

# **Kohalike mineraalmaterjalide optimaalse kasutamise uuring Eesti teedemajanduses**

**AS Teede Tehnokeskus**

**2010-15**



**MAANTEEAMET**

**Tallinn 2010**

Uurimistöö koostamisel osalesid:

*Marek Truu (AS Teede Tehnokeskus)*

*Ott Talvik (Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut)*

*Julia Gulevitš (Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituudi doktorant)*

Uurimistöö valmimisele aitasid kaasa:

*Jüri Kivi, Janar Tükk, Taimo Murer, Oleg Dolgov (AS Teede Tehnokeskus), Elmur Karu (), Andrus Aavik (TTÜ Teedeinstituut), Ingo Valgma (TTÜ Mäeinstituut), Lemminkäinen Eesti AS, Nordecon Eesti AS, Ida Regionaalne Maanteeamet, Vão Paas AS, Paekivitoodete Tehas AS*

# KOHALIKE MINERAALMATERJALIDE OPTIMAALSE KASUTAMISE UURING EESTI TEEDEMAJANDUSES

Vastutav teostaja:

Marek Truu

Projektijuht

Tallinn, 2010

## SISUKORD

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| SISUKORD .....                                                        | 4  |
| SISSEJUHATUS .....                                                    | 8  |
| UURIMISTÖÖ IDEOLOOGIA .....                                           | 8  |
| KÜSITLUSED JA ARUTELUD EKSPERTIDEGA .....                             | 9  |
| Eesti ekspertide küsitlus .....                                       | 9  |
| Arutelud Rootsi ekspertidega .....                                    | 15 |
| Arutelud Peterburi ekspertidega .....                                 | 18 |
| KOHALIKE MATERJALIDE KASUTAMISE PRAKTIKA ALUSTES .....                | 19 |
| KOHALIKE MATERJALIDE VARUD JA KAEVANDAMINE .....                      | 20 |
| Killustiku tootmine .....                                             | 24 |
| BAASKIVIMI JA TÄITEMATERJALI OMADUSED .....                           | 25 |
| Paekivi omadused .....                                                | 25 |
| Füüsikalise-mehaanilised omadused .....                               | 27 |
| Keemilised omadused .....                                             | 27 |
| Struktuursed omadused .....                                           | 28 |
| Geoloogiafondi andmete analüüs ja Eesti aluspõhja stratigraafia ..... | 29 |
| Ordoviitsiumi ladestu .....                                           | 30 |
| Siluri ladestu .....                                                  | 31 |
| Devoni ladestu .....                                                  | 31 |
| Lubjakiviprodukti väärastamise võimalused .....                       | 31 |
| TÄITEMATERJALIDE OMADUSED KONSTRUKTSIOONIS EHK ALUSTE                 |    |
| OMADUSED EHTAMISEL JA EKSPLOATATSIOONIS .....                         | 33 |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tee ehitusaegsete tegevuste mõju materjali/kihi omadustele .....                                  | 33 |
| Tee eluea kriteeriumid .....                                                                      | 37 |
| Roopad.....                                                                                       | 37 |
| Pragunemine .....                                                                                 | 38 |
| Ebatasasused .....                                                                                | 38 |
| Aluse ülesanne elastses katendis .....                                                            | 39 |
| Tee eksploatatsioonitingimustest lähtuvad probleemid .....                                        | 40 |
| Mineraalmaterjalide omadused, mis mõjutavad sidumata kihtide töötamist elastses katendis .....    | 41 |
| Katendi ja mulde niiskussisalduse muutumine hooajaliselt .....                                    | 42 |
| UURINGUTE VAJADUS.....                                                                            | 46 |
| Paekillustiku ilmastikukindlus ja selle parendamine .....                                         | 47 |
| UT 1. Mikropraod lubjakivis.....                                                                  | 47 |
| UT 3. Lubjakivis ja NaCl vaheliste keemiliste reaktsioonide uuring .....                          | 47 |
| UT 8. Täitematerjalide tugevusomaduste muutumise selgitamine.....                                 | 47 |
| UT 11. Paekillustiku ilmastikukindluse võimaluste uuring .....                                    | 48 |
| UT 19. NaCl kontsentratsioon tee ristlõikes .....                                                 | 48 |
| Paekillustikust aluste ehitus ja ehitusaegsed uuringud .....                                      | 49 |
| UT 7. Täitematerjalide tugevusomadustele ja külmakindlusele esitatavate nõuete täpsustamine ..... | 49 |
| UT 15. Remondiobjektide defektuuringud .....                                                      | 49 |
| UT 18. Aluste omaduste kvaliteedikontrollivõimaluste selgitamine ehitamisel .....                 | 50 |
| UT 20. Erinevate ehitustööetappide mõju aluste omadustele.....                                    | 50 |

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Paekillustiku töötamine alustes.....                                                                                                | 51 |
| UT 9. Dreenivuse määramise võimaluste selgitamine.....                                                                              | 51 |
| UT 12a. Aluste uuringud. Ülevaade registris .....                                                                                   | 51 |
| UT 12b. Aluste uuringud. Deklareeritud omadused .....                                                                               | 52 |
| UT 12c. Aluste uuringud. Probleemid ja tegelikud omadused .....                                                                     | 52 |
| UT 13. Defektiuuringute põhimõtted.....                                                                                             | 52 |
| UT 16. Seotud alustes kasutamiseks sobilike materjalide uuring .....                                                                | 53 |
| UT 17. Peenemate fraksioonide tugevusomaduste mõju selgitamine<br>materjalisegude omadustele .....                                  | 53 |
| Kohalike materjalide geograafia .....                                                                                               | 54 |
| UT 2. Seoste otsimine GOST'i ja EVS katsemeetodite tulemuste vahel.....                                                             | 54 |
| UT 5. Kohalike materjalide saadavuse selgitamine regiooniti.....                                                                    | 54 |
| UT 6. Kohalike materjalide omaduste täpsustamine ja omadustest lähtuvate<br>projekteerimissoovituste koostamine (koos UT5'ga) ..... | 55 |
| UT 10. Paekivi erinevate lademetes potentsiaali selgitamine killustiku tootmiseks.                                                  | 55 |
| Paekillustikust alusekihtide omadused ja dimensioneerimine .....                                                                    | 56 |
| UT 4. Teede tüüpkonstrueerimise soovitusel/juhiste väljatöötamine .....                                                             | 56 |
| UT 14. Koormussageduste selgitamine .....                                                                                           | 56 |
| UT 21. Lubjakivist alusekihtidega konstruktsioonide võrdlev katsetamine<br>raskeliikluse simulaatoriga (HVS).....                   | 57 |
| UT 22. Pinnase ja mineraalmaterjalide kokkusurutavus ja tugevusparameetrite<br>määramine (kolmeteljelisel katsel) .....             | 57 |
| LUBJAKIVIALASTE UURINGUTE TEOSTATAVUS .....                                                                                         | 59 |
| Potentsiaalsete uuringute tasuvus .....                                                                                             | 59 |

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Paekillustiku kasutamise sotsiaalsed aspektid ..... | 60 |
| Uuringute infrastruktuur .....                      | 60 |
| Finantseerimisvõimalused .....                      | 61 |
| Administratiivsed/süsteemsed abinõud .....          | 61 |
| Muude mineraalmaterjalidega seonduv .....           | 62 |
| JÄRELDUSED, SOOVITUSED JA KOKKUVÕTE .....           | 63 |
| KASUTATUD KIRJANDUS .....                           | 64 |
| LISAD.....                                          | 68 |

## SISSEJUHATUS

Käesolev uurimistöö on koostatud Maanteeameti tellimusel. Uurimistöö viis läbi AS Teede Tehnokeskus koos Tallinna Tehnikaülikooliga.

Uurimistöö vajaduse tingis eelkõige asjaolu, et Eestis on kohalike materjalide uuringutes puudunud süsteemne lähenemine, mistõttu teostatud uuringud käsitlevad kohalike materjalidega seotud aspekte killustatult.

Käesoleva uurimistöö üldine eesmärk on täpsustada kohalike materjalide optimaalsed kasutuspiirid aluste ehituses. Uurimistöö konkreetne eesmärk on kaardistada tänane olukord paekillustike kasutamisel aluste ehituseks, luues aluse pikemaajalise uuringute kava väljatöötamiseks.

## UURIMISTÖÖ IDEOLOOGIA

Käesolev uuring viiakse läbi ülevaateuuringuna, mille eesmärk on selgitada meie tänane teadmus uuritavas valdkonnas – st. paekillustiku kasutamine teedehituses, peamiselt katendi alumistes kihtides. Seetõttu kasutame uuringus kombineeritult varasemate uuringute ja kirjanduse (nii kodumaine kui välismaine) ülevaatamist ning valdkonna ekspertide ja tootjate-kasutajate küsitlemist ja arutelusid nii kodu- kui välismaal. Küsitluste läbiviimiseks kasutatakse kombineeritult nii ankeetküsitlust, telefoniküsitlust kui koosoleku vormis arutelu. Töö käigus kogutakse Eestis ja välisriikides saadaolev info paekivialaste ning teede aluste ehitust käsitlevate uuringute kohta. Töös tuuakse teedehitusliku kasutamise vajadustest lähtuvalt välja paekivi ja paekillustiku tugevust ja püsivust iseloomustavad ja mõjutavad omadused, tootmisel ja kasutamisel ilmnenud probleemid ja riskid, nende omaduste mõju teede püsivusele ja ülevaade kasutatud lahendused ning nende majanduslikud aspektid. Välismaiste ekspertide kaasamiseks kohtutakse Rootsi (VTI, Trafikverket, Norra Linken) ja Venemaa (Peterburi mäeinstituut, SPbGASU, Dorservis, KBDH, PGUPS) ekspertidega.

## KÜSITLUSED JA ARUTELUD EKSPERTIDEGA

### Eesti ekspertide küsitlus

Uurimistöö läbiviijate poolt koostati küsimustikud eraldi killustiku kasutajatele ja tootjatele. Küsimustikud on toodud aruande lisades **2 ja 3**. Küsimustikud saadeti välja Eesti suurematele killustikaluseid ehitavatele ettevõtetele, tellijatele ja järelevalvet teostavatele ettevõtetele (kokku 30 ettevõttele) ning killustikutootjatele (kokku 2 ettevõttele). Esimeses grupis laekus vastuseid 8 ja teises grupis 3.

Enamus küsimustikule vastanuist ei tooda ise killustikku, küll aga kasutavad kõik vastanud killustikku aluste ehituses ning kinnitavad probleemide esinemist. Näiteks toodi esile juhtum kus telje praost sisseläinud soolavesi põhjustas telje sisselangemise (5cm sügavused, 20cm laiad lohud) ning toodi esile suuremate probleemide esinemist just nn. optimaalse terakoostisega e. sidumata segude kasutamisel. Üldiste kommentaaridena toodi välja vajadus igakülgsest uurida paekivikivi kui olulise kohaliku tähtsusega ehitusmaterjali erinevaid kasutusvõimalusi ja -viise ning uusi tehnoloogiaid, samuti vajadus välja töötada meetodid projektlahenduste asjakohasuse kontrollimiseks, viimast eriti tugevusarvutuste osas – nt. puudub tellijatel sageli oskus hinnata, kas projekteerija pakutud katendiarvutus on asjakohane.

Hinnangute andmisel kasutati etteantud skaalal 1 ... 5, kus 1 tähistab nõustumist ja 5 mittenõustumist. Seega, mida väiksem on keskmine hinne, seda olulisemaks hinnati probleemi. Tinglikult võiks jaotada skaala osadeks: hinne 1...2 – väga oluline probleem, hinne 2...3 – oluline probleem, hinne 3...4 - väheoluline probleem, hinne 4...5 – ebaoluline probleem.

Aluses kasutatavate materjalide omaduste osas toodi peamiste probleemidena esile alusematerjali ebapiisav külmakindlus soolamärjas keskkonnas (keskmine hinne 1,7), alusematerjali nõrkus – purunemiskindlus (KH 1,8) ja alusematerjali ebapiisav külmakindlus (KH 1,9). Vastajate hinnangul omavad väiksemat rolli alusematerjali kulumiskindlus (KH 2,9) ning ebasobiv terakoostis ning suur peenosiste sisaldus (KH 3,5). Samas toodi välja, et optimaalse terakoostisega segude puhul on peenosise sisaldus täiesti arvestatav probleem. Probleeme on nähtud ka materjali ebaühtlases purunemiskindluses.

Aluse kihi puudulik drenivus (mitteoptimaalne niiskusrežiim, üleniiskumine, veega küllastumine, materjalide drenivuse puudumine) osas loeti olulisimateks teguriteks üleniiskumist aluse servade mittedreeniva materjali tõttu (KH 2,1), üleniiskumine kevadel mulde külmunud servade tõttu (KH 2,3) ning üleniiskumine aluse all oleva materjali mittedreenivuse tõttu (KH 2,4). Üleniiskumist alusematerjali enda ebapiisava filtratsiooni tõttu samas probleemiks ei peetud (KH 3,9). Samas märgiti kommentaaris, et fraktsioneeritud killustikust aluste puhul ei ole materjali filtratsioon määrav, küll aga sidumata segudest kihtides.

Ebakvaliteetsest ehitusest/projektivigadest põhjustatud aluse probleemidena tõsteti esile eelkõige aluse materjali purunemine ja peenenemine ehitamisel (KH 1,8). Kommentaarina on märgitud olulisimaks probleemiks just liikluse all ehitamisest tingitud purunemist. Samuti on olulisteks aluse kihi materjali ebapiisav paksus (KH 2,0) ning aluse materjali segunemine aluse all oleva (nõrga) kihiga (KH 2,0). Kommentaarina aluste vähese paksuse osas toodi välja, et probleem suurem kõrvalmaanteede osas kus aluse paksus ebapiisav rahaliste vahendite piiratuse tõttu. Seevastu aluse aluskihi ebapiisavas pöikaldes ja ebatasasuses suuremaid probleeme ei nähtud (KH 3,6).

Muid etteantud tegureid – tellijate, tootjate, projekteerijate, järelevalve ja töövõtjate ebapädevus, aluste projekteerimist ja katendi valikut käsitlevate normdokumentatsiooni puudulikkus ning aluste ehitamist käsitlevate normatiivide (juhendmaterjalide) puudulikkus probleemidena üldjuhul äramärkimist ei leidnud (KH 2,7...3,3). Kommentaarina toodi välja mõte suurendada projekteerija ja järelevalve vastutust garantiiaja lõpuni.

Täiesti üksmeelne oli abinõu nägemine uuringute algatamises, mis aitaks paremini mõista paekillustikuga seotud protsesse tootmisel, ladustamisel transpordil, ehitamisel ja eksploatatsioonis (KH 1,0). Muid abinõusid - nõuete täpsustamine, optimaalse terakoostisega mineraalmaterjalisegude kasutamine, ehitise pikema garantiiaja nõudmine, sanktsioonid nõuete eiramisel ning tardkivikillustiku kasutamine suure liiklusköömusega teelõikudel peeti samuti olulisteks (KH 1,8...2,2).

Kommentaarina toodi välja, et ehitise pikem garantiiaeg on põhjendatud eelkõige ehitus-projekteerimise formaadi korral ning, et tardkivikillustiku kasutamise kõrval

tasuks rohkem tähelepanu pöörata kohalike materjalide parendamisele vääristamise teel, näitena toodi kompleksstabiliseerimine.

Etteantud uurimisvaldkondadest toodi peaaegu üksmeelselt esile ekspluatatsioonitingimuste (liikluskoormus, aluste/materjalide niiskussisalduse muutumine, kloriidid) mõju selgitamine konstruktsioonile (KH 1,1). Samas võib öelda, et oluliseks peeti ka teisi uurimisvaldkondi - aluste vastupidavust mõjutavate baaskivimi omadused (füüsikalised, keemilised, mehaanilised, struktuursed), aluste vastupidavust mõjutavate tootmisetappide (kaevandamine, purustamine...) ja ehitusetappide (paigaldamine, tihendamine, ...) tehnoloogiate mõju ning paeprodukti vääristamise võimalused (tugevusomaduste ja ilmastikukindluse suurendamine, nt impregneerimine). Kommentaarina toodi esile vajadust uurida paekivi käitumist stabiliseeritud alustes, nt kompleksstabiliseerimise puhul ning pöörata senisest enam tähelepanu uuringutele, mis aitaksid selgitada geosünteedide toimimist selliselt, et oleks võimalik teha pädevaid järeldusi ühe või teise lahenduse sobivuse suhtes etteantud tingimustes.

Kokkuvõtteks võib öelda, et küsitlusel saadud tagasiside ei anna vastajate vähesuse tõttu võimalust teha laiaulatuslikke üldistusi, kuid näitab siiski ära põhilised valukohad. Vastustes on tähelepanu juhitud reale probleemidele, mis on omased olemasolevate, aastakümneid tagasi ehitatud teede puhul ning millised on suures osas lahendatavad administratiivsete meetmetega (mille tähtsust on võimatu ülehinnata).

Üheks selliseks on aluse materjali ebapiisav paksus. Siin võib olla probleem nii projekteerimises (ebapädev katendiarvutus), ehituskvaliteedis (mitteprojektikohane ehitamine) kui ka tellijapoolses soovis säästa alusekihi paksuse arvelt.

Teiseks esile tõstetud probleemiks on aluse materjali segunemine allolevate kihtidega. Ilmselt on see olnud suuremaks probleemiks just fraktsioneeritud killustikust ehitatud aluste puhul. Segunemist soodustavaks faktoriks on kindlasti olnud väiksema kandevõimega drenkihi või pinnase kasutamine alusekihi all, aga ka sellise alloleva kihi ebaühtlus, mitteoptimaalne niiskus, tihendus jms. Probleem on tõenäolisemalt olnud aktuaalsem ajal, mil eraldavaid geotekstiile ei tuntud. Sidumata segude korral on tõenäoliselt segunemise oht väiksem, kuna materjalis on vähem segunemist soodustavaid tühimikke.

Paljudel juhtudel arvatakse probleemiks olema aluste üleniiskumine mulde servade (nõlvade materjali) võimetusest liigset niiskust muldest välja juhtida. Seda kas siis mulde servade mittefiltreeriva materjali või läbikülmumise tõttu ja eelkõige kevadperioodil. Selline olukord on tekkinud eelkõige ebakvaliteetsest ehitamisest ja sh. sobimatute (juhuslike, reeglina kohalike, nt savikate) materjalide kasutamisest mulde servades, sh. laiendustes. Olukorda halvendavad muud ehitusvead – nt. kihtide ebapiisav pöikkalle. Selliste teede remondilahenduste valiku teevad problemaatiliseks ebakvaliteetsest ehitusest tulenev tee ebaühtlus, mis ei võimalda kasutada ka remondil soodsaid standardseid lahendusi. Põhimõtteliselt on sellise tee puhul kaks võimalust – täielik ümberehitus või põhjalikel eriuuringutel ning kogemustel baseeruv projektlahendus. Samas on siin probleeme veelgi. Ilma põhjalikumaid uuringuid tegemata ei pruugi aga probleemide põhjused üldse selguda.

Hoopis tõsisemaks küsimuseks tuleb lugeda materjalide purunemis- ja külmakindlusega seonduv. Tegemist on väga olulise kuid samavõrd komplitseeritud valdkonnaga, mis seob endas materjali ja sellest rajatud kihi omadused kiiresti muutuvates keskkonnatingimustes tsüklilisest koormamisest tulenevate mõjude suhtes. Samuti peab arvestama tootmis- ja ehitustehnoloogilisi võimalusi ja kohalike materjalide olemasolu.

Purunemiskindlus leiab vastustes käsitlemist eelkõige oma ebaühtluse tõttu, st. materjal ei ole sageli omadustelt homogeenne, mistõttu käitub materjal ehitamisel ebaühtlaselt. Külmakindluse osas iseäranis suurt tähendust on omistatud külmakindlusele soolamärjas keskkonnas.

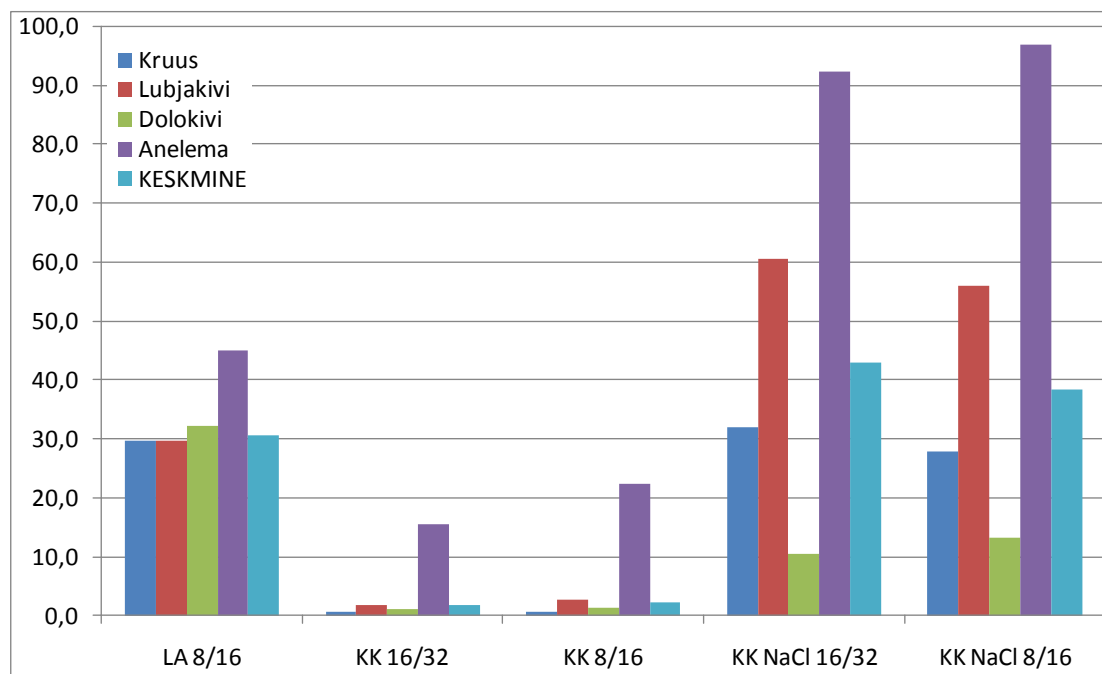
Eeldatavalt pärineb ebaühtluse probleemi algpõhjus homogeense materjali tootmise võimalustes ja oskustes. Seetõttu tasub edaspidi ilmselt tähelepanu pöörata meetmetele, mis aitavad tootjatel leida lahendusi homogeensete omadustega materjalide tootmiseks. Teisalt on vaja täpsustada meetmed materjali purunemiskindluse homogeensuse kontrolliks ja mittenõuetekohase välistamiseks, st. motiveerivat süsteemi võimalikult homogeense materjali tootmiseks/paigaldamiseks. Seejuures tuleb tõenäoliselt tegeleda ka nõuete endaga, kaasaarvatud homogeensus e. ühtluse nõue. Pae kihilisust – lademelisust

arvestades võib põhjendematult väikeste tolerantside võimaldamine tõsta märgatavalt toote maksumust.

Purunemiskindlus iseloomustab materjali võimet taluda lööke purunemata. Kui vaadata lähemalt purunemiskindluse (Los Angeles) määramise katsemeetodit, sarnaneb see paljuski aluse ehitamise käigus asetleidvatele protsessidele – materjal allub löökidele korduva ümberlaadimise ning greideriga teisaldamise ja profileerimise käigus. Viimasel juhul võib isegi rohkem mängida rolli materjali kulumine. Tihendamisel peab aga materjal taluma survet rulli või muu tihendusseadme raskuse all, mida paremini imiteerib survetugevust iseloomustav katse, nt. purustatavus silindris staatilisel koormamisel või koormamisel güraatortihendajaga. Vibrotihendusseadmete kasutamisel on purunemiskindlusel nähtavasti suurem tähtsus. Valtsrullide kasutamisel tekib tõenäoliselt täiendavaid probleeme eelkõige pindmise, valtsiga kokkupuutuvate teradega kihi omadustes. Kuna liikluse all töötades tuleb kõiki protsesse (eelkõige profileerimist ja tihendamist) korrata, on arusaadav, et kehvemate omadustega kivim puruneb enam ning valmis kiht võib järgmise kihi paigaldamise ajaks osutuda omaduste poolest juba aluseks ebasobivaks. Lisaks mõjutab liiklus, eriti raskeliiklus otseselt ise materjali omadusi, seda eriti nõrgema kivimi puhul, milline võib suhteliselt suure kontaktsurve tõttu puruneda. Eksploataatsioonis alusele mõjuvad jõud ja dünaamika on eeldatavasti väiksemad kui tihendamise ajal kuid need jõud tuleb vastu võtta muutuvates temperatuuri ja niiskustingimustes ning korduva koormamise käigus aastate jooksul.

Sidumata segudest aluste ehitamisel on lisanduvad ülaltoodust tulenevalt aga veelgi teravam vajadus materjali tugevusliku homogeensuse tagamise meetmete järele kuna väiksemad fraktsioonid võivad mitteselektiivse („seinast“) kaevandamise korral olla suurema tõenäosusega pärit nõrgematest kivimi kihtidest. Paekivi on teatavasti kihiline ning ka sama karjääri piires on kihid sageli väga erinevate tugevuslike omadustega. Lisaks on sidumata segude puhul mitteoptimaalse terastikulise koostise ja niiskuserežiimi korral täiendav oht segregeerumiseks, mis on täiendav kihi ebaühtlust põhjustav tegur. Segregeerumist on täheldatud mitte ainult ehitamisel vaid ka juba tootmisel, eriti selle lõppstaadiumis. Halvemal juhul võivad jämedamad fraktsioonid pea täielikult eralduda peenemast, mistõttu kumbki eraldivõetuna ei täida konstruktsioonis talle püstitatud ülesannet. Suure peenosise sisaldusega osafraktsioon võib aga suure peensuse tõttu osutuda halvemal juhul koguni

külmakerkeliseks. Üaltoodust tulenevalt tuleb osaliselt eraldi käsitleda fraktsioneeritud materjalist ning sidumata segudest aluste rajamisega seonduvaid probleeme. Sidumata segude positiivsete omadustena võiks tuua välja tõenäoliselt väiksema tugevusvajaduse teradevahelise suurema kontaktpinna tõttu ning tiheda pakituse tõttu suurema stabiilsuse. Uurimist vajab kuidas mõjutavad erinevad tööetapid erinevate (tugevus) omadustega killustikke ning püüda selliseid mõjusid katsemeetoditega modelleerida (**UT 20**). Seejärel töötada välja soovitud paekivikillustike kasutamiseks sõltuvalt nende omadustest. Vajalik on täpsustada nõuded kihtidele ja nende homogeensusele ja tagada motiveeriv mehhanism kvaliteedikontrolliks ja nõuete tagamiseks juba töövõtja enda poolt.



Joonis 1 Paekillustike tugevuomadused ja fraktsioonide 8/16 ning 16/32 külmakindluse näitajad vees ja NaCl lahuses

Külmakindluse all mõistetakse materjali võimet taluda külmumis-sulamistsükleid. Eesti kliimatingimustes on selliseid tsükleid talveperioodil hulgaliselt. Mõned tehtud uuringud (1) on näidanud, et erinevalt tardkivimitest, on paekivi(killustike) külmakindlus NaCl lahuses oluliselt väiksem kui destilleeritud vees, mis teeb paljud eriti ettevaatlikuks. Uuringutes on selgunud, et lubja- ja dolokivide külmakindlus F (EVS-EN 1367-1:2007) järgi on vahemikus 0,3...7,6% (kruuskillustikel kuni 0,7...2,0%). Samade materjalide külmakindlus F 1% NaCl lahuses (EVS-EN 1367-6:2008) järgi on aga vastavalt 5,9...83,6% ja 14,9...71,0%. Kõige sagedasemini on vaadeldud killustike külmakindlust destilleeritud vees vahemikus 0,3...0,7 ning

soolalahuses lubjakividel vahemikus 40...70, dolokividel 10...20 ja kruuskillustikel vahemikus 20...30%. Samas on ka siin märkimisväärsed erandeid (nt. Anelema dolokillustik). Uuringute käigus tehti materjalidele ka LA katsed. Külmakindluse katse puhul täheldati terade kihelist purunemist, mille tagajärjel tekivad plaatjad terad.

Veelgi enam, mõned tehtud uuringud kinnitavad NaCl olemasolu tee aluse killustikus. Samas ei ole uuritud seoseid teelt võetud proovide NaCl sisalduse ja sama materjali muude omaduste vahel ega hinnatud NaCl mõju aluse külmataluvusele. Need uuringud annavad alust oletuseks, et paljudel juhtudel võivad alustes asetleidvad purunemishäired olla tingitud liikluskoormuse, temperatuurimuutuste ja kloriididelahuste koosmõjus. Arvestades eeltoodut, võib materjalide võrdlemiseks uuringutes osutada vajalikuks töötada välja ja kasutada külmakindluse ja tugevusomaduste hindamise kombineeritud metoodikat, milline iseloomustaks võimalikku halvimat talvist situatsiooni teedel (**UT 8**).

Tootjate osas oli vastanute arv veelgi väiksem kui kasutajate osas, mistõttu ei võimalda need olulisi üldistus teha. Seejuures oldi vastustes suhteliselt üksmeelsed selles osas, et uurimisvajadustest on esikohal eksploatatsioonitingimuste (liikluskoormus, aluste/materjalide niiskussisalduse muutumine, kloriidid) mõju selgitavad uuringud (**UT 8**). Vastanute sõnul tuleks uurida kuidas on ehitatud 10-15 aastat vanad alused ja millises seisundis nad on, kuidas nad on eksploatatsioonis vastu pidanud, keskmiselt, üldiselt, head kohad, halvad kohad ning selgitada aluste all kasutatud kihtide püsivuse küsimusi, kas vajumiste põhjused pole sageli seal. Kas on üheselt tuletatav, et järgi on andnud just alus ning kui jah, kas on siis teostatud põhjanevad uuringud ning toodud välja põhjused (**UT 13**).

### Arutelud Rootsi ekspertidega

Uurimistöö raames kavandati ja viidi läbi nõupidamised VTI ja Trafikverket'i (Rootsi Transpordiamet) asjatundjatega. Kohtumisel VTI'ga käsitleti peamiselt teekonstruktsiooni suuremõõtmelise katsetamisega seotud küsimusi raskeliikluse simulaatoriga (HVS-NORDIC). Eestile lähim seesugune seade on olemas VTI laboril, kusjuures seadme eripäraks on selle suhteliselt suur mobiilsus, mis võimaldab seadet transportida vajadusel ka Eestisse ning määrata võrdlusesse valitud teekonstruktsioonide käitumise parameetrid korduvkoormamise tulemusel kontrollitud tingimustes.

Seade HVS-NORDIC on ainus mobiilne seade Euroopas. Seade on soetatud Rootsi ja Soome ühisinvesteeringuna 1997 aastal. Hetkel on HVS-NORDIC rootslaste omanduses ja soomlastega on sõlmitud kasutusleping. Masin on valmistatud Lõuna-Aafrika Vabariigis koostöös Taani firmaga Dynatest. Samaseid mobiilseid seadmeid on Lõuna-Aafrika Vabariigis konstrueeritud mitmeid ja III põlvkonna seadmetest töötavad siiani veel kolm masinat ning uusi IV põlvkonna täisautomaatseid seadmeid on valmistatud kolm, millest üks on Rootsis VTI laboris asuv HVS-NORDIC.

HVS-NORDIC võimaldab rakendada konstruktsioonile 22 000 korduvat läbikut ööpäevas. Seadme kogupikkus on 23 m, laius 3,5 m ja kõrgus 4,2 m, kogumass on 46 t. Rattakoormust saab valida vahemikus 30...110 kN ja ratta liikumiskiirus on kuni 12 km/h. Ratta liikumistrajektoori on võimalik külgsuunaliselt muuta kuni 0,75 m ulatuses. Masin võib töötada 24 h ööpäevas ja ei vaja personali pidevat kohalolekut. Masin võib lühikesi vahemaid objektile läbida ise, transpordiks tuleb kasutada raskeveokit, millele seade treilerina taha haagitakse. Maanteel transportimiseks on kiirus 50 km/h ja vaja ülegabariidilise veose luba.



Joonis 2 Rootsi VTT'le kuuluv HVS-seade

VTI laborisse on rajatud hoonesse spetsiaalne katsepolügon, kus erinevaid konstruktsioone on võimalik ehitada 3 m sügavusse, 5 m laia ja 15 m pikka betoonist seintega süvendisse. Tavaliselt ehitatakse simulatsiooni ajaks seadme ümber isoleeritud seintega karp, et hoida katse ajal valitud temperatuuri (+ 10 °C). Süvend on varustatud veel spetsiaalse veevarustussüsteemiga, nii et on võimalik tõsta pinnasevee taset konstruktsioonis kuni 30 cm sügavuseni mõõdetuna katte pinnast.



Joonis 3 Rootsi VTT spetsiaalsne HVS-katsepolügon

Rootsi ja Soome on oma põhiliste konstruktsioonide katsetused juba läbi viinud ja ilmselt teostavad nad edaspidi enda huvides vaid üksikuid uuringuprojekte. 1999 aastal teostati Islandi Maanteeameti tellimusel tüüpiliste Islandi kergkattega konstruktsioonide katsetamine VTI laboris. Selleks transpordi Islandi materjalid VTI laborisse. 2003. aasta sügisel katsetati Taani katendikonstruktsioone Lõuna-Rootsis. Seadet on renditud ka välismaale, näiteks 2008 aastal teostati SPENS-i projekti raames katsetused Poolas ja Sloveenias.

Soome ja Rootsi põhiuuringud teostati aastatel 1997-2003 ja põhiliseks eesmärgiks oli õppida paremini tundma elastse katendi vastupanu ja töötamist korduvkoormamisel. Teise eesmärgina oli õppida tundma HVS-seadet ennast – kui täpselt võimaldab seade simuleerida raskeliikluse mõju ja kui sarnane on see konstruktsiooni purunemisele tegelikkuses.

VTI laboris võimalik sidumata segudega läbi viia ka tsüklilise kolmeteljelise koormuse katset (Euroopa standard EN 13286-7. Cyclic load triaxial test for unbound mixtures). Katse seisneb lühidalt järgnevas: proovikehad läbimõõduga 150 mm tihendatakse optimaalse veesisalduse juures teatud kindla tiheduseni (tavaliselt 100 % Proctori tiheduse järgi, kui võib rakendada ka teisi tihendusastmeid, näi 98, 95, 105 jne % Proctori tihedust). Seejärel rakendatakse silindrilisele proovikehale tsüklilist survet, ning mõõdetakse proovikehale mõjuvaid piki ja radiaal- e. põiksuunalised deformatsioonid, mille tulemusena arvutatakse elastsusmoodul (resilient modulus).

Käimasolevatest uuringutest arutati lähemalt sidumata segude deformatsioonikindluse määramise võimalusi laboratoorsel meetodil, kasutades selleks asfaldi rattaroopa katseseadet (EN 12697-22, Large device). Tänapäeval puuduvad andmed selle kohta, kas antud seade on sidumata segude jaoks kasutuskõlblik. Kohtumisel Traffikverket'iga selgitati Rootsi aluste projekteerimist ja ehitamist käsitlevaid norme ja põhimõtteid ning arutati teoreetilisi võimalusi sarnaste normide kasutuselevõtuks Eesti oludes. Kohtumiste info koos peamiste ettekannetega on esitatud **lisas 5**.

### Arutelud Peterburi ekspertidega

Peterburis ja Peterburi lähiümbruses (Leningradi oblast) paekivi ebapiisavate kvaliteedinäitajate tõttu praktiliselt ei kasutata, kuna lähialadel on saadaval graniit. Aastakümnete eest kasutatud paekivikillustikest (mark 600-800) alustest on reeglina järel vaid pude materjal ja tolmu. Teede alustes on nõutava tugevus  $>400$  ning külmakindlus  $>75$  tsükli. Vähesel määral kasutatakse paekivi kohalike teede ehituseks, peamiselt oblasti lõunapiirkondades ja lõunapoolsetes naaberblastites (nt. Pihkva oblast). Leningradi oblastis kasutatavad kivipurustustehnoloogiad ei erine üldjuhul Eestis kasutatavatest kuid ohtralt jääb järele sõelmeid, millede puhul aktuaalne terakuju parendamise tehnoloogiate uurimine. Katendite projekteerimisel ollakse üle minemas uuematele normidele ОДН 218.046-01 „Elastsete katendite projekteerimine“, kasutatakse tarkvara „Robur“. Riiklike normidena GOST asemel ODN (ametkondlikud teede normid) ja GESN (riiklikud üksushinded ehitustöödele) aga kasutusel on ka SNiP, GOST ja Rosdornii normid. Alused rajatakse peamiselt fraktsioneeritud graniitkillustikust kuid viimastel aastatel on hakatud uurima sidumata segudest katete ehitamise võimalusi. Laialdast kasutust leiab liivpinnaste stabiliseerimine - madalamargilise tehaseseguna, milline laotatakse greideriga. Paekivi osas on mingil määral uuritud võimalust paekivikillustike immutamiseks bituumeni ja teiste impregneerivate vedelikega (tavalise rõhuga ja vaakumis). Hetkel uurimisel lubjakivi (killustiku) omaduste parendamise võimalused keemilisel meetodil. Paekivi tugevusomaduste parendusvõimaluste selgitamiseks peeti perspektiivikaks mineraalsete ja orgaaniliste lisandite kasutusvõimaluste uurimist ning arvestada killustiku keemilisest koostisest (nt.  $Al_2O_3$  ja teiste oksiidide sisaldus paekivides) tulenevaid võimalusi ja vajadusi.



Joonis 4 Kohtumine Peterburi ekspertidega

## KOHALIKE MATERJALIDE KASUTAMISE PRAKTIKA ALUSTES

Paekillustikku on Eestis kasutatud aluste ehitusel aastakümneid. Seejuures on materjali saadavusest tingitud ehitusökonoomikast tulenevalt kasutatud Põhja-Eestis suurema liiklusega teedel peamiselt lubjakillustikku ja Lõuna-Eestis dolokivikillustikku ja kruuskillustikku, väiksema liikluse teede korral ka kruusa või purustatud kruusa. Mitmed teede projekteerimise käigus tehtud geoloogilised uuringud, ka suure liiklussagedusega maanteedel, et aja jooksul kasvatatud kattekihtide all alusena käsitletav kiht konstruktsioonis sageli puudub (vt geotulp **lisas 16**). Maanteeregistri andmete lähemal uurimisel selgus, et nt. põhi- ja tugimaanteede osas (kokku ca 4000 km) on aluste kohta infot ainult viimaste aastate kohta, kokku alla 200 km (vt **lisa 12**), mis teeb maanteede olemist alla 5%. Ülejäänud maanteede osas on info aluste kohta veelgi puudulikum. Selline info on suures osas olemas Maanteeametite arhiivides täitedokumentatsioonide näol, kuid üldistatult öelda, et aluste seisundist puudub enamasti ülevaade, mis omakorda ei võimalda teha ulatuslikke üldistuse optimaalsete vajaduste selgitamiseks, sealhulgas aluste tugevdamise/ehitamise meetmete määramiseks ning vastavate meetmete rakendamise mahtude hindamiseks ning seetõttu kohalike materjalide potentsiaalse kasutusvajaduse selgitamiseks. Seetõttu peame vajalikuks algsatada uuringud, mille tulemusena on

võimalik saada teede alumiste kihtide kohta süsteemset ülevaadet (**UT 12**). Ühtlasi võib see vajada maanteeregistri lahenduse kaasajastamist, milline täna ei võimalda nt. konstruktiivsete kihtide põhist aruannet. Nimetatud uuringud peaksid mõistlikul määral koondama täitedokumentatsioonis, teeprojektis ning geoloogilistes aruannetes kajastuva informatsiooni kombineerituna teede konstruktiivset seisundit iseloomustavate mõõtmiste tulemustega – kandevõime (FWD) ning maaradari profiilid koos mõistlikus ulatuses kihipaksuste kontrolliga (minimaalselt seotud kihtide paksus).

## KOHALIKE MATERJALIDE VARUD JA KAEVANDAMINE

Looduslikud ehitusmaterjalid e. ehitusmaavarad on kõige mitmekesisem maavarade klass. 2006 aasta lõpu seisuga oli lubjakivimaardlate mäeeraldistes arvel 54,6 mln m<sup>3</sup> varu ning dolokivimaardlate mäeeraldistes 7,1 mln m<sup>3</sup> varu nendest kaevandati aastast vastavalt ligi 2,8 mln m<sup>3</sup> ja 0,5 mln m<sup>3</sup>. Sellise kaevandamismahu juures jätkuks mäeeraldiste lubjakivivaru veel 20 aastaks ja dolokivivaru 14 aastaks.

Liiva ja kruusa kasutamisel ei ole logistikaprobleem nii terav kui lubjakivi korral, kuna maardlaid on arvele võetud üle Eesti. Seisuga 31. jaanuar 2006 oli liivamaardlate mäeeraldistes arvel 79,4 mln m<sup>3</sup> varu ning nendest kaevandati aastast ligi 2,9 mln m<sup>3</sup>. Seega jätkub mäeeraldistes liivavaru praeguse kaevandamismahu juures 27 aastaks. Seisuga 31. detsember 2006 oli kruusamaardlate mäeeraldistes arvel 17,3 mln m<sup>3</sup> varu ning aastast kaevandati ligi 1,3 mln m<sup>3</sup>. Nii jätkub praeguste mäeeraldiste kruusavaru vaid 13 aastaks.

Kristalliinne ehituskivi, mida maardlate nimistus esindab graniit, on tugevusomaduste ja külmakindluse poolest lubja- ja dolokivist tunduvalt kvaliteetsem. Eesti ainuke kristalliinne ehituskivi maardla asub Maardu lähedal. Sellele on esitatud kaks kaevandamisloa taotlust ja esmased menetlustoimingud on tehtud (taotlejat on teavitatud taotluste menetlusse võtmisest ja algatatud on keskkonnamõju hindamine). Graniidi lasumissügavus maapinnast on ligi 150 m (Soomes lasub graniit maapinnal, kuid selle sissetoomine Eestisse on liiga kallis). Maardu maardla avamisega väheneks graniitkillustiku importimise vajadus, millise ulatus sõltub aga kõnealuse materjali tegelikest omadustest.

Maavarade varude ja nende kasutamise üle peetakse arvestust Keskkonnaministeriumis (Maa-ametis). Üldiselt on olemas vägagi täpne info maavarade varude kohta, ehituslubjakivi kohta on esitatud info koondatult **lisas 17** kuid selline arvestus ei tee vahet kõrge- ja madalakvaliteediliste kivimite vahel, mistõttu reaalset puudub võimalus anda hinnangut kui palju mingi kvaliteediga killustikku toodetakse ja kui suured on vastava kvaliteediga paekivi reservid, st. maardlate varud.

**Tabel 1. Ehitusmaavarade jääkvaru mäeeraldiste seisuga 31.12.2008, tuh m<sup>3</sup> (2)**

| MAAKOND        | Ehitus lubjakivi<br>ja -dolokivi | Tsemendi-<br>lubjakivi | Viimistlus-<br>dolokivi | Tehnoloogiline<br>lubja- ja dolokivi | Ehitusliiv    | Täiteliv     | Tehnoloogiline<br>liiv | Ehituskruus   | Keraamine savi | Keramiidsavi | Tsemendisavi | KOKKU          |
|----------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|------------------------|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Harju          | 24 405                           | -                      | -                       | 789                                  | 40 884        | 804          | -                      | 2 345         | 1 635          | -            | -            | <b>70 862</b>  |
| Hiiu           | -                                | -                      | -                       | -                                    | 680           | -            | -                      | 527           | -              | -            | -            | <b>1 207</b>   |
| Ida-Viru       | -                                | -                      | -                       | -                                    | 1 876         | 401          | -                      | 857           | 4 319          | -            | -            | <b>7 453</b>   |
| Jõgeva         | 4 787                            | -                      | -                       | -                                    | 6 082         | 1 424        | -                      | 629           | -              | -            | -            | <b>12 922</b>  |
| Järva          | 3 288                            | -                      | -                       | 704                                  | 361           | 15           | -                      | 833           | 58             | -            | -            | <b>5 259</b>   |
| Lääne          | 443                              | -                      | -                       | 15                                   | 225           | -            | -                      | 2 290         | -              | -            | -            | <b>2 973</b>   |
| Lääne-<br>Viru | 8 655                            | 6 657                  | -                       | 767                                  | 1 136         | -            | -                      | 999           | -              | -            | 7 685        | <b>25 899</b>  |
| Põlva          | -                                | -                      | -                       | -                                    | 5 103         | 886          | 984                    | 1 178         | -              | -            | -            | <b>8 151</b>   |
| Pärnu          | 3 623                            | -                      | -                       | -                                    | 2 658         | 2 245        | -                      | 1 228         | -              | 941          | -            | <b>10 695</b>  |
| Rapla          | 1 898                            | -                      | -                       | -                                    | 149           | 13           | -                      | 491           | -              | -            | -            | <b>2 551</b>   |
| Saare          | 1 461                            | -                      | 762                     | 27                                   | 838           | 761          | -                      | 1 669         | -              | -            | -            | <b>5 518</b>   |
| Tartu          | -                                | -                      | -                       | -                                    | 15 362        | 862          | -                      | 1 927         | -              | -            | -            | <b>18 151</b>  |
| Valga          | -                                | -                      | -                       | -                                    | 3 282         | 450          | -                      | 1 842         | -              | -            | -            | <b>5 574</b>   |
| Viljandi       | -                                | -                      | -                       | -                                    | 8 111         | 772          | -                      | 2 130         | -              | -            | -            | <b>11 013</b>  |
| Võru           | 417                              | -                      | -                       | -                                    | 2 236         | 1 064        | 1 497                  | 2 547         | -              | -            | -            | <b>7 761</b>   |
| <b>Kokku:</b>  | <b>48 980</b>                    | <b>6 657</b>           | <b>762</b>              | <b>2 303</b>                         | <b>88 983</b> | <b>9 700</b> | <b>2 480</b>           | <b>21 492</b> | <b>6 012</b>   | <b>941</b>   | <b>7 685</b> | <b>195 989</b> |

Ehitusmaavarade kaevandamine on alates 1992 aastast märkimisväärselt kasvanud. Teedeehituslikust seisukohast pakuvad neist enim huvi ehituslubjakivid ja -dolokivid ning kruus ja liiv. Ehituslubjakivid ja -dolomiitide tootmine on aastatel 1992 kuni 2008 kasvanud ca 5 korda 600 tuh m<sup>3</sup>-lt aastas 3000 m<sup>3</sup>-ni aastas (sellest lubjakivi ca 5/6 ja dolomiit ca 1/6). Ehituslubjakivi ja -dolokivi kaevandamise koondmahud aastate kaupa on toodud allolevas tabelis.

Tabel 2. Lubja- ja dolokivi kaevandamine Eestis aastatel 1992-2008, Statistikaamet

|      | Ehituslubjakivi |                               | Ehitusdolomiit |                               |
|------|-----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|
|      | Maardlate arv   | Toodang, tuhat m <sup>3</sup> | Maardlate arv  | Toodang, tuhat m <sup>3</sup> |
| 1992 | 11              | 1067,6                        | 5              | 73,0                          |
| 1993 | 22              | 504,3                         | 10             | 66,5                          |
| 1994 | 21              | 492,0                         | 11             | 65,1                          |
| 1995 | 19              | 578,6                         | 11             | 72,8                          |
| 1996 | 19              | 674,9                         | 12             | 96,1                          |
| 1997 | 22              | 601,6                         | 12             | 165,9                         |
| 1998 | 24              | 923,5                         | 15             | 201,9                         |
| 1999 | 27              | 801,3                         | 23             | 155,5                         |
| 2000 | 32              | 959,7                         | 22             | 212,1                         |
| 2001 | 33              | 687,9                         | 22             | 233,0                         |
| 2002 | 33              | 1072,7                        | 21             | 262,8                         |
| 2003 | 34              | 1255,0                        | 21             | 291,2                         |
| 2004 | 37              | 1547,0                        | 22             | 323,4                         |
| 2005 | 37              | 1921,6                        | 21             | 260,2                         |
| 2006 | 40              | 2343,8                        | 23             | 378,3                         |
| 2007 | 40              | 2738,7                        | 23             | 432,9                         |
| 2008 | 40              | 2585,2                        | 25             | 525,3                         |

Ehitusmaavarasid kaevandatakse ülekaalukalt kõige rohkem Harjumaal (50%), järgnevad Jõgeva- (10%) ja Lääne-Virumaa (9%). Teiste maakondade osakaal on viis või vähem protsenti (3).

Tabel 3. Lubjakivi kaevandamine aastatel 2004-2008 maakonniti, mln m3 (2)

| Maakond      | Aasta        |              |              |              |              | Keskmine     |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              | 2004         | 2005         | 2006         | 2007         | 2008         |              |
| Harju        | 1 207        | 1 417        | 1 583        | 1 834        | 1 796        | 1 567        |
| Jõgeva       | 139          | 249          | 370          | 432          | 361          | 310          |
| Järva        | 90           | 83           | 168          | 191          | 182          | 143          |
| Lääne        | 6            | 9            | 5            | 3            | 1            | 5            |
| Lääne-Viru   | 624          | 569          | 597          | 774          | 675          | 234          |
| Rapla        | 0            | 0            | 0            | 72           | 132          | 41           |
| Saare        | 7            | 16           | 50           | 51           | 60           | 37           |
| <b>Kokku</b> | <b>2 073</b> | <b>2 343</b> | <b>2 773</b> | <b>3 357</b> | <b>3 207</b> | <b>2 337</b> |

Tabel 4. Dolokivi kaevandamine aastatel 2004-2006 maakonniti, mln m3 (2)

| Maakond      | Aasta      |            |            |            |            | Keskmine   |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|              | 2004       | 2005       | 2006       | 2007       | 2008       |            |
| Jõgeva       | 95         | 90         | 135        | 166        | 233        | 144        |
| Lääne        | 220        | 155        | 165        | 170        | 0          | 142        |
| Pärnu        | 172        | 153        | 199        | 201        | 199        | 185        |
| Rapla        | 6          | 17         | 8          | 25         | 30         | 17         |
| Saare        | 1          | 2          | 2          | 1          | 1          | 1          |
| Võru         | 0          | 0          | 0          | 6          | 64         | 13         |
| <b>Kokku</b> | <b>494</b> | <b>417</b> | <b>509</b> | <b>569</b> | <b>527</b> | <b>502</b> |

Kuigi nimetatud varude mahu järgi ei tundu olukord väga kriitilisena, tuleb siiski arvesse võtta mäeeraldiste paiknemist ja maavara kasutuskoha kaugust kaevandamispiirkonnast, samuti lähiaja suuri teeprojekte ning teisi ehitisi. Seetõttu on vajalik püüda anda ligikaudne hinnang erinevate paekivitoodete vajadusele lähema 10-20 aasta perspektiivis (UT 5).

Viimastel aastatel on ehituskillustiku puudust olnud tunda Tallinna ümbruses. Olukord võib kriitiliseks muutuda 5–10 aasta pärast või isegi varem, kui pealinna lähistel käivituvad mahukad teetööd, mis vajavad suuri killustikukoguseid. Harju maakonnas moodustab Tallinna lähiümbruse (umbes 50 km raadiuses) ehituslubjakivi ja ehitusliiva varu üle 50% kogu Eesti aktiivsest varust. Seega mõjutab Harjumaa ehituslubjakivi ja -liiva varu kasutamine kõige enam nende maavaravarude bilanssi kogu Eestis. Tallinna linnalähedased lubjakivikarjäärid asuvad Lasnamäel paiknevas Vao maardlas, Õismäe külje all asuvas Harku maardlas ning Tallinnast veidi kaugemal asetsevas Maardu maardlas. Kõige piiratumad on Vao maardla varud. Lahendus oleks maardla laiendamine naaberaladele, aga see ei ole linnalähise tiheda asustuse tõttu mõeldav. (2)

Valitsuse 21.04.2009. a korraldusega nr 126 on kinnitatud Transpordi infrastruktuuri arendamise investeeringute kava, mis sisaldab andmeid planeeritavate projektide kohta teedehituses. Maanteeameti poolt on edastatud ka prognoos ehitusmaavarade vajadusele teedehituses maakonniti. Suurematele objektidele kulub lubjakivikillustikku 2,6 mln m3 (sh. Harjumaal 0,9 mln m3), graniitkillustikku ligi 2,1 mln m3 (sh. Harjumaal 0,8 mln m3 ) ja kruusa ligi 143 tuh m3 (sh Harjumaal 45 tuh m3). Riigimaanteee remondiks ja hooldeks kulub samal perioodil paekillustikku ligi 3,2 mln m3 (sh. Harjumaal 0,2 mln m3), graniitkillustikku ligi 2,4 mln m3 (sh.

Harjumaal 0,3 mln m<sup>3</sup>), kruusa ligi 6,7 mln m<sup>3</sup> ( Harjumaal 0,4 mln m<sup>3</sup>) ja liiva ligi 3 mln m<sup>3</sup> (sh Harjumaal 0,2 mln m<sup>3</sup>). (2)

Uurimistöö teostaja arvates on Eestis toodetavatest ja kasutatavatest killustikest kvaliteedipõhise ülevaate omamine riigi seisukohalt oluline, kuna teisiti on võimatu hinnata, kas ja kuivõrd Eestis on saada tee-ehituseks sobivaid killustikke. Vastavate uuringutega tuleks selgitada nii killustike saadavus kui vajadus killustikule esitatavate omaduste järgi (UT 7).

### Killustiku tootmine

Lubjakivi maardlad on üldjuhul väikeste mäeeraldise pindadega, suhteliselt maapinna lähedased ja õhuke lasundiga. Graniidimaardlad seevastu on üsna sügavad, mis ei võimalda neis kaevandada paralleelse astangu sammuga. (4)

Eestis kasutatakse põhimõtteliselt paekivi kaevandamisel tsüklilist tehnoloogiat (4). Paekivi kobestatakse lõhketööde käigus, viiakse purustisse autotranspordiga ja laaditakse ekskavaatoriga. See skeem on kasulik oma mobiilsuse ja transpordi manööverduse pärast. Enne 90-te algust kasutati Eestis väga laialdaselt statsionaarseid lõugpurusteid, mille purustamisjäägi protsent ulatus 40 %-ni (5). Praegu on kasutusel koonus- ja rootorpurustid, mille kasutamine aitab vähendada tootmisjäägi protsenti 20%-ni. See tõestab, et kaasaegne tehnoloogia võimaldab parandada lubjakivi ja dolokivi tootmise efektiivsust. Enamuses Eesti karjäärides kobestatakse paekivi lõhketöödega. See on odav ja kiire meetod kivimi raimamiseks. Kui kasutada laenguid aeglase detonatsioonikiirusega (< 3500 m/s) ja jaotatud paiknemisega, siis lõhketööd valmistoodangu kvaliteeti eriti ei mõjuta. Suure laenguga lõhketööde mõjul võib kivimitel tekkida pragulisust (mikropraod). Kivi pragulisust ja kihilisust saab määrata permangaanhappe lahusega. Mida suurem on kivimi pragulisus, seda suurem on veeimavus ja nõrgem survetugevus (6). Uuringutega tuleks selliste seoste olemasolu täpsustada Eesti paekivi jaoks, millised võivad anda olulise aluse paekivi vähem kahjustavate tootmistehnoloogiate kasutuselevõtuks ja seega maavara efektiivsemaks ärakasutamiseks. Võrrelda tuleks sarnaste algomadustega paekivi omaduste muutumist erinevate kaevandamiviiside juures (erinevate laengutega lõhkamine, hüdrovasar, freeskombain, ...) (UT 1).

Küsitlused näitasid, et tootjad on arvamusel, et killustiku kvaliteet sõltub oluliselt valitud tootmistehnoloogiast. Samuti on näha, et paljud ettevõtjad kasutavad topelt

purustamismeetodeid, kus peale rootor- või lõugpurusti järgneb teist liiki purusti, nt. koonuspurusti. Ühelt poolt on tootmistehnoloogia valikuga võimalik mõjutada arvestatavas ulatuses killustiku omadusi kui teisalt toob omaduste parendamine reeglina kaasa suuremad tootmiskulud täiendavate investeeringute ja suuremate tootmisjääkide näol. Seetõttu on ilmselge, et ebapiisava turujärelevalve korral on tootjatel sageli kasulikum püüda toota ja turustada ka mittenõuetekohast toodangut.

## BAASKIVIMI JA TÄITEMATERJALI OMADUSED

### Paekivi omadused

PaekivLubjakivi ja dolokivi on kihiline ja väga muutuv materjal, suure keemilise muutusega massiivis. Paekivid on suure poorsuse näitajaga kivimid võrreldes tardkivimitega. Lubjakivi on suure  $\text{CaCO}_3$  sisaldusega materjal. Sellest järeldub, et Ca ja  $\text{CO}_3$  on kristallis seotud. Peale  $\text{CaCO}_3$  on lubjakivis lisad ja teised keemilised elemendid. Kõige rohkem on seal Mg  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  ja metallioksiide  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ja  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ehk lahustamatuid jääke. Dolokivi on suure Mg sisaldusega (7) materjal. Lubjakivi ja dolokivi tugevus sõltub sellest, kas on Ca ja Mg seotud räniga kristallvõres. Vastavalt Keskkonnaministri määrusele „Nõuded maavaravarude kategooriatele ja maavaradele ning maavaravarude kasutusala nimistu dolokivis“ on MgO sisaldus 14% ning enam ja lahustamatu jäägi sisaldus ulatub kuni 25%-ni (8).

Tabel 5 Graniitide ja lubjakivide survetugevused (6)

| Veeimavus, % | Survetugevus, MPa<br>(GRANIIT) | Survetugevus, MPa<br>(LUBJAKIVI) |
|--------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 0,2          | >120                           |                                  |
| 0,4          | 90-110                         |                                  |
| 0,5          |                                | umbes 200                        |
| 0,6          | 70-90                          |                                  |
| 0,8          | 60-70                          |                                  |
| 1,0          | 50-60                          | 170-200                          |
| 2,0          |                                | 130-170                          |
| 3,0          |                                | 100-130                          |
| 4,0          |                                | 70-100                           |

Teedeehituses kasutatava täitematerjali potentsiaalsed omadused määravad põhiosas ära baaskivimi omadused kuid siiski sõltuvad täitematerjali omadused ka tootmisprotsessist.

Seni ei ole koostatud Eestis toodetavate teedehituslike killustike omaduste andmebaasi. Arvestades täitematerjalide kasutamise regionaalset iseloomu, oleks sellise informatsiooni olemasolu aga teede projekteerimise, st. reaalselt saadaoleva materjali kvaliteedi kohta äärmiselt oluline ning aitaks vältida ebamõistlikke lahendusi (nt. projekteerida alus killustikust, mida tuleb tarnida 200 km kauguselt autovedudena), samuti konkurentsi tagamise seisukohalt.

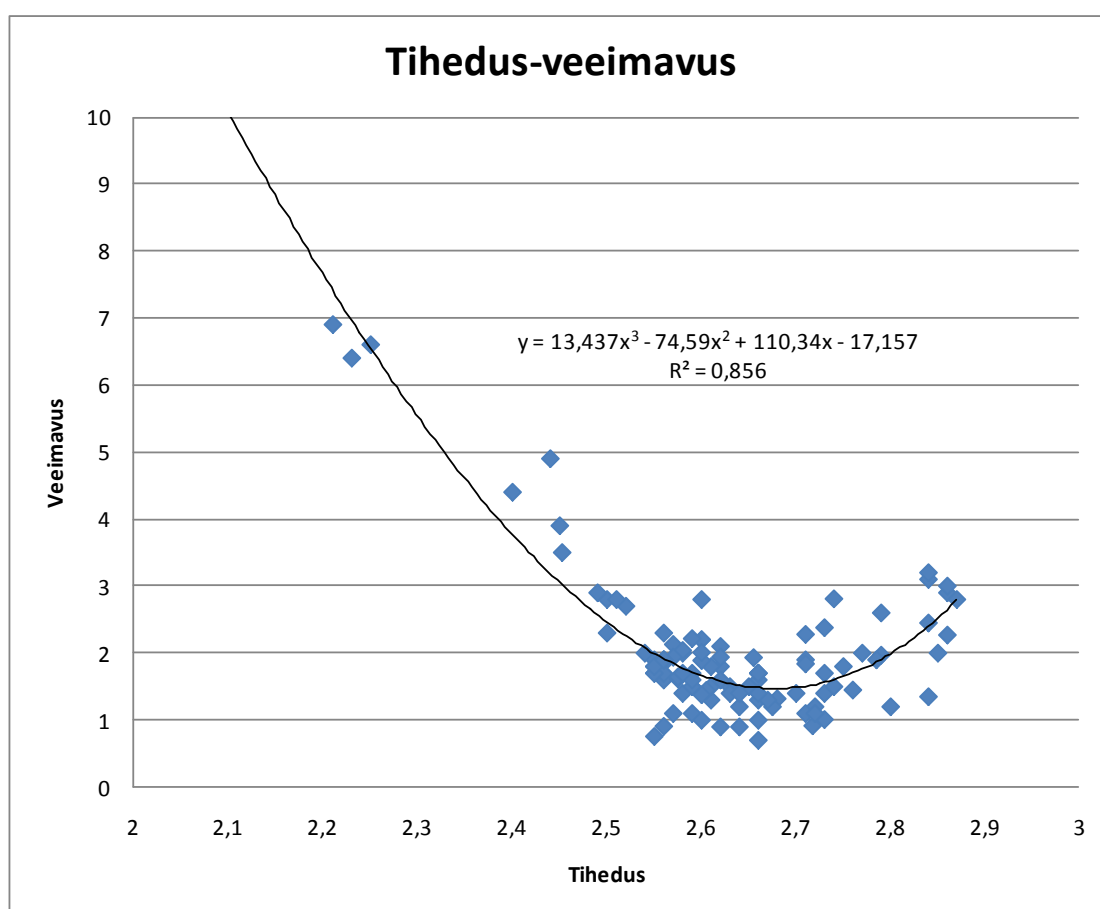
Killustikutootjatel on täna kohustus deklareerida toodetavate killustike omadused, st killustikutootjad peavad välja ütlema toodetavate killustike omadused. Sageli ei ole aga killustiku ostjad/tellijad sellisest kohustusest teadlikud, samuti ei olda teadlikud killustiku omadustest. Seetõttu on tõenäoline, et otsused killustiku valikul lähtuvad sageli hetkerahalistest kaalutlustest ning teedele satub suurtes kogustes ebapiisavate tugevus- vm. omadustega killustikku, mis ei ole ühiskonna seisukohalt majanduslikult optimaalne.

Kõikide maavarade geoloogilise uuringu aruanded säilitatakse Geoloogiakeskuse Fondis e. Geoloogiafondis. Reeglina on baaskivimi uuringute andmed toodud koondatult välja maavarade registrikaartidel kuid andmete tõlgendamiseks on otstarbekas siiski uurida ka uuringutes toodud informatsiooni. Registrikaartidel saab näha järgmisi omadusi: kivimi mahumass kg/m<sup>3</sup>, tihedus kg/m<sup>3</sup>, poorsus % (GOST), veeimavus % (GOST), survetugevus MPa (GOST 9479-84), külmakindlus (GOST 8269), terade purunevus silindris % (GOST 8269 p8) ja kuluvus riultrumlis % (GOST) aga ka mineraloogilist ja mõningatel juhtudel keemilist koostist. Seejuures on osade maardlate puhul välja toodud ka kivimi omadused erinevates kihtides.

Looduslike tingimuste mõju saab hinnata, võrreldes paekillustiku kvaliteeti algandmetega geoloogilises uuringus. Fondi andmete kasutusvõimaluste avardamiseks ja edasistele uuringutele baasi loomiseks on otstarbekas läbi viia uuring leidmaks GOST - järgsete omaduste, nt. purunevuse ja külmakindluse (GOST 8269) ning EVS-EN süsteemi vastavalt Los-Angeles'e purunemiskindluse (EVS-EN 1097-2) ning külmakindluse (EVS-EN 1367-1) vahelist korrelatsiooni, muuhulgas saab hinnata tootmise mõju kivi kvaliteedile üldiselt, kuidas ettevõtjad arendavad riigi poolt saadud maavara. Näidisdokumentatsioon – Röstla maardla registrikaart ja väljavõte uuringust on toodud **lisas 14**.

## Füüsikalis-mehaanilised omadused

Maavarade registrikaartidel on andmed erineva põhjalikkusega, sisaldades andmeid Eestis uuritud lubjakivimaardlate lubjakivide peamised füüsikalis-mehaanilised omadused - keskmine tihedus on 2,59 ... 2,64 g/cm<sup>3</sup> (minimaalne väärtus 2,4 ja maksimaalne väärtus 2,83), keskmine survetugevus on 547 ... 668 (300 ... 1200), kuluvus 3 (1...45) ning külmakindlus 24...26 tsükli (15...50). Andmed maardlate kohta on üldistatult toodud komponentide kaupa aruande **lisas 9**. Füüsikalis-mehaaniliste omaduste omavahelisi seoseid on analüüsitud ja esitatud graafiliselt samas (vt ka joonis allpool, millest on eemaldatud veeimavuse väärtused <0,1% ).

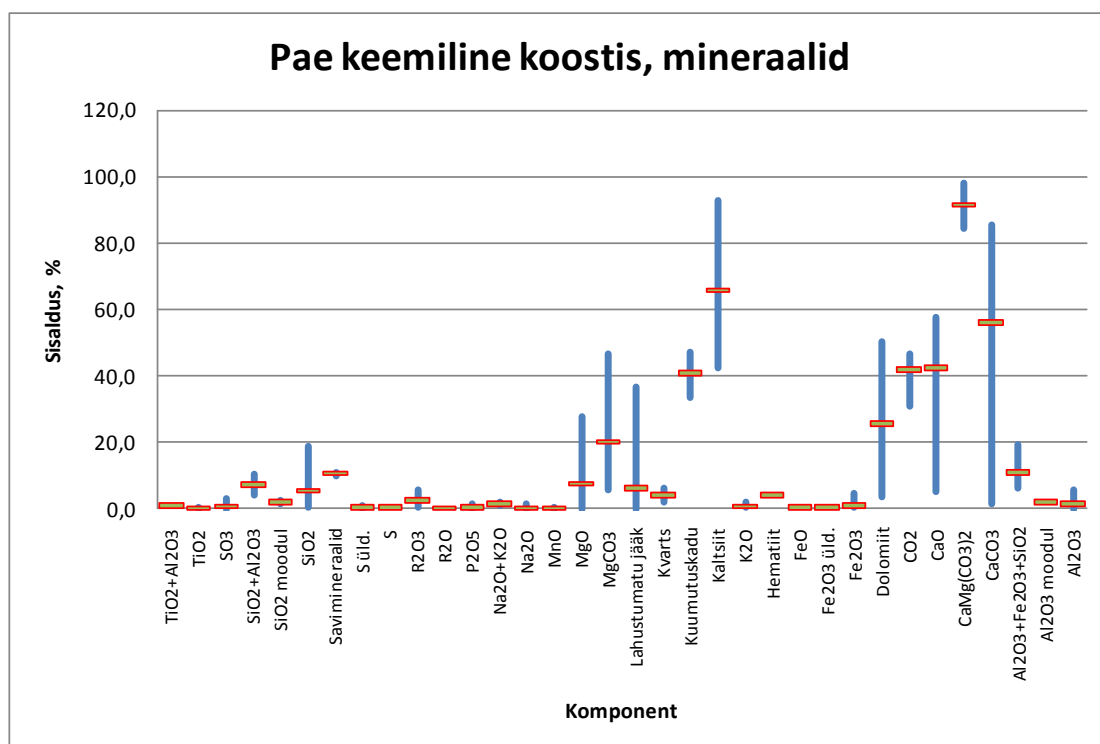


Joonis 5. Füüsikalis-mehaaniliste omaduste korrelatsioonanalüüs. Tiheduse ja veeimavuse vaheline sõltuvus.

## Keemilised omadused

Maavarade registrikaartidel on lubjakivi osas üldjuhul välja toodud järgmisi keemilisi komponente keemilise koostise (CaO, MgO, kuumutuskadu, lahustumatu jääk) kohta (%) ning erinevate mineraalide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, R<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O,

MnO, MgO, K<sub>2</sub>O, Hematiit, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ning üksikjuhul ka mikrokomponentide (nt. Ti, V, Mn, Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Ga, Li, Sn, Zr, Y, Yb, Be, Sr, Sc, Ag jt.) kohta (g/t). – . Andmed maardlate kohta on üldistatult toodud aruande **lisas 10**. Samas on toodud graafikutel ülevaade elementide minimaalsete, maksimaalsete ja keskmiste sisalduste kohta (vt ka joonis allpool).



Joonis 6. Paekivi maardlate pae minimaalsed, maksimaalsed ja keskmised mineraalide sisaldused (9)

## Struktuursed omadused

Rahvusvahelises kirjanduses on laialt levinud selline arvamus, et dolokivi on tugevam ja kindlam ehitusmaterjal, kui lubjakivi, just tema kristalliseerumise astme tõttu. Dolokivi kaevandatakse peamiselt Kesk-ja Lõuna-Eestis. Kesk-Eestis kaevandatakse pigem Siluri lademe kivimeid ja Lõunas Devoni omi. Siluri kivid on kõvad ja paljud tootjad deklareerivad III klassi killustiku ehk LA on alla 30 %. Devoni dolokivi on nõrgem oma kihilisuse ja liivakivide vahekihtide tõttu. Maanteeameti poolt tellitud uuringu „Lubjakivi-ja kruuskillustike külmakindluse paralleelne katsetamine“ tulemustest nähtub dolokivikillustiku keskmiselt suurem külmakindlus NaCl lahuses. Rohkemate järelduste tegemiseks tuleks edaspidistes uuringutes (**UT 6**) kirjeldada

katsetatavat materjali selle asukohta (geoloogiline ja stratigraafiline), keemilise koostise, tootmisviisi ja lõhkamismeetodi järgi.

Üheks põhjuseks, miks paekivi on nii nõrk külmutamisel soolvee mõjul on see, et Ca reageerib Cl-ga (NaCl – soola valem). Järgnevalt hakkab CO<sub>2</sub> eralduma, mis koos veega moodustab loodusliku murenemise algmaterjali (6). Samuti NaCl tõstab kivimi hügrokoopseid omadusi ja muudab kivimi märjaks. Selle tõttu satub soolalahus sügavatesse veepooridesse ja kuivamisel kristalliseerub seal. See suurendab pooride vahelist rõhku, mis on suurendatud ka külmumisel ja kivi puruneb (6). Siit võib püstitada hüpoteesi, et paekivi omadusi mõjutab erineval moel NaCl lahuse keemiline mõju (seda suurem, mida kõrgem on temperatuur), külmumine (paisumine mahus) ning kristalliseerumine kuivamise tagajärjel. Seetõttu, et teada paekivi nõrga külmakindluse põhjust (eriti NaCl lahuses), on vaja uurida kõiki 3 olukorda (**UT 3**). Keemilise reaktsiooni uurimisel võib olla kasu kui püüda mõõta CO<sub>2</sub> eraldumise määra kivimist peale soola lahusesse sattumist. Samuti saab vaadata, kui suurelt muutub kivi poorsus peale soola immutamist ja järgnevat kuivendamist.

### Geoloogiafondi andmete analüüs ja Eesti aluspõhja stratigraafia

Uuringu käigus koostati geoloogiafondi andmetega lubjakivi, dolokivi ja kruusade andmed kajastavad tabelid, milliste näidised on toodud **lisades 9 ja 10**. Tabeleid analüüsides püüti leida seosed sama karjääri kivimite erinevate näitajate vahel. Analüüsi tulemused on esitatud graafikutena samades lisades. Üldisel võib öelda, et GOST katsemeetodite kohaselt määratud tihedus, tugevus-, kuluvus-, külmakindlus- ja veeimavusnäitajatel puudusid selged seosed kuid need võivad avalduda siiski andmeid struktureerides. Kuna andmete maht küllaltki suur, mis annavad karjääride kohta ulatuslikku infot, on vajalik need koguda ja süstematiseerida ning kasutatavuse suurendamiseks püüda leida seosed praegu täitematerjalide kvaliteedi iseloomustamiseks kasutatavate näitajatega (**UT 2**), mis oleks edaspidi suureks abiks baaskivimi omadustest tulenevate võimalike materjalide kvaliteediprobleemide selgitamisel.

Maaametist saadud lubjakivi ja dolokivi maardlate tarkandmete esmasel analüüsil selgub, et puuduvad andmed põhiliste füüsikalise-mehaaniliste näitajate osas antud karjääris (leiukohas) paljanduvate stratigraafiliste üksuste lõikes. Esitatud on vaid üldistatud andmed kogu karjääri (leiukoha) kohta (kas kõige kõrgematena või siis

keskmistena). Ei ole arvestatud litoloogiliste muutustega leiukoha piires. Tulemus – ei ole võimalik korreleerida kivimite füüsikalisi-mehaanilisi näitajaid nende keemilise, struktuurse ja tekstuurse koostisega. Alljärgnevas tabelis on antud Harku, Vão, Kunda ja Narva karjäärides kaevandatavate Lasnamäe lademe lubjakivide näitajad:

**Tabel 6 Lasnamäe lademe lubjakivide võrdlus**

| Näitaja                               | Maardla     |              |             |                           |
|---------------------------------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
|                                       | Harku       | Vão          | Kunda       | Narva                     |
| Kihi                                  | 1,20 - 8,50 | 2,30 - 14,50 | 0,00 - 6,50 | 0,00 - 4,50               |
| Paksus (m.)                           |             |              | 0,60 - 2,95 |                           |
| Tihedus                               | 2,56-2,80   | 2,59-2,75    | 2,56-2,68   | 2,60-2,62                 |
| Surve                                 | 600-1000(?) | 400-600      | 600         | 400                       |
| Kuluvus                               | 1-2         | 1            | 1           | -                         |
| Külma-kindlus                         | 15-25       | 25           | 25          | 25-50                     |
| Veeimavus                             | 1,20-2,60   | 1,30-1,80    | 1,85-2,13   | 1,94-2,20                 |
| SiO <sub>2</sub> moodul               | -           | -            | 2,23-2,32   | -                         |
| SiO <sub>2</sub>                      | 3,72-5,36   | 4,12-6,72    | 7,39-7,44   | 6,82                      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> moodul | -           | 2,10-2,83    | 1,83-1,88   | -                         |
| Lahustumatu jääk                      | 5,40-12,89  | 3,94-5,72    | -           | -                         |
| Kuumutuskadu                          | 39,36-40,37 | 39,64-41,88  | 38,77-39,82 | 41,69                     |
| SO <sub>3</sub>                       |             | 0,36         | 0,33-0,36   | -                         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>         | 0,24-0,47   | -            | 0,38-0,47   | -                         |
| K <sub>2</sub> O                      | 0,66-0,93   | -            | 0,75-0,78   | (+Na <sub>2</sub> O) 0,77 |
| MgO                                   | 0,06-18,79  | 2,18-11,57   | 2,84-2,87   | 14,33                     |
| CaO                                   | 27,10-51,10 | 30,5-48,70   | 45,60       | 34,40                     |
| TiO <sub>2</sub>                      | 0,07-0,13   | -            | 0,14-0,15   | -                         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>        | 0,93-3,07   | 1,10-3,14    | 1,11-1,17   | 1,34                      |
| Na <sub>2</sub> O                     | 0,1         | -            | 0,02-0,12   | (+K <sub>2</sub> O) 0,77  |
| MnO                                   | 0,07-0,22   |              |             |                           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>        | 0,92-1,70   | 2,10-2,83    | 2,09-2,14   | 0,72                      |

### Ordoviitsiumi ladestu

Traditsiooniliselt jagatakse Ordoviitsiumi ladestu kivimid Eestis kolme piirkondlikku ladestikku (Ölandi, Viru ja Harju). Rahvusvahelises stratigraafilises skeemis on samuti kasutusel kolmikjaotus (Alam-, Kesk- ja Ülem-Ordoviitsium), mis ei lange kokku meie regionaalsete ladestikega. Kaardistamisel võetakse kivimkehade grupeerimisel aluseks globaalsed ladestikud. Ordoviitsiumi sette kivimid on jaotatud Põhja-, Kesk- ja Lõuna-Eesti struktuur-fatsiaalsete vööndite vahel. Ladestu avamus paikneb Põhja-Eestis. Põhja-Eesti vööndile on Alam-Ordoviitsiumis iseloomulikud liivakivid, savid ja savikildad mis hiljem lähevad järk-järgult üle lubjakivideks (Männil

& Meidla, 1994). Kesk-Eestis asub Põhja- ja Lõuna-Eesti vaheline üleminekuvöönd. Kivimid on enamasti savikamad kui Põhja-Eestis. Lõuna-Eesti kivimid on litoloogiliselt eelmistest tunduvalt erinevamad, kuid ka seal on täheldatav terrigeensete kivimite ülekaal Alam- Ordoviitsiumis ning lubjakivide-merglite prevaleerimine Kesk- ja Ülem-Ordoviitsiumis.

Allpool on toodud ülevaade Eesti aluspõhja stratigraafiast. Eesti aluspõhja kaardistatavate kivimkehade koosseis struktuur-fatsiaalsete vööndite kaupa on näidatud joonisel **lisas 1**.

### Siluri ladestu

Siluri ladestu koosneb neljast ladestikust: Llandovery (S1), Wenlock (S2), Ludlow (S3) ja Pridoli (S4). Eesti Siluri ladestu moodustavad lubjakivid ja dolokivid, mis jagunevad kolme struktuur-fatsiaalse vööndi vahel. Akvatoorium kaardistatakse ladestike tasemel.

### Devoni ladestu

Devoni ladestu settekivimid levivad peamiselt Lõuna-Eestis, Narva-Pärnu joonest kagu pool. Valdavateks setenditeks on liivakivid ja aleuroliidid, milles esineb üksikuid dolomiidi ja domeriidi vahekihte. Eesti Devoni kivimeid struktuur-fatsiaalsetesse vöönditesse ei jaotata, sest ladestule on iseloomulikud üsna piiratud levikuga ning läätsjad kivimkehad. Lademetes piirid langevad kokku kihistute piiridega. Devonist on teada tunduvalt vähem paleontoloogilist informatsiooni kui näiteks Ordoviitsiumist ja Silurist, seetõttu on litoloogiliselt sarnaseid kihte omavahel raske korreleerida. Nendest asjaoludest tingituna Devoni ladestut kihistutest detailsemalt ei kaardistata. Alam-Devoni ladestiku litostratigraafilised üksused ei avane Eesti territooriumil, ka puursüdame abil on ladestiku levikut raske jälgida. See on põhjuseks, miks Tilže ja Kemeru kihistud liideti kaardistamisel kokku üheks kivimkehaks.

### Lubjakiviprodukti vääristamise võimalused

Seni pole leitud konkreetseid viise lubjakiviprodukti vääristamiseks kasutamiseks sidumata kihtides. Seni Eestis kasutusel olev bituumeniga katmine e. mustkillustik (ka immutamine) on end küll aja jooksul õigustanud kuid seda tuleb käsitleda siiski pigem seotud kihina (bituumeni sisaldus ca 1...3%), mistõttu sobib konstruktiivselt hästi üleminekukihiks sidumata alusekihtidelt seotud kihtidele kuid ei asenda

mõningase seotuse tõttu tõenäoliselt vajadust koormust jagavate sidumata kihtide järele.

Teine, lubjakivi kasutatavust suurendav tehnoloogia (saab kaudselt pidada lubjakivi vääristamiseks, kuna vääristatakse tegelikult midagi muud) on stabiliseerimine ja madalamargiliste betoonisegude valmistamine, millistes vee liikumine on raskendatud. Viimasel kümnendil on Eestis võrdlemisi edukalt kasutatud stabiliseerimise tehnoloogiat, seda nii eraldi bituumeniga ja tsemendiga kui ka koos kompleksstabiliseerimisena. Samas sisuliselt puuduvad uuringud, mis selgitaksid kuidas stabiliseeritud segudest alused on eksploatatsioonis käitunud ning kuidas on käitunud selles olev lubjakivikillustik. Stabiliseerimisel on lisatavale killustikule esitatud purunemiskindluse nõue kuid samas oleks kasulik kontrollida, kas ja millistel tingimustel võiks kasutada ka nõrgemat killustikku (**UT 16**).

Vähendamaks lubjakivikillustike puudulikust külmakindlusest tulenevat purunemisohtu, tuleks algselt uuringud erinevate immutusvahendite kasutamiseks, millised tugevdaks täitematerjalitera ja/või sulgeks killustiku poorid, muutes selle veeimavust ja sellest tulenevalt külmakindlamaks (kloriidid ei pääse nii lihtsalt kivimipooridesse) (**UT 11**). Esimesed katsed võiks teha teedehituses laialdast kasutust leidvate bituumenemulsioonidega, mille tulemusena bituumen imbuks vähesel määral killustikuteri sisse ning killustiku peale jääks õhuke bituumenikelme, milline ei kleepu. Edaspidi võiks katsetada immutamist muude vaikude ja poore sulgevate või pae omadusi muutvate ( $\text{CaCO}_3$  omadusi keemiliselt parendavate) lisanditega, nt. ränifluoriidipõhist immutusvahendit, milline reageerib kaltsiumkarbonaadi osakestega.

Väo karjääris on juurutatud paesõelme vääristamise tehnoloogia pestud paeliiva (fraktsiooni 0/2) tootmise näol, mis võimaldab materjali laialdasemat kasutamist. Samas on ühes uuringus toodud välja probleemid paeliiva nõuetekohasel tihendamisel, mille korral toimub materjali märkimisväärne peenenemine ja puuduliku drenivusega pindmise kihi tekkimine, mistõttu ei soovitata paeliiva kasutada sõiduteede aluste ehitamisel. (10)

## TÄITEMATERJALIDE OMADUSED KONSTRUKTSIOONIS EHK ALUSTE OMADUSED EHITAMISEL JA EKSPLUATATSIOONIS

### Tee ehitusaegsete tegevuste mõju materjali/kihi omadustele

Eestis on alused ehitatud peaaesjalikult kitsafraktsioonilisest paekillustikust (lubjakivi-, dolokivi- ja kruuskillustik) ning sidumata segudest (kruusast ja purustatud kruusast). Alles viimastel aastatel on hakatud kasutama sidumata segusid ka lubjakivi- ja dolokivikillustikust. Euroopas rajatakse alused valdavalt just sidumata segudest, mille eeliseks fraktsioneeritud materjalide ees on sellise kihi suurem stabiilsus (teradel puudub märkimisväärne ümberpaiknemise võimalus) ning võimalus kasutada väiksemate tugevusomadustega materjale kuna teradevaheline kontaktsurve on väiksem. Samas esitab sidumata segust kihtide kvaliteetne rajamine väga kõrged nõudmised nii tootjale kui ehitajale. Sarnaselt meile on ka Venemaal alles hiljuti hakatud kaaluma sidumata segudest aluste ehitamist.

Killustikust sidumata segude kasutamise kogemuse vähesusest tulenevaid probleeme ja uurimisvajadust on kajastatud ka uurimistöös „Katsetametoodika koostamine sidumata kihtidest aluste mineraalmaterjalist proovivõtuks (AS Teede Tehnokeskus 2010)“ (11). Toome siinkohal mõned järeldused ja soovitused:

Uurimistöös ei õnnestunud saada ühtegi (!) nõuetele vastava terakoostisega proovi, mistõttu ei saa teostatud uurimistöö anda vajalikku ülevaadet nõuetekohaste segude käitumisest protsessis. Edaspidiste uurimistööde kavandamisel ääretult oluline, et katselõikude ehituse töövõtja ja järelevalve valikul ei piirduks pakkumuste majandusliku soodsuse hindamisel üksnes madalaima maksumuse kriteeriumil.



Joonis 7. Sidumata segu ulatuslik vertikaalne segregeerumine tööprotsessis

Sidumata segud on buldooserite ja greideritega paigaldades aldis horisontaalsuunas segregeeruma, eriti täheldati seda uuringus peenemate killustikusegude (0/31,5) korral. Peenemad segud osutusid äärmiselt tundlikuks ka vertikaalsuunalise segregeerumise suhtes, mida võis soodustada korduv profileerimine greideriga aga ka algselt mittenõuetekohase segu kasutamine. Edasistes uurimistöödes tuleb muuhulgas vaatluse alla võtta erinevad laotamise tehnoloogiad, nt laoturiga laotamine.

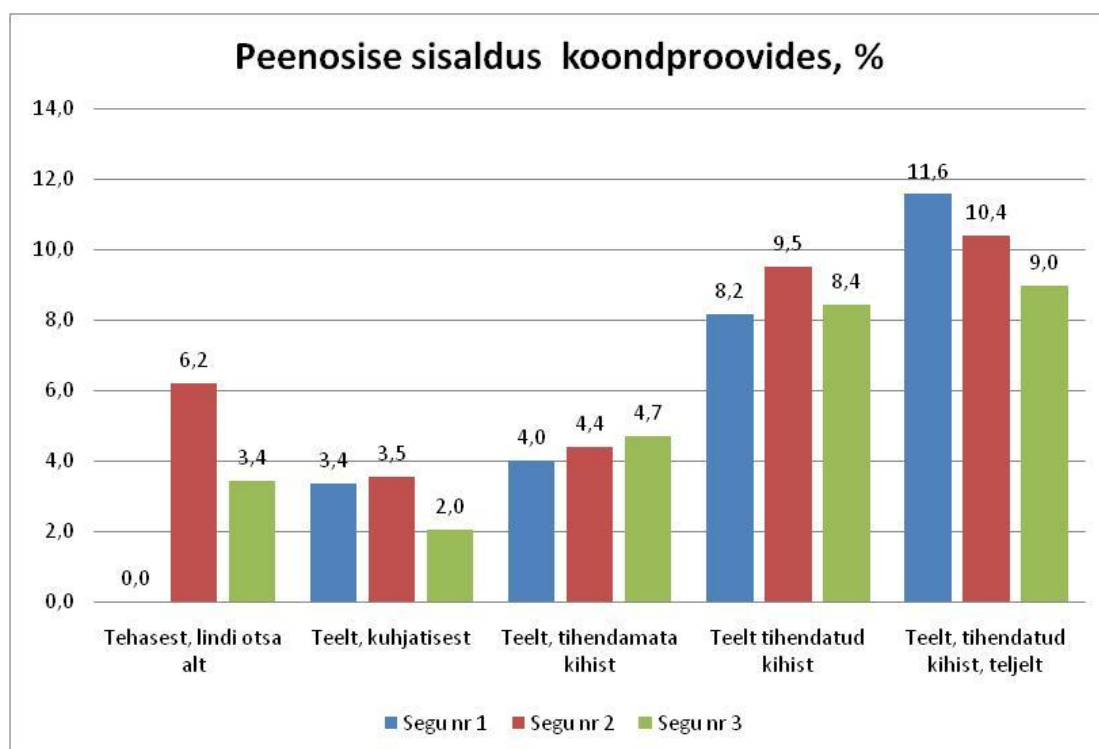
Töid teostati liikluse all – Nõuetekohaselt rajatud killustikusegu talub mõõdukalt liiklust kuid kiht on siiski aldis deformeeruma ja purunema raskeliikluse all. Objektiga seotud raskeliikluse mõju tagajärjel tuli materjali päeva jooksul ja mitme päeva vältel korduvalt profileerida. Killustikusegud peenesid protsessi käigus märkimisväärselt, peenosise osakaal suurenes ca 2-3 korda. Seega tuleb pöörata suurt tähelepanu liikluse (sh. ehitusega seotud) korraldamisele, kuna aluse materjal on aldis purunema vahetu liikluse mõjul. Vältimaks liikluse (eriti raskeliikluse ja pideva profileerimise ja tihendamise mõju, tuleks tööd läbi viia võimalikult lühikese aja jooksul. Tarvitusele tuleb võtta abinõud liikluse piiramiseks objektil, et vähendada kord laotatud, tihendatud ja profileeritud aluse uuestiprofileerimise vajadust. Teoreetiliselt on kihi profileerimine võimalik kihti ca 2D ulatuses kobestades kuid seda tuleks kontrollida reaalsete katsetega. Sidumata segust alusekihi täiendav profileerimine ilma kihi materjali omadusi muutmata praktikas ei kipu hästi õnnestuma (kihi tugeva pakituse ja tiheduse tõttu).

Sidumata segudest alusekihtide pealispind muutub tiheda killustikusegu korral sageli plaatjaks tolmseks kihiks, mis või osutada probleemiks järgnevate kihtide paigaldamisel. Teema vajab kindlasti eraldi uurimist ja tehnoloogiliste lahenduste väljatöötamist.

Uurimistöö objektidel kasutati nii tootmisel kui laotamisel suhteliselt lihtsat tehnoloogiat, mis ei võimaldanud tagada nõuetele vastavat lõpptulemust. Võimalik, et kõrgemate nõuetega sidumata segude piisava täpsusega tootmine on saavutatav üksnes spetsiaalse doseerimiseseadmega ning paigaldamine spetsiaalse laoturiga, mis loomulikult kajastub lõpptootte maksumuses. Samas on selline lihtne tehnoloogia õigete töövõtetega tõenäoliselt sobiv kasutamiseks leebemate nõuetega sidumata segudest aluste ehitamisel. Arvatavasti on selliste, leebemate nõuetega ja seetõttu

hinnalt soodsamate, sidumata segude kasutamine põhjendatud väiksema liiklusega teede alustes kuid selliste segude sobivus tuleb uuringutega katseliselt tõestada. Kombineeritult laboratoorsete ja katselõikude uuringutega on vajalik hinnata erinevate sidumata segude mehaanilist käitumist, nt. sellise kihi kandevõime ja materjali enda omaduste kaudu.

Arvestades uurimistöös täheldatud peenosise osakaalu mitmekordset kasvu protsessis, on ilmselt otstarbekas ka edasistes uuringutes pöörata peenosise osakaalule suurt tähelepanu. Tõenäoliselt mõjutab peenosise osakaalu kasvu nii lähtematerjali tugevus kui valitud tehnoloogiad, mistõttu võib osutuda otstarbekaks piirata täiendavalt peenosise sisaldust toodetud segudes.



Joonis 8 Peenosise mitmekordne kasv tööprotsessis (11)

Uurimistöös ei kontrollitud sidumata segude niiskussisaldust. Kirjanduse andmeil on optimaalne niiskus oluline nii tihendamisel kui segregeerumist takistava tegurina. Edasistes uuringutes tuleb kindlasti pöörata tähelepanu ka niiskusesisaldusele segus.

Arvestades materjali omaduste muutumist protsessis ning asjaolu, et selline protsess on selgelt mõjutatav/kontrollitav tootja ja töövõtja poolt ning praktiliselt mitteohjatatav tellija poolt, on otstarbekas ümber vaadata killustikaluste vastuvõtu eeskirjad,

sätestades nõuded eelkõige (kuid mitte ainult) lõpptulemusele ning jätta materjalide valiku ning tehnoloogia osas töövõtja käed vabamaks, piirdudes soovitustega.

Nõuetekohaste sidumata segudest aluste rajamine nõuab nii materjali tootjalt kui töövõtjalt (alusekihi ehitajalt) väga täpset ja läbimõeldud tööd. Arvestades sidumata segudest alusekihtide ehitamise väheseid kogemusi Eestis, on soovitatav koostada töövõtjatele juhised selliste segude valikuks, paigaldamiseks, tihendatud kihi eksploatamiseks (säilitamiseks) ja pealeehitamiseks.

Arvestades valmis kihi materjali terastikulisele koostisele esitatavaid nõudeid, on töövõtjal rangelt soovitatav pidevalt kontrollida tarnitava segu terastikulist koostist ja mitte lubada objektile nõuetele mittevastava terastikulise koostisega segu.

Arvestades materjali mõningast vältimatut peenenemist tööprotsessis (mis sõltub algmaterjali omadustest ja kasutatavatest töövõtetest!), on soovitatav töövõtjal kasutada segu, milline peeneneb tööprotsessis vähem ja mille algne peenosise sisaldus on võimalikult väike.

Arvestades optimaalse niiskuse mõju tihendamisele ja segregeerumise vältimisele, on rangelt soovitatav töövõtjal kontrollida laotamisel pidevalt tarnitava segu niiskusesisaldust ja mitte lubada objektile mitteoptimaalse niiskusesisaldusega segu.

Arvestades buldoosrite ja greideritega laotatava ja profileeritava alusekihi materjali segregeerumise ohtu, on töövõtjal soovitatav laotada killustikusegu spetsiaalse laoturiga.

Arvestades liikluse mõju sidumata segudest killustikaluste nõuetekohasusele, on töövõtjal rangelt soovitatav tööde käigus piirata sõidukite massi ja kiirust. Samal põhjusel on soovitatav alustada järgmise kihi töödega võimalikult kiiresti pärast alusekihi tihendamist.

Eraldi probleemina vajab aga käsitlemist erinevate ilmastikutingimuste mõju teede ehitamisele. Näiteks vajab selgitamist kuidas hinnata materjalide ja kihtide kvaliteeti välitingimustes, mil temperatuurid või sademed ei võimalda teostada asjakohast mõõtmist täpselt.

## Tee eluea kriteeriumid

Üldiselt on maailmas põhiliselt kasutatavateks eluea kriteeriumiteks roobaste (jäävate deformatsioonide) ja (väsimus)pragude tekkimine. Nende defektide ennustamiseks ja materjalide valikuks katendi projekteerimisel on välja töötatud erinevaid mudeleid, mida siinkohal täpsemalt ei vaadelda. Tuleb mainida, et nii jäävate deformatsioonide kui ka väsimuspragunemise hindamise mudelid on tihedalt seotud mineraalmaterjalide omadustega nende deformatsioonikäitumisel, mis reeglina määratakse katseliselt. Sellist lähenemist katendi projekteerimisel nimetatakse mehaanilis-empiriiliseks käsitleks. Eestis ei ole taolisi eluea hindamise mudeleid kasutatud ja ega nad meile hästi ei sobigi. Meie katendiarvutuse meetodika põhineb analüütilis-empiriilisele dimensioneerimisviisile, kus kihtide paksused arvutatakse lähtudes lubatud elastsest läbipaindest, pinnased ja nõrgalt seotud kihid lubatud nihkepingest, asfaltbetoonid ja monoliitsed kihid lubatud tõmbepingest. Lisaks kontrollitakse kogu katendi külmakindlust ja drenkihi filtratsioonivõimet. Selline dimensioneerimisviis ei ole maailmas laialt levinud, kuid on üldiselt sobiv meie kliimavööndi ja pinnastega. Piisava tulemuse saavutamiseks saab kasutada üsna erinevaid materjale ja kihtide paksuseid, mis aga piiramatute kombineerimisvõimaluste tõttu võib vähemkompetentsemate projekteerijate puhul tuua kergesti kaasa ka ebasoovitavaid valikuid. Näiteks võib aluspinnase tugevuse ülehindamine kergesti kaasa tuua kattekihtide vähese paksuse või mittesobiliku materjali kasutuse. Õigupoolest ei juurelda sellise süsteemi korral kunagi küsimuse üle, kui koormuskindlad on alusematerjalid või millised on nende deformatsiooniomadused korduvkoormamise mõjul elastses katendis. Sellepärast tuleks meilgi kaaluda erinevaid meetodeid, kuidas arvestada materjalide omadusi kogu konstruktsiooni töötamisel pikemaajalises ekspluatatsioonis.

## Roopad

Katendikihtide jäävad deformatsioonid formeervad korduva koormuse mõjul katte pinnal pikiroobastena rattajälgedes. Roobaste tekkepõhjuseid võib jagada kolme tasandisse:

- esmased – mahumuutuse ehk järeltihenemise tõttu tekkivad suured plastilised deformatsioonid;

- teisesed – seotud samuti mahumuutusega, kuid märksa aeglasema kiirusega arenevad, nihkedeformatsioonid osakeste ümberpaigutumise arvelt;
- viimased – suured plastilised nihkedeformatsioonid märkimisväärse mahumuutusega ja osakeste ümberpaigutumisega.

## Pragunemine

Pragunemised on elastse katendi põhilised defektid (eluea ammendumise indikaatorid), mis viivad katendi lagunemiseni – asfaldikihtide jäikus väheneb ja see mõjutab kogu konstruktsiooni koormuskindlust. Lisaks võimaldavad praod pääseda sademeveel kergemini alusekihtidesse ja seeläbi mõjutada nende tugevust. Üldiselt võib pragude tekke jagada kaheks: klassikaline – pragude arenemine alt-üles, ja uuem käsitusviis – pragude arenemine ülevalt-alla. Viimane on hiljutiste uuringutega tõestatud kui asfaltkatte pinnalt arenev prao teke suurte kontaktpingete tõttu raskeliikluse mõjul või temperatuurimuutustest ja bituumensideaine kõvenemisest vananemisel tekkivad praod. Selline pragude teke on mõjutatud asfaldikihtide paksusest ja segu omadustest, mitte sidumata alusekihtide toimimisest.

Põhiline pikipragude ja nendest edasiarenevate võrkpragude tekkemehhanism on siiski asfaldikihtide väsimuspragunemine tulenevalt alusekihtide liigsest deformeerumisest. Põhjus võib olla projekteeritud eluea ammendumine või siis defektide projekteeritud elueast varasemal esinemisel, katendi projekteerimisel teostatud valed hinnangud materjalide konstruktsioonis töötamise osas. Kuna elastne katend on kihiline konstruktsioon, siis purunemine alumistes kihtides toob kaasa ka ülemiste kihtide järeleandmise. Alusematerjalide liigne deformeerumine koormuse all suurendab tõmbepingeid asfaldikihtide alapinnas, mis realiseeruvad pikipraona arenedes katte pinnani.

## Ebatasasused

Teekatte pikiebatasasuste teke on üldiselt põhjustatud aluspinnase ja katendikonstruktsiooni aluskihtide liigsest külmaohtlikkusest nende optimaalsest niiskusest suurema niiskuse korral, mis realiseeruvad väiksemate või suuremate külmakergetena ja korduva koormuse mõjul tekivad teepinnal lained (lohud ja kühmud). Halvemal juhul on külmakerke mõju nii suur, et asfaltkattesesse tekkivad laiemad pikipraod (lõhed). Lisaks materjalide külmaohtlikkusele mõjutavad

ebatasasuste teket mineraalmaterjalide ebahomogeensused. Mittehomogeensed mineraalmaterjalid alluvad koormuse mõjul jäävate deformatsioonide tekkele rohkem, sest ei ole tagatud ühtlaselt kandev struktuur. Homogeenses materjalis ei ole nii suurt ohtu osakeste ümberpaigutumisele ja dünaamilise koormuse mõjudes säilitab materjal oma stabiilsuse paremini või halvemal juhul vajumid, mis ei ole niivõrd lokaalse iseloomuga, et põhjustaksid suuri ebatasasusi teekattel.

### Aluse ülesanne elastses katendis

Elastse katendi vastupanu liikluskoormusele oleneb konstruktsiooni moodustavate materjalide jäikusest. Katendi projekteerimisel võetakse erinevate kihtide jäikust arvesse elastsusmoodulitega – alusematerjalide ja pinnase puhul on õigem öelda deformatsioonimoodulitega, sest selliste materjalide pingede-deformatsiooni käitumine ei ole täies ulatuses lineaarselt elastne. Seejuures tuleb osata arvestada ka niiskuse mõju materjalide toimimisele, mis praktikas peaks tähendama aastaajast sõltuvaid jäikusmooduleid.

Aluse kiht on tee konstruktsioonis vahetult kattekihtide all ja selle peaülesandeks on toetada kattekihte seejuures liigselt deformeerumata. Sidumata alusekihte ehitatakse kas kitsastest fraktsioonidest (mujal maailmas esineb väga vähe) või sidumata segudest. Kitsast fraktsioonist materjali positiivseteks külgedeks aluskihis head veejuhtivusomadused suure poorsuse arvelt. Hea drenivuse tõttu ei ole selline kiht nii külmatundlik. Negatiivseks küljeks on väike tihedus, mis on seotud praktikas kihi jäikusega ja järeldihenemise oht skeletipooride arvelt. Piisava peenosiste sisaldusega sidumata segu on jällegi suurema nihkekindlusega, kuna skeletipoore täitvad peenosised takistavad materjali ümberpaiknemist. Samas on säilinud ka suuremate osakeste vaheline kontakt. Sellise materjali tihedus on suurem ja seetõttu veejuhtivusomadused halvemad kui kitsast fraktsioonist materjalil. Juhul, kui sidumata segu peenosiste sisaldus on liiga kõrge, siis ei teki jämedama materjali vahel enam kontaktpunkte ja selline materjal ei tööta konstruktsioonis stabiilselt, eriti märgudes. Seejuures on materjal ka hästi külmatundlik.

Sidumata segu koostamine on konstruktsiooni püsivuse seisukohalt katendi projekteerimisel oluline, et säilitada materjali koormuskindlus ja veejuhtivus. Mõlema omaduse seisukohalt tuleb esmalt pöörata tähelepanu peenosiste plastilisusele ja nende protsentuaalsele sisaldusele. Plastilised peenosised toimivad küll mõnes

mõttes sideainena, kuid liiga suure osakaalu korral mõjutavad need oluliselt materjali tugevus- ja filtratsiooniomadusi. Uuringus (12) vaadeldi peenosiste plastilisuse mõju materjali tugevus- ja filtratsiooniomadustele ning leiti, et plastiliste peenosistega (plastsusindeks  $PI=6\%$ ) segude, protsentuaalse peenosiste sisaldusega 4 kuni 8, korral on filtratsiooniomadused rahuldavad (vastavalt 0,7 ja 0,2 m/ööp), kuid juba 12% peenosiste sisalduse ( $PI=9\%$ ) korral on filtratsiooniomadused vähesed (0,1 m/ööp).

### Tee ekspluatatsioonitingimustest lähtuvad probleemid

Raskeliikluse toimetel tekivad killustikuterade kokkupuute kohtades pinged, mille suurus sõltub koormusest ja killustikukihi asukohast (kaugusest katendi pinnast) ka killustikuterade kokkupuutekohtade hulgast. Seega, mida suurem on killustikaluse poorsus seda suuremad on pinged killustikuterade kokkupuute punktides. Eestis on projekteeritud ja ehitatud killustikaluseid enamasti kiilumismeetodil. Selline killustikalus sisaldab kuni 30 % tühemikke ja pinged terade kokkupuute kohtades on suured. Kivimaterjali purunemine katendikihis vähendab selles kihis pooride mahtu ja ühtlasi ka kihi paksust. Mida suurem on koormussagedus muudel võrdsetel tingimustel seda kiiremini poorsus väheneb. Siit järeldub, et sõidutee jälgedel kahaneb kihi paksus kiiremini, kui jälgede vahel ja tekivad roopad. Nii võib põhjustada 20 cm paksuse killustikaluse poorsuse vähenemine 10-15% e. u poole võrra ca 2...3 cm sügavuse roopa tekkimise. Tavaliselt seletatakse roobaste teket katendi pealiskihi kulumise või asfaltkihtide plastsete deformatsioonidega – ka need muidugi esinevad, kuid alusel on kindlasti oluline osa. Killustikuterade purunemise vältimiseks tuleb kasutada purunemiskindlamat killustikku või vähendada sidumata segu skeletipoorsust sobiva terastikulise koostise valikuga. Killustiku purunemist vähendab ka kivimaterjali bituumeniga töötlemine.

Sidumata kivimaterjali kihtide tihedus ja niiskussisaldus muutub aja jooksul. Liikluskoormuse mõju tekitab järeltihenemist, mis parandab veidi küll katendi jäikust, kuid pooride vähenemise arvelt tekivad vajumid (püsivad deformatsioonid/roopad). Üsna suurt mõju kivimaterjali kihi tugevusele avaldab niiskussisaldus. Niiskussisalduse muutumist sidumata kivimaterjali kihis mõjutab ilmastik (kliima), tee rist-lõige, materjali liik, asfaldikihtide paksus sidumata alusel, kivimaterjali filtratsiooniomadused ning pinnasevee kõrgus.

## Mineraalmaterjalide omadused, mis mõjutavad sidumata kihtide töötamist elastses katendis

Mineraalmaterjalid on üldiselt omaduste homogeensuse osas üsna muutlikud. Seega on oluline teada, kuidas mõjutavad erinevad omadused sidumata segudest aluse tugevust ja deformatsioonikäitumist. Erinevate uurimustega on tõestatud, et mineraalmaterjalist sidumata segust kihi deformatsiooniomadusi mõjutavad materjali kuiv tihedus, terakuju, terastikuline koostis, peenosiste sisaldus ja nende plastilisus.

Üldiselt on teada, et tihedam (suurema kuivtihedusega) mineraalmaterjal muudab sidumata kihi jäigemaks ja vähendab jäävate deformatsioonide tekkimist nii staatilisel kui ka dünaamilisel koormamisel (ehk tiheduse kasvuga suureneb materjali deformatsioonimoodul). Näiteks on viidatud uurimuses (13) varasemale tööle (Allen, 1973), mille kohaselt suurendades tihedust standardisel Proctor-katsel määratult modifitseeritud Proctori tasemeni, väheneb jäävate deformatsioonide ulatus 80% (!) lubjakivikillustikust segu korral ja 22% kruusa korral.

Üldiselt on teada ka põhimõtte, et suurendades tihedust paranevad nurgeliste osakestega (purustatud kivimaterjalist) sidumata mineraalmaterjalide deformatsiooniomadused rohkem kui ümarateralistel materjalidel. Samuti on juba varasematest uuringutest üldteada fakt, et purustatud mineraalmaterjalil on suurem deformatsioonimooduli väärtus kui purustamata või osaliselt purustatud materjalil – rohkemate kontaktpunktide arvelt (tänu suuremale osakestevahelisele sisehõõrdele) jaotavad purustatud teradega kivimaterjalid koormust paremini. Ka kaasaegsed kivimaterjalide terakuju uuringud pilditöötluse abil on näidanud, et purustatud terade osakaalu kasv parandab materjali deformatsiooniomadusi.

Deformatsioonikindlust ja jäävate deformatsioonide ulatust mõjutavad omavahel tihedalt seotud omadused nagu terastikuline koostis ja peenosiste sisaldus. Eelnevalt nimetatud uuringus (13) on viidatud varasemale tööle (Gray 1962), mille kohaselt tihedate kivimaterjalisegude puhul suurima terasuurusega 25 mm saavutatakse segu maksimaalne tugevus peenosiste sisalduse 8% juures. Suurendades terasuurust väheneb optimaalne peenosiste sisaldus, mis annab maksimaalse tugevuse. Samuti on tõestatud (Barksdale ja Itani, 1989), et suurendades peenosiste sisaldust üle optimaalse väheneb oluliselt kihi vastupanu jäävatele deformatsioonidele.

Neid põhimõtteid on kinnitanud ka uuem uuring, mis teostati Illinois'i Ülikoolis (14). Mishra jt uurisid oma töös erinevaid mineraalmaterjalisegusid Illinois'i osariigis kasutatavate kolme põhilise mineraalmaterjali tüübiga (purustatud lubjakivi, dolokivi ja purustamata looduslik kruus) viie erineva peenosiste sisalduse juures (0%, 4%, 8%, 12% ja 16%). Töö näitas, et dolo- ja lubjakivimaterjalid käituvad üsna sarnaselt – mitte-plastiliste peenosiste sisalduse 16% korral on jäävate deformatsioonide ulatus suurim ja optimaalseimaks peenosiste sisalduseks määrati 8%. Seejuures oli peenosiste sisalduse korral 4% jäävate deformatsioonide ulatus suurem kui 8% korral. Katsed teostati kolmeteljelisel korduvkoormamise katsel kuni 1000 tsükli. Lisaks on töös uuritud, kuidas mõjutab peenosiste tüüp (osakeste plastilisus) mineraalmaterjalist segude töötamist. Kui segu sisaldab plastilisi peenosiseid, siis sama niiskussisalduse juures suureneb jäävate deformatsioonide ulatus märgatavalt. Selgus, et plastiliste peenosistega dolokivimaterjali jäävate deformatsioonide ulatus oli peenosiste sisalduse 8% puhul veidi suurem kui 4% korral. Omavahel võrreldes oli aga dolokivist materjali (8% plastiliste peenosiste sisalduse juures) vastupanu jäävatele deformatsioonidele parem kui kruusa puhul (4% plastiliste peenosiste sisaldus). Kokkuvõtvalt võib öelda, et optimaalsest madalama peenosiste sisalduse juures võivad purustatud kivimaterjalisegud näidata suuremaid jäävate deformatsioonide väärtusi ja niiskussisalduse muutus mitteplastiliste peenosiste sisalduse korral ei ole nii tähtsa kaaluga kui plastiliste korral.

### **Katendi ja mulde niiskussisalduse muutumine hooajaliselt**

Külmumis-sulamistsükli ebasoodne mõju teekonstruktsioonile Eestis oludes (tsükli suhteliselt suurem hulk kui kontinentaalse kliimaga piirkondades) on üldteada kuid alles viimastel aastatel, pärast mõningaid eksperimente on hakatud rohkem pöörama suuremat tähelepanu aluste seisundile ning seisundit mõjutavatele ja killustikaluste purunemisest soodustavatele teguritele. Samas ei ole seniste uurimismeetmetega selgitatud kuidas muutub temperatuur katte all, alustes ja mulletes. Lisaks puudub info, milline on nende kihtide niiskussisaldus ning kuidas mõjutab aluste materjale teede libedusetõrjel kasutatavad kloriidid.

Selliste olukordade selgitamiseks on Euroopas kasutusele võetud täitematerjali külmakindluse määramise katsemeetod, milles tavakülmakindluse katses kasutatava destilleeritud vee asemel on kasutusel 1%-line NaCl lahus. Ka Eestis on viimastel aastatel tehtud külmakindluse katsed lubjakivikillustikuga soolalahuses uurimistöödes

„Lubjakivi- ja kruuskillustike külmakindluse paralleelne katsetamine“ (15) ning remondiobjektidel ja uuringutel nähtud killustiku purunemispilt töös „Kloriidide uuringu proovide võtmine ja katsetamine“ (16), mille tulemused annavad alust arvata, et just Eesti kliimatilistes tingimustes on lubjakivikillustik eriti rasketes töötingimustes - soolamärjas keskkonnas külmumis-sulamistsüklite ajal. Sarnastes tingimustes asuvad ehk Läti ja Leedu ning Pihkva oblast. Samas teistes samas kliimatsoonis paiknevates naaberpiirkondades – Leningradi oblast ja Peterburi, Soome ja Rootsi, Norra, Island on aluste ehituses kasutusel praktiliselt eranditult tardkivikillustik.



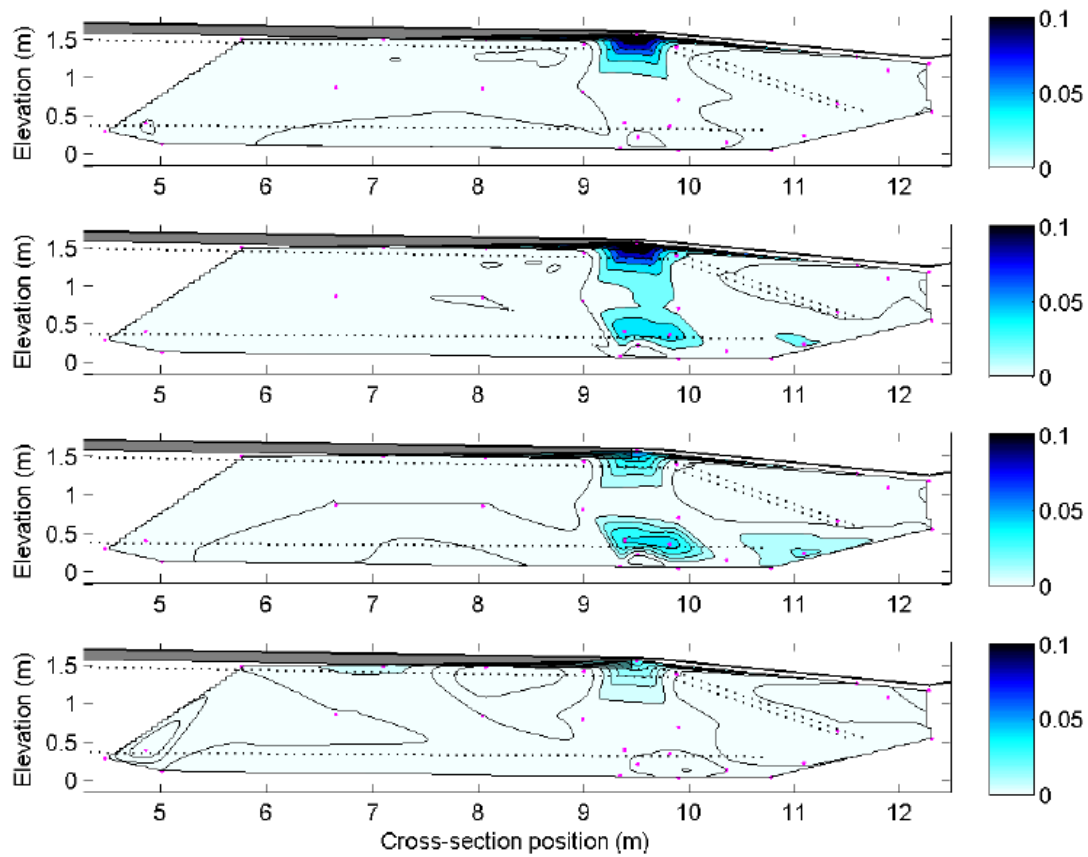
Joonis 9 Paekillustiku külmakindluse katsetulemused pärast 10 tsüklit NaCl lahuses ja vees

Uuringus (15) on võrreldud omavahel 31 enimkasutatavat paekillustiku (sh 15 kruuskillustikku, 10 lubjakivikillustikku ja 5 dolokivikillustikku) tugevusomadusi ning külmakindlust, katsetades fr 8/16 ja 16/32 proove paralleelselt destilleeritud vees EVS-EN 1367-1 ja 1% NaCl lahuses EVS-EN 1367-6 kohaselt. Katsetulemused on esitatud **lisas 7**. Katseandmeid on osaliselt analüüsitud uurimistöös „Karbonaatse killustiku külmakindluse määramine destilleeritud vees ja NaCl lahuses“ (1). Katseandmete täiendav analüüs on esitatud samuti **lisas 7**. Analüüsist nähtub, et vaadeldud lubjakivi-, dolokivi- ja kruuskillustikud (välja on jäetud üks ekstreemsete näitajatega dolokivikillustik) on keskmiselt üsna samaste tugevusnäitajatega (keskmine LA 30...32) kuid erinevate näitajatega külmakindlus osas. Kui destilleeritud vees on külmakindluse näitajad veel võrreldavad, siis 1% NaCl lahuses katsetatuna on erinevused juba suuremad. Vaadeldud karjäärade ja fraktsioonide keskmised külmakindlusnäitajad destilleeritud vees ja 1% NaCl lahuses on lubjakivikillustiku näitajad vastavalt 2,3% ja 59% (erinevus keskmiselt 25x, fr 8/12 juures nt. erinevatel karjääridel vahemikus 6,2...68,8x), dolokivikillustikul 1,2 ja 12% (erinevus keskmiselt 10x) ning kruuskillustikel 0,7 ja 30% (erinevus keskmiselt 40x). Lubjakivi suhteliselt

kehvad külmakindlusenäitajaid NaCl lahuses on esile toonud ka teiste riikide uuringud (17), vt. joonis lisa 8. Samas näitasid mõlemad uuringud seoste puudumist külmakindluse ja LA vahel (viimatinimetatud uuringus lubjakivi LA20).

Uuringus (16) võeti paarikaupa lähestikku proovid kolmest pragudega ja kolmest pragudeta kattega tee lubjakivikillustikust alusest ja liivast drenkihist. Katsetulemused ei näidanud erinevust pragudega ja pragudeta kattega aluste NaCl sisalduses. Küll aga olid lubjakivikillustikust aluste proovide tulemused paarikaupa võrreldavad kuid erinevate kohtade vahel olid erinevused kordades (vahemikus 20 mg/kg...116 mg/kg. Dreenihi puhul olid kloriidide sisaldused üldjuhul võrreldavad aluse näitajatega, oluliselt väiksem kloriidide tuvastati vaid ühes proovis, kohas, kus proov võeti sügavamalt. Suurema NaCl sisaldusega konstruktsioonides kogunes drenkihti rajatud surfi ühel juhul vesi ja teisel juhul oli drenkihi all liiva-mulla segu. Paekillustikust läbis erinevates proovides 8mm sõela 30...50% materjalist. Lisaks kontrolliti ühe valitud lubjakivikillustiku juures (veeimavus 1,1% , LA 30...35) NaCl sisaldust pärast 24h NaCl-lahuses hoidmist. Selgus, et 1%-lise NaCl lahusega oli kloriidide sisaldus killustikus 1758 mg/kg ning 0,1%-lise lahuse korral 152 g/kg, milline on võrreldav tee alusest võetud proovi kloriidisisaldusega. Üldtoodust võib järeldada, et NaCl sisaldus aluses ei pruugi omada otsest sõltuvust katte seisundist, küll aga üldisest niiskuserežiimist ning ilmselt satub vesi (sealhulgas kloriididega) katte alla ka katte servast. Viimast mõtet toetab ka uuring „Courage“ (18), kus uuriti niiskuserežiimi muutumist teekonstruktsioonis ja selle mõju tee kandevõimele ning leiti, et eriti põhjamaades sõltub aluste ja mullete niiskuserežiim suuresti sügisest vihmaperioodist ja kevadisest lumesulamisveest. Sadevee imbumist konstruktsiooni uuriti ka uurimistöös (19)

Eestis seesuguseid uuringuid tehtud ei ole, mistõttu teame reaalselt oma teede niiskusolukorrast vähe. Eeldades, et vesi ühel või teisel moel katte alla pääseb, osutub eriti oluliseks, et nii aluse enda kui aluse all olevate kihtide omadused võimaldaksid vee kiiret filtreerumist alumistesse kihtidesse või muldest välja. Viimane omab eriti suurt tähendust karbonaatsetest kivimitest sidumata segudest aluste korral kus ülemäärane niiskus mõjutab mitte ainult kihi kandevõimelisi omadusi vaid ka püsivust külmumisest tingitud purunemise tagajärjel, mistõttu on vajalik selgitada võimalused kihi drenivuse määramiseks ja kontrollimiseks (**UT 9**).



Joonis 10 Sadeveeimbumine konstruktsiooni katte servast ja püsimine selles 2, 4, 24 ja 48 tundi pärast sadu

Teemaga haakuvad ka vajadus selgitada, kuidas ja millistes olukordades pääseb vesi alusekihtidesse ning kuidas sealt väljub, arvestades aastaegade erinevust (**UT 19**). Samuti vajaks selgitamist, kuidas mõjutab kihti sattunud soolvesi materjalide külmakindlust (erinevad fraktsioonid!) sõltuvalt vee või niiskuselukorrast ning kuidas seda kõige paremini modelleerida uuringutes (**UT 8**). Üldise soovitusena tuleks administratiivse meetmena käivitada igasuguste, alla 5 aasta vanuste teede defektide ilmnemisel asjakohased uuringud, selgitamaks defektide tekke põhjused, mis võimaldaksid otsustada tehniliste juhiste muutmise vajaduse üle. Lisaks tasub uurida, kas on olemas võimalusi niiskusrežiimile hinnangu andmiseks katendit mittepurustava, pidevmõõtmismeetodiga, nt maaradariga koos kandevõime mõõtmistega lumesulamisperioodil.

## UURINGUTE VAJADUS

Käesolevas osas on püütud välja tuua valik uuringuid, millised aitavad kaasa lubjakivi optimaalse kasutatavuse hindamisel. Uuringute kavandamisel ja täpsustamisel tuleb arvestada, et tardkivimid ja karbonaatsed settekivimid käituvad paljudel juhtudel täiesti erinevalt, mistõttu ka paralleelide tõmbamisel tuleb olla äärmiselt ettevaatlik, eriti neis osades mis puudutavad käitumist ekspluatatsioonis. Arvestades Eesti kliimaatilisi tingimusi võivad seetõttu mitmed tardkivimite puhul kehtivad seosed ja järeldused osutuda paekivi puhul ebapiisavateks või koguni vääradeks. Teemadering on äärmiselt komplitseeritud ja mitmetahuline ning vajab süsteemset lähenemist. Osadele uuringute teemadele on käesolevas töös juba ka viidatud. Üldise märkusena tuleb siiski mainida, et uuringutega edasi minnes saadakse tõenäoliselt juba üsna esimestes uuringutes sedavõrd palju uut informatsiooni, mis järgmiste uuringute vajadust ja sisu olulisel määral täpsustavad. Seega tuleb alljärgnevat nimekirja pidada pigem stardipositsiooni kirjeldusena või arutelude lähteprogrammina ning allnimetatud teemadest peaks välja kasvama uued teemad, alamteemad, täiendavad hüpoteesid ja uurimist vajavad küsimused. Samuti võib-olla mõistlik uuringuid vajadusel omavahel kombineerida (erinevate teemade paralleelkäsitlus või näha ette seotud teemad etapiviisiline uuring, kusjuures näha ette võimalus, et ühe etapi lõppedes võib tekkida vajadus lähteülesande täielikuks muutmiseks) või muuta rõhuasetust. Alltoodud teemad ei ole süstematiseeritud ning võivad sisaldada mõningal määral korduvusi (tavaliselt siiski veidi erineva vaatenurga või lähenemisviisiga). Mitmed teemad võivad vajada ka teostatavuse selgitamist enne uuringu algatamist, teemaspetsiifilise või teegrupiülese ülevaateuuringu tegemist.

Uuringute vajadus on jaotatud viide teemagruppi:

1. Paekillustiku ilmastikukindlus ja selle parendamine
2. Paekillustikust aluste ehitus ja ehitusaegsed uuringud
3. Paekillustiku töötamine alustes
4. Paekillustikust alusekihtide omadused ja dimensioneerimine
5. Kohalike materjalide geograafia

## Paekillustiku ilmastikukindlus ja selle parendamine

- UT 1. Mikropraod lubjakivis
- UT 3. Lubjakivis ja NaCl vaheliste keemiliste reaktsioonide uuring
- UT 8. Täitematerjalide tugevusomadustele muutumise selgitamine
- UT 11. Paekillustiku ilmastikukindluse võimaluste uuring
- UT 19. NaCl kontsentratsioon tee ristlõikes

### UT 1. Mikropraod lubjakivis

Hüpotees: Erinevad kivimi raimamis- ja purustus viisid põhjustavad mikropragusid erinevalt ning paekivis olevad mikropraod mõjutavad killustiku külmakindlust.

Mikropraod võivad esineda ka looduslikus kivimis kuna paekivi on kihiline kuid ilmselt on suuremaks mikropragude põhjustajaks erinevad raimamisviisid (lõhkamine, eri tüüpi purustid, frees), mis mõjutavad erinevaid pae liike erinevalt. Mikropragusid on võimalik määrata permangaanlahusega. Uuringutega tuleks võrrelda pragude olemasolu ja otsida seoseid poorsuse (nt. määratuna SEM'ga ja gaasadsorbtsiooni meetodil BET-väärtustena) ning veeimavuse ja külmakindluse vahel, püüda selgitada kasutatava tootmistehnoloogia mõju mikropragude tekkele.

### UT 3. Lubjakivis ja NaCl vaheliste keemiliste reaktsioonide uuring

Hüpotees: Paekivi lagunemisele NaCl lahuses aitavad kaasa teatud pae koostisse kuuluvad mineraalid ja ühendid ning mõned libedusetõrjevahendites olevad ühendid.

Mõned elementidest võib põhjustada  $\text{CaCO}_3$  ja NaCl reaktsioonis katalüsaatori toimet. Osaliselt ehk kasutatavad Geoloogiafondi andmed kuid vajadusel teha täiendavaid katseid (keemiliste elementide osas Geoloogiafondis informatsiooni napib) selgitada paekivide (lubjakivi ja dolomiidi) mineraloogilise ja keemilise koostise võimalikku koosmõju ja reaktsioone NaCl lahuses erinevatel temperatuuridel ja kontsentratsioonidel.

### UT 8. Täitematerjalide tugevusomaduste muutumise selgitamine

Hüpotees: Temperatuuri ja niiskuse režiimi muutused ning soolad mõjutavad lubjakivi omadusi ajas.

Uurimistöö käigus modelleeritakse keskkonnatingimusi laboratoorselt külmumis-sulamistsüklitega destilleeritud vees, 0,1% ning 1% NaCl lahuses ning selgitatakse materjalide tugevusomadused (LA, kulumiskindlus, veeimavus, terastikuline koostis jm näitajad nt. pärast 1, 2, 3, 5, 10 tsükli). Katsed teha erinevate karjäärade 16-32 killustikuga (nt. 15 lubjakivi, 5 dolokivi, 5 kruuskillustikku).

### UT 11. Paekillustiku ilmastikukindluse võimaluste uuring

Hüpotees: Paekillustiku immutamine võimaldab ka väikeste koguste puhul parendada külmakindlust märgatavalt. Eeldatavalt on kasutegur suurem väiksema külmakindlusega materjalide korral.

Vähendamaks lubjakivikillustike puudulikust külmakindlusest tulenevat purunemisohtu, uurida võimalusi erinevate immutusvahendite kasutamiseks, millised tugevdaks täitematerjalitera ja/või sulgeks killustiku poorid, muutes selle veeimavust ja sellest tulenevalt külmakindlamaks (kloriidid ei pääse nii lihtsalt kivimipooridesse). Esimesed katsed võiks teha laboris teedeehituses laialdast kasutust leidvate bituumenemulsioonidega, mille tulemusena bituumen imbuks vähesel määral killustikuterasse ning killustiku peale jääks õhuke bituumenikelme, milline ei kleepu. Edaspidi võiks katsetada immutamist muude vaikude ja poore sulgevate polümeeride ja tsemendiga või muude pae omadusi muutvate ( $\text{CaCO}_3$  omadusi keemiliselt mõjutavate) lisanditega, nt. ränifluoriidipõhised immutusvahendid, millise reageerivad kaltsiumkarbonaadi osakestega. Katseid tuleks teha erinevate omadustega killustikega ning leida immutuse mõju omadustele.

### UT 19. NaCl kontsentratsioon tee ristlõikes

Hüpotees: NaCl ja niiskuse kontsentratsioon tee ristlõikes muutub ajas/aastaajas suures ulatuses ja esineb väga ebasoodsaid olukordi, mis tingivad lõviosa kahjustustest.

Selliseid olukordi teades on võimalik välja töötada abinõud nende vältimiseks või mõju leevendamiseks. Vajab selgitamist, kuidas muutub NaCl kontsentratsioon tee ristlõikes aja jooksul. Selgitada selle määramist võimaldavad meetodid. Seega peaks selgitama nii vee/soolvee liikumist kui NaCl sisalduse muutumist selles. Selgitada, kas on võimalik teostada materjalide dielektrilist läbitavust mõõtvate anduritega.

## Paekillustikust aluste ehitus ja ehitusaegsed uuringud

- UT 7. Täitematerjalide tugevusomadustele ja külmakindlusele esitatavate nõuete täpsustamine
- UT 15. Remondiobjektide defektuuringud
- UT 18. Aluste omaduste kvaliteedikontrollivõimaluste selgitamine ehitamisel
- UT 20. Erinevate ehitustööetappide mõju aluste omadustele

### UT 7. Täitematerjalide tugevusomadustele ja külmakindlusele esitatavate nõuete täpsustamine

Hüpotees: Teatud tingimustel on sidumata segudest alustes kasutatav ka madala purunemiskindlusega materjal.

Selgitada tugevusnõuete LA<sub>25</sub> ja LA<sub>30</sub> põhjendatus optimaalsetes segudes. Paljudes riikides on seatud nõudeks enamasti LA<sub>40</sub>, briti standardites kuni LA<sub>50</sub>. Uurimistöös selgitada kuidas käituvad erineva tugevusega killustikufraktsioonid tihendamisel, samuti erineva tugevusega killustikufraktsioonidest koostatud segud. Selgitada kui suur osa võimalikust purunemisest toimub juba tihendamisel. Tihendamist võiks laboratoorselt imiteerida güraatortihendajaga ning paralleelselt teostada kontrolltihendamised objektil. Selgitada kuidas mõjutavad tugevusomadusi erinevad niiskussisaldused tihendamisel.

### UT 15. Remondiobjektide defektuuringud

Hüpotees: Teede alustes on sageli kasutatud mittenõuetekohast/mitteprojektikohast materjali.

Selgitada kuidas on killustikalused ajas käitunud, võttes proove nt süsteemselt 3 aasta jooksul kõigilt ehituse- ja remondiobjektidelt killustikaluste materjali proovid, võrrelda projektsega ning teha materjalide täiskatsed. Selgitada, kuidas muutuvad alusematerjali omadused ajas. Võib osutada vajalikuks välja töötada meetoodika, mis aitaks selgitada, kas muutused on toimunud aja jooksul või ongi olnud mitteprojektikohane materjal. Samuti võtta proovid remondiks kasutatavatest materjalidest. Katsetused võib sisse kirjutada remondieelarvetesse või ka juba projekteerimiseelarvetesse.

## UT 18. Aluste omaduste kvaliteedikontrollivõimaluste selgitamine ehitamisel

Hüpotees: Nõuetekohastest materjalidest ei suudeta ehitada nõuetekohast kihti (ja kvaliteetne materjal nõ. raisatakse ära).

Paljudel juhtudel on kvaliteedipuudujäägid tingitud ebakvaliteetsest ehitusest. Selgitada, milliste meetoditega on võimalik määrata objektil usaldusväärselt rajatud alusekihi ja allpaikneva kihi kvaliteeti ning kuidas objektiivselt ja operatiivselt selgitada kvaliteedinõuete täitmist (performance testing), kasutades võimaluse korral konstruktsiooni mittelõhkuvaid meetodeid. Käsitleda tuleks muuhulgas kandevõime/elastsusmooduli, drenivuse, tiheduse, niiskussisalduse mõõtmist erinevate meetodite/seadmetega ning leida sobivaimad. Meetodid peavad omama seost projekteeritavate näitajatega/omadustega ning on aluseks kriteeriumide (kvaliteedinõuete täpsustamiseks).

## UT 20. Erinevate ehitustööetappide mõju aluste omadustele

Hüpotees. Erinevad tööetapid muudavad materjalide omadusi (peenose sisaldus, homogeensus), mistõttu saadav kvaliteet pole see, mis soovitud.

Uurimist vajab kuidas mõjutavad erinevad tööetapid erinevate (tugevus) omadustega killustikke ning püüda selliseid mõjusid katsemeetoditega modelleerida. Seejärel töötada välja soovitud lubjakivikillustike kasutamiseks sõltuvalt nende omadustest. Võimalik, et tootmisel tuleb arvestada muutustega ehitusel. Lisaks on vaja täpsustada nõuded kihtidele ja nende homogeensusele, et tagada motiveeriv mehhanism kvaliteedikontrolliks ja nõuete tagamiseks juba töövõtja enda poolt.



Joonis 11 Sidumata segust killustikaluse ehitus liivalusel Kohila-Tõngi teelõigul 2010

## Paekillustiku töötamine alustes

- UT 9. Peenosise sisaldus vs filtratsioon
- UT 12a. Aluste uuringud. Ülevaade registris
- UT 12b. Aluste uuringud. Deklareeritud omadused
- UT 12c. Aluste uuringud. Probleemid ja tegelikud omadused
- UT 13. Defektiuuringute põhimõtted
- UT 16. Alustes kasutamiseks sobilike materjalide uuring
- UT 17. Erinevate tugevustega fraktsioonide kasutamise mõju materjalisegude omadustele.

### UT 9. Dreenivuse määramise võimaluste selgitamine

Hüpotees: Paljudel juhtudel muutuvad aluse drenivad omadused ebapiisavaks juba ehitusprotsessis, nt. tihendamise või materjalide ebaühtlase jaotuse tõttu kihis. Seetõttu on vaja Eestis alustes kasutatavate materjalide jaoks sobivat meetodit kihi drenivate omaduste määramiseks.

Seni on Eestis drenivuse (filtratsiooni, veeläbilaskvuse) määramiseks kasutatud Sojuzdornii meetodit kuid meetodi puuduseks on selle kasutatavus üksnes liivpinnaste puhul. Samas puuduvad meetodid drenivuse määramiseks muudele materjalidele, nt karbonaatsetele. Rootsisis, kus konstruktsioonis kasutusel tardkivimid, drenivust ei määrata, terakoostise kontroll loetakse piisavaks (alustes UF7). Selgitamist vajab, kas ja milliste materjalide korral on drenivuse määramine vajalik ning milliste meetoditega on seda võimalik teostada, kas Sojuzdornii meetod on kasutatav drenivuse määramiseks ka mitteliivpinnaste (sh. punduvate) puhul kui andmete võrdlemiseks kasutada koefitsiente ning kas drenivuse hindamine võib osutuda võimalikuks peenosise sisalduse kaudu. Selgitamist vajab, kuidas ja millistes olukordades pääseb vesi alusekihtidesse ning kuidas sealt väljub, arvestades aastaaegade erisust.

### UT 12a. Aluste uuringud. Ülevaade registris

Hüpotees: Puudub võimalus saada maanteeregistris lihtsalt üldistatud ülevaadet viimastel aastatel rajatud paekillustikust aluste ja stabiliseeritud aluste kohta.

Teostatav Maanteeregistri andmetel, koostades nimekiri maanteelõikudest, kus aluskihis on kasutatud paekillustikku erineval kujul. Vajalik edasiste uuringute jaoks. Võib sisaldada ettepanekuid Maanteeregistri täiendamiseks.

### **UT 12b. Aluste uuringud. Deklareeritud omadused**

Hüpotees: Viimastel aastatel ehitatud paekillustikust ja stabiliseeritud alustega remondilõikudel alustes kasutatavate materjalide omadused on võetavad nende lõikude materjalide vastavusdeklaratsioonidelt ning mahud saada objektide täitedokumentatsioonidest. Nii on võimalik saada ülevaade, kui palju mingi kvaliteediga killustikku maanteedel kasutati.

Vastavusdeklaratsioonide põhjal ülevaate tegemine maanteedel kasutatud täitematerjalidest, ehk näitajate põhjal, mida tootja deklareerib ning mahud, võimalik, et vajalik läbi viia edaspidi iga-aastase uuringuna/meetmena, vajalik klassifitseerimiseks-hindamiseks, milline on nõudlus erineva "klassi" killustike järele,

### **UT 12c. Aluste uuringud. Probleemid ja tegelikud omadused**

Hüpotees: Viimastel aastatel remonditud maanteelõikude seisundi, koormuse, vanuse ja kasutatud materjalide põhjal on tuletatavad probleemide tõenäolised põhjused.

Selgitada, kuidas on eksploatatsioonis sarnastel tingimustel käitunud sellised alused, võrreldes erinevate tugevusomadustega materjalide käitumist konstruktsioonis, nt probleemsetel, defektidega lõikudel. Eraldi vaadelda: fraksioneeritud killustikest (kiilutud) alused, sidumata segudest alused, stabiliseeritud alused (tsementstabiliseerimine, bituumenstabiliseerimine, kompleksstabiliseerimine), mustkillustikud.

### **UT 13. Defektiuuringute põhimõtted**

Hüpotees: Katendi purunemise tegelike põhjuste selgitamata jätmine ei võimalda meil anda hinnangut projektlahenduste, kasutatavate remondimeetmete, materjalide ja tehnoloogiate sobivuse ning ehituskvaliteedi kohta.

Viia läbi näidisuuringud (nt. UT 15 baasil) ja töötada välja uuringute spetsifikatsioonid (nõuded) erinevate kahjustuste jaoks, mis võimaldaks teeomanikel saada esialgne informatsioon katendi purunemise võimalike põhjuste kohta ja mille põhjal on võimalik otsustada täpsemate uuringute vajadus. Avalikel teedel peaks olema põhimõtteliselt kohustuslik.

## UT 16. Seotud alustes kasutamiseks sobilike materjalide uuring

Hüpotees: Tulenevalt erinevatest töötingimustest ja kaitstusest ilmastikutingimuste eest on võimalik erinevates stabiliseeritud kihtides kasutada sidumata segudega võrreldes erinevate (nõrgemate) omadustega killustikke.

Uurimist vajab, milline killustik on sobilik kasutamiseks stabiliseeritud segudes (kas kehtestatud survetugevuse nõue on asjakohane. Selgitada samuti nõuded külmakindlusele ja teha segu omaduse kontroll, survetugevus 28 p jms. Selgitada, millised on tüüpilised purunemishäired sõltuvalt kasutatava killustiku omadustest (purunemiskindlus, külmakindlus) ja millised nende põhjused? Muuhulgas käsitleda põlevkivituhaga stabiliseerimise võimalusi.

## UT 17. Peenemate fraktsioonide tugevusomaduste mõju selgitamine materjalisegude omadustele

Hüpotees: Sõltuvalt tootjast ja kasutatavast purustus- ja segamistehnoloogiast ja saadaolevast algmaterjalist, võivad paekivi peenemad fraktsioonid olla nõrgemate tugevus- ja külmakindlusnäitajatega. Sellised nõrgad fraktsioonid on alati ehituses ja eksploatatsioonis purunema, moodustades mittedreenivaid, tolmseid ja/või savikaid kogumeid.

Sellist hüpoteesi tuleks uuringutega kontrollida, segades sidumata segud laboratoorselt erinevate tugevusomadustega fraktsioonidest ning allutades erinevad segud samasugustele koormus –ja ilmastikuolukordadele.

Juhul kui leiab kinnitust peenemate fraktsioonide tugevusomaduste mõju olulisus kihi omadustele, tuleks täiendavalt selgitada peenemate fraktsioonidena kasutada looduslike liivasid ning looduslike kruusade kasutamise võimalusi.

## Kohalike materjalide geograafia

- UT 2. Seoste otsimine GOST'i ja EVS katsemeetodite tulemuste vahel
- UT 5. Kohalike materjalide saadavuse selgitamine regiooniti
- UT 6. Kohalike materjalide omaduste täpsustamine ja omadustest lähtuvate projekteerimissoovituste koostamine (koos UT5'ga)
- UT 10. Paekivi erinevate lademetes potentsiaali selgitamine killustiku tootmiseks

### UT 2. Seoste otsimine GOST'i ja EVS katsemeetodite tulemuste vahel

Hüpotees: GOSTi ja EVS-EN järgsed katsed on piisava hulga katsemahtude korral mingil määral võrreldavad, mistõttu on varasematele andmetele tuginedes võimalik anda hinnang iga karjääri materjalide omaduste kohta.

Geoloogiafondis on olemas küllaltki esinduslik kogu andmeid iga karjääri materjalide omaduste kohta kuid need ei kajasta praegu kasutatavaid omadusi (EVS-kohaseid), mistõttu jäävad need andmed kasutamata. Viies läbi piisaval hulgal võrdluskatseid GOST'i ja EVS standardite järgi peaks korrelatsiooni abil saama kätte materjalide nõuereferentsandmed ja teha järeldusi, mis kvaliteeti see karjäär on võimeline anda. Tavaliselt on geoloogilise uuringu katsetulemused tegelikest tootmisnäitajatest mõnevõrra halvemad, ehk tootmisel võib kvaliteeti parandada.

### UT 5. Kohalike materjalide saadavuse selgitamine regiooniti

Hüpotees: Arvestades ehitusobjekti asukohta, võib olla majanduslikult põhjendatud nõu „lühema elueaga“ aluste projekteerimine.

Arvestades asjaolu, et riigisiselt on teede erinevates kihtides kasutamiseks mõistlikus kauguses saadaval olevad materjalid erinevad, peab olema projekteerijal ja tellija võimalik arvestada projekteerimisel just regioonis olemasolevate materjalidega ja nende omadustega optimaalsete pakkumuste saamiseks. Ühtlasi võimaldab selline informatsioon pakkumuste hindamisel ja tööde teostamisel tellijal hinnata pakutavate/kasutatavate materjalide nõuetekohasust. Osaliselt kasutatavad Geoloogiafondi andmed, kuid vajavad teisendamist EVS-järgseks.

## UT 6. Kohalike materjalide omaduste täpsustamine ja omadustest lähtuvate projekteerimissoovituste koostamine (koos UT5'ga)

Hüpotees: Teades objekti piirkonnas saadavate materjalide omadusi, on võimalik projekteerida ökonoomsemad, majanduslikult põhjendatud „lühema elueaga“ lahendused.

Kohalike materjalide kasutamine, juhul kui need paiknevad kasutuskohale piisavalt lähedal ja võivad oma soodsa hinna tõttu mõningatel juhtudel osutada asjakohaseks alternatiiviks ka üldistest nõuetest nõrgemate omadusnäitajate ja sellest tuleneva tee lühema eluea korral. Üldpõhimõttena peaksid sellised võimalused kajastuma juhendites ning peaksid olema põhjendatud asjakohaste tasuvusarvutustega. Selliste arvutuste tegemine eeldab aga korralikku alginformatsiooni, mida üksikprojekti käsitlemisel ei pruugi olla otstarbekas teostada tulenevalt töö aja- ja ressursimahukusest. Kohalike materjalide eelistamiseks on vaja seetõttu eelnevalt selgitada milliste omadustega on need materjalid ning millised on nende materjalide kasutusala. Seega arvestades asjaolu, et riigisiselt on teede erinevates kihtides kasutamiseks mõistlikus kauguses saadaval olevad materjalid erinevad, peab olema projekteerijal ja tellija võimalik täpsustada projektis kriteeriumid just saadaolevaid materjale arvestades. Osaliselt kasutatavad Geoloogiafondi andmed, kuid vajavad teisendamist EVS-järgseks ning täiendada katsetega.

## UT 10. Paekivi erinevate lademetes potentsiaali selgitamine killustiku tootmiseks

Hüpotees: Tootmisel saadava killustiku potentsiaalseid omadusi on võimalik hinnata paelademetes omaduste põhjal ja lademetes omadusi on võimalik tuletada geoloogi kirjelduste põhjal (paksus, värvus, lisandid, asukoht jms) ilma reaalseid katseid tegemata.

Uurimistöö eesmärk on luua toetav meede erinevate kvaliteediomadustega paevarude lihtsustatud hindamiseks, milline on aluseks varude kvaliteedipõhise arvestuse juurutamiseks. Uuringu käigus töötatakse välja meetodid paekillustiku teoreetilise maksimaalse tugevuse jm omaduste selgitamiseks kokkulepitud proovivõtumetoodika ja laboratoorse purustusprotsessi tulemusena. Ühtlasi süstematiseeritakse info karjäärade ja lademetes kaupa. Tulemuseks on andmebaas, mis võimaldab hinnata paekivi varusid asukoha ja lademepõhiselt ning hinnata erinevate kvaliteediomadustega paekivi ja sellest toodetava killustiku mahtusid, samuti hinnata täpsemalt eeldatavaid tootmisjäätmete mahtusid. Leida seosed paekivi ja sellest „standardselt“ toodetava killustiku omaduste vahel. Uuring võimaldab anda hinnanguid ka erinevates karjäärides kasutatavate

purustuskomplekside tõhususele ja maavara kasutuse efektiivsusele võimalikule kasutamisele, Geoloogiafondi andmetel + uued katsemeetodid.

## **Paekillustikust alusekihtide omadused ja dimensioneerimine**

- UT 4. Teede tüüpkonstrueerimise soovitude/juhiste väljatöötamine
- UT 14. Koormussageduste selgitamine
- UT 21. Lubjakivist alusekihtidega konstruktsioonide võrdlev katsetamine raskeliikluse simulaatoriga (HVS)
- UT 22. Pinnase ja mineraalmaterjalide kokkusurutavus ja tugevusparameetrite määramine (kolmeteljelisel katsel)

### **UT 4. Teede tüüpkonstrueerimise soovitude/juhiste väljatöötamine**

Hüpotees: Tüüpkatendite kasutamine vähendab oluliselt materjalide ja kihtide valikul, sh. „omavolilisel“ asendamisel tehtavaid vigu.

Tüüpkonstruktsioonid (+ tüüppaksused) peaksid aitama ka sobimatute kihipaksuste valiku vastu. Teede konstrueerimisel on tellijatel vabad käed, samuti projekteerijatel, kellel on üldjuhul vabadus valida ka katendi tugevusarvutuste meetoodika. Selline võimaluste paljusus võimaldab küll teoreetiliselt lahendada kõikvõimalikud eriolukorrad kuid esitab projekteerijatele äärmiselt kõrged nõuded. Seetõttu ei ole praktikas selline lähenemine tavaolukorras alati ratsionaalne. Eestis sobilike ja praktikas tõestatud konstruktsioonide standardiseerimine aitab teha selgemaid ja majanduslikult otstarbekamaid valikuid ning võimaldab tellijatel ja projekteerijatel keskenduda konstrueerimise praktilisematele aspektidele (nt. arvestada kohalike materjalide saadavust jms). Alustada tuleks põhikriteeriumite määratlemisest – millised kihid võivad teedel olla ja millised on nende otstarbed ja peamised nõuded neile konstruktsiooni püsivuse tagamiseks ning millistel juhtudel tuleb teostada täiendavad kontrollarvutused kehtiva meetoodika kohaselt. Kehtiv katendiarvutuse meetoodika võib olla nii tüüpkonstruktsioonide määratlemise aluseks kui tüüpkonstruktsioonide põhiste valikute täpsustamiseks (dimensioneerimine).

### **UT 14. Koormussageduste selgitamine**

Hüpotees: Omades võimalust saada kiirelt ülevaade eelnevate aastate koormussageduste kohta, võimaldab uuringutes oluliselt kiiremini selgitada koormuse mõju lagunemisele.

Maanteede tervik- või osavõrgutasandi uuringute tegemisel on sageli vaja võrdlusaluseks infot ühe muutuja – liikluskoormuse kohta standardtelgedes (ESAL). Sellise uuringu käigus saadakse baasandmed liikluskoormuse kohta ajas (viimased 10 aastat). Teostatav põhiliselt Maanteeregistri ja osaliselt liiklusloenduste info baasil. Uuendatav iga-aastaselt. Edaspidi tuleks ka 10-20 aasta prognoos. Eesmärk saada uuringute interpreteerimiseks vajalik baasinfo, nt. uurimisobjektide valikul ja võrdlemisel.

## **UT 21. Lubjakivist alusekihtidega konstruktsioonide võrdlev katsetamine raskeliikluse simulaatoriga (HVS)**

Hüpotees: Reaalsel objektil katsete tegemine võib võtta vajaliku arvu tsüklite juures aastaid.

Valitud konstruktsioonide kohta on vaja andmeid kiiremini. Mehaanilise koormamisele ja vibratsioonile vastupidavuse uurimisvõimaluste selgitamine, täiskonstruktsiooni kiirendatud katsetusvõimalused (HVS). Vajab siiski põhjalikku eeltööd konstruktsioonide väljatöötamisel, arvutamisel, dimensioneerimisel, kumulatiivsete deformatsioonide ja muude kahjustuste hindamisel.

Täiskonstruktsiooni koormuskindluse määramiseks kiirendatud korras (Accelerated Pavement Testing) ehk katendi koormamiseks lühikese aja jooksul kasutatakse raskeliikluse simulaatoreid (Heavy Vehicle Simulator). Selliseid seadmeid on üle maailma erinevaid – nii mobiilseid kui paikseid, nii lineaarseid kui ringsüsteeme. **Lisas 21** on esitatud ülevaade Euroopa uurimisasutustes kasutatavatest seadmetest.

## **UT 22. Pinnase ja mineraalmaterjalide kokkusurutavus ja tugevusparameetrite määramine (kolmeteljelisel katsel)**

Hüpotees: Suutes määrata pinnaste ja materjalide jäikusomadusi (mittelineaarseid), saame iga materjali puhul piisava täpsusega modelleerida konstruktsiooni paigutusi ja eluiga.

Jäikus on mineraalmaterjalide omadus avaldada vastupanu deformeerumisele pingeseisundi muutudes. Jäikusparameetrid on arvnäitajad, mis iseloomustavad deformatsioonide ja pingete vahelistes seostes materjali jäikust. Praktilistes rakendustes on deformatsioonide määramine vajalik mineraalmaterjalile rakendatud koormuse mõjul tekkiva vajumi arvutuseks.

Mineraalmaterjalide taastuv deformatsioonimoodul ja selle määramine. Mehaanilis-empiriilises lähenemises on uurijate poolt esitatud erinevaid mudeleid

deformatsioonimooduli kasutamiseks katendi eluea hindamise mudelites. Seejuures on põhiliseks näitajaks taastuv deformatsioonimoodul, mida rahvusvahelises kirjanduses tähistatakse tavaliselt MR (ingl k resilient modulus), mis on defineeritud kui deviaatorpinge  $\sigma_d$  suhe taastuvasse deformatsiooni  $\epsilon_r$  (George, K. P. 2003):

Niiskunud/veega küllastunud materjalide tugevusomaduste määramine kasutades güraatortihendamist, Proctor-katsel tihendamist, kolmeteljelist korduvkoormamist. Materjalide filtratsiooniteguri määramine suuremamõõtmeliste permeameetritega, et simuleerida pinnasemassiivi töötamist konstruktsioonis.



Joonis 12 Kolmetelgse tsüklilise koormamise katseseade

## LUBJAKIVIALASTE UURINGUTE TEOSTATAVUS

On oluline välja tuua, et uuringute süsteemne kavandamine on Eestis seni kahjuks suhteliselt vähe rakendust leidnud ning puudub vastav praktika ka potentsiaalsetes tellijaorganisatsioonides. Seetõttu on ääretult tähtis, et uuringutes nähtaks tulevase ühiskonna kokkuhoiu potentsiaali, millesse seetõttu panustatakse parima teadmise kaasamisega. Seetõttu tuleb teadusmahukatesse tegevustesse investeerida piisavalt nii finantse kui ka tellijaorganisatsiooni enda pädevust ja aega.

### Potentsiaalsete uuringute tasuvus

Eesti teedemajanduses investeeritakse teedesse igal aastal ca 5 miljardit krooni, millest kohalikest materjalidest paekillustiku osakaal võib olla ca 10% (3 mln m<sup>3</sup> x 150 kr/m<sup>3</sup> (kõik toodud arvud väga jämeda hinnanguna), e. 500 miljonit krooni. Juhul, kui aastast rajada ca 25 km ulatuses 12-15 m laia aluse 15 cm paksune pealiskihht (2m<sup>3</sup>/m e. kokku ca 50 000m<sup>3</sup>/a) paekillustiku asemel tardkivikillustikust, tähendaks see aastast tardkivikillustiku 450 kr/m<sup>3</sup> korral investeringute lisakulu ca 10-15 mln kr/aastas. Tasuvuse hindamiseks peaks vaatama hinnanguliselt 20 aastast perioodi, mille jooksul tekib vaadeldud asendusest ühiskonnale lisakulu ca 250 mlrd krooni. Ilma reaalseid uuringuid läbi viimata, ei ole võimalik kahjuks hinnata selliste otsuste tasuvust. Rootsis kulutatakse uuringuteks (ei sisalda uuringute raames tehtavaid investeringuid, nt. katselõike ja seadmeid) maantee investeeringute eelarvest ca 0,35%. Eestis vastaks sellele maanteeameti ligi 3 mlrd kroonisest eelarvest ca 10 mln kr. Uuringutesse investeerimise mõte on tagada teadmiste süstemaatiline areng kasutamaks teedel optimaalseid, st jätkusuutlikke ja säästvaid lahendusi. Arvestades viimastel aastatel uuringutesse tehtud panuste tagasihoidlikku suurust, on Eesti teedemajanduse uuringute valdkonnas tekkinud märkimisväärne mahajäämus, mis annab tunda eelkõige selles, et meil pole kaalukate otsuste tegemiseks vajalikku praktilistel katsetel baseeruvat teadmiste pagasit. Tasuvuse hindamiseks on vaja teada, milliseid lahendusi tegelikult teedel täna kasutame ja kuidas need lahendused toimivad (meil puudub ülevaade), mistõttu on ka praktiliselt võimatu hüpoteetiliselt öelda kui suurt tulu võiks anda ühe või teise lahenduse muutmine. Seetõttu ongi esmajärjekorras vajalik käivitada uuringud, mis võimaldavad meil teha piisavas ulatuses (detailsetel uuringutel baseeruvaid) üldistusi tänase olukorra kohta.

## Paekillustiku kasutamise sotsiaalsed aspektid

Paekillustiku kasutusvõimalusi tuleb vaadelda alternatiivide võrdluses, näiteks tardkivi suhtes. Seetõttu tuleb paekivi eelistamise määra selgitada eelkõige tasuvusarvutustega, hinnates nii pae- kui tardkivi võimet tagada kogu konstruktsiooni püsivus, milles ta paikneb selle eluea ulatuses, arvestades seejuures vastavate kihtide optimaalset eluiga. Selliselt lähenedes tuleb käsitleda töökohti mitte kui tulu vaid kulu, mis kajastub lõpptoote hinnas tee eluea vältel kus toote hinda suurendavad peale investeeringu ka remondid. Kui aga rääkida tee kui toote asemel teest kui teenusest, kajastub sellise teenuse maksumuses ka remontide poolt tekitatav kahju liiklejatele müra, tolmu, väiksema sõidukiiruse ja muude ebamugavuste näol.

Paekillustiku kasutamise sotsiaalne aspekt omab pikaajalist tähtsust üksnes juhul kui paekivi kasutamine on majanduslikult otstarbekas. Seetõttu on igasugustel kohalike materjalide uuringutel otseselt või kaudselt sotsiaalne väärtus. Eelkõige omavad sotsiaalset väärtust uuringud, mis püüavad välja töötada uusi paetooteid, leida paekivitoodetele alternatiivseid kasutusvõimalusi, parendada toodangu kvaliteeti, vähendada tootmiskulusid, vähendada tekkivate jäätmete (tootmisjääkide) hulka.

## Uuringute infrastruktuur

Üldise kommentaarina võib öelda, et Eestis on olemas põhilised täitematerjalide erinevate omaduste määramiseks vajalikud seadmed, samas on selgelt puudus seadmeist, mis võimaldaksid piiratud aja jooksul hinnata konstruktiivsete kihtide omadusi, rääkimata konstruktsiooni terviku katsetamisest. Viimase paari aasta jooksul on Eestis kasutusele võetud uute, Euroopa harmoneeritud standardite kohased katsemeetodid asfaldikihtidel kuid aluste osas sellised seadmed puuduvad. Üheks selliseks (olemas ka nt. Rootsi VTI laboris) on kolmetelgse tsüklilise koormuse katseseade, mis võimaldab selgitada materjali omadusi ruumis (kihis). Samuti tuleb mõne aasta pärast leida lahendus täismõõtmets konstruktsioonide kiirendatud koormuskatsete läbiviimiseks.

Eelnevast olulisemaks tuleb aga pidada (eriti kliimaatilisi ja paekivi puudutavate probleemide kohalikku iseloomu silmas pidades) süsteemselt arendada uuringute kavandamise ja läbiviimise raamistikku võimaldamaks tulemuslikkuse defineerimist ja

tulemuslikkusele suunatud efektiivset tegevust. See puudutab nii tellijate kui teenusepakkujate üldist võimekust kui ka asjakohaseid hankeprotseduure.

### Finantseerimisvõimalused

Nagu ka teistes riikides, jääb peamiseks teede uuringute finantseerimise allikaks riigi eelarve vahendid. Samas on sõltuvalt uuringute suunitlusest võimalik hankida lisaressursse erasektorilt (tootmistehnoloogia parendamine, ehitustehnoloogia parendamine) kuid arvestades turu piiratust ja konkurentsieelise saamise ebatõenäosust ei pruugi erasektor olla valmis uuringutesse märkimisväärselt panustama. Lisaks on finantseerimisvõimaluste osas olemas erinevad kohalikud ja rahvusvahelised (nt. Euroopa Liidu) finantsinstrumendid kuid igal neist on omad eripärad. Mõned võimalused kaasrahastamiseks on loetletud allpool.

- EAS jm riiklikud toetuskeemid
- ERA-NET (Osaleb ca 10 Euroopa riigi Maanteeametit)
- Euroopa Liidu 7 raamprogramm, osalemine nt. koos FEHRL'iga
- Naaberriikide Maanteeametid (nt. Läti Maanteeamet kasutab samuti paekivikillustikku)

Euroopa Liidu poolse rahastamise puhul tuleb reeglina arvestada, et finantseeritakse reeglina osaliselt otsekulusid, mistõttu ei pruugi kujutada endast väga suuremahulist nõ. tasuta finantseerimisabi kuid suurema väärtusena aitab luua sidemeid teiste riikide uurimisorganisatsioonidega ning seeläbi tugevdada meie uuringutealast tegevust ja tõsta selle efektiivsust.

### Administratiivsed/süsteemsed abinõud

Käesolevas töös on administratiivsetele vajadustele mitmel pool tähelepanu juhitud. Arvestades seniste uuringute vähesust, ei ole just palju põhjendatud alust kehtivate normipiiride muutmiseks, ometi on riiklikult vaadates raske üle hinnata mõistlike, kvaliteetset tulemust tagavate ja rakendamist võimaldavate normide olemasolu. Vähemtähtis pole ka normide kehtestamise ja selgitamise (põhjendamise) protsess ning tõhusate ja motiveerivate kontrollimeetmete juurutamine ausa konkurentsi tagamiseks ja innovatsioonile avatud ja tulemusele orienteeritud teedemajanduse ja kohalike materjalide tööstuse areng. Edasiste uurimistöödega tuleb muuhulgas

selgitada, kuidas killustikaluseid ehitatakse ja millised on puudused (materjalid, tehnoloogia), milliseid nõudeid ja miks praktikas sageli ei täideta ja millised meetmed motiveeriks nõudeid täitma.

Üheks selliseks võib olla meede, mis kohustab avalike teede omanikke põhjalikult uurima erinevate konstruktsioonide purunemise põhjuseid, et mõista, millised tegurid põhjustavad katendi ebasoovitavat ja sageli enneaegset purunemist. Sellise administratiivse meetme käivitamise peamiseks takistuseks võivad aga saada aga teeomanike puudulikud elementaarteadmised ning olematu sisuline huvi teede pikaajalise tagamiseks, kvalifitseeritud uurimisorganisatsioonide nappus ja „odavaim-võidab“-poliitika laialdast levikut soosiv hoiak teeomanike seas. Need küsimused vajavad aga administratiivsete meetmete arengu eeldusena vastavaid strateegiatasemel otsuseid.

### Muude mineraalmaterjalidega seonduv

Muude mineraalmaterjalide kasutamise ja nõuete osas on toodud mitmeid aspekte välja lisades 4 ja 5, välisekspertidega kohtumistest (Venemaa ja Rootsi spetsialistidega). Nt. on Rootsis piiratud aluste materjalis vilgu sisaldus, milline muudab aluse ebastabiilseks. Leningradi oblastis on näitena probleeme suurte tootmisjääkide kogustega (sõelmed), millised on teedehituses kasutamiseks ebasobiva terakujuga ja mille nõ. kuubistamiseks otsitakse lahendusi.

## JÄRELDUSED, SOOVITUSED JA KOKKUVÕTE

Kehtivate nõuete ülevaatamine ja täpsustamine on pidev protsess kuid ühiskonna ressursside optimaalseks kasutamiseks ja jätkusuutlikuks arendamiseks peavad need olema süsteemselt ja võimalikult komplekselt läbi mõeldud. Selline süsteemne lähenemine eeldab riigi tasandil tugevat panustamist teadusmahukasse, innovatsioonile suunatud süstematiseeritud tegevusse parimate – st. mitte ainult tehnilis-majanduslikult, vaid ka rakendatavuselt optimaalsete lahenduste leidmiseks.

Käesoleva töö järeldused peituvad suuresti väljapakutud uuringute vajaduses. Töö käigus selgitati hulganisti teede aluseid puudutavaid lahendust vajavaid küsimusi ning tehti ka mõned esialgsed ettepanekud küsimuste lahendamise osas. Järgnevate tegevustena on soovitatav luua laiemapõhjaline töögrupp, kelle ülesandeks oleks konkreetsete uuringute valik ja ettevalmistamine, arvestades seejuures teiste uurimist vajavate valdkondadega.

Kvaliteetsete, heade tugevusomadustega materjalide puuduse tingimustes muutub üha aktuaalsemaks nõrkade materjalide tugevdamise küsimus, milleks täna puuduvad majanduslikult tasuvad tehnoloogilised lahendused. Lisaks võivad sellised lahendused pakkuda leevendust jäätmete probleemile.

Käesolev ülevaade püüab koondada endasse võimalikult laialdaselt taustinformatsiooni aluste rajamist puudutavatel erinevatel tahkudel ning tuua välja uuringute üldise vajaduse. Toodud uuringute vajadust tuleb käsitleda kui esmast sisendit teede aluseid puudutavate uuringute kava koostamisel.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Karbonaatse killustiku külmakindluse määraminedestilleeritud vees ja NaCl lahuses, AS Teede Tehnokeskus, TTÜ Mäeinstituut 2008.
2. Looduslike ehitusmaavarade arengukava 2008-2009.
3. Keskkonnaministeeriumi kodulehekülg, September 2010.
4. Racional'nye tehnologii osvoenija mestorozhdenii stroitel'nyh materjalov, Bulbashev, A.P., 2000 a.
5. Spravochnoe posobie po dobyche stroitel'nyh materjalov, Alehhin, J.A., 1988 a.
6. Carbonate Stone Chemical behavior, durability, and conservation, Lal Gauri K., 1999 a., TTÜ raamatukogu,.
7. Sovremennye tehnologii razrabotki mestorozhdenii stroitel'nyh materialov, Azimov R.A., 2003 .
8. Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes - Mick R. Smith, L. Collis, P. G. Fookes.
9. Eesti Geoloogiakeskuse Geoloogiafondi andmebaas.
10. Pestud paeliiva katsetööd lõpparuanne, Ramboll 2009.
11. Katsemetoodika koostamine sidumata kihtidest aluste mineraalmaterjalist proovivõtuks, AS Teede Tehnokeskus 2010.
12. THE INFLUENCE OF FINES CONTENT AND PLASTICITY ON THE STRENGTH AND PERMEABILITY OF AGGREGATE FOR BASE COURSE MATERIAL; Siswosoebrotho, B. I. et al; Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 845 - 856, 2005.
13. CHARACTERIZATION OF ILLINOIS AGGREGATES FOR SUBGRADE REPLACEMENT AND SUBBASE, Erol Tutumluer Debakanta Mishra; Illinois Center for Transportation, December 2009.

14. *Characterizing aggregate permanent deformation behavior based on types and amounts of fines; Mishra, D., Tutumluer, E., Kern, J., Butt A.; Proceedings of Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, vol 1, pp 237-246; 2009.*
15. *Lubjakivi ja kruuskillustike külmakindluse paralleelne katsetamine, AS Teede Tehnokeskus 2009.*
16. *Kloriidide uuringu proovide võtmine ja katsetamine, AS Teede Tehnokeskus 2010.*
17. *Frost Resistance Test on Aggregates with and Without Salt, Norden TR 566, 2004.*
18. *COURAGE – Construction with Unbound Road Aggregates in Europe, Road Transport Research, Final Report, Contract No.: RO-97-SC.2056, December 1999.*
19. **Water flows paths through roads, Hansson.**
20. **Uurimistöö looduslike ehitusmaterjalide kasutamise riikliku arengukava 2010-2020" koostamiseks, Steiger 2009.**
21. *MATERIAL TREATMENT, Pauli Kolisoja, Nuutti Vuorimies, Roadex II, February 2005.*
22. *Predicting Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from crushability index, S KAHRAMAN and O Y TORAMAN, Mining Engineering Department, Nigde University, Nigde, Turkey. Indian Academy of Sciences Bull. Mater. Sci. April 2008.*
23. *TREATMENT OF MOISTURE SUSCEPTIBLE AGGREGATES, Pauli Kolisoja, Nuutti Vuorimies, Roadex III, September 2006.*
24. *Heavy Vehicle Simulator and laboratory testing of a light pavement structure for low-volume roads, H. L. Theyse, W J vdM Steyn, E Sadzik and M Henderson.*
25. *MOISTURE RELATED TEST PROTOCOLS FOR HVS TESTING, WJvdM STEYN, L du Plessis.*
26. *Stiffness, Strength, and Performance of Unbound Aggregate Material: Application of South African HVS and Laboratory Results to California Flexible Pavements, H L Theyse; July 2002.*

27. *Use of Accelerated Pavement Testing to Evaluate Maintenance and Pavement Preservation Treatments*, TRB, TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR E-C139, September 2009.
28. *Effects of Subsurface Drainage on Pavement Performance*, Kathleen T. Hall, James A. Crovetti, NCHRP Report 583, Washington D.C., 2007.
29. *Developing Drainage Guidelines for Maintenance Contracts– Results of a ROADDEX III pilot project on the Rovaniemi Maintenance Area in Finland*, RESEARCH REPORT, Timo Saarenketo, PhD, Roadscanners Oy, November 2007.
30. *Design and Repair of Roads Suffering Spring Thaw Weakening EXECUTIVE SUMMARY*, Saara Aho, Roadscanners Oy, Timo Saarenketo, Roadscanners Oy, March 2006.
31. *Mäendusõpik*: <http://mi.ttu.ee/opik>.
32. *Tallinn-Narva maantee Vao-Maardu teelõigu süvendamine paekihti*, AS Teede Tehnokeskus 2008.
33. *Eesti levinumad ehitusmaterjalid*, Eesti Geoloogiakeskus 2007.
34. *Graniitkillustiku kui kohaliku ehitusmaterjali kasutusvõimalused, lubjakivi asendusväärtuse eksperthinnang*, AS Teede Tehnokeskus 2009.
35. *Manual of Contract Documents for Highway Works. Volume 1 - Specification for Highway Works*, Dpt of Transport, GB.
36. *Sitomattoman kantavan kerroksen murskeen laadun vaikutus tien vaurioitumiseen*, Tiehallinto 2003.
37. *Killustiku kaevandamine ja kasutamine*, Eesti Mäeselts 2008.
38. *Aggregates: geology, prospection, environment, testing, specifications* - Louis Primel, Claude Tourenq.
39. *Soil and rock construction materials* - G. H. McNally.
40. *Construction materials: their nature and behaviour* - J. M. Illston.
41. *Engineering geology and construction* - Frederic Gladstone Bell.

42. *Innovations and use for lime - Walker, Hardy, Hoffman, Stanley.*
43. *Limestone concrete - John Singleton Green.*
44. *Use of high waste dust in unbound and hydraulically bound materials for road bases - Behrooz Saghafi.*
45. *An investigation of emulsion stabilized limestone screenings - Iowa highway research board.*
46. *The Study of Properties of Multigrade Asphalt Concrete by Comparison the Aggregate between Steel Furnace Slag and Limestone - Yunyong Chuaychoo, Watcharin Witayakul.*
47. *The compressibility of a crushed limestone backfill - Brady, KC, Kirk, G.*
48. *Performance Evaluation of Stabilized Base and Subbase Material - Louay Mohammad, Shadi Saadeh.*
49. *Characteristics of sorption and expansion isotherms of reactive limestone aggregate - National Research Council Canada.*
50. *Tests to identify poor quality coarse limestone aggregates and acceptable limits for such aggregates in bituminous mixes - John P. Harris, Arif Chowdhury.*
51. *Osnovanija dorozhnyh odezhd iz maloprochnyh izvestnjakov, Dagaev, B. I., 1988a., TTÜ raamatukogu.*
52. *Pavement sensors used at accelerated pavement test facilities, CTL, Illinois.*
53. *Maa-ameti maardlate kaadirakendus.*

## LISAD

LISA 1. Eesti aluspõhja stratigraafiline liigitus

LISA 2. Küsimustik kasutajatele ja küsimustiku vastuste analüüs (KASUTAJAD)

LISA 3. Küsimustik kasutajatele ja küsimustiku vastuste analüüs (TOOTJAD)

LISA 4. Peterburi välisekspertidega kohtumiste teemad ja kokkuvõte (Peterburi)

LISA 5. Välisekspertidega kohtumiste teemad ja slaidid, nõude alustes kasutatavatele materjalidele, kontrollisagedused, projekteerimispraktika (Rootsi)

LISA 6. Kloriidide uuringu proovide võtmine ja katsetamine

LISA 7. Lubjakivi ja kruuskillustike külmakindluse paralleelne katsetamine, katseandmete analüüsi tabelid ja graafikud

LISA 8. Uurimistöö „Frost Resistance Test on Aggregates with and Without Salt“ graafikud

LISA 9. Geoloogifondi andmete koond – lubjakivimaardlad, lubjakivide füüsikalise-mehaanilised omadused, üksikväärtuste graafikud, omaduste korrelatsioonanalüüs (20)

LISA 10. Geoloogifondi andmete koond – lubjakivimaardlad, lubjakivide koostis - keemilised omadused, omaduste korrelatsioonanalüüs

LISA 11. Geoloogifondi andmete ülevaade, nädisinfo maardlate kohta – põhiinfo, materjalide kasutusala, mäeeraldised, plokid, geoloogilised läbilõiked jms

LISA 12. Maanteeregister, põhi- ja tugimaanteede kihid 3 ja 4, alused

LISA 13. Tabel killustiku margi/klassi määramiseks purunemiskindluse järgi riultrumilis (GOST)

LISA 14. Röstla maardla registrikaart ja väljavõte uuringust

LISA 15. Täitematerjalide standardid

LISA 16. Nädisgeotulbad maantee konstruktsioonist

LISA 17. Ehituslubjakivi, -dolokivi ja - kruusa varude tabel seisuga 31.12.2009

LISA 18. Killustiku kvaliteedinõuded teedehituses, Ott Talvik'u ettekanne  
LISA 19. Koondtabelid maavarade kaevandamise kohta 2009 aastal

LISA 19. Koondtabelid maavarade kaevandamise kohta 2009 aastal

LISA 20. COURAGE uuringu põhijäreldused

LISA 21. Raskeliikluse simulaatorid (HVS) mujal maailmas

LISA 22. Pinnase ja mineraalmaterjalide kokkusurutavus ja tugevusparameetrite määramine

LISA 23. Mineraalmaterjalide taastuv deformatsioonimoodul ja selle määramine

LISA 24. Lubja-, dolo- ja kristalliinse ehituskivi maardlate ülevaateplaan (OÜ IB Steiger 2009)