

**KATSEMETOODIKA KOOSTAMINE
SIDUMATA SEGUST ALUSEKIHI
MINERAALMATERJALIST
PROOVIVÕTUKS**

UURIMISTÖÖ ARUANNE



Uurimistöös osalesid:

Silver Siht,

Jüri Kivi,

Peeter Vahter,

Janek Hendrikson,

Marek Truu

(AS Teede Tehnokeskus)

Kaasabi osutasid:

Artur Liiv, Vello Puulmann, Margus Veensalu (töövõtja, AS Rapla Teed), Aavo
Aasvee (järelvalve, AS Taalri Varahaldus),



KATSEMETOODIKA KOOSTAMINE SIDUMATA SEGUST ALUSEKIHI MINERAALMATERJALIST PROOVIVÖTUKS

UURIMISTÖÖ ARUANNE

Vastutav teostaja: Marek Truu

Projektijuht

Tallinn, 2010

Sisukord

Sisukord	4
Sissejuhatus.....	5
Uurimistöö ideoloogia.....	6
Teistes riikides kasutatavad meetodikad	6
Objektide valik.....	7
Killustikusegude tootmine ja alusekihtide rajamine	9
Killustikusegu nr 1.....	12
Killustikusegu nr 2.....	14
Killustikusegu nr 3.....	15
Kihipaksuse mõõtmised	17
Elastsusmooduli mõõtmised	17
Laboratoorsed katsed.....	18
Purunemiskindlus (LA).....	18
Plaatsustegur (FI)	18
Terastikuline koostis	19
Peenosise sisaldus	19
Segregeerumine	20
Proovivõtumetoodika	21
Järeldused ja soovitused	23
Kokkuvõte	27
Kasutatud kirjandus.....	28
Lisad	29

Sissejuhatus

Käesolev uurimistöö on koostatud Maanteeameti (edaspidi Tellija) tellimusel. Uurimistöö viis läbi AS Teede Tehnokeskus.

Uurimistöö eesmärk on selgitada, kuidas muutuvad sidumata segudest (ridakillustikust) killustikusegude omadused tee-ehitusprotsessis ning, toetudes teiste riikide ja uuringu tulemustele, töötada välja valmis killustikalusest proovivõtu meetodika.

Uurimistöö vajaduse tingis asjaolu, et maantee aluste ehitamisel sidumata segudest saavutatav tulemus ei ole sageli kvaliteetne. Objektidel esineb ka sageli olukord kus ebasobivate töövõtete ja tehnoloogianõuete eiramise tõttu muutuvad killustikaluseks kasutatava materjali omadused transportimise ja paigaldamise käigus märkimisväärselt, ega vasta objektile paigaldatuna enam ettenähtud nõuetele. Isegi juhul, kui tootmise käigus suudetakse tagada killustikusegu nõuetekohane terakoostis, on paigaldatud killustikusegu kiht sageli äärmiselt ebaühtlane. Sellises kihis on ebaühtlased ka tugevusomadused, mistõttu ei pruugi kiht töötada tervikuna ning võib omakorda tekitada tervikkonstruksioonis pingekontsentratsioone ja katendi enneaegset ebaühtlast purunemist. Seetõttu on oluline, et rajatavad kihid on kogu ulatuses võimalikult homogeensed ja täidavad arvutuslikud nõuded.

Eestis kehtiv meetodika sidumata segudest proovivõtuks ei käsitle proovivõttu objektile, paigaldatud ja nõuetekohaselt tihendatud kihist, mistõttu on tee-ehitustöö tellijatel ja töövõtjatel praktiliselt võimatu kokku leppida valmishitatud killustikaluse kvaliteedi hindamiseks vajalike katsete jaoks proovi võtmises ning nende alusel nõuetekohasuse hindamises.

Käesolevas uurimistöös vaadeldi sidumata segudest aluste ehitamise tervikprotsessi kolme erineva killustikuseguga - kahe seguga fraktsioonis 0/31,5 ning ühe seguga fraktsioonist 0/63.

Uurimistöö ideoloogia

Uurimistöö käigus selgitatakse välja teistes riikides kasutatavad meetodid objektilt sidumata segust alusekihist proovide võtmiseks ning valitakse, arvestades Eestis kehtivaid proovivõtueeskirju, sobivaim, seda vajadusel kohandades. Metoodika sobivust kontrollitakse katseliselt, tehes piisavalt katseid nii eeskirjadekohase kui uurimistöös välja pakutud metoodika kohaselt ning võrreldakse ja koostatakse vastav proovivõtumetoodika ning antakse soovitusel proovivõtumetoodika rakendamiseks.

Teistes riikides kasutatavad metoodikad

Kuna Eestis mineraalmaterjalidest proovivõtuks kasutatavad metoodikad ei käsitle proovivõttu valmis alusekihist, selgitasime teelt proovivõtuga seonduvat teistes riikides. Kontaktid Soome, Rootsi, Hollandi, Läti ja Iirimaa teedehituse valdkonna spetsialistidega näitasid, et üldjuhul ei peeta valmis killustikalusest proovivõtmist otstarbekaks tegevuse suhteliselt suure töömahukuse tõttu on ja piirduakse proovide võtmisega ainult lahtisest materjalist enne paigaldamist või äärmisel juhul tihendamata kihist. Suuremas osas vaadeldud riikidest valmis alusest proovivõtuks teadaolev metoodika puudub kuid kahtluse korral siiski proove võetakse, tehes seda üldjuhul põhimõttel „ühtlaselt kogu kihi paksuselt koguses, mis võimaldab teostada vajalikud katsed“. Siiski, Ameerika Ühendriikides käsitleb teelt proovivõttu AASHTO meetodikirjeldus T 2 ja Rootsis on valmis alustest mineraalmaterjalist proovivõtuks kasutusel metoodika VVMB 611 „Provtagning av obundna material“.

AASHTO T 2 käsitleb mineraalmaterjalist proovivõttu üldiselt, kirjeldades proovivõtu võimalusi erinevatest kohtadest, sh. teelt. Metoodika sisaldab muuhulgas soovitusel võtta proov võimaluse korral valmis tootest, kihist. Metoodika näeb ette üksikproovide võtmist vähemalt kolmest kohast tee ristlõikes ning alati kogu kihi paksuses, vältides all olevate kihtide kaasamist proovi ja koondproovi moodustamist. Seega sobib antud metoodika küll lähtematerjali nõuetekohasuse hindamiseks kuid mitte aluse kui konstruktiivse kihi nõuetekohasuse hindamiseks.

VVMB 611 käsitleb mineraalmaterjalist proovivõttu valmis kihist või olemasolevalt teelt. Valmis kihist proovivõtuks on muuhulgas reguleeritud proovivõtukohtade valik juhumeetodil, mis on kirjeldatud metoodikas VVMB 908. Lisaks on lubatud proovide võtmine kohtades, mis visuaalsel hindamisel ei tundu nõuetekohased. Olemasoleva

konstruktsiooni mineraalmaterjalist aluste nõuetekohasuse hindamine võib osutuda vajalikuks näiteks teekatte defektide (vajumisroobas, katte praod) ilmnemisel. Siinjuures tuleb proovivõtul arvestada erinevate katsete jaoks vajalikku proovi kogust, nt rikakillustikust materjali purunemiskindluse määramiseks on vaja kogu proovist saada piisav kogus vastava katse läbiviimiseks vajalikku materjalifraktsiooni. Metoodika käsitleb ka nõudeid proovide ettevalmistamiseks, proovivõtuprotokolli ja proovivõtuaruande näidist ning vajaliku proovi kaalu arvutamise näidist.

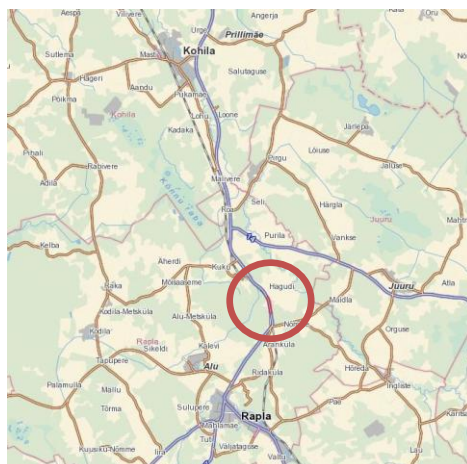
Nende kahe metoodika alusel kujundati esialgsed proovivõtu põhimõtted. Proovivõtu metoodika koostati pärast nende kasutamise kogemuse saamist reaalsetel katselõikudel ning on esitatud eraldi seisva dokumendina „Katsemetoodika sidumata segust alusekihi mineraalmaterjalist proovivõtuks“, mille struktuuris on järgitud Eesti standardi EVS-EN 932-1:2000 põhimõtteid.

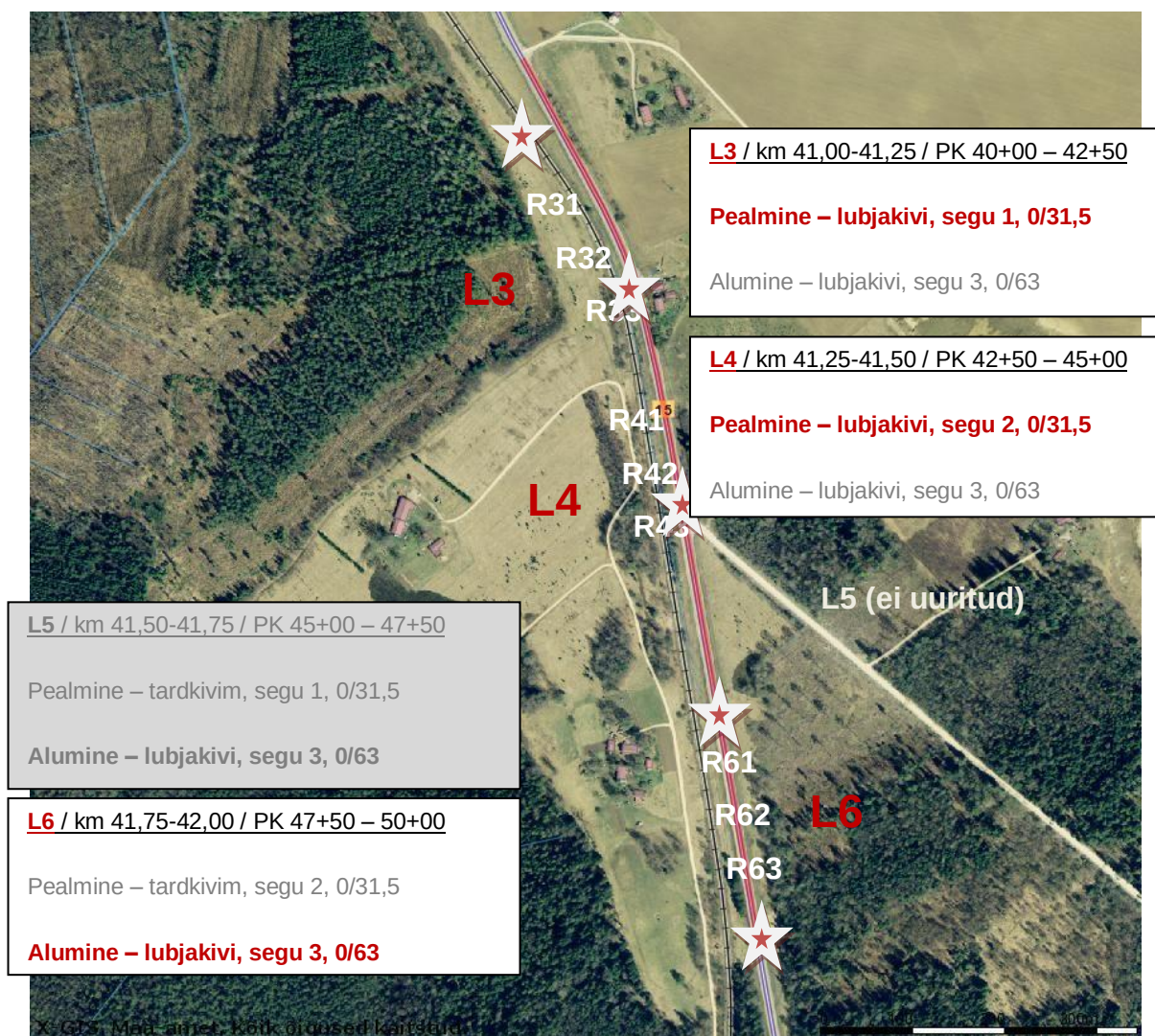
Objektide valik

Valitud proovivõtumetoodika sobivuse katseliseks kontrollimiseks valiti Tellija ja Konsultandi vahelisel nõupidamisel välja 3 katselõiku maantee nr 15 Tõngi-Aranküla objektil (vt. kaart paremal) alljärgnevalt:

- Maantee 15 km 37,0-43,2 Tõngi-Aranküla objekti lõik nr 3 km 41,000 - 41,250, lubjakivikillustikusegu nr 1 fraktsiooniga 0/31,5 paksusega 10 cm (killustikaluse pealmine kiht)
- Maantee 15 km 37,0-43,2 Tõngi-Aranküla objekti lõik nr 4 km 41,250 - 41,500, lubjakivikillustikusegu nr 2 fraktsiooniga 0/31,5 paksusega 10 cm (killustikaluse pealmine kiht)
- Maantee 15 km 37,0-43,2 Tõngi-Aranküla objekti lõik nr 6 km 41,750 - 42,000, lubjakivikillustikusegu nr 3 fraktsiooniga 0/63 paksusega 15 cm (killustikaluse alumine kiht)

Katselõikude paiknemine ja tähistus (L3, L4 ja L6) ja uuritud ristlõigete paiknemine (R31...R63) objektil on kujutatud alloleval joonisel.





Allpool on esitatud aluse kihtide rajamise skeem lõiguti.

LÕIK L3

LÕIK L4

LÕIK L5

LÕIK L6

(ei uuritud)

KATE					
Aluse pealmine (ülakiht) 10 cm, sidumata segust 0/31,5	Lubjakivikillustiku segu 1	Lubjakivikillustiku segu 2	Tardkivikillustiku segu 1	Tardkivikillustiku segu 2	
Aluse alumine (alakiht) 15 cm, sidumata segust 0/63	Lubjakivikillustiku segu 3	Lubjakivikillustiku segu nr 3	Lubjakivikillustiku segu nr 3	Lubjakivikillustiku segu 3	
KRUUSAST DREENKIHT					

Valitud katselõikudel kasutatavatele killustikusegude terastikulisele koostisele on esitatud järgmised nõuded:

Segu nr.	Segu tähtis	Kasutus	Sõela ava mõõt, mm											
			80	63	40	31,5	20	16	8	4	2	1	0,5	0,063
			Läbib sõela, massi-%											
1	0/31,5	Sidumata alus			100	85-99	-	58-70	39-51	26-38	17-28	11-21	5-15	0-5
2					100	85-99	-	63-77	43-57	30-42	22-33	15-30	5-15	0-5
3	0/63		100	85-99	-	58-70	-	39-51	26-38	17-28	11-21	5-15	-	0-5
4			100	85-99	-	63-77	-	43-57	30-42	22-33	15-30	5-15	-	0-5

Sidumata segudele esitatavad nõuded on kirjeldatud standardis EVS-EN 13285:2007 „Sidumata segud“ [2]. Katselõikudele valitud segud vastavad nimetatud standardile.

Täitematerjalidest proovivõtt on üldiselt kirjeldatud standardis EVS-EN 932-1:2000 Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine, Osa 1: Proovivõtumeetodid. [1]

Sidumata segude puhul on käsitletud proovivõttu ka Eesti standardis EVS-EN 13286-1:2003 Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 1: Test method for the determination of the laboratory reference density and water content – Introduction, general requirements and sampling [3]

Killustikusegude tootmine ja alusekihtide rajamine

Kõik kolm killustikusegu toodeti Reinu karjääri lubjakivist. Sobiva koostisega killustikusegu saamiseks segati karjääris pae kaevandusprodukt eeltoodetud paekillustiku fraktsiooniga 8/16 vahekorras ca 2/3 ja 1/3 ekskavaatoriga kallurisse laadimise käigus. Segatud materjal söödeti karjääri kivipurustussõlme (vt foto), mis oli seadistatud igakordselt vastava killustikusegu tootmiseks. Killustikusegu toodeti kuhjatisse.



Kuhjatisest tõsteti killustik frontaallaaduriga (vt. 2 ülemist fotot paremal) suurematele kalluritele (killustiku kogus ca 30 tonni) ning transporditi objektile (kaugus < 10 km). Objektile laaditi killustik tee teljele teesuunalistesse kuhjatistesse (vt. 2 alumist fotot paremal). Visuaalse vaatlusel ilmnes mõningane materjali segregeerumine juba kuhjatistes, kus kuhjatise sisemusse jäi keskmisest peenem ja väljapoole jämedam materjal. Seejärel laotati ja profileeriti buldooseri ja/või greideriga (3D) või ainult greideriga ning tihendati staatilise rulliga (vt fotod järgmisel lehel).

Materjali teisaldamisel laotamise ja profileerimise käigus (buldooser, greider) segregeerumisnähud süvenesid veelgi. Killustikusegu teisaldamisel liikusid peenemad fraktsioonid kihis allapoole, mistõttu tee serva poole liikudes muutus segu järjest jämedamaks. Lisaks horisontaalsuunalisele segregeerumisele leidis aset ulatuslik segregeerumine ka vertikaalsuunas, eriti drastiliselt peenematerjaliste killustikusegude nr 1 ja 2 laotamisel ja profileerimisel. Killustikusegu korduva profileerimise ja teisaldamise käigus vajusid killustikusegu peenemad fraktsioonid kihis allapoole ja kihi peale jäid jämedamad fraktsioonid. Laotatud kiht



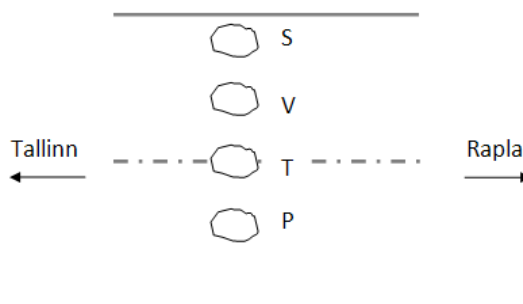
tihendati staatilise teerulliga. Kõikidel katselõikudel teostati rullimisjärgselt greideriga järelplaneerimist vajaliku alusekihi geomeetria saavutamiseks (vasak ja parem laiusgabariit, kõrgus) või taastamiseks, kuna objekti oli arvestatav liiklus sama objekti liiva ja killustikuveo näol ning vähesel määral kohalikku liiklust ning ühistransporti.

Töövõtja esitas profileeritud ja tihendatud aluse ülakihi (killustikusegud 1 ja 2) Konsultandile uuringuteks 06.04.2010 hommikul. Konsultandi esialgsel hinnangul oli kõnealune kiht ulatuslikult vertikaalsuunas segregeerunud. Kihi ülaosa koosnes valdavalt jämedaterisest (silma järgi sarnane fraktsioonile 8/32 või 16/32) materjalist, millise kihi paksus jäi enamasti vahemikku 3-4 cm (tihedasti üksteise kõrval paiknevad terad), tee teljel 2-3 cm (üksikud eraldiasetsevad terad). Aluse tihendatud alakihis märkimisväärtset vertikaalset segregeerumist ei täheldatud.

Igal lõigul võeti proovid võimaluse korral tehasest, teelt kuhjatisest, ning tihendamata ja tihendatud kihist. Üldjuhul võeti proovid ristlõikes tee teljelt (tähis „T“), teljest 3m vasakult (st. sõidusuund Rapla-Tallinn), tähis „V“) ja teljest 3m paremalt (st. sõidusuund



Tallinn-Rapla), tähis „P“. Erandjuhul võeti proovid tees servast (ca 1 m), tee teljest 5,5 m vasakult (st. sõidusuund Rapla-Tallinn), tähis „S“. Vt. tähistus kõrvaloleval joonisel.



Tihendatud kihist võeti proovid tihendamata proovidega võrreldes 1m võrra pikisuunas nihkes, et mitte sattuda tagasitäidetud koha peale. Kõikides proovivõtukohtades tehti foto ja mõõdeti elastsusmoodul enne kihi avamist ning fikseeriti kihi paksus ning tehti foto avatud kihist.

Konsultandil ei olnud võimalust kontrollida aluse seisundit vahetult enne asfalteerimistööde algust kuid on teada, et asfalteerimistööd algasid lõikudel nr 3 ja 4 ca nädal pärast kihi valmimist, mistõttu on reaalne, et materjali peenenemine toimus liikluse ja täiendava töötlemise tulemusena ka peale proovide võtmist.



Killustikusegu nr 1

Lubjakivikillustikusegule nr 1 vastab Eesti standardis EVS-EN 13285:2007 segu tähistusega 0/31,5 kategooriale Go tarnija deklareeritud väärtuse (S) järgi, maksimaalse peenosise sisaldusega UF5, minimaalne peeosise sisaldust pole piiratud, ülemõõduliste terade kategooria OC85.



Lubjakivikillustikusegu nr 1 toodeti lõigule L3 eelnevalt paigaldatud ja tihendatud lubjakivikillustikusegust nr 3 rajatud alusekihi (ei uuritud) peale. Viimane oli tee keskosas visuaalselt tihedam ja tasasem (kohati ühtlase sileda



pealispinnaga) kui servades, kus kiht oli teralisem. Segu toodeti 29.04 ning veeti välja teele kuhjatistesse samal päeval. Killustikusegu laadimisel teel kuhjatisse oli tähendatav mõningane segregeerumine (vt fotod eelmisel leheküljel, paremal). Teelt kuhjatistest võeti 30.04 proovid nr 770 (ristlõige R31, PK 41+00), nr 769, (R32, PK 41+50) ja nr 768 (R33, PK 42+00). Proovidel määrati terastikuline koostis. Pärast killustikusegu laotamist ja profileerimist võeti Konsultandi poolt 03.05 tihendamata kihist proovid nr 780-788 (igast ristlõikest 3 proovi). Lõigul 1 võeti proovid V, T ja P ristlõigetest R31 ja R32 ning proovid T, V ja S ristlõikest R33. Proovivõttu ristlõikest R32 (PK41+50, vt foto paremal üleval) ja teljelt (T, vt fotod paremal, ülalt teine ja kolmas) ja 3m teljest vasakul (V, vt. 2 alumist fotot paremal). Piltidel on visuaalselt näha materjali horisontaalsuunalist segregeerumist, kusjuures tee teljel on materjal ühtlasem (proov nr 784) ja 3m teljest juba jämedaterisem (proov nr 785). Kõikidel proovidel määrati terastikuline koostis ja plaatsustegur (FI, %) ning koondproovil purunemiskindlus (LA, %). Materjaliproovi purunemiskindluse näitaja segul nr 1 on 30 ning plaatsustegur 7-14. Tihendatud kihist võeti 06.05 proovid nr 855-866 (R31 – 3, R32 – 5 ja R33 – 4 proovi). R31 võeti proovid kogu ristlõike paksuses, teistel juhtudel üksnes alumisest, ühtlaselt tihenendud kihist, millelt oli eemaldatud jämedam, lahtise killustiku kiht (kohati kuni 4 cm paksune). Sellisest lahtisest killustikust võeti ka eraldi lisaproovid, nr 861, 862 ja 866.





Tihendatud kihi alt avanes mitmel juhul sileda, plaatja pealispinnaga aluse alumine kiht. Aluse ülakihi pealmine, jämeda lahtise killustiku kiht (1), samuti ülakihi peenem, tihedam kiht (2) ja plaatja pealispinnaga aluse alumine kiht (3) on näha kõrvaloleval fotol.

Proovivõtu koondtabel on esitatud allpool. Tihendamata kihist võetud proovid on tabelis veerus „A“ ning tihendatud kihist võetud proovid veerus „D“.

PK	Koht	P ** (3m; ->Rap)		T ** (telg)		V ** (3m; ->Tln)		S ** (5,5m; ->Tln)	
		A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*
41+00	31	780	855	781	856	782	857		
41+50	32	783	858	784	859	785	860/862		
42+00	33		861	787	864	788	865/866	786	863

* A - tihendamata kihist, D - tihendatud kihist

** P - parem, T - telg, V - vasak, S - serv

Killustikusegu nr 2

Lubjakivikillustikusegule nr 2 vastab Eesti standardis EVS-EN 13285:2007 segu tähistusega 0/31,5 kategooriale GA tarnija deklareeritud väärtuse (S) järgi, maksimaalse peenosise sisaldusega UF5, minimaalne peeosise sisaldus pole piiratud, ülemõduliste terade kategooria OC85.

Lubjakivikillustikusegu nr 2 toodeti lõigule nr 4 eelnevalt paigaldatud ja tihendatud lubjakivikillustikusegust nr 3 rajatud alusekihi (ei uuritud) peale. Viimane oli tee keskosas visuaalselt tihedam ja tasasem (kohati ühtlase sileda pealispinnaga) kui servades, kus kiht oli teralisem. Segu toodeti 30.04 ning veeti välja teele kuhjatistesse samal päeval. Tehases võeti killustiku segust valmistoodangu lindi otsast proovid nr 765, 766 ja 767. Kõigil proovidel määrati terastikuline koostis ja plaatsustegur (FI, %) ning koondproovil purunemiskindlus (LA, %). Materjaliproovi purunemiskindluse näitaja on 34 ning plaatsustegur 18. Killustikusegu laadimisel teel kuhjatistesse oli tähendatav mõningane segregeerumine (sarnaselt killustikusegu nr 1'ga). Teelt kuhjatistest võeti samal päeval proovid nr 771 (PK 42+50), nr 772, (PK 42+75) ja nr 773 (PK 42+90). Proovidel määrati terastikuline koostis. Pärast killustikusegu laotamist ja profileerimist võeti veel samal päeval tihendamata kihist proovid nr 789-797, igast ristlõikest 3 proovi (ristlõiked R41 – PK 43+00, R42 – PK

43+50 ja R43 – PK 44+00). Pärast tihendamist (koos täiendava profileerimisega) võeti 06.05 proovid nr 867-875, igast ristlõikest 3 proovi. Kõik proovid võeti üksnes alumisest, ühtlaselt tihenenud kihist, millelt oli eemaldatud jämedam, lahtise killustiku kiht. Ristlõigetest R41 ja R43 võeti proovid teljelt, teljest 3m vasakult ja 3m paremalt, ristlõikest R42 aga teljelt ja teljest 3m vasakult ning teljest 5,5 m vasakult



(vt. foto paremal). Viimases on ca 3 cm paksuse lahtise killustikukihi (1) all näha aluse alumise kihi (segu nr 3) terasid (2). Proovivõtu koondtabel on esitatud allpool.

PK	Koht	P ** (3m; ->Rap)		T ** (telg)		V ** (3m; ->Tln)		S ** (5,5m; ->Tln)	
		A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*
43+00	41	789	867	790	868	791	869		
43+50	42			793	871	794	872	792	870
44+00	43	795	873	796	874	797	875		

* A - tihendamata kihist, D - tihendatud kihist

** P - parem, T - telg, V - vasak, S - serv

Killustikusegu nr 3

Lubjakivikillustikusegule nr 3 vastab Eesti standardis EVS-EN 13285:2007 segu tähistusega 0/63 kategooriale Go tarnija deklareeritud väärtuse (S) järgi, maksimaalse peenosise sisaldusega UF5, minimaalne peeosise sisaldus pole piiratud, ülemõõduliste terade kategooria OC85.

Lubjakivikillustikusegu nr 3 toodeti lõigule nr 6 (nagu ka lõikudele 3-5) eelnevalt paigaldatud ja tihendatud liivast drenikihi peale. Segu toodeti lõigule nr 6 toodeti 28.04 ning veeti välja teele kuhjatistesse samal päeval. Tehases võeti killustiku segust valmistoodangu lindi otsast proovid nr 721, 722 ja 723. Kõigil proovidel määrati terastikuline koostis ja plaatsustegur (FI, %) ning koondproovil purunemiskindlus (LA, %). Materjaliproovi purunemiskindluse näitaja on 33 ning plaatsustegur 22. Killustikusegu laadimisel teel kuhjatisse oli tähendatav segregeerumine (visuaalselt ulatuslikum kui segudel 1 ja 2). Teelt kuhjatistest võeti samal päeval proovid nr 724, 725 ja 726 (PK 49+10). Proovidel määrati terastikuline koostis. Pärast killustikusegu laotamist ja profileerimist võeti veel samal päeval

tihendamata kihist proovid nr 729-737, igast ristlõikest 3 proovi (ristlõiked R61 – PK 48+00, R62 – PK 48+50 ja R63 – PK 49+00). Proovidel määrati terastikuline koostis. Pärast tihendamist (koos täiendava profileerimisega) võeti 03.05 proovid nr 798-806, igast ristlõikest 3 proovi. Proovid võeti tee teljelt, teljest 3m vasakult ja 3m paremalt. Fraksioneerumist on näha ka allolevatel pildidel. Kastmisejärgselt tumedamad kohad lõikude nr 3 ja 4 aluse alumisel kihil tähistavad peenematerjali kohti, heledamad alad on jämedaterisemad.



		P ** (3m; ->Rap)		T ** (telg)		V ** (3m; ->Tln)		S ** (5,5m; ->Tln)	
PK	Koht	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*
48+00	61	729	798	730	799	731	800		
48+50	62	732	801	733	802	734	803		
49+00	63	735	804	736	805	737	806		

* A - tihendamata kihist, D - tihendatud kihist

** P - parem, T- telg, V - vasak, S - serv

Kihipaksuse mõõtmised

Kihipaksuse mõõtmised katte ülemise, tihendatud kihi proovivõtu aukudes näitasid valdavalt kihi summaarset paksust keskmiselt 8 cm, mõningatel juhtudel vähem.

Veendumaks, et mõõtmiste käigus ei ole eksitud kihtide vahekoha määramisega, võeti mõnes proovivõtu kohas kontrolliks lahti kogu aluse koht.

Kahe kihi kogupaksuse mõõtmised (koos pealmise lahtise killustiku kihiga) andsid tulemuseks keskmiselt 18-22 cm (vt. fotod paremal). Aluse alumise

kihi paksuse mõõtmistulemused lõigul 6 jäid keskmiselt vahemikku 10-12 cm (tihendamata kihil 11-14 cm).



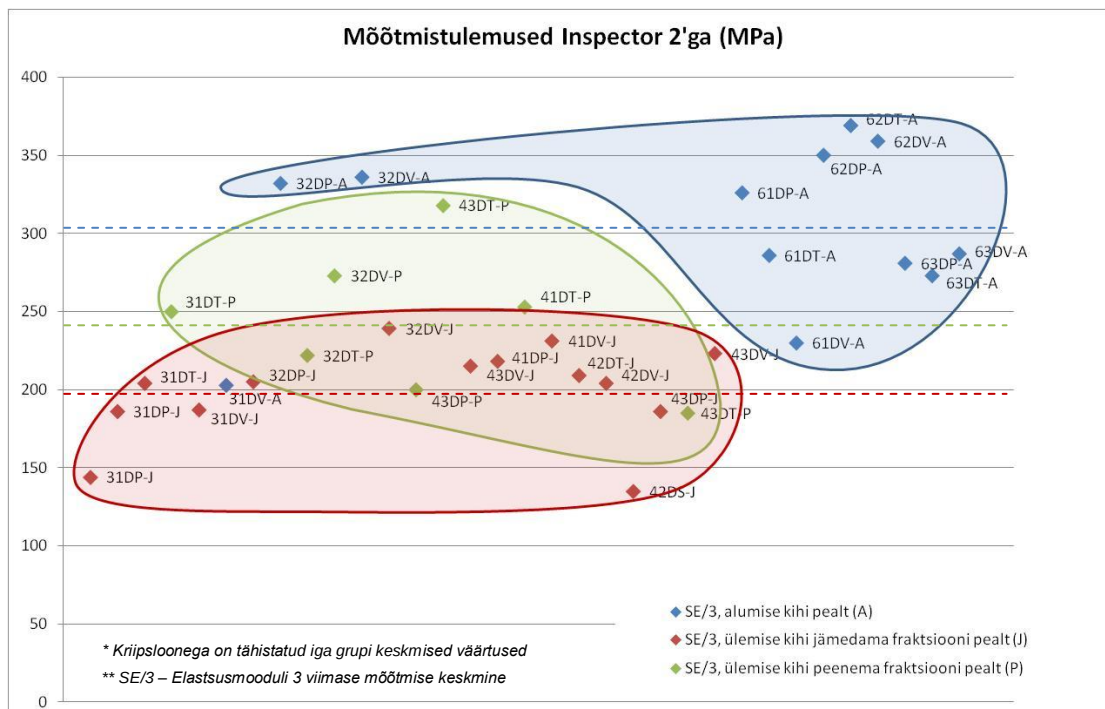
Elastsusmooduli mõõtmised

Elastsusmooduli mõõtmised seadmega Inspector 2 andsid tulemused valdavalt vahemikus 180-370 MPa, aritmeetiline keskmine 246 MPa. Killustikusegudest 1 ja 2 rajatud kihi pealt mõõtes, kohtades, kus peal lahtine, jämeda fraktsiooni killustik, on tulemused valdavalt vahemikus 180-220 MPa (kahel juhul ka alla 150 MPa), aritmeetiline keskmine 199 MPa. Peenema fraktsiooni pealt (lahtine killustik eemaldatud) mõõtes saadi mõnevõrra paremad tulemused, valdavalt vahemikus 200-300 MPa (aritmeetiline keskmine 243 MPa) kuid mõõtmistulemuste



hajuvus on suurem kui jämeda, lahtise killustiku pealt mõõtes. Mõõtmised alumise,

killustikusegust nr 3 kihi pealt andsid tulemused valdavalt vahemikus 270-360 MPa, aritmeetiline keskmine 303 MPa. Elastsusmooduli mõõtmistulemused on esitatud alloleval graafikul.



Laboratoorsed katsed

Uurimistöö raames võeti kokku 72 proovi terastikulise koostise, purunemiskindluse ja plaatsusteguri määramiseks. Laboratoorsete katsete tulemused on esitatud aruande lisas 2 ja proovivõtu protokollid lisas 3. Lisaks on proovivõtu ja laboratoorsete katsete andmed esitatud koondtabelis lisas 5.

Purunemiskindlus (LA)

Iga killustikusegu kohta määrati purunemiskindlus (LA) fraktsioonile 10-14. Purunemiskindluse näitaja oli kontrollitud materjalidel sarnane, vahemikus 30-34.

Plaatsustegur (FI)

Iga killustikusegu kohta määrati plaatsustegur (FI) sõltuvalt materjali terastikulisest koostisest fraktsioonile 4/31,5...4/80. Plaatsusteguri näitaja oli kontrollitud materjalidel vahemikus 7-22. Silma hakkab, et plaatsustegur on suurem tehasest võetud proovidel (18-22) ja väiksem tihendatud kihist võetud proovidel (7-14), mis ilmselt viitab plaatjate terade purunemisele tihendamisel.

Terastikuline koostis

Käesoleva uurimistöö raames vaadeldud proovilõikudel kasutatud sidumata segude materjali laboratoorne kontroll näitab, et toodetud segud ei vasta etteantud seguväljale (mitte ükski!). Tehasest, valmistoodangu lindi otsa alt (vt foto) võeti proovid segust nr 2 ja 3 (vt joonised 15 ja 27 lisas 1).

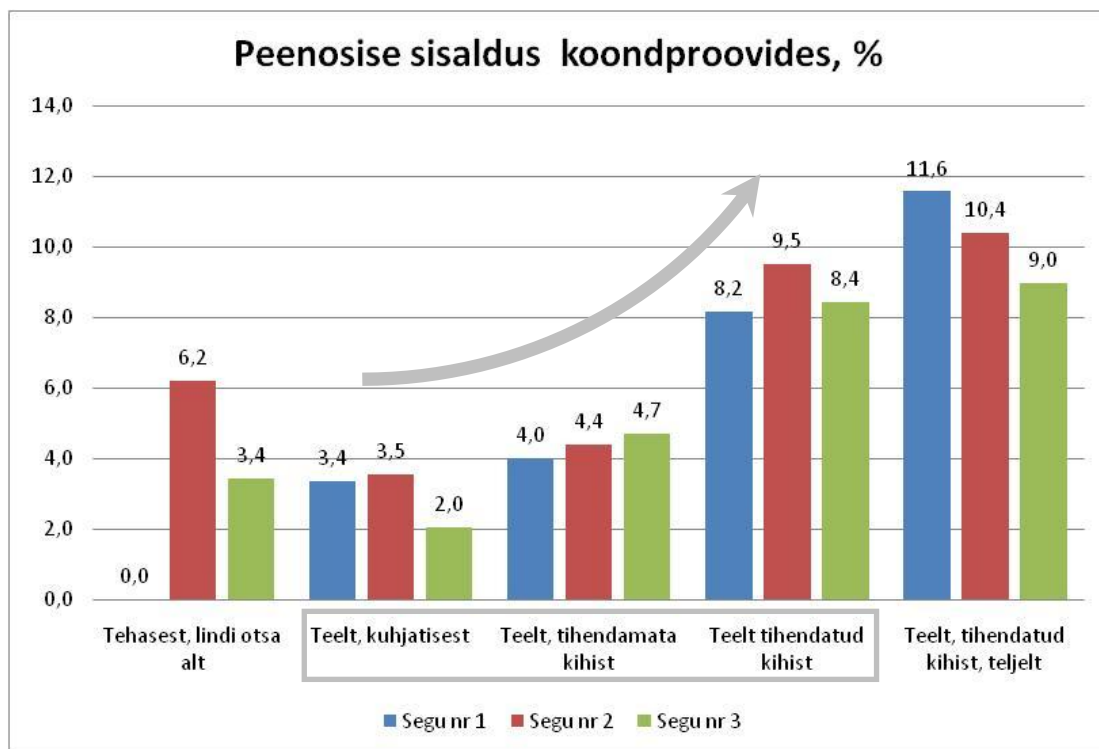
Materjali terastikuliste omaduste muutumise hindamiseks protsessi



arvutati kõikide segude jaoks vastavalt tehasest ja teelt kuhjast, tihendamata kihist ja tihendatud kihist proovide põhjal koondproovid e. keskmised proovid aritmeetiliste keskmistena (ei arvestatud proovide masse). Vastavad tulemused on esitatud segude nr 1, 2 ja 3 kohta graafiliselt vastavalt joonistel 3, 14 ja 26 lisas 1 ning tabelina lisas 5.

Peenosise sisaldus

Koondproovide võrdlemisel on selgelt näha kõikide segude puhul materjali peenenemist protsessis, allpool on välja toodud peenosise sisalduste võrdlus erinevates arvutuslikes koondproovides. Selgub, et kasutatud killustikusegu peenosise sisaldus muutub protsessi käigus oluliselt, tõustes 2-3 korda. Lindi otsa alt võetud segu suhteliselt suurem peenosise sisaldus segu nr 2 ja 3 puhul (võrreldes teelt, kuhjast võetud proovidega) võib olla põhjustatud tootmise ebaühtlusest, vähesel määral ehk asjaolust, et oas peenosist lendub enne objektile jõudmist. Peenosise sisaldus segus nr 3 muutub mõnevõrra vähem kui segudes nr 1 ja 2. Ka visuaalselt oli segu nr 3 ühtlasem ja ei olnud märgata vertikaalset kihistumist. Peenosise sisalduse muutust ehitusprotsessis iseloomustab koondproovide kaudu allolev graafik.



Segregeerumine

Segregeerumisel jäävad osad kohad jämedaterisemad, teised aga peenemad. Jämedateristes kohtades töötab kiht sarnaselt fraktsioneeritud killustikust alustele ning sellise kihi kandevõimelised omadused jäävad alla sidumata segust kihi omadustele. Peeneteristes kohtades aga suureneb oluliselt peenosise sisaldus/kontsentratsioon ning ka sellise kihi kandevõimelised omadused jäävad alla sidumata segust kihi omadustele. Sõltuvalt segregeerumise ulatusest, võib halvemal juhul peenosise suur kontsentratsioon muuta aluse koguni külmakerkeohtlikuks. On selge, et selline ebaühtlane kiht ei oma ettenähtud funktsionaalsust ja kandevõimet ega paku kavandatud püsivat tuge katendi ülemistele kihtidele.

Laboratoorsete katsete tulemused kinnitavad visuaalsete vaatluste käigus tõdetut – kasutatud killustikusegud on aldis ehitusprotsessis segregeeruma. Uuritud katselõikudel esines seda eriti palju. Segregeerumisnähtude iseloomustamiseks ja selgitamiseks võeti tihendatud kihist proove nii tervikkihist (segu nr 1 ja segu nr 3 puhul) kui ka eraldi vaadeldud alusekihi pealmises kihis olevast jämedamast, lahtisest killustikust (segu nr 1 ja 2 puhul) ning samadest segudest kihtide alumisest, peenemast, tihedast osast. Segregeerumist on näha lisas 1 toodud graafikutele joonistel 5-10 (segu nr 1), joonistel 17-22 (segu nr 2) ning joonistel 29-32 (segu nr 3).

Segude nr 1 ja 2 puhul lisaks horisontaalsele

segregeerumisele täheldatav ulatuslik segregeerumine

vertikaalselt. Jämedama, lahtise killustiku kihi paksus ulatus nullist (tee teljel, esinesid üksikud lahtised kivid, vt foto paremal) kuni kihi paksuseni (servas, 5,5 m teljelt). Valdava osa proovide puhul (võetud 3 m



kaugusel teljest) oli nimetaud lahtise killustiku kihi paksus keskmiselt 4-5 cm. Seevastu alumine kiht oli tihedam ja peeneteralisem ning suhteliselt suure tolmusisaldusega. Sellise kahekihilise aluse ülakihi konstruktsiooni all tuvastati proovivõtmise käigus üldjuhul tugevam, mõningatel juhtudel plaatja pealispinnaga aluse alakiht killustikusegust nr 3, mis nähtub ka elastsusmooduli mõõtmistulemustest seadmega Inspector-2. Aluse alumise kihi (segu nr 3) korral sellist kihistumist ei tuvastatud.

Seetõttu on vajalik ka lõplikult valminud, tihendatud kihi materjali terastikulise koostise nõuetele vastavuse kontroll ning järelkult reguleerida proovivõtt selliselt, et kunstlikult ei homogeniseeritaks tegelikkuses võimalikku, horisontaalselt või vertikaalselt ebaühtlast (nt. segregeerunud) kihti.

Proovivõtumetoodika

Proovivõtu meetoodika koostamisel võeti aluseks teiste riikide kogemused ja Ameerika ühendriikide ning Rootsi vastavad meetodikad ning arendati vastavalt katselõikudelt saadud väärtuslikele kogemustele. Proovivõtu meetoodika on esitatud eraldi dokumendina.

Proovivõtu eesmärk on saada sidumata segust alusekihist mineraalmaterjali proov, selgitamaks rajatud tihendatud kihi nõuetele vastavust esitatud terakoostise nõuetele.

Sidumata segust kihi optimaalsed töötingimused katendis on tagatud üksnes juhul kui selle terastikuline koostis on homogeenne. Juhul, kui kihi terastikuline koostis ei ole homogeenne, ei tööta katend ühtlaselt, mis avaldub katendi lühemas elueas.

Arvestades nii horisontaal- kui vertikaalsuunalise segregeerumise ohtu, on oluline, et sidumata segust kihi omaduste hindamiseks võetav proov ei tasandaks segregeerumisest tingitud kihi tegelikku ebaühtlust.

Arvestades katselõikudele paigaldatud segude mittenõuetekohast terakoostist, osutus mitmes kohas tihendatud kihist võimalikuks saada proov kätte ainult kühvli ja kühvellabida abiga. Arvestades nõuetekohase segu tihedust ja pakitust, on proovivõtumetoodikas ette nähtud abivahendite (nt. kang ja piikvasar) mõõduka kasutamise võimalus. Uurimistöös oli kangi kasutamine vältimatu segust nr 3 rajatud alusekihi avamisel (vt. foto paremal).



Proovivõtukoht

Arvestades Rootsi kogemust ja katselõikudel täheldatud, sai proovivõtumetoodika koostamise käigus selgeks, et proovivõtumetoodikale lisaks on vaja koostada ka proovivõtukoha valiku meetodika. Proovivõtu valiku meetodika eesmärk on sätestada selged põhimõtted, mille kohaselt proovivõtukohad objektile valitakse. Eriti oluliseks muutub see sõltumatute proovide võtmisel mille alusel antakse hinnang tervikobjekti nõuetekohasusele. Proovivõtukoha valiku meetodika on esitatud ühe osana proovivõtumetoodikas.

Järeldused ja soovitus

Uurimistöö põhjal võib anda järgmised soovitus:

1. Uurimistöös ei õnnestunud saada ühtegi (!) nõuetele vastava terakoostisega proovi ning uurimistöö teostajale ei esitatud kasutatud materjalide nõuetekohasust tõendavaid vastavusdeklaratsioone, mistõttu ei saa teostatud uurimistöö anda vajalikku ülevaadet nõuetekohaste segude käitumisest protsessis. **Seetõttu on otstarbekas läbi viia analoogiline uurimistöö ka nõuetele vastavast segust rajatud kihtides toimuvate protsesside hindamiseks ja teostatavuse analüüsiks.**
2. Arvestades eelnimetatud puudusi, **on edaspidiste uurimistööde kavandamisel ääretult oluline, et katselõikude ehituse töövõtja ja järelevalve valikul ei piirduks pakkumuste majandusliku soodsuse hindamisel üksnes madalaima maksumuse kriteeriumil.**
3. Sidumata segud on buldoosrite ja greideritega paigaldades alati horisontaalsuunas segregeeruma, eriti täheldati seda uuringus killustikusegude nr 1 ja 2 korral. Segud nr 1 ja 2 osutusid tundlikuks ka vertikaalsuunalise segregeerumise suhtes, mida võis soodustada korduv profileerimine greideriga aga ka algselt mittenõuetekohase segu kasutamine. **Seetõttu on otstarbekas edasistes uurimistöödes vaadelda nõuetele vastavast segust ka laoturiga rajatud kihtide materjali muutumist protsessis.**
4. Tööd 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 (eriti ei kipu õnnestuma kihi tugeva pakituse ja tiheduse tõttu.**

5. Sidumata segust alusekihist proovide võtmine ja katsetamine võib suveperioodil võtta aega. Samas on vaja kiht vastu võtta enne järgmise kihi rajamist. Lisaks on mõistlik sätestada selged piirangud kihi muutmisele ja liiklusele (mass, kiirus jms) perioodiks kihi valmimisest (töövõtja esitab kihi vastuvõtmiseks) kuni järgmise kihi rajamiseni, samuti võimalused töövõtjale seda tagada. Arvestades asjaolu, et teed on reaalsetl vaja kasutada kasvõi ehitusega seotud liikluse korraldamiseks ning liikluse mõju valmis alusele, tuleb töö teostajale jätta võimalus jätkata järgmise kihi ehitustöödega koheselt pärast valminud aluseosa visuaalset hindamist ning kontrollproovide võtmist. **Seetõttu on sätestada kihi vastuvõtmiseks kahtluse korral võtta ja katsetada proovid koheselt visuaalselt nõuetele mittevastavatest kohtadest ning proovivõtumetoodika kohaselt võetud proovide tulemusi rakendada motivatsioonisüsteemi kaudu (nn. mahaarvamiste arvutused).** Sel juhul on vajalik vastav motivatsioonisüsteem välja töötada. Samuti on vaja sellisel juhul selgelt defineerida, kui suure mittevastavuse korral on nõutav töö ümbertegemine. Põhimõtteliselt on mõeldav välja töötada mahaarvamiste skeem, mis arvestab ebakvaliteetsest alusest põhjustatud ülemiste kihtide väärtuse vähenemist.
6. Sidumata segudest alusekihtide pealispind muutub tiheda killustikusegu korral sageli plaatjaks tolmsiks kihiks, mis või osutuda probleemiks järgnevate kihtide paigaldamisel. Teema võib vajada eraldi uurimist ja tehnoloogiliste lahenduste väljatöötamist.
7. Uurimistöö objektidel kasutati nii tootmisel kui laotamisel suhteliselt lihtsat tehnoloogiat, mis ei võimaldanud tagada nõuetele vastavat lõpptulemust. Võimalik, et kõrgemate nõuetega sidumata segud piisava täpsusega tootmine on saavutatav üksnes spetsiaalse doseerimiseseadmega ning paigaldamine spetsiaalse laoturiga, mis loomulikult kajastub lõpptoote maksumuses. Samas on selline lihtne tehnoloogia tõenäoliselt õigete töövõtetega leebemate nõuetega sidumata segudest aluste ehitamiseks. Arvatavasti on selliste, leebemate nõuetega ja seetõttu soodsamate sidumata segude kasutamine

põhjendatud väiksema liikluse teede alustes kuid nende segude sobivus tuleb uuringutega katseliselt tõestada. Kombineeritult laboratoorsete ja katselõikude uuringutega on vajalik hinnata erinevate sidumata segude mehaanilise käitumist, nt. sellise materjali jäikuse ja jäädeformatsiooni tundlikkuse kaudu.

8. 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.
9. 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.**
10. **Proovivõtumetoodika rakendamiseks on vajalik sätestada tee vastuvõtuks vajalik proovide hulk.** Kuna tegemist on kihi, mitte materjali nõuetekohasuse hindamisega, sobiks määratluse aluseks alusekihi pinnaühik.
11. 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 soovitud segudega.
12. 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 ekspluateerimiseks (säilitamiseks) ja pealeehitamiseks.**

Soovitused töövõtjale:

13. Arvestades valmis kihi materjali terastikulisele koostisele esitatavaid nõudeid, on rangelt soovitatav pidevalt kontrollida tarnitava segu terastikulist koostist ja mitte lubada objektile nõuetele mittevastava terastikulise koostisega segu.
14. Arvestades materjali mõningast vältimatut peenenemist tööprotsessis (mis sõltub algmaterjali omadustest ja kasutatavatest töövõtetest!), on soovitatav kasutada segu, milline peeneneb tööprotsessis vähem ja mille algne peenosise sisaldus on võimalikult väike.
15. Arvestades optimaalse niiskuse mõju tihendamisele ja segregeerumise vältimisele, on rangelt soovitatav kontrollida laotamisel pidevalt tarnitava segu niiskusesisaldust ja mitte lubada objektile mitteoptimaalse niiskusesisaldusega segu.
16. Arvestades buldooseri ja greideritega laotatava ja profileeritava alusekihi materjali segregeerumise ohtu, on soovitatav laotada killustikusegu laoturiga.
17. Arvestades liikluse mõju sidumata segudest killustikaluste nõuetekohasusele, on rangelt soovitatav tööde käigus piirata sõidukite massi ja kiirust. Samal põhjusel on soovitatav alustada järgmise kihi töödega võimalikult kiiresti pärast alusekihi tihendamist.

Kokkuvõte

Uurimistöö käigus selgitati, kuidas muutuvad sidumata segudest killustikusegude omadused tee-ehitusprotsessis ning töötati välja valmis killustikalusest proovivõtu meetodika koos proovivõtukoha valiku meetodikaga. Uurimistöös võeti sidumata segude terastikulise koostise ja muude omaduste määramiseks kokku 72 proovi. Uuring näitas, et sidumata segud on alati tööprotsessis segregeeruma ja peenenema, mis nõuab nende suhtes erilist tähelepanu. Uurimistöös on toodud järeldused ja soovitused, sh eraldi töövõtjale – sidumata segust kihi ehitajale.

Sidumata segudest alusekihtide rajamine on maailmas laialt levinud kuid Eestis sisuliselt kasutatud ainult kruusast aluste rajamisel. Seetõttu võib kõrgemate nõuetega sidumata segudest aluste rajamisel rääkida Eesti kontekstis kui uuest tehnoloogiast, mille juurutamise edukus nõuab nii tellijate kui töövõtjate (sh tootjate) panusest. Eelkõige tuleb arvestada, et asjaolu, et materjali omadused protsessis paramatult muutuvad ning, et selline protsess on peaaegselt mõjutatav/kontrollitav tootja ja töövõtja poolt ning praktiliselt mitteohjatatav tellija poolt. Seetõttu on otstarbekas ümber vaadata killustikaluste ehitust ja vastuvõttu käsitlevad eeskirjad ning sätestada asjakohased nõuded ja õiglane motivatsioonisüsteem eelkõige (kuid mitte ainult) lõpptulemusele ning jätta materjalide valiku ning tehnoloogia osas töövõtja käed vabamaks, piirdudes soovitudustega. Asjakohaste nõuete kogumi väljatöötamine nõuab kindlasti vastavate uuringute kavandamist ja läbiviimist, arvestades muuhulgas settekivimiliste kivimisegude kasutamise võimalusi.

Kasutatud kirjandus

1. Eesti standard EVS-EN 932-1:2000 Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine. Osa 1: Proovivõtumeetodid
2. Eesti standard EVS-EN 13285:2007 Sidumata segud
3. Eesti standard EVS-EN 13286-1:2003 Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 1: Test method for the determination of the laboratory reference density and water content – Introduction, general requirements and sampling
4. VVMB 611 Provtagning av obundna material
5. WAQTC FOP for AASHTO T 2 Sampling Aggregates
6. Statistisk acceptanskontroll, Metodbeskrivning 908:1994
7. Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes, Mick R. Smith, L. Collis, P. G. Fookes
8. Manual of Contract Documents for Highway Works. Volume 1 - Specification for Highway Works, Dpt of Transport, GB

Lisad

Lisa 1. Sidumata segude terastikulise koostise katseandmed graafikuna

Lisa 2. Laboratoorsete katsete katseprotokollid

Lisa 3. Proovivõtuprotokollid

Lisa 4. Inspector-2 mõõteprotokollid

Lisa 5. Proovivõtu- ja katseandmete koondtabel

Lisa 6. Fotod pisipiltidena