutus Odemark valemi ja Soome materjali omadustega. Kihi paksus cm, kandevõime MPa.

| <b>Tabel nr PNST 390-2020</b>   |               | <b>10</b>   | <b>18</b>   | <b>28</b>    | <b>36</b>    | <b>66</b>     | <b>78</b>     | <b>108</b>   | <b>120</b>   |
|---------------------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>Tee klass (I-IV), v1, v2</b> |               | <b>I-v1</b> | <b>I-v2</b> | <b>II-v1</b> | <b>II-v2</b> | <b>III-v1</b> | <b>III-v2</b> | <b>IV-v1</b> | <b>IV-v2</b> |
|                                 | <b>E, MPa</b> | <b>330</b>  | <b>550</b>  | <b>325</b>   | <b>430</b>   | <b>310</b>    | <b>430</b>    | <b>250</b>   | <b>350</b>   |
| <b>SMA (E = 5500 MPa)</b>       | <b>2500</b>   | 5           | 6           |              |              |               |               |              |              |
| <b>SMA (E = 4900 MPa)</b>       |               |             |             | 4            | 6            |               |               |              |              |
| <b>AC surf (E = 4500 MPa)</b>   |               | 6           | 10          |              |              |               |               |              |              |
| <b>AC surf (E = 3300 MPa)</b>   |               |             |             | 6            | 9            | 5+7           | 5+9           | 5+7          | 6+8          |
| <b>AC base (E = 2900 MPa)</b>   |               | 7           | 16          |              |              |               |               |              |              |
| <b>BS (E = 950 MPa)</b>         | <b>950</b>    | 12          | 20          | 14           | 14           | 14            | 17            | 13           | 13           |
| <b>32/63 (E = 450 MPa)</b>      | <b>430</b>    | 13          | 36          |              |              |               |               |              |              |
| <b>Mix (E = 230 MPa)</b>        | <b>230</b>    |             |             | 21           | 21           | 17            | 22            | 16           | 16           |
| <b>MSa (E = 120 MPa)</b>        | <b>70</b>     | 20          | 37          |              |              |               |               |              |              |
| <b>Fsa (E = 100 MPa)</b>        | <b>50</b>     |             |             | 30           | 22           | 20            | 25            | 20           | 20           |
| <b>E45 – Fsa (E = 45 MPa)</b>   | <b>45</b>     |             |             |              |              |               |               |              |              |
| <b>Soome Odemark</b>            | <b>E, MPa</b> | <b>456</b>  | <b>1087</b> | <b>320</b>   | <b>421</b>   | <b>339</b>    | <b>446</b>    | <b>321</b>   | <b>359</b>   |

Tabel 20. ODM 218.2.104-2020 katendite võrdlusarvutus Odemark valemi ja Soome materjali omadustega, materjalide omadused Tabelist 19. Kihi paksus cm, kandevõime väärtused MPa.

| <b>Tee klass</b>      | <b>I (4 sõidurada)</b> |                |                | <b>II (4 sõidurada)</b> |                |                | <b>III (2 sõidurada)</b> |                |                |
|-----------------------|------------------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>E, MPa</b>         | <b>&lt;650</b>         | <b>650-730</b> | <b>730-800</b> | <b>&lt;525</b>          | <b>525-615</b> | <b>615-700</b> | <b>&lt;440</b>           | <b>440-515</b> | <b>515-570</b> |
| <b>SMA</b>            | 5                      | 5              | 5              | 5                       | 5              | 5              | 5                        | 5              | 5              |
| <b>AC bin</b>         | 7                      | 7              | 7              | 6                       | 7              | 9              | 6                        | 7              | 7              |
| <b>AC base</b>        | 8                      | 10             | 12             | 7                       | 9              | 12             | 7                        | 8              | 10             |
| <b>BS</b>             | 10                     | 14             | 15             | 10                      | 11             | 10             |                          | 11             | 10             |
| <b>Mix</b>            | 15                     | 30             | 35             | 15                      | 15             | 15             | 15                       |                | 15             |
| <b>Odemark E, MPa</b> | 407                    | 600            | 679            | 374                     | 440            | 501            | 264                      | 328            | 398            |
| <b>Tee klass</b>      | <b>III</b>             |                |                | <b>IV</b>               |                |                |                          |                |                |
| <b>E, MPa</b>         | <b>&lt;390</b>         | <b>390-480</b> | <b>480-545</b> | <b>&lt;340</b>          | <b>340-390</b> | <b>390-450</b> |                          |                |                |
| <b>AC bin</b>         | 5                      | 5              | 5              | 5                       | 5              | 5              |                          |                |                |
| <b>AC base</b>        | 8                      | 6+7            | 6+8            | 7                       | 7              | 8              |                          |                |                |
| <b>BS</b>             |                        | 17             | 17             |                         |                |                |                          |                |                |
| <b>Mix</b>            | 28                     |                |                | 25                      | 27             | 26             |                          |                |                |
| <b>Odemark E, MPa</b> | 255                    | 377            | 394            | 230                     | 237            | 248            |                          |                |                |

Vene ODM 218.2.104-2020 kataloogilahendite kandevõime on asfaldikihtide suurte elastsusmooduli väärtustega suureks arvutatud. Vajalik kandevõime on samuti suurte

siirdetegurite tõttu suurem, kui Eesti ja Soome normide kohane (vt siirdetegurite võrdlus ptk. 2.1). Kui ODM 218.2.104-2020 kataloogilahendid arvutada ümber Eesti ja Soome kandevõimeks, siis saame tulemuseks väiksema kandevõime (*Joonis 8*), seda just asfaldi väiksema arvutusliku elastsusmooduli tõttu. PNST 390 kataloogilahendite kandevõime arvutatuna Soome ja Eesti normi kohaselt on küll praktiliselt sama, kuid peatükk 3 analüüsi kohaselt ei tohiks PNST kataloogilahendusi Eesti liikluskoormuse juures kasutada. Tundub, et Vene koolkond on normide kehtestamisel muutnud oluliselt liikluskoormuse ja vajaliku kandevõime seost (võrreldes VSN 46-83), samuti siirdetegureid ja tugevustegureid. Kuidas ja mille alusel seda tehtud on, ei ole teada. Selle puuduliku põhjendatuse (meile teada oleva) tõttu ei ole kataloogilahendused Eesti tingimustesse üle võetavad.

Teine oluline aspekt on, et Eesti ja Soome arvutusalgoritmid annavad Vene kataloogilahendustele praktiliselt sama kandevõime, kui rakendada Soome pinnase ja materjaliomadusi (*Tabel 19*). See võimaldab väita, et Eesti ja Soome teede projekteerimise alused on väga sarnased ja annavad väga sarnaseid tulemusi, välja arvatud liikluskoormuse alusel vajaliku kandevõime leidmine (ptk.3). Viimane aga, nagu eespool analüüsitud, on põhjustatud sellest, et Eestis ei ole vastavat seost vastavalt liikluskoormuse ja masinate kaalu muutusele 40 aasta jooksul kaasajastatud.

## 4.8 EESTI KATALOOG

Eelnevalt on põhjalikumalt analüüsitud Vene kahte erinevat juhust, Soome juhust, samuti vajaliku kandevõime väärtuseid Saksa juhust ning kõrvutatud nende kataloogikatendite konstruktsioone ja võrreldavat kandevõimet. Iga võrdlus on loomulikult seotud teatud eeldustega, sest süsteemid ei ole piisavalt hästi dokumenteeritud selleks, et valitud konstruktsioonide võrdlus oleks võimalik absoluutse üks-ühele võrdlusena võimalik läbi viia. Põhiraskus seejuures on eeldatava aluspinnase ja tema omaduste valikus.

Soome arvutuste osa tugineb 2018 juhendil nr 38 mis katab kogu maanteevõrgu. Koormusgrupi kohta on antud nõutud kandevõime ja minimaalselt lubatav asfaldikihtide paksus, kuid projekteerija teeb alati valitud konstruktsioonidele kontrollarvutused. Tegemist on kataloogikatenditega, mida siiski arvutustega üle kontrollitakse. Kuna koormusklassi piires rakendatavad piirväärtused on sätestatud koormusklassi ülempiiri alusel, siis tagavad kataloogilahendused vajaliku kandevõime koormusklassi piires enamasti varuga. Kontrollarvutus tagab, et ka arvutuslik koormussageduse korral koormusklassi ülempiiri lähedal oleks vajalik kandevõime tee pinnal tagatud ka nõrgematel aluspinnastel.

Asulasiseste teede puhul rakendub klassikaline kataloogikatend juhendist InfraRYL (2017), mis on arvutatud eeltoodud juhendi alusel ning projekteerija valib koormusgrupi ja igas grupis on igale aluspinnasele antud üks konkreetne konstruktsioon. Koormusgrupi valiku lihtsustamiseks on asulasiseste teede grupid koostatud liiklussageduse, mitte koormussageduse alusel.

Vene süsteem on veidi komplitseeritum, sest samaaegselt kehtivaid dokumente on rohkem. Traditsiooniline (tüüpkatendi) juhise ODN 218.046-01 mis asendas 1983 VSN kehtib aastast 2001. Katseliselt on rakendatud tüüpkatendina PNST 542-2021 – PNST seeria on kolmeaastaseks katse-kasutuseks. Sellele juhisele eelnes PNST 265-2018, mille baasil on koostatud kaks kataloogikatendite juhust – ODM 218.2.104-2020 ja ajutise seeria juhise PNST 390-2020. Nende lahti mõtestamise teeb probleemseks siirdetegurite sage muutmine, sest PNST 265-2018 kasutas suuremaid väärtusi kui PNST 542-2021 (eraldi siirdetegurite

standard PNST 541-2021). Arusaamatu on ka vajaliku kandevõime leidmise metoodiline alus valemite ja protseduuridena siirdetegurite sagedase muutmise põhjus ei ole selge. Loetletud asjaolud takistavad Vene süsteemile tagasi minekut.

Ülaltoodud kaalutlustel on alljärgenavalt esiatud ettepanekuna Soome teede projekteerimise juhistel ja juhendidel põhinev kataloogilahendite kogum ja selle rakendamise põhimõtted. Tabelis 21 on toodud nõuded katte ja katte aluse vajaliku kandevõimena ning asfaldi paksuse miinimumpaksusena sõltuvalt liikluskormusest (KKL), võrdlusena ka liiklussagedusest (AKÖL).

Tabel 21. Nõuded Eesti katendile Soome maanteenormi alusel

| <b>Koormusklass</b>                         | <b>KKL<br/>0,3</b> | <b>KKL<br/>0,8</b> | <b>KKL<br/>2,0</b> | <b>KKL<br/>5,0</b> | <b>KKL<br/>10,0</b> | <b>KKL<br/>25,0</b> | <b>KKL<br/>60,0</b> |
|---------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b><i>E<sub>vaj</sub> alusel, MPa</i></b>   | <b>145</b>         | <b>145</b>         | <b>160</b>         | <b>160</b>         | <b>160</b>          | <b>160</b>          | <b>160</b>          |
| <b><i>E<sub>vaj</sub> kattel, MPa</i></b>   | <b>170</b>         | <b>230</b>         | <b>285</b>         | <b>360</b>         | <b>415</b>          | <b>470</b>          | <b>540</b>          |
| <b><i>Asfaldi paksus, cm</i></b>            | 4                  | 8                  | 10                 | 14                 | 17                  | 20                  | 24                  |
| <b><i>Liiklussagedus<br/>(AKÖL) min</i></b> | 1                  | 451                | 1301               | 3001               | 6701                | 14001               | 35001               |
| <b><i>Liiklussagedus<br/>(AKÖL) max</i></b> | 450                | 1300               | 3000               | 6700               | 14000               | 35000               |                     |

Võttes aluseks järgmised eeldused:

- raskeliikluse kasv 10 aastaga on põhimaanteedel 1,0...1,2 kordne,
- raskeliikluse kasv 10 aastaga on tugimaanteedel 1,0...1,15 kordne,
- raskeliikluse kasv 10 aastaga on kõrvalmaanteedel 1,0...1,10 kordne,
- suuremad kasvud eeldatakse suurema liiklussageduse korral,
- kasutame Soome maanteejuhises toodud siirdetegureid ja koormusklasside piire,

saame leida eeldatava Soome koormusklasside jaotuse Eesti teede võrgule tervikuna, esitatud Tabelis 22.

Tabel 22. Eesti teede klassid tänase jaotuse ja liiklussageduse järgi (AKÖL) jaotatuna Soome koormusklassidesse (kilomeetrites). Kollasega on tähistatud valdav.

|                | Funktsionaalne |      |        | KOKKU                           | Koormusklasside jaotus (Soome järgi) |      |      |      |      |      |      |
|----------------|----------------|------|--------|---------------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 2021           | põhi           | tugi | kõrval |                                 | 0,3                                  | 0,8  | 2,0  | 5,0  | 10,0 | 25,0 | 60,0 |
|                |                |      |        | <i>E<sub>vaj</sub>,<br/>MPa</i> | 170                                  | 230  | 285  | 360  | 415  | 470  | 540  |
| 14500+, km     | 81             |      | 5      | 86                              |                                      |      | 4    | 1    | 6    | 37   | 38   |
| 6000-14500, km | 498            | 56   | 50     | 604                             |                                      | 11   | 19   | 108  | 99   | 317  | 50   |
| 3000-6000, km  | 437            | 230  | 61     | 728                             | 3                                    | 31   | 95   | 385  | 182  | 32   |      |
| 500-3000, km   | 578            | 1875 | 1859   | 4132                            | 1051                                 | 1337 | 1224 | 623  | 18   | 24   |      |
| 50-500, km     | 12             | 246  | 7767   | 8024                            | 7231                                 | 574  | 124  |      |      |      |      |
| <50, km        |                | 1    | 2762   | 2763                            | 2715                                 |      |      |      |      |      |      |
| Kokku, km      | 1605           | 2407 | 12505  | 16518                           | 11000                                | 1953 | 1464 | 1117 | 305  | 410  | 88   |

Märkus: koormussageduse arvutuses oleme eeldanud, et laiustegur B ei rakendu – rada koos piirneva peenruga on vähemalt 5 meetrit ja nõlvad on lauged. See parandus ilmselt tõstab kõrvalmaanteed arvutuslikku koormust rohkem kui teistel teedel.

Tabelis 23 kirjeldatud nn. Eesti kataloogikatendi lahendus on koostatud järgmistel eeldustel:

1. Aluspinnased on liigitatud kruusaks (>2 mm vähemalt 30%), liivaks (alla 2 mm vähemalt 70% ja alla 0,063 mm kuni 50%) ning peenpinnasteks (alla 0,063 mm üle 50%).
2. Peenpinnaste korral katavad kataloogilahendused vaid neid juhtusid, kus alla 0,002 mm osiseid on kuni 30%. Kui alla 0,002 mm osiseid on üle 30% antakse kataloogilahendused jäigale savile ( $E = 35 \text{ MPa}$ ).
3. Kataloogilahendusi ei anta pehmetele savidele (alla 0,063 mm üle 50% ja alla 0,002 mm üle 30% ja  $E = 10 \text{ MPa}$ ) ja mudale ( $E = 5 \text{ MPa}$ ).
4. Aluspinnase  $E = 20 \dots 100 \text{ MPa}$ .

Tabel 23. Eesti katendikataloogi ettepanek. Tabelis kihi paksused cm.

|                                         | <b>Koormusklasside jaotus KKL (FIN)</b> |           |             |             |             |            |             |           |            |             |           |            |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|------------|
|                                         | <b>60</b>                               |           |             | <b>25</b>   |             |            | <b>10</b>   |           |            | <b>5</b>    |           |            |
|                                         | <b>Kill</b>                             | <b>KS</b> | <b>TS</b>   | <b>Kill</b> | <b>KS</b>   | <b>TS</b>  | <b>Kill</b> | <b>KS</b> | <b>TS</b>  | <b>Kill</b> | <b>KS</b> | <b>TS</b>  |
| <b><math>E_{vaj}</math> kattel, MPa</b> | <b>540</b>                              |           | <b>545</b>  | <b>470</b>  |             | <b>520</b> | <b>415</b>  |           | <b>495</b> | <b>360</b>  |           | <b>470</b> |
|                                         | 24                                      |           | 14          | 20          |             | 13         | 17          |           | 12         | 14          |           | 11         |
| <b>E2500 (A)</b>                        | 24                                      | 20        | 14          | 20          | 17          | 13         | 17          | 14        | 12         | 14          | 12        | 11         |
| <b>E1500 (TS)</b>                       |                                         |           | 24          |             |             | 24         |             |           | 24         |             |           | 25         |
| <b>E1250 (KS)</b>                       |                                         | 18        |             |             | 18          |            |             | 18        |            |             | 18        |            |
| <b><math>E_{vaj}</math> alusel, MPa</b> | <b>160</b>                              | <b>70</b> | <b>80</b>   | <b>160</b>  | <b>70</b>   | <b>80</b>  | <b>160</b>  | <b>70</b> | <b>80</b>  | <b>160</b>  | <b>70</b> | <b>80</b>  |
| <b>E280 (kill)</b>                      | 20                                      |           | 16          | 20          |             | 16         | 20          |           | 16         | 20          |           | 16         |
| <b>E200</b>                             | 24                                      | 12        |             | 24          | 12          |            | 24          | 12        |            | 24          | 12        |            |
| <b>E70</b>                              | 20                                      | 10        | 10          | 20          | 10          | 10         | 20          | 10        | 10         | 20          | 10        | 10         |
|                                         | <b>Koormusklasside jaotus KKL (FIN)</b> |           |             |             |             |            |             |           |            |             |           |            |
|                                         | <b>2</b>                                |           | <b>0,8</b>  |             | <b>0,3</b>  |            |             |           |            |             |           |            |
|                                         | <b>Kill</b>                             | <b>KS</b> | <b>Kill</b> | <b>KS</b>   | <b>Kill</b> | <b>KS</b>  |             |           |            |             |           |            |
| <b><math>E_{vaj}</math> kattel, MPa</b> | <b>285</b>                              |           | <b>230</b>  |             | <b>170</b>  |            |             |           |            |             |           |            |
|                                         | 10                                      |           | 8           |             | 4           |            |             |           |            |             |           |            |
| <b>E2500 (A)</b>                        | 10                                      | 8         | 8           | 5           | 4           | 5          |             |           |            |             |           |            |
| <b>E1500 (TS)</b>                       |                                         |           |             |             |             |            |             |           |            |             |           |            |
| <b>E1250 (KS)</b>                       |                                         | 18        |             | 18          |             | 18         |             |           |            |             |           |            |
| <b><math>E_{vaj}</math> alusel, MPa</b> | <b>160</b>                              | <b>70</b> | <b>145</b>  | <b>70</b>   | <b>145</b>  | <b>70</b>  |             |           |            |             |           |            |
| <b>E280</b>                             | 20                                      |           | 15          |             | 15          |            |             |           |            |             |           |            |
| <b>E200</b>                             | 24                                      | 12        | 25          | 12          | 25          | 12         |             |           |            |             |           |            |
| <b>E70</b>                              | 20                                      | 10        | 20          | 10          | 20          | 10         |             |           |            |             |           |            |

Märkus 1.  $E_{vaj}$  Soome eeskirja järgi, materjalide omadused Soome juhendites, elatusmooduliga  $E = 70 \text{ MPa}$  pinnast või materjali on vaja aluspinnase ( $E = 45 \text{ MPa}$ ) tõstmiseks vajaliku väärtuseni, et vähendada killustiku kulu. E70 – hea liiv või keskpärane kruus, E200 – hea kruus või madalasordiline killustik, E280 – killustik, E1250 – kompleksstabi, E1500 – tsementstabi, E2500 – asfalt. E70 kihi paksus võib muutuda aluspinnasest ja külmakindluse vajadustest sõltuvalt, viimasel juhul tuleb kasutada vajaliku külmakindlusega materjali.

Märkus 2. Soome juhises on killustikalus võetud võrdseks metallurgiaräbu-stabiliseerimisega, oleme sinna juurde lisanud ka kompleksstabi. Kuna tsementstabile on eraldi nõuded siis need on käsitletud eraldi. Tsementstabi puhul on vajalik kandevõime suurem ja asfaldi paksus väiksem – see asfaldi miinimumpaksus on

siiski kaks kihti. Kui põhimõtteliselt kasutada TS koosseisus ka Stabilroad-tüüpi lisandeid, mis vähendavad pragude tekke riski, võib kohustuslikku asfaldikihi paksust veelgi kahandada. KS osas oleme arvestanud tehnoloogiliselt soovitava miinimumpaksusena 18 cm. TS võiks teha ka 20 cm, kuid Soome skeemis on nõutud kandevõime stabiilsusel suurem, seda saab ka suurema tsemendisisaldusega saavutada kuid valisime 3...5 MPa 7-päevase survetugevusega segud.

Märkus 3. KKL 0,3 osas võib kahelda, kas sellele koormusele on üldse õige traditsioonilist asfaltkatet planeerida, võimalik et siin oleks otstarbekam külmsegu pinnatud sest liiklussagedused alla 500 a/ööp. Riigiteede kataloogist võiks need teed välja jätta, vähemalt asfaltkattest.

Märkus 4. Bituumenstabi (BS) ei ole kataloogis kajastatud, kuna on sobilik vaid väikese liiklussageduse (AKÖL <1000) ja väikese liikluskoormuse (väike raskeveokite ülesõitude arv) korral teede tolmuwabaks muutmisel.

## 5 ARUTELU

Eestis on teatud tingimustel (GPS-jälgimine, paarisratastega lisateljed) ka praegu lubatud 52-tonnised sõidukid liiklusesse. Soovitakse ka 60-tonniste veokite lubamist metsaveol (8-teljelisena, mis tähendab 1 telje lisamist senisele 7-le ja kogupikkuse suurenemist 18,75 m-lt 20,75 m-ni) ja kaugveol (kogupikkus suureneb 25,25 m-ni lisanduva teise haagise või pika kasti järel pikk haagise näol). 25,25 m ei ole peamine probleem, kuna koormus jaguneb autorongi pikkusele ühtlasemalt ja sellised sõidukid liiguksid rohkem transiiditrassidel logistikakeskuste vahel. Takistuseks võib olla ruumivajadus pöördel. Probleemiks on, et seniste uuringute põhjal on ca 17% raskeveokitest on ülekaalulised.

Suurenenud koormusi saaks küll siirdetegurite suurendamisega liikluskooormuse arvutamisel arvesse võtta, kuid käesoleva analüüsi põhjal saame väita, et Eestis kehtiva vananenud seose tõttu liikluskooormuse ja vajaliku kandevõime vahel ei tagaks see piisavat asfaltkatete vajaliku kandevõime tõusu. Seda on põhjalikult analüüsitud käesoleva aruande siirdetegureid ja vajalikku kandevõimet käsitlevates peatükkides. Vaja on uut seost liikluskooormuse ja vajaliku kandevõime vahel.

Eesti ja Soome teede projekteerimise süsteemi erinevad komponendid on käesoleva analüüsi põhjal kas väga sarnased või väga sarnaseid tulemusi andvad. Ühe erinevusega – liikluskooormuselt ja vajaliku kandevõime seoses on väga suur erinevus. Eestis kasutusel olev seos pärineb muudatusteta aastast 1983 (BCH – 46-86). Soomes on seost aja jooksul muudetud vastavalt liiklussageduse ja veokite kaalu, kogumassi, telgede arvu ning rehvirõhu ja rehvi mõõtmete muutumisele. Seega ei tähendaks Soome teede projekteerimise süsteemile üle minek muid sisulisi muutuseid, kui arvestamist muutunud liikluskooormusega.

Teine aspekt on pinnaste ja materjalide spetsifikatsioon ja selle vastavus Eurokoodile. Üleminekul Soome süsteemile oleks see vastavus koheselt tagatud läbi Eesti ja Soome sarnase ja Eurokoodi kohase pinnase- ja materjalide klassifikatsiooni.

Siirdetegurite pidev ajakohastamine vastavaks tegelikele veokitele maanteedel on ometi endiselt oluline ka Soome süsteemile üle minekul. Kui seos liikluskooormuse ja vajaliku kandevõime vahel on ajakohastatud, siis tagavad veokite eripära arvestavad siirdetegurid korrektsema liikluskooormuse prognoosi. Siirdetegurid võiks arvestada reaalse rehvisurve hinnangud ja rehvitüübi valikud, sest sama teljekoormuse juures on näiteks super-single (385 mm lai) mõju katendile kordades suurem paarisratta mõjust. Samuti tuleb ühtlustada automaatsete loendusseadmete sõidukiliigituse algoritmid – kui autoronge suudetakse hästi soolosõidukitest eristada, siis raskesõidukite (üle 3,5 tonni täismass) eristamine pakiautodest ja väikebussidest, aga ka vajadusel viimaste eristamine sõiduautodest on palju probleemsem. Eesti maanteedel on vaid kaks kaalupunkti, reaalseid liiklusloendusi teostatakse telgede vahekauguste määramise kaudu (voolikloendurid), uuemal ajal ka sõiduki kogupikkust mõõtes/hinnates (radarloendurid) ning nende põhimõtete järgi liigitatu ühildamine ei ole kerge. Paaris- ja üksikratta eristamiseks on küll olemas tehnoloogia, kuid vaid katsekasutuses ühel kogujateel. Kuid nagu korduvalt rõhutatud – ilma liikluskooormuse ja vajaliku kandevõime seose ajakohastamiseta ei ole ka liikluskooormuse prognoosi detailide täpsustamisel mõju teede katendite kestvuse tõstmisele.

Alljärgnevalt mõningaid pidepunkte Eesti uue katendite projekteerimise süsteemi kavandamiseks, mida käesolevas aruandes käsitletud ei ole. Tegemist on kavandatavate muudatustega normatiivaktides, mida veel ellu viidud ei ole :

1. Uues normikavandis on loobutud tee liigitamisest klassideks liiklusköormuse alusel. Sõiduradade arvu ja tee teised geomeetriaõuded määrab liiklusköormus, katendikonstruktsiooni liiklusköormus. Siirdetegurite kontseptsioon ilmselt jääb, kuid tegurid tuleb vastavusse viia kaalupunktides fikseeritud köormustega.
2. Soome süsteemi eeskujul on mõistlik grupeerida kataloogikatendite lahendid liiklusköormusega. Vene süsteemis on seni oluliselt sees ka tee klassist tulenev varutegur, millega üritatakse tagada kõrgema klassi teede suurem töökindlus. Tõenäoliselt ei ole selle süsteemi rakendamine Eestis otstarbekas, kuna varutegurite süsteem ei ole üheselt põhjendatud ning lahti seletatud.
3. Suure tõenäosusega muutub Eesti riigiteede struktuur, oluline osa alla 500 a/ööp liiklusköormusega teedest soovitakse anda üle kohalikele omavalitsustele. Samas ei ole nii väikese liiklusköormusega teedel ka keerulisi arvutusi vaja teha, mõistlik on kasutada kaht-kolme lahendit vastavat kataloogist. Teedel liiklusköormusega alla 50 a/ööp, on mõistlik piirduda siirdekateenditega, see võimaldab kasutada ka tolmuvaab lahendit pindamisega.
4. Tasuks kaaluda asfaltkatete tööea suurendamist, tänase määrukses fikseeritud minimaalse 15 asemel pigem 20 või isegi 25 aastat.
5. On mõistlik tekitada igale kataloogilahendile alternatiivina stabiliseeritud aluse variant, kusjuures on võimalik kasutada selleks nii tsementstabiliseerimist, kompleksstabiliseerimist kui ka bituumenstabiliseerimist. Bituumenstabiliseerimise suurem oht on deformatsioonides mistõttu BS võiks olla mõeldav ainult madala liiklusköormusega teede. Vene kataloogis on küll BS nähtud ette võimalusena kõigis konstruktsioonides. Aluseks võiks võtta Soome juhises toodud parameetrid.
6. Võrdlused teiste riikide kataloogikatenditega näitavad et meie vahemikud võiksid kujuneda 230...600 MPa piiridesse mis haakub ilusti Soome tüüpsete lahenditega, seega võiks kaaluda Soome skeemi rakendamist minimaalsete muutustega.
7. Teede ehitusaegne ja järgne kvaliteedi kontroll sõltuvad EVS-EN 16907 kohaselt otseselt projekteerimisel kasutatud meetodist. Tüüp- ja kataloogilahendustele nähakse ette ühed ja erilahendustele teistsugused kontrolli ja kvaliteedi tagamise meetodid.

## 6 ETTEPANEKUD JA HÜPOTEESID III ETAPI LÄBI VIIMISEKS

Töö kolmanda etapi läbiviimisel lähtutakse Tehnilise kirjelduse p.3.3, mille teaduslikuks uurimiseks on püstitatud järgmised hüpoteesid (I etapi ja II etapi tulemuste alusel).

### 6.1 KATALOOGIKATENDID JA NENDE ARVUTUSPÕHIMÕTETE VALIK

#### Hüpotees 1

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

#### Hüpoteesi käsitus käesolevas aruandes

Käesolevas aruandes põhjendati, et Venemaa normistikule tagasi üleminek on raskendatud, kuna aastatel 2001-2021 toimunud normi muudatuste sisu ja põhjendused ei ole üksikasjades kätte saadavad.

Võrdlus Soome normistikuga näitas, et enamikes aspektides on Eesti ja Soome normistikud kas väga sarnased või täiesti sarnased. Vaid liikluskoormuse alusel vajaliku kandevõime määramises on põhimõtteline lahknevus. Aruandes on analüüsi tulemusel hinnatud Eestis kasutusel olev seos liikluskoormuse ja vajaliku kandevõime vahel vananenuks, muutunud liiklusolude jaoks mitte sobivaks. Seost ei ole võimalik ajakohastada vaid siirdetegurite muutmise, vaid see vajaks põhjalikku muutmist. Põhjendusega, et muudes osades on Eesti ja Soome normistikud ühilduvad, tehakse ettepanek minna üle Soome normistikule täies mahus, mis võimaldaks säästa ajas ja vahendites teaduslikule uurimistööle eelpool käsitletud seose ajakohastamisel.

#### Ettepanek

Valmistada ette üleminek Soome teede projekteerimise normidele.

## 6.2 KVALITEEDI KONTROLLI PÕHIMÕTTED

### Hüpotees 2

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

### Hüpotees 3

Soome ja Venemaa kvaliteedikontrollimeetmed saab viia kooskõlla EVS 16907.

### Hüpoteesi käsitus käesolevas aruandes

Hüpoteesi detailides käsitletud ei ole. Vene normidele tagasi üleminekut ei peetud mõistlikuks. Soome normidele üle minnes tuleb rakendada ka Soome kvaliteedi kontrolli ja tagamise normistik. Soome normistik on kooskõlas EVS-EN 16907 põhimõtetega.

### Ettepanekud

Uurimistöö kolmandas etapis kirjeldatakse Soome normistiku kvaliteedi kontrolli detaile sõltuvalt tee projekteerimise meetodist ja kasutatud materjalidest ning tehakse ettepanekud Eestis üle võtmiseks.

## 6.3 KONTROLLI KATSED JA MEETODID

### Hüpotees 4

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

### Hüpoteesi käsitus käesolevas aruandes

Hüpotees ei vaja teaduslikku käsitlemist. On üheselt selge, et erinevad katendi kihtide elastsusmooduli mõõtmise metoodikad ei anna võrreldavaid tulemusi. See tuleneb katendi ja aluse erineva kandevõimega kihtide järgnevusest ja paksusest. Otsustamine või valik missuguse metoodikaga hinnata erilahenduste vastavust projekteeritud elastsusmoodulile, tehakse vastavuses Soomes kasutusel oleva süsteemiga.

### Ettepanekud

Kontrolli katsed ja metoodika rakendada vastavalt Soomes kasutatavaga. Detailid antakse uurimistöö III etapi lõpparuandes.

## **6.4 KATENDI ARVUTAMISE PROGRAMMID JA SEOS KONTROLLI MEETODITEGA**

### Hüpotees 5

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

#### Hüpoteesi käsitus käesolevas aruandes

Uue baasalusena nähakse Soome normistikul põhinevat süsteemi. Soome katendid arvutatakse Odemark valemil põhineva arvutuseeskirja alusel. Samal Odemark lahendil põhineb ka Eesti KAP. Seda, et Soome ja Eesti programmiga arvutatakse kandevõime katte pinnal sama või väga sarnane, on näidatud ka käesolevas uurimistöös. Olulist muutmist KAP-is vajab aga  $E_{vaj}$  leidmine liikluskooormuse alusel. Kuna selle muudatuse tegemiseks ei ole Eestis läbi viidud teaduslikke uurimistöid, soovitame käesoleva uuringu tulemina üle võtta Soome vastav valem.

#### Ettepanekud

Soome normidele üleminek võimaldab kasutada nende normide kohast tarkvara. KAP annab väljundina vananenud vajaliku kandevõime.

### Hüpotees 6

Erinevate katendiarvutusprogrammide kasutusele võtmine tuleb analüüsida koos tüüp ja katalooglahenduste kasutuselevõtmise võimalustega (tervikliku lahendusena).

#### Hüpoteesi käsitus käesolevas aruandes

Vt. vastus hüpoteesile 5. Sellel põhjusel ei saa jätkata KAP kasutamist Soome projekteerimise normidele üle minekul. Soome normide üle võtmisel tuleb kasutada nendele normidele vastavat tarkvara.

### Hüpotees 7

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

#### Hüpoteesi käsitus käesolevas aruandes

See hüpotees on pigem aksioom. EVS-EN 16907 on eesti keelsena ilmunud ja käsitleb probleemistikku detailideni.

#### Ettepanekud

Kontrolli katsete osa koostatakse uurimistöö III osas.

### Hüpotees 8

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

### Hüpoteesi käsitus käesolevas aruandes

See hüpotees on pigem aksioom. EVS-EN 16907 on eesti keelsena ilmunud ja käsitleb probleemistikku detailideni.

### Ettepanekud

Kontrolli katsete osa koostatakse uurimistöö III osas.