

Teadus- ja arendustöö

**„Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis
ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud“**

LÕPPARUANNE

AS Teede Tehnokeskus

2015-1



MAANTEEAMET

Tallinn 2015

Koostajad:

Marek Truu (AS Teede Tehnokeskus)

Silver Siht (AS Teede Tehnokeskus)

Henri Prank (AS Teede Tehnokeskus)

Mark Meikas (AS Teede Tehnokeskus)

Hella Riisalu (TTÜ Virumaa Kolledž)

Kaasa aitasid:

Taavi Tõnts, Janek Hendrikson, Indrek Pikk (Maanteeamet), Lembi-Merike Raado (TTÜ ehitusmaterjalide õppetool), John Staton, Curtis Bleech, Timothy Stallard, Kendra Barack, Samara Bartz (MDOT, USA), Daniel Plezac (NYSDOT, USA), Karl Peterson (University of Toronto, Kanada), Stephen Senior, Jennifer Bailey, Nazeema Khan, Louise Smith, Karen Barron, Andrew Nau (Ministry of Transportation Ontario, Kanada), Ivi Vinkel ja Alla Zaitseva (Eesti Energia Kaevandused), Larissa Puhilas (VKG Kaevandused), Aivar Uljas (OÜ Purustaja), Andres Pikker (Kiviõli Keemiatööstus OÜ), Artur Varunov, Mihhail Aleksejev (OÜ Ahtme Killustik), Alex Kluge, Margus Kuus (BRD Mineral OÜ), Urmas Kukk, Riho Iskül, Allan Aamer (Kunda Nordic Cement), Raivo Lehist (Kaltsiit), Tarvo Sikka (Põltsamaa Graniit), Juss Maurer, Märt Maurer (Moreen OÜ), Kalev Tisler, Aigar Lainet (Kiviluks)

Esikaanefoto autor teadmata, allikas: ecocrete.eu

Teadus- ja arendustöö
„Aheraine killustiku omaduste kaardistamine
Eestis ning nõrga kivi vääristamise
teadusuuringud“
LÕPPARUANNE

Projektijuht:

Marek Truu

SISUKORD

SISUKORD	1
SISSEJUHATUS	3
1. ÜLDIST	4
2. KILLUSTIKU TOORMEST JA TOOTMISEST	6
Paekivi	6
Aheraine ja põlevkivi	17
3. KILLUSTIKU TOOTMINE	28
Killustiku tootmine aherainest Aidu karjääris	28
Killustiku tootmine aherainest Põhja-Kiviõlis	31
Killustiku tootmine aherainest Estonia kaevanduses	33
Killustiku tootmine Aru-Lõuna lubjakivikarjääris	34
4. KILLUSTIKU KATSETUSED	36
5. KOHTUMISED KANADA JA USA EKSPERTIDEGA	48
6. KILLUSTIKU IMMUTAMISE TEOREETILISED ALUSED KIRJANDUSE PÕHJAL	58
Sissejuhatus	58
Üldmõisted	58
Võimalikud protsessid aheraine ja sideaine või immutusvahendi pinnal.	60
Mineraalsed sideained	61
Bituumenid ja vaigud	77
Polümeerbetonid	80
7. SOOVITUSED II ETAPI TÖÖDELE	82
8. IMMUTAMISE KATSED	84
Immutusvahendite valik	84
Katsetamine	85
9. STABILISEERIMISE KATSED	91
Seguretsept	91
Katsetamine	92

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga
kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE

Tihedus	94
Survetugevus ja külmakindlus	96
Veekindlus	101
10. JÄRELDUSED	103
Nõuete leevendamine aherainekillustiku kasutamiseks	108
Tehnilis-majanduslikud kaalutlused	110
11. KOKKUVÕTE	113
12. KASUTATUD KIRJANDUS	115
13. LISAD	119

SISSEJUHATUS

Praeguse põlevkivi kaevandamise mahu juures tekib energiatööstuse kõrvalproduktina ligi 6 miljonit tonni aherainet aastas, millest valdav osa ladestatakse jäätmetena. Eesti jäätmepoliitika üks peamine pikaajaline eesmärk on vähendada ladestatavate jäätmete kogust läbi jäätmetekke vältimise ja taaskasutuse suurendamise. Toetamaks taaskasutuse osakaalu kasvu, on jäätmeseaduses sätestatud piirangud prügilasse ladestatavatele jäätmetele. Ida-Virumaale on aastakümnetega tekkinud hulgaliselt põlevkiviaherainest koosnevaid tehismägesid, kuna aherainet pole osatud eriti palju kasutada. Mägedesse on kuhjatud sadu miljoneid tonne erineva kvaliteediga aherainet. Aheraine kujutab endast lubjakivi, mis sisaldab liidetena põlevkivi. Põhimõtteliselt on aherainest võimalik toota madalamargilist killustikku. Aherainest killustiku tootmine toimub aheraine/lubjakivi rikastamise teel, kus sõltuvalt tooraine omadustest ja rikastusprotsessi efektiivsusest suudetakse erinevalt vähendada nõrga põlevkivi ja nõrgemate paefraktsioonide osakaalu ning saadakse seetõttu erinevate kuid enamasti puuduliku tugevuse ja külmakindlusega killustik. Seetõttu on aheraine killustiku kasutamine teedeehituses olnud seni oluliselt raskendatud ja piiratud.

Käesoleva töö eesmärk on anda ülevaade Lääne- ja Ida-Virumaal teedeehituses kasutatavatest paekivil baseeruvatest täitematerjalidest ning selgitada katseliselt nende omaduste parendamise võimalusi immutamise teel või kasutamisel hüdrauliliselt seotud segudena. Selline teadmine peaks eeldatavalt võimaldama hinnata, kas ja milliste (side)ainete puhul ning millistel tehnoloogiatel on potentsiaali leida kasutust tööstuslikult tootmiseks.

1. ÜLDIST

Teedehituses kasutatakse täitematerjale suurtes kogustes ning täitematerjalide maksumuses mängib suurt rolli nende veokaugus. Seetõttu on majanduslikult oluline kohalike täitematerjalide kasutatavuse tagamine võimalikult suures ulatuses. Teedehituse kasutatakse Eestis valdavalt lubja- või dolokivist või kruusast toodetavaid täitematerjale ning looduslikku kruusa ja liiva.

Täitematerjale klassifitseeritakse erinevate omaduste järgi ning nõuded erinevatele omadustele on kehtestatud sõltuvalt kasutuskohast tarindis liikluskooormuse järgi. Eestis kliimatiliste tingimuste tõttu on teede püsivuse tagamiseks oluline tarindikihtide stabiilsus ja selleks omakorda täitematerjalide püsivus nendes. Eestis toodetavate kohalike settekivimilise päritoluga karbonaatsete täitematerjalide püsivust mõjutavad olulisel määral tarindi veerežiim ja libedusetõrje kloriidide kontsentratsioon vees.

Aastal 2010 viidi AS'i Teede Tehnokeskus poolt läbi ülevaateuuring „Kohalike mineraalmaterjalide optimaalse kasutamise uuring Eesti teedemajanduses“. See kaardistas kohalike täitematerjalide esialgsete uuringute vajaduse viies kategoorias, tuues ühe uuringuteemana (UT 11) välja vajaduse selgitada paekillustiku külmakindluse parendamise võimalusi immutamise läbi. Püstitati hüpotees, et juba väikesed immutusvahendi kogused võivad parendada külmakindlust märgatavalt ning, et eeldatavalt on kasutegur suurem väiksema külmakindlusega materjalide korral.

Eestis toodetavate kohalike täitematerjalide külmakindlus jääb reeglina märgatavalt alla tardkivimite omale kuid ka erinevate kohalike täitematerjalide külmakindlus varieerub väga suures ulatuses. Aastal 2009 viidi AS'i Teede Tehnokeskus poolt läbi uuring „Lubjakivi- ja kruuskillustike külmakindluse paralleelne katsetamine“, kus võrreldi lubja- ja dolokivi- (16 toodet) ning kruuskillustike (15 toodet) külmakindlust destilleeritud vees ja 1%-lises soola (NaCl) lahuses. Erinevate killustike katsetulemused erinesid kordades, isegi kümnetes kordades. Destilleeritud vees jäid uuritud materjalide külmakindlusnäitajad vahemikku 0,3% ja 22,4%, soolalahuses aga 7,7% ja 97,0% (külmakindlus näitab materjali osakaalu, mis nt. 8/16 algfraktsiooni puhul pärast 10 külmumis-sulamistsükli läbib 4 mm sõela).

Eestis toodetavaid kohalikke täitematerjale kasutatakse tarindis nii sidumata kui seotud kihtides. Kattes kasutatakse seotud kihtides sideainena bituumenit, alustes nii bituumenit kui tsementi. Seejuures kasutatakse täitematerjali nii fraktsioneeritult (fraktsioneeritud killustik, mustkillustik) kui sidumata seguna (sidumata segud, bituumen-, tsement- ja kompleksstabiliseerimine).

Eelnimetatud uurimistöös tehti ettepanek: „lubjakivikillustike puudulikust külmakindlusest tulenevat purunemisohu vähendamiseks 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 killustikutera sisse 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 (CaCO_3 omadusi keemiliselt mõjutavate) lisanditega, nt. ränifluoriidipõhised immutusvahendid, millise reageerivad kaltsiumkarbonaadi osakestega. Katseid tuleks teha erinevate omadustega killustikega ning leida immutuse mõju omadustele.“

2. KILLUSTIKU TOORMEST JA TOOTMISEST

Käesolevas peatükis on valdavalt tuginetud kirjanduses toodule ning allikad on vastavalt viidatud. Erinevad allikad võivad mõnevõrra siiski üksteist korrata.

Paekivi

Paekivi ehk paas on üldnimeks karbonaatsetele kivimitele nagu lubja- kui dolokivi aga ka mergel. Aheraineiks nimetatakse paekivi, mis on eraldatud põlevkivi kihist põlevkivi rikastamise käigus, st. enne põlevkivi termilist töötlemist. Rikastatud põlevkivi põletamisel jääb järele kuni 50% tuhka. Alltoodus on peaaesjalikult tuginetud Tartu Ülikooli Geoloogiamuuseumi veebilehel <http://www.ut.ee/BGGM/maavara/lubjakivi.html> olevale infole.

Siinkohal on lähtutud põhimõttest, et kivimit nimetame vastavalt lubjakivi ja dolokivi ning nende koostisesse kuuluvaid mineraale kaltsiidiks ja dolomiidiks. Paekivi jagamine lubja- ning dolokiviks on muidugi tinglik, sõltudes sellest, kas kivimi karbonaatse osa domineerivaks mineraaliks on kaltsiit CaCO_3 või dolomiit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Seejuures peab MgO sisaldus olema vähemalt 15% ja lahustumatu jäägi sisaldus on kuni 25%. Lisaks kaltsiidile ja dolomiidile leidub paekivis erinevaid lisandeid – saviosakesi, glaukoniiti, liiva ja muid osakesi, millised mõjutavad lubjakivi omadusi ja kasutusvõimalusi. [1]

Tavalisim pae erim on lubjakivi, milline jaotatakse (maapõue seadus toodud klassifikatsiooni alusel) ehituslubjakiviks (survetugevus $> 200 \text{ kg/cm}^2$ ja külmakindlus 15 tsüklit), tsemendilubjakiviks, tehnoloogiliseks lubjakiviks ning täitepinnasena kasutatavaks lubjakiviks. Ehituslubjakivi puhul eristatakse ka kõrgemargilist lubjakivi (survetugevus $> 600 \text{ kg/cm}^2$ ja külmakindlus 25 tsüklit). Tehnoloogilist lubjakivis on piiratud lisandite hulk, lubjatööstuses ei lubata MgO sisaldust üle 2% ja SiO_2 , Al_2O_3 ning Fe_2O_3 sisaldust üle 3%. [1]

Dolokivi jaotatakse ehitusdolokiviks, viimistlusdolokiviks, tehnoloogiliseks dolokiviks ja täitepinnasena kasutatavaks dolokiviks. Ehitusdolokivi eristatakse taas survetugevuse ja külmakindluse kaudu. Tehnoloogilist dolokivi eristatakse MgO sisalduse (min 18%) ning lisandite $\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$ alusel (maks 5%). [1]

Väga põhjalikult on paekivi teket Ordoviitsiumi ja Siluri ajastul ning pae omadusi ja kasutusvaldkondi TTÜ Geoloogiainstituut oma veebilehel:

<http://www.geoeducation.info/geoturism/paekivi.php>. Allolev tabel annab ülevaate peamistest paekivi tüüpidest ja nende kasutusvaldkondadest.

vanus, miljon aastat

417

Ladestu

Ladestik

Lade

Geoloogiline läbiloige

Kivimi kirjeldus

Ehituskivi, viimistuskivi

Killustik

Tehnoloogiline kivi

Tsemendi toore

SILUR

ÜLEM-SILUR

Ohesaare

lubjakivi, mergel

Kaugatuma

sõrmuspaas

Kuressaare

savikas lubjakivi, mergel

Paadla

Kaarma dolokivi

Rootsiküla

lubjakivi, dolokivi

Jaagarahu

dolokivi onkolitide, stromatoliitide, eurypteriididega

Jaani

Selgase dolokivi

Adavere

lubjakivi, dolokivi

Raikküla

Orgita ja Mündi dolokivi

Juuru

Ungu lubjakivi

ÜLEM-ORDOVIITSIUM

Porkuni

lubjakivi

Pirgu

rõngaspaas

Vormsi

savikas lubjakivi

Nabala

biohermikompleks

Rakvere

Rõa dolokivi

Oandu

savikas lubjakivi

Keila

vetiklubjakivi

Haljala

savikas lubjakivi, mergel

Kukruse

afaniitne lubjakivi

Uhaku

savikas lubjakivi

Lasnamäe

savikas lubjakivi

Aseri

afaniitne lubjakivi

Kunda

lubjakivi, mergel

Volhovi

Vasalemma "marmor"

KESK-ORDOVIITSIUM

Lasnamäe

savikas lubjakivi vulkaanilise tuha vahakihtidega

Aseri

lubjakivi põlevkivi vahakihtidega

Kunda

savikas lubjakivi

Volhovi

Lasnamäe ehituslubjakivi

472

Joonis 1. Paekivi tüübid ja kasutusvaldkond Eestis [4]

Paekivi on tekkinud läbi aegade mere madalas, rannalähedases osas. Sügavamas meres moodustusid mergel ja domeriit. Tekkelt kuulub paekivi biokeemiliste setendite hulka: on kujunenud siinsetes meredes elanud organismide elutegevuse kaasabil. Eesti paekivi on ladestunud Baltika ürgmandrit katnud laugepõhjalises Paleobalti meres 400-500 miljonit aastat tagasi ning on seotud peamiselt Ordoviitsiumi ja Siluri ajastuga. Põhja-Eestis tekkis esialgu glaukoniiti ja raudooide sisaldav paas. Lühikesel perioodil järgnes Lasnamäe ehituslubjakivi nimetuse all tuntud puhaste lubjakivide teke. Mere sügavnemine Kesk-Ordoviitsiumi lõpul tingis savikate lubjakivide ladestumise. Hilis-Ordoviitsiumis tekkisid läbilõikesse põlevkivikihid. Põlevkivi moodustumisele järgnes Baltika mandriga külgnevais ookeanides intensiivse vulkaanilise tegevuse periood, paekivisse on moodustunud vulkaanilise tuha vahekihid. Paleobalti meri madaldus ja sügavnes perioodiliselt. Üks madaldumisetapp on seotud Eesti vanimate rifimoodustiste tekkega Vasalemma piirkonnas, millele järgnes väga puhaste afaniitsete lubjakivide kujunemine. Baltika manner paiknes Ordoviitsiumi ajastul lõunapoolkeral, kus kliima oli soe ja mereline. Ajastu lõpuks kliima jahenes järsult. Jäätumine lõunapoolusel tõi kaasa ookeanipinna alanemise 50 kuni 100 meetri võrra. Põhja-Eesti madalmeres moodustusid sel ajal kohati rifikompleksi kivimid, millega on seotud ka ehituskivina hästi tuntud Rõa dolokivi. Lõuna-Eestis, kus meri oli sügavam, settisid Ordoviitsiumi ajastul tunduvalt savikamad setted, mis tasemeti on punase värvusega. [4]

Siluri ajastul liikus Baltika ürgmanner lõunapoolkeralt ekvaatorile. Paleobalti meri hakkas aegamööda taanduma. Ajastu algjärgus moodustus Hiiumaalt pea Peipsini ulatuv käsijalgse Borealis kodadest koosnev tohutu karplubjakivi lasund. Rahvakeeli rõngaspaeks kutsutud puhas lubjakivi on meie parimaid tehnoloogilisi toormeid ja ühtlasi väga hea ehituskivi. Taandumise käigus meri sügavnes periooditi. Kõige sügavamaveelised tingimused kujunesid Vara-Siluris Adavere ja Jaani eal. Moodustus ligi 100 meetri paksune merglikompleks. Järgneval Jaagarahu eal meri madaldus järsult, mis tingis ligi 30 meetri paksuse rifikompleksi kujunemise Eesti alal. Siluri ajastu kivimeile on iseloomulik erinevate kivimtüüpide sage rütmiline mudaliste ja teraliste lubjakivide ning laguunsete primaarsete dolokivide vaheldumine. Siluri ajastu lõpuks taandus Paleobalti meri meie aladelt edela suunas. [4]

Merelise lubimuda settimine Eesti alal algas Ordoviitsiumi ajastul ligikaudu 470 miljonit aastat tagasi ning kestis kuni Siluri ajastu lõpuni (u 415 mln a tagasi). Aja jooksul sete tihenes ning kivistus — tekkis lubjakivi. Lubjakivi koosneb valdavalt kaltsiumkarbonaadist (mineraal kaltsiit), kuid lisandina võib selles leiduda ka savimineraale, kvartsiteerasid jt mineraale. Karbonaatsete setete moodustumisel oli tähtis roll mereelustikul, nii mikroskoopilistel organismidel kui suurematel lubiskeletiga loomadel, kelle kivistisi võib Eesti lubjakividest sageli leida. Lubimuda settimine madalmeres ei toimunud kunagi ühtlaselt ja pidevalt. Seetõttu on tüüpilised Eesti lubjakivid kihilised, iga allpool asetsev kiht vanem kui selle peal asuvad kihid. [4]

Puhas lubjakivi sisaldab 56% CaO ja 44% CO₂. Tavaliselt esineb lisanditena dolomiiti, savi, glaukoniiti, raudhüdroksiide. Lubjakivi sisemine ehitus ulatub peitkristallilisest kuni jämedateraliseni. Koostisosade suuruse põhjal jaotatakse lubjakivi afaniitseks ehk peitkristalliliseks (alla 0,01 mm), mikrokristalliliseks (0,01-0,1 mm), peeneteraliseks (0,1-1 mm) ja jämedateraliseks (üle 1 mm). Kui kristallide materjaliks on kaltsiit, siis terade materjaliks on kõige sagedamini fossiilide kodade purunemisel tekkinud detriit ja keemilise tekkega tombud. Lubjakivide põhimass on sagedamini mikrokristalliline. Vastavalt kivististe tüübile eristatakse karplubjakivi, korall-lubjakivi, onkoliitlubjakivi. [4]

Dolokivi on lubjakivi kõrval teiseks enamlevinud karbonaatkivimiks. Erinevalt lubjakivist, mille koostises valdab mineraal kaltsiit, koosneb dolokivi peamiselt mineraalist dolomiit (kaltsium-magneesium-karbonaat). Dolokivid on reeglina tekkinud lubjakividest, kui viimased satuvad magneesiumirikaste lahuste mõjupiirkonda. Lubisette või lubjakivi muutumine dolokiviks võib toimuda vahetult peale settimist või hoopis hilisemate geoloogiliste protsesside mõjul. Dolomiidistumisel tekivad kivimisse sageli iseloomulikud tühimikud ehk kavernid. Alati aga ei piisa lubjakivi ja dolokivi eristamiseks välistest tunnustest. Siis kasutatakse nõrka soolhappelahust: lubjakivi reageerib sellega intensiivselt, dolokivi mitte. [4]

Dolokivi CaMg(CO₃)₂ sisaldab kuni 21,7% MgO, 30% CaO ja 48% CO₂. Värvuselt on dolokivi lubjakivist kollakam ja hallikam. Suurem osa dolokivist on tekkinud lubjakivi dolomiidistumisel. Selle protsessi käigus moodustuvad kivimisse poorid

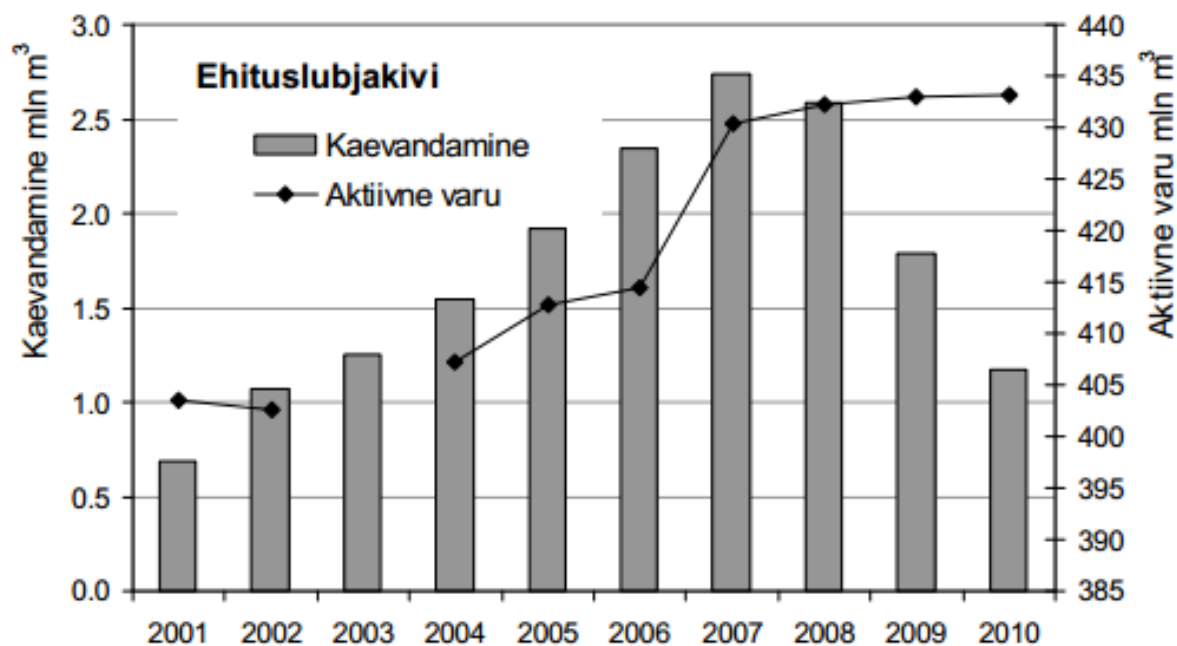
ja tühimikud, sest kaltsiumi asendumine magneesiumiga põhjustab kivimi mahu vähenemise. [4]

Mergel on lubjakivi ja savi vahepealne lüli. Ta sisaldab 25-50% savikat materjali.

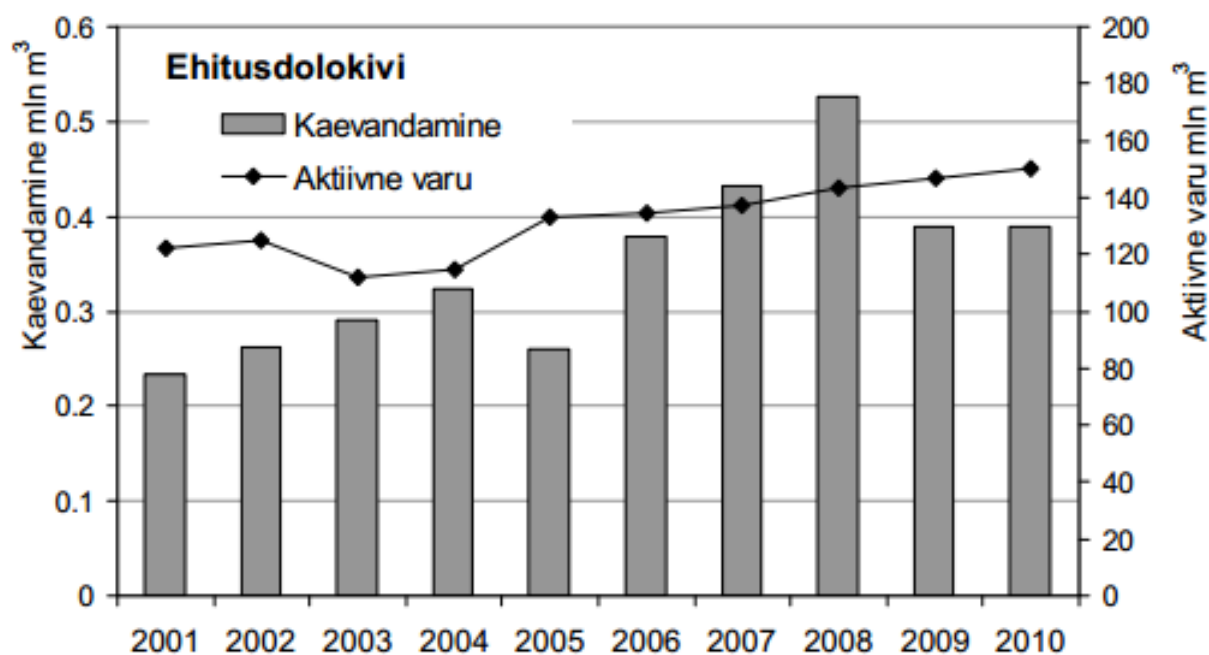
Paekivi üldlevinud tekstuuriline tunnus on kihilisus, mis avaldub kihikompleksi ainelise koostise, terajämeduse või teiste litoloogiliste omaduste vertikaalses muutumises. [4]

Ehituslubjakivi kaevandamismaht aastatel 2001-2010 oli keskmiselt 1711 tuh m³ aastas. 2010 aastal kaevandati Väo maardlas (327,9 tuh m³ – Paekivitoodete Tehas OÜ ja Väo Paas OÜ), Vasalemma maardlas (215,2 tuh m³ – Partek Nordkalk AS), Kunda maardlas (171,2 tuh m³ – Kunda Nordic Tsement AS), Harku maardlas (121,9 tuh m³ – Harku Karjäär AS), Maardu maardlas (116 tuh m³ – Starhill OÜ) ja Pajusi maardlas (116 tuh m³ – AS Kaltsiit). Ehitusdolokivi kaevandamismaht aastatel 2001-2010 oli keskmiselt 348,6 tuh m³ aastas. 2010 aastal olid suurimad kaevandamismahud Rõstla maardlas (145,8 tuh m³ – AS Põltsamaa Graniit). [19]

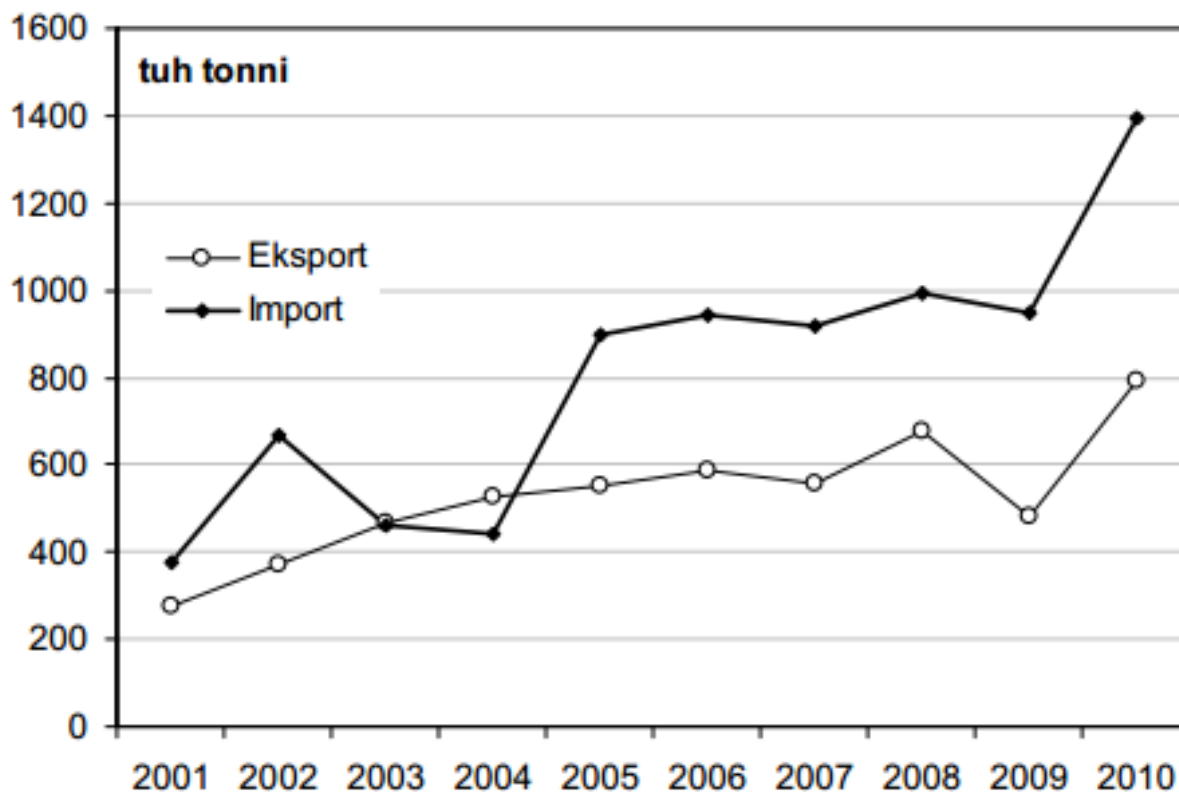
Hea ülevaate lubja- ja dolokivide kaevandamise kohta ning esmase ülevaate karjääridest saab: <http://maavarad.egk.ee/kaevandamine/kaevandamine.html>.



Joonis 2. Lubjakivi kaevandamine (SA, Maaamet]



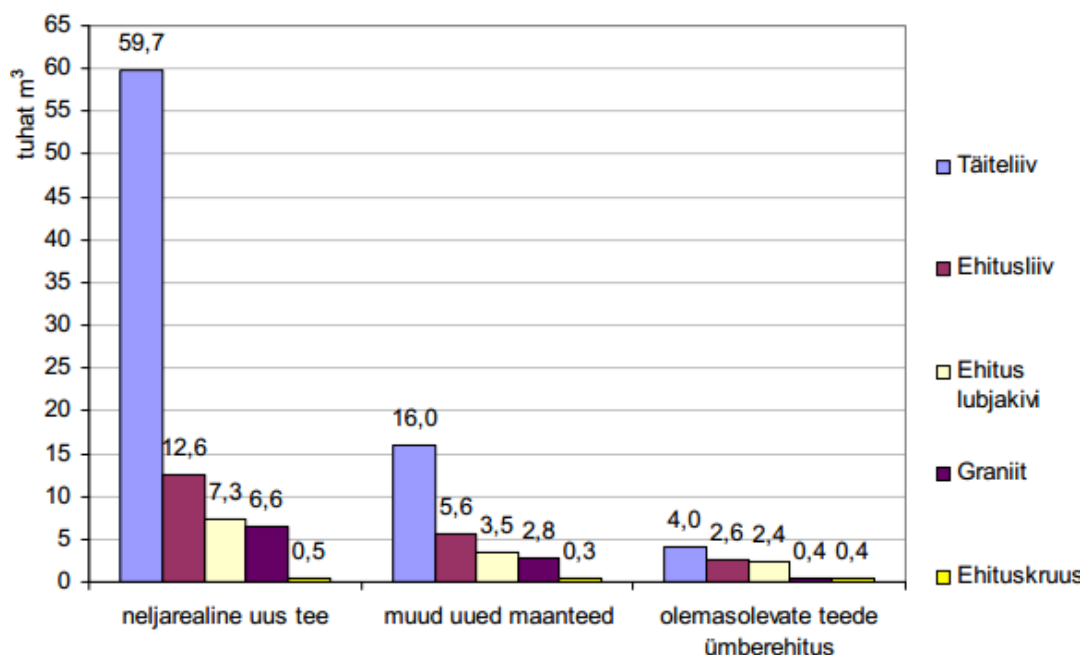
Joonis 3. Ehitusdolokivi kaevandamine (SA, Maaamet, Keskkonnaministeerium)



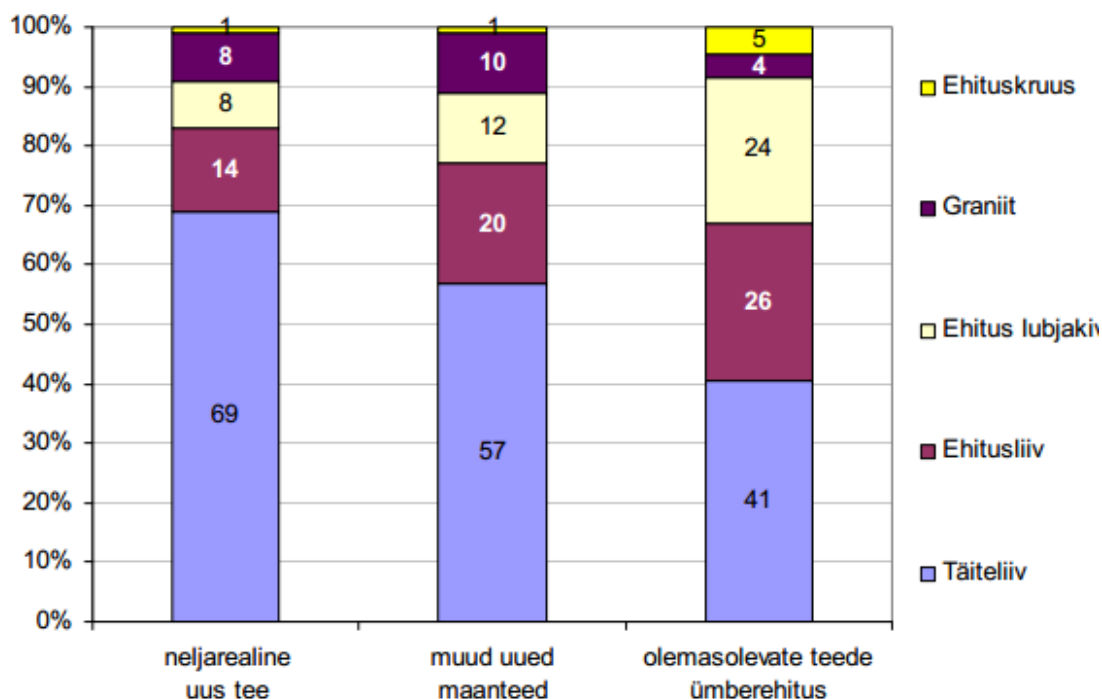
Joonis 4. Killustiku import ja eksport

Killustiku ja purustatud kivi väliskaubandusbilanss on viimastel aastatel tuntavalt impordi poole kaldu. Killustiku import on aastatel 2005-2010 olnud keskmiselt 950 tuh t (ca 2500 tuh m³) ja eksport 619 tuh tonni (ca 1500 tuh m³). [19]

Samuti on Maanteeameti andmetele tuginedes leitud killustiku vajadus erinevate teede klasside lõikes. [19]

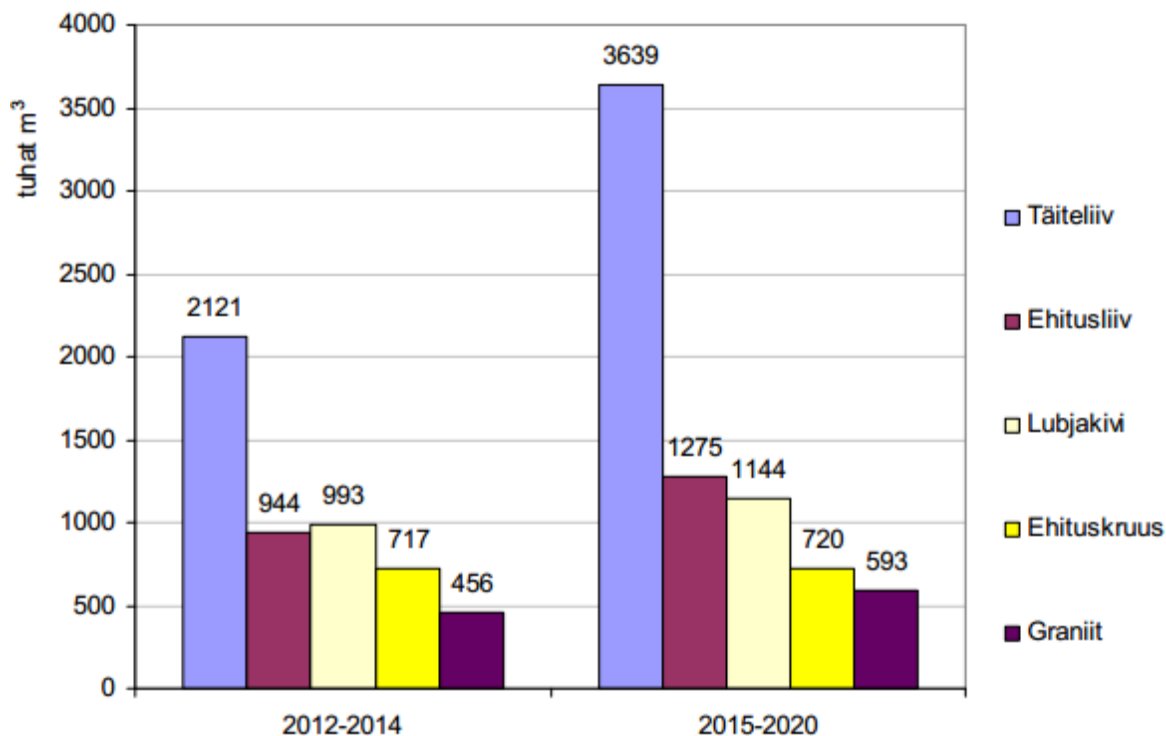


Joonis 5. Ehitusmaavarade keskmine kulu maantee-ehituse 1 km kohta, tuhat m³

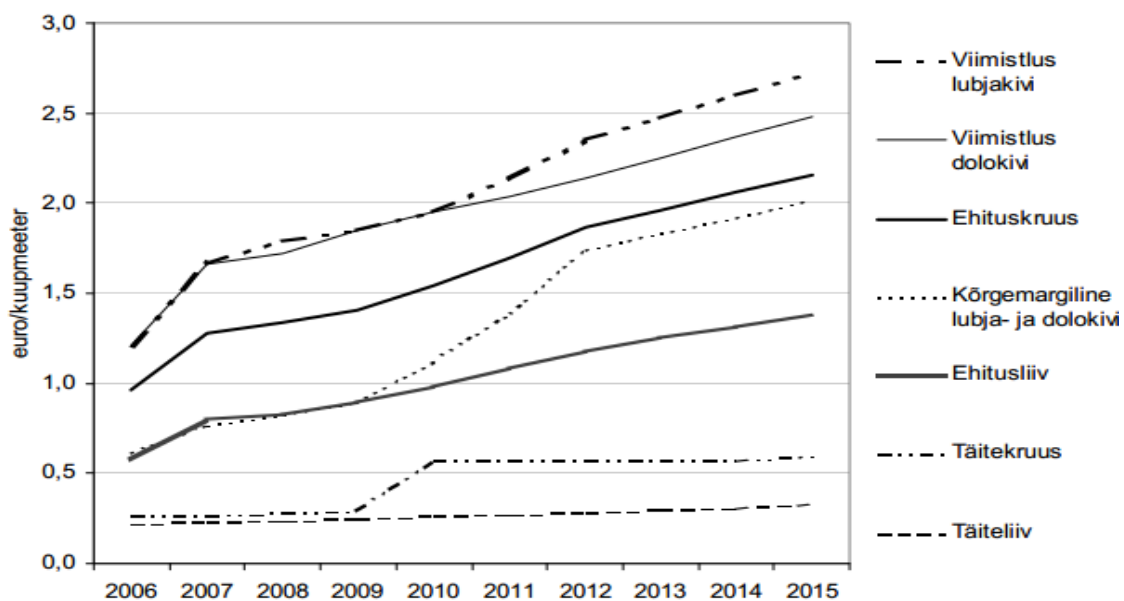


Joonis 6. Ehitusmaavarade jaotus maanteede ehitusel

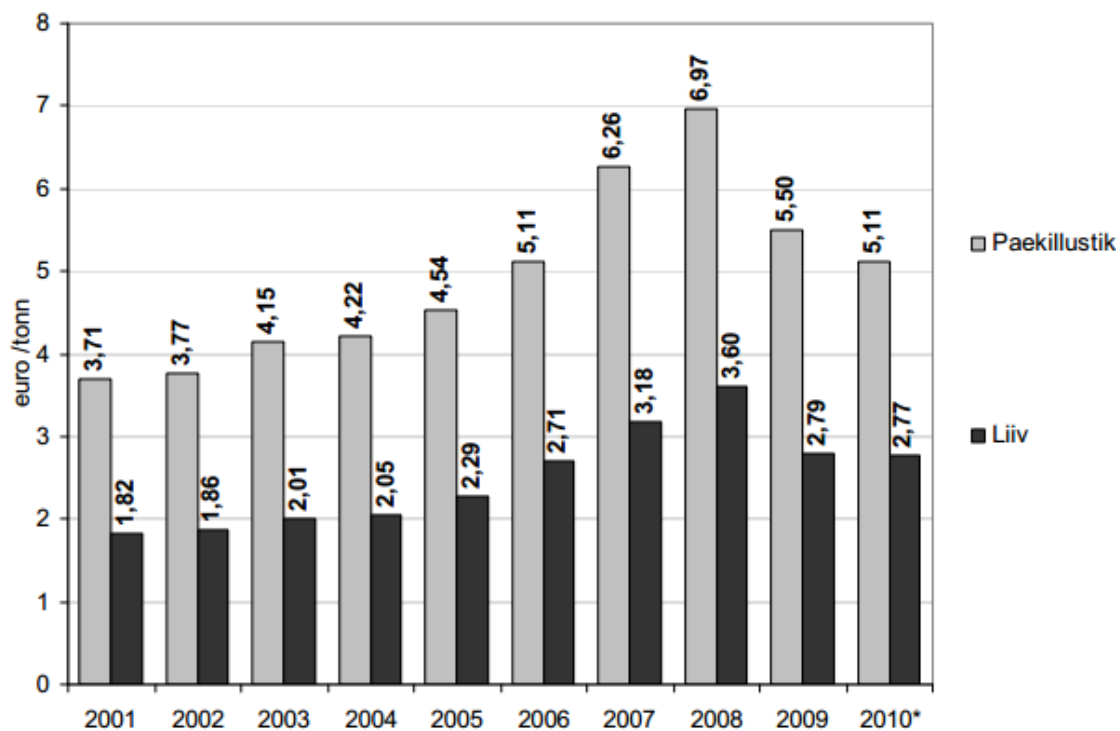
Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE



Joonis 7. Prognoos ehitusmaavarade aasta keskmise kulu kohta maanteede ehituses (allikas: maanteeamet, EKI arvutused)



Joonis 8. Ehitusmaterjalide kaevandamisõiguse tasumäärad 2006-2015, €/m² (Riigi Teataja)



Joonis 9. Paekillustiku ja liiva keskmine hind aastatel 2001-2010 (liiv: EKI arvutus, kalkulatsioon EETL)

Tabel 1. Ehitusmaavarade nõudluse prognoosid 2011-2020, tuh m3 (SKP suhtarvu põhised), (EKI)

	Ehitusliiv			Ehituskruus			Ehituslubjakivi			Dolokivi		
	=*	+**	-***	=	+	-	=	+	-	=	+	-
Suhtarv	18,6	23,9	13,4	10,4	14,4	6,4	14,9	19,1	10,1	3,1	3,6	2,6
2011	2 247	2 880	1 614	1 253	1 734	771	1 802	2 302	1 302	377	435	319
2012	2 315	2 967	1 533	1 290	1 786	733	1 856	2 371	1 237	388	448	303
2013	2 391	3 145	1 487	1 333	1 893	711	1 917	2 513	1 200	401	475	294
2014	2 475	3 334	1 502	1 379	2 006	718	1 984	2 664	1 212	415	504	296
2015	2 561	3 534	1 532	1 428	2 127	732	2 054	2 824	1 236	430	534	302
2016	2 651	3 746	1 563	1 478	2 254	747	2 126	2 993	1 261	445	566	308
2017	2 744	3 970	1 594	1 529	2 390	762	2 200	3 173	1 286	460	600	315
2018	2 840	4 209	1 626	1 583	2 533	777	2 277	3 363	1 312	476	636	321
2019	2 939	4 461	1 659	1 638	2 685	793	2 357	3 565	1 338	493	674	327
2020	3 042	4 729	1 692	1 696	2 846	809	2 439	3 779	1 365	510	715	334
Keskm 2011 – 2020	2 621	3 697	1 580	1 461	2 225	755	2 101	2 954	1 275	440	559	312
Kokku 2001 – 2010	20 290			11 309			16 270			3 403		
Kokku 2011 – 2020	26 205	36 974	15 802	14 606	22 254	7553	21 014	29 544	12 752	4 396	5 588	3 119
Kokku 2012 – 2020	23 958	34 094	14 188	13 354	20 520	6781	19 212	27 242	11 449	4 019	5 153	2 800

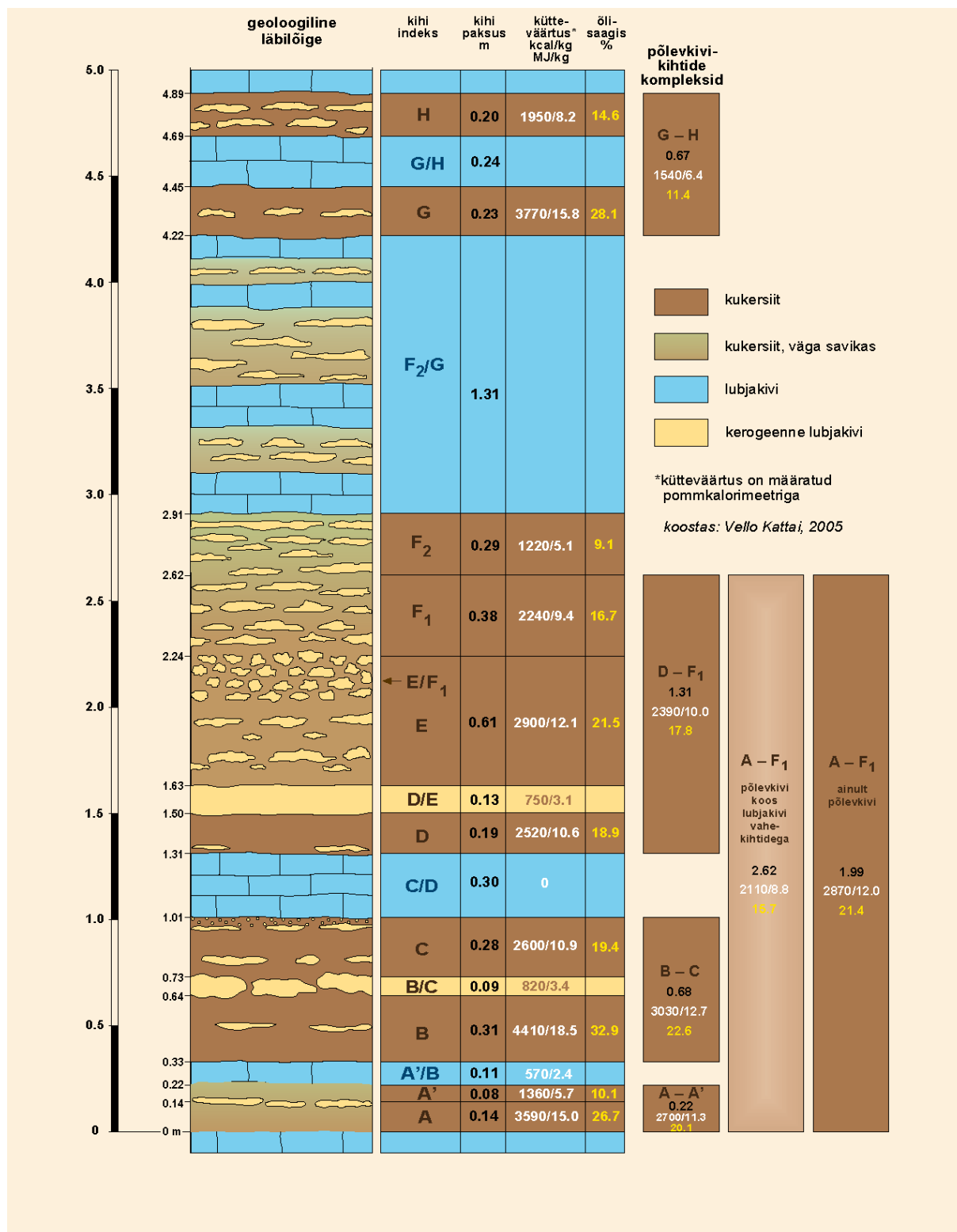
Allikas: EKI arvutused, * = põhistsenaarium, ** + optimistlik, *** - pessimistlik

Aheraine ja põlevkivi

Aherainet võiks tinglikult pidada lausa paekivi alaliigiks, kuna sisaldab alati teataval määral orgaanikat. Aheraine omadusi mõjutavad lisaks muudele lisanditele olulisel määral ka põlevkivi sisaldus. Põlevkivi teket ning kasutamist on TTÜ Geoloogiainstituut oma veebilehel <http://www.geoeducation.info/geoturism/polevkivi.php> põhjalikult kirjeldanud ning seda on lühendatult käsitletud allpool.

Kukersiit ehk Eesti põlevkivi on orgaanikarikas settekivim. Kukersiidi teke sai alguse umbes 460 miljonit aastat tagasi, kui Ordoviitsiumi ajastu madalmeres kuhjus lühikese aja vältel suur hulk mikroskoopiliste vetikate jäänuseid. Aja jooksul sete tihenes ja kõvenes, tekkis põlevkivi, millest orgaaniline aines moodustab 15–70%, ülejäänu on lubiaines ning savimineraalid. Eesti põlevkivi sisaldab sageli ka suuremate mereorganismide kivistisi, kelle valged lubiskeletid torkavad pruunil kivimil hästi silma. Põlevkivi kaevandamist alustati 1918. aastal ning 1924. aastal hakati sellega kütma Tallinna soojuselektrijaama. Viimati mainitud aastat loetakse Eesti põlevkivienergeetika algusaastaks. Tänapäeval on suuremateks põlevkivi tarbijateks soojuselektrijaamad, keemiatööstus ja tsemenditööstus. Ida-Virumaal paiknevad põlevkivielektrijaamad katavad enamuse Eesti riigi elektrienergia vajadusest. Kaevandamisväärses koguses esineb kukersiiti vaid Kirde-Eestis. [5]

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE



Joonis 10. Põlevkivikihi skeem Põhja-Kiviõli põlevkivikarjääris [5]

Eristamaks Eesti põlevkivi teistest maailma põlevkividest nimetatakse seda kukersiidiks. Nimi tuleneb Kukruse mõisa saksakeelsest nimest Kuckers. Põlevkivi koosneb orgaanilisest ainest ja mittepõlevast mineraalosast. Põlevateks komponentideks on süsinik (C) ja vesinik (H). Orgaanilise aine koostisesse kuuluvad veel hapnik, lämmastik ning vähemal määral fosfor, kloor ja teised elemendid. Mida suurem on vesiniku ja süsiniku aatomsuhe (H/C), seda suurem on põlevkivi õlisisaldus. Põlevkivide mineraalosa koosneb terrigeensest materjalist (savi, kvarts, päevakivi) ja/või karbonaatidest (kaltsiit, dolomiit). Mineraalosa laguneb põletamisel ja tarvitab soojust, lisaks aurub põletamisel ka kivimis sisalduv niiskus. Seega saame põlevkivide põletamisel lisaks soojusele ka suure koguse jääk- ehk ballastaineid. 1000 tonnist põlevkivist moodustab põlev osa umbes 350 tonni, tuhka saame ligikaudu 550 tonni ja niiskust (vett) on selles 100 tonni ringis. [5]

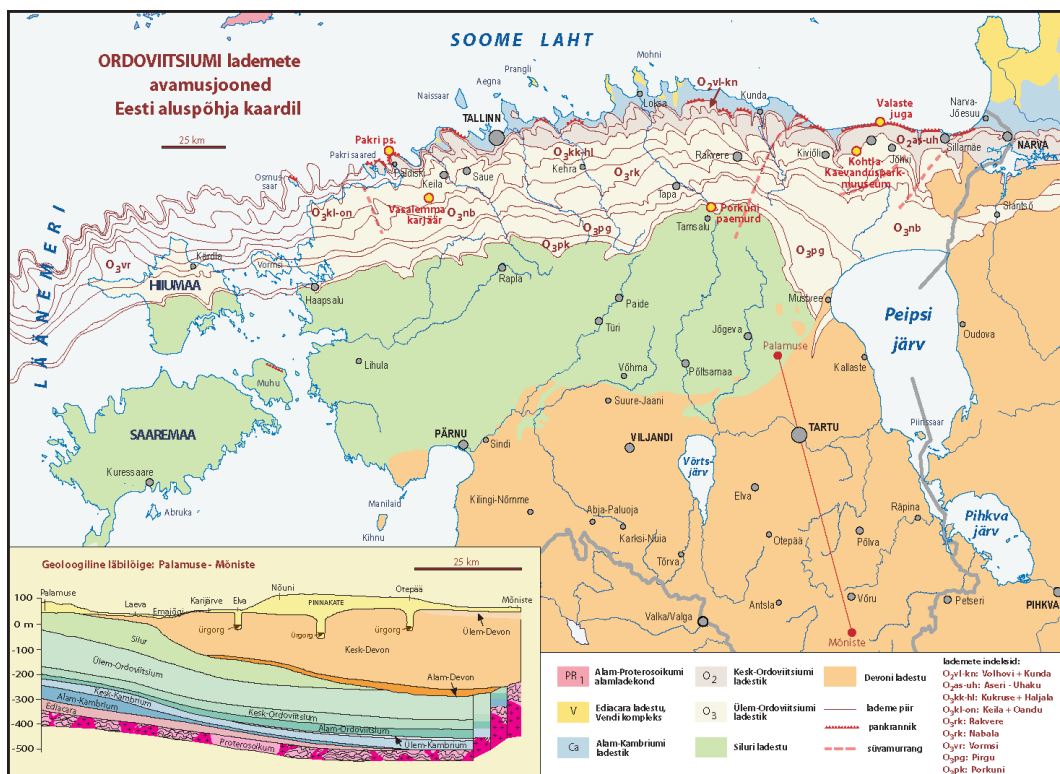
Põlevkivitootmisega kaasnevate keskkonnaprobleemide allikas peitub põlevkivi koostises ning geoloogilistes tingimustes. Kaevandamisel ja rikastamisel jääb kasutamata suur hulk lubjakivi, mis kuhjatakse aherainemägedeks. Põlevkivi aheraine ja aherainemäed on siiski üsna süütu tarbimisjääk ehkki ka see võib aeg-ajalt isesüttida. Rikastatud põlevkivi põletamisel jääb järele kuni 50% tuhka, mida on samuti vaja ladustada. Kõige toksilisemad on aga põlevkivikeemia tööstuse jäätmed. Põlevkivi põletamisel elektrijaamades lendub õhku suures koguses CO₂ ja teisi gaase, kaevandatud aladel muutub põhjaveerežiim ja tihti ka vee kvaliteet jne. [5]

Eesti põlevkivi on kujunenud Kesk-Ordoviitsiumi lõpus ja Hilis-Ordoviitsiumi alguses. Kukersiit lasub õhemate või paksemate horisontaalsete helepruuni värvuse tõttu hästi jälgitavate kihtidena hallide lubjakivide vahel. Stratigraafiliselt jääb kukersiit Uhaku ja Kukruse lademesse, kus on loendatud kuni 50 erineva paksusega kihti. Suurima paksusega põlevkivikihid levivad Rakvere ja Narva vahelisele alale (Eesti leiukoht) ja jätkuvad veel Narva jõe ja Peipsi järve taha Leningradi oblastisse (Leningradi leiukoht). Kaevandamiseks ebapiisava paksusega, kuid äratuntavad on tootsad kihid veel Tallinnast läände jääval alal, ida suunas ulatuvad aga mõnikümme kilomeetrit Narvast Peterburi poole. Lõunasse saab kihte jälgida Juuru- Järva-Jaani- Mustvee jooneni. Peale Kirde-Eesti kaevanduspiirkonna on Eestis veel teinegi põlevkivileiukoht, nn. Tapa

maardla, mis kujutab endast ida-läänesuunalist kuni 80 km pikkust ja 10-20 km laiust ala Väike-Maarja ja Ambla vahel. Suure lasuvussügavuse (60-170 m) tõttu ei kujuta see endast praegu arvestatavat lisandit meie põlevkivivarudele. [5]



Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE

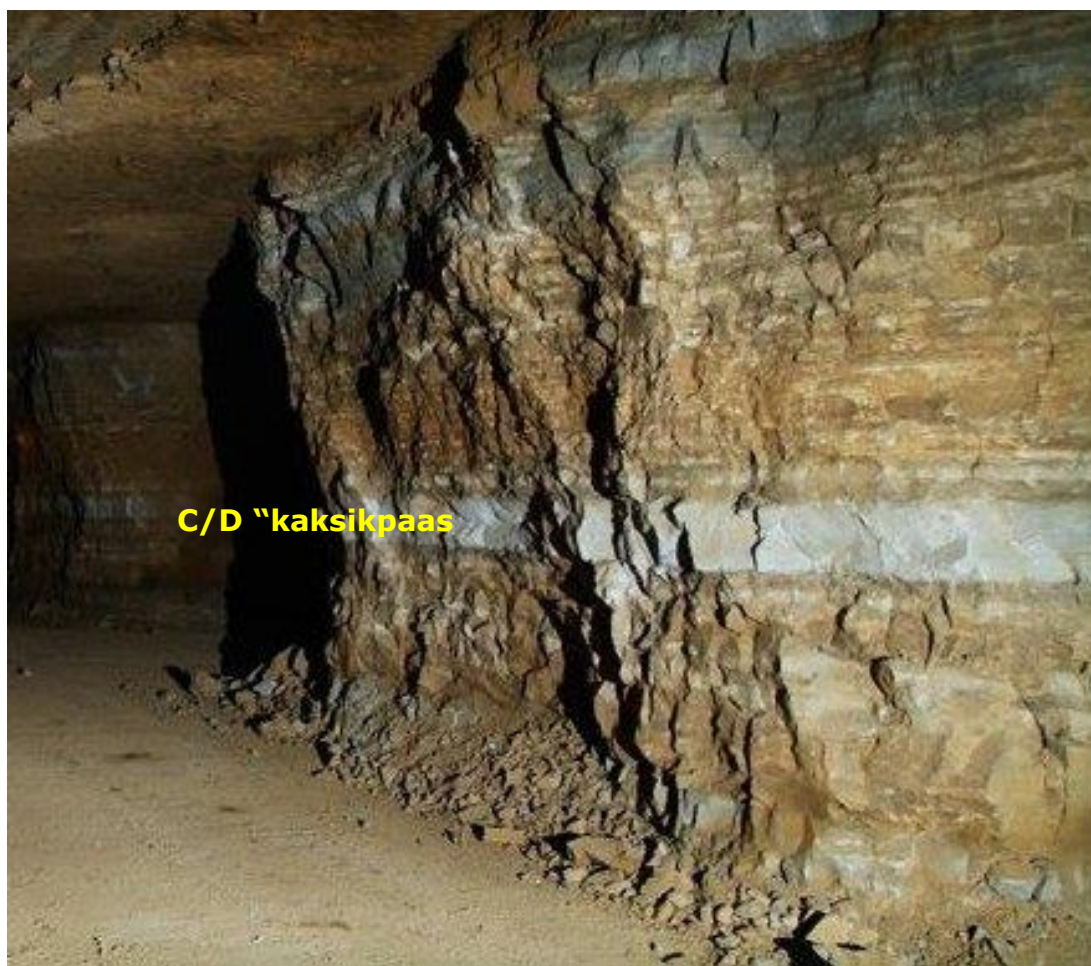


Joonis 12. Ordoviitsiumi lademete avamusjooned ja karjääride paiknemine



Joonis 13. Siluri lademete avamusjooned ja karjääride paiknemine

Praegusel ajal on põlevkivi tootmisvääreks osutunud vaid Kirde-Eestis Eesti maardlast. Tootsa kihindi moodustavad 7 kukersiidikihti (tähistatakse alt üles tähtedega A...F2) ja 6 neid eraldavat lubjakivikihti. Kõik tootuskihindi kivimid sisaldavad hulgaliselt fossiile või nende purustatud skeletiosakesi - detriiti. Paleontoloogid on Kukruse lademest leidnud kuni 360 liiki kivistisi, mis on 2-3 korda rohkem kui teistest lademetest. Tootsa kihindi paksus on 2,5-3,0 m, millest põlevkivi on 1,8-2,6 m ja lubjakivi arvele jääb 0,6-0,7 m. Lõuna suunas kukersiidikihid laskuvad sügavamale, mis on tingitud Eesti aluspõhjakivimite üldisest lõunasuunalisest kallakusest umbes 3,5 meetrit kilomeetri kohta. Nii lasub kukersiidi tootuskihind paarkümmend kilomeetrit Jõhvist lõuna pool asuvas "Estonia" kaevanduses juba kuni 70 m sügavusel. [5]



Joonis 14. Põlevkivikihid [28]

Käesoleval ajal on Eesti kõige suurem põlevkivitootja maailmas. Eesti põlevkivi kaevandustes ilmnevad vahelduvad kihid põlevkivist ja lubjakivist. Põlevkivi on

Eestis kaevandatud Ida-Virumaa piirkonnast, mis ulatub Kiviõlini läänest, Narva jõeni idast ja Jõhvi põhjast ning Väike-Pungerja lõunast. Põlevkivikihtide sügavus maapinnast ulatub 10 m kanti põlevkivimaardla põhjaosas ning 70 m kanti Väike-Pungerja lähedal. Põlevkivi kaevandatakse kahel põhiviisil: pealmaakaevandamine ja allmaakaevandamine. Pealmaakaevandamisel saab kasutada suurema jõudlusega masinaid ning seetõttu on see kaevandamisviis tõhusam kui allmaakaevandamine kuid seda saab kasutada vaid kohtades kus põlevkivi paikneb suhteliselt madalal, sügavusel kuni 30 m. Allmaakaevandamist kasutatakse reeglina Jõhvist ja Kohtla-Järvest lõunas, kus põlevkivi lasub sügavamal. [28]

Allpool on toodud välja kokkuvõtvalt olulised punktid dokumendist "Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2016-2030".

80% Eestis tekkivatest jäätmetest pärineb põlevkivitööstuse sektorist. Põlevkivikaevandusest väljatud mäemassi töötlemisel tekib kaks põhilist materjalivoogu – põlevkivi ja aheraine. Aheraine on materjal, mis tekib mäemassi rikastamisel. Selles on valdavaks lubjakivi, kuid aheraines on teatud osa ka põlevkivi. Varasematel perioodidel on põlevkivi sisaldus aheraines ületanud isegi 30%. Praegu on põlevkivi sisaldus aheraines alla 5%. Aheraine, millele kasutust ei leita, muutub jäätmeregulatsiooni kohaselt kaevandamisjäätmeteks. Selle põhiliseks käitlemismooduseks on olnud kõrvaldamine alates 1920ndatest aastatest, mil Eestis alustati põlevkivi kaevandamist. [14]

Kaevandamisjäätmed tekivad põlevkivi, dolo- ja lubjakivi, savi ning liiva kaevandamisel ja töötlemisel. Eelnimetatud jäätmeid tekkis 2011. a 8,98 mln tonni, millest valdav oli põlevkivi kaevandamisel tekkiv aheraine - 8,96 mln tonni. [14]

Sõltuvalt põlevkivikaevanduste (ka karjäärade) avamisest erinevatel perioodidel on nende lähedusse tekkinud ka aheraineladestud ehk kaevandamisjäätmete hoidlad. Kokku on põlevkivi kaevandamisjäätmete hoidlaid 34 ja sinna on paigutatud seisuga 2011. a ligikaudu 210 mln tonni aherainet. [14]

Jäätmeoidlates ladestatud aheraine kogus aga väheneb järk-järgult, sest on alustatud ladestute läbikaevamist ehk nõ taaskasutamist. Olemasolevate

kaevandamisjäätmete hoidlate läbikaevamine ja materjali sortimine lubjakivi killustikuks ning põlevkiviks toimub praegu Ahtmes, Edisel ja Sompas. Aheraineladestute läbitöötamisel tekkiva peenpõlevkivi taaskasutamine on seni olnud vähene. Nimetatud jäätmeliigi taaskasutusvõimalused vajavad veel täpsemaid uuringuid ning koostööd töötlejate/käitlejate, õigusloome esindajate ning teadusuuringuid läbiviivate asutuste vahel. [14]

Praegu on suuremateks aheraine hoidlateks Estonia kaevanduse töötav jäätmehoidla nr 1, kuhu on ladestatud ca 100 mln tonni aherainet, Viru kaevanduse jäätmehoidla (nr 3) ca 35 mln tonni ja Ahtme mittekasutatav ladestu 27-28 mln tonniga. [14]

Põlevkivi kaevandamisjäätmete teke sõltub kaevandatud mäemassi mahust. Mida suurem on kaevandatud mäemass, seda suurem on tekkiva kaevandamisjäätmete kogus. Keskmiselt tekib aherainet 0,5 tonni ühe kaevandatud põlevkivi tonni kohta. Mäemassi rikastamisel tekkiva aheraine (kaevandamisjäätmed) mass sõltub mitte ainult mäemassi kogusest, vaid ka rikastamise efektiivsust. Rikastamise efektiivsuse suurendamisel on aga tehnoloogilised ja majanduslikud piirid. [14]

Hoolimata sellest, et mäemassis põlevkivi sisaldus ja kvaliteet väheneb võib tulevikus kaevandamisjäätmete kogus jääda samaks, sest uued tehnoloogiad võimaldavad osa aherainest käsitleda kõrvalsaadusena. See tähendab, et aherainet ei pea vahepeal ladestama jäätmetena vaid saab põlevkivi tootmise käigus töödelda koheselt ehitusmaterjali tingimustele vastavaks ehituskillustikuks. [14]

Nimi	Kaevandus	Ligikaudne pindala, ha	Ligikaudne kogus, tonni
Ahtme aheraine ladestus 1	Ahtme kaevandus	5.5	2310000
Ahtme aheraine ladestus 2	Ahtme kaevandus	43.5	29089000
Estonia aheraine ladestus 1	Estonia kaevandus	182.9	94230000
Estonia aheraine ladestus 2	Estonia kaevandus	13.4	2692000
Estonia aheraine ladestus 3	Estonia kaevandus	2.1	240000
Käva 2 aheraine ladestus 1	Kaevandus Käva 2	4.8	1650000
Edise aheraine ladestus 1	Kaevandus nr.2	2.2	491000
Edise aheraine ladestus 2	Kaevandus nr.2	1.2	157000
Edise aheraine ladestus 3	Kaevandus nr.2	1.5	562000
Edise aheraine ladestus 4	Kaevandus nr.2	2.5	1136000
Pauliku aheraine ladestus 5	Kaevandus nr.2	1.5	288000
Pauliku aheraine ladestus 6	Kaevandus nr.2	2.2	529000
Rutiku aheraine ladestus 1	Kaevandus nr.4	5.8	2050000
Rutiku aheraine ladestus 2	Kaevandus nr.4	3.6	1733000
Kohtla aheraine ladestus 1	Kohtla kaevandus	1.6	333000
Kohtla aheraine ladestus 2	Kohtla kaevandus	2.9	917000
Kohtla aheraine ladestus 3	Kohtla kaevandus	9.2	1431000
Kukuruse aheraine ladestus 1	Kukuruse kaevandus	4.8	1315000
Sinivoore aheraine ladestus 2	Kukuruse kaevandus	1.1	341000
Sompa aheraine ladestus 1	Sompa kaevandus	2.3	515000
Sompa aheraine ladestus 2	Sompa kaevandus	2.8	857000
Sompa aheraine ladestus 3	Sompa kaevandus	1.2	282000
Sompa aheraine ladestus 4	Sompa kaevandus	2.5	490000
Sompa aheraine ladestus 5	Sompa kaevandus	11.7	3881000
Tammiku aheraine ladestus 2	Tammiku kaevandus	14.3	3871000
Tammiku aheraine ladestus 3	Tammiku kaevandus	18.0	7555000
Viru aheraine ladestus 1	Viru kaevandus	8.0	1692000
Viru aheraine ladestus 2	Viru kaevandus	34.3	8079000
Viru aheraine ladestus 3	Viru kaevandus	63.3	35353000

Kaevandatud maavaraplokid 2010 a
 Maardlate, kaevanduste ja karjääride piirid 2010 a
 Põlenud aheraineladestused
 Mittetöötavad aheraineladestused (potentsiaalne toore killustikuks)
 Aheraineladestused mida kaevatakse läbi või millest on katsetatud killustiku tootmist
 Töötavad aheraineladestused
 Töötavate kaevanduste mittekasutatavad aheraineladestused
 Aheraineladestused tervise, spordi, vabaaja veetmise keskustena



Teede
Tehnokeskus

Lisaks tekib märkimisväärne kogus jäätmeid põlevkivi kasutamisel. 2011. aastal tekitati põlevkivi koldetuhka 3,24 mln tonni ja lendtuhka 4,38 mln tonni, millest taaskasutati vastavalt 0,03 ja 0,18 mln tonni. Suuremateks põlevkivituhka tekitajateks on Eesti Elektri jaam ja Balti Elektri jaam. 2008. a tekkis põlevkivikoldetuhka 2,386 mln tonni ja lendtuhka 3,485 mln tonni, millest taaskasutati vastavalt 0,02 ja 0,26 mln tonni. Poolkoksi tekkis 2011. a 1,00 mln tonni ja taaskasutati 0,27 mln tonni. 2008. a olid need näitajad vastavalt 0,96 ja taaskasutamine 0,19 mln tonni. Suurim kogus poolkoksi tekib ettevõttes VKG Oil AS – ligikaudu 0,80 mln tonni aastas. Viimastel aastatel on kasvanud poolkoksi taaskasutamine seoses Kohtla-Järve ja Kiviõli ladestute osalise sulgemisega - materjalikasutusena ladestute katmisel. Lisaks tekkis veel pigijäätmeid (fuusse) - 2008. a 20 tuh tonni ja 2011. a 3 tuh tonni ja fenoolset vett 2008. a 372 tuh tonni ja 2011. a 443 tuh tonni. Tahkeid jäätmeid (poolkoks ja tuhk) teib 1 tonni põlevkiviõli tootmisel ca 3-4 tonni. Keevkihil töötavate energiablokkide tulemusena on vähenenud tekkivate jäätmete kogus tooteühiku kohta 45 t/TJ tasemelt aastatel 2002-2004 tasemele 37 t/TJ aastatel 2008-2011.

Põlevkivi tootmisega kaasnevad suured jäätmekogused – põlevkivituhk, poolkoks ja pigijäätmed (fuussid), samas on aheraine (põlevkivi rikastamisjäägi) kasutamine vähene. Arengukava sätestab ühe strateegilise eesmärgi „Põlevkivi kaevandamise efektiivsuse tõstmine ja negatiivse keskkonnamõju vähendamine“ all ühe eesmärgina põlevkivi kaevandamisel tekkiva aheraine taaskasutamise suurendamist. Aherainekillustiku tootmise potentsiaal otseselt seotud otseselt põlevkivi tootmisega. [14]

Põlevkivi kaevandamisega Eestis tegelevad neli ettevõtjat: Eesti Energia Kaevandused AS (edaspidi ka EEK), VKG Kaevandused OÜ (edaspidi ka VKGK), Kiviõli Keemiatööstuse OÜ ja AS Kunda Nordic Tsement. [14]

Põlevkivi on madala kütteväärtusega tooraine ning põlevkivi transport kaevandamiskohast kaugele pole transpordikulude tõttu tavaliselt majanduslikult otstarbekas. Seepärast asuvad kõik põlevkivi kasutajad suhteliselt kaevanduste lähedal. Kogu kaevandatud põlevkivi kasutatakse kohalike ettevõtjate poolt, sealjuures väiksemas mahus kaevandavad ettevõtjad kasutavad kogu põlevkivi üldjuhul enda tarbeks. Suurim kaevandaja EEK müüb piiratud mahus põlevkivi ka

teistele ostjatele, s.h VKG-le, Kiviõli Keemiatööstuse OÜ-le ja AS-le Kunda Nordic Tsement nende toormevajaduse täitmiseks. Käesoleval ajal kehtivate kaevandamislubade alusel jagunevad kaevandatavad varud kaevandamislubade omanike vahel järgmiselt. [14]

Põlevkivi kaevandamise maht 2011 aastal ületas 18 mln, millest elektrienergia tootmiseks kasutati 14 mln.t.

3. KILLUSTIKU TOOTMINE

Killustiku tootmine aherainest Aidu karjääris

Alltoodu pärineb Illimar Partsi sulest artiklis samanimelises artiklis.

Aidu karjäär alustas tegevust 1973.a ja lõpetas tootmise loetud aastad tagasi, kuid sobib kirjeldama aherainest killustiku tootmise põhiprotsesse ka mujal.

Sarnaselt kaevandustele ja erinevalt teistest karjääridest on Aidu karjääri rajatud põlevkivi rikastusvabrik, milles toimub mäemassist nn. aheraine eraldamine ja põlevkivi jagamine erineva kvaliteediga klassideks. Suurem osa põlevkivist tarnitakse hetkel AS-i Narva Elektrijaamad Balti elektrijaama elektri ja sooja tootmiseks, osa läheb AS-le VKG põlevkiviõli tootmiseks ja osa AS-le Kunda Nordic Tsement tsemendiahjude kütteks. Põlevkivi on iseenesest suhteliselt lai mõiste, geoloogiliselt koosneb ta erinevatest. Kihid jagatakse tinglikult kukersiitpõlevkivikihtideks (A, B, C, D, E, F1, F2) ja lubjakivi vahekihtideks (A'/B, B/C, C/D, D/E). Kukersiitpõlevkivikihid sisaldavad ka lubjakivi osi, mis esinevad kihtides erinevatel tasemetel ja erinevas mahus. Lubjakivi vahekihtidest kõige paksemad on A'/B ja C/D, milledes orgaanilise aine sisaldus on madal – enamasti alla 5%, teistes vahekihtides ulatub see kuni 12%-ni. [3]

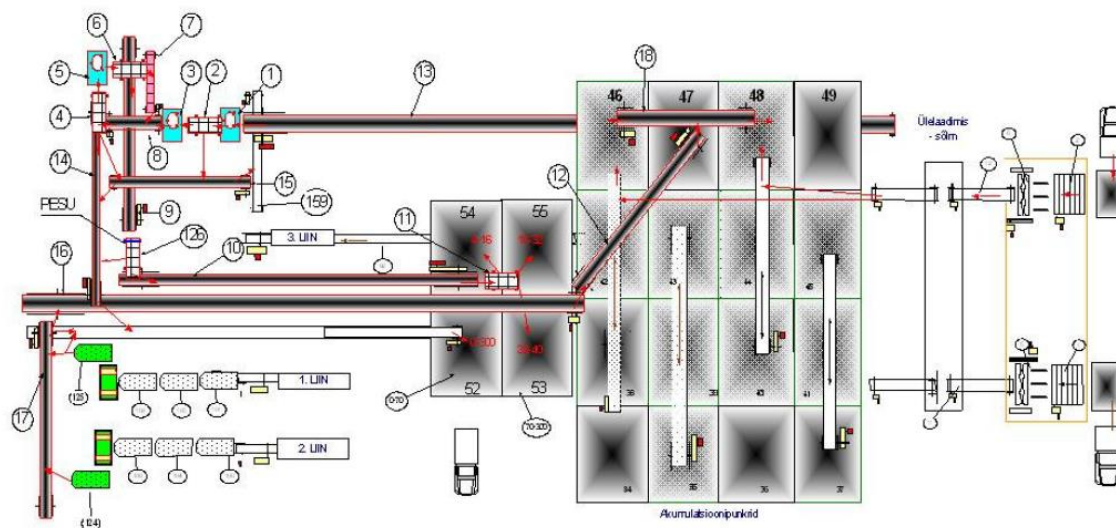
Aidu karjääris kaevandatati põlevkivi kas väljates kõik kihid korraga või osaliselt selektiivselt, eraldades juba kaevandamise käigus tranšees kogu mäemassist vahekiht C/D. Ülejäänud mäemass transporditakse rikastusvabrikusse, kus toimub selle gravitatsiooniline rikastamine, eraldamaks kukersiitpõlevkivist lubjakiviosad. Kuna mäemass on väga erineva koostisega, siis on puhta lubjakivi eraldamine sellest keeruline. Eraldatud lubjakivi tehnilised omadused on madalamad kui traditsiooniliselt kaevandataval lubjakivil, mistõttu selle vahetu kasutamine ehituses ilma piisava töötlemiseta on olnud suureks küsimärgiks juba pikka aega. Põhiprobleemiks on olnud suhteliselt kõrge orgaanilise aine sisaldus (kivi on "pruun") ning kõrgem poorsus, mis omakorda tingib suurema veeimavuse, siit ka halvema külmakindluse ja kokkuvõttes meie ilmastikutingimustes suhteliselt kiire lagunemise. [3]

Lubjakivist aherainet on peamiselt kasutatud tee-ehituses (madalama kandevõimega teed, metsateed jms.) ja ehitustööstuses täitematerjalina platside

ehitamisel. Samas on pidevalt uuritud ka selle materjali kasutamiselvaldkondade laiendamist. Selleks, et eraldada aherainest kvaliteetne lubjakivi ja saada sellest kvaliteetset killustikku, on seda tarvis mitmeid kordi purustada ja sõeluda. Kuna kukersiit on oma omadustelt pehmem, siis mitmekordse purustamise käigus on võimalik see praktiliselt 100%-liselt eraldada. Samas tekib aga ka suhteliselt palju sõelmeid (kuni 50% purustatavast massist), mida on aga osaliselt võimalik ka ära kasutada. [3]

Kuni 2006 aastani töötas Aidu karjääris peamiselt omatarbeks killustiku tootmise liin, kus aheraine purustamine oli 2-astmeline ning vanemat tüüpi seadmed ei võimaldanud tagada killustiku piisavat kvaliteeti. Seetõttu kasutati killustikku peamiselt ehitustöödel täitematerjalina ja karjäärisiseste teede katteks. [3]

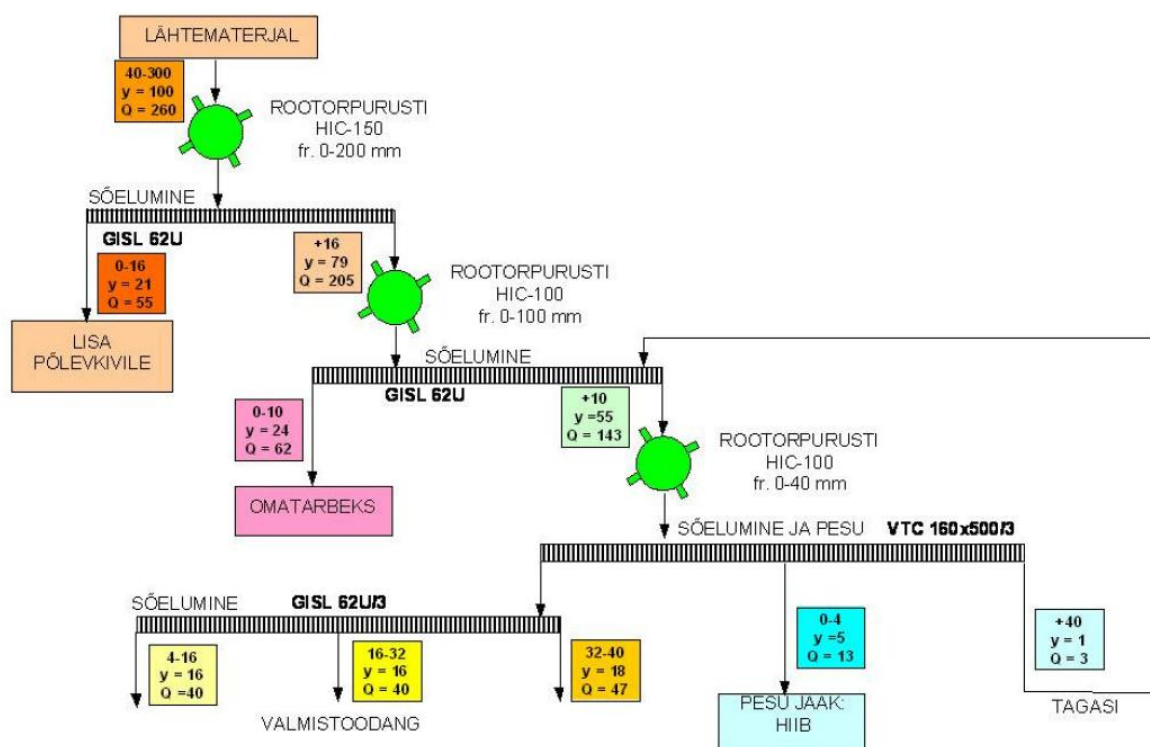
Lähtudes eelnevatel aastatel tehtud uuringutest ja samuti ehitustegevuse hoogustumisest tingitud materjali nõudluse suurenemisega turul, alustati Aidu karjääris 2005.a. uue killustiku tootmise kompleksi rajamist, mis võimaldaks toota vähemalt 4.klassi nõuetele vastavat killustikku. Kompleks valmis ja käivitati 2006.a. sügisel. Kompleks moodustab põlevkivi rikastusvabrikust ühe osa ning selle töö põhimõtteline skeem on järgmine:



Joonis 16. Aidu killustikukompleksi skeem [3]

Põlevkivi rikastamisel (liinid 1. ja 2) tekkiv aheraine liigub mööda konveiereid (17,16, 12, 18) aheraine akumuleerimispunktesse (46-49). Punkritest liigub aheraine mööda konveierit (13) purustusliinile (1,3,5 – purustid, 2,4,6 –

sõelurid) ja sealt edasi mööda konveiereid (9,10) lõppsõelurisse (11), mis jagab killustiku vastavalt 3 fraktsiooniks. Eri fraktsioonid kogutakse killustiku punkritesse (53-55), kust laetakse autodele või transporditakse raudtee laadimisplatsile. Aheraine 3-astmelise purustamise ja sõelumise tehnoloogiline skeem on järgmine:



Joonis 17. Aidu killustiku purustamise skeem [3]

Lähtematerjal tükisuurusega 40-300 mm satub 1. astme rootorpurustisse HIC-150, mis purustab selle tükisuuruseni 0-200 mm. Toimub sõelumine, kus eraldatakse fraktsioon 0-10 mm. Kuna antud fraktsioon sisaldab suurel määral põlevkivi, siis saab seda kasutada lisandina energeetilisele põlevkivile. Materjal tükisuurusega 10-200 mm satub 2. astme purustisse HIC-100, mis purustab selle tükisuuruseni 0-100 mm. Toimub jällegi sõelumine, kus eraldatakse fraktsioon 0-16 mm, mis samuti sisaldab suurel määral liigub 3. astme purustisse HIC-100, mis purustab selle tükisuuruseni 0-40 mm. Purustatud materjal liigub kaheastmelisele sõelale, kus see jagatakse 3 osaks, fr. 0-4mm läheb jäätmele, tükid üle 40 mm saadetakse uuesti 3. astme purustisse ja ülejäänud osa fr. 4-40 mm liigub lõppsõelurisse. Antud sõelal toimub ka materjali pesemine.

Lõppsõeluris toimub materjali jagamine 3 fraktsiooniks, vastavalt 4-16mm, 16-32 mm ja 32-40 mm. (skeemil Y - osakaal %, Q – kogus t/h). Killustiku tootmise kompleksis on kasutusel kolm Tšehhi purustit, millest üks on HIC150 ja kaks HIC100. Sõelurid GIST 72, GISL 62U on AS Mäetehnika toodang ja sõelur VTC 160 on samuti Tšehhi päritolu. [3]

Uus killustiku tootmise kompleks võimaldab toota kolme erinevat killustiku fraktsiooni, vastavalt 4-16 mm, 16-32 mm ja 32-40 mm. Hetkel on juba korraldatud katsetused tootmaks fr. 32-64, mis vastab samuti 4. klassi nõuetele. Vastavalt vajadusele ja kliendi soovidele on võimalik toota ka kitsamaid fraktsioone. [3]

Erinevate fraktsioonide analüüside tulemused on kokkuvõtvalt toodud alljärgnevas tabelis:

Tabel 2. Erinevate fraktsioonide deklareeritud omadused [3]

Parameeter		Ühik	Standardi järgi		4-16 mm	16-32 mm	32-40 mm
Peenosiste sisaldus	EVS-EN 933-1:2000	%	≤ 2	F 2	1,7	1,7	0,7
Osakeste näivtihedus	EVS-EN 1097-6:2002	Mg/m ³			2,57	2,53	2,43
Osakeste tihedus väljakuivatatud olekus	EVS-EN 1097-6:2002	Mg/m ³			2,26	2,25	2,25
Osakeste tihedus küllastatud pindkuivas olekus	EVS-EN 1097-6:2002	Mg/m ³			2,38	2,36	2,32
Veeimalus	EVS-EN 1097-6:2002	%	≤ 4	WA 4			3,4
		%	≤ 5	WA 5		5,0	
		%	≤ 6	WA 6	5,4		
Terakuju plaatsusteguri järgi	EVS-EN 933-3:2000	%	≤ 20	FI 20	4,1	4,50	1
Purunevus silindris	GOST 8269 punkt 8	%	15-19	M600	15,1	17,5	17,5
			13-15	M800	≈ M800	≈ M700	≈ M700
Purunemiskindlus Los Angelese katsel			≤ 35	LA	LA 35		

Killustiku tootmine aherainest Põhja-Kiviõlis

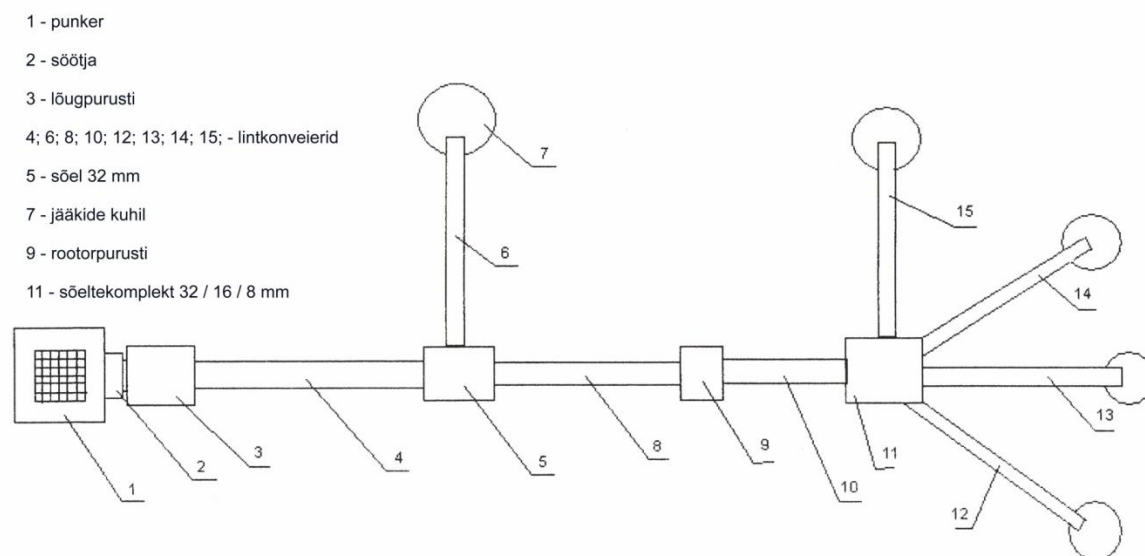
Põhja-Kiviõlis toodetakse killustikku väidetavalt kaksikpae kihist (põlevkivi alamkihist C/D). Kaksikpae eemaldamine toimub ekskavaatoriga kahe pikisuunalise käiguga. Kihi C/D paas lõhutakse eelnevalt hüdrovasaraga. Esimene ekskavaatori käik toimub valli poolt. Käigu laius on 20 m, pikkus mitte üle 100

m. Kaugus masina külje ja paevalli serva vahel peab olema vähemalt 10 m. Kihi paksus on 0,2 – 0,3 m. Karbonaatset materjali on 82- 86%, terrigeenset materjali on 12% - 16%.

Killustiku tootmiseks veetakse tooraine karjäärist autotranspordiga punkrisse (1), sealt antakse söötjaga (2) lõugpurustajasse (3), kus purustatakse fraktsioonini 0 – 110 mm. Purustist väljuv fraktsioon suunatakse lintkonveieriga (4) edasi esimesele sõelale avasuurusega 32 mm (5). Sellel sõelal eraldatakse pori ja peenmaterjal alla 32 mm, mis suunatakse konveieriga (6) jääkide kuhilasse (7). Sõela jääk suunatakse konveieriga (8) rootorpurustajasse (9). Rootorpurustajast väljub killustik fraktsiooniga 0 – 63 mm. Saadud fraktsioon suunatakse konveieriga (10) teisele vibrosõelte komplektile (11), mis koosneb (ülalt alla) alljärgnevate avaläbimõõtudega sõeltest: 32 mm, 16 mm ja 8 mm. Sõelal (11) toimub rootorpurustajast (9) saadud fraktsiooni (0 – 63 mm) jaotamine 4 erinevasse fraktsiooni:

- Fraktsioon 0 – 8 mm suunatakse kuhilasse konveieriga (12)
- Fraktsioon 8 – 16 mm suunatakse kuhilasse konveieriga (13)
- Fraktsioon 16 – 32 mm suunatakse kuhilasse konveieriga (14)
- Fraktsioon 32 – 63 mm suunatakse kuhilasse konveieriga (15)

Kui osutub vajalikuks suurema koguse erinevate fraktsioonide ladustamine, siis viiakse iga fraktsioon eraldi laoplatsile. Killustiku purustussõlm on lahtist tüüpi ja töötab perioodiliselt.



Joonis 18. Purustussõlme skeem

Killustiku tootmine aherainest Estonia kaevanduses

Allolevas kirjelduses on toetutud vaid Peeter Eek'i ja Rein Raudsepa 2008 aasta artiklis toodul kus käsitletakse aheraine temaatikat laiemalt ning ainult toetub Estonia kaevanduse aherainekillustiku tootmise näitele.

Estonia kaevanduses kasutatakse rikastamiseks jahvatatud rauamineraalide vesilahust, mille tihedus on kergema põlevkivi ja raskema paekivi vahepealne – seega teoreetiliselt jääb põlevkivi pinnale, paas vajub põhja. [16]

Estonia kaevanduse killustikukompleksis saab toota killustikku fraktsioonidega 4–16, 16–32 ja 32–64 mm kokku kuni 1,2 miljoni tonnini aastas. Vastavalt eeltestidele vastab killustik samuti IV kvaliteediklassile. Lisaks aherainele turustatakse Estonia kaevanduses ka aherainet. [16]

Kuna aheraine ei ole ei kõrgkvaliteetne ja seegi kvaliteet kõigub kihtide ja kaevanduste kaupa, on kindlasti oluline leida lahendused, kuidas madalama kvaliteediga materjalide kasutamist siiski laiendada, kasutades erinevaid tugevdus- ja sideaineid, olgu selleks kasvõi põlevkivituhk või tsemendi klinkritolm jms. [16]

Lihtsad aheraine kasutamise katsed teedehituses ei ole varasematel aastatel andnud häid tulemusi, seepärast on teedehitajad üsna skeptilised. Sageli ei ole küsimus siiski mitte materjalis, vaid ikka tehnoloogias – heaks näiteks siin ehk Aseri tellised 1980-date lõpul ja praegu. Savi on sama, ometi suudeti sellest NL ajal toota suuresti ise laialipudenevat toodangut. [16]

Killustiku tootmine Aru-Lõuna lubjakivikarjääris

Allolevas on toetud KNC'st (Kunda Nordic Cement) saadud kirjeldusele.

Killustiku valmistamiseks kõigepealt lubjakivi kobestatakse puur-lõhketöödega. Selleks puuritakse lõhkevõrk, kus madalamas astmes on võrgu skeem 3 x 3 m ja kõrgemas astmes 3 x 3,5 m. Sellise võrguga peaks saama kivi sellise tükisuurusega, mille maksimaalne mõõde on 600 mm. Kuid arvestades lubjakivi eripära ja seal paiknevaid lõhede ja pragude süsteeme tekib alati ülegabariidilist kivi, mida üldjuhul tehakse peenemaks ekskavaatori ette paigutatud hüdrovasaraga.

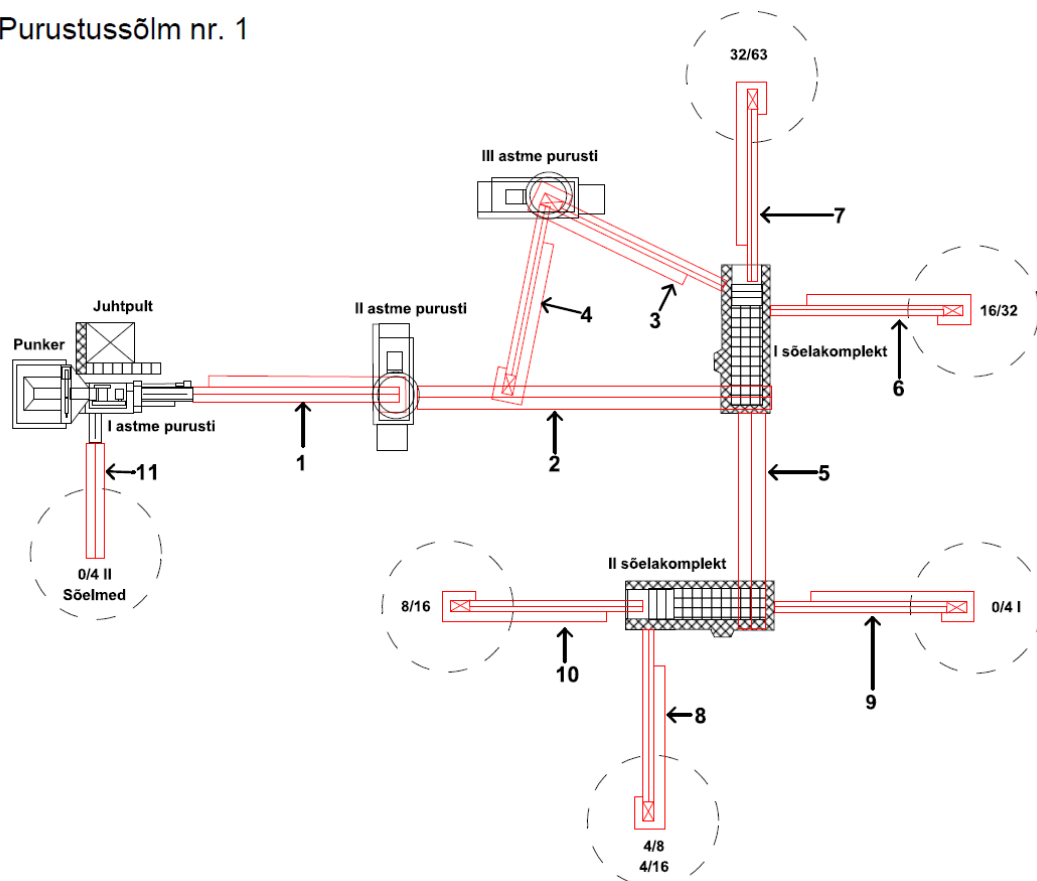
Purustussõlm on kolmeastmeline, mis koosneb ühest lõugpurustist ja kahest koonuspurustist. Lõppprodukt sõelutakse kahe erineva vibreeriva sõelakomplektiga ning materjali etteandmiseks vastuvõtupunkrist esimese astme purustisse on paigaldatud vibreeriv liugtee koos varbsõeltega. Materjali transportimiseks purustite ja sõelte vahel ning lõppsaaduse väljamiseks kasutatakse lintkonveiereid.

Lõhatud lubjakivi laaditakse esmalt kallurautodele ja saadetakse purustussõlme, vastavalt purusti ja laadimiskoha vahekaugusele valitakse purusti tootlikkuse järgi autod selliselt, et purustis ei tekiks kivi puudusel tööseisakuid. Pidevalt ühtlaselt koormatud purustussõlmest tuleb hea kvaliteediga killustik. Purusti vastuvõtukolu on valitud selliselt kuhu mahub vähemalt 2 autokoormat lõhatud lubjakivi, edasi toimetab vibreeriv liugtee kivi lõugpurustisse. Liugtee viimaseks osaks on paigutatud varbsõelad, mis lasevad ilma purustamiseta väiksemad kivid lintkonveierile ja mis toimetab selle edasi 1 astme koonuspurustisse. Samuti on juba varbsõelte alla paigaldatud 25 mm avaga sõelatekk, millest läbi kukkunud materjal võetakse kohe lintkonveieriga välja. Selle materjali jaoks pole purustamisenergiat üldse kasutatud ning seda saab väga edukalt kasutada

tsemendi tootmiseks, samuti ei koorma sellise tegevusega purustussõlme ja kasvatame tootlikkust.

Lõugpurusti ava on seadistatud selliselt, et ta suudaks täita 1 astme koonust ühtlaselt, samuti saab ka koonuste vahet reguleerida. Kui koonus on ühtlaselt täis, siis purustamisprotsessis hakkavad tööd tegema kivid ise, kus nad üksteise vastu hõõrudes purustavad üksteist. Sellise tegevusega jääb kivile parem terakuju, kuluvad koonuse seinad vähem ja tekib vähem tolmu kui ainult koonused purustaksid kivi. Samuti on sellise tegevuse põhjal seadistatud 2 koonuspurusti selliselt, et ta oleks ühtlaselt koormatud. Enne teise astme koonuspurustit on paigaldatud sõelad suuremate fraktsioonide väljasõelumiseks, kuna suuremaid fraktsioone pole niivõrd palju vaja kui protsess võimaldaks, siis saadakse peale sõelu paigaldatud siibrite abil osa materjali juhtida tagasi 2 astme koonusesse ja tänu sellele tegevusele ka koonust ühtlaselt täis hoida.

Purustussõlm nr. 1



Joonis 19. Purustuskeem Lõuna-Aru karjääris (allikas: KNC)

4. KILLUSTIKU KATSETUSED

Killustiku katsetuste eesmärk oli saada ülevaade Kirde-Eestis turule toodavatest aheraineproduktidest ning nende omadustest. Selleks valiti uuringuteks 5 aherainekillustikku ja nende lähipiirkonnast 5 paekivikillustikku.



Joonis 20. Lubja- ja dolokivikarjäärid ning uuringuks valitud karjäärid [4]

Uuringuteks valitud killustiku tootmiskohad ja võetud proovide numbrid on järgmised:

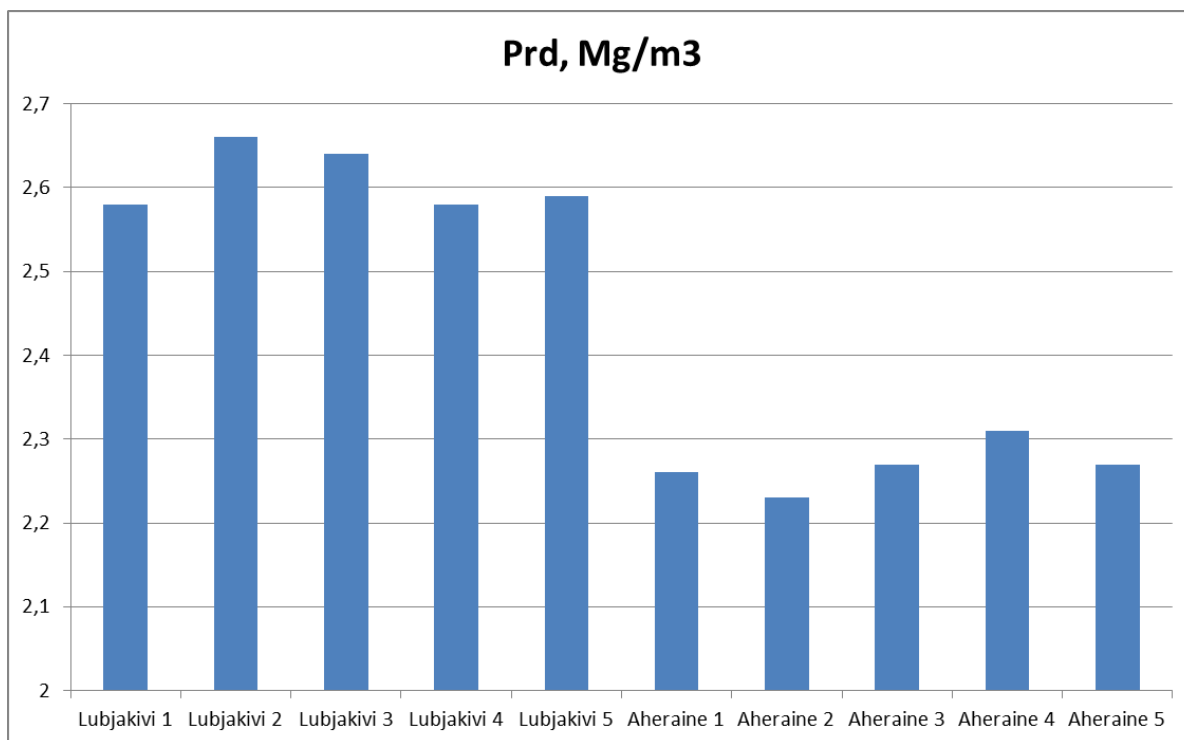
- Rõstla karjäär 4768
- Sopimetsa II karjäär 4769
- Otisaare karjäär 5312
- Kunda karjäär 5058
- Suurkõrtsi karjäär 5113
- Sompa aheraine 4878
- Ojamaa aheraine 4879
- Ahtme aheraine 5114

- Kiviõli aheraine 5115
- Estonia aheraine 5264

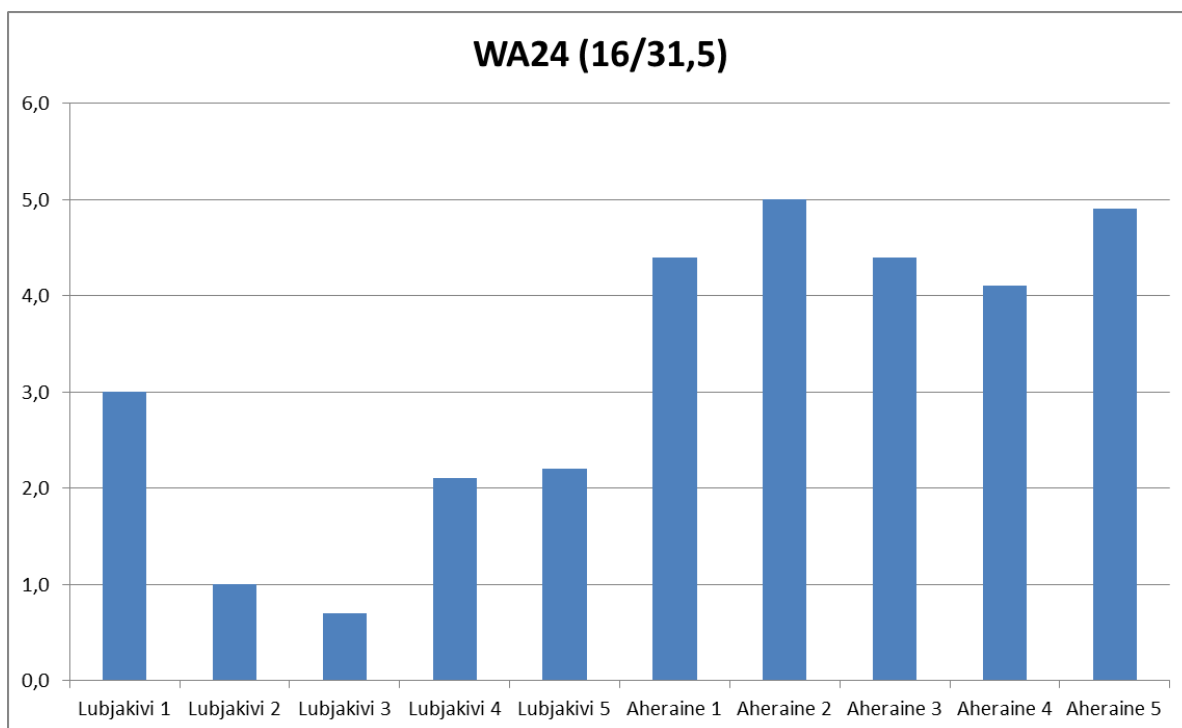
Nii aherainekillustiku (graafikutel „aheraine“) ja referentspaekillustiku (graafikutel „lubjakivi“) omadused määrati üldjuhul fraktsioon 16-32 baasil, kui katsestandard ei sätesta teisiti. Kõigile killustikele tehti alljärgnevad katsed, lähtudes nõuetest katendi sidumata ja hüdrauliselt seotud kihtides kasutatavale jämetäitematerjalile (EVS-EN 13242 kohane toode):

- terastikuline koostis- katsemeetod EVS-EN 933-1;
- peenosiste sisaldus- katsemeetod EVS-EN 933-1;
- purunemiskindlus Los Angelese katsel - katsemeetod EVS-EN 1097-2;
- terakuju - katsemeetod EVS-EN 933-3;
- külmaskindlus - katsemeetod EVS-EN 1367-1;
- terade tihedus – katsemeetod EVS-EN 1097-6;
- veeimavus – katsemeetod EVS-EN 1097-6;
- eriaktiivsuseindeks (vt. EVS 901-1).
- petrograafiline kirjeldus
- külmaskindlus soolalahuses (lisakatse)
- orgaanilise aine sisaldus;

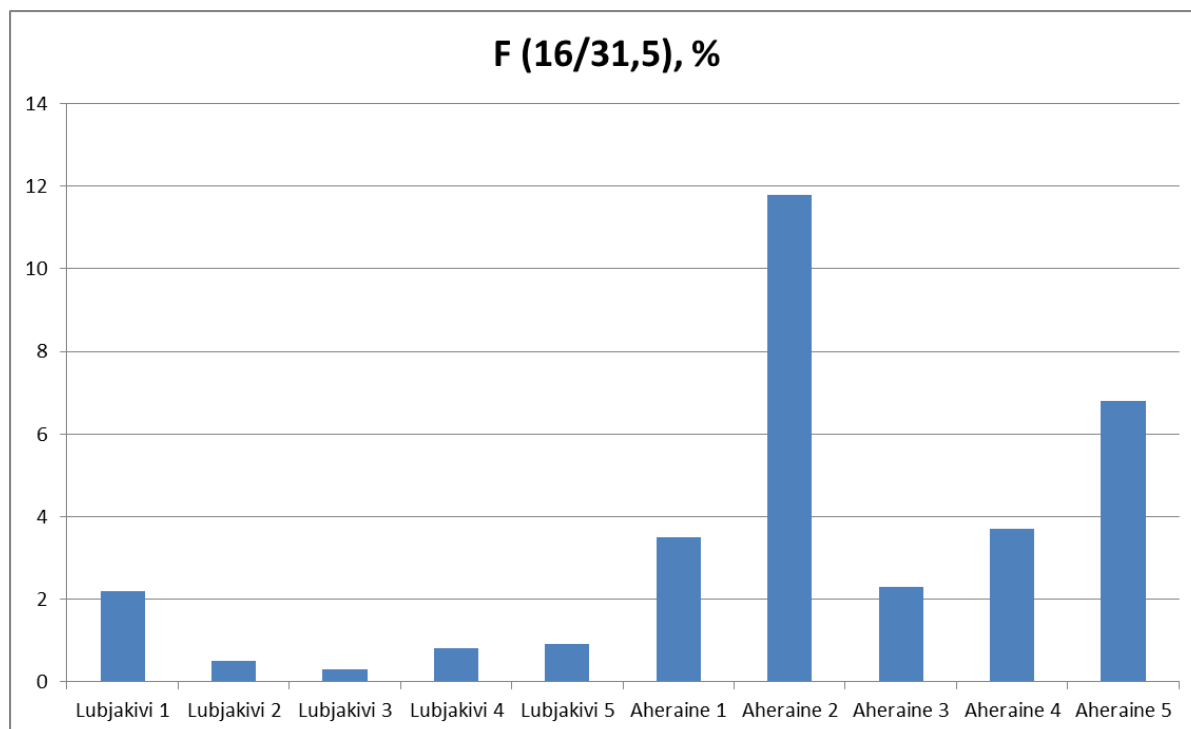
Kõigist proovidest tehti fotot visuaalseks võrdluseks nii enne kui pärast katsetamist.



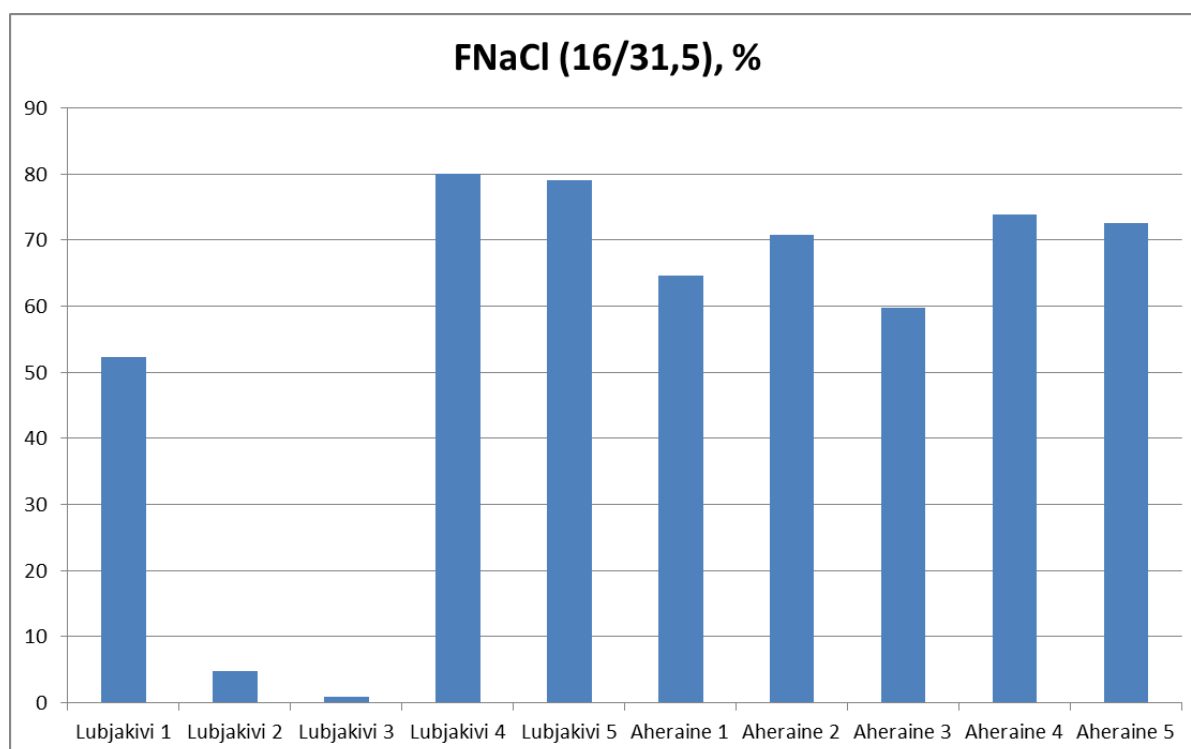
Joonis 21. Killustike katsetamine - mahumass



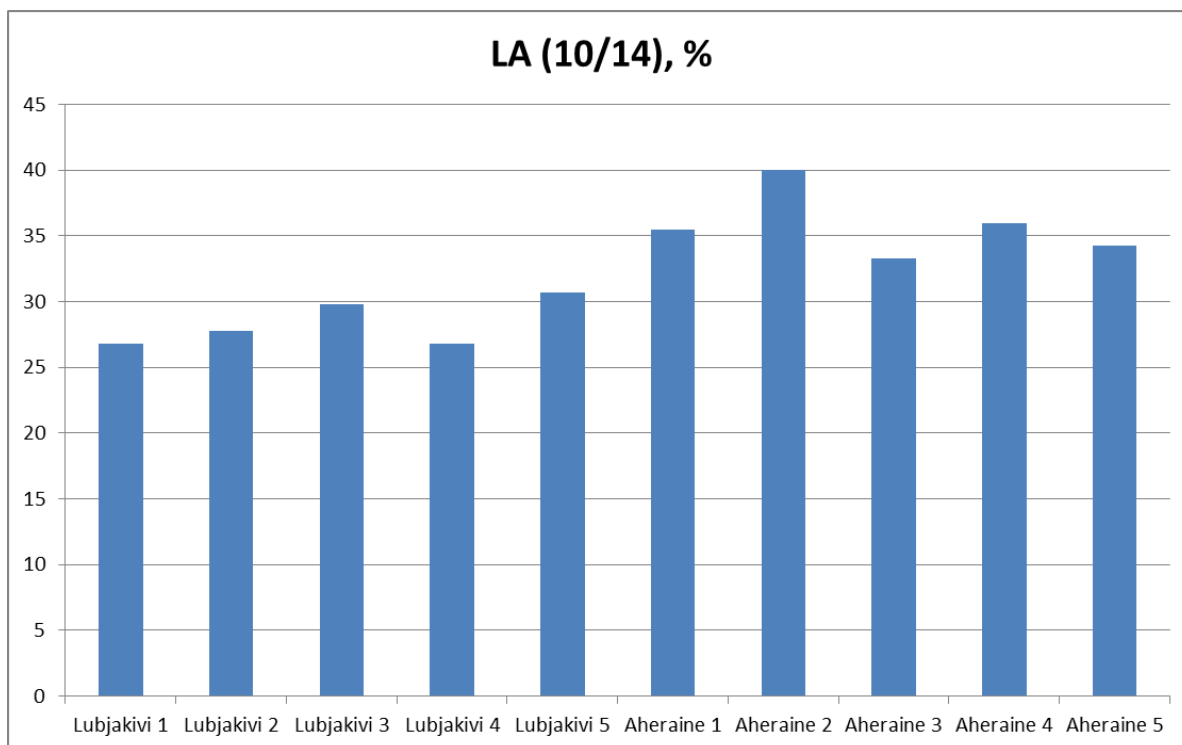
Joonis 22. Killustike katsetamine - veeimavus



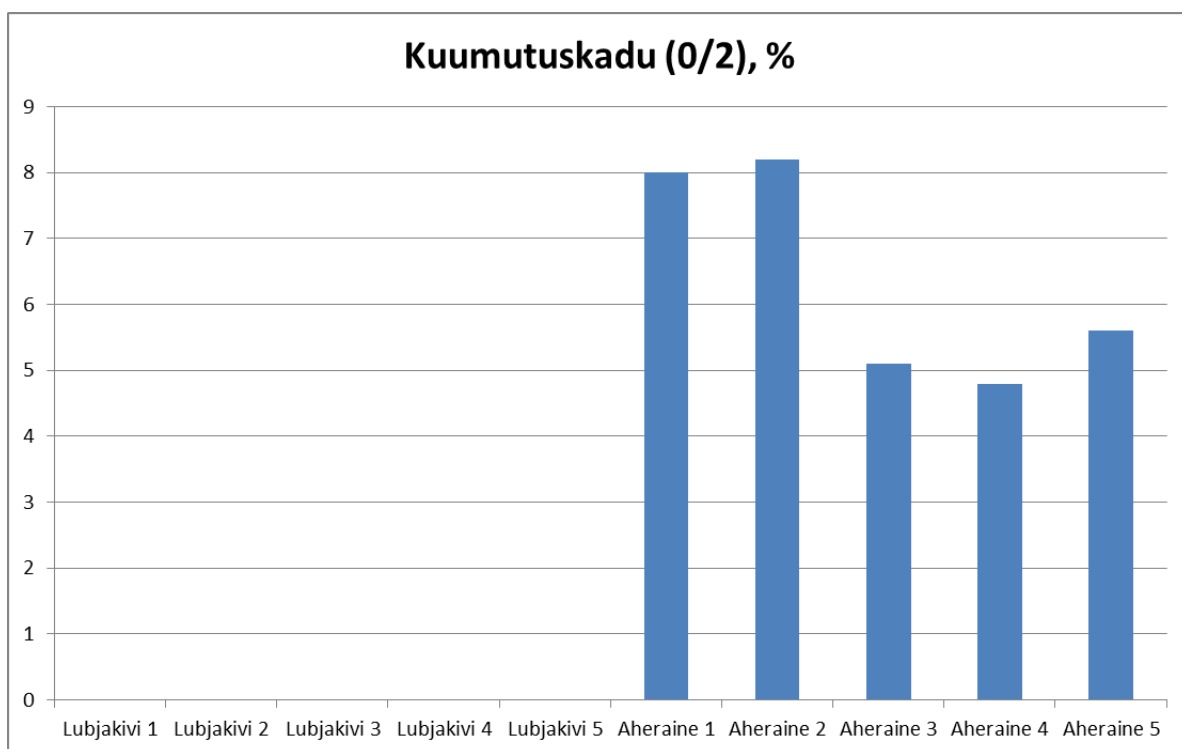
Joonis 23. Killustike katsetamine - külmakindlus



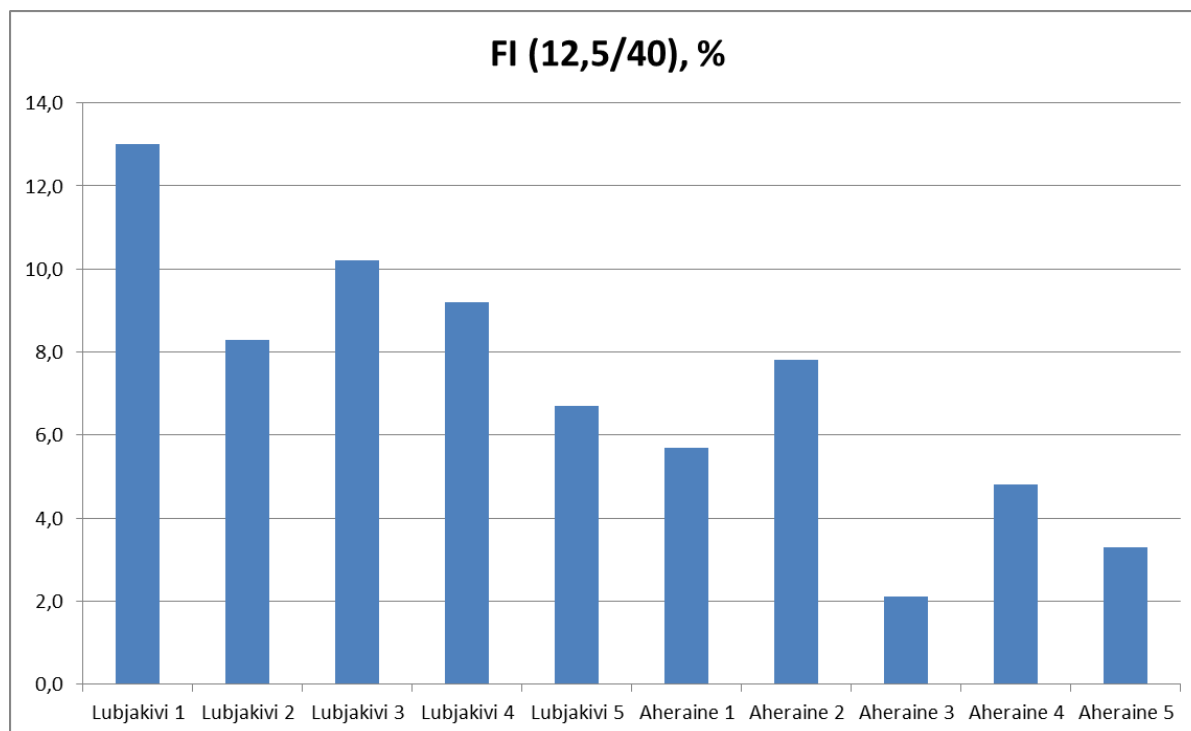
Joonis 24. Killustike katsetamine - külmakindlus NaCl 1%-lahuses



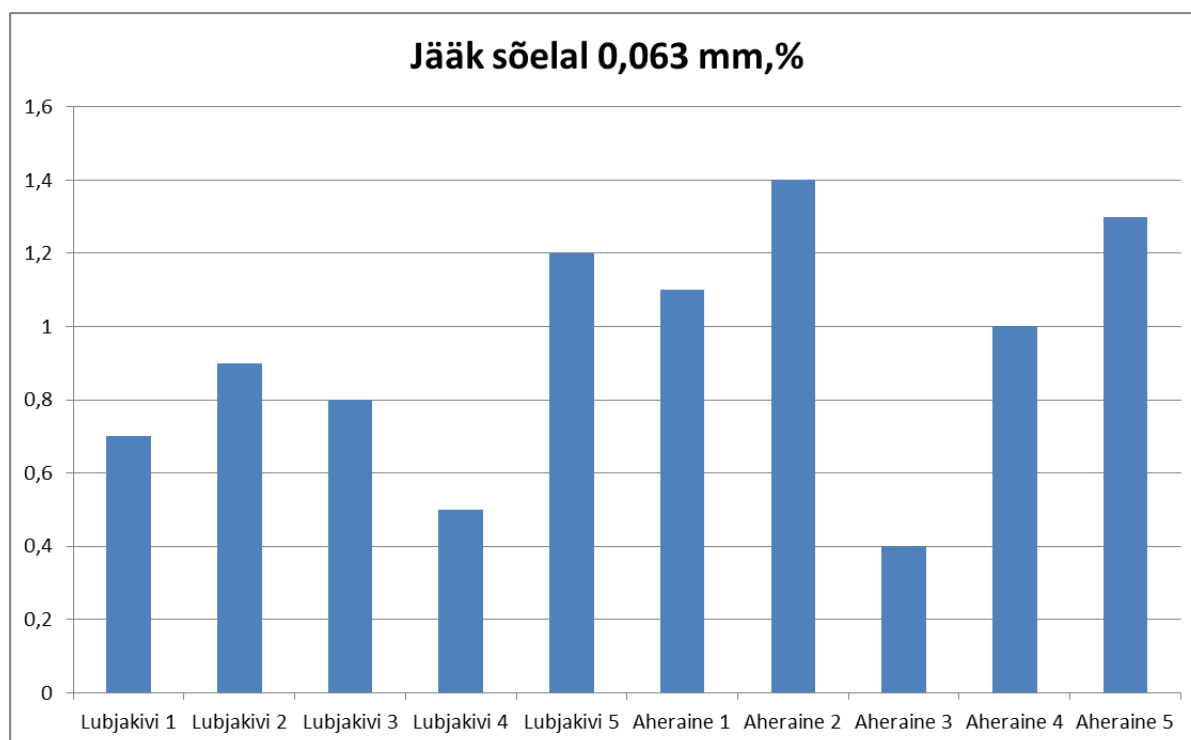
Joonis 25. Killustike katsetamine - Los Angeles' purunemiskindlus



Joonis 26. Killustike katsetamine - kuumutuskadu (org. aine sisaldus)

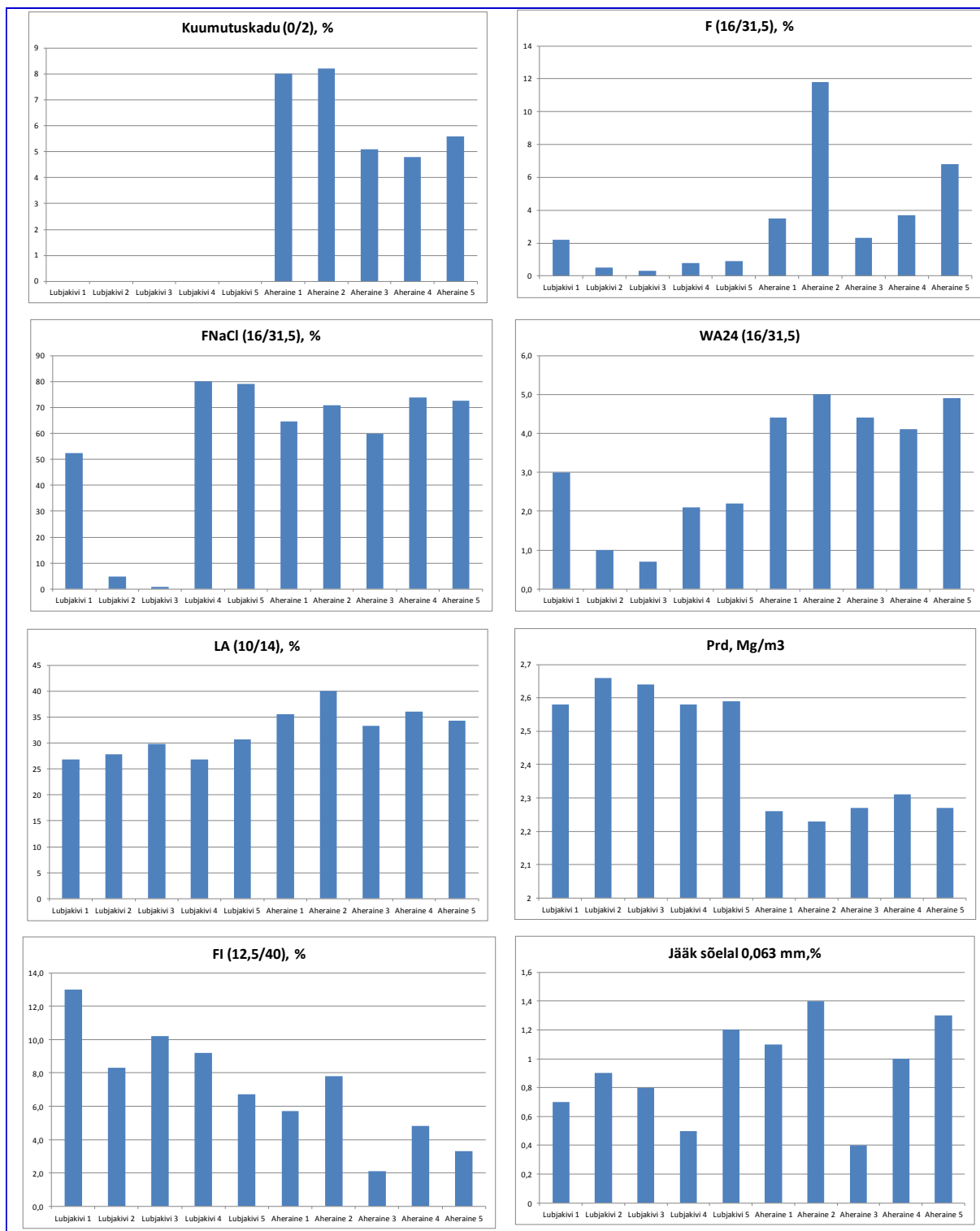


Joonis 27. Killustike katsetamine - plaatsustegur



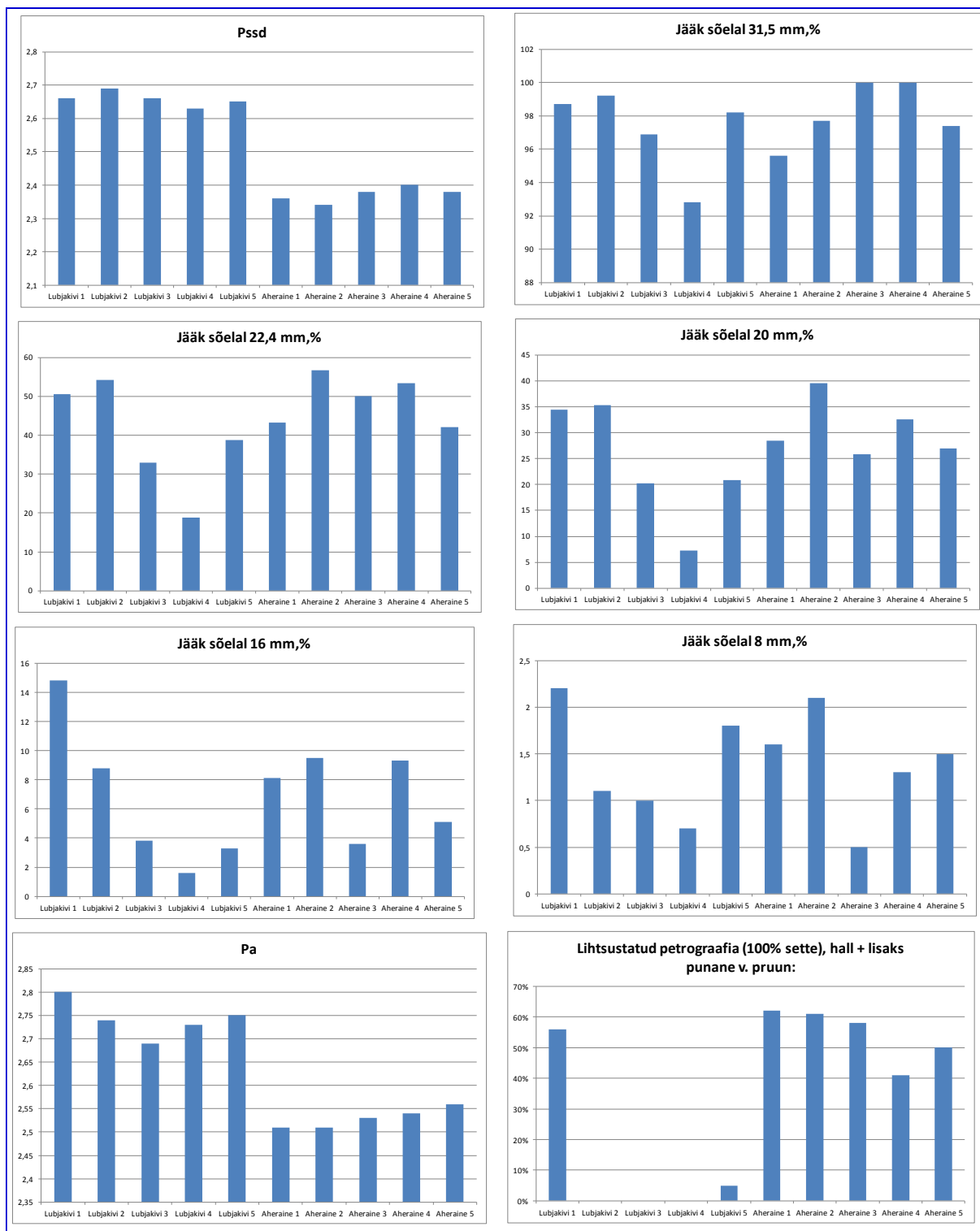
Joonis 28. Killustike katsetamine - peenosise sisaldus

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE

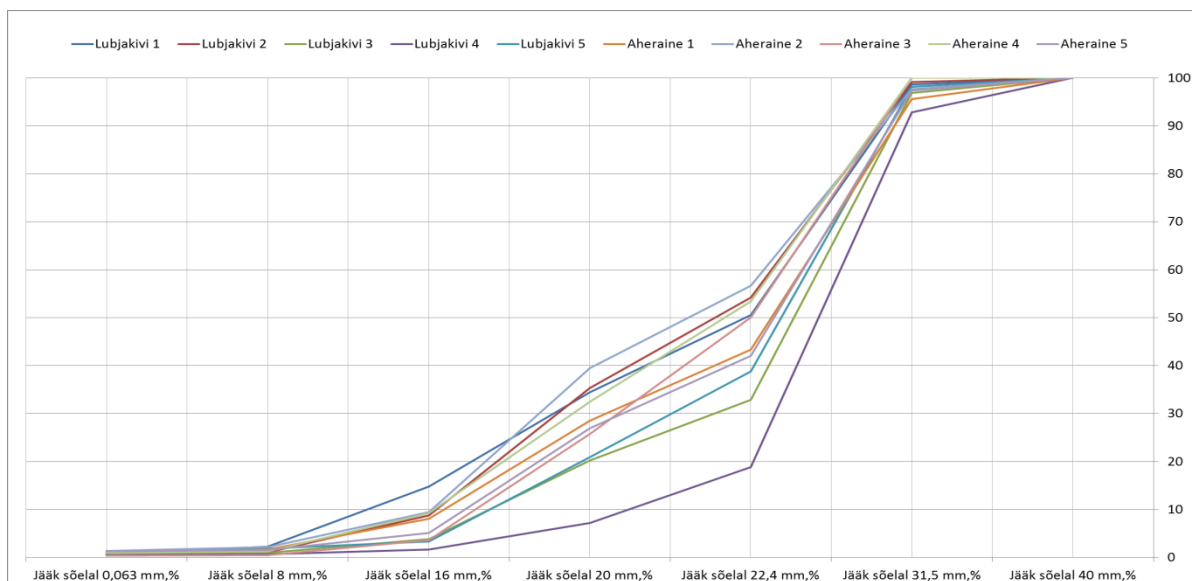


Joonis 29. Killustike katsetamine - koos

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE



Joonis 30. Killustike katsetamine - muud



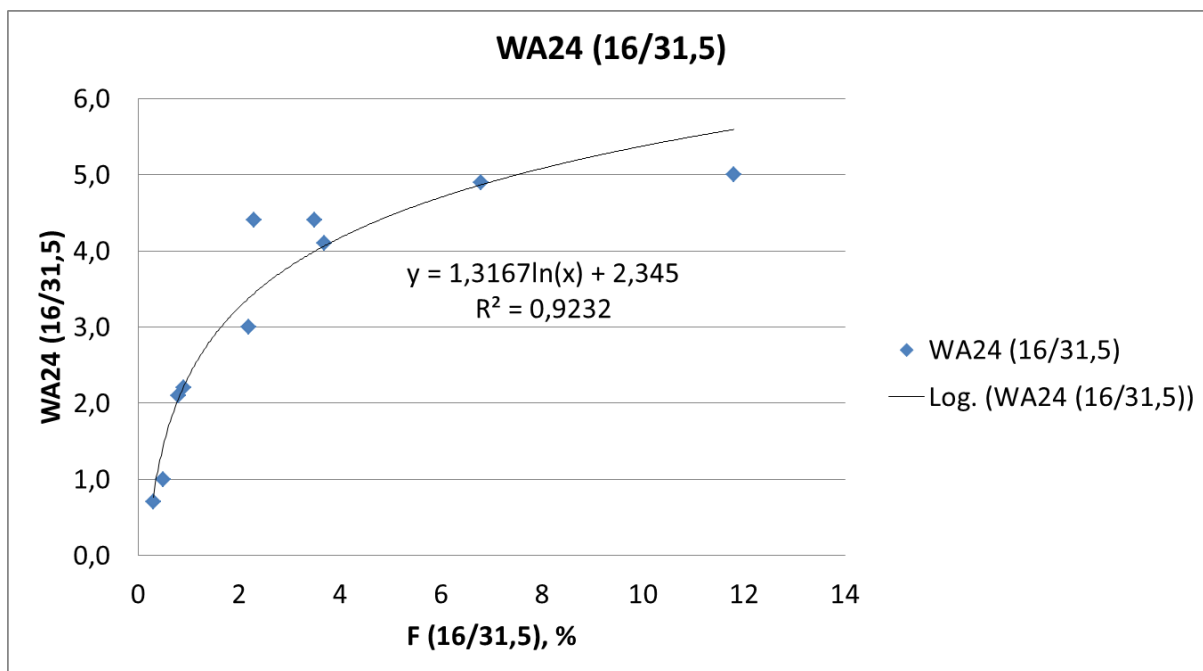
Joonis 31. Killustiku (fraktsioon 16/31,5) terastikulised koostised

Eelnevatelt joonistelt on näha, et valitud lubjakivikillustikud näitavad mõnevõrra paremaid tulemusi kui aherainekillustikud – LA lubjakivikillustikel 27...30, aherainekillustikel 33...36 (ühel juhul ka 40), veeimavus lubjakivikillustikel 2,1...3,0 (kahel juhul 0,7...1,0), aherainekillustikel 4,1...5,0, külmakindlus vees lubjakivikillustikel 0,3...2,2, aherainekillustikel 2,3...6,8 (ühel juhul 11,8).

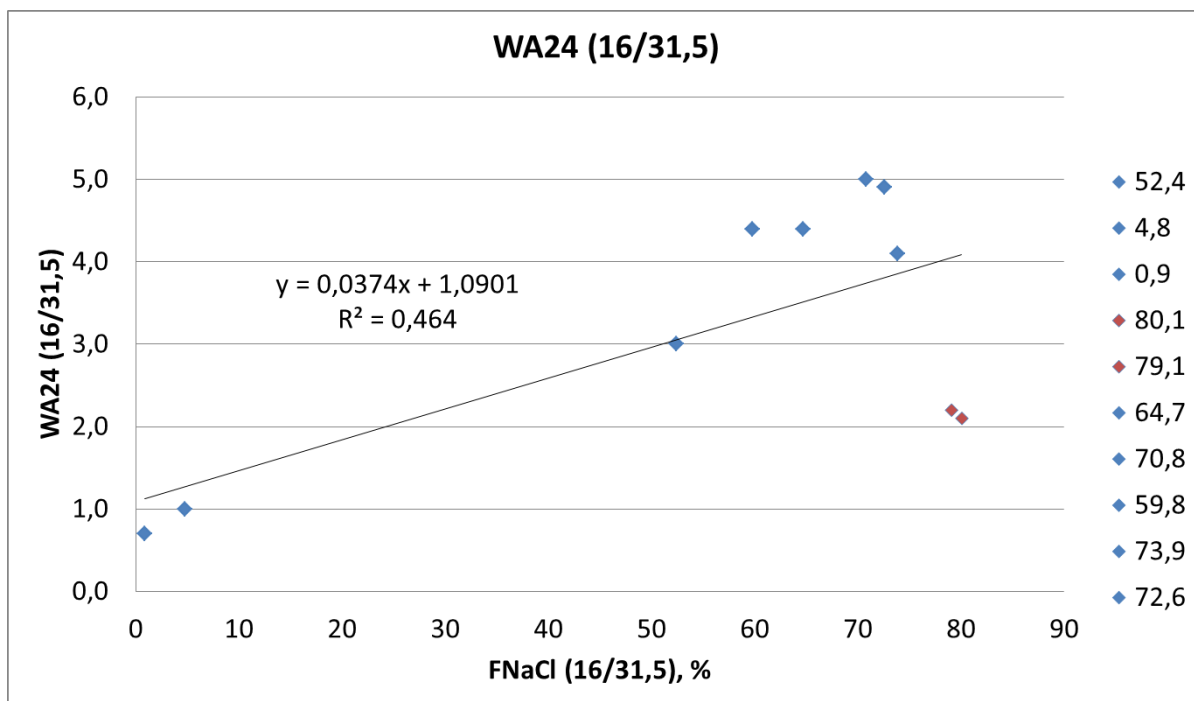
Üsna ühesuguse tulemuse andsid aga külmakindluse katsed soolalahuses, lubjakivikillustikel 52,4...80,1 ja aherainekillustikel 59,8...72,6. Samas eristusid selgelt kaks karjääri (dolokivi), mille tulemused olid (kahel juhul) 0,9...4,8.

Tugeva (logaritmilise) seose saamegi veeimavuse ja külmakindluse vahel. Determinatsioonikordaja $R^2 = 0,92$, mis on väga kõrge tulemus. Seevastu veeimavuse ja külmakindluse vahel soolalahuses arvestatav seos puudub – ka suhteliselt väikese veeimavuse korral ei pruugi, kuid on siiski võimalik, et soolvee keskkonnas puruneb proovikeha külmumistsükli tagajärjel kiiresti vt. allolevad joonised.

Põhjuseid tuleb ilmselt otsida kivimite mineroloogiast. On teada, et puhtamad lubjakivid reageerivad soolveele aktiivsemalt ja MgO sisaldus pärsib selliseid reaktsioone. Tundub, et karmis, 1% NaCl-lahuses on kõik puhtamate lubjakivide (nt. Lasnamäe, Aseri ja Kunda lade) esindajad sisuliselt võrdsed. Häid tulemusi näitasid lubja- ja dolokivid, mille MgO sisaldus on suur. Kõigil juhtudel on tegemist erinevate Raikküla lademe lubja- ja dolokividega.



Joonis 32. Logaritmiline seos veeimavuse ja külmakindluse vahel



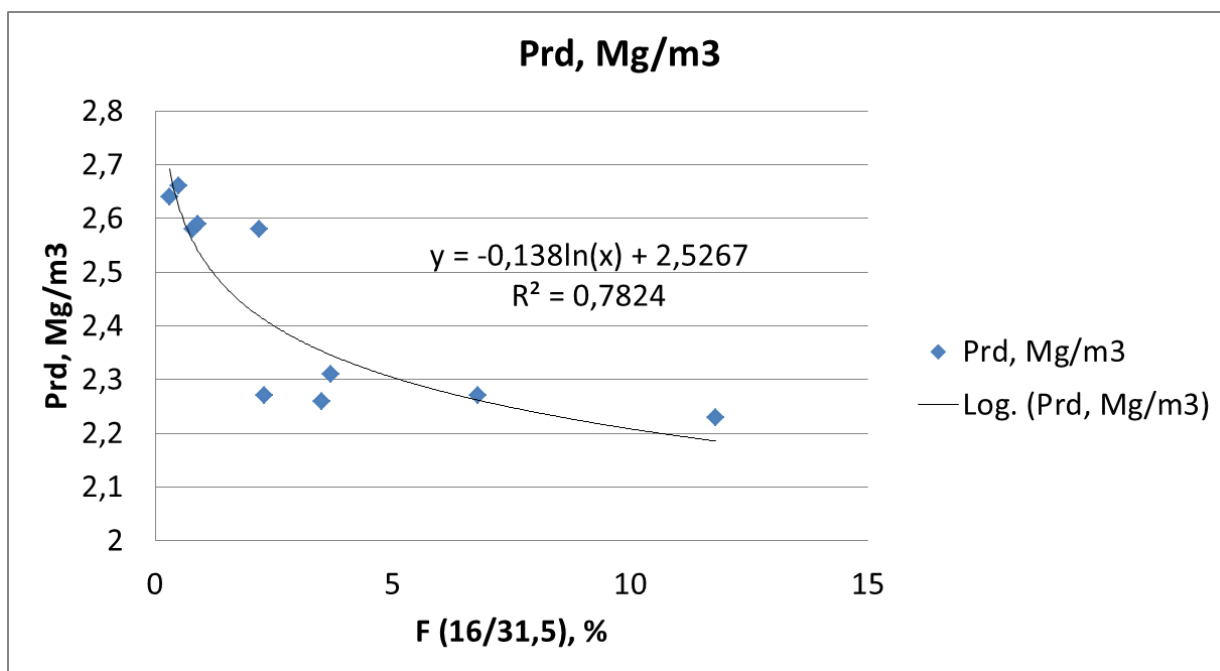
Joonis 33. Veeimavuse ja soolakülmakindluse vahel seos puudub

Erinevus soolakülmakindluses võib tuleneda konkreetse proovi koostisest ehk kuna lubja- ja dolokivi kaevandatakse sortimata kujul, võib proovi sattuda kas

ebaproportsionaalselt suur hulk soolvee suhtes stabiilsemat dolokivi või vastupidi – lubjakivi.

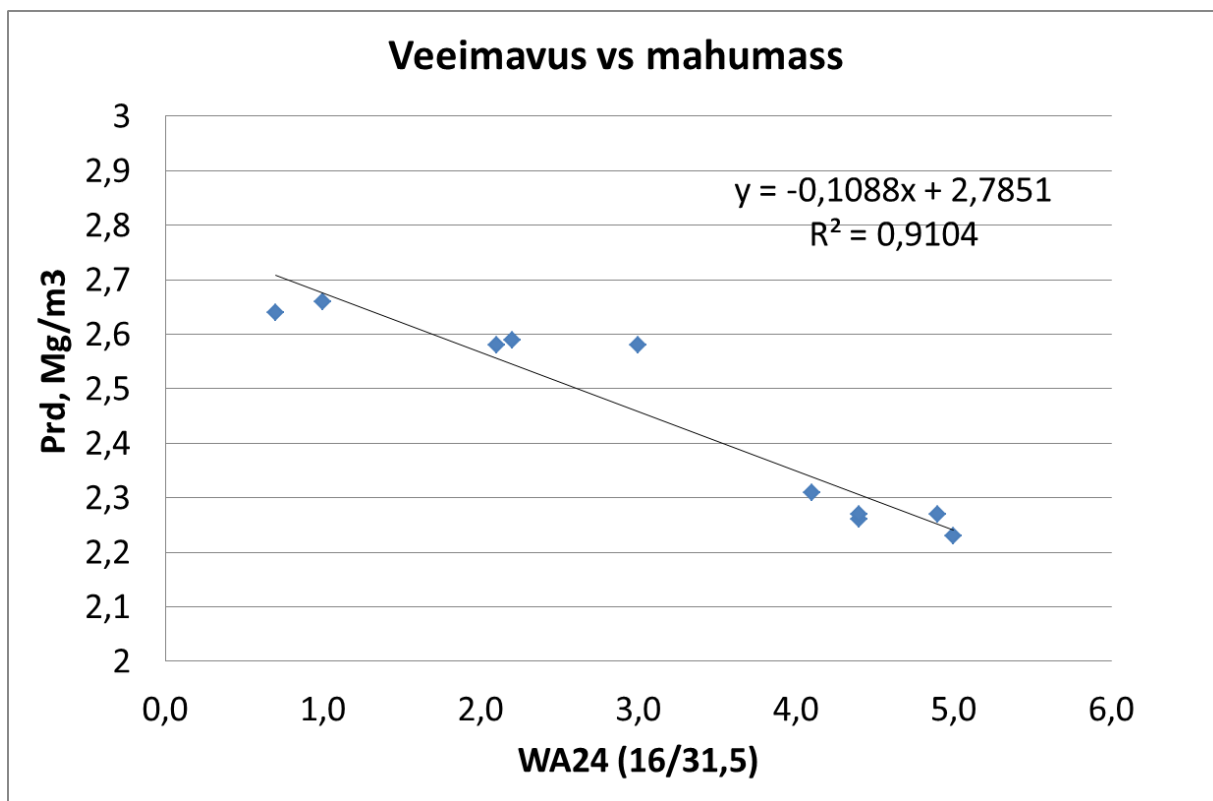
Edasised katsed soovitame teostada Estonia aherainekillustiku ja Kunda lubjakivikillustiku baasil. Võimaluse korral liita katsetesse täiendavalt eriti häid veeimavuse- ja külmakindluse tulemusi näidanud killustik (Sopimetsa II või Otisaare).

Alloleval joonisel on toodud logaritmiline seos külmakindluse ja mahumassi vahel. Seos on siiski tinglik ja hea determinatsioonikordaja näitab pigem aheraine ja muu paekivi struktuuri selget erinevust kui külmakindluse sõltuvuslikku seost mahumassiga.



Joonis 34. Seos mahumassi ja külmakindluse vahel

Küll aga võib allolevalt jooniselt näha tugevat lineaarset seost veeimavuse ja mahumassi vahel, determinatsioonikordajaga 0,91 (ilma Röstla karjääriga 0,96).

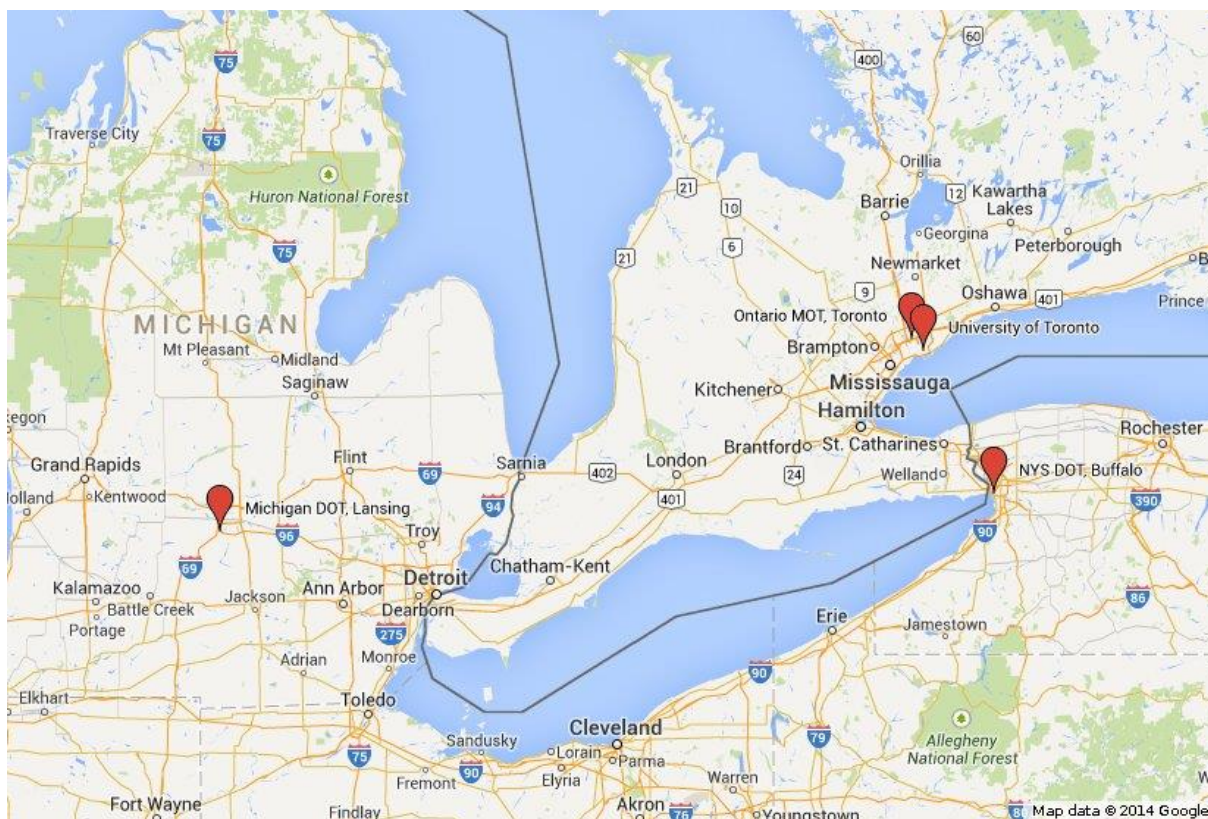


Joonis 35. Seos veeimavuse ja mahumassi vahel

5. KOHTUMISED KANADA JA USA EKSPERTIDEGA

Töö raames korraldati töökohtumised Ontarios (Kanada) ja Michiganis ning New York State'is (USA), vt. kaart allpool. Kohtuti peamiste tellijate esindajatega.

Kohtumised toimusid Kanadas Ontario osariigis Ministry of Transportation'iga (Ontario MoT) ja Toronto Ülikoolis geoloogispetsialist Karl Petersoniga, USA's Michigan Department of Transportation'iga (MDOT), New York State Department of Transportation'iga (NYSDOT). Lisaks külastasime erinevaid teedeehitus objekte mis asusid ümber Erie järve. Kokku sõitsime ca 2000km mööda USA ja Kanada teid, mis jäid koosolekupaikade toimumiste vahele. Seega nägime ühtlasi kuidas ehitatakse ja millises seisus on Suure-Järvistu (Erie) ümbruskonna teed. Kuna piirkond asub sarnases kliimavöötmes nagu Eesti ning valdav täitematerjal on katendites paekivi, siis õnnestus teha väga palju järeldusi mis kehtivad ka meie oludes.



Joonis 36. Kohtumised Kanada/USA teedeala tellijate ja ekspertidega

USA's ja Kanadas kasutatakse lubjakivi teedeehituses laialdaselt. Lubjakivile esitatavad nõude sõltuvad paigaldamise asukohast. Valdavalt on need nõuded

spetsiifiliste katsete põhised, milliseid Euroopas, sh. Eestis ei kasutata. On kasutusel ka sarnaseid katseid, mis Euroopas, kuid paljud on modifitseeritud vastavalt kohalikule tavale. Lisaks on katsete osas erinevusi osariigiti, mõnes kontrolliti külmakindlust soolalahuses, teises aga magneesiumsulfaadi (Mg_2SO_4) lahuses (ei külmutata kuid magneesiumsulfaat paisub sarnaselt vee jäätumisega). Kasutatakse ka külmakindluskatset NaCl lahuses, kui erinevalt meil 3% ja 5 tsüklit (meil 1% ja 10 tsüklit). Eraldi hinnatakse veel killustike läbi betoon külmakindluskatse (enda poolt välja töötatud) - mahumuutus. Lähedalt võrreldav on vaid purunemiskindluse katse e. nn LA-katse. LA'le on nõuded siiski suhteliselt tagasihoidlikud, jäädes sõltuvalt kasutuskohast piiridesse LA₃₀...LA₃₅, mõnel juhul veel nõrgem. Samas on Põhja-Ameerikas lubjakivide omadused teedeehituslike omaduste osas põhjalikult kaardistatud ja iga-aastaselt viiakse läbi ka karjääride materjalide kontrollkatsetusi, et veenduda materjali ühtluses ja jätkuvas vastavuses nõuetele. Need proovid võtab ja katsetab tellija ja väljastab omapoolse sertifikaadi materjalide aktsepteerimise kohta kasutamiseks riigimaanteedel. Ehitaja lepingus on esitatud nimekiri karjääridest, mis on sobilikud. Nii Kanadas kui USA's pööratakse lubajakivide puhul suurt tähelepanu geoloogilis-mineroloogilisele koostisele (petrograafiline hindamine).



Foto 1. Laboratooriumi külastus, stendil tüüpiline suure liiklusega maantee tarind

Kanadas transpordiamet kontrollib ise katselaborite kvaliteeti igaaastaste ringkatsetega (ca 150 laborit). Juhul kui labori hälve on liiga suur ei saa seda ehituse ajal kasutada. Tavaliselt on riiklik pealabor, iga maakonnakeskuse labor ja hulk väiksemaid eraettevõtete laboreid.



Foto 2. Stend Kanada tüüpiliste asfaltsegudega

USAs süsteem kohati erinev. Näiteks Michiganis teostab transpordiameti pealabor peamiselt vaid katseid, mida teised teha ei saa (pole vajalike katseseadmeid), samas NY osariik teostab kõik vastuvõtu katsed oma laboris. Huvitav fakt oli NY, et kui katsetatav proov vastab projekti nõuetele, siis väljastatakse vaid kinnituskiri, et vastab ja tegelikke katsetulemusi ei esitata. Katsetulemuste vaidluste korral rakendab Michigan süsteemi, kus on lepinguliselt juba fikseeritud pealabor, võetakse uus kontrollproov ja tulemus ei kuulu vaidlustamisele.



Foto 3. Tee laienduse aluskihi rajamine lubjakivikillustikusegust 2" (50mm)

Üheks oluliseks komponendiks Kanada ja USA lubjakivide koostises on ränikivi, milline mõjutab vastuoluliselt lõpptoodete omadusi. Tee konstruktsioonis

kasutatakse lubjakivikillustikku nii fraktsioneeritult kui sidumata seguna. Viimasel juhul on piiratud peenosise sisaldus (reeglina maksimaalselt 10% - 75 mikronit). Eraldi nõuet ega kontrollimeetodit vee läbilaskvusele ei kasutata (hindavad terakoostisega). Kanadas on olemas filtratsiooni määramiseks meetod, kus filtratsiooni määratakse Proctor vormi tihendatud proovist vee läbilaskmisega, kuid reaalselt seda ei kasutata. Mõnes osariigis ei lubata kasutada fraktsioneeritud killustiku betoonkatte all, kuna vuugid pole alati veetihedad ja kardetakse suure koguse vee külmumist fraktsioneeritud alusekihis ja külmakerkeid.



Foto 4. Betoontee maanteel 402, teepeenar asfaldist

Suure liiklusega teedel ja linnatänavatel on laialdaselt kasutusel betoonkatend, milles kasutatakse samuti lubja- ja dolokivi. Karedus saavutamiseks kasutatakse katte karestamist - teemantrihveldamist. Naastrehve ei kasutata. Kattekihi killustikelt nõutakse head poleerumiskindlust (*PSV - Polished Stone Value*). Elastsete katendite korral kasutatakse katte ülakihis poleerumiskindlamaid killustikke - Ontarios tardkivi, *New York State's (NYS)* ränikivirikkamaid lubjakivisid. Kanadas (*Ontario*) on LA-st olulisem nõue *Micro-Deval (MD)*, kuna väidetavalt ei ole korrelatsiooni LA tulemuse ja tegeliku olukorra vahel teel.

Micro-Deval on olemuselt sarnane katse põhjamaades ja ka meil kaustatava *Nordic* katsega.



Foto 5. Näidised tüüpiliste tarinditega Michiganis (vähendus 2x)

Maksimum lubatud *Micro-Deval* väärtus on 18%. Samuti ei lubata kasutada killustike, mille veeimavus on üle 2% (nii betoon, kui asfalt). Vanade betoonkatete tasasuse taastamiseks teostatakse ülekatmisi asfaldiga kuigi aastate möödudes hakkavad ka nendel teedel betoonivuugid läbi peegelduma.



Foto 6. Esiplaanil katsetöö proovikeha seotud lubjakivist drenkillustikuga, vasakul laual külmakindluse proovikehad pärast katsetamist – mõõdetakse pikenemist

Suure liiklusega teedel lubatakse reeglina alternatiivseid pakkumisi - st. tellija poolt antakse ette nii betoontee- kui asfalttee variant ning lõplik valik tehakse eeldatavate elukaarekulude põhjal. Võrreldavus tagatakse ettemääratud koefitsientide kasutamisega pakkumuste hindamisel. Järelevalvet riigimaanteedel teostavad valdavalt Maanteeameti töötajad ise kuid mahtude kasvades antakse osa töid konsultantidele välja. Konsultant valitakse üksnes mitterahaliste põhimõtete järgi, st. odavam hind pole ühelgi juhul argumendiks. Sama kehtib uuringute puhul. Järelevalve proovid võtab vastava väljaõppe saanud ehitaja poolne töötaja järelevalvetöötaja juuresolekul. Objektide garantiiajad kõiguvad – 0 kuni 5 aastat.

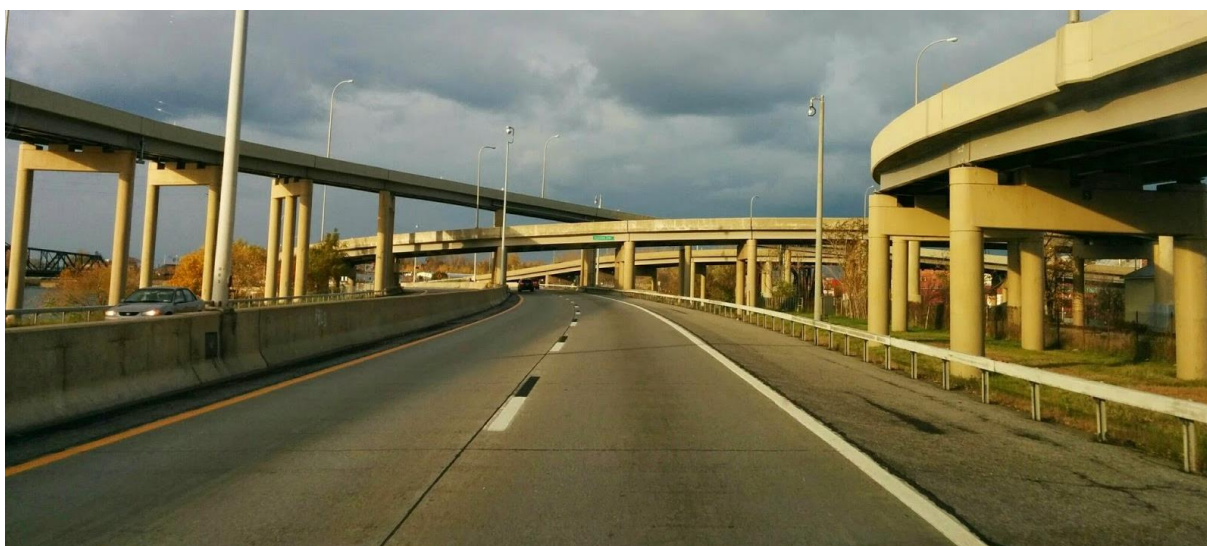


Foto 7. Betoonteed New York State'is, Buffalo lähistel, peenar asfaldist

NYSDot'is kasutakse ka projekteerimisel ja geoloogia tegemisel oma maja töötajaid. Selles osariigis üldiselt ehitaja garantiid ei küsita kuna kogu projekteerimise-, labori- ja järelevalve tegevus toimub osariigi transpordiameti enda poolt kuna aastakümnete pikkuse kogemuse põhjal on neil teada millised lahendused töötavad ja millised mitte. Seega põhiline on neil, et ehitaja õigesti ja õiged materjalid paigaldaks vastavatesse konstruktsioonidesse.



Foto 8. Liiklejaid manitsetakse ellujäämiseks ärkvel püsima

Kõikide kihtide ehitamisel kasutatakse tihendatuse hindamiseks Troxler-tüüpi seadmeid. Nii USA kui Kanada on lubjakivikillustikke kasutanud aastakümneid ja töötanud välja tõhusad süsteemid oma kohaliku materjali efektiivseks kasutamiseks.



Foto 9. Tee tarindi ja pinnaste uuringute seadmed NYS'is, vasakul nurgas puurtorud

Kõik uuringu objektiks olnud kolm piirkonda on erinevad geoloogia aga ka mõnevõrra lubjakivi omaduste poolest, mistõttu on mõnevõrra erinevad ka viisid kuidas lubjakivi kasutust reguleeritakse. On päris selge, et Eesti geoloogilised tingimused aga ka lubjakivid on taaskord erinevad nendest kolmest. Siiski on tõenäoliselt tegemist Eestile kõige sarnasemete tingimustega maailmas

kliimaatilis-geoloogilises mõttes, mistõttu sobib Eestile suurepäraselt eeskujuks paekivi kasutamise arendamisel.



Foto 10. Niagara Escarpment paekiviastang ja Rainbow sild

Edaspidi on vajalik põhjalikumalt tegeleda konkreetsete aspektidega lubjakivi kasutamisel nii nendes kui teistes USA põhjapoolsetes osariikides. Näiteks Kansases, kus lubjakivi omadused on kehvemad kui käesoleva uuringu raames külastatud riikides. USA ja Kanada kolleegidega rääkides veendusime taas kui oluline vaadata kogu tarindit tervikuna pöörates iseäranis suurt tähelepanu vete liikumisvõimalustele tarindis, sh. külmumisel ja sulamisel. Enamus teedel kasutatakse vete ärajuhtimiseks näiteks pikidreentorusid, et vesi katendist välja saada. Muuhulgas tasub selgitada, milliste omadustega on Eesti paekillustikud võrdluses USA ja Kanada paekillustikega ja kuidas need sobituvad nt. USA normidesse ja vastupidi – kuidas sobivad mõned USA paekivid Eesti normidega. Seda on võimalik teha vaid vastavate võrdluskatsetega kuid see aitab mõista USA's ja Kanadas tehtud valikute konteksti ja Eesti paekillustike potentsiaali ja võimalusi. Lisaks tasuks uuringutes käsitleda ka lubjakivi killustike kulumiskindluse katset (nn „*Nordic*-katse“).

Muud tähelepanekud:

- a) USA's on veokite teljekoormuse piirang 8t, Kanadas 9t ja meil 10t.
- b) Naastrehve ei kasutata, mistõttu kulumisroobast praktiliselt ei teki
- c) Kuna naaste ei kasutata, mistõttu kasutatakse palju rohkem NaCl libeduse tõrjeks
- d) Kuna tugev paekivi ei ima vett, ei karda see ka soola, probleem on vaid poleeritavus

- e) P-Ameerika paekivi on kokkuvõttes üldjoontes sarnane Eesti omaga, kuid piisavalt on tugevat paekivi, mistõttu nõrgemat ei ole vaja kaevandada ega ammugi vääristamisele ei ole vajadust mõelda.
- f) Kütus on ca 2x odavam kui meil – materjali jms transport seetõttu odavam;
- g) Tasasuse ja pragude mõttes on nähtud teedevõrgustik Eesti omaga võrreldav – seda nii maanteede kui linnade osas, põhimaanteede osas on Eestis seisund on mõnevõrra parem

6. KILLUSTIKU IMMUTAMISE TEOREETILISED ALUSED KIRJANDUSE PÕHJAL

Sissejuhatus

Kuna Eestis kaevandatava põlevkiviga kaasneb suure hulga aheraine teke, siis püütakse sellele leida võimalikult laia kasutusala. Üks võimalus on seda kasutada täitematerjalidena teede ehitamisel. Kuid aheraine koostisest tingituna ei ole selle kvaliteet kõige parem ehk see vajab jääkpõlevkivist puhastamist. Killustiku omaduste parandamise võimalustena nähakse erinevate sideainete ja immutusmaterjalide kasutamist.

Käesoleva töö eesmärgiks on anda kirjandusallikate põhjal ülevaade protsessidest põlevkiviaheraine ja selle omaduste parandamiseks võimalike potentsiaalsete sideainete vahel, mis võimaldaks valida sobivaimad edaspidisteks katseteks. Selleks on lühidalt käsitletud ka üldlevinud sideainete keemilisi aluseid.

Üldmõisted

Sideained

Ehituses mõistetakse sideaine all pulbrilisi materjale, mis vastastikusel toimel veega moodustavad algul plastilise massi, millele võib anda igasuguse kuju. Aja jooksul kaotab see liikuvuse ja omandab kivisarnase struktuuri. Sideained jaotatakse mineraalseteks (tsement, lubi, kips) ja orgaanilisteks (liimid, plastmassid, polümeerid, vaigud). Ehituses kasutatakse peamiselt mineraalseid sideaineid, mida saadakse looduslike üksikute kivimite (lubjakivi, kipsikivi, savi jm.) või kivimite segude termilise ja mehaanilise aktiveerimise teel. Vajalike kivistumistingimuste järgi jaotatakse mineraalsed sideained kaheks: õhksideaineteks ja hüdraulilisteks sideaineteks. Esimesed on suutelised kivistuma ja oma tugevust säilitama ainult õhus. Niiskes keskkonnas need sideained ei kivistu. Tuntuimateks on õhklubi, kips- ja magnesiaalsed sideained. Hüdraulilised sideained, mis õhksideainetest on üldiselt tugevamad, vajavad kivistumiseks

niisket keskkonda. Nendest tuntuimateks on hüdrauliline lubi, romaantsement ja portlandtsement.¹

Põlevkivi aheraine

Põlevkivi kaevandamisega kaasneb aheraine teke. Aheraine on maavarale kaasnev kivim, mis ei sisalda või sisaldab liiga vähe kasulikku maavara. Põlevkivi aheraine koosneb paest ja põlevkivist.

Paekivi ehk paas on lubjakivi, dolokivi ja mergli üldnimetus. Kõige levinum vorm on lubjakivi (CaCO_3) ja küllalt olulisel määral võib paas sisaldada ka dolokivi, mille põhikomponent on MgCO_3 . Seega määrab aheraine mineraalse osa keemilised reaktsioonid põhiliselt karbonaatsete ühendite sisaldus, kuna merglis sisalduvad savimineraalid peaksid inertseks jääma. Kuna karbonaadidki hakkavad lagunema tunduvalt kõrgematel temperatuuridel, kui teedeehituses kasutatakse, siis termilist lagunemist oodata ei ole. Küll aga võivad toimuda keemilised protsessid, kui paekivi satub tugevalt happelisse keskkonda. Aheraines sisalduv põlevkivi on tavatingimustes inertne aine.

Põlevkivi rikastamise alla kuulub põlevkivi sõelumine, rikastamine ja valikpurustamine. Aheraine koostis sõltub rikastusvabriku protsesside efektiivsusest. Aheraine fraktsioonid on 25/100 ja 100/300 mm.²

Varasemad uuringud 1990. aastatel on näidanud, et aherainest on võimalik toota täitematerjali tsiviil- ja teedeehituse tarvis margiga M400–M600 ning külmakindlusega 25 tsükli. Toodetud täitematerjal on kasutatav väikese koormusega teedel ning tagab betooni tugevuse M300 ja külmakindluse F150–

¹ Jürmann, Kermo. Lubja kui ehitusmaterjali ja selle erinevate tootmismeetodite keskkonnanalüüs. Magistritöö – Tartu, 2004, lk.4
http://www.ehituslahendused.ee/download/keskastmeprojekt_kerm_j%FCrmann.pdf
/20.10.2004

² Kukk Raili. Põlevkivi aheraine kasutamise ja ümbertöötlemise võimalused. Kogumik Kaevandamine ja keskkond. – TTÜ Mäeinstituut, 2012. –70-74 .//
<http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/kogumik/2012/artiklid/KAEVANDAMINE%20JA%20KESKKOND7.pdf> 11.10.2014

F200 vastavalt GOSTile. Täitematerjali külmakindluse kaudu on leitud maksimaalne veeimavus 5%, mille juures täitematerjal on ehituses kasutatav.

Uute uuringute tulemusena on leitud, et võrreldes toodetavate lubjakivikillustikega on põlevkivi aherainest toodetud täitematerjalide peamiseks kasutamist piiravateks omadusteks madalam külma- ja purunemiskindlus, mis on tingitud nõrkade põlevkiviterade sisaldusest täitematerjalis. Katsed kinnitavad, et aherainest toodetud täitematerjali füüsikalised omadused on korrelatsioonis kütvusega ning täitematerjali külmakindlus määrab ära aheraine kasutamise võimalused ehitustegevuses. Aheraine kütvus on vahemikus 1,8–3,5 MJ/kg. Põlevkiviosakesed mõjutavad täitematerjali külmakindlust ja vähem purunemiskindlust. Leitud on väljamis-, purustus- ja sorteerimistehnoloogiad põlevkiviosakeste vältimiseks ja eemaldamiseks täitematerjalidest. Purustustsüklite arvu suurendades purustatakse nõrgem põlevkivi sisaldav materjal ning sõelapealse materjali külma- ja purunemiskindlus paraneb³.

Teine võimalus põlevkivi aheraine mehaanilisi omadusi ja külmakindlust parandada on aheraine immutamine teetööde käigus sobiva vahendiga ehk sideainete kasutamine. Kuna külmakindlus sõltub suuresti materjali struktuurist selle niiskumisel (võimalikud külmalõhed), siis tuleks viia miinimumini vee sattumine aheraine pooridesse ja lõhedesse. Seega peaksid immutusvahendid mingil viisil vett tõrjuma ja samas soovitatavalt suurendama ka materjali mehaanilist vastupidavust.

Võimalikud protsessid aheraine ja sideaine või immutusvahendi pinnal.

Antud kontekstis tuleb tegelikult jälgida kolmiksüsteemi aheraine-immutusvahend-vesi, kuna vesi on adsorbeerunud aheraine pinnale ja pooridesse ja selle veevabaks kuivatamine ei ole majanduslikult mõistlik.

³ Tohver Tarmo. Doktoritöö: Põlevkivi kaevandamis- ja rikastamisjääkide kasutamine. Inseneeria juuni 2011 // <http://www.inseneeria.ee/dokoritoeoe-polevkivi-kaevandamis-ja-rikastamisjaeakide-kasutamine> 05.10.2014 vt ka Tohver, T. (2010). Utilization of waste rock from oil shale mining. Oil Shale 4(27): lk. 239-241.

Keemiline sidumine

Keemilise sidumise korral toimuvad keemised reaktsioonid aheraine ja immutusvahendi komponentide vahel, mis peaksid kindlustama mehaaniliste omaduste ja /või külmakindluse paranemise. See saab toimuda siis, kui tekkivad ühendid suurendavad aheraine pinna hüdrofoobseid (vett tõrjuvaid) omadusi nõrgendamata samal ajal mehhaanilisi omadusi.

Keemilise sidumise üheks vormiks võib pidada ka hüdrofobiseerumist. See on protsess, kus immutusvahend tõrjub materjali pinnalt välja veemolekulid ja moodustab edaspidiseks vett tõrjuva kihi (vt. allpool räniühenditega töötlemine).

Polümeerse pinnakatte tekkimine

Immutamise käigus on võimalik ka aheraine osakeste pinnale polümeerse vett mitte läbi laskva kihi tekkimine, mis peaks tõstma selle külmakindlust ja samal ajal võib kaasa aidata mehaaniliste omaduste paranemisele. Keemilist sidet aheraine ja immutusvahendi vahel reeglina ei teki. Kas polümeerne kiht imbib ka osakeste pooridesse, sõltub pooride suurusel ja immutusvahendi viskoossusest. Mida väiksem sideaine viskoossus aherainega kokkupuute momendil, seda paremini see pooridesse jõuab.

Mineraalsed sideained

Ehituslubi

Lubi on üks vanemaid sideaineid üldse. Kustutatamata lubi ehk toorlubi (CaO) saadakse lubjakivide (CaCO₃) põletamisel 1000 – 1200 °C juures, mil toimub dekarboniseerumine):



Lupja toodetakse paekivist ehk paest, mis on karbonaatsete kivimite – lubjakivi, dolomiidi ja mergli üldnimetus. Paekivi kõige levinuim erim on lubjakivi. Keemiliselt puhas lubjakivi sisaldab 56% CaO ja 44% CO₂. Dolomiit ehk dolokivi sisaldab kuni 21,7% MgO, 30% CaO ja 48% CO₂. Lubjakivi ja dolomiidi vahel on pidevad üleminekud, sest suurem osa dolomiidist on tekkinud lubjakivi dolomiidistumisel. Mergel on vahepealne kivim lubjakivi ja savi vahel ning sisaldab 25-50% savikat materjali. Lisanditest ja nende hulgast oleneb, millist ja

mis otsetarbelist lubja toota saab. Lubjatööstus ei luba tooraines MgO sisaldust üle 2% ja SiO₂, Al₂O₃ ning Fe₂O₃ sisaldust üle 3%.

Kustutamata lubjas võib leida üksikuid põlemata jäänud lubjakivi (CaCO₃) ja ülepõlenud (CaO ja MgO) tükke. Põlemata jäänud lubjakivi tükid tekivad siis, kui temperatuur lubjapõletamiseks on liiga madal. Liiga kõrge põletustemperatuuri korral võivad aga tekkida ülepõletatud tükid, mis kustuvad väga aeglaselt. Selline olukord on tingitud dolomiitse lubjakivi kasutamisega, mis sisaldavad MgCO₃. Nii põletamata jäänud kui ülepõletatud tükid vähendavad lubja kvaliteeti, sest neil puuduvad sideainelised omadused.

Varasematel aegadel kasutati lubisideainena põhiliselt kustutamata jahvatatud lubja. Kustutamata lubjale omased puudused nagu suur mahukahanemine, kõrged kustumistemperatuurid ja töö ohutusnõuded on põhjused, miks kasutatakse nüüdisajal laialdaselt kustutatud lubjasid.

Kustutatud ehk hüdraatlubi saadakse kustutamata lubjale kontrollitud tingimustes vee lisamisel:



Kuna aheraine töötlemisel kasutatakse hüdraulilisi sideaineid, siis õhklubja omadusi siin ei käsitleta.

Hüdraulilise lubja tootmine ei erine oluliselt õhklubja tootmisest. Hüdraulilist lubja on võimalik saada kasutades toorainena lubakive, milles on saviühendeid 6-20% või lisades valmis lubjale hüdraulilisi komponente (Helves, 1996).

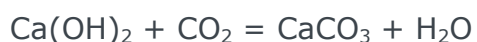
Lubjakivis sisalduvad saviühendid reageerivad põletamise käigus CaO-ga ja moodustavad dikaltsiumsilikaadi (2CaO*SiO₂), kaltsiumaluminaadi (CaO*Al₂O₃) ja dikaltsiumferriidi (2CaO*Fe₂O₃). Samuti võib täheldada aeglasemat lubja kustumist, kuna CaO osakesed on reaktsiooniproduktidest ümbritsetud. Hüdrauliline lubi kustub pulbriks, mitte tainaks. Kustutamisel ei kustu hüdrauliline lubi täielikult, vaid jätab järele rohkelt kiviseid tükke. Hüdraulilist osa on võimalik sõeludes eraldada. Sellist väljasõelatud osa nimetatakse mittekustuvaks jäägiks, mis sisaldab liiva ja ülepõletatud Ca- ja Mg-oksiidi. Muutused põletamistingimustes ja tooraine koostises võivad põhjustada väga erinevate omadustega hüdraulilise lubja tekkimist (Helves, 1996).

Peale saviühendeid sisaldava lubjakivi põletamist on hüdraulilist lupja võimalik saada mitmesuguste hüdrauliliste lisandite kasutamisel. Laiemas mõttes on kõik hüdraulilised lisandid amorfset SiO_2 ja Al_2O_3 sisaldavad materjalid. Nende põhiomaduseks on reageerimine vesilahuses Ca(OH)_2 -ga, moodustades peamiselt kaltsiumhüdrosilikaadi ja kaltsiumhüdraluminaadi.

Väga heaks lisandiks peetakse ka põlevkivituhka.

Ehitusel lupja sideainena kasutades lisatakse sellele täiteaineid, millest peamine on liiv. Parim komponentide suhe mördis on selline, kus on täpselt niipalju sideainet, et ta moodustaks täitematerjali terade vahel õhukese kelme, mis terad omavahel hästi seob.

Lubimört on ainulaadne sideaine. Erinevalt teistest mörtidest (näiteks kips- ja tsementmördid), mis moodustavad vee toimele siduva kristallstruktuuri, peab lubimört ühinema õhu süsihappegaasiga. Viimase tulemusena vabaneb vesi ja lubi muutub uuesti lubjakiviks.



Karboniseerumine on tundlik protsess ja sõltub temperatuurist, niiskusest ja seotava materjali tihedusest ning poorsusest. Kuna selline gaasivahetus on aeglane, võib protsessi täielikult lõpuni kulgemiseks kuluda aastaid. Pikaajalisel kõvenemisel mördi tugevus mikrotasandil suureneb. Karboniseerudes tõmbub lubjapasta kokku ligikaudu 35% ulatuses. Kokkutõmbumise vältimiseks on vaja lisada lubjale täiteainet, mis suurendab poorsust, kergendades niiviisi gaasivahetust ja kiirendades seega karboniseerumist. Poorne lubimört imab endasse hästi sügisest ja kevadist vihmavett, seega peab seinale kantav krohv olema piisavalt paks ja lubjarikas. Kui krohvikihht on õhuke, siis sellesse imbunud niiskus ei saa hajuda ja külmade saabudes on kõik poorid vett täis. Külmates vesi paisub ja kui selleks ruumi ei ole, siis krohv praguneb. Paks krohv on külmakindel, kuid võimaluse korral tuleks mördiga kaetud osad alati sademete eest kaitsta. Suurt tähelepanu tuleks pöörata ka maapinnast tõusvale

kapillaarsele niiskusele, mis tungides kõigisse poorsetest materjalidest müüridesse, on üheks olulisimaks müürikahjustuste tekitajaks⁴.

Lubja kasutamisel sideainena põlevkiviaheraine juures tuleks kaaluda katsetamist koos täiteainega, miks mitte koos mõne põlevkivi tuha fraktsiooniga vähemalt laboratoorsel tasemel, see vähendaks lubja kogust ja samal ajal täidaks paremini tühemikke. Samal ajal tuleks vältida kapillaarvee tõusmist materjali sisse.

Tsement

Tsemendid on põhimõtteliselt sideained, mis seovad peenestatud tahke materjali kokku üheks tervikuks. Võivad olla nii looduslikku (neid siinkohal ei käsitleta) kui tehislikku päritolu. Neid liigitatakse hüdraulilisteks ja mittehüdraulilisteks- Viimased vees ei kõvastu (edaspidi ei käsitleta)

Kuna tsement on üks olulisemaid sideaineid, siis käsitletakse selles toimuvaid protsesse põhjalikumalt, alates toorainest, kuni vastasmõjudeni täiteainetega. Samuti aitab see hiljem paremini mõista põlevkivi tuhade kasutamise eripärasid.

Tsemendi toorained ja esmaste struktuuride moodustumine klinkris [3, lk. 143-152]

Hüdrauliliste tsementide kolm põhilist lähtekomponenti on lubi, liiv (ränioksiid) ja alumiiniumoksiid. Lisaks sisaldab enamus tsemente väiksemates kogustes raudoksiidi, vääveltrioksiidi ja leeliseid. Tasub meeles pidada, et kui mineraalide või nendest toodetud valmististe koostised antakse oksiide summana, ei tähenda see alati sugugi seda, et need elemendid seal ka tegelikult oksiididena esinevad. Tegelikuses on enamasti tegu keeruliste kompleksühendite summaga, mille täpset koostist on keeruline määrata ja igapäevases elus tihti pole ka vaja. (Vääveltrioksiid on tegelikuses gaas ja mineraalsetes materjalides esineb

⁴ Jürmann, Kermo. Lubja kui ehitusmaterjali ja selle erinevate tootmismeetodite keskkonnanalane analüüs. Magistritöö - Tartu, 2004, lk.5-20
http://www.ehituslahendused.ee/download/keskastmeprojekt_kerm_j%FCrmann.pdf

sulfaatide kujul. Leelismetallide oksiidid aga on väga tundlikud õhu niiskuse suhtes ja reageerivad sellega viivitamatult, eraldades vesinikku, mis aga reaalses elus teeks segu üpris plahvatusohtlikuks.).

Igal komponendil on tsemendi koostises täita oma roll, mida on ka põhjalikult uuritud.

Tabel 3. Tabel Portlandtsemendi komponentide rollid [3, lk. 146]

Oksiid	Roll tsemendi koostises	Sisaldus, %
CaO	Kontrollib tugevust ja defektsust, Defitsiit vähendab tugevust ja valmimisaega	60-65
SiO₂	Annab tugevust. Liig põhjustab aeglase valmimise	17-25
Al₂O₃	Vastutab kiire valmimise eest, kui on liias vähendab tugevust	3-8
Fe₂O₃	Annab värvi ja aitab kaasa erinevate koostisosade kokkusulamisele	0,5-6
MgO	Annab värvi ja tugevust, kui on liias, põhjustab mördis ja tsemendis pragusid ja defektsust	0,5-4
Na₂O+K₂O	Jääklisandid, mis põhjustavad liias esinedes pragunemist	0,5-1,3
TiO₂		0,1-0,4
P₂O₅		0,1-0,2
SO₃	Teeb tsemendi defektseks	1-2

Märkused;

1. Tsemenditaina valmimist kontrollitakse SiO₂/(Al₂O₃+Fe₂O₃) suhtega
2. Kui hüdrateerumisel pole soovitatav suurema hulga soojuse eraldumine, suurendatakse ränidioksiidi hulka kuni 21 protsendini ja alumiinium- ning raudoksiidide sisaldus on mõlema jaoks limiteeritud 6 protsendiga.
3. Vastupidavust sulfaatsete vete toimele saab suurendada ränidioksiidi sisalduse tõstmisega 24 protsendini ja vähendades vastavalt raudoksiidi ja alumiiniumoksiide sisaldust 4%-ni.
4. Suur ränidioksiidi sisaldus põhjustab halvasti jahvatatava kõva klinkri tekkimise
5. Leelised kiirendavad tsemenditaina valmimist

Klinkri põletamisel tekivad mitmesugused ühendid, millest on identifitseeritud neli peamist, vaata tabel allpool.

Tabel 4. Peamised klinkriühendid

Mineraalne komponent	valem	Nimetus	Sümbol
1. Trikaltsiumsilikaat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	aliit	C_3S
2. Dikaltsiumsilikaat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	beliit	C_2S
3. Trikaltsiumaluminaat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	tseliit	C_3A
4. Tetrakaltsiumaluminoferriit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	feliit	C_4AF

Tsemendi omadused varieeruvad üsna tugevasti sõltuvalt nende tabelis toodud komponentide sisaldusest.

Trikaltsiumsilikaati peetakse parimaks tsementeerivaks materjaliks, sisaldus 25-50 % (tavaliselt umbes 40%). Suurendab vastupidavust külmumisele ja sulamisele, hüdrateerub kiiresti suure hulga soojuse eraldumisega ja viib kiirele kõvastumisele. Kuid sisalduse tõus teatud tasemest kõrgemale tõstab hüdrateerumissoojuse liiga kõrgele ja suurendab tsemendi vees lahustuvust.

Dikaltsiumsilikaadi sisaldus on 25-40% (tavaliselt umbes 32 %), see hüdrateerub ja kõveneb aeglaselt ja saavutab oma tugevuse alles pika aja jooksul (kuni aasta). C_2S sisalduse tõstmine vähendab tsemendi tugevust ja vastupanu külmumisele ja sulatamisele kõvastumisperioodi algupoolel, kuid umbes aasta pärast on võrreldav C_3S -ga.

Trikaltsiumaluminaadi sisaldus tsemendis on 5-11% (normaalselt umbes 10,5%) See reageerib kiiresti veega (kõrge hüdrateerumissoojus) ja soodustab klinkritolmu tekkimist. Kõrgem C_3A sisaldus vähendab valmimisaega, kuid suurendab mahu muutumise ja pragude tekkimise võimalusi ja vähendab vastupanu võimet sulfaatide toimele.

Tetrakaltsiumaluminoferriidi sisaldus tsemendis on 8-14 % (tavaliselt umbes 9%), samuti kiirendab tsemendi tardumist, kuid hüdrateerumissoojus on

väiksem. C_4AF sisalduse suurenemine vähendab vähesel määral tugevust. Tsementeerimisomadused on teistega võrreldes kehvemad.

Tsemendi hüdrateerumine

Keemilist reaktsiooni, mis toimub tsemendi aktiivsete komponentide (C_3S, C_2S, C_3A ja C_3AF) ja vee vahel, nimetatakse hüdrateerumiseks. Seda on üksikasjalikult kirjeldatud [3 lk. 149-152] Siinkohal on oluline märkida, et hüdrateerumise käigus vabaneb osaliselt kaltsiumhüdroksiid, mis vees lahustudes annab hüdroksüüliooni ja soodustab tsemendi struktuuri tugevnemist. Keeruliste vastastikuste toimete ja komponentide kristalliseerumiste mõjul tekib lõplik kõvastunud tsemendi struktuur. Tsemendi hüdrateerumisel kulub umbes 23 % vett keemiliseks sidumiseks ja umbes 15 % tsemendigeeli pooride täitmiseks. Tegelikult ei toimu täielikku dehüdrateerumist mitte kunagi, sest vee molekulid ei suuda tsemendi struktuuris vabalt liikuda.

Täiteained

Täiteaineid kasutakse koos sideainetega mördi või betooni saamiseks. Täiteained vähendavad kokkutõmbuvust ja annavad ka majanduslikku efekti puhta tsemendi kasutamisega võrreldes. Võivad olla saadud nii erinevat tüüpi kivimitest, kui mõnedest tootmisjääkidest (purustatud tellised, räbud jms). Täiteaine valimisel lähtutakse paljude omaduste võrdlemisest, kuid käesoleva töö raames käsitletakse ainult keemilist stabiilsust.

Muidugi ei tohiks täiteained sisaldada lisandeid, mis võiksid halvendavalt mõjuda betooni kõvenemisprotsessile või nõrgendada mingil moel selle tugevust tulevikus. (pehmed ja orgaanilist lisandit sisaldavad põlevkiviosakesed kuuluvad siia kategooriasse).

Keemilistest protsessidest on olulisimad leeliste ja täidiste vahelised reaktsioonid, kus tsemendi leeliselised komponendid reageerivad täidise ränidioksiidi või karbonaatidega, kusjuures esimene on tavalisem. Protsessid saavad toimuda ainult vee juuresolekul ning lõpptulemuseks võib olla betooni pragunemine. Kuid valides materjalide koostisi, jahvatuse astet ja vee hulka, saab neid efekte kontrolli all hoida.

[3. lk. 181-189]

Putsolaanid

Putsolaanidena defineeritakse kui ränimaterjale, millel endal ei ole ei töödeldud ega töötlemata kujul tsemendi omadusi, kuid mis peenpulbrilisel kujul tavatemperatuuril reageerivad vee juuresolekul lubjaga moodustades vähelahustuvaid tsemendi omadustega ühendeid. Enne tsemendi tulekut kasutati neid koos lubjaga mördi tegemiseks. Praegu kasutakse osaliselt tsemendi aseainena betooni valmistamisel. Muudavad tsemendi segu paremini töödeldavaks, betooni vettpidavamaks ja vastupidavamaks külmakahjustustele. Võivad vähendada lahustuvate ühendite väljaleostumist betoonist. Kuid enamasti kasutatakse neid kulude kokkuhoiduks, siis aga peaksid olema kohapeal kättesaadavad (veokulude vähendamiseks). Putsolaanid jaotatakse looduslikeks ja tehisliseks. Looduslike putsolaanide hulka kuuluvad savid ja kildad, mis tuleb enne kasutamist kaltsineerida, vulkaanilised tuffid ja mõned muud looduslikud materjalid, mis tuleb muidugi peeneks jahvatada. Tehismaterjalidest nimetatakse eelkõige lendtuhkasid, jahvatatud kõrgahju räbusid, liivatolmu jms.

Kui tavalist portlandtsementi segada putsolaaniga, siis selles sisalduv ränidioksiid reageerib tsemendi hüdrateerumisel vabaneva kaltsiumhüdroksiidiga ja aeglaselt lisanduv kaltsiumsilikaat toimib sideainena täites vaba ruumi ja aitab sellega segul tugevamaks muutuda.

Võrranditena näeb protsess välja järgmiselt;



Kuna reaktsioon toimub ainult vee juuresolekul, peab süsteem sisaldama piisavas koguses vett piisavalt pika aja jooksul. Viimased uurimused on näidanud, et ka alumiiniumi ja raua ühendid võivad putsolaanreaktsioonides osaleda. Optimaalne kogus tsementi, mida saab putsolaanidega asendada kõigub tavaliselt 10-30 % vahel, kuid mõne lendtuha puhul võib ka kõrgem olla.

Putsolaaniks sobiv lendtuhk peab olema võimalikult peen soovitatavalt hästi kerakujuliste osakestega, sisaldama võimalikult vähe põlemata süsinikujääke. Seega sobivad mitmest tahkete kütuste põlemisel tekkivast tuhaliigist putsolaanideks eelkõige elektrifiltrituhad.

Tabel 5. Nõuded keemilisele koostisele [3 lk. 234-237]

Keemiline ühend	Sisaldus (max)
SiO₂+Al₂O₃+ Fe₂O₃	70 %
SiO₂	35 %
Al₂O₃	15-30%
C (süsinik põlemata kütusest)	30%
MgO	5 %
SO₃	2,75 %
*** Kuumutuskadu maksimum	12 %

Eestis toodetakse portland-põlevkivitsementi AS Kunda Nordic⁵. Portland-põlevkivitsemendi saamiseks lisatakse klinkri jahvatamisel põlevkivi tolmpõletamisel elektrijaamade küttekolletes tekkivat lendtuhka ehk põletatud põlevkivi. Viimane komponent annab portland-põlevkivitsemendile polüfunktsionaalsed omadused. Nimelt on tsement 10-15% väiksema veevajadusega, kiiremini kivinev ja vähem kahanev.

Seega on võrdse tsemendihulga korral portland-põlevkivitsemendiga valmistatud betoonid 1,5-2 korda külma- ja korrosioonikindlamad, vähem kahanevad ja kiiremini kivinevad. Seetõttu on otstarbekas kasutada veetihedate, suurema külmakindlusega ja agressiivses keskkonnas asuvate betoonide valmistamiseks portland-põlevkivitsementi.

Põlevkivituhad

Kuna põlevkivituhka tekib nii energiatootmises kui tahkesoojuskandjaga õli tootmisel palju, siis on mõisteta huvi nii selle uurimise, kui võimaliku kasutamise vastu. Samas on info erinevate allikate vahel laiali jaotunud. Kõige kontsentreeritumalt on viimased uuringud kokku võetud Riho Mõtlepi doktoritöös⁶

Kokkuvõtteks tuleb kohe alguses öelda, et põlevkivi tuha omadused sõltuvad tugevasti selle tekkimise tehnoloogiast (eelkõige moodustumise

⁵ http://www.heidelbergcement.com/ee/et/kunda/kasulikku_teavet/Tsemendi_abc.htm

⁶ Mõtlep Riho. Composition and diagenesis of oil shale industrial solid wastes. – Tartu Ülikooli Kirjastus, 2010- 48 pp.
http://dspace.utlib.ee/dspace/bitstream/handle/10062/15896/m%C3%B5tlep_riho.pdf

temperatuuridest) ja tuha väljumise kohast tuhaarastusprotsessis. Lisaks võivad tuhade koostised erineda ka sama põletustehnoloogia puhul eri elektrijaamades, kui need kasutavad eri kaevanduste põlevkivi (kas Narva karjäär või Estonia kaevandus.) Kahjuks jääb ka heade tsementeerivate omadustega tuhka järjest vähemaks nii suhteliselt kui koguseliselt, kui vanad tolmpõletustehnoloogial põhinevad katlad järjest suletakse. Juurde aga tuleb kindlasti tahkesoojuskandja tehnoloogial põhinevaid õlitootmiseseadmeid nii Enefit kui Petroter seadmete näol. Kas kahe viimase tuhad ka omavahel erinevad, selle kohta andmed puuduvad. Igatahes on VKG planeerinud oma tsemenditehases kasutada just Petroter seadmetest tulevat tuhka. Kuna Mõtlep uuris ka tuhade hüdratiseerumisprotsesse nende ladustamise käigus, siis siit võib saada teavet selle kohta, mis juhtub eri tüüpi tuhkadega, kui nad puutuvad kokku aheraines sisalduva veega.

Tahkesoojuskandja tuhk saadakse põlevkivi poolkoksist sellest orgaanika väljapõletamisega.

Utmise põhifaasis, orgaanilise aine termokatalüütilisel lagunemisel ei toimu olulisi muutusi mineraalsetes komponentides, küll aga algab savimineraalide lagunemine ning väävli ja raua järkjärguline vabanemine püriidi / markasiidi termaalse dissotsiatsiooni tulemusena. Suuremad muutused toimuvad poolkoksist utmise lõppfaasis, kui sellest jääkorgaanika välja põletatakse, milleks tõstetakse temperatuur lühiajaliselt 900-1000 °C. Siin toimub poolkoksi šlakistumine, mille põhilisteks saadusteks on amorfne klaas ja sekundaarsed Ca-silikaatsed faasid. Hüdratiseerumisel on iseloomulik Ca-Al-sulfaadi – etringiidi moodustumine, mis täidab efektiivselt poolkoksi sette pooriruumi, sidudes setteosakesi ühtseks tsementeerunud tervikuks, mis on aga stabiilne ainult kõrgetel pH-väärtustel. Kui tavaline vesi ligi pääseb hakkab lagunema.

Kõrgtemperatuurses tolmpõletus tuhas esineb domineeriva faasina kustutamata lubi, mille osakaal langeb tuhaarastussüsteemis katlast elektrifiltrite suunas (kuid koldetuhka moodustub protsentuaalselt kõige rohkem). Samas suunas suureneb sekundaarsete Ca-silikaatide osakaal.

Keevkihtkatelde tuha koostis ja jaotumine on keerulisem, CaO osatähtsus väiksem ja tsementeerivad omadused viletsamad. Hüdrateerumisel käitub analoogiliselt poolkoksist välja põletatud tuhaga.

Kuna aga just kaks viimast muutuvad tulevikus domineerivaks, oleks vaja tõsiselt uurida, kuidas nende tuhade omadusi saaks parandada. Näiteks CaO rikkamat koldetuhka enne kasutamist jahvatades ja sõeludes. Inertsemaid fraktsioone võiks proovida aktiveerida desintegraatortehnoloogia abil. Igal juhul oleks vaja praktikas katsetada neid tuhkasid rohkem ka koospõlevkiviaherainega, kas siis sideaine komponendina või täiendava täitematerjalina. Eraldi lugu on ladestatud tuhkadega, mis juba on praktiliselt tsementeerunud, kuigi etringiidid on ebapüsivad ja vee toimel lagunevad, andes tugeva leelise. Kas ja kuidas neid spetsiifilisi omadusi saaks ära kasutada, peavad uuringud näitama.

Hüdrauliline tee sideaine

Hüdrauliline tee sideaine on spetsiaalselt teedeehituseks ettenähtud materjal, mis vastab standardile EVS-EN 13282-1:2013 (Eestis seni kasutusel EVS 766) ja mis on tehases toodetud (Eestis AS Kunda Nordic Cement). Veega segatud hüdrauliline sideaine kivineb nii õhus kui ka vee all ja säilitab oma tugevuse ka vee all. Selle omadused on eriti sobivad kasutamiseks, kandvate aluskihtide ja kattekihtide materjalide töötlemiseks ning kasutamiseks mullatöödel maanteedel, raudteedel, lennuväljade ja teiste taristuliikide ehitamisel.

Hüdrauliline teesideaine koosneb eri komponentide segust valmistatud pulbrist, mille koostis peab olema statistiliselt homogeenne.

Eraldi on olemas nõuded kiirkivistuval hüdraulilisele teesideainele, mis vastab oma tehniliste ja koostilistele nõuetele.

Vastavalt standardi p.5 Koostisosad vaadeldakse eraldi põhikoostisosasid ja lisakoostisosasid

5.1. Põhikoostisosad

Loetakse neid koostisosi, mille sisaldus on suurem, kui kümme massiprotsenti. Need tuleb valida järgmisest loetelust.

- a) Koostisosad, mis on määratletud standardis EN 187-1 põhiliste koostisosadena

- 1) Portlandtsemendi klinker (K);
 - 2) Granuleeritud kõrgahju räbu (S);
 - 3) Putsolaansed materjalid; looduslikud putsolaanid (P) ja looduslikud kaltsineeritud putsolaanid (Q);
 - 4) Lendtuhk: räniline lendtuhk (V) ja kaltsiumiline lendtuhk (W);
 - 5) Põletatud põlevkivi (T)
 - 6) Lubjakivi (L, LL)
 - b) Kustutatud lubi (CL-S) ja looduslik hüdrauliline lubi (NHL), mis vastavad standardile EN459-1.
- 5.2. Lisakoostisosad

Summaarne sisaldus ei või ületada 10 massiprotsenti.

Lisakoostisosad on spetsiaalselt valitud anorgaanilised looduslikud mineraalsed materjalid, klinkri või kaltsiumlubja tootmisprotsessis saadud anorgaanilised mineraalsed materjalid või jaotises 5.1. spetsifitseeritud koostisosad, mis ei kuulu põhikoostisosade hulka ja mis pärast sobivat ettevalmistamist ja vastava terastikulise koostise korral parandavad sideaine füüsikalisi omadusi (nagu töödeldavus või veepidavus. Nad võivad olla inertsed või kergelt hüdraulilised, latentselt hüdraulilised või putsolaansete omadustega. Sedalaadi nõudeid ei ole aga neile esitatud.

Lisakoostisosad ei tohi kahjustada kiirkivistuva teesideaine omadusi

5.3. Kaltsiumsulfaat (Cs)

Kaltsiumsulfaati, kipsi, kas poolhüdraati või anhüdriiti (looduslik või tehislik), või nende mis tahes segu võib kiirkivistuva hüdraulilise teesideaine teistele koostisosadele lisada nende valmistamisel

5.4. Lisandid

Lisandid on selle standardi käsitluses koostisosad, mida jaotised 5.1 kuni 5.3 ei hõlma, mida lisatakse tootmisprotsessi või kiirkivistuva hüdraulilise teesideaine omaduste parendamiseks.

Lisandite koguhulk kuivas olekus ei tohi ületada 1 % sideaine massist.

1 massiprotsenti ületav lisandite summaarne sisaldus on lubatud ainult sel juhul, kui kõigi taoliste lisandite kogus ja toime on pakendil kirjas ja /või saatekirjas sedastatud.

Lisandid ei tohi kahjustada kiirkivistuva hüdraulilise teesideaine omadusi.

Antud standard ei kehti väljaspool tehast kokkusegatud segudele.

Kommentaariid standardi juurde:

1. Kuna selle standardi järgi võib hüdrauline teesideaine sisaldada komponente seinast seinast, siis on praktiliselt võimatu kommenteerida selle käitumist põlevkivi aheraine suhtes, kui ei tea konkreetset koostist.
2. Kuna põlevkivi lendtuhk põletatud põlevkivi nime all on ka sisse lülitatud, siis on võimalik selle üldise nimetuse varjus kasutada ka teisi põlevkivi tuhkasid, kui nad vastavale põletatud põlevkivi lendtuha standardile vastavad.
3. Teisalt teeb selline laialivalguv standard suhteliselt lihtsaks konkreetse kompositsiooni koostamise ehk iga uue segu puhul pole vaja standardit muuta, kui vaid segu tehnilised parameetrid nõuetele vastavad.
4. Sellele standardile vastavad kompositsioonid peaksid olema juba nii head, et muid sideaineid pole tarvis. Tegelikult oleks mõistlik siit üks (või mitu) reaalne Eestis toodetav ja teada oleva koostisega hüdrauline teesideaine uuringute võrdlusbaasiks võtta.

Töötlemine räniühenditega

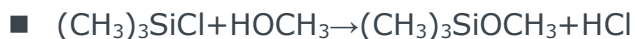
Si kuulub süsinikuga ühte alarühma, kuid nende derivaatidega analoogilised ühendid talle omased ei ole. Tuntakse küll üksikuid alkaanide analooge, kuid mitte ühtegi kordse sidemega räniühendit. Seda põhjustab Si-Si ja Si-H sidemete väike püsivus. Seetõttu on nn. ränivesinikud (näiteks Si_2H_6) palju ebastabiilsemad kui süsivesinikud. Mida rohkem Si-Si sidemeid, seda ebastabiilsemad nad on. Räniühendite stabiilsust saab parandada, asendades Si-Si sideme stabiilsema Si-C sidemega. Eriti suur on sideme Si-O püsivus, seetõttu on need ühendid isegi stabiilsemad kui vastavad süsinikuühendid.

Süsinikku sisaldavatest räniühenditest, kus süsinik ja räni on seotud otse tuntakse (R-alküülrühm):

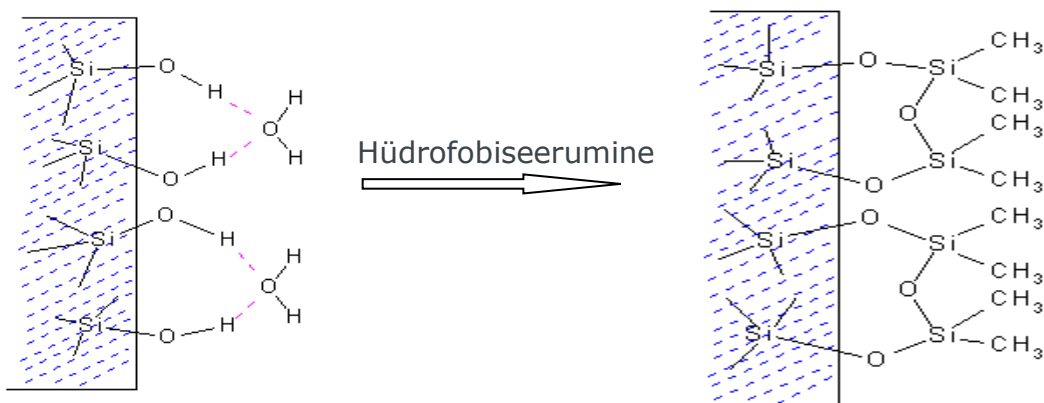
- Alküülsilaanid R-SiH_3 R-silaan
- Halogenosilaanid $\text{R-SiH}_2\text{-Hal}$ R-halogenosilaan
- Silanoolid $\text{R-SiH}_2\text{-OH}$ R-silmanool
- Alkoksüsilaanid $\text{R-SiH}_2\text{-OR}$ R-alkoksüsilaan

Alküülhalogenosilaanid annavad vee ja alkoholidega asendus-reaktsioone. Näiteks trimetüül-klorosilaan moodustab veega trimetüülsilanolli,

metanooliga reageerides trimetüül-metoksüsilaani, kus hüdroksüülrühm asendub alkoksürühmaga ehk tekib stabiilne Si-O-CR₃:



Kuna ränil on nagu süsinikul võimalik ühineda nelja erineva sideme kaudu teiste elementidega, siis on võimalike kombinatsioonide arv suur.

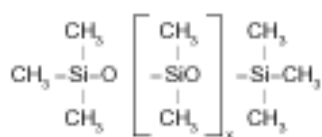


Adsorbeerunud vesi enne
töötlemist materjali
pinnal, haakub pinna
külge vesiniksidemete
abil

Pind pärast immutuvahendiga töötlemist. Vee molekulid on asendunud keemilise sidemega ühendatud immutuvahendi molekulidega

Alküülsilaanide stabiilsus kasvab alküülrühmade arvu kasvades ehk mida rohkem vesiniku aatomeid silaanides alküül- (või alkoksü-) rühmade vastu on vahetatud. Kuid räni moodustab ka väga kergesti -O-Si-O- gruppe sisaldavaid ühendeid, mida kutsutakse siloksaanideks.

Alküülsilaandioolid ja – trioolid on veelgi suurema reageerimisvõimega, kui vastavad momoderivaadid. Nad moodustavad kergesti polüsiloksaane. Diool annab lineaarse polümeeri ja triool ruumilise polümeeri.



Ehituses kasutatakse alkoksüsilaane (nimetatakse vahel ka lihtsalt silaanideks), mis tegelikult on alküülalkoksüsilaanid ja alkoksüsiloksaane (enamasti oligomeerses vormis) või nende baasil saadud silikoonvaike.

Töötlemine orgaaniliste räniühenditega viib pinna hüdrofobiseerumiseni, kus räniühend reageerib pinnal oleva niiskusega, moodustades ränipolümeeri (vaigu). Kuid eelpooltoodud ühendid tuleb reeglina lahustada mingis orgaanilises lahustis, mis suures koguses keskkonda viia pole mõistlik ja tihti ka mitte lubatud (eriti, kui tegu on benseeni, tolueni või nende analoogidega). Mõne ühendi puhul kaasneb hüdrobiseerimisele ka materjali mehaaniliste omaduste paranemine, mõnel juhul mitte. Ka on hüdrofobiseerimisprotsess ise üsna kapriisne⁷

Vesiklaas

Vesiklaasi aluseks on erinevad naatriumsilikaadid üldvalemiga $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_n\text{O}$. Esimene liige selles reas on naatriummetasilikaat Na_2SiO_3 . Need materjalid on kättesaadavad nii vesilahustena kui tahkel kujul. Veevaba vorm koosneb polümeersete ahelatega anioonidest, kuid hüdrateerunud vormid üldvalemiga $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (where $n = 5, 6, 8, 9$) sisaldavad hüdrateerunud monomeerset aniooni $\text{SiO}_2(\text{OH})_2^{2-} \cdot n \text{H}_2\text{O}$



Põhjalikult on käsitletud naatriumsilikaadi kasutamist tsemendi ja betooni omaduste parandamiseks nii kattematerjalidena kui lisandina erinevatesse segudesse.⁸ Tungib hästi materjali pooridesse selle katmisel, aitab tugevasti vähendada betooni poorsust, kuid ei tekita püsivat katekihti kogu materjali pinnal. Kuid on keemiliselt on võimeline reageerima betooni (või tsemendi)

⁷ Hydrophobierung von Baustoffen. <http://www.baustoffchemie.de/fachartikel.html>
15.10.2014

⁸ Larosa-Thompson J., Gill P., Scheetz B. E., Silbee M.R. Sodium Silicate applications for cement and concrete.
<http://www.pqcorp.com/LinkClick.aspx?fileticket=9d8C9B2Za9w=&tabid=120&mid=501>
16.10.2014

koostises esineva vaba kaltsiumhüdroksiidiga (Ca(OH)_2 (portlandiidiga) ja sellega moodusta püsiva kattekihi.

Kui immutatavas materjalis vaba kaltsiumhüdroksiidi ei ole, nagu põlevkivi aheraines, siis keemilisi sidemeid tekkida ei saa. Seega otsesel vesiklaasi lahusega töötlemisel on oodata ainult pooride täitumist ja sellega seotud hüdrofobiseerivat efekti. Küll võib katsetada vesiklaasi lahuse lisamist tsemendilahusele ehk siis koostöötlemist - vesiklaas:tsement.

Ränifluoriidipõhine immutusvahend

Otseseid andmeid ränifluoriidipõhiste immutusvahendite kohta käesoleva töö raames ei leitud. Seetõttu käsitletakse järgnevaid ühendeid üldise keemilise aktiivsuse seisukohast.

Ränitetetrafluoriid on värvitu gaas, mis reageerib kergesti veega ja moodustab väga toksilise ja söövitava vesinikfluoriidhappe.

Räniheksafluordivesinkhappe $\text{H}_2\text{F}_6\text{Si}$ ja selle naatriumsool Na_2SiF_6 on samuti vee toimele hüdroolüüsuvad, eraldades toksilist fluorvesinikhapet. Seega nende kasutamine ehitusmaterjalide immutamiseks ei tule kõne alla. Räniorganofluoriidühendid on küll põhimõtteliselt sünteesitavad ja neil võib olla immutusvahendile sobivaid omadusi. Kõige tõenäolisemalt saaksid need olla fluor-süsiniksidet sisaldavad ühendid ehk siis organosilaanide ja siloksaanide fluorderivaadid, kus fluorvesiniku eraldumisega hüdroolüüsi ei toimu. Kuid need on hetkel nii eksootilised, et reaalses elus katsetamiseks ei tule kõne alla. Ränifluorsidemetega orgaaniliste ühendite puhul jääb aga kahjuliku hüdroolüüsi võimalus alati alles. Üldiselt fluoriühendite keskkonda viimist ei soosita ka keskkonnakaitse seisukohast.

Bituumenid ja vaigud

Naftabituumen ja bituumenemulsioon naftabituumeni baasil

Naftabituumenid üldises mõistes on naftatöötlemisprotsesside produktid. Vastavalt konkreetsele tootmistehnoloogiale võivad olla otsesed rasked nafta või selle rafineerimisproduktide vaakumdestillatsioonijäägid, mis koosnevad

põhiliselt pikaahelalistest ja aromaatsetest süsivesinikest ja võivad vähesel määral sisaldada ka hapnik- väävel –ja lämmastikorgaanilisi ühendeid.

Kuna tihti destillatsioonijääkide omadused ei vasta bituumenile esitatavatele nõudmistele (liiga madalad sulamistemperatuuride piirid ja liiga pehmed) siis neid töödeldakse õhu läbipuhumise teel kuni soovitud omaduste saavutamiseni (sõltuvalt konkreetsest bituumenimargist). Nii saadakse oksüdeeritud bituumenid, kus hapnikühendite osakaal on suurem, mis võib parandada nakkuvust polaarsete molekulidega töödeldava aine pinnal, jäädes samal ajal piisavalt hüdrofoobseks.

Bituumenite omadustest ja kasutamisest ehitusmaterjalina saab üksikasjalikult lugeda [3 lk 440-456].

Otseseid keemilisi reaktsioone bituumeni ja põlevkivi aheraine pinnal oodata ei ole. Seega tema toime põhineb vett tõrjuva kihi moodustumisel aheraine osakeste pinnale. Sarnasema struktuuri tõttu peaks bituumen hästi nakkuma ka jääkpõlevkivi orgaanilise osaga. Kas see võimaldaks loobuda jääkpõlevkivi välja eraldamisest enne killustiku täiteks kasutamist, tuleb katseliselt üle kontrollida.

Kuna bituumeni puhul on tegemist kõrgpolümeerse materjaliga, millest on eelnevalt kergesti lenduvad komponendid välja eraldatud, siis on tegemist tavatingimustes inertse materjaliga ja olulisi kahjulikke ainete lekkimisi keskkonda oodata pole.

Bituumenemulsioone (bituumen 5%, emulgaator 0,01 kuni 5%, ülejäänu vesi) kasutatakse pindade ja täitematerjalide katmiseks nende veekindlaks tegemiseks ja kaetavate pindade (osakeste) hüdrofoobseks muutmiseks.

Põlevkivibituumenid

Ka põlevkivibituumenid on põlevkiviõli raskete fraktsioonide oksüdeerimise produkt analoogiliselt oksüdeeritud naftabituumenitele. Eestis toodab põlevkivibituumenit kaks ettevõtet.

VKG Oil AS valmistab kolme liiki teebituumenit, mis kvaliteediomadustelt vastavad standardile EVS 901-2:2009.⁹

Põlevkivibituumenit kasutatakse sideainena teede pindamisel ja asfaldisegude valmistamisel.

Spetsifikatsioonide võrdlemisest saab järeldada, et põlevkiviteeõli on tinglikult pisut vedelama konsistentsiga, mis peaks andma pisut parema nakkumise, kui soovitakse taotleda aheraine osakeste ühtlasemat kattuvust (ei tardu segamisel nii kiiresti)

Tabel 6. Tabel Põlevkivibituumenite tehnilised omadused

Põlevkivibituumen	PB-2	PB-4	PB-5
Tingviskoossus 60°C juures viskosimeetri järgi			
- avaga 5 mm, sek.	36-70	131-200	
- avaga 10 mm, sek.			20-40
Lahustuvus toluoolis, %	≥98,5	≥98,5	≥98,5
Veeslahustuvate ainete sisaldus, %, max	≥1,0	≥0,8	≥0,8
Veesisaldus, %	≥0,5	jääk	jääk
Leekpunkt lahtises tiiglis, °C	≥130	≥140	≥140
Massikadu soojendamisel 130°C, 5h, %	≤5,5	≤4,5	≤4,5

KKT Oil AS (endine Kiviõli Keemiatööstus OÜ) toodab põlevkiviteeõli, mida samuti kasutatakse sideainena teekatete ja -aluste ehitamisel.¹⁰

- Tehnilised nõuded põlevkiviteeõlile:
- Leektäpp lahtises tiiglis, °C, min 120.
- Tuhasus, massi %, max 3.
- Veesisaldus, massi %, max 1,2.
- Viskoossus 80°C juures, Engleri kraadides, °E, min 5.

⁹<http://www.vkg.ee/est/tooted-ja-teenused/vkg-oil-as/bituumen-koks/polevkivibituumenid> :21.10.14

¹⁰ <http://www.keemiatostus.ee/et/content/polevkiviteeoli> 21.10.14

Kuna põlevkiviõli erinevalt naftast, sisaldab suures koguses hapnikühendeid, sh fenoolseid, millest osa suure tõenäosusega satub ka põlevkivibituumeni koosseisu, siis võiks eeldada aheraine paremat nakkuvust põlevkivibituumeniga võrreldes naftabituumeniga. Kuidas erinevad kompositsioonide tugevusomadused, vajab täiendavat otsingut või uuringut. Samuti tuleks katseliselt võrrelda erinevaid bituumenimärke ja teeõli toimet võrrelduna naftabituumenitega.

Põlevkivi raskõlid

Kuna bituumenid ja teeõli on läbinud täiendava oksüdatsioonifaasi, mille käigus õhuga läbipuhumisel on toimunud kondensatsiooniprotsessid ühelt poolt ja kergelt lenduvate komponendid koos läbipuhutava õhuga eraldunud, siis peaks sellega olema ka minimiseeritud keskkonda leostuvate ainete hulk, mida töötlemata raskõlide puhul väita ei saa. Seega viimaseid otseseks aheraine immutamiseks soovitada ei saa ilma täiendavate uuringuteta, kuidas nad teehituse tingimustes keskkonda viiduna käituvad ehk millised on seal erinevate ühendite väljaleostumise tingimused ja nende protsesside ulatus.

Pinnakattevaigud

Betoonpindade katmiseks kasutatakse ka erinevaid polüester-, polüvinüül- ja epoksüvaike. Kõik nad moodustavad pinnale polümeerse kaitsekihi, mis kaitseb vee, hapete või aluste ja ka orgaaniliste lahuste eest sõltuvalt konkreetsest vaigust. Eriti vastupidavaid katteid (põrandaid) saab valada epoksüvaikude baasil.

Polümeerbetoonid

Polümeerbetooni valmistatakse kas segades monomeeri tsemendiga ja siis täitematerjaliga või ainult monomeeri täitematerjaliga. Lühikest ülevaadet erinevate polümeerbetoonide omaduste ja kasutamise kohta võib lugeda [3, lk 473-474]. Üldiselt kasutatakse neid rasketes keskkonnatingimustes, kuna lähtemonomeerid on kallid ja valmistamise tehnoloogia kapriisne, kuna peale komponentide kokkusegamise tuleb initsieerida ka monomeeride polümeriseerimine kas kuumutamise, radiatsiooni või spetsiaalsete kõvendite kasutamisega. Näiteks epoksüvaigud on vähesobivad otseseks kogu

aherainemassi töötlemiseks, kuna vajavad nakkumiseks kuiva pinda. Lisaks segatakse epoksüvaigud kokku kõvendiga vahetult enne kasutamist, mis seab omakorda tõsised tehnoloogilised piirangud suurte materjalihulkade korrektsel käsitlemisel (materjal võib kõvastuda enne kogu pinna korralikku katmist. Kõvastunud epoksiidi jääke on näiteks segumasinast üsna keeruline eraldada (praktiliselt ainult mehhaanilisel teel, sest kõvastumisel muutub vaik ka orgaanilistes lahustites lahustumatuks.) Kuigi kõvastunud epoksüvaik on keskkonnale ohutu, pole seda mitte tema lähtekomponendid, mis seab kõrgendatud nõudmised tööohutusele. Monomeersed epoksühendid on näiteks tugevad allergeenid.

Polümeersed kruntlahused

Polümeersed kruntlahuseid kasutatakse pindade ja materjalide töötlemiseks kas sise- või välistöödel. Need kujutavad endast erinevate polümeersete ainete segusid, mis turustatakse otse lahustena või lahustatakse vees enne kasutamist. Reeglina on need välja töötatud konkreetse firma poolt ning nende koostised on kas osaliselt või täielikult ettevõtete ärisaladus. Heaks näiteks on rahvusvaheline Rootsis toimiv ESKARO GROUP AB, kus tootearendus toimub peamiselt emaettevõttes, kuid tootmis- ja äriettevõtted paiknevad veel kuues riigis, sh. ka Eestis, kus toodetakse tervet perekonda erinevaid polümeerseid kruntlahuseid, millega lähemalt võib tutvuda firmakodulehel¹¹. Vajavad kasutamiseks kuiva aluspinda, mille muudavad hiljem veekindlaks¹².

Kuna keemilise koostise kohta andmed puuduvad, pole võimalik nende reaktsioone aheraine komponentidega hinnata. Eeldada võib, et need toimivad pinnale polümeerse kile moodustumise mehhanismi alusel.

¹¹<http://www.eskaro.ee/index.php?page=55&> : 10.10.14

¹² http://www.eskaro.ee/public/product/AQUASTOP_Prof_est.pdf /10.10.2014

7. SOOVITUSED II ETAPI TÖÖDELE

Teadustöö esimeses etapis tehti 5 paekivikillustiku ja 5 aherainekillustiku katsed ning selgitati nende omadused ja valiti välja esinduslikud. Paekivikillustikud näitasid üldjuhul mõnevõrra paremaid külmakindluse tulemusi (valdavalt alla 1%) kui aherainekillustikud (valdavalt vahemikus 2...6%) kuid külmakindluses soolalahuses olid tulemused üsna võrdsed – puudulikud, valdavalt vahemikus 60-80%. Suurem erinevus avaldus kahel juhul, kus dolomiitsete omadustega paekivi parem külmakindlus eristus suuresti ülejäänutest ja mille tulemusi NaCl-praktiliselt ei mõjutanud.

Hetkel pole usaldusväärseid andmeid selle kohta, kui raskes olukorras on soolvee mõistes Eesti teedevõrk ja kui oluline on kaitsta tarindit just soolvee mõju eest. Senised uuringud on ühelt poolt näidanud, et tee alusest võetud killustikuproovid sisaldavad väheses koguses NaCl-osakesi ning teisalt, et soolvesi kiirendab lubjakivi lagunemist külmumistsüklite mõjul kordades. Vee, sh. soolvee sattumine teetarindi töötsooni peab olema välditud ehituslike- ja hooldemeetmetega. Juhul kui puudub reaalne võimalus tagada piisavalt dreniv või pragudeta tarind vältimaks soolvee jõudmist killustikuterani, ei pruugi lubjakivi puhul ka 2% veeimavus olla piisavalt väike, et vältida viimase purunemist külmumistsüklite toimetel. Sellisel juhul võib immutamise palju kasu olla kuna isegi killustiku osalisel purunemisel (nt rullimise käigus) võivad jääda immutusvahendiga kaetuks kihilise killustikutera küljed, takistades soolvee pääsu tera sisse. Töö esimeses etapis uuriti teoreetiliselt erinevaid võimalusi killustike immutamiseks ning tehti ettepanek nende kasutamiseks.

1. Põlevkivi aheraine on keemiliselt suhteliselt inertne materjal, mis koosneb põhiliselt paest põlevkivilisandiga. Seetõttu on oodata ainult neid keemilisi reaktsioone sideainete komponentidega mis võivad reageerida lubjakiviga.
2. Sideainetest võiks katsetamisel eelistada mineraalseid sideaineid ja nende kompositsioone (tsement + põlevkivituhad, lubi+ põlevkivituhad).
3. Orgaanilistest sideainetest sobiks katsetusteks sideained nafta ja põlevkivibituumenite baasil sh. koos mineraaltäidisega mõne sobiva põlevkivituha näol, kusjuures põlevkivibituumen võib aheraines

põlevkivilisandi esinemisel olla efektiivsem. Kuid see oletus vajab kontrollimist.

4. Kuna põlevkivi tuhade koostised on muutunud/ muutumas seoses uute põletus- ja õlitootmistehnoloogiate laialdasema rakendamisega, tuleb nendega seotud sideainelised omadused üle vaadata. Mõelda võiks erinevate põlevkivituhkade omaduste eelneva parandamise peale (näiteks mehhaanilist aktiveerimist desintegraatortehnoloogiat kasutades)
5. Vältida tuleks fluori sisaldavaid ühendeid.
6. Eelmistes punktides mainimata jäetud, kui ülevaates käsitletud ühendigruppe võib muidugi laboratoorsetes tingimustes katsetada, kui selleks on aega ja vahendeid, kuid suurte materjalimahtude töötlemise tehnoloogia võib osutuda keeruliseks ja komponentide hind liiga kõrgeks. Samas pole välistatud, et nende lisamine (näiteks, vesiklaas) väheses hulgas p. 1-3 toodud kompositsioonidele võib osutuda edukaks.

Immutamise katseteks teadustöö teises etapis soovitame valida aheraine killustikest Estonia oma ning referentskillustikest Kunda oma ning teha immutuskatsed järgmiste ainetega:

1. bituumenemulsioon naftabituumeni baasil või vedel naftabituumen
2. vedel põlevkivibituumen (PB-2) või põlevkiviteeõli
3. tsement
4. ehituslubi
5. põlevkivituhk EE keevkihtkatla elektrifiltri I välja tuhk
6. ehituses kasutatav polümeerne kruntlahus
7. vesiklaas

Välisekspertidega kohtumised kinnitasid, et USA ja Kanada omavad suuri kogemusi lubjakivide kasutamisel ja selekteerimisel kasutamiseks teedehituses Eestiga sarnastes kliimatingimustes. Nende kogemuste ärakasutamiseks soovitame käivitada Eesti killustike võrdluskatsed sealsetega, millised võimaldavad selgitada nende riikide katsestandardite rakendatavust meie tingimustes.

8. IMMUTAMISE KATSED

Immutusvahendite valik

Immutusvahendite valikul lähtuti eelnevalt kirjeldatud põhimõtetest kuid koostöös tellijaga täpsustati mõningaid komponente. Immutatavateks killustikeks valiti vastavalt Estonia aherainekillustik (tähistatud kui **AHER**) ning „tava-“ ehk referentskillustikuks Kunda lubjakivikillustik (**PAE**). Allolevas tabelis on toodud nende killustike andmed.

Tabel 7. Aheraine- ja peakillustiku veeimavus (WA, %) ja tihedusnäitajad (kg/m³)

Killustik	Reg. nr	WA24	Tihedus kuivatatud olekus	Näiv- tihedus	Tihedus pindkuivalt
PAE	5058	2,1%	2,58	2,73	2,63
AHER	5264	4,9%	2,27	2,56	2,38

Tabel 8. Aheraine- ja peakillustiku külmakindluse võrdlus

Killustik	Reg. nr	F, fr	F	F _{NaCl} , fr	F _{NaCl} , %
PAE	5058	16/31,5	0,8%	16/40	80,1%
AHER	5264	16/31,5	6,8%	16/31,5	72,6%

Eelduslikult peaks immutamine sulgema killustiku poorid ning seega parendama veekindlust (WA). Juhul kui vesi ei pääse pooridesse, ei teki killustikus veeküllastumist ning seega peaks parenema ka külmakindluse näitajad nii puhtas vees kui soolalahuses (NaCl 1%). Kokkuleppel tellijaga teostati immutuskatsed järgmiste ainete (kokku 7, tähised rasvases kirjas):

BEM - bituumenemulsioon, C60 B4

PKB - vedel põlevkivibituumen, PB-2

TSEM - teetsement, *Hydraulic road binder*, HRB 32,5E EVS 766:2000

LUBI - ehituslubi e. kustutatud lubi, kaltsiumhüdroksiid Ca(OH)₂

TUHK - põlevkivituhk EE keevkihtkatla elektrifiltri I välja tuhk

EPO - epoksüvaik, kahekomponentne

VK - vesiklaas, naatriumsilikaat ($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$)

Teetsementi, ehituslupja ja põlevkivituhka kasutati vesisuspensioonina. Klassikalist MUK-segu otsustati mitte katsetata.

Immutusainete täpsemad andmed on toodud *lisas 2*.

Katsetamine

Kõik katsed tehti paralleelselt ühe aherainekillustikuga (nr 5264, Estonia) ja ühe referentskillustikuga (nr 5058, Kunda) fr 16/32. Kogu katseteks kasutatav materjal pesti kasutades 4mm sõela. Veeimavuse katseks ja güraatortihendamiseks e. güreerimiseks vajaminevat materjali peale pesemist ei sõelutud. Külmaskindluse määramisel kasutati väljasõelatud materjali fr 16/31,5 mm. Kõik kasutatav materjal kuivatati enne katsetusi 105°C juures konstantse massini.

Immutamiseks vajalike immutusvahendite e. immutite koguste määramiseks teostati kõikide materjalidega proovisegamine immutusvahendite erinevate kontsentratsioonidega. Katseliselt testiti laboratoorselt nii erinevaid immutusvahendite kontsentratsioone kui koguseid töödeldavuse ja kivimi katvuse saavutamiseks. Seejärel teostati immutamise proovid immutite vähemalt kolme erineva kontsentratsiooni/kogusega väikeste koguste täitematerjalidega. Kõikidel proovidel määrati proovi mass enne ja pärast immutamist ning arvutati immutusvahendi tegelik kogus. Prooviimmutamisel saadud killustikke hinnati visuaalselt ning valiti edasisteks katseteks (veeimavus ja külmaskindlus) iga immutusvahendiga välja minimaalne kontsentratsioon/kogus, millega saavutati ühtlane tulemus, st. saavutati killustikutera 100%-lähedane katvus. Liiga väikeste kontsentratsioonide korral ei kattunud killustik immutusvahendiga täielikult ning liiga suurte korral kippus kiht jääma ebaühtlasem. Praktikas ei osutunud ühegi immutiga võimalikuks tagada ühtlast kihti kogu killustikutera pinnal vaid kiht jäi alati suuremal või vähemal määral ebaühtlane, killustikutera kumeratel pindadel ja nurkades/servades on immutikiht minimaalne, samas kui nõgusatel osadel on kiht paksem. Immutamise proovikatsete põhjal valiti välja 15 ühtlasema katvusega kontsentratsiooniga varianti, mille kohaselt segati

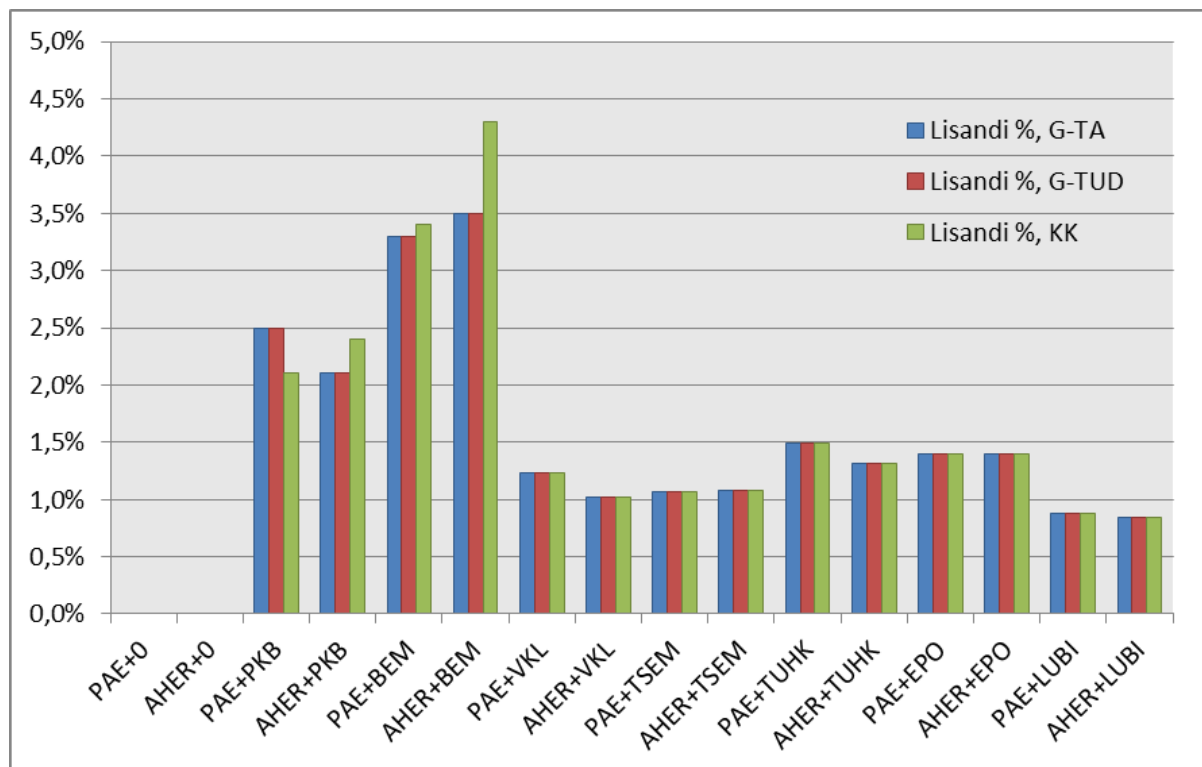
suuremad kogused veeimavuse ja külmakindluse katseteks. Pärast segamist säilitati proove keemilise sideme tekkimiseks erinevalt, sõltuvalt kasutatud immutist. Näiteks tuhkade korral säilitati proove 28 päeva. Seejärel viidi läbi veeimavuse katsed (15 proovi). Teel toimuda võiva purunemise imiteerimiseks teostati täiendavad katsed güreeritud (*G-TUD*) ehk güraatortihendajaga töödeldud proovidega pärast 120 pööret. Seejärel teostati uued veeimavuse katsed (samuti 15 proovi). Samuti viidi läbi külmakindluse katsed (15 proovi) güreerimata (*G-TA*) materjaliga nii destilleeritud vees kui 1% NaCl lahuses. Katsetulemuste koondtabel ja –graafikud on esitatud allpool. Immutamise katsete detailne kirjeldus on toodud lisas 4 ja katsetulemused lisas 1. Immutatud proovikehadega teostati veeimavuse ja külmakindluse katsed samade katsestandardite kohaselt nagu immutamata proovikehadel.

Tabel 9. Immutamise katsete koondtulemused

Killustik	Aine	Lisandi %, WA	WA24, G-TA	WA24, G-TUD	Lisandi %, KK	F, %	FNaCl, %
PAE	0	0,0%	2,1	2,1	0,0%	0,8	80,1
AHER	0	0,0%	4,9	4,9	0,0%	6,8	72,6
PAE	PKB	2,5%	1,6	2,1	2,1%	0,4	67,5
AHER	PKB	2,1%	2,8	3,9	2,4%	5,0	54,9
PAE	BEM	3,3%	1,6	2,3	3,4%	0,7	51,1
AHER	BEM	3,5%	3,5	4,3	4,3%	4,8	58,5
PAE	VKL	1,2%	1,8	1,8	1,2%	12,3	77,9
AHER	VKL	1,0%	3,4	3,3	1,0%	17,7	68,6
PAE	TSEM	1,1%	2,3	2,1	1,1%	10,5	72,1
AHER	TSEM	1,1%	4,2	3,9	1,1%	21,8	70,2
PAE	TUHK	1,5%	2,7	2,5	1,5%	2,7	76
AHER	TUHK	1,3%	4,5	4,0	1,3%	6,7	73,2
PAE	EPO	1,4%	1,9	1,8	1,4%	0,4	50,8
AHER	EPO	1,4%	3,1	3,2	1,4%	3,2	45,9
PAE	LUBI	0,9%	2,3	2,1	0,9%	1,4	73,2
AHER	LUBI	0,8%	3,9	3,8	0,8%	6,8	70,8

Immutusvahendite mõju hindamisel tuleb kindlasti arvestada, et immutusvahenditena kasutatavate ainete (valdavalt sideainete) kontsentratsioonid/kogused on erinevad. Bituumenemulsiooni puhul tuleb arvestada, et näidatud on emulsiooni, mitte puhta sideaine (bituumeni) osakaal. Allolevalt jooniselt on näha, et suurimate kogustega on katsetes kasutatud bituumeneid – põlevkivibituumeneid 2,1...2,5% ja bituumenemulsioone

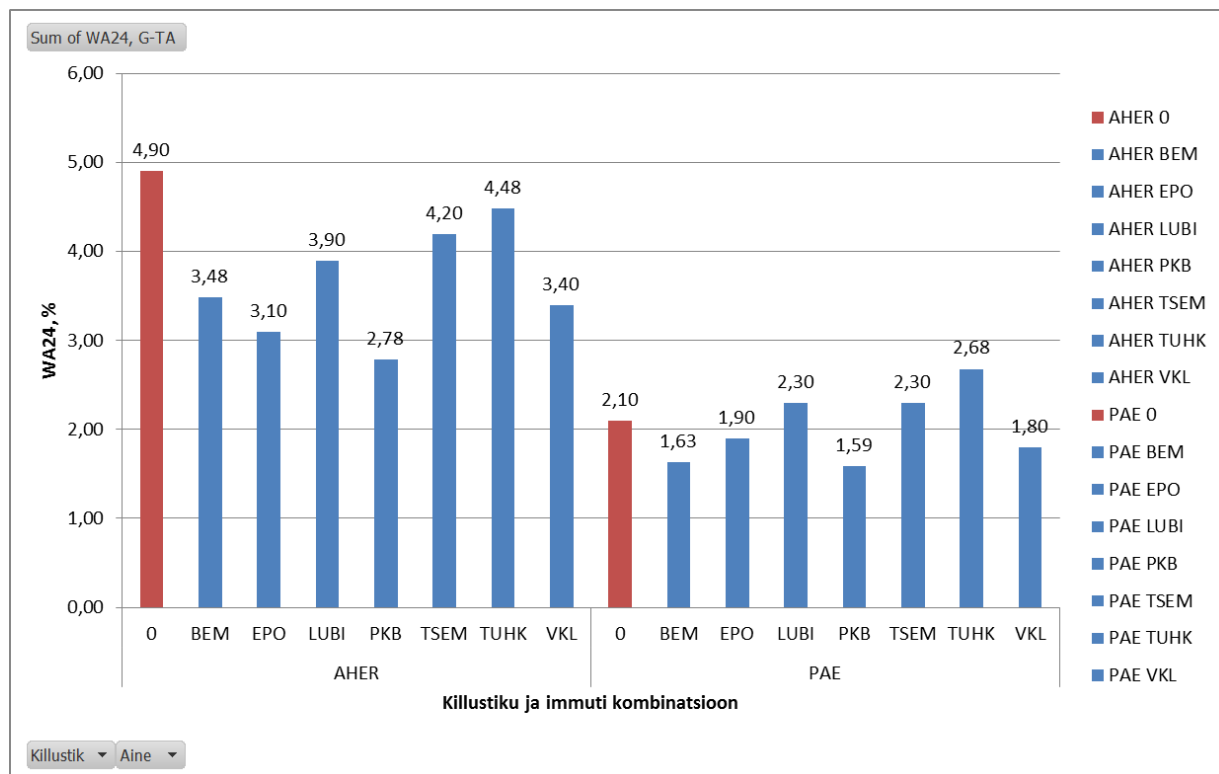
3,3...4,3%, epoksüvaikude ja põlevkivituha kogused jäävada vahemikku 1,3...1,5% ning muude immutite kogused jäävad piiridesse 0,8...1,2%.



Joonis 37. Immutusvahendite kogused erinevate kombinatsioonide juures, %

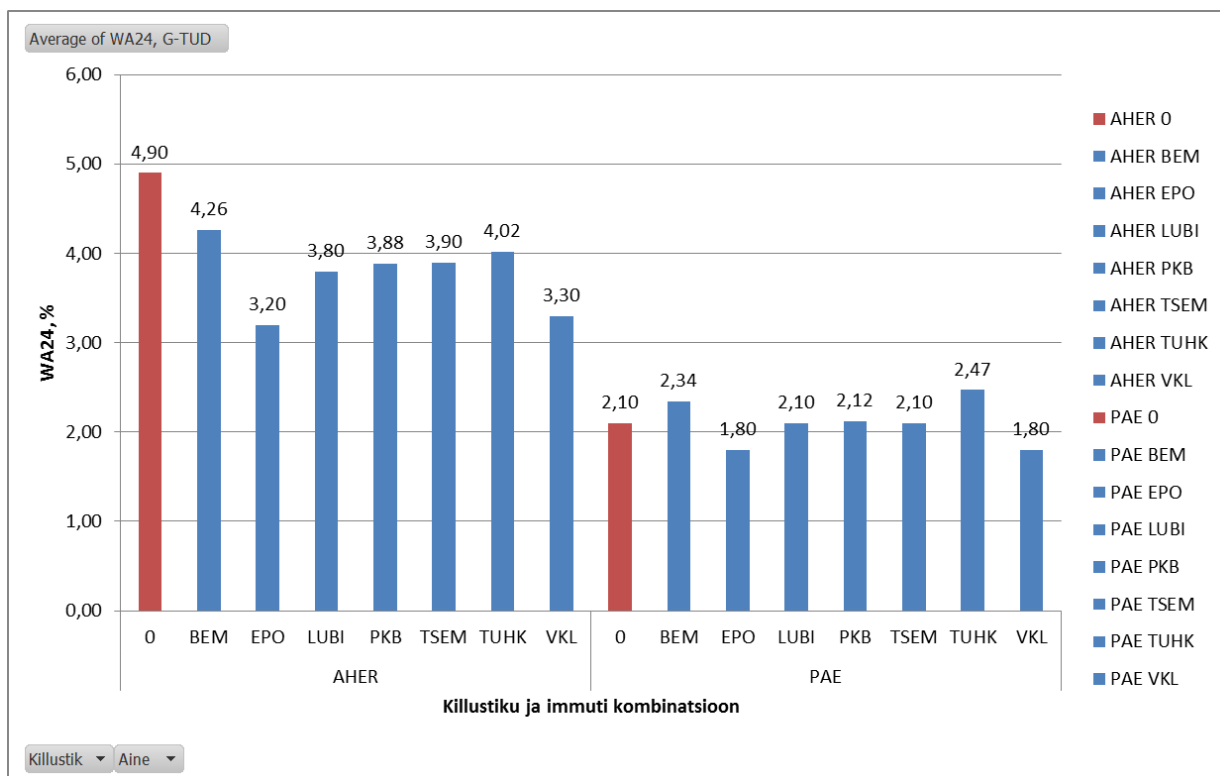
Allolevatel joonistel on näha immutamise mõju (güreerimata, G-TA) veeimavuse ja külmakindluse katsetele. Üldistavalt võib öelda, et immutamise mõju nii veeimavusele kui külmakindlusele on minimaalne või olematu. Seejuures *referentskillustiku* näitajad anorgaanilistel sideainetel põhinevate immutusvahendite (lubi, tsement, tuhk) puhul koguni halvenesid. Viimane näitab, et nende immutitega ei õnnestud tekitada piisavalt tihedat kihti ning selline täiendav kiht osutus ise veeimavamaks kui killustik, mõjutades mõnevõrra tulemusi halvemuse suunas. Immutamata paekivi veeimavus oli 2,1%, pärast immutamist nende immutitega 2,3...2,7%. Orgaaniliste immutusvahendite mõju *referentskillustiku* veeimavusele oli minimaalselt parendav, jäädes pärast immutamist vahemikku 1,6..1,9%. Kõikide immutusvahendite mõju *aherainekillustiku* veeimavusele oli nõrgalt positiivne ja parem kui paekillustikul. Immutamata aherainekillustiku veekindlus 4,9% vähenes tasemele 3,9...4,5%

anorgaaniliste immutusvahendite korral ja tasemele 2,8...3,5% orgaaniliste immutusvahendit korral. Seejuures andis parima tulemuse põlevkivibituumen (2,8%).



Joonis 38. Immutuse mõju güreerimata proovi veekindlusele

Killustiku paigaldamise ja tihendamise protsessis tee peal killustik mõnevõrra puruneb, mida püüti imiteerida güreerimise teel 120 pöördega. Güreeritud (G-TUD) proovide puhul olid tendentsid sarnased eeltoodutega kuid immutusvahendi mõju oodatult vähenes jäädes *referentskillustiku* puhul vahemikku 1,8...2,5% (immutamata 2,1%) ning *aherainekillustiku* korral vahemikku 3,2... 4,3% (immutamata 4,9%). Viimastest parima tulemuse andsid epoksüvaik ja vesiklaas.

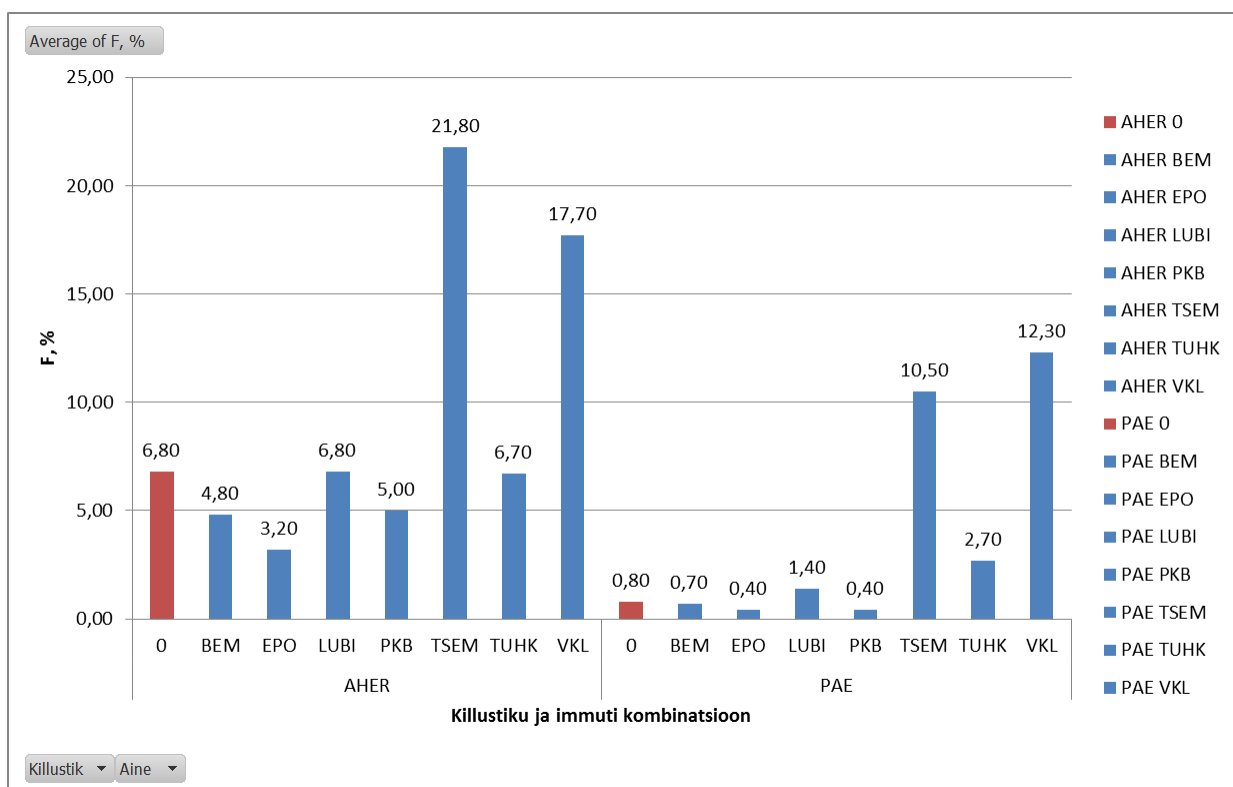


Joonis 39. Immutuse mõju güreeritud proovi veekindlusele

Kui immutamise mõju veeimavusele jäi minimaalseks siis mõju külmakindlusele väärrib mõnevõrra suuremat tähelepanu. Nimelt näitasid katsed, et mõningad immutusvahendid võivad anda oodatule täiesti vastupidise tulemuse. Kui enamus immutusvahenditega jäid külmakindluse katsete puhul puhtas vees tendentsid sarnaseks veeimavuse katsetega, siis kahe immutusvahendi negatiivne mõju oli külmakindluse seisukohast väga suur.

Puhta veega tehtud külmakindluse katsetes oli immutamata aherainekillustiku külmakindlus 6,8%. Parima mõjuga oli epoksüvaik andes tulemuseks 3,2%, bituumenemulsioon ja põlevkivibituumen andsid tulemuseks 4,8...5,0% ning lubi ja põlevkivituhk mõju ei avaldanud, jäädes vahemikku 6,7...6,8%. Märkimisväärselt kehvema tulemuse andsid vesiklaas (17,7%) ja teetsement (21,8%). Paekillustiku külmakindlus oli immutamata proovil 0,8% ning epoksüvaigu ja põlevkivibituumeniga immutamisel saadi tulemuseks 0,4%, bituumenemulsiooni mõju sisuliselt puudus (0,7%). Tulemused halvenesid lubja ja tuhaga (vastavalt 1,4 ja 2,7%) ning taas andsid märkimisväärselt kehvema tulemuse immutamine tsemendiga (10,5%) ja vesiklaasiga (12,3%).

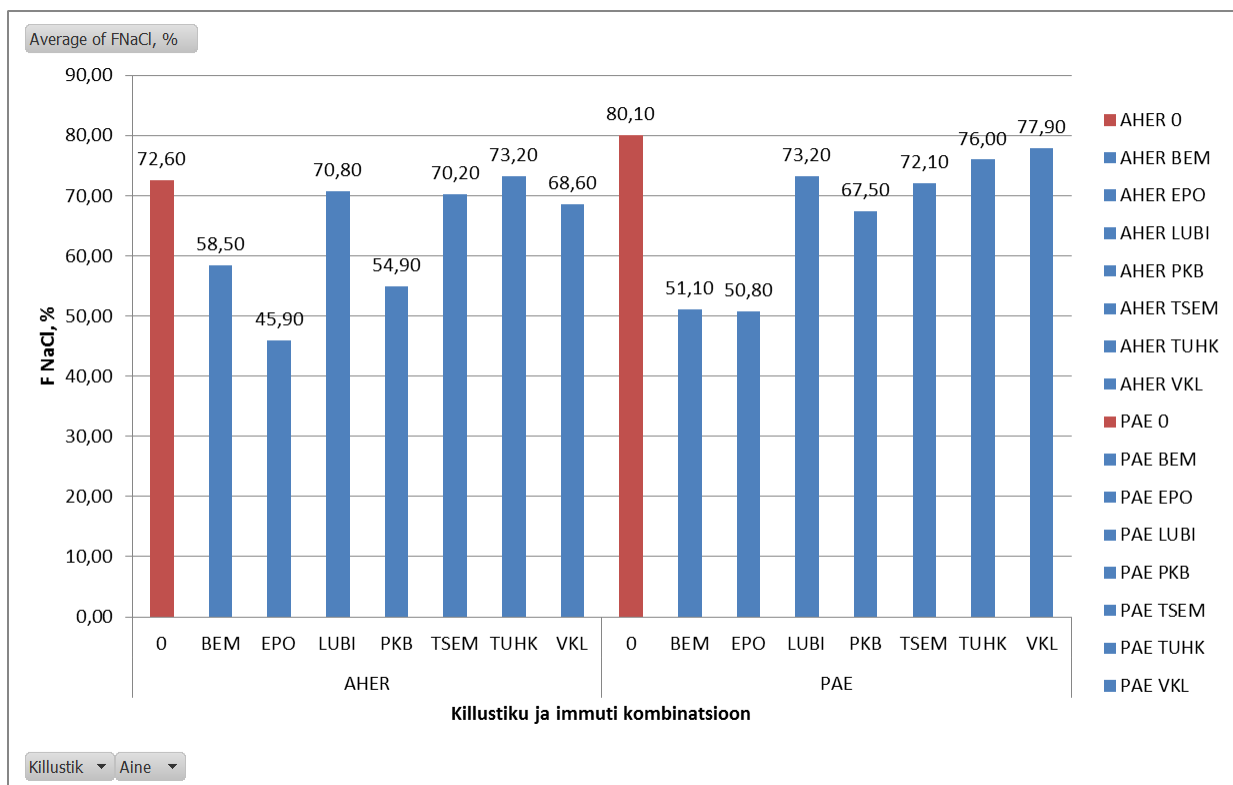
Eelkõige tekitab küsimusi teedehituses stabiliseerimises laialdaselt kasutuses oleva teetsemendil põhineva immutusvahendi mõju. Kuigi Eestis ei ole ainult tsemendiga stabiliseerimine levinud ning usutavasti reageerib tsement stabiliseerimise kontekstis eelkõige tolmse osisega segus, tasuks tsemendiga stabiliseeritud kihtide uurimisel külmakindlusele ka uue nurga alt tähelepanu pöörata ja hinnata tsemendi enda mõju paekillustiku külmakindlusele.



Joonis 40. Immutuse mõju proovi külmakindlusele puhtas vees (väiksem on parem)

Ka soolalahuses läbi viidud külmakindluse katsed näitavad nii aheraine kui paekillustike puhul epoksüvaigu ja bituumenemulsiooni mõningast parendavat mõju ning aheraine puhul ka bituumenemulsiooni mõningat parendavat mõju. Aheraine killustiku külmakindlus parenes nende toel 72% tasemelt 45,9...58,7% tasemele ning paekillustiku puhul 80,1% tasemelt 50,8...51,1 % tasemele. Ülejäänud immutusvahendid mõjutasid soolakülmakindluse tulemusi vähe. Nii jäid tulemuse aheraine korral vahemikku 68,6...73,2% ja paekillustiku korral vahemikku 67,5...77,9%

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE



Joonis 41. Immutuse mõju proovi külmakindlusele NaCl 1% lahuses

9. STABILISEERIMISE KATSED

Seguretsept

Variantidena käsitleti keemilise sideme loomist ehk stabiliseerimist nelja erineva sideainega:

C - tsemendiga

L - lubjaga

A - tuhaga

K - tsemendi- ja bituumeniga e. kompleks-stabiliseerimine

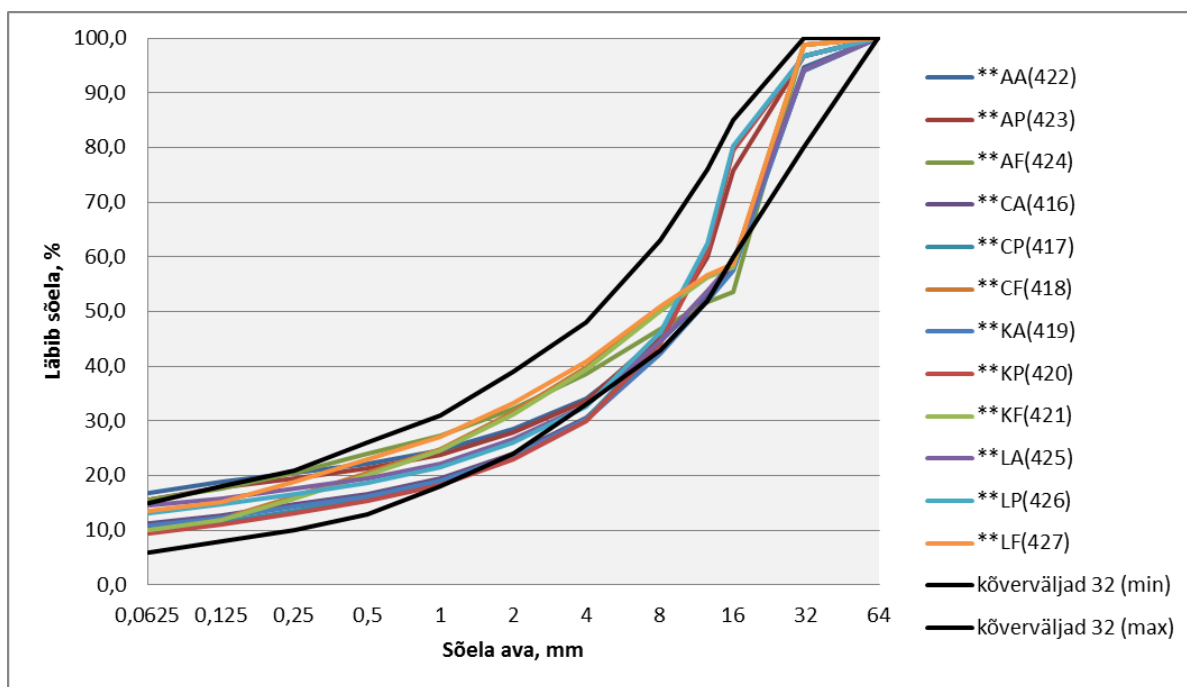
Sideainete võimaliku erineva mõju hindamiseks erinevate täitematerjalidega teostati katsed kolme erineva täitematerjaliga:

P - täielikult (100%) lubjakivikillustiku baasil

A – täielikult (100%) aheraine baasil

F - aheraine jämetäitematerjal 50% + freespuru 50%

Stabiliseeritud segude projekteerimisel lähtuti Eestis enimkasutatavate stabiliikide KS32 ja TS32 terastikulise koostise väljast vastavalt MKM määrusele „Tee ja teetööde kvaliteedinõuded“ (2014), kombineerides täitematerjalide fraktsioone 0-32 ja 16/32 ning vajadusel freesipuru ja etteantud sideaineid ja vett.



Joonis 42. Erinevate stabide projekteeritud terastikulised koostised

Sideainete ja vee kogused stabiliseerimisel on järgmised:

K: Kompleksstabi: tsement 2,5%, bituumen 3,1% (emuls. 5,5%), vesi 5,5%

C: Tsementstabi: tsement 2,0%, vesi 7...9%

A: Tuhkstabi: tuhk 10%, vesi 8...9%

L: Lubistabi: lubi 6%, vesi 8%

Katsetamine

Teostati järgmised katsed:

- Kuivmahumass (EVS-EN 12697-6:2012)
- Survetugevus (EVS-EN 13286-41:2003)
- Kaudne tõmbetugevus (EVS-EN 12697-12:2008)
- Veekindluse määramine (EVS-EN 12697-12:2008)

- Külmaskindlus destilleeritud vees (TTUI 1967)
- Külmaskindlus 1% NaCl soolvees (TTUI 1967)

Segud tihendati guraatortihendajaga EVS-EN 12697-31:2007 järgi. Kasutati 80 pööret. Proovikehad hoiti 28 päeva konditsioneeritud ruumis temperatuuril 20 ± 2 °C, relatiivse niiskusega 65 ± 5 %. Niiskuse kao vähendamiseks olid proovikehad kilega kaetud, v.a. 425-427, mis olid 14 päeva kilega kaetud ning 14 päeva kileta.

Proovikehade mahumass (ilma proovikeha kuivatamata) määrati EVS-EN 12697-6:2012 (meetod D) järgi. Külmaskindlus määrati "Sideainetega stabiliseeritud pinnaste kasutamise kohta teede ja lennuväljade ehitamisel" (TTUI 1967) järgi. Veekindlus määrati EVS-EN 12697-12:2008 järgi.

Survetugevus (**ST**) määrati EVS-EN 13286-41:2003 järgi kohe peale mõõtude võtmist samal päeval (immutamata proovikehad). Suruti tervet katsekeha.

Kaudne tõmbetugevus määrati EVS-EN 12697-12:2008 järgi 31 päeva vanustel proovikehadel peale 28 päeva kliimakapis + 72 tundi 20°C juures hoiustamist. Suruti külgsuunaliselt ca 13mm laiuse liistuga.

Külmaskindluse jaoks jaotati proovikehad survetugevuse määramiseks kolme gruppi:

KR – referentssurvetugevus pärast immutamist

KV – survetugevus pärast külmutustsükleid puhtas vees

KS – survetugevus pärast külmutustsükleid 1% NaCl-lahuses

Kõiki katsekehi immutati esimese 24h jooksul veega või soolalahusega, mis ulatus 1/3 katsekeha kõrgusest. Järgmised 24h olid katsekehad üleni vastavalt vees või soolalahuses. Peale katsekehade immutamist läbisid nii vees kui soolalahuses olnud katsekehad 5 külmutustsükli. Külmutustsükkel koosnes 4 tunnist - 20°C juures olemisest ning 20h vees või soolalahuses sulamisest. Peale 5 tsükli läbisid kõik katsekehad survetugevuse määramise. Referentsgrupi katsekehad läbisid survetugevuse määramise kohe peale immutamist, ilma külmutus/sulatustsükleid läbimata. Külmaskindlustegur määrati vees olnute või soolalahuses olnute survetugevuste suhtena referentsgruppi survetugevustesse.

Veekindluse määramisel jaotati katsekehad peale mõõtmete määramist kahte gruppi. Üks, nn. kuiv grupp (**VK**) pandi 72h kliimakappi 20°C juurde. Teine, nn. märg grupp (**VM**) pandi 72h vette 20°C juurde. Peale 72h määrati katsekehadel kaudne tõmbetugevus. Lõplik tulemus on märja gruppi tõmbetugevuse suhe kuiva gruppi tõmbetugevusse.

Allpool toodud võrdlused tuginevad samade segude paralleelproovide keskmistel näitajatel.

Tihedus

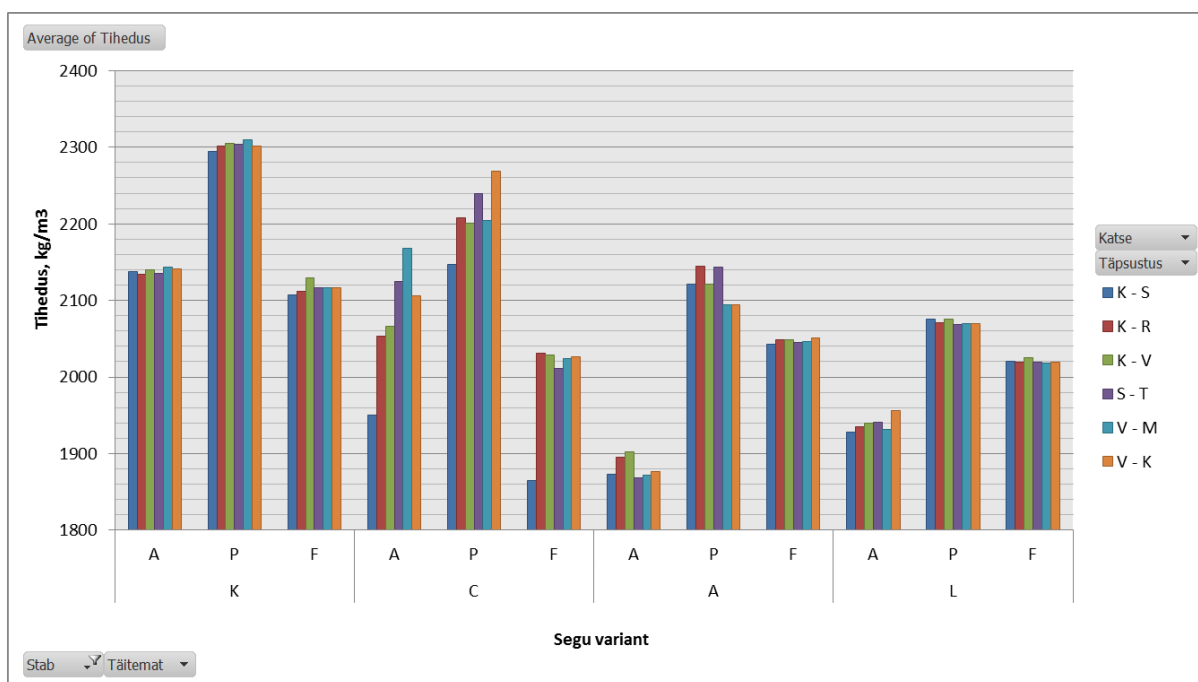
Nulltugevusega proove ei ole keskmise tiheduste (mahumasside) arvutamisel kasutatud. Erinevate segude mahumasside võrdluses hakkab ootuspäraselt silma paekillustiku baasil koostatud segude suurem mahumass võrreldes aherainekillustikuga. Selline erinevus jääb valdavalt tasemele 200 kg/m³. Teistega võrreldes väiksem on mahumasside erinevus tsementstabiliseerimise korral, jäädes tasemele 100 kg/m³. Selle stabiliseerimisliigi korral on ka erinevate katsete vahel suurimad erinevused mahumassides, milles omakorda hakkab enim silma soolvees teostatud külmakindluse järgsete survetugevusnäitajate märgatav halvenemine. Ehk sarnaselt immutuskatsetele, võib ka stabiliseerimisel märgata tsemendi kui mitte nõrgendavat, siis suhteliselt piiratud positiivset mõju lubjakivi- ja aherainekillustikule soolakülmakindlusele. Samas kompleksstabiliseerimise korral, kus tsement samuti kasutusel tundub tsemendi negatiivne mõju olevat neutraliseeritud lisatud bituumeni poolt. Sideainete võrdluses on kõige paremini tihenunud kompleksstabiliseeritud segud, ülejäänud on suhteliselt võrdsed.

Kõige suurema tihedusega proovikehad saadi paekillustiku baasil kompleksstabiliseerimisel (*K*) ja tsementstabiliseerimisel (*C*) proovikehadel mahumassidega vastavalt vahemikes 2290...2310 kg/m³ ning 2200...2280 kg/m³ kõikide katsete korral (va. külmakindlus soolvees).

Kõige väiksema tihedusega proovikehad saadi tuhkstabiliseeritud (*A*) ja lubistabiliseeritud (*L*) aheraine proovikehadel, mille mahumassid olid vastavalt vahemikes 1870...1900 kg/m³ ning 1930...1960 kg/m³.

Ülejäänud proovikehade mahumassid jäid vahemikku 2000...2200 kg/m³. Täpsemad mahumassid iga seguliigi kohta on näha alloleval joonisel.

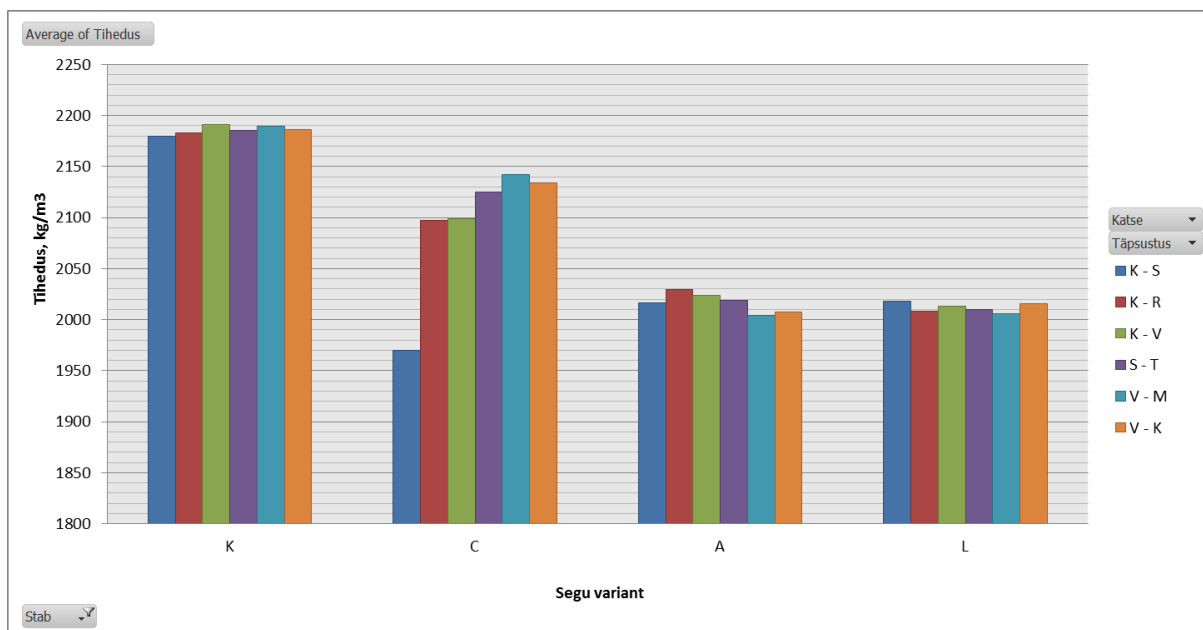
Alloleval kolmel joonisel on värvidega tähistatud erinevate katsete proovikehad (K-S, K-V ja K-R vastavalt külmakindluse proovikehad soolalahuses- ja veeskülmutamiseks ning referents, ST – survetugevuse määramiseks ja VM ning VK vastavalt veeimavuse määramiseks märjal ja kuival grupil) Seguliigid K, C, A ja L tähistavad vastavalt stabiliseerimisi – kompleks-, tsement-, tuhk- ja lubistabi. Tähed A, P ja F aga täitematerjali vastavalt aherainekillustik (100%), paekillustik (100%) ning freespuru ja aherainekillustiku segu (50/50%).



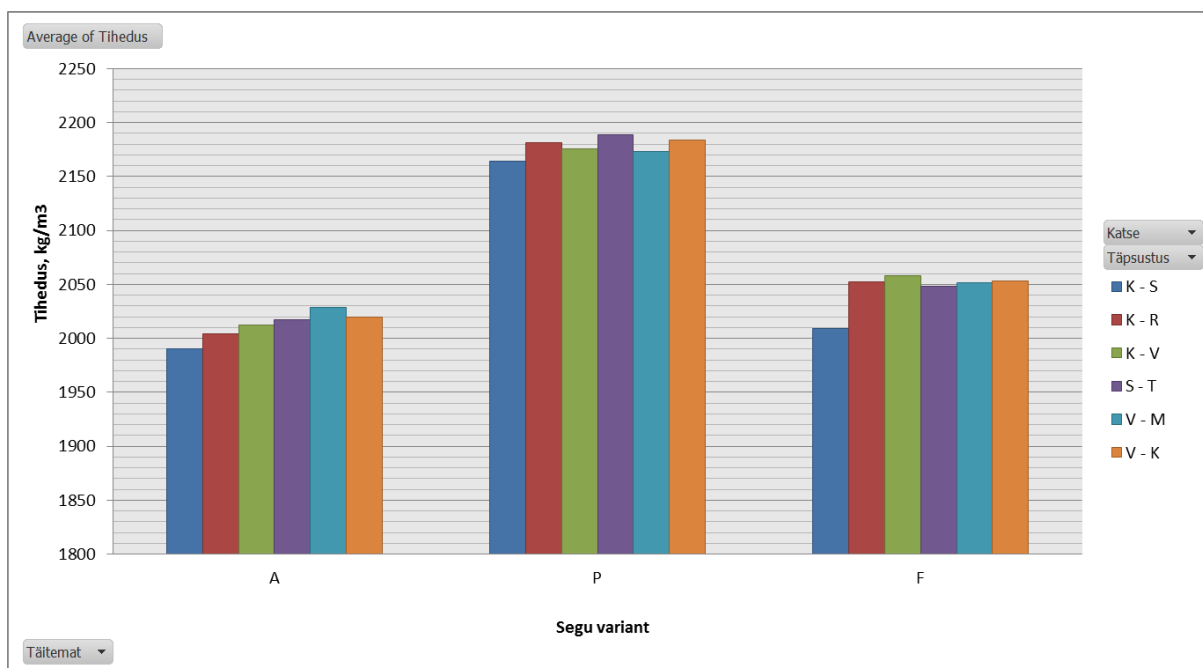
Joonis 43. Iga seguliigi mahumasside detailsed andmed

Allolevatel joonistel on näidatud keskmised mahumassid vastavalt igale stabiliseerimisliigile ja täitematerjali liigile. Nagu ka detailandmetest näha võis, on tihedus suurem kompleks- ja tsementstabiliseeritud segudel ning paekivi suurema mahumassi tõttu segudel, kus on kasutatud paekivi. Ebaootuspärane on freespuru osalusel saadud aherainestabisegu mahumass, mis just tihedamate seguliikide (**KF ja **CF) puhul on väiksem kui puhta aherainega (**KA ja **CA) saadud segu.

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE



Joonis 44. Keskmised mahumassid stabiliseerimisliigiti



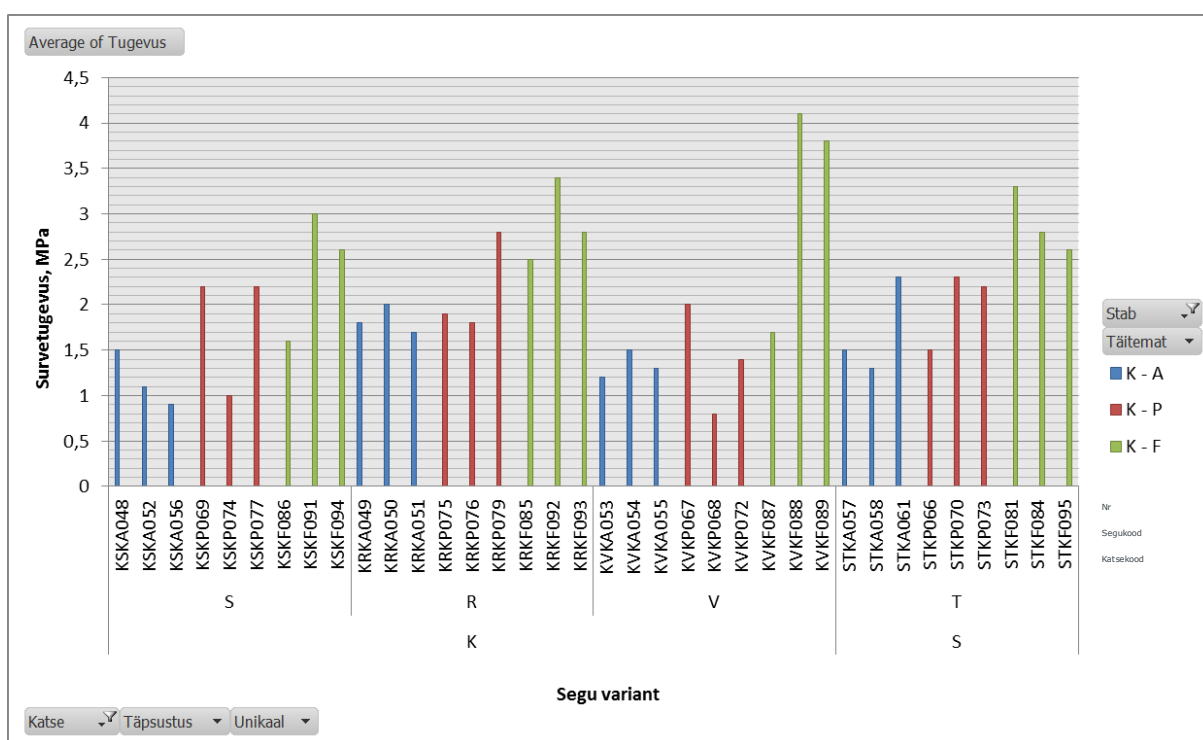
Joonis 45. Keskmised mahumassid täitematerjalide järgi

Survetugevus ja külmakindlus

Ülejäänud katsete osas kajastatakse katsetulemusi survetugevusena või kaudsete tõmbetugevuste suhtarvuna (veepüsivus). Alljärgnevalt vaatame lähemalt survetugevust, mida määratakse nii eraldi katsena (ST) kui

külmakindluse katsetes. Viimases määratakse referentstugevus enne külmutamist (*KR*) ning survetugevus pärast külmutamist vees (*KV*) ning soolvees (*KS*). Kuna paljudel juhtudel proovikehad lagunesid, ei ole ainult keskmiste väärtustega opereerimine ilmtingimata objektiivne. Seetõttu vaatame andmeid esmalt erinevate stabisegu liikide kaupa. Allolevatel graafikutel tähistavad proovikehade koodis kaks esimest tähte katset (*ST*, *KR*, *KV* või *KS*), milleks proovikehad on tehtud ning järgmised kaks seguliiki (*C*, *K*, *A* või *L*) ja kasutatud täitematerjali (*A*, *P* või *F*). Lisatud number on igal üksikproovil unikaalne (1...189).

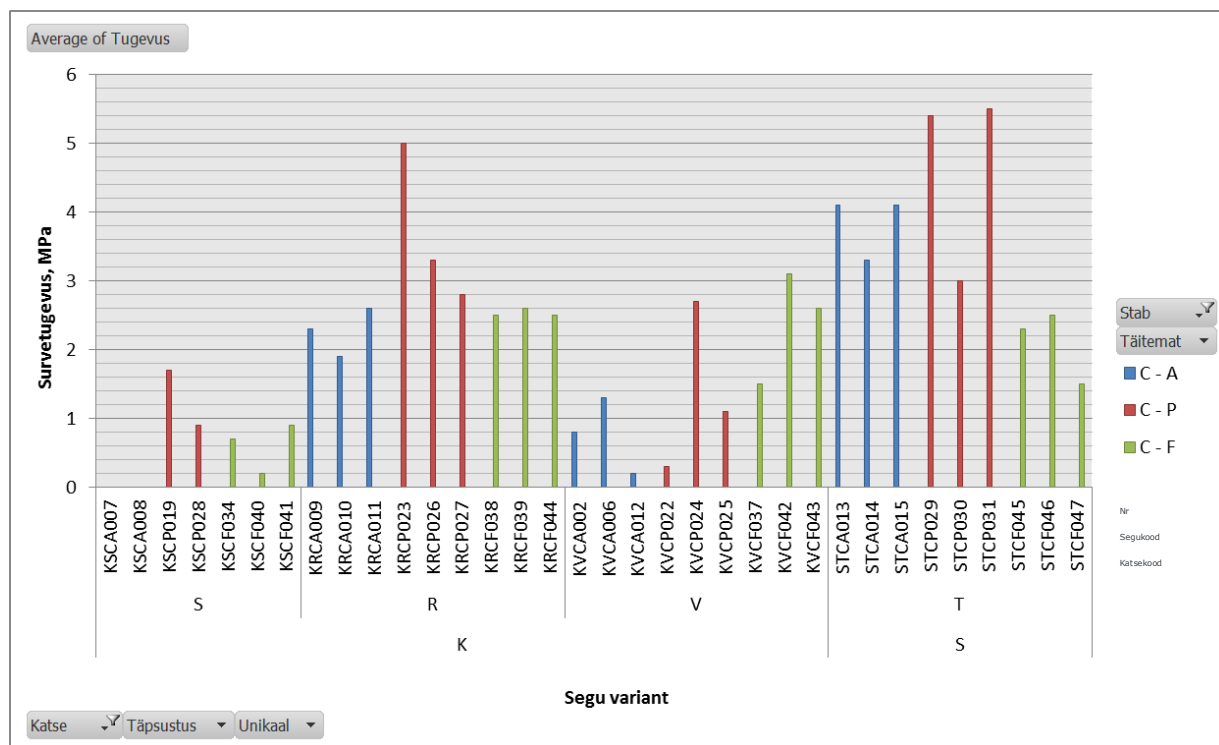
Eestis levinuima stabiliseerimise liigi, **kompleksstabiliseerimise** (**K*) puhul varieeruvad katsetulemused suurelt, jäädes vahemikku 1...4 MPa. Seejuures jäävad survetugevused aherainega proovikehadel valdavalt vahemikku 1...2 MPa, freespuru ja aherainega vahemikku 1,5...2 MPa ning paekillustikuga 2,5...3 MPa. Seejuures ei saa öelda, et külmutustsüklite tagajärjel survetugevus väheneks.



Joonis 46. Proovikehade survetugevused kompleksstabiliseerimisel

Eestis vähem levinud kuid samuti kasutatava **tsementstabiliseerimise** (**C*) puhul varieeruvad katsetulemused juba väga suurelt. Selle stabiliseerimisliigi puhul on tulemused mõjutatud ka külmutustsüklitest. Survetugevuse näitajad on

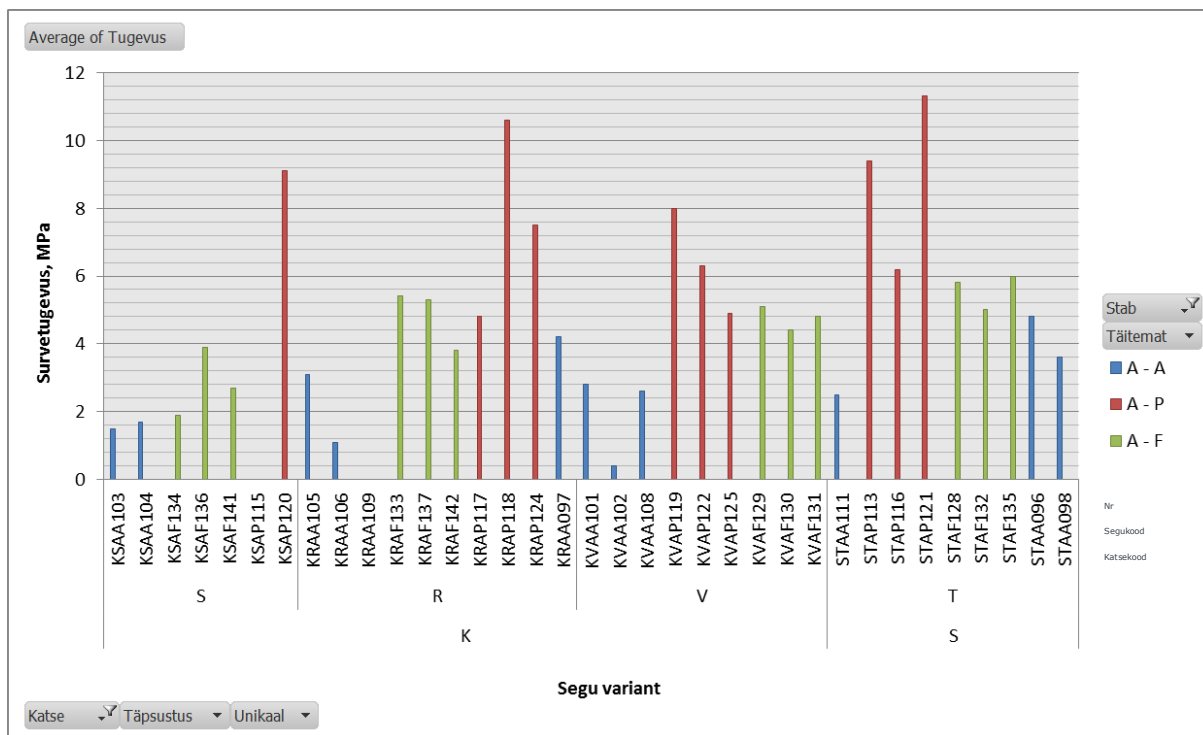
väga head külmutamata proovikehad, jäädes valdavalt vahemikku 2...5 MPa, külmakindluse katsed läbinud proovikehade tulemused aga jäävad varieeruvalt vahemikku 0...3 MPa. Seejuures jäävad paekillustikuga proovikehade tulemused vahemikku 1...3 MPa külmakindlusel veekeskkonnas, ülejäänud jäävad valdavalt vahemikku 0...1 MPa. Kõik aherainekillustikuga proovikehad lagunesid juba enne katsetamist.



Joonis 47. Proovikehade survetugevused tsementstabiliseerimisel

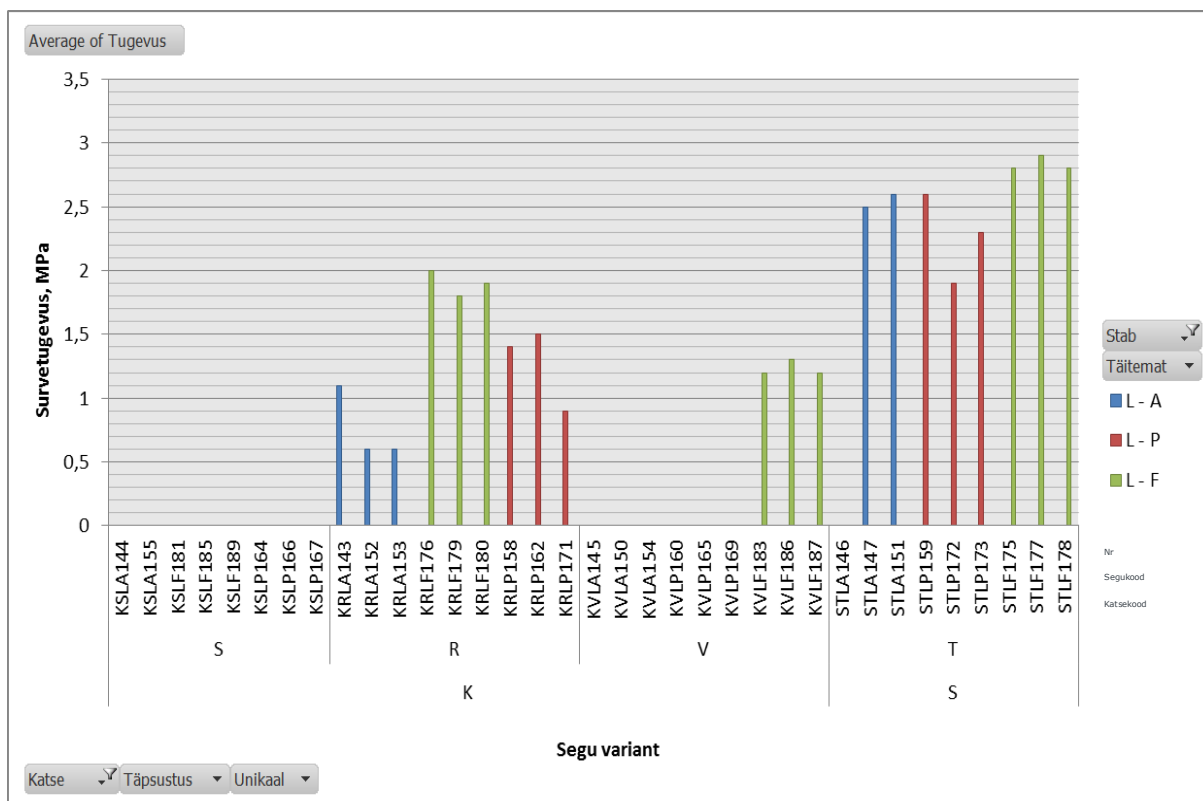
Viimastel aastatel on hakatud katseliselt kasutama **tuhkstabiliseerimist** (**A*) väga erinevate tuhkadega. Ka selle stabiliseerimisliigi puhul varieeruvad katse tulemused väga suurelt. Kui tugevate proovikehade survetugevuse näitajad küündisid 8...11 MPa-ni, siis nõrgemad lagunesid juba enne katsetamist ilma selge nähtava põhjuseta. Väga head survetugevuse näitajad saavutati enamasti paekillustikuga (5...11 MPa), lisaks lagunes üks proov. Viimane pärines külmakindluse katsest soolvees, kusjuures paralleelproov andis survetugevuseks 9 MPa. Muud soolvees külmutatud proovikehad andsid survetugevusteks 1,5...4 MPa. Kõige ebaühtlasemaid tulemusi andsid puhta aherainekillustiku baasil tehtud proovikehad. Immutamata proovikehad 2...5 MPa, immutatud proovikehad 0...3 MPa, veekülmakindluses 0,2...4 MPa ning soolakülmakindluses 0...2 MPa.

Freespuru lisamine aherainele tõstis märgatavalt tuhkstabiliseerimise tugevusnäitajate stabiilsust ning survetugevused jäid soolakülmakindluse korral vahemikku 2...4 MPa ning muudel juhtudel vahemikku 4...6 MPa.



Joonis 48. Proovikehade survetugevused tuhkstabiliseerimisel

Uudse stabiliseerimisseguna otsustati katsetada **lubistabiliseerimise** (**L*) kasutamise võimalikkust. Selle puhul on näha, et tulemused on pigem nõrgapoolsed. Kõige paremad survetugevuse näitajad annab tavaline survetugevuse katse, kus kõigi täitematerjalide kombinatsioonide korral saavutatakse väärtused 2...3 MPa. Külmakindluse katses on survetugevus referentsproovikehadel vahemikus 0,5...2,0 MPa kuid külmakindluse katse läbinutest saavad tulemuse kirja vaid vees katsetatud proovikehad, milles on kasutatud freespuru ja aheraine segu (**LF) – 1...1,5 MPa. Ülejäänud vees katsetatud proovikehad – puhta aheraine (**LA) ja puhta paekillustikuga (**LP) ning kõik soolvees külmutatud proovikehad lagunesid.



Joonis 49. Proovikehade survetugevused lubistabiliseerimisel

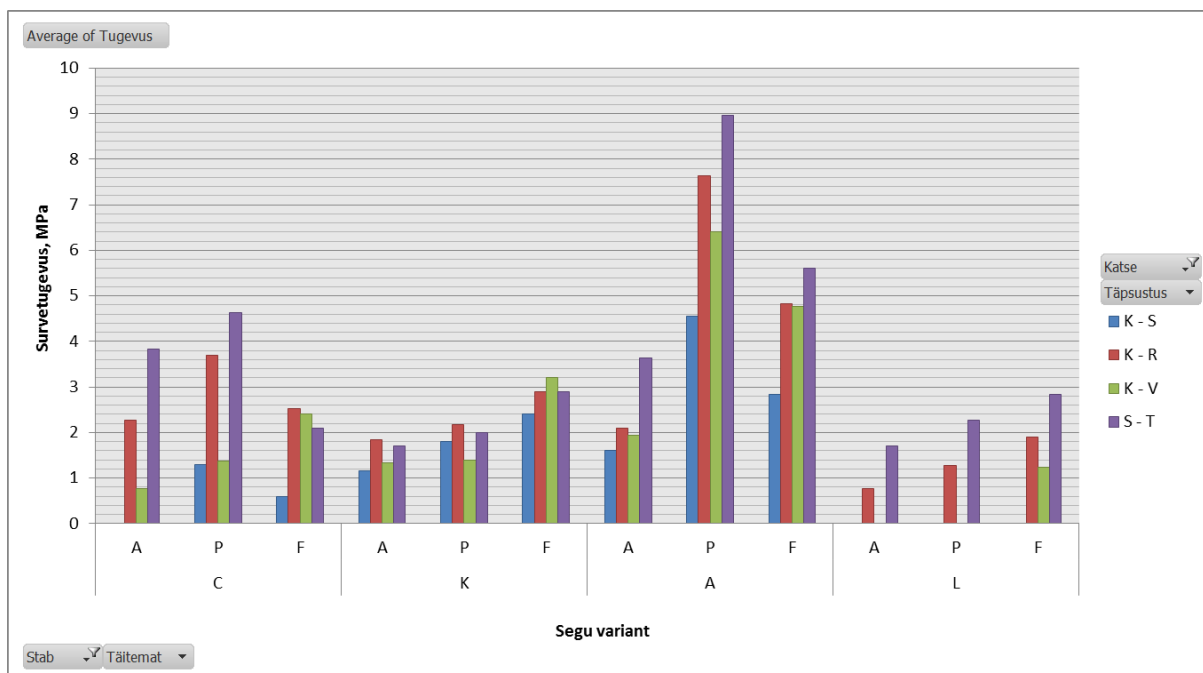
Erinevate segude omavaheliseks võrdlemiseks vaatame kõigi seguliikide puhul paralleelproovide (2...4) keskmisi survetugevusi katsete kaupa. Puuduvad sinised ja rohelised tulbad mõnede seguvariantide puhul tähendavad, et kõik proovikehad lagunesid pärast külmutamist vastavalt soolvees (sinine) või tavalises vees (roheline).

Kõige stabiilsemalt erinevate katsete üleselt käitub kompleksstabiliseerimine, mille survetugevuste keskmine näitaja jääb piiridesse 1..2 MPa vahele nii aheraine kui paekillustiku puhul ning piiridesse 2...3 MPa aheraine ja freespuru segu puhul. Näib, et freespuru lisamine annab selle seguliigi puhul juurde tugevust kui külmakindlust.

Mõnevõrra vähem stabiilseid kuid see-eest häid survetugevuse näitajaid andis tuhkstabiliseerimine, olles aherainekillustiku segude puhul 1,5...3,5 MPa ning paekillustiku puhul 4,5...9 MPa. Ka selle seguliigi puhul suureneb survetugevus kui aherainekillustikule lisada freespuru andeks survetugevuseks 3...5,5 MPa. Tuhkstabiliseerimise proovikehade survetugevused jäid kõikide täitematerjalide ja katsete osas suuremaks kompleksstabiliseerimise proovikehadega võrreldes.

Tsemendiga stabiliseerimisel on peamiseks kahtluse kohaks on külmakindlus, seda iseäranis aheraine killustikku sisaldavate segude korral. Üksnes aherainel baseeruv seguga lagunesid soolakülmakindluse katses kõik proovid ning freespuru lisamisel saadi keskmiseks survetugevuseks vaid 0,5 MPa. Paekillustikuga proovikehade külmakindlus soolalahuses ei erinenud oluliselt vees tehtust ning jääb 1 MPa piirimaile. Seda olukorras, kus paekillustiku enda soolakülmakindlus erineb kardinaalselt külmakindlusest vees. Soola puudumisel on freespuruga aheraine külmakindlus (ca 2,5 MPa) võrreldav paekillustikuga variandiga või isegi parem (viimasel ca 1,5 MPa).

Lubistabiliseerimine andis tagasihoidlikke külmakindluse näitajaid vaid freespuru ja aheraine segu korral (1...1,5 MPa) ning sedagi vaid puhtas vees. Puhta ehituslubjaga stabiliseerimist ei saa seega soovitada.

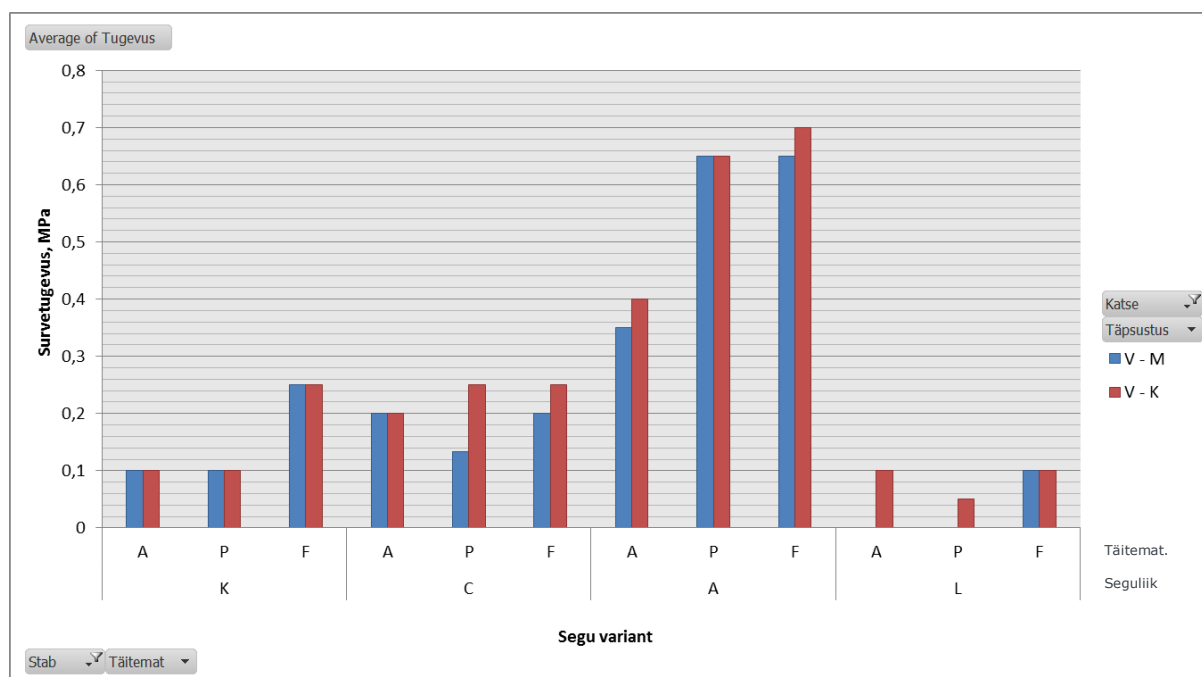


Joonis 50. Stabisegude keskmised survetugevused

Veekindlus

Veekindluse katsetulemused näitavad, et ka lõhestus-tõmbetugevuse näitajad on parimad tuhkstabiliseerimise korral (0,35...0,7 MPa). Kompleksstabi freespuru ja aheraine killustikuga näitaja on ca 0,25 MPa ning tsementstabi omad vahemikus 0,15...0,25 MPa. Ülejäänud kompleksstabi proovikehade näitaja jääb 0,1 MPa

suurusjärku nagu ka lubistabi freespuru ja aherainekillustikuga. Muud lubistabi proovikehad veekeskkonnas vastu ei pidanud.



Joonis 51. Stabiproovikehade lõhestus-tõmbetugevus

10. JÄRELDUSED

Käesolevas töös kaardistati Ida-Virumaal kasutatavate paekillustike omadused ning katseliselt kontrolliti nende omaduste parendamise võimalusi. Et käesolevas töös on käsitletud aherainekillustikke eraldi grupina, on mõistet *paekillustik* käsitletud *aherainekillustikku* mittehõlmavana. Uuringus kasutati killustiku vääristamiseks nii immutamist kui stabimist (stabiliseerimist).

Esimese meetodi (immutamine) puhul tekitati killustiku üksikute terade pinnale külmalt või soojalt (mitte kuumalt) õhuke sideaine (seitse erinevat) kiht, mis eeldati omavat võimet sulgeda killustikutera poorid füüsilis-keemiliselt, vältida selliselt vee sattumist killustiku tera sisse ning parendada märgatavalt killustiku külmakindlust. Eeldati, et selline kiht kivimi pinnal käitub sarnaselt mustkillustikule, mille terade pinnale tekib oletatavalt samuti vettpidav kiht. Viimane on siiski vaid oletus, mis vajaks kontrollimist.

Immutamise katsetulemuste võrdluses selgus, et **immutamise võimalused aheraine- ja paekivi omadusi parendada on tagasihoidlikud**. Parimad tulemused immutusvahenditest andsid **orgaanilised immutusvahendid** – epoksüvaik, põlevkivibituumen ja bituumenemulsioon, mille kasutamise tulemusena vähenesid külmakindluse näitajad tüüpiliselt 1,5...2 korda. Seda on aga selgelt vähe immutamisega kaasnevate kulude õigustamiseks.

Teisalt selgus, et immutamine võib kaasa tuua tõsisemaid **negatiivseid reaktsioone**. Need leidsid aset teetsemendi ja vesiklaasi puhul, mille osavõtul halvenesid aheraine külmakindlused puhta veega ca 3 korda (6,8% -> 17,7...21,8%) ning paekillustiku külmakindlused üle 10 korra (0,8 -> 10,5...12,3%). Eriti ettevaatlikuks teeb siinkohal teetsemendi mõju, mistõttu viimast tuleks edasistes uuringutes tähelepanelikult luubi all hoida.

Immutamise katsete tagasihoidlikku mõju võib arvatavasti selgitada **katse eripäraga**, kus eeldatakse, et killustik võib jääda pikaajaliselt (>20h) vee alla ning külmub seejärel läbi. Selline olukord tee peal on küll teoreetiliselt võimalik kuid vähetõenäoline, kui teede ehitamisel on järgitud elementaarseid nõudeid alumiste kihtide kallete ja drenivuse osas. Pigem usume, et praktikas kondenseerub või satub vesi kivimi pinnale (piiskadena) ja kaitsekiht ei sellist

vett killustikutera sisse ning külmudes **ei saa tekkida killustiku märkimisväärseid kahjustusi.**

Praktikas võime tuua näiteks mustkillustiku, mida kasutatakse laialdaselt peamiselt töötlemata killustikuga võrreldes suurema koormuse jagamise võime pärast (suurem E-moodul) aga ka suurema ilmastikukindluse pärast. **Mustkillustiku kui täitematerjalide omaduste (veeimavuse ja külmakindluse) katseline kontrollimine ja võrdlemine uuringus saadutega aitaks olulisel määral mõista ka käesolevas uuringus saadu väärtust.**

Immutamise osas andis uuring ootamatult tagasihoidlikud tulemused. Kuna praktikas on paekivi immutamist bituumeniga kasutatud aastaid, ei olnud põhjust arvata, et laboratoorsed veeimavuse, külmakindluse- ja veekindluse katsed näitaksid sellise tegevuse ebaotstarbekust. Paraku ei selgunud eelnimetatud katsetes immutamise positiivne mõju paekillustiku omadustele. Arvatavasti tuleb siin kahtluse alla seda nende üldlevinud katsete võime immutamise puhul seda efekti välja tuua. Nimelt tehakse katse mõjude kiirendamise huvides tingimustes kus killustikku hoitakse vees uputatud olekus vähemalt 24 tundi ja tehakse seejärel katsed. Oletame, et see on piisav, et vesi jõuaks kivi katmata kohtade kaudu immutuskahi alla (ka bituumeni puhul). Ka oletame, et bituumeni osakesed isegi sooja kivi korral (ja põlevkivibituumeni ca 140 C korral) ilmselt siiski ei suuda täita killustiku kivimipoore, mistõttu nendesse jõuab bituumeni alla läinud vesi ja immutuse mõju jääb minimaalseks. Samuti oletame, et reaalses tarindis on vee mõju ja rõhk kivimile oluliselt väiksem kuna tegemist on peamiselt kondensveega ning sellise vee vastu on immutamine siiski tõhus. Küll aga võib uuringu põhjal oletada, et vesiklaasi, tsemendi, lubja ja põlevkivituhaga immutamine eraldivõetuna efekti ei anna. Esimese kahe puhul neist tasuks aga olla lausa ettevaatlik, kuna immutamine nendega hoopis kiirendas lagunemist külmakindluse katses. See ei välista, et efektiivseks võivad osutuda mastiksid nt. bituumeni ja tuhaga. Igal juhul oleks aga vaja mõnevõrra erinevat katsemeetodit. Üheks võimaluseks on vähendada selleks veesoleku aega nt. 1 tunnini või 10 minutini ja pikendada vajadusel külmakindluse tsüklite arvu. See vajaks aga eraldi katsetamist esmalt immutamata killustiku peal ning seejärel vaadata, kas see mõjutab tulemusi immutatud kivi korral.

Teise meetodi (stabimine) puhul töödeldi sideainega (neli erinevat) mitte üksnes uuritava killustiku terade pinda, vaid tihedat täitematerjalide segu (kolm erinevat). Sellises segus ei takistata vee tungimist üksiku killustikutera sisse niivõrd sideainekihiga killustikutera pinnal kui sideainega töödeldud täitematerjalisegu tiheda keemiliselt seotud struktuuriga, mis ei lasse veel killustikuterani jõuda. Eeldati, et sellisest töödeldud segust kiht käitub sarnaselt Eestil laialdaselt kasutatavale traditsioonilisele kompleksstabile (paekillustiku baasil).

Tabel 10. Kompleksstabisegud

	Traditsiooniline (ei katsetatud)	Paekillustiku baasil	Aheraine- killustiku baasil	Freesipuru ja aheraine- killustiku baasil
Freesipuru	X			X
Paekillustik	X	X		
Aherainekillustik			X	X
Teetsement	X	X	X	X
Bituumen	X	X	X	X

Kuigi traditsioonilist **kompleksstabi** ei katsetatud (freesipuru + paekillustik + bituumen + teetsement), võib eeldada, et need oleksid siin katsetatutega samaväärsed või mõnevõrra paremad. Usaldusväärsema võrdluse saamiseks traditsiooniliste kompleksstabi segudega, kus aherainekillustiku asemel on freesipuru kõrval paekillustik, on soovitatav vastavad katsed läbi viia. Kompleksstabi ei näidanud katsetatud segudest küll suurimaid survetugevuse tulemusi kuid need tulemused olid teiste stabiilikidega võrreldes **suhteliselt ühtlasemad**. Ühtlane tulemus tähendab, et paralleelsed proovikehad käitusid katsetamisel sarnaselt, minimaalse ja maksimaalse tulemuse erinevus oli vaid kuni 5-kordne, seejuures sama segu ja paralleelkatsete vahel valdavalt vaid kuni 2 kordne. See aga võimaldab segu omadusi reguleerida segu

projekteerimise käigus. Parimad tulemused saada **freesipuru ja aheraine komplekstabi proovikehadel** (1,6-4,1 MPa) aga ühtlased olid ka kompleksstabi proovikehad puhta **paekillustiku** (0,8-2,8 MPa) ning **aheraine killustiku** (0,9-2,3) baasil. Kompleksstabi katsetused näitasid, et freesipuru lisamine aheraine- või paekillustikule tõstab mõnevõrra kompleksstabi tugevusnäitajaid, mistõttu on esmajoones otstarbeks objektidel **kasutada aheraine killustikku koos freesipuruga**. Viimase osakaal võiks olla segus 50% kandis kuid sõltuvalt objekti freesipuru saadavusest võib see osakaal olla ka suurem või väiksem kuid see võib tuua kaasa vajaduse vastavalt suurendada või vähendada sideaine(te) osakaalu.

Teise traditsioonilise stabiiliigina tuntud **tsementstabiliseerimine** andis käesoleva töö katsetes aga **heitlikke tulemusi**. Kuigi nii kuivad kui ka immutatud proovikehad andsid välja täiesti korralikud survetugevused, ei ulatunud külmakindluse katse läbinud proovikehade survetugevus enamasti 1 MPa-ni ning mitmed proovikehad purunesid või andsid nullilähedasi tulemusi. Ehk **sarnaselt immutuskatsetele jäid teetsemendiga külmakindluse tulemused nii puhtas vees kui soolvees tagasihoidlikeks**. Kuigi on võimalik, et ka siin omab teetsement üksinda aherainele ja paekivile külmakindluse osas teatavat negatiivset mõju, tuleb purunemise põhjusi otsida eelkõige mördist endast.

Stabiliseerimise katsetes erinevate segude võrdlemisel selgus, et katsetatud sideainetest osutus **tõhusaimaks tuhkstabiliseerimine**. Kõikidel juhtudel ületasid tulemused tugevuslikult tsementstabiliseerimise omasid kuid sarnaselt tsementstabiliseerimisele ei saadud ainult pae- või aheraine killustikuga stabiliseerides alati positiivset tulemust ehk kaks proovikeha lagunesid. Seejuures olid pae- ja aheraine killustiku omavahelises võrdluses märksa tugevamad **paekillustikuga proovikehad**. Viimaste survetugevused tõusid mõningatel juhtudel 10-11 MPa-ni, mida peetakse üldiselt ohtlikuks pragude tekke seisukohalt (12 MPa, mõnede allikate kohaselt piiratud 8 MPa-ga). Seetõttu tundub, et 10%-line tuha osakaal paekillustiku massist oli liiga kõrge. Kuigi paekillustikuga tehtud proovikehadest üks purunes, näitasid ülejäänud stabiilselt kõrgeid tulemusi. Mõnevõrra väiksema tugevusega kuid **väga ühtlaseid tulemusi näitasid freesipuru ja aheraine segu proovikehad**, mis

peaks sobima hästi Ida regiooni tingimustesse. Minimaalse ja maksimaalse survetugevuse vahe oli vaid 3 korda (2-6 MPa). Üksnes aheraine baasil proovikehad lagunes üks proovikeha ja ühe tulemus jäi alla 0,5 MPa. Ülejäänud juhtudel saadi 1,5-5 MPa. Seetõttu tasub esmajoones tuhaga stabiliseerida **freespuru ja aheraine segu** aga võimalik on tuhkestabida **paekillustikku**, kuid teha seda oluliselt väiksema tuhakogusega (ca 5-7%) ning **aherainekillustikku**, mis võib tugevuse tagamiseks vajada lisaks tsementi. Käesoleva töö põhjal tasub jätkata tuhkestabi katsetamist ka katselõikudena ning esmalt laboris katsetada muuhulgas sideainena tuha kombinatsiooni bituumenemulsiooniga.

Lubistabi külmakindluse katsele vastu ei pidanud. Lubjaga stabimist tasub katsetada edaspidi plastsemate pinnaste stabiliseerimiseks nende veetundlikkuse vähendamiseks ja niiskuse sidumiseks kuid käesolevas töös ei pidanud soolakülmakindluse katsele vastu ükski lubistabitud proovikeha puhtas vees jäid terveks vaid freesipuru ja aherainekillustiku segud.

Käesolevale uuring näitas, et laboratoorsete katsete põhjal **ei jää aherainekillustikuga stabisegud alla kvaliteetsest paekivikillustikust tehtud segudele**. Erandiks osutusid vaid stabisegud, kus oli sideainena kasutatud teetsementi üksi kuid sellised segud andsid ka teistes täitematerjalikombinatsioonides üsna tagasihoidlikke tulemusi. Lisaks näitasid katsed, **kui osa aherainest asendada freespuruga, saavutavad aherainekillustikuga proovikehad oluliselt paremad näitajad kui puhta paekillustikuga stabisegu**.

Kõige paremad tulemused andsid **freespuru ja aheraine segu kompleksstabitud** (2-4 MPa) ja **tuhkestabitud** (2-6MPa) proovikehad. Allolevas tabelis on toodud konsultandi üldistav hinnang erinevate stabide kasutuspotentsiaalile kihtstabina katendite alustes. Hinnang 5 tähendab, et on kasutatav praktiliselt täiendavate uuringutega ja ning 0 tähendab, et ilmselt ei ole kasutatav isegi ulatuslike täiendavate uuringutega ja 1, et puudub soolakülmakindlus. Muude variantide (4, 3 ja 2) kasutamine tundub reaalne kuid nende objektidel kasutamine eeldab vähemal (4) või suuremal (2) määral täiendavate uuringutega tõestamist.

Tabel 11. Hinnang erinevate stabikombinatsioonide kasutuspotentsiaalile

Täitematerjal/ stabi liik	Freesipuru+aheraine killustik	Aheraine killustik	Paekillustik
Kompleksstabi	5	4	4
Tsementstabi	3	1	2
Tuhkstabi	4	3	3
Lubistabi	1	0	0

Käesoleva uuringu põhjal on **kindlasti vaja jätkata** eelkõige stabisegude uuringuid aheraine ja põlevkivituha baasil, kombineerides neid freesipuru ja muude sideainetega nagu bituumenemulsioon, põlevkivibituumen ja tsement. Olgugi, et laboritingimustes on teatud tüüpi põlevkivituhad andnud häid tulemusi, seondub tuhade kasutamisega veel mitmeid probleeme ja hirme. Need on seotud tuha saadavusega, laotamisega ja tuha baasil rajatavate kihtide alg- ja lõpptugevusega, mille puhul peljatakse, et tuhk ei pruugi saavutada piisavalt kiiresti vajalikku algtugevust ning samas ka seda, et tugevus jätkab märkimisväärtset kasvamist ka pärast esimest kuud ning toob kaasa põikpraod hilisemas ekspluatatsioonis. Need olulised küsimused vajavad edaspidi käsitlemist nii palju kui võimalik - laboratoorselt aga ka ehitustehnoloogia osas ka katselõikude näol. Oluline on uuringute jätkamine eelkõige konkurentsivõimeliste nõuete seadmiseks, millised tagaksid erinevate materjalide kombineerimise võimaluse lõpptoote vajalikke omadusi silmas pidades – nt. millistele nõuetele peab stabiliseeritud kiht vastama, kui stabiliseerimiseks kasutada põlevkivituhka?

Nõuete leevendamine aherainekillustiku kasutamiseks

Uuring näitas, et teatud juhtudel, nt. kompleksstabiliseerimise korral on aherainega saavutatavad stabiilselt head tulemused nii tavapärastes tugevusnäitajates kui külmakindluses, survetugevuse näitajad jäid kõikides katsetes stabiilselt 2-3 MPa vahele. Stabi-uuringutes kasutatud killustikupartii purunemiskindlus LA oli 35% ning muud aherainekillustike oma vahemikus

31...40 MPa. Külmaskindluse osas erinesid aherainekillustike näitajad paekillustikest vaid tavalises vees tehtud katsetes. Stabikatsetes kasutatud aherainekillustiku külmaskindluse näitaja oli küllalt kõrge 7% kuid, et see ei paista avaldavat määravat mõju stabikihi külmaskindlusele. On selge, et need näitajad pole kunagi ideaalselt stabiilsed ning võivad mõne protsendipunkti ulatuses kõikuda. Kompleksstabiliseeritud segudes võiks seetõttu eeldatavalt lubada kasutada ka killustikku, mille $LA \leq 40$ (praegune nõue ≤ 35) ja $F \leq 15\%$.

Leebemad nõuded toovad siiski kaasa vajaduse killustiku omaduste sagedasemale kontrollimisele, et vältida kaldumist äärmustesse. Teeme ettepaneku lubada leebematele nõuetele vastava killustiku kasutamist kompleksstabiliseeritud segudes tingimusel, et objekti tellija korraldab tellija ja järelevalve poolt näidatud kohtadest ehitaja juuresolekul akrediteeritud labori poolse proovivõtu koos katsetamisega. Kuna proovide katsetamine toimub paratamatult teatava viitega, sätestada lepingus, kuidas toimitakse juhul kui killustiku purunemiskindluse või külmaskindluse näitaja ei vasta nõuetele. Stabiliseerimistööde alguses koostatakse töövõtja poolt stabisegu retsept ning akrediteeritud laboris koostatakse selle alusel stabisegu komponentide (objekti oleva freesipuru ja killustiku) baasil laboratoorsed proovikehad ning määratakse täiendavalt killustiku LA ja külmaskindlus (vees) ning proovikehade survetugevus 7 ja 28 päeva ning külmaskindlus 28 päeva vanuselt. Protseduuri korratakse minimaalselt 1 kord iga 10000m² stabikihi kohta. Paekivikillustikuga võrdluse saamise huvides on soovitus jätta kohustus igal objektil vähemalt 1 km lõik rajada LA35 nõudele vastavast paekillustikust, tehes ka sellel samad katsed. Kõiki lõike on soovitatav käsitleda katselõikudena ning proovide andmed vormistada eraldi elektroonilise aruandena.

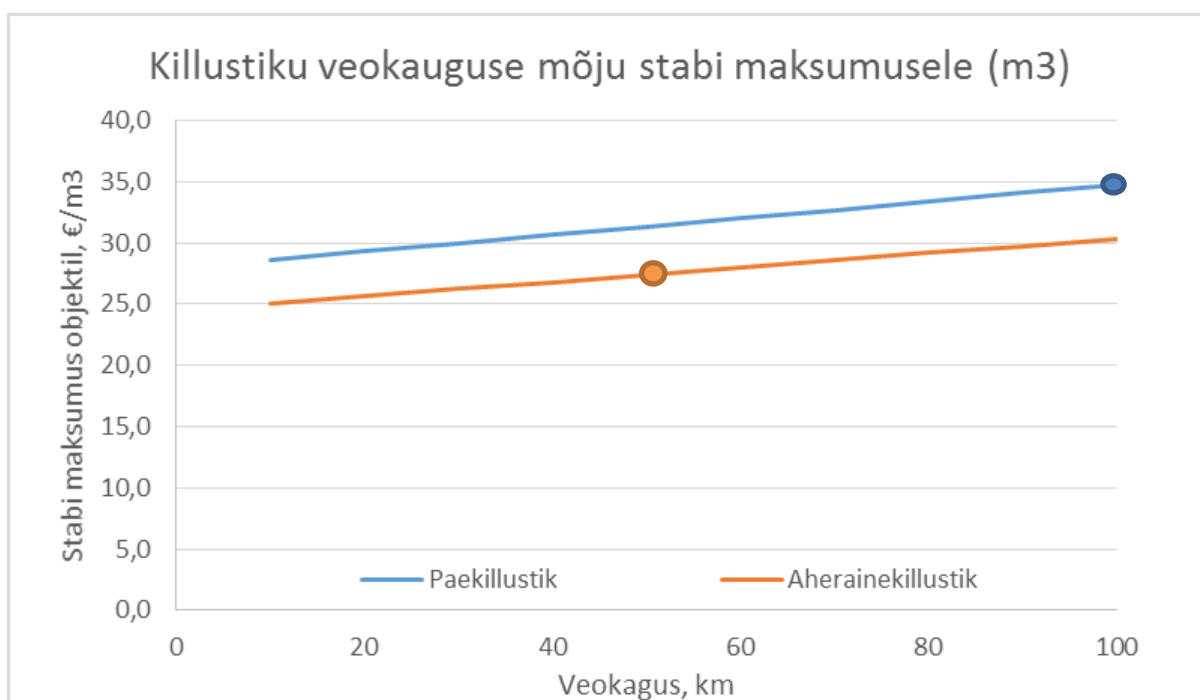
Tehnilis-majanduslikud kaalutlused

Leebemad nõuded toovad eeldatavalt kaasa aherainel kui jäätmel baseeruva killustiku laialdasema kasutuselevõtu ehk vähendada jäätmeid ning võimaldama säästa hinnalist loodusressurssi karjäärist võetava killustiku mahtude vähendamise läbi. Leebemad nõuded koos tugevama kontrolliga toovad eeldatavalt kaasa parema ülevaate stabis kasutatava killustiku ja stabi enda omadustest ning sellega lõpptoote – stabiliseeritud kihi - vähemalt samaväärse või parema kvaliteedi kui traditsiooniliste nõuete korral. Seega ei teki majanduslikku kasu tee eluea pikenemisest ning võime rakendada lihtsustatud lähenemist, hinnates kokkuhoidu, mida teeomanik võiks saada maksumuselt odavam ja väiksema veokaugusega kohaliku killustiku eelistamisel kaugemalt toodavale. Tehnilis-majandusliku mõju hindamiseks viisime läbi vastavad arvutused, võrdlemaks teeomaniku kulusid kehtivate nõuetega (paekivi baasil) ja leebemate nõuetega (aheraine baasil).

Arvutustes oleme lähtunud eeldusest, et aherainekillustiku tootjad ei suuda tagada täna stabikillustiku jaoks vajalikku LA35 nõuet ja seda stabis täna ei kasutata ning veel järgmistest eeldustest:

	Paekivi	Aheraine	
Veo ühikmaksumus	0,09	0,09	€/tkm
Killustiku mahumass (puistes), 16/32	1,5	1,3	t/m ³
Kalluri kandevõime	25	25	t
Veo maksumus	0,14	0,12	€/m ³ km
Killustiku osakaal segus	50%	50%	
			€/segu m ³
Veo maksumus segu ühikutes	0,0675	0,0585	km
Killustiku mahumass (tihendatult)	2	1,8	t/m ³
Killustiku maksumus, 16/32	8	5	€/t
Killustiku maksumus, 16/32 (tihendatult)	16	9	€/m ³
Killustiku osakaal segus	50%	50%	
			€/segu m ³
Killustiku maksumus segus (veota)	8	4,5	km
Stabi ilma veota maksumuse arvutus kui 25km veoga koos on 30€/m ³			
Killustiku maksumus segus (veota)	8	4,5	€/segu m ³
Veo maksumus kaugusel 30 km	2,0	1,8	€/segu m ³
Stabi maksumus veota	28,0	24,5	€/segu m ³

Stabi 1 m³ maksumuseks kujuneb sõltuvalt veokaugusest (0...100 km) paekillustiku korral 28,0...38,1 €/m³ ning aheraine killustiku korral 24,5...33,3€/m³. Maksumuse vahe 4,5...4,8€/m³ sama veokauguse korral tähendab teoreetiliselt seda, et aheraine killustik on konkurentsivõimeline ka ca 60 km suurema veokauguse korral. Paekillustiku pikimad veokaugused lähimatest karjääridest jäävad ca 100 km kaugusele, aheraine killustiku omad ca 50 km kaugusele. See aga tähendab, et kompleksstabi maksumus võib alaneda keskmiselt ca 35€/m³ tasemelt (paekillustik 100 km) 28€/m³ (aheraine killustik 50 km) tasemele ehk ca 20%. Ehkki aheraine killustik võib osutuda konkurentsivõimeliseks ka teistes maakondades, ei pruugi see avalduda maksumuses. Veelgi soodsama tulemuse võib saada tuhkestabiliseerimisel.



Uuringu põhjal võib juba täna soovitada suhteliselt nõrga paekivi ja aheraine (LA₄₀ ja F₁₅) kasutamist kompleksstabiliseeritud stabisegudes koos freespuruga, milline on laboratoorses katsetes näidanud stabiilseid tulemusi ja milline võib näiteks Ida Virumaal tänu sellise täitematerjali soodsamale hinnale ja väiksemale veokaugusele alandada kompleksstabi maksumust keskmiselt kuni 20%. Juhul kui kompleksstabiliseerimise asemel õnnestub kasutada tuhkestabiliseerimist, on potentsiaalne sääst veelgi suurem.

Järgmise sammuna tasub alustada katselõikudega osaliselt või täielikult tuhksideainel aherainel baseeruvate stabisegude baasil nii koos freespuruga kui ilma. Jäigemate segude puhul, kus survetugevus küünib 28 päeva vanuselt 5-6 MPa-ni, tuleb muuhulgas tehnoloogilise eelprojekteerimise faasis läbi mõelda erinevad lahendused põikpragude riski vähendamiseks.

11. KOKKUVÕTE

Uuring seadis eesmärgiks saada ülevaade Ida-Virumaal kasutatava paekillustiku ja aherainekillustiku omadustest ning selgitada kahe erineva tehnoloogia teoreetilist kasutatavust sellise killustiku vääristamiseks ehk omaduste parendamiseks. Ühe tehnoloogiana kasutati jämetäitematerjali immutamist eesmärgiga sulgeda kivimi poorid ja vähendada sellega veeimavust külmakindluse tõstmise eesmärgil ning teisena stabiliseerimistehnoloogiat tiheda tervikkihi saamiseks, sellega vee pääsu tõkestamiseks killustiku teradeni ja seeläbi külmakindluse andmiseks.

Uuringus teostatud immutuskatsete tulemused ei kinnitanud immutamise märkimisväärselt positiivset mõju killustike veeimavuse ja külmakindluse näitajatele. Mõnel juhul vastupidi, tsemendisuspensiooni ja vesiklaasiga immutamine hoopis halvendasid killustiku külmakindlusnäitajaid ja seda olulisel määral. Mõningane positiivne tendents saavutati küll bituumenemulsiooni, põlevkivibituumeni ja epoksüvaiguga immutamisel kuid mõju jäi oodatust palju väiksemaks.

Ühelt poolt võib oletada, et laboris suhteliselt madalatel temperatuuridel läbiviidud immutamine jättis kivimipoorid täitmata. Teisalt ei saavutatud laboris ilmselt alati kivimi 100%-list kaetust (nt. epoksüvaigu puhul tuli terad üksteise küljest lahti murda). Kolmandaks hoiti killustikuterasid vee keskkonnas küllalt kaua - min 24h. See omakorda tekitab mitmeid küsimusi. Kas traditsiooniline mustkillustik käituks nimetatud katsetes sarnaselt? Kas 24 h jooksul jõuab vesi ka väikeste katmata kohtade korral märjata kogu tera? Kas suhteliselt pikaajalise uputamisega standardsed katsed iseloomustavad piisavalt hästi olukorda teetarindis? On võimalik, et kasutatud katsemetoodikad on immutamise mõju hindamiseks ebasobivad. Edaspidi tasuks teha vähemalt veeimavuse katsed ka kuumalt nii tehases kui erinevatel temperatuuridel laboris segatud mustkillustikuga ja võrrelda näitajaid. Samuti tuleks selgitada paekivi veeimavuse dünaamikat, ehk kui kiiresti vesi kivimisse tungib ning kuidas absorbeerib paekillustik vett märgades tingimustes kui pole otseselt vee sees.

Stabiliseerimise mõju kujunes aga oodatust positiivsemaks. Seda ennekõike freesipuru ja aheraine segu kompleksstabisegude ja tuhkstabisegude osas, kus

kõikide täitematerjalid puhul ületasid survetugevuse näitajad nii immutatud kui immutamata olekus ning külmakindluse katsetes teiste stabiilide vastavaid näitajaid. Mõnevõrra nõrgemaid tulemusi näitasid puhta aherainekillustikuga ja puhta paekillustikuga kompleksstabiliseeritud segud ja freesipuru ning aherainekillustiku seguga tsement- ja tuhkstabisegud. Lubistabiliseeritud segudel külmakindlus sisuliselt puudus. Samad tendentsid ilmnesisid lõhestustõmbetugevuse juures. Tuhkstabiliseerimise keskmiselt 0,3-0,7 MPa kõrval andsid tsement- ja tuhkstabiliseerimine tulemusteks 0,1-0,3 MPa ja lubistabi kuni 0,1 MPa.

Täitematerjalide lõikes näitasid karjääris toodetud paekivist segud praktiliselt samaväärseid tulemusi aherainekillustikust toodetud segudega kuid neist kahest tuntavalt paremaid tulemusi näitasid kõik segud, milles aheraine oli osaliselt asendatud freesipuruga. Selline tehnoloogia peaks eriti Ida-Virumaa tingimustesse sobima olemasolevate teede rekonstrueerimiseks väga hästi. Uute teede tarvis drenikihi peal tuleks aga katsetada kas vähese freesipuru või bituumeni lisandiga tuhkstabisegusid aheraine baasil. Tuhkstabisegude kasutamist takistab täna veel ebakindlus tuha omaduste stabiilsuse osas ning tehnoloogilised puudujäägid suurte kogustega (ca 10%) tuha laotamisel aga ka ebakindlus tuhkstabid alg- ja lõpptugevuse osas ning nendest tulenevate võimalike kandevõime- ja pöikpragude osas.

Kokkuvõtvalt võib käesolevat uuringut pidada tulemuslikuks, andes väga palju uut teavet erinevate killustike käitumise kohta nii stabisegudes kui võimalusi ja probleeme nende parendamisel immutamise teel. Uuringu tulemuste järjekindlal rakendamisel on võimalik hoida kokku nii loodusressursse kui rahalisi vahendeid alusekihtide ehitamisel. Samas on oluline jätkata uuringuid mõistlike nõuete seadmiseks erinevatele stabidele, soodustamaks innovatsiooni ja kohalike materjalide paremat ärakasutamist.

12. KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Tartu Ülikooli Geoloogiamuuseumi veebileht
<http://www.ut.ee/BGGM/maavara/lubjakivi.html>
- [2] Tartu Ülikooli Geoloogiamuuseumi veebileht
<http://www.ut.ee/BGGM/maavara/pglevkivi.html>
- [3] KILLUSTIK AIDU KARJÄÄRIS Illimar Parts 2008, KILLUSTIKU KAEVANDAMINE JA KASUTAMINE, Eesti Mäeselts, TTÜ Mäeinstituut
http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/artiklid/2008/Killustiku_kaevandamine_ja_kasutamine_EMK2008.pdf
- [4] TTÜ Geoloogiainstituudi veebileht
<http://www.geoeducation.info/geoturism/paekivi.php>
- [5] TTÜ Geoloogiainstituudi veebileht
<http://www.geoeducation.info/geoturism/polevkivi.php>
- [6] Mihkel Koel, ajakiri "Oil Shale" <http://www.kirj.ee/public/oilshale/Est-OS.htm>
- [7] T.Tohver "UTILIZATION OF WASTE ROCK FROM OIL SHALE MINING", ajakiri "Oil Shale" 2010, vol 27, No 4, p.321-330)
http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/artiklid/2010/Tohver_Utilization.pdf
- [8] V. KARU, A. VÄSTRIK, A. ANEPAIO, V. VÄIZENE, A. ADAMSON, I. VALGMA, "FUTURE OF OIL SHALE MINING TECHNOLOGY IN ESTONIA", ajakiri "Oil Shale" 2008, vol 25, No 2, p.125-134)
http://www.kirj.ee/public/oilshale_pdf/2008/issue_2S/oil-2008-2S-4.pdf
- [9] M. VEIDERMA* "ESTONIAN OIL SHALE – RESOURCES AND USAGE"
http://www.eap.ee/public/oilshale/3_veiderma_3003_3s.pdf
- [10] European Academies Science Advisory Council – "A study on the EU oil shale industry – viewed in the light of the Estonian experience"
http://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Study.pdf
- [11] Alusdokument 12. juuni 2014 - Prügilate ja kaevandamisjäätmete hoidlate ülevaade. http://www.envir.ee/sites/default/files/prygilad_ja_jaatmehoidlad.pdf

[12] „Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016 - 2030“ koostamiseks vajalike andmete analüüs, 2012), Põlevkivi aheraine ladestud Ida-Virumaal

[13] Stanislav Ignatovets „PÕLEVKIVI RIKASTAMISJÄÄKIDE LADUSTAMINE ESTONIA KAEVANDUSE NÄITEL“

<http://eprints.tktk.ee/425/1/LOPUTOO%20S.%20Ignatovets.pdf>

[14] “Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2016-2030”

http://www.envir.ee/sites/default/files/pk_arengukava_2016_2030_eelnou.pdf

[15] „Põlevkivisektori konkurentsiolukorra analüüs“

http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/2/20/Polevkivisektori_konkurentsio_lukorra_analuus.pdf

[16] Peeter Eek, Rein Raudsep, „Aheraine pole tingimata aher aine ehk Aherainemägedes peitub leevendus ehitusmaavarade puudusele“, artikkel ilmus lühendatud kujul 12.03.2008 Eesti Päevalehe vahelehes Ärileht,

<http://killustik.blogspot.com/2008/03/aheraine-pole-tingimata-aher-aine-ehk.html>

[17] „PÕLEVKIVI KASUTAMISE RIIKLIK ARENGUKAVA 2008–2015“,

<https://www.riigiteataja.ee/aktiisa/0000/1305/7849/13058929.pdf>

[19] Eesti ehitusmaavarade nõudluse prognoos aastateks 2012-2020. Eesti Konjunkturiinstituut 2011,

<http://www.envir.ee/sites/default/files/ehitusmaavaradeprognoos2012-20.pdf>

[19] Elo Rannik, Mairy Killing, Erki Niitlaan, „PROBLEEM EHITUSKRUUSA UURINGUL“

[20] TTÜ Mäeinstituut: Kaevandamise tehnoloogia konspekt,

http://okokratt.ee/seminarid/Kaevandamise_tehnoloogia_2.pdf

[21] TTÜ Mäeinstituut - Põlevkivi kaevandamise tehnoloogia

<http://maeopik.blogspot.com/2012/09/polevkivi-kaevandamise-tehnoloogia.html>

[22] Enno Reinsalu - Eesti põlevkivi kaevandamine

<http://www.galerii.ee/panoraam/eesti/teemad/polevkivi/kaevandamine.html>

[23] Erik Kalda, ajaleht „Põhjarannik“, „Põlevkivi keskkonnamõju on vähenenud, <http://pr.pohjarannik.ee/?p=10870>

[24] Põlevkivivaldkonna ülevaade ja Põlevkivi Kompetentsikeskuse ülesanded

Ekspertgrupi koondaruanne Koostas Hella Riisalu, PhD,

http://www.vk.edu.ee/projektid/pkk/veebi/PKK%20ekspertgrupi%20koondaruanne_finaal.pdf?VKSID=ad27b1e3febee5dc0eeecb8153bbf9f3

[25] Ehituskeemia portaal inglise keeles

<http://www.internetchemistry.com/chemistry/building-chemistry.htm>
14.10.2014

[26] Saksakeelne ehituskeemia portaal, <http://www.baustoffchemie.de/>

14.10.2014

[27] Duggal S.K. Building materials. 3-rd Edition New Age - Duggal S.K. Building materials. 3-rd Edition New Age

<file:///C:/Users/user/Downloads/Building+Materials,+3rd+Edition+byS.+K.+Duggal.pdf> 01.10.14

[28] Ecocrete projekti veebileht http://ecocrete.eu/ET_24_3.htm

[29] WIRTGEN KÜLMSTABILISEERIMISE KÄSIRAAMAT. Teine väljaanne.

November 2004

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga
kivi vääristamise teadusuuringud“ LÕPPARUANNE

13. LISAD

LISA 1

TEEDE TEHNOKESKUS AS
ARENDUS JA UURINGUD OSAKOND
Väike-Männiku 26
11216 TALLINNKATSEPROTOKOLL
NR 4607/14

05.11.2014 nr 7-6.4/7030

Lk 1/3

Tellija

TEEDE TEHNOKESKUS AS – hr Marek Truu

Töö ülesanne

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud” raames võetud killustiku proovide katsetamine.

Proovide kirjeldus

Proovid võeti ja toodi laborisse katsetamiseks Teede Tehnokeskus AS labori esindaja poolt.

Laboris registreeriti proovid järgmiselt:

Karjäär	Fr	Võtmise kuupäev	Lab reg nr
Rõstla	16/32	10.09.2014	4768
Sopimetsa II	16/32	10.09.2014	4769
Otisaare	16/32	24.09.2014	5312
Lõuna-Aru	16/32	16.09.2014	5058
Suurkõrtsi	16/32	18.09.2014	5113
Sompa	16/32	15.09.2014	4878
Ojamaa kaevandus	16/32	15.09.2014	4879
Ahtme	16/32	18.09.2014	5114
Põhja-Kiviõli	16/32	18.09.2014	5115
Estonia	16/32	23.09.2014	5264

Katsetamine ja tulemused

Katsestandardite loetelu on esitatud lk 2/3 ja katsetulemused lk 3/3.

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist

Nimi Märt Hain



Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Labor väljastab ainult värvilise templiga katseprotokolle.



Jrk nr	Omadus	Katsemeetod	Tähis
1.	Orgaanilise aine sisaldus põletuskao meetodil 500 °C juures 3 h	*EVS-EN 1997-2:2007 lisa N punkt N.2	-
2.	Lihtsustatud petrograafiline analüüs	*EVS-EN 932-3:2000+A1:2003	-
3.	Külmakindlus	EVS-EN 1367-1:2007	F
4.	Külmakindlus 1%-lises NaCl lahuses	EVS-EN 1367-6:2008	F _{NaCl}
5.	Terakuju plaatsusteguri järgi	EVS-EN 933-3:2012	FI
6.	Purunemiskindlus Los Angelese katsel	EVS-EN 1097-2:2010	LA
7.	Osakeste näivtihedus	EVS-EN 1097-6:2013 (traatkorvi meetod)	ρ_a
8.	Osakeste tihedus väljakuivatatud olekus		ρ_{rd}
9.	Osakeste tihedus küllastatud pindkuivas olekus		ρ_{ssd}
10.	Veeimavus		WA ₂₄
11.	Peenosiste sisaldus ja terakoostis	EVS-EN 933-1:2012 (pesemine ja sõelumine)	f

* – Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt akrediteerimata katse.

Los Angelese katse jaoks vajamineva fraktsiooni saamiseks purustati proov eelnevalt laboratoorses lõugpurustis.

Karjäär	Reg nr	Kuumutuskadu		Lihtsustatud petrograafiline analüüs	Terakoostis						
		Katse fr, mm	%		Läbib sõela ava (mm) massi %-des						
					40	31,5	22,4	20	16	8	0,063
Röstla	4768			100 % sette (44 % hall ja 56% punane)	100	99	51	34	15	2	0,7
Sopimetsa II	4769			100 % sette (100 % hall)	100	99	54	35	9	1	0,9
Otisaare	5312			100 % sette (100 % hall)	100	97	33	20	4	1	0,8
Lõuna-Aru	5058			100 % sette (100 % hall)	100	93	19	7	2	1	0,5
Suurkõrtsi	5113			100 % sette (95 %hall ja 5% punane)	100	98	39	21	3	2	1,2
Sompa	4878	0/2	8,0	100 % sette (38% hall ja 62% pruun)	100	96	43	29	8	2	1,1
Ojamaa kaevandus	4879	0/2	8,2	100 % sette (39% hall ja 61% pruun)	100	98	57	40	10	2	1,4
Ahtme	5114	0/2	5,1	100 % sette (42% hall ja 58% pruun)		100	50	26	4	0	0,4
Põhja-Kiviõli	5115	0/2	4,8	100 % sette (59% hall ja 41% pruun)		100	53	33	9	1	1,0
Estonia	5264	0/2	5,6	100 % sette (50% hall ja 50% pruun)	100	97	42	27	5	2	1,3

Karjäär	Reg nr	Külmakindlus				Plaatsus FI		Purunemiskindlus		Osakeste tihedus ja veeimavus					
		F		Katse fr, mm	F _{NaCl} %	Katse fr, mm	FI %	Katse fr, mm	LA, %	Katse fr, mm	WA ₂₄	P _{rd}	P _a	P _{ssd}	
		Katse fr, mm	F, %												
Röstla	4768	16/31,5	2,2	16/31,5	52,4	10/40	13,0	10/14	26,8	16/31,5	3,0	2,58	2,8	2,66	
Sopimetsa II	4769	16/31,5	0,5	16/31,5	4,8	12,5/31,5	8,3	10/14	27,8	16/31,5	1,0	2,66	2,74	2,69	
Otisaare	5312	16/31,5	0,3	16/31,5	0,9	12,5/40	10,2	10/14	29,8	16/31,5	0,7	2,64	2,69	2,66	
Lõuna-Aru	5058	16/31,5	0,8	16/40	80,1	16/40	9,2	10/14	26,8	16/31,5	2,1	2,58	2,73	2,63	
Suurkõrtsi	5113	16/31,5	0,9	16/40	79,1	12,5/40	6,7	10/14	30,7	16/31,5	2,2	2,59	2,75	2,65	
Sompa	4878	16/31,5	3,5	16/31,5	64,7	12,5/40	5,7	10/14	35,5	16/31,5	4,4	2,26	2,51	2,36	
Ojamaa kaevandus	4879	16/31,5	11,8	16/31,5	70,8	12,5/40	7,8	10/14	40,0	16/31,5	5,0	2,23	2,51	2,34	
Ahtme	5114	16/31,5	2,3	16/31,5	59,8	12,5/31,5	2,1	10/14	33,3	16/31,5	4,4	2,27	2,53	2,38	
Põhja-Kiviõli	5115	16/31,5	3,7	16/31,5	73,9	12,5/31,5	4,8	10/14	36,0	16/31,5	4,1	2,31	2,54	2,40	
Estonia	5264	16/31,5	6,8	16/31,5	72,6	12,5/40	3,3	10/14	34,3	16/31,5	4,9	2,27	2,56	2,38	

TEEDE TEHNOKESKUS AS
ARENDUS JA UURINGUD OSAKOND
Väike-Männiku 26
11216 TALLINN
KATSEPROTOKOLL
NR 4828/14

14.11.2014 nr 7-6.4/7332

Lk 1/1

Tellija TEEDE TEHNOKESKUS AS – hr Marek Truu

Töö ülesanne Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi väärastamise teadusuuringud“ raames võetud Estonia karjääri täitematerjali fr 0/4 mm proovi katsetamine.

Proovide kirjeldus Proov võeti Estonia karjäärist 23.09.14 (proovivõtu pr nr L-0923/3) ja toodi laborisse katsetamiseks Teede Tehnokeskus AS labori esindaja poolt.

Laboris registreeriti proov registreerimisnumbriga 5265.

Katsetamine ja tulemused * - Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt akrediteerimata katse.

Jrk nr	Omadus	Katsemeetod	Proovi		Katsetamise		Tähis
			nr	fr mm	fr mm	tulemus	
1.	Peenosiste sisaldus	EVS-EN 933-1:2012 (pesemine ja sõelumine)	5265	0/4	-	16,4 %	f
2.	Metüleensinise arv	EVS-EN 933-9:2009+A1:2013 (Lisa A)	5265	0/4	0/0,125	6,7 g/kg	MB _F
3.	Orgaanilise aine sisaldus põletuskao meetodil 500 °C juures 3 h	*EVS-EN 1997-2:2007 lisa N punkt N.2	5265	0/4	0/2	6,3 %	-

4. Terakoostis EVS-EN 933-1:2012 (pesemine ja sõelumine) järgi:

reg. nr	Läbib sõela ava (mm) massi %-des						
	6,3	4	2	1	0,5	0,25	0,125
5265	100	85	59	41	30	24	19

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori peaspetsialist
Nimi Märk Hain


Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Labor väljastab ainult värvilise templiga katseprotokolle.

Tellija

TEEDE TEHNOKESKUS AS – hr Marek Truu

Töö ülesanne

Teadus- ja arendustöö „Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi väärastamise teadusuuringud” raames võetud killustiku proovide katsetamine.

Proovide kirjeldus

Proovid võeti ja toodi laborisse katsetamiseks Teede Tehnokeskus AS labori esindaja poolt. Laboris registreeriti proovid järgmiselt:

Karjäär	Fr	Võtmise kuupäev	Lab reg nr
Röstla	16/32	10.09.2014	4768
Sopimetsa II	16/32	10.09.2014	4769
Otisaare	16/32	24.09.2014	5312
Lõuna-Aru	16/32	16.09.2014	5058
Suurkõrtsi	16/32	18.09.2014	5113
Sompa	16/32	15.09.2014	4878
Ojamaa kaevandus	16/32	15.09.2014	4879
Ahtme	16/32	18.09.2014	5114
Põhja-Kiviõli	16/32	18.09.2014	5115
Estonia	16/32	23.09.2014	5264

Katsetamine ja tulemused

Katsetamine toimus Keskkonnaameti Kiirgusosakonnas (EAK poolt akrediteeritud katselabor registreerimisnumbriga L175).

Katsetulemused on võetud Keskkonnaameti Kiirgusosakonna protokollidest:

Karjäär	Radioaktiivsuse analüüsi tulemused	Lab reg nr
Röstla	16.10.2014 nr 19-7.2/14/135	4768
Sopimetsa II	16.11.2014 nr 19-7.2/14/136	4769
Otisaare	06.11.2014 nr 19-7.2/14/155	5312
Lõuna-Aru	04.11.2014 nr 19-7.2/14/149	5058
Suurkõrtsi	04.11.2014 nr 19-7.2/14/150	5113
Sompa	23.10.2014 nr 19-7.2/14/140	4878
Ojamaa kaevandus	23.10.2014 nr 19-7.2/14/141	4879
Ahtme	04.11.2014 nr 19-7.2/14/151	5114
Põhja-Kiviõli	04.11.2014 nr 19-7.2/14/152	5115
Estonia	04.11.2014 nr 19-7.2/14/153	5264

Analüüsi meetod: Gamma-spektromeetria IEC 1452:1995.

Eriaktiivsuse indeks I väärtused on esitatud lk 2/2.

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori juhataja

Nimi Silver Siht

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Labor väljastab ainult värvilise templiga katseprotokolle.

Karjäär	Reg nr	Proovis määratud isotoobid ja nende aktiivsused (mõõtetulemuse maksimaalsed väärtused)				*Eriaktiivsuse indeks I		
		Cs- 137	K- 40	Ra- 226	Th- 232	I (ehitusmat)	I (tänavad)	I (täitepinnas)
Rõstla	4768	0,28	394	16	8	0,225	0,088	0,033
Sopimetsa II	4769	0,11	20,6	2,8	1,6	0,024	0,010	0,004
Otisaare	5312	0,14	8,1	1,4	1,2	0,013	0,005	0,002
Lõuna-Aru	5058	0,27	221	94	17	0,472	0,196	0,069
Suurkõrtsi	5113	0,21	235	71	14	0,385	0,159	0,057
Sompa	4878	0,13	168	14	7	0,138	0,055	0,020
Ojamaa kaevandus	4879	0,2	218	17	8	0,169	0,068	0,025
Ahtme	5114	0,22	138	14	6	0,123	0,049	0,018
Põhja-Kiviõli	5115	0,2	182	16	7	0,149	0,060	0,022
Estonia	5264	0,14	253	14	9	0,176	0,070	0,026

*Eriaktiivsuse indeks I arvutamise aluseks on määrase „Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdooside seire ja hindamise kord ning radionukliidide sissevõttust põhjustatud dooside doosikoeffitsientide ning kiirgus- ja koefaktori väärtused (vastu võetud 26.05.2005 nr 45)“ § 1 punktis 3 olev arvutusvalem:

$$I = \sum_i \frac{C_i}{A_i}$$

kus C_i tähendab radionukliidide mõõdetud aktiivsuse kontsentratsiooni (ühikutes Bq/kg) ja A_i on vastava radionukliidi / kasutusalaast sõltuv parameeter (Bq/kg), mille väärtused on esitatud määrase lisas 1.

Määrase lisa 1 väärtused:

Materjal	Parameeter A _i (Bq/kg)			
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
Ehitusmaterjalid	300	200	3000	-
Tänavate ja märguväljakute ehitusmaterjalid	700	500	8000	2000
Täitepinnas	2000	1500	20000	5000



TEEDE TEHNOKESKUS AS
ARENDUS JA UURINGUD OSAKOND
Väike-Männiku 26
11216 TALLINN

KATSEPROTOKOLL NR 584/15

08.04.2015 nr 7-6.4/1111
Lk 1/3

Tellija Arendus ja Uuringud – hr Marek Truu

Tööülesanne Erinevate sideainetega immutatud täitematerjalide katsetamine.

Proovide kirjeldus Töös kasutatud täitematerjalid ja lisandid:

Reg nr	Materjal
5264	Estonia karjääri aheraine killustik
5058	Lõuna-Aru karjääri lubjakivi killustik
4880	Teetsement HRB 32,5 E
7201	EEJ 8.keevkihtkatla elektrifiltrituhk - CFB EF1
22	Kustutatud lubi Ca(OH)_2
222	Vesiklaas (Naatriumvesiklaas)
223	bituumenemulsioon C60B4
225	Kahekomponentne epoksüvaik GL 110
226	Põlevkivibituumen PB-2

Katsetamine ja tulemused

Täitematerjalid immutati erinevate ainetega ja määrati:

1. Osakeste tihedus ja veeimavus (EVS-EN 1097-6:2013; traatkorvi meetod)
2. Külmaskindlus destilleeritud vees (EVS-EN 1367-1:2007)
3. Külmaskindlus 1%-lises NaCl lahuses (EVS-EN 1367-6:2008)
4. Tihendati guraatortihendajaga (EVS-EN 12697-31:2007; 120 pööret) ja määrati uuesti osakeste tihedus ja veeimavus (EVS-EN 1097-6:2013; traatkorvi meetod)

Katsetulemused ja immutamisel kasutatud ainete kontsentratsioonid on esitatud lk 2/3 ja lk 3/3.

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori juhataja

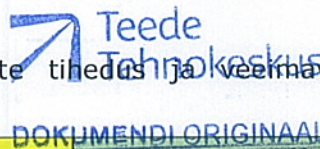
Nimi

Silver Siht



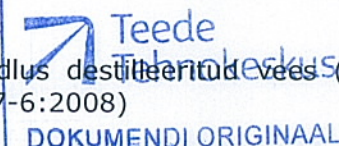
Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Labor väljastab ainult värvilise templiga katseprotokolle.



1. Immutatud täitematerjali osakeste tihedus ja veeimavus (EVS-EN 1097-6:2013; traatkorvi meetod)

Täite- materjali Reg nr	Lisand			Katsetulemused			
				Veeimavus	Tihedus kuivatatud olekus	Näiv- tihedus	Tihedus pindkuivalt
	Nimetus	reg nr	% segus	WA ₂₄	P _{rd}	P _a	P _{ssd}
				%	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³
5058	PB-2	226	2,5%	1,6	2,64	2,76	2,68
5264			2,1%	2,8	2,23	2,38	2,29
5058	C60B4	223	3,3%	1,6	2,47	2,57	2,51
5264			3,5%	3,5	2,22	2,41	2,30
5058	vesiklaas	222	1,3%	2,1	2,57	2,72	2,63
5058			0,2%	2,0	2,58	2,72	2,63
5058			0,5%	2,1	2,57	2,72	2,63
5058			0,9%	2,0	2,59	2,73	2,64
5058			1,2%	1,8	2,59	2,72	2,64
5264			1,7%	4,0	2,29	2,52	2,38
5264			0,2%	3,7	2,31	2,53	2,40
5264			0,5%	4,3	2,25	2,49	2,34
5264			0,9%	3,7	2,28	2,49	2,37
5264			1,0%	3,4	2,28	2,48	2,36
5058	HRB	4880	1,1%	2,3	2,54	2,7	2,6
5264			1,1%	4,2	2,27	2,51	2,36
5058	tuhk	7201	1,5%	2,7	2,54	2,73	2,61
5264			1,3%	4,5	2,26	2,52	2,36
5058	Epo GL 110	225	1,4%	1,9	2,54	2,66	2,58
5264			1,4%	3,1	2,27	2,44	2,34
5058	K. Lubi	22	0,9%	2,3	2,56	2,72	2,62
5264			0,8%	3,9	2,27	2,49	2,36



2. Immutatud täitematerjali külmakindlus destilleeritud vees (EVS-EN 1367-1:2007) ja 1%-lises NaCl lahuses (EVS-EN 1367-6:2008)

Täite- materjali Reg nr	Lisand			Katsetulemused			
	Nimetus	reg nr	% segus	F		F _{NaCl}	
				Fr mm	%	Fr mm	%
5058	PB-2	226	2,1%	16/31,5	0,4	16/31,5	67,5
5264			2,4%	16/31,5	5,0	16/31,5	54,9
5058	C60B4	223	3,4%	16/31,5	0,7	16/31,5	51,1
5264			4,3%	16/31,5	4,8	16/31,5	58,5
5058	vesiklaas	222	1,2%	16/31,5	12,3	16/31,5	77,9
5264			1,0%	16/31,5	17,7	16/31,5	68,6
5058	HRB	4880	1,1%	16/31,5	10,5	16/31,5	72,1
5264			1,1%	16/31,5	21,8	16/31,5	70,2
5058	tuhk	7201	1,5%	16/31,5	2,7	16/31,5	76,0
5264			1,3%	16/31,5	6,7	16/31,5	73,2
5058	Epo GL 110	225	1,4%	16/31,5	0,4	16/31,5	50,8
5264			1,4%	16/31,5	3,2	16/31,5	45,9
5058	K. Lubi	22	0,9%	16/31,5	1,4	16/31,5	73,2
5264			0,8%	16/31,5	6,8	16/31,5	70,8

3. Guraatortihendajaga (EVS-EN 12697-31:2007; 120 pööret) tihendatud materjali osakeste tihedus ja veeimavus (EVS-EN 1097-6:2013; traatkorvi meetod)

Täite- materjali Reg nr	Lisand			Katsetulemused			
	Nimetus	reg nr	% segus	Veeimavus	Tihedus kuivatatud olekus	Näiv- tihedus	Tihedus pindkuival
				WA ₂₄ %	P _{rd} Mg/m ³	P _a Mg/m ³	P _{ssd} Mg/m ³
5058	PB-2	226	2,5%	2,1	2,48	2,62	2,53
5264			2,1%	3,9	2,25	2,47	2,34
5058	C60B4	223	3,3%	2,3	2,46	2,61	2,52
5264			3,5%	4,3	2,20	2,43	2,29
5058	vesiklaas	222	1,2%	1,8	2,59	2,72	2,64
5264			1,0%	3,3	2,33	2,52	2,41
5058	HRB	4880	1,1%	2,1	2,57	2,72	2,63
5264			1,1%	3,9	2,28	2,50	2,37
5058	tuhk	7201	1,5%	2,5	2,55	2,73	2,62
5264			1,3%	4,0	2,28	2,51	2,37
5058	Epo GL 110	225	1,4%	1,8	2,56	2,68	2,60
5264			1,4%	3,2	2,28	2,46	2,35
5058	K. Lubi	22	0,9%	2,1	2,57	2,71	2,63
5264			0,8%	3,8	2,28	2,49	2,36

KATSEPROTOKOLL

NR 394/15

18.03.2015 nr 7-6.4/742

Lk 1/1

Tellija Arendus ja Uuringud – hr Marek Truu

Tööülesanne Aheraine teadustöö raames valitud täitematerjalide ning erinevate sideainetega tehtud stabiliseeritud segude katsetamine.

Proovide kirjeldus Laboratoorselt segatud segudest valmistatud proovikehad registreeriti laboris:

Reg nr	Valmistamise kuupäev	Segu	
		Sideaine	Täitematerjal
416	22.01.2015	Teetsement HRB 32,5 E	Estonia karjääri aheraine killustik
417	23.01.2015		Lõuna-Aru karjääri lubjakivi killustik
418	23.01.2015		Purustatud asfalt ja Estonia karjääri aheraine killustik
419	27.01.2015	Teetsement HRB 32,5 E ja bituumenemulsioon C60B4	Estonia karjääri aheraine killustik
420	28.01.2015		Lõuna-Aru karjääri lubjakivi killustik
421	26-27.01.2015		Purustatud asfalt ja Estonia karjääri aheraine killustik
422	29.01.2015	EEJ 8.keevkihtkatla elektrifiltrituhk - CFB EF1	Estonia karjääri aheraine killustik
423	29.01.2015		Lõuna-Aru karjääri lubjakivi killustik
424	29.01.2015		Purustatud asfalt ja Estonia karjääri aheraine killustik
425	02.02.2015	Kustutatud lubi Ca(OH) ₂	Estonia karjääri aheraine killustik
426	03.02.2015		Lõuna-Aru karjääri lubjakivi killustik
427	04.02.2015		Purustatud asfalt ja Estonia karjääri aheraine killustik

Katsetamine ja tulemused

Segud tihendati guraatortihendajaga EVS-EN 12697-31:2007 järgi. Kasutati 80 pööret. Proovikehad hoiti 28 päeva konditsioneeritud ruumis temperatuuril 20±2 °C, relatiivse niiskusega 65±5 %. Niiskuse kao vähendamiseks olid proovikehad kilega kaetud, v.a. 425-427, mis olid 14 päeva kilega kaetud ning 14 päeva kileta. Proovikehade mahumass (ilma proovikeha kuivatamata) määrati EVS-EN 12697-6:2012 (meetod D) järgi. Survetugevus määrati *EVS-EN 13286-41:2003 järgi. Kaudne tõmbetugevus määrati EVS-EN 12697-12:2008 järgi. Külmakindlus määrati *"Sideainetega stabiliseeritud pinnaste kasutamise kohta teede ja lennuväljade ehitamisel"(TTUI 1967) järgi. Veekindlus määrati EVS-EN 12697-12:2008 järgi.

* – Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt akrediteerimata katse

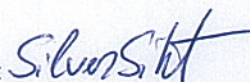
Katsetulemused on esitatud lk 2/4 - 4/4.

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori juhataja

Nimi Silver Siht



Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Labor väljastab ainult värvilise templiga katseprotokolle.

1. Survetugevus *EVS-EN 13286-41:2003 järgi:

Reg nr	Labori tähis	Proovikeha mõõtmed, mm		Proovikeha mass (g)	Katsetamise kuupäev	Proovikeha vanus	Tihedus, kg/m ³	Purustav jõud, kN	Survetugevus, N/mm ²	Keskmise survetugevus, N/mm ²	Purunemispilt	Veesisaldus, %
		d	H									
416	1	149,7	102,2	5305	19.02.2015	29	2168	72,8	4,1	3,8	R	7,3
	2	150,2	145,2	5307		29	2063	59,2	3,3		R	7,0
	3	149,7	141,2	5327		29	2143	72,0	4,1		R	7,3
417	19	150,0	131,2	5262		28	2270	95,0	5,4	4,6	R	5,6
	22	150,2	138,2	5272		28	2153	52,8	3,0		R	5,0
	25	150,2	129,7	5271		28	2294	97,4	5,5		R	5,9
418	38	150,0	146,5	5245		28	2026	40,9	2,3	2,1	R	5,1
	44	150,0	142,8	5168		28	2048	43,7	2,5		R	5,3
	47	150,0	151,0	5226		28	1958	26,1	1,5		R	5,1
419	26	151,2	134,7	5131	24.02.2015	28	2121	26,2	1,5	1,7	R	6,2
	27	150,8	134,8	5152		28	2140	23,3	1,3		R	6,9
	30	151,3	133,8	5162		28	2146	43,7	2,3		R	3,9
420	35	150,7	125,8	5075		27	2262	26,6	1,5	2,0	R	5,4
	39	149,9	122,1	5104		27	2369	40,8	2,3		R	4,3
	42	150,8	123,3	5022		27	2280	42,1	2,2		R	2,7
421	2	149,8	136,8	5151		29	2136	58,6	3,3	2,9	R	3,8
	5	149,1	142,1	5215		29	2102	48,8	2,8		R	2,6
	16	150,1	140,2	5242		29	2113	45,4	2,6		R	4,9
422	1	149,9	156,6	5355	26.02.2015	28	1938	84,3	4,8	3,6	R	5,9
	3	150,3	158,7	5302		28	1883	64,2	3,6		R	5,6
	16	150,2	159,5	5039		28	1783	44,3	2,5		R	5,8
423	18	149,7	142,0	5371		28	2149	166,7	9,4	9,0	R	4,9
	21	149,5	147,3	5359		28	2073	108,4	6,2		R	4,9
	27	150,3	137,0	5368		28	2208	199,7	11,3		R	5,0
424	34	150,0	146,1	5351		28	2073	102,1	5,8	5,6	R	5,1
	38	150,4	152,2	5316		28	1966	89,1	5,0		R	5,2
	41	150,0	144,2	5347		28	2098	106,7	6,0		R	5,0
425	4	149,9	149,6	5030	3.03.2015	29	1905	**	**	2,6	R	1,5
	5	149,9	145,2	5014		29	1957	43,3	2,5		R	1,5
	9	149,5	145,9	5020		29	1960	46,4	2,6		R	1,5
426	20	149,5	136,3	5048		28	2110	46,2	2,6	2,3	R	0,8
	33	149,3	143,8	5073		28	2015	33,3	1,9		R	0,8
	34	149,9	138,0	5063		28	2079	41,3	2,3		R	0,8
427	36	150,2	141,8	5079		27	2021	49,3	2,8	2,8	R	1,0
	38	149,9	143,3	5113		27	2022	50,7	2,9		R	1,1
	39	149,9	142,5	5069		27	2016	50,0	2,8		R	1,1

**Katsekeha purunes jõudu peale võtmata.

2. Kaudne tõmbetugevus *EVS-EN 12697-12:2008 järgi määrati 20°C juures:

Reg nr	Labori tähis	Proovikeha mõõtmed, mm		Proovikeha mass, g	Katsetamise kuupäev	Proovikeha vanus	Tihedus, kg/m ³	Purustav jõud, kN	Kaudne tõmbetugevus, N/mm ²	Keskmise kaudne tõmbetugevus, N/mm ²
		d	h							
416	6	149,1	144,1	5284	23.02.2015	32	2100	7,5	0,223	0,223
	10	150,1	142,0	5307		32	2112	7,4	0,222	
417	17	150,1	130,1	5232		31	2273	8,6	0,281	0,227
	20	149,9	129,8	5187		31	2264	5,3	0,173	
418	34	150,5	142,5	5077		31	2003	8,4	0,248	0,266
	43	150,4	140,5	5116		31	2050	9,5	0,285	
419	28	150,8	134,8	5164	27.02.2015	31	2145	3,6	0,112	0,122
	32	150,5	136,5	5190		31	2137	4,2	0,131	
420	40	150,9	125,5	5130		30	2286	2,7	0,091	0,109
	47	151,1	124,3	5162		30	2316	3,8	0,127	
421	1	150,0	137,3	5150		32	2123	8,6	0,267	0,238
	3	150,2	138,4	5177		32	2111	6,9	0,210	
422	4	149,8	156,8	5152	3.03.2015	33	1864	13,6	0,369	0,366
	12	150,4	157,6	5286		33	1888	13,5	0,362	
423	19	150,0	144,1	5369		33	2108	19,7	0,579	0,651
	29	150,1	143,8	5294		33	2081	24,6	0,724	
424	44	150,3	148,4	5392		33	2048	24,8	0,709	0,704
	45	150,0	149,4	5420		33	2053	24,6	0,698	
425	6	149,7	143,0	5004	10.03.2015	32	1988	3,8	0,113	0,092
	16	149,4	149,6	5046		32	1924	2,5	0,070	
426	22	149,6	136,3	5061		31	2112	2,3	0,073	0,037
	31	149,9	141,4	5061		31	2028	**	**	
427	35	149,5	141,7	5043		33	2027	4,7	0,141	0,120
	45	149,7	142,0	5029		33	2012	3,3	0,100	

**Katsekeha purunes jõudu peale võtmata.

3. Külmakindlus määrati *"Sideainetega stabiliseeritud pinnaste kasutamise kohta teede ja lennuväljade ehitamisel"(TTUI 1967) järgi. Külmakindluse katse proovikehadele määrati survetugevus *EVS-EN 13286-41:2003 järgi.

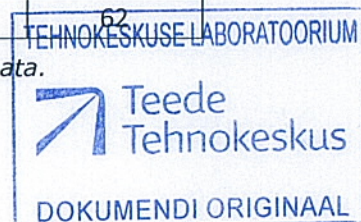
Reg. Nr	Keskmised survetugevused, N/mm ²			Külmakindlustegur	
	Referents	NaCl-s	Vees	NaCl-s	Vees
416	3,8	***	1,3	-	0,34
417	4,6	1,7	2,7	0,35	0,37
418	2,1	***	2,4	0,24	0,94
419	1,7	1,5	1,4	0,63	0,71
420	2,0	1,9	1,7	0,83	0,64
421	2,9	2,4	3,2	0,84	1,11
422	3,6	1,6	2,0	0,58	0,70
423	9,0	9,1	6,4	1,19	0,84
424	5,6	3,3	4,7	0,58	0,98
425	2,5	***	***	-	-
426	2,3	***	***	-	-
427	2,8	***	1,2	-	0,64

***Katsekehad lagunesid külmutus- ja sulatustsüklitega.

4. Veekindluse määrati standardi EVS-EN 12697-12:2008 järgi

Reg. Nr	Kaudne tõmbetugevus kuivalt 20 °C juures, kPa	Kaudne tõmbetugevus märjalt 20 °C juures, kPa	Veekindlus, %
416	223	192	86
417	227	143	63
418	266	171	64
419	122	66	54
420	109	81	74
421	238	248	104
422	366	333	91
423	651	691	106
424	704	644	92
425	92	17	19
426	37	**	-
427	120	075	62

**Katsekehad lagunesid jõudu peale võtmata.



LISA 2

VASTAVUSDEKLARATSIOON nr. 1 - 2015

Väljaandja: VKG OIL AS, reg. nr. 10528765
Asukoht: Järveküla tee 14, Kohtla-Järve 30328, Ida-Viru Maakond
Tel: 33 42 319, Faks: 33 75 044
Esindajad: Margus Miidla, müügijuht
Tel: 50 21 812, Faks: 33 75 044
e-post margus.miidla@vkg.ee

Toote nimetus: teedeehituse põlevkivibituumenid PB-2, PB-4 ja PB-5.

Toote lühikirjeldus:

PB-2 - põlevkiviõli destillatsiooni jääk, PB-4 - põlevkiviõli destillatsiooni jääk või õhuhapnikuga oksüdeeritud põlevkiviõli destillatsiooni jääk ja PB-5 õhuhapnikuga oksüdeeritud destillatsiooni jääk.

Toote kasutusala:

PB-2- stabiliseerimistöödeks, PB-4 ja PB-5 pindamistöödeks.

Kasutuse piirangud:

Põlevkivibituumenite valmistamis- ja kasutamistemperatuur on üle 100 °C, mistõttu nende sattumine nahale tekitab põletushaavu, eralduvate gaaside ja aurude sisse hingamine aga mõjub ärritavalt hingamisteede ja silmade limaskestadele. Raskematel juhtudel kutsub esile iivelduse ja isegi mürgituse. Põlevkivibituumenite veose ohuklass / ADR klass on 9-s ohtlikuse klass.

Tootja (ka tarnija), tootmise ja ladude asukoht:

VKG OIL AS, Keemia 2, Kohtla-Järve 30328, Ida-Viru Maakond.

PB-2 - keemiatsehhi destillatsiooniseade, PB-4 - destillatsiooniseadmel või elektroodkoksiseadmel ja PB-5- elektroodkoksiseadmel.

Normdokumendid, millele toode vastab: Vastab standardile EVS 901-2:2009 Põlevkivibituumenid.

Tootmisohje vastavustunnistuse nr 217 - 2013 väljaandja ja järelevalve teostaja on sertifitseerimis- ja inspekteerimisasutus AS Teede Tehnokeskus.

Deklareeritavad tooteomadused ja nende määramise meetodid on toodud **lisatud** tabelis (vastavusdeklaratsiooni lisa 1).

Toote väljastamisel antakse igale partiile kaasa kvaliteedipass, milles esitatakse kvaliteedinäitajatest markidele PB-2 ja PB-4 tingviskoossus, margile PB-5 tingviskoossus ja pehmenemistäpp. Teised näitajad määratakse üks kord kuus ja ostjale väljastatakse kvaliteedipass.

Vastavusdeklaratsiooni koostamisel on järgitud seaduses ettenähtud korda ja temas sisalduvad andmed on õiged.

Vastavusdeklaratsioon on koostatud 18.03.2015.a. Kohtla-Järvel.

Margus Miidla
VKG OIL AS
/allkirjastatud digitaalselt/

VKG OIL AS

VASTAVUSDEKLARATSIOON nr 1 - 2015

Lisa 1

VKG OIL AS põlevkivibituumenite omadused vastavalt standardile **EVS 901-2:2009**

Omadus	Ühik	Katsemeetod	PB-2	PB-4	PB-5
Tingviskoossus 60 ⁰ C 5-mm ava 60 ⁰ C 10-mm ava	s	EVS 901-2:2009 lisa G	36-70	131-200	20-40
Massikadu 130 ⁰ C 5h	%	EVS 901-2:2009 lisa H	≤ 5,5	≤ 4,5	≤ 4,5
Lahustuvus toluenis	massi %	EVS-EN 12592	≥ 98,5	≥ 98,5	≥ 98,5
Vees lahustuvate ühendite sisaldus	massi %	EVS 901-2:2009 lisa J	≤ 1,0	≤ 0,8	≤ 0,8
Vee sisaldus	mahu %	EVS-EN ISO 9029	≤ 0,5	jäljed	jäljed
Leektäpp lahtine tiigel	⁰ C	EVS 901-2:2009 lisa I	≥ 130	≥ 140	≥ 140

Margus Miidla
VKG OIL AS
/allkirjastatud digitaalselt/

Tootmisohje vastavustunnistus

Nr 217-2013

Käesolev vastavustunnistus tõendab, et

VKG Oil AS

(Järveküla tee 14, 30328 KOHTLA-JÄRVE, registrikood 10528765)

õlitööstuses

(Keemia 2, Kohtla-Järve, Ida-Viru maakond)

toodetud

põlevkivibituumen

margid: **PB-2, PB-4 ja PB-5**

vastavalt standardile EVS 901-2:2009
kasutamiseks tee-ehituses stabiliseerimis- ja pindamistöodel,

on läbinud tootjapoolsed tüübikatsed, allub tehase tootmisohjele ja tootja katsetab toodet
perioodiliselt vastavalt kehtestatud katseplaanile.

Akrediteeritud sertifitseerimisasutus

AS Teede Tehnokeskus

on läbi viinud tehase esmase ülevaatuse ja tootmisohje hindamise ning teostab
tootmisohje pidevat järelevalvet.

Vastavustunnistus tõendab, et kõik standardis

EVS 901-2:2009

sätestatud tehase tootmisohje sertifitseerimise tingimused on täidetud.

Vastavustunnistus väljastati esmakordselt 19.juulil 2010.aastal, pikendati 27.juunil
2013.aastal ja kehtib kuni ei ole oluliselt muudetud viidatud tehnilise kirjelduse tingimusi
või tootmistingimusi või tehase tootmisohje süsteemi, kuid mitte kauem kui
19. juulini 2016.aastal.

Vastavustunnistus on kantud AS Teede Tehnokeskus registrisse.
Vastavustunnistus ei anna õigust toodete CE-märgistamiseks.



KUNDA NORDIC
HEIDELBERGCEMENT Group

AS KUNDA NORDIC TSEMENT

Jaama t.2, 44106 Kunda
Eesti Vabariik

Telephones:	372 32 29900 in Kunda 372 6 209650 in Tallinn	Fax: 372 32 21546 in Kunda 372 6 209656 in Tallinn	Tallinn Office Peterburi road 75 11415 Tallinn
Managing Director:	Meelis Einstein, GSM 372 5056220	Sales Director: Imre Leetma GSM 372 5054447	

18.05.2013

Certificate of Quality

Product: Hydraulic road binder, HRB 32,5E EVS 766:2000

Period: 2013

Amount:

Constituents which conform to EVS-EN 197-1:2002

PRODUCT QUALITY (average)	Hydraulic road binder HRB 32,5E
<u>Physical</u>	
Compr. Strength, MPa 7 days	32
28 days	39
Initial setting time, minutes:	250
Soundness (expansion), mm:	4
Fineness, sieve residue on 90 µm, %:	5
<u>Chemical</u>	
SO ₃ , %	4
<u>Composition:</u>	
Cement, %	67
Flue dust, %	33

TESTING:

EVS-EN 196

HYDRAULIC ROAD BINDER

Certificate of factory production control Nr - 027/05

Quality Manager

Aivar Reimus

VESIKLAAS

Koostatud: 25.10.2005

Läbi vaadatud: 20.10.2010

Versioon 2

1 / 5

1. AINE/VALMISTISE NING ÄRIÜHINGU/ETTEVÕTJA IDENTIFITSEERIMINE**1.1 Aine või valmistise identifitseerimine****Toote nimi**

VESIKLAAS (Naatrimvesiklaas)

1.2 Aine/valmistise kasutusala

Krohv- ja betoonpindade tihendamiseks, silikatiseerimiseks ja niiskuskindluse tõstmiseks.

1.3 Äriühingu/ettevõtja identifitseerimine**1.3.1 Turustaja:** OÜ KEMET RV**1.3.2 Aadress****Aadress (tänav):** Kastani 3,**Posti kood ja postkontor:** 79514 Rapla**Telefon:** 48 56243**Faks:** 48 56271**E-mail:** kemet.rv@neti.ee**1.4 Hädaabi telefon**

Häirekeskuse hädaabi telefoninumber – 112

2. OHTUDE IDENTIFITSEERIMINE**2.1 Tule ja plahvatusoht**

Ei ole tuleohtlik.

2.2 Terviseoht

Vesilahus on keskmiselt leeliseline. Ärritab silmi, hingamiselundeid ja nahka. Auru või udu sissehingamine kutsub esile köha, aevastuse. Korduv sissehingamine võib mõjuda hingamisteede limaskestadele destruktiivselt.

2.3 Keskkonnooht

Ei klassifitseerita keskkonnoohtlikuks, kuid toote sattumine keskkonda pole lubatud.

3 KOOSTIS/TEAVE KOOSTISAINETE KOHTA**3.1 Ülevaade koostisest****3.2 Andmed koostisainete kohta**

EINECS number	CAS number	Koostisaine nimetus	Sisaldus	Ohusümboli tunnus, riskilause number
215-687-4	1344-09-8	Naatriumsilikaat (SiO ₂ + Na ₂ O)	35-50 %	Xi; R36/37/38

3.3 Muu teave

Pakendi märgistusele kantav teave esitatakse punktis 15.

4. ESMAABIMEETMED**4.1 Üldinformatsioon**

Haigussümptomite ilmnemisel pöörduda arsti poole.

VESIKLAAS

Koostatud: 25.10.2005

Läbi vaadatud: 20.10.2010

Versioon 2

2 / 5

4.2 Sissehingamine

Aurusid sisse hinganud inimene viiakse värske õhu kätte, hoitakse soojas ja rahus. Suurema kahjustuse puhul pöörduda arsti poole.

4.3 Sattumine nahale

Määratud riided eemaldatakse Nahk pestakse rohke vee ja seebiga. Kui nahaärritus ei kao, tuleb pöörduda arsti poole.

4.4 Sattumine silma

Loputatakse kohe rohke veega, ka silmalaugude alt. Loputamist jätkatakse mitu minutit, liigutades silma äärmistesse asenditesse. Kui ärritusnähud ei kao, pöörduda silmaarsti poole.

4.5 Allaneelamine

Ei tohi esile kutsuda oksendamist. Toodet alla neelanule antakse juua rohkelt vett. Kiiresti pöörduda arsti poole.

5. TULEKUSTUTUSMEETMED**5.1 Sobivad tulekustutusvahendid**

Lubatud kõik tulekustutusvahendid.

5.2 Sobimatud tulekustutusvahendid**5.3 Eriohud tulekahju korral****5.4 Erikaitsevahendid tuletõrjujatele****5.5 Erijuhised****6. JUHUSLIKU KESKKONDA SATTUMISE KORRAL VÕETAVAD MEETMED****6.1 Isikukaitsemeetmed**

Ventileerida tööruume. Mahavalgunud toode muudab põrandad libedaks. Vältida sattumist nahale ja silma. Kasutada sobivaid kaitsevahendeid.

6.2 Keskkonnakaitsemeetmed

Saaste levimist püütakse piirata ja takistada toote levimist keskkonda. Vedel toode kogutakse kokku enne selle levimist kanalisatsiooni, pinnasesse ja vette.

6.3 Puhastusmeetmed

Kohe alustada väljavoolanud vedeliku kokkukogumist ja saastatud pinnase puhastamist. Väikeseid koguseid võib lasta imenduda absorbeerivasse ainesse (näiteks liiv). Toodet sisaldavad jäätmed utiliseerida kehtiva jäätmeseadusandluse kohaselt (vt. punkt 13).

6.4 Muud meetmed**7. KÄITLEMINE JA HOIDMINE****7.1 Käitlemine**

Toote käitlemisel hoolitseda piisava ventilatsiooni eest. Vältida lekkeid. Vältida sattumist nahale ja silma. Kasutada sobivaid kaitsevahendeid.

7.2 Hoidmine

Hoida sobilikes hermeetilistes mahutites ja hoidlates. Turvameetmete abil takistada toote võimalik sattumine kanalisatsiooni, pinnasesse ja vette.

7.3 Erikasutus

VESIKLAAS

Koostatud: 25.10.2005

Läbi vaadatud: 20.10.2010

Versioon 2

3 / 5

8. KOKKUPUUTE OHJAMINE/ISIKUKAITSE**8.1 Kokkupuute piirväärtused****8.2 Kokkupuute ohjamine****8.2.1 Kokkupuute ohjamine töökeskkonnas**

Töökoha ventilatsioon.

a) Hingamisteede kaitse.**b) Käte kaitse**

Kaitsekindad (näit. nitrilkummist).

c) Silmade kaitse

Näokaitse või kaitseprillid pritsmeohtlikel töödel.

d) Naha kaitse

Vajadusel kaitseriietus.

8.2.2 Kokkupuute ohjamine keskkonnas**9. FÜÜSIKALISED JA KEEMILISED OMADUSED****9.1 Üldine teave**

Välimus

Viskoosne, selgest häguseni, kollakas-hallikas vedelik.

Lõhn

Lõhnatu.

9.2 Oluline tervise-, ohutus ja keskkonnateave

pH

10,5...13,5

Keemispunkt/keemisivahemik

101...105 °C

Leekpunkt

Plahvatusohtlikkus

alumine plahvatuspiir

ülemine plahvatuspiir

Aururõhk

~ 1 kPa (20 °C)

Suhteline tihedus

1,35...1,50 g/cm³

Lahustuvus

Lahustuvus vees

100 %

Jaotustegur: n-oktaanol/vesi

Viskoossus

20...400 mPa*s (20°C)

Auru tihedus

9.3 Muu teave

Isesüttimistemperatuur

10. PÜSIVUS JA REAKTSIOONIVÕIME**10.1 Vältitavad tingimused**

Vältida töötamist õhuvahetuseta ruumis.

10.2 Vältitavad materjalid

Happed, orgaanilised materjalid, alumiinium, tsink jne.

10.3 Ohtlikud lagusaadused

VESIKLAAS

Koostatud: 25.10.2005

Läbi vaadatud: 20.10.2010

Versioon 2

4 / 5

11. TEAVE TOKSILISUSE KOHTA**11.1 Akuutne mürgisus**

LD50>2000, suu kaudu, rott.

11.2 Ärritavad ja sööbivad omadused**11.3 Sensibiliseerivad omadused****11.4 Subakuutne, subkrooniline ja krooniline mürgisus****11.5 Kasutamispädevusest saadud teave**

Pikaajaline või korduv kontakt ärritab nahka, seedetrakti ja silmi.

12. ÖKOLOOGILINE TEAVE**12.1 Ökotoksilisus**

Takistada pääs pinnasesse, vette ja kanalisatsiooni.

12.1.1 Mürgisus vesikeskkonnale

LC50/ 96 tundi = 3185 mg/l, kala

EC50/ 48 tundi = 4857 mg/l, daphnia

12.2 Liikuvus

Kuna lahustuvus vees on täielik, siis lahjeneb veega kokkupuutel kiiresti ja muutub ohutuks.

12.3 Püsivus ja lagunduvus**12.4 Bioakumulatsioon****12.5 Püsivate, bioakumuleeruvate ja toksiliste omaduste hindamise tulemused****13. JÄÄTMEKÄITLUS****13.1 Toote jäätmed**

Utiliseerida kui kemikaalijäätmeid piirkondliku kehtiva jäätmeseadusandluse kohaselt.

13.2 Pakendijäätmed

Pakendeid käidelda kehtiva piirkondliku õigusakti kohaselt. Enne ringlusse suunamist tuleb tagastatav taara korralikult puhastada.

14. VEONÕUDED**14.1 ÜRO (UN) nr****14.2 Pakendigrupp****14.3 Maaveod****14.3.1 Veose ohuklass ADR/klass****14.3.2 Ohumärgise number****14.3.3 Veose tunnusnimetus****14.3.4 Muu teave****14.4 Mereveod****14.4.1 Veose ohuklass/ IMDG klass****14.4.2 Veose tunnusnimetus****14.4.3 Muu teave****14.5 Õhuveod****14.5.1 Veose ohuklass/ ICAO/IATA klass****14.5.2 Veose tunnusnimetus**

VESIKLAAS

Koostatud: 25.10.2005

Läbi vaadatud: 20.10.2010

Versioon 2

5 / 5

15. KOHUSTUSLIK TEAVE MÄRGISTUSEL**15.1 Teave ohumärgistusel****15.1.1 Ohusümboli tähteline tunnus ja sõnaline seletus****Xi** Ärritav.**15.1.2 Märgistusel esitatud ohtlike koostisainete nimetused****15.1.3 Riskilaused (R-laused)**

R36/37/38 Ärritab silmi, hingamiselundeid ja nahka.

15.1.4 Ohutuslaused (S-laused)

S2 Hoida lastele kättesaamatus kohas.

S24/25 Vältida kemikaali sattumist nahale ja silma.

S37/39 Kanda sobivaid kaitsekindaid ja silmade või näokaitset.

S62 Kemikaali allaneelamisel mitte esile kutsuda oksendamist, pöörduda viivitamatult arsti poole ja näidata talle pakendit või etiketti.

15.1.5 Eripiirangud**15.2 Õigusaktid****16. MUU TEAVE****16.1 Lisateave****16.2. Riskilausete (R-lausete) tekst**

R36/37/38 Ärritab silmi, hingamiselundeid ja nahka.

16.3 Ohutuskaardi koostamisel kasutatud põhiaandmete allikad.Lähteainete tootjate poolt edastatud sertifikaadid ja ohutuskaardid ning muu avalik teave (<http://ecb.jrc.it>).**16.4 Ohutuskaardi täiendamisel lisatud, muudetud või kustutatud teave**

Punktid 1-16

16.5 Täiendav informatsioon

Toode on ettenähtud kasutamiseks vastavalt kasutusjuhendile. Teistel eesmärkidel kasutamisel on kasutaja vastutav, kindlustamaks siintoodud nõuete täitmise.



TOIMIVUSDEKLARATSIOON
Nr 002 CPR 2014/03/14

1. Toote nimetus: Katioonne bituumenemulsioon – C60 B4

2. Toote kasutusala: Teede ehituses kasutatav bituumenemulsioon lappimiseks, mustseguks, stabiliseerimiseks

3. Tootja nimi ja aadress: OSAÜHING PIGIPADA

Mäo tee 1
Sillaotsa küla 72758
Paide vald
Järvamaa
Eesti Vabariik
Tel. +37253363098
arne@pigipada.ee

4. Tootmisohje süsteem:

Süsteem 2+

5. EC Tootmisohje sertifikaat 2325-CPD-0036

Tunnustatud asutus nr 2325 - Inseneribüroo Vahter & Hendrikson OÜ on teostanud tehase esmakordse ülevaatuse ja tootmisohje kontrolli ning jätkuvalt jälgib, hindab ja tunnustab tehase tootmisohjet. Sertifikaat on väljastatud esmakordselt 29.05.12

6. Deklareeritud omadused: EVS-EN 13808:2013 kohane toode

Omadus	Norm	Katsemeetod
Tingviskoossus, 40 °C, ava 4mm	7 - 15 s	EVS - EN 12846-1
Nake	TBR	EVS - EN 13614
Lagunemisindeks	110 – 195	EVS - EN 13075-1
Eraldatud sideaine sisaldus	≥ 58 %	EVS - EN 1428
Õli desdilaadi sisaldus	≤ 3,0%	EVS - EN 1428
Jääk sõelal avaga 0,5 mm	≤ 0,2 %	EVS - EN 1429
Jääk sõelal avaga 0,5mm peale 7 päevast hoiustamist	≤ 0,5 %	EVS - EN 1429
Aurustamisjärgse lähtebituumeni mark:		
Penetratsioon, 25 °C juures	≤ 220 x 0,1mm	EVS - EN 1426
Pehmenemistäpp	≥ 35 °C	EVS - EN 1427

7. Punktis 1 nimetatud toote omadused vastavad punktis 6 deklareeritule. Toimivusdeklaratsioon on välja antud punktis 3 nimetatud tootja vastutusel.

Arne Pindmaa

Tegevjuht

Paides 2014/03/14

**GREMMLER®****BAUCHEMIE**

TEHNILINE KAART

GI 110

Üldkasutatav vaak

- Lahustivaba
- Suure läbivusvõimega
- Universaalse kasutusalaga

Toote kirjeldus

GI 110 on lahustivaba, ilma täiteaineteta ja pigmentideta kahekomponentne epoksüvaik.

Paigaldus

GI 110 on üldiselt kasutatav krundina lahustivabadele põrandasüsteemidele, kuid ka tihendusmaterjal tsemendi baasil pindadele näiteks töökodadesse, tööstushoonetesse, mitmekorruselistesse parkimismajadesse jne. Sobivate täiteainete lisamisega võib GI 110 kasutada vaiguga kaetud põrandate valmistamiseks mitte dekoratiivsetes kohtades, pahtlite või segude peal või laminaati valmistades.

Omadused

GI 110 on madala viskoossusega ja suure kapillaarse aktiivsusega. Tänu sellele täidab ta hästi väikesed avad ja kapillaarid isegi madalatel temperatuuridel. GI 110 on praktiliselt läbistamatu süsinikdioksiidile ja seega annab armeeritud betoonpindadele kestva kaitse, mis on tähtis, et kaitsta armeeringut korrosiooni eest. aluspindadele, mis on niisked või milles on jääkniiskus, kus on tal eeskujulik nakkumine Kui materjal on kuivanud, on GI 115 vastupidav veele, mereveele ja kanalisatsioonivedelikele. Samuti on ta vastupidav mitmetele kergematele leelistele, lahustatud hapetele, sooladele, mineraalõlile, määrdainetele, kütustele ja mitmetele lahustitele. Seoses UV kiirgusega võib oodata mõningast värvimuutust ja tuhmistumist, kuna elastsed osakesed hakkavad kuluma.

EU-direktiiv 2004/42 EG

Maksimaalne lenduvate orgaaniliste ühendite sisalduse piirnorm (tootekategooria IIA / j tüüp SB) oma kasutamisel olekus on 500 g / l (piirnorm 2010). Maksimaalne lenduvate orgaaniliste ühendite GI 110 oma kasutamisel olekus on <500 g / l.

Ohutusjuhised GISCODE:RE1

Epovaike ja kõvendite ohutuks käsitlemiseks soovitage me järgnevat infotehte **BG-Regel BGR 227** Epovaike kasutamine (ed . Professionaalse Keemiatööstuse Ühendus). Täpsem tootekohane füüsilise, ohutustehnilise, toksilise ja ökoloogilise informatsioon on antud toote ohutusinformatsioonis.

Tähelepanu

Antud spetsifikatsioon on soovituslik kuidas kasutada meie tooteid, mis baseerub meie teadmistel ja kogemustel, mis on saadud normaalsetel tingimustel korraliku ladustamisega ja paigaldamisega. Kohtades kus materjalid, lisandid ja töö tingimused on erinevad normaalsetest tingimustest ei saa anda garantiid töö tulemustele (mis iganes juriidiliste sidemetega) ja ei saa õigustada käesolevate instruktisoonidega või suulist juhenditega, v.a juhul, kui selge meie etteavatsetult või raske süü. Sellisel juhul peab kasutaja tõendama kirjalikus vormis, et tal oli õigel ajal ja täielikult kogu vajalik informatsioon teada, et anda asjakohane hinnang. Kasutaja on kohustatud katsetama tooteid oma ettenähtud otstarbele sobivusele. Ainult uusim tehniline kaart kehtib.

**GREMMLER®****BAUCHEMIE****Materiali info**

Värvus	Läbipaistev. Kergelt kollakas
Pakendid	30 kg Teised pakendid vastavalt nõudmistele
Säilivusaeg	12 kuud tootmiskuupäevast
Ladustamine	Hoia suletud originaalpakendis, kuivas, jahedas ja plusskraadidel.
Tehniline informatsioon	

Tihedus 23°C / 50 % õhuniisk.	1,1 g/cm ²	Materjali kulu: Krunt, sõltuvalt pinnasest	250 – 400 g/m ²
		Vaik segule	500 – 1000 g/m ²
		Laminerimise vaik	800 – 1000 g/m ²
Kokkusegamissuhe	2 : 1 kaalu järgi	maht: 1,8 : 1	
Viskoossus 25°C	Komponent A: 450 - 750 mPas	komponent B: 15 - 20 s (6 mm)	

**Töötlemise aeg
(50% õhuniiskuse korral)**

Ümbritsev temperatuur	+10 °C	+20 °C	+30 °C
	40-50 min	25-30 min	12-15 min

Kõrgemad temperatuurid lühendavad töötlemisaega ja viskoossust .
Madalamad temperatuurid pikendavad töötlemisaega ja viskoossust.

Kuivamisaeg

Ümbritsev temperatuur	+10 °C	+20 °C	+30 °C
Peal käidav peale	24-36 tundi	12-16 tundi	6-8 tundi
Osaliselt koormatav peale	2 päeva	24 tundi	20 tundi
Täielikult koormatav peale	10 päeva	7 päeva	3 päeva

Ümbritsev, materjali ja lisandite temperatuur

Miinimum + 10°C, Maksimum + 30 °C

**Tahke
Mehaanilised parameetrid**

100 %

survetugevus	paindetugevus	nakketugevus	karedus	karedus
väärtus	n.d.	Suurim betooni fraktuuri tugevus	n.d.	n.d.

**Shore A / Shore D
CE märgistus**

Shore D: 75-78
DIN EU 13 813 „Tasanduskihi materjal ja betoonpõranda tasanduskiht - tasanduskihi materjalid - Omadused ja nõuded" (jaanuar 2003) määrab reeglid tasandussegude materjalidele põranda ehitusel siseruumides. Põrandakatted ja tihenduskihid sisalduvad ka käesolevas määruses. Tooted, mis vastavad eespool nimetatud määrusele, märgistatakse CE-märgistusega.

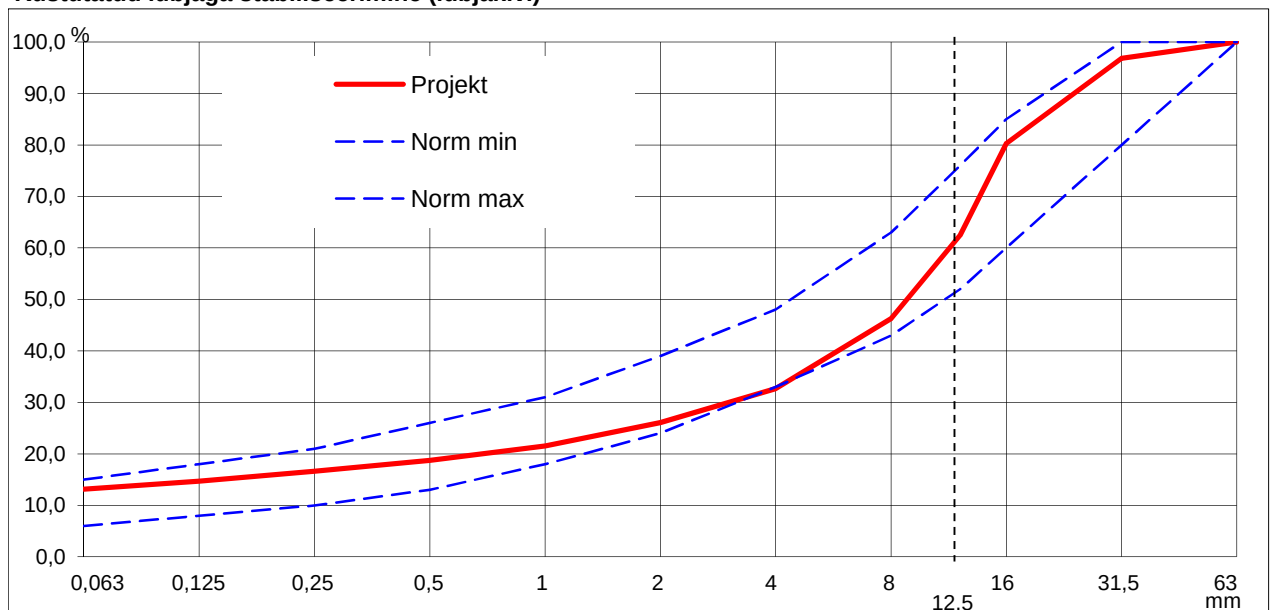
CE	Gremmler Bauchemie GmbH Lise-Meitner-Strasse 5 46569 Hünxe	
	08 ¹⁾	08 ¹⁾
	EU 13813 SR-AR-1B1,5-IR4	EU 13813 SR-B1,5
	Süntetiline vaik/kattekiht siseruumides kasutamiseks vastavalt tehnilisele kaardile)	krunt
Käitumine tule korral:	E _{fl}	E _{fl}
Korrodeerivate ainete levik (Synthetic Resin Screed):	SR	SR
Vee läbilaskevõime	NPD	NPD
Kulumisele vastupidavus	AR 1	NPD
Nakketugevus	B 1,5	B 1,5
Löögitugevus	IR 4	NFD
Mürasummutus	NPD	NPD
Akustiline summutus	NPD	NPD
Soojusisolatsioon	NPD	NPD
Keemiline vastupidavus	NPD	NPD

- 1) Kaks viimast numbrit märgivad aastat, millal CE tähistus on lisatud
- 2) NPD = No Performance Determinated (mingit reaktsiooni ei ole)
- 3) Mitte segada liivaga

LISA 3

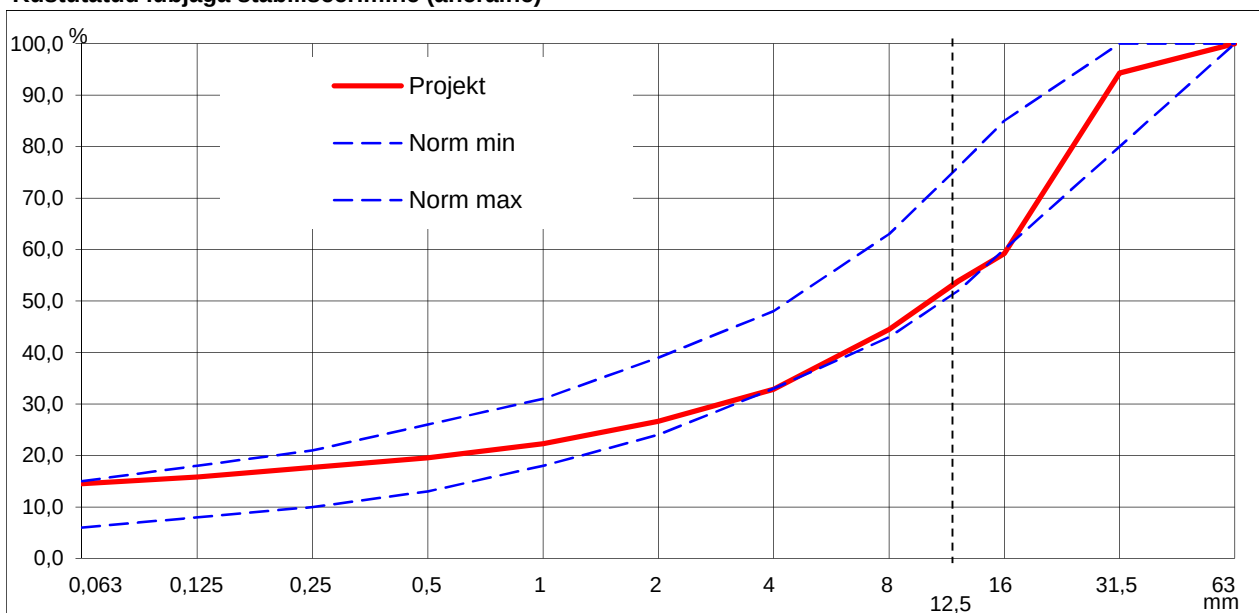
Kustutatud lubjaga stabiliseerimine (lubjakivi)														
Freesipuru														
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63
1														
	Keskm													
Lisatav täitematerjal														
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär				Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus
2	16/32	PAE	Kunda Nordic Tsement AS/Lõuna-Aru karjäär (reg nr 5058)											
3	0/32-pur	PAE	Kunda Nordic Tsement AS/Lõuna-Aru karjäär (reg nr 5059)											
Hüdrauliline sideaine							Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m	0,00	
4	Mark	Kustutatud lubi (reg nr 22)					Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²	
	Tootja / dekl	Uninaks AS					Nr	fr	Täitematerjal		Segu			
Bituumensideaine							1	fr puru				0,0	0,0	
5	Mark						2	16/32	12,5		12,5		0,0	
	Tootja / dekl						3	0/32-pur	81,5		81,5		0,0	
	Bit sisaldus %	100					4	lubi	6		6,0		0,0	
	Vesi							5	bit			B		Bit kg
6							Sum		100		100,0		Bit %	#####
							6	Vesi			8,0		0,0	
Terastikuline koostis														
Nr	Mat	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1	Freesipuru													
2	16/32	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	93	100	
3	0/32-pur	8,9	11	13	16	19	25	33	49	69	91	97	100	
4	Kustutatud lubi (reg nr 22)	97,0	99	100										
Projekt		13,1	15	17	19	22	26	33	46	63	80	97	100	
Norm	min	6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100	
	max	15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100	
Projekteeritud segu omadused														
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa				
							7 päeva		28 päeva					
Norm														

Kustutatud lubjaga stabiliseerimine (lubjakivi)



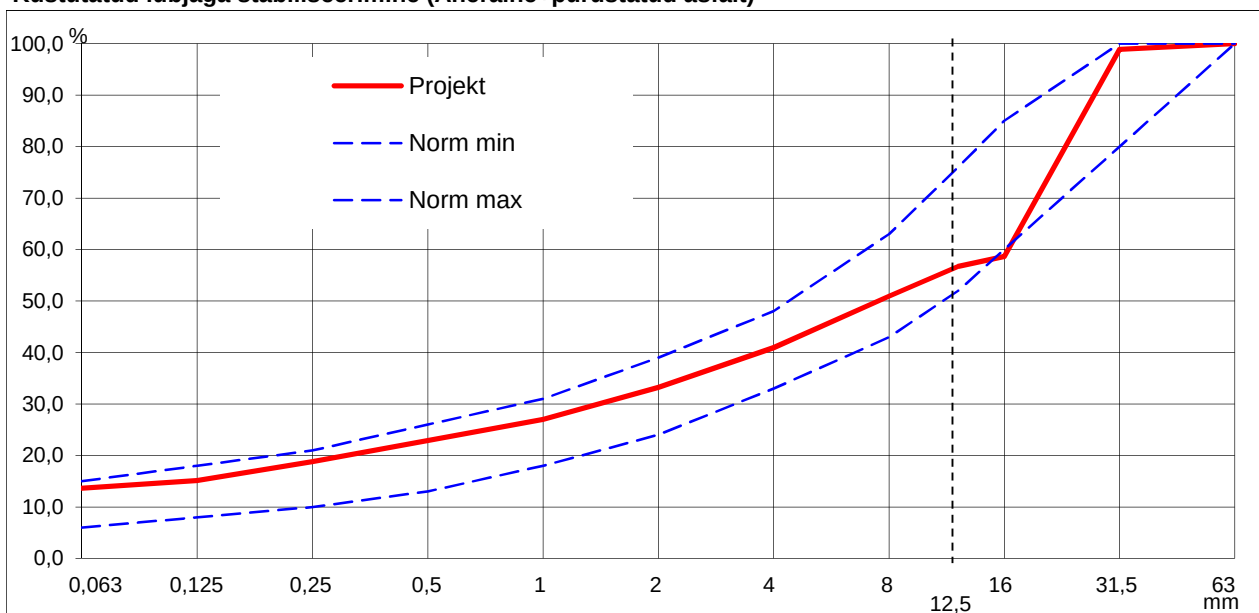
Kustutatud lubjaga stabiliseerimine (aheraine)															
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1															
Keskm		0,0													
Lisatav täitematerjal															
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär		Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huumus			
2	16/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
3	0/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
Hüdrauliline sideaine							Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m			
4	Mark		Kustutatud lubi (reg nr 22)			Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²			
	Tootja / dekl		Uninaks AS			Nr	fr	Täitematerjal		Segu					
Bituumensideaine							1	fr puru			0,0		0,0		
5	Mark					2	16/32	12,5		12,5		0,0			
	Tootja / dekl					3	0/32	81,5		81,5		0,0			
	Bit sisaldus %		100			4	lubi	6		6,0		0,0			
Vesi							5	bit			B		Bit kg	0,0	
6						Sum			100		100,0		Bit %	#####	
						6	Vesi			8,0		0,0			
Terastikuline koostis															
Nr	Mat		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1	Freesipuru														
2	16/32		1,3	1	1	1	1	1	1	2	3	5	97	100	
3	0/32		10,5	12	14	17	20	25	33	47	58	65	93	100	
4	ustatud lubi (reg n		97,0	99	100										
Projekt			14,5	16	18	20	22	27	33	44	54	59	94	100	
Norm	min		6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100	
	max		15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100	
Projekteeritud segu omadused															
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa					
							7 päeva		28 päeva						
Norm															

Kustutatud lubjaga stabiliseerimine (aheraine)



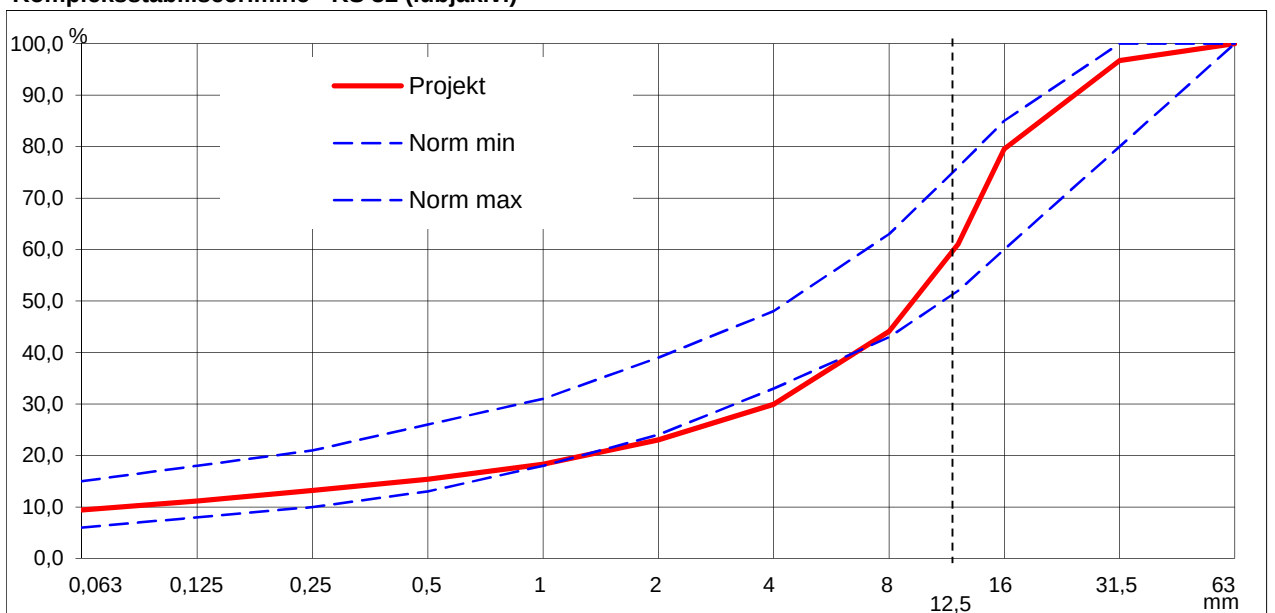
Kustutatud lubjaga stabiliseerimine (Aheraine+purustatud asfalt)														
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63
1	5513	5,0	14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100
Keskm		5,0	14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100
Lisatav täitematerjal														
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär		Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huumus		
2	16/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär											
3														
Hüdrauliline sideaine					Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m				
4	Mark		Kustutatud lubi (reg nr 22)			Materjal		Materjali osakaal %			Mat vajadus kg/m²			
	Tootja / dekl		Uninaks AS			Nr	fr	Täitematerjal		Segu				
Bituumensideaine					1	fr puru	51,5		51,5		0,0			
5	Mark					2	16/32	42,5		42,5		0,0		
	Tootja / dekl					3	0			0,0		0,0		
	Bit sisaldus %		100			4	lubi	6		6,0		0,0		
Vesi					5	bit			B		Bit kg	0,0		
6						Sum		100		100,0		Bit %	#####	
						6	Vesi			8,0		0,0		
Terastikuline koostis														
Nr	Mat		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63
1	Freesipuru		14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100
2	16/32		1,3	1	1	1	1	1	1	2	3	5	97	100
3	0													
4	ustatud lubi (reg n		97,0	99	100									
Projekt			13,6	15	19	23	27	33	41	51	57	59	99	100
Norm	min		6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100
	max		15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100
Projekteeritud segu omadused														
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa				
							7 päeva		28 päeva					
Norm														

Kustutatud lubjaga stabiliseerimine (Aheraine+purustatud asfalt)



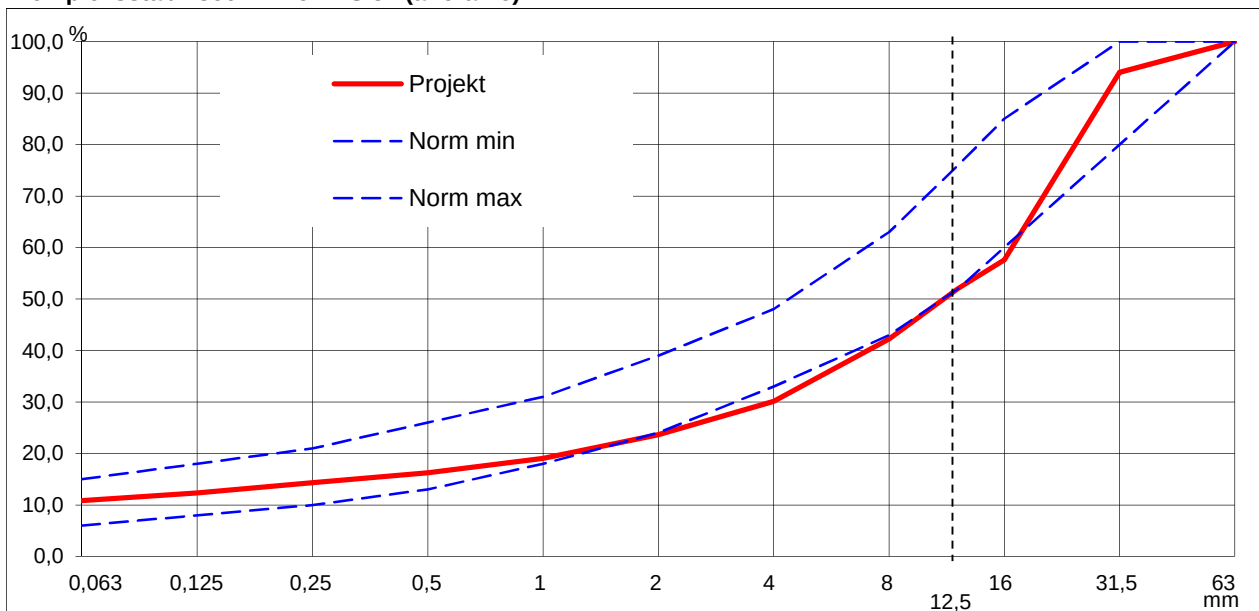
Kompleksstabiliseerimine - KS 32 (lubjakivi)															
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1															
	Keskm	0,0													
Lisatav täitematerjal															
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär				Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus	
2	16/32	PAE	Kunda Nordic Tsement AS/Lõuna-Aru karjäär (reg nr 5058)												
3	0/32-pur	PAE	Kunda Nordic Tsement AS/Lõuna-Aru karjäär (reg nr 5059)												
Hüdrauliline sideaine							Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m	0,20		
4	Mark	HRB 32,5E					Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²		
	Tootja / dekl	Kunda Nordic Tsement AS					Nr	fr	Täitematerjal		Segu				
Bituumensideaine							1	fr puru				0,0	0,0		
5	Mark	C60B4					2	16/32	12,9		12,5		55,0		
	Tootja / dekl	Pigipada OÜ					3	0/32-pu	85		82,4		362,4		
	Bit sisaldus %	58					4	tsem	2,1		2,0		9,0		
Vesi							5	bit				B	3,1	Bit kg	23,5
6							Sum	100			100,0		Bit %	5,5	
							6	Vesi				5,5		14,3	
Terastikuline koostis															
Nr	Mat	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63		
1	Freesipuru														
2	16/32	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	93	100		
3	0/32-pur	8,9	11	13	16	19	25	33	49	69	91	97	100		
4	HRB 32,5E	84,0	96	100											
Projekt		9,4	11	13	15	18	23	30	44	61	80	97	100		
Norm	min	6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100		
	max	15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100		
Projekteeritud segu omadused															
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa					
		2200					7 päeva		28 päeva						
Norm															

Kompleksstabiliseerimine - KS 32 (lubjakivi)



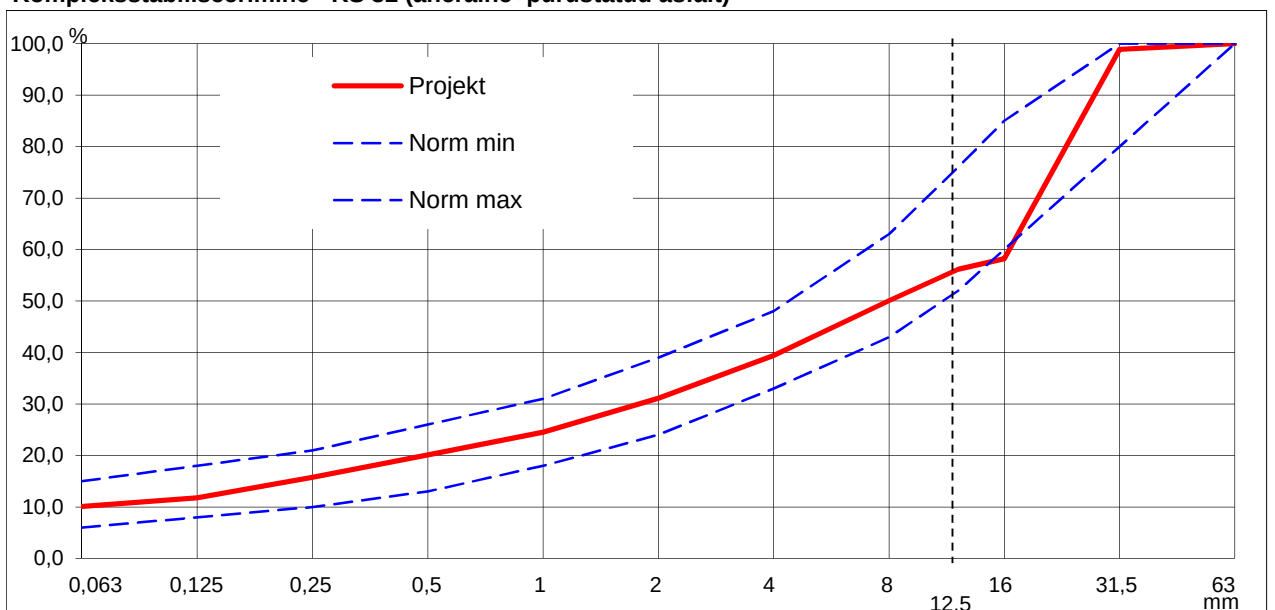
Kompleksstabiliseerimine - KS 32 (aheraine)															
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1															
	Keskm	0,0													
Lisatav täitematerjal															
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär		Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus			
2	16/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
3	0/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
Hüdrauliline sideaine					Projekteeritud segu koostis						Kihi paksus, m	0,20			
4	Mark	HRB 32,5E			Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²				
	Tootja / dekl	Kunda Nordic Tsement AS / Nr 027/05			Nr	fr	Täitematerjal		Segu						
Bituumensideaine					1	fr puru			0,0		0,0				
5	Mark	C60B4			2	16/32	12,9		12,5		55,0				
	Tootja / dekl	Pigipada OÜ			3	0/32	85		82,4		362,4				
	Bit sisaldus %	58			4	tsem	2,1		2,0		9,0				
Vesi					5	bit			B	3,1	Bit kg	23,5			
6					Sum			100		100,0		Bit %	5,5		
					6	Vesi			5,5		14,3				
Terastikuline koostis															
Nr	Mat	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63		
1	Freesipuru														
2	16/32	1,3	1	1	1	1	1	1	2	3	5	97	100		
3	0/32	10,5	12	14	17	20	25	33	47	58	65	93	100		
4	HRB 32,5E	84,0	96	100											
Projekt		10,9	12	14	16	19	24	30	42	52	58	94	100		
Norm	min	6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100		
	max	15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100		
Projekteeritud segu omadused															
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa					
		2200					7 päeva		28 päeva						
Norm															

Kompleksstabiliseerimine - KS 32 (aheraine)



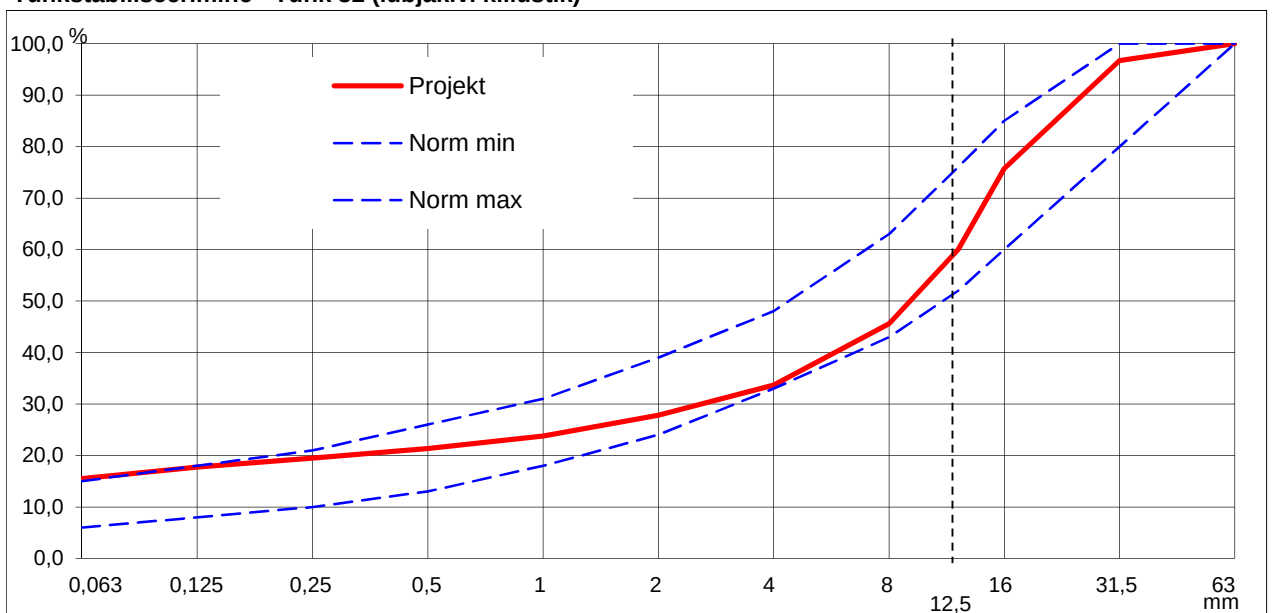
Kompleksstabiliseerimine - KS 32 (aheraine+purustatud asfalt)															
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1	5513	5,0	14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100	
Keskm		5,0	14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100	
Lisatav täitematerjal															
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär				Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus	
2	16/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
3															
Hüdrauliline sideaine							Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m	0,20		
4	Mark		HRB 32,5E				Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²		
	Tootja / dekl		Kunda Nordic Tsement AS / Nr 027/05				Nr	fr	Täitematerjal		Segu				
Bituumensideaine							1	fr puru	55		53,3		234,5		
5	Mark		C60B4				2	16/32	42,9		41,6		182,9		
	Tootja / dekl		Pigipada OÜ				3	0			0,0		0,0		
	Bit sisaldus %		58				4	tsem	2,1		2,0		9,0		
	Vesi							5	bit			B	3,1	Bit kg	3,3
6							Sum		100		100,0		Bit %	0,8	
							6	Vesi			5,5		22,8		
Terastikuline koostis															
Nr	Mat		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1	Freesipuru		14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100	
2	16/32		1,3	1	1	1	1	1	1	2	3	5	97	100	
3	0														
4	HRB 32,5E		84,0	96	100										
Projekt			10,1	12	16	20	25	31	39	50	56	58	99	100	
Norm	min		6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100	
	max		15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100	
Projekteeritud segu omadused															
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa					
		2200					7 päeva		28 päeva						
Norm															

Kompleksstabiliseerimine - KS 32 (aheraine+purustatud asfalt)



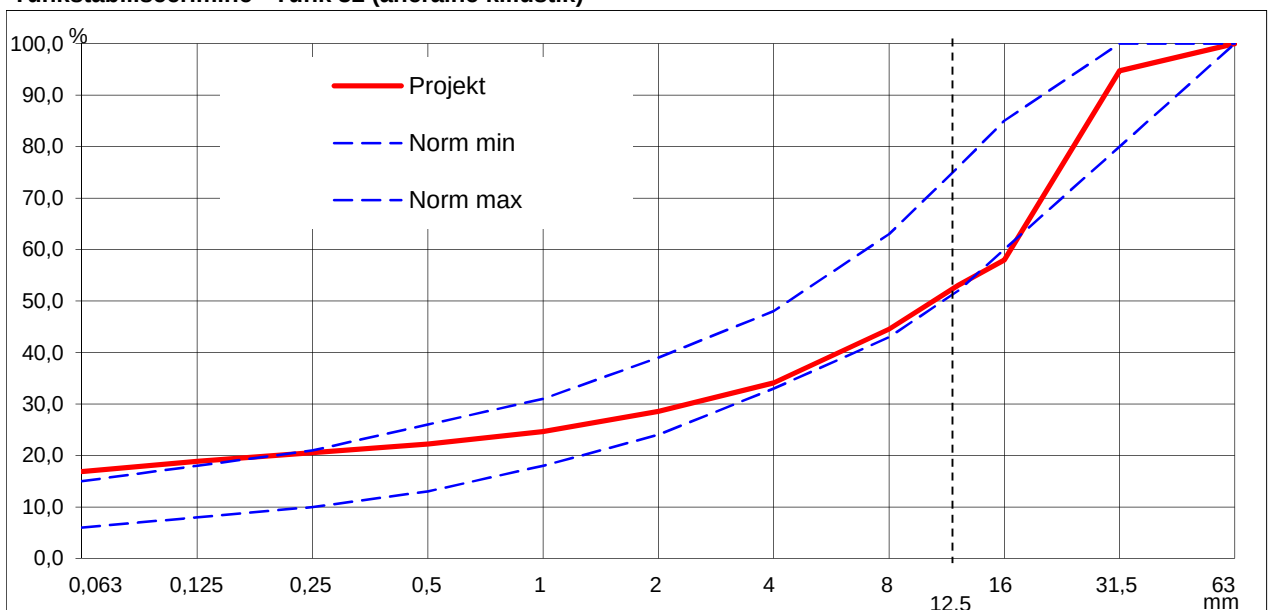
Tuhkstabiliseerimine - Tuhk 32 (lubjakivi killustik)															
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1															
	Keskm	0,0													
Lisatav täitematerjal															
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär				Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus	
2	16/32	PAE	Kunda Nordic Tsement AS/Lõuna-Aru karjäär (reg nr 5058)												
3	0/32-pur	PAE	Kunda Nordic Tsement AS/Lõuna-Aru karjäär (reg nr 5059)												
Hüdrauliline sideaine							Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m			
4	Mark		EEJ 8.keevkihtkatla elektrifiltrituhk - CFB EF1				Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²		
	Tootja / dekl						Nr	fr	Täitematerjal		Segu				
Bituumensideaine							1	fr puru			0,0		0,0		
5	Mark						2	16/32	18		18,0		0,0		
	Tootja / dekl						3	0/32-pu	72		72,0		0,0		
	Bit sisaldus %		100				4	tuhk	10		10,0		0,0		
Vesi							5	bit			B	0,0	Bit kg	0,0	
6							Sum			100		100,0		Bit %	#####
							6	Vesi			9,0		0,0		
Terastikuline koostis															
Nr	Mat		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1	Freesipuru														
2	16/32		0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	93	100	
3	0/32-pur		8,9	11	13	16	19	25	33	49	69	91	97	100	
4	katla elektrifiltrit		90,0	99	100										
Projekt			15,5	18	19	21	24	28	34	46	60	76	97	100	
Norm	min		6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100	
	max		15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100	
Projekteeritud segu omadused															
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa				ITS kPa				
							7 päeva		28 päeva						
Norm															

Tuhkstabiliseerimine - Tuhk 32 (lubjakivi killustik)



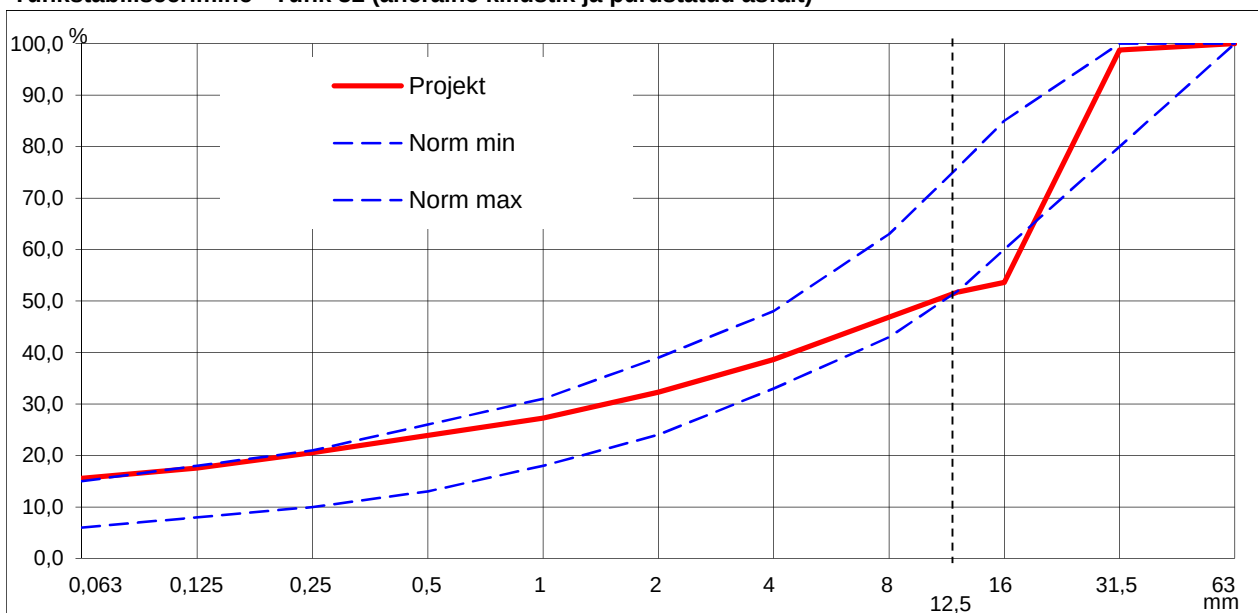
Tuhkstabiliseerimine - Tuhk 32 (aheraine killustik)															
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1															
	Keskm	0,0													
Lisatav täitematerjal															
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär				Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus	
2	16/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
3	0/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
Hüdrauliline sideaine							Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m			
4	Mark		EEJ 8.keevkihtkatla elektrifiltrituhk - CFB EF1				Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²		
	Tootja / dekl						Nr	fr	Täitematerjal		Segu				
Bituumensideaine							1	fr puru				0,0		0,0	
5	Mark						2	16/32	17			17,0		0,0	
	Tootja / dekl						3	0/32	73			73,0		0,0	
	Bit sisaldus %		100				4	tuhk	10			10,0		0,0	
Vesi							5	bit				B		Bit kg	0,0
6							Sum	100			100,0		Bit %	#####	
							6	Vesi				8,0		0,0	
Terastikuline koostis															
Nr	Mat		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1	Freesipuru														
2	16/32		1,3	1	1	1	1	1	1	2	3	5	97	100	
3	0/32		10,5	12	14	17	20	25	33	47	58	65	93	100	
4	katla elektrifiltrit		90,0	99	100										
Projekt			16,9	19	21	22	25	29	34	45	53	58	95	100	
Norm	min		6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100	
	max		15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100	
Projekteeritud segu omadused															
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa				ITS kPa				
							7 päeva		28 päeva						
Norm															

Tuhkstabiliseerimine - Tuhk 32 (aheraine killustik)



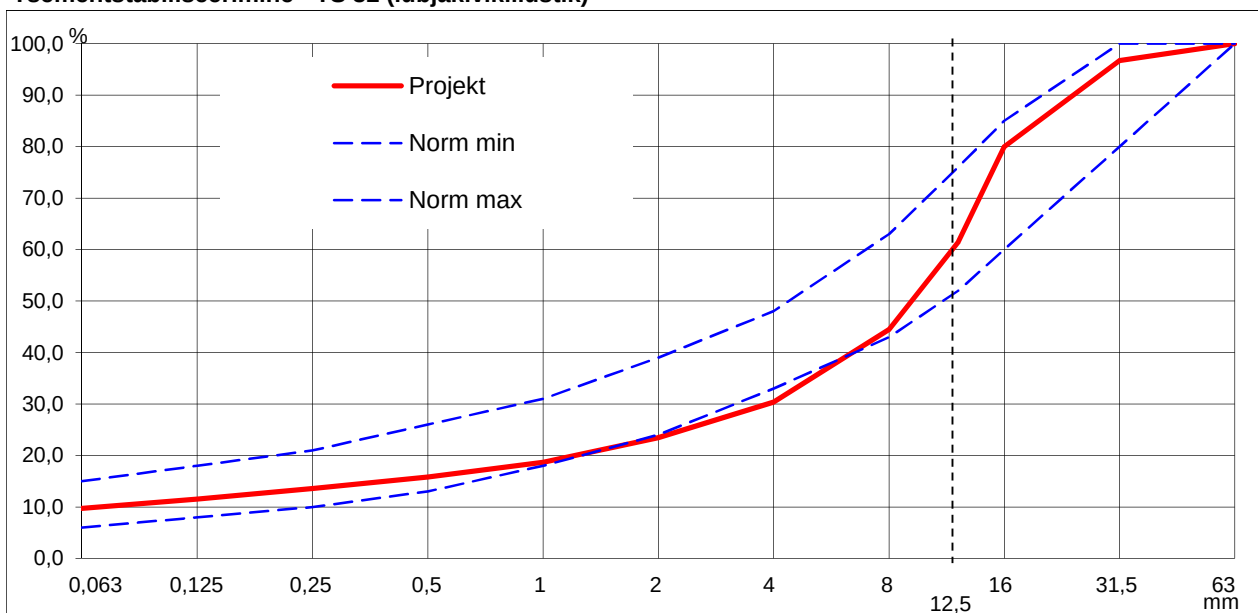
Tuhkstabiliseerimine - Tuhk 32 (aheraine killustik ja purustatud asfalt)														
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63
1	5513	5,0	14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100
Keskm	5,0	14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100	
Lisatav täitematerjal														
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär				Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus
2	16/32		Estonia											
3														
Hüdrauliline sideaine							Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m		
4	Mark		EEJ 8.keevkihtkatla elektrifiltrituhk - CFB EF1				Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²	
	Tootja / dekl						Nr	fr	Täitematerjal		Segu			
Bituumensideaine							1	fr puru	42		42,0		0,0	
5	Mark						2	16/32	48		48,0		0,0	
	Tootja / dekl						3	0			0,0		0,0	
	Bit sisaldus %		100				4	tuhk	10		10,0		0,0	
Vesi							5	bit			B		Bit kg	0,0
6							Sum		100		100,0		Bit %	#####
							6	Vesi			9,0		0,0	
Terastikuline koostis														
Nr	Mat		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63
1	Freesipuru		14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100
2	16/32		1,3	1	1	1	1	1	1	2	3	5	97	100
3	0													
4	katla elektrifiltrit		90,0	99	100									
Projekt			15,5	18	21	24	27	32	39	47	52	54	99	100
Norm	min		6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100
	max		15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100
Projekteeritud segu omadused														
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa				
							7 päeva		28 päeva					
Norm														

Tuhkstabiliseerimine - Tuhk 32 (aheraine killustik ja purustatud asfalt)



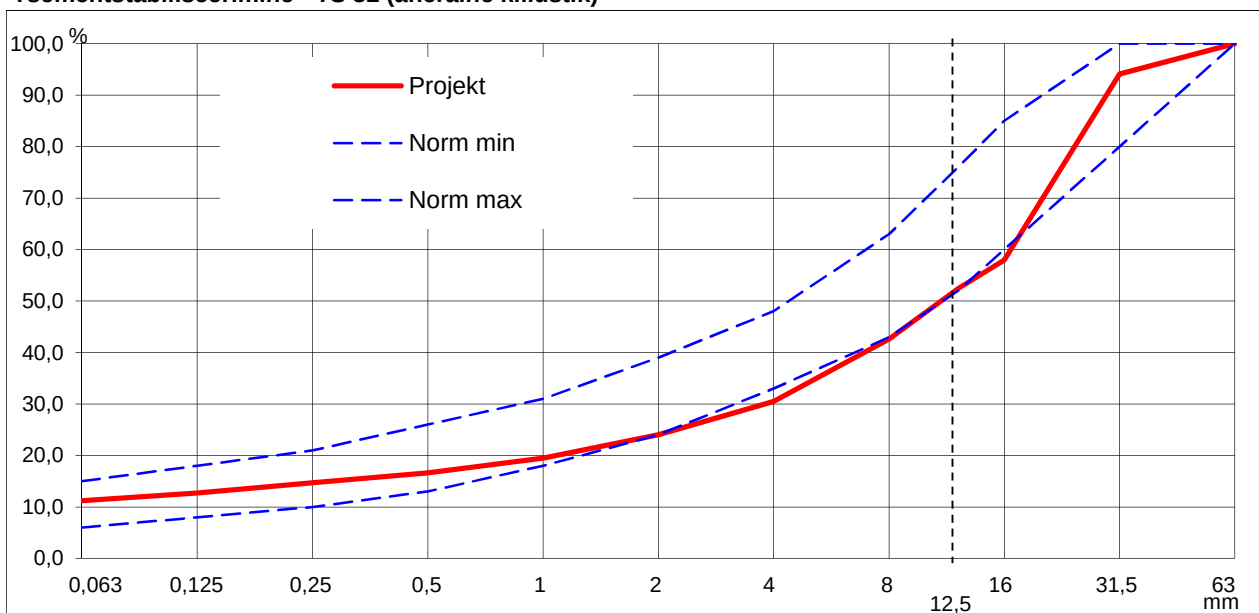
Tsementstabiliseerimine - TS 32 (lubjakivikillustik)															
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1															
Keskm		0,0													
Lisatav täitematerjal															
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär		Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus			
2	16/32	PAE	Kunda Nordic Tsement AS/Lõuna-Aru karjäär (reg nr 5058)												
3	0/32-pur	PAE	Kunda Nordic Tsement AS/Lõuna-Aru karjäär (reg nr 5059)												
Hüdrauliline sideaine						Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m				
4	Mark		HRB 32,5E		Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²				
	Tootja / dekl		Kunda Nordic Tsement AS		Nr	fr	Täitematerjal		Segu						
Bituumensideaine						1	fr puru			0,0		0,0			
5	Mark		70/100		2	16/32	12,5		12,5		0,0				
	Tootja / dekl		Nynas AS		3	0/32-pur	85		85,0		0,0				
	Bit sisaldus %		100		4	tsem	2,5		2,5		0,0				
Vesi						5	bit			B		Bit kg	0,0		
6					Sum		100		100,0		Bit %	#####			
					6	Vesi			6,0		0,0				
Terastikuline koostis															
Nr	Mat	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63		
1	Freesipuru														
2	16/32	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	93	100		
3	0/32-pur	8,9	11	13	16	19	25	33	49	69	91	97	100		
4	HRB 32,5E	84,0	96	100											
Projekt		9,7	12	14	16	19	23	30	44	61	80	97	100		
Norm	min	6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100		
	max	15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100		
Projekteeritud segu omadused															
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa					
							7 päeva		28 päeva						
Norm															

Tsementstabiliseerimine - TS 32 (lubjakivikillustik)



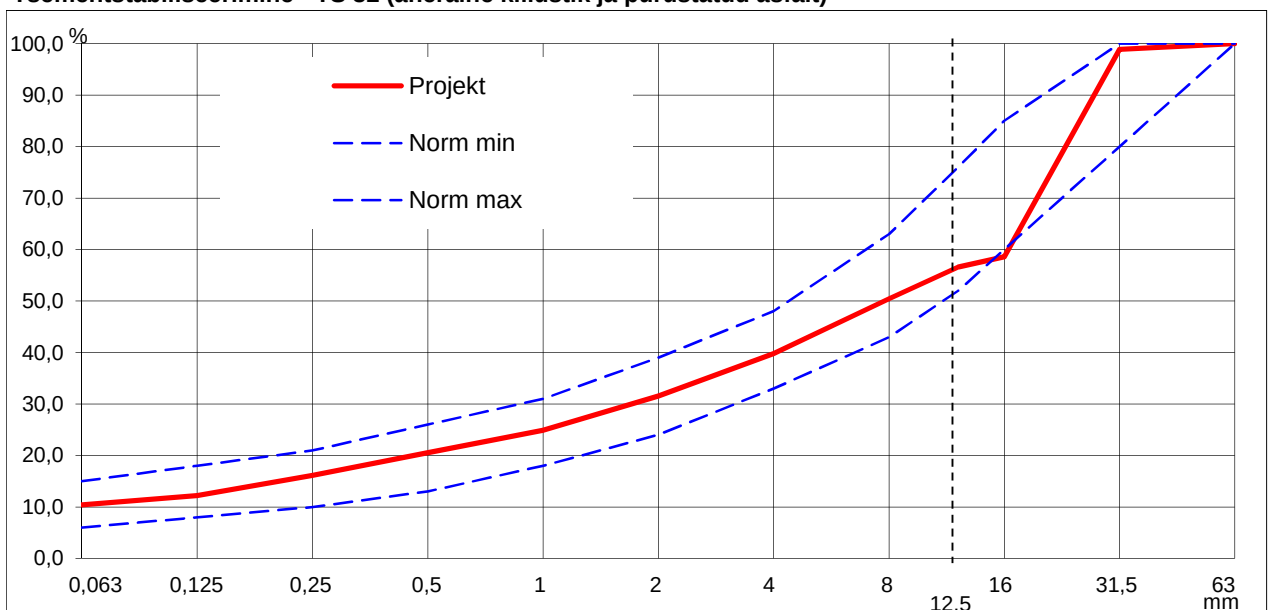
Tsementstabiliseerimine - TS 32 (aheraine killustik)															
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63	
1															
Keskm	0,0														
Lisatav täitematerjal															
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär		Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus			
2	16/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
3	0/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär												
Hüdrauliline sideaine					Projekteeritud segu koostis						Kihi paksus, m				
4	Mark	HRB 32,5E			Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²				
	Tootja / dekl	Kunda Nordic Tsement AS			Nr	fr	Täitematerjal		Segu						
Bituumensideaine					1	fr puru			0,0		0,0				
5	Mark	70/100			2	16/32	12,5		12,5		0,0				
	Tootja / dekl	Nynas AS			3	0/32	85		85,0		0,0				
	Bit sisaldus %	100			4	tsem	2,5		2,5		0,0				
	Vesi				5	bit			B				Bit kg	0,0	
6					Sum			100		100,0		Bit %	#####		
					6	Vesi			7,0				0,0		
Terastikuline koostis															
Nr	Mat	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63		
1	Freesipuru														
2	16/32	1,3	1	1	1	1	1	1	2	3	5	97	100		
3	0/32	10,5	12	14	17	20	25	33	47	58	65	93	100		
4	HRB 32,5E	84,0	96	100											
Projekt		11,2	13	15	17	19	24	31	43	52	58	94	100		
Norm	min	6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100		
	max	15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100		
Projekteeritud segu omadused															
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa			ITS kPa					
							7 päeva		28 päeva						
Norm															

Tsementstabiliseerimine - TS 32 (aheraine killustik)



Tsementstabiliseerimine - TS 32 (aheraine killustik ja purustatud asfalt)														
Nr	Reg.Nr	Bit	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63
1	5513	5,0	14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100
Keskm		5,0	14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100
Lisatav täitematerjal														
Nr	fr	Tüüp	Tootja dekl / karjäär				Ter tih t/m³	LA	f	MB	C	FI	F	Huu- mus
2	16/32	AHER	Eesti Energia Kaevandused /Estonia karjäär											
3														
Hüdrauliline sideaine							Projekteeritud segu koostis					Kihi paksus, m		
4	Mark		HRB 32,5E				Materjal		Materjali osakaal %				Mat vajadus kg/m²	
	Tootja / dekl		Kunda Nordic Tsement AS				Nr	fr	Täitematerjal		Segu			
Bituumensideaine							1	fr puru	55		55,0		0,0	
5	Mark						2	16/32	42,5		42,5		0,0	
	Tootja / dekl						3	0			0,0		0,0	
	Bit sisaldus %		100				4	tsem	2,5		2,5		0,0	
Vesi							5	bit			B		Bit kg	0,0
6							Sum		100		100,0		Bit %	#####
							6	Vesi			6,0		0,0	
Terastikuline koostis														
Nr	Mat		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	12,5	16	31,5	63
1	Freesipuru		14,1	17	24	32	40	52	67	86	96	98	100	100
2	16/32		1,3	1	1	1	1	1	1	2	3	5	97	100
3	0													
4	HRB 32,5E		84,0	96	100									
Projekt			10,4	12	16	21	25	32	40	50	57	59	99	100
Norm	min		6,0	8	10	13	18	24	33	43	52	60	80	100
	max		15,0	18	21	26	31	39	48	63	76	85	100	100
Projekteeritud segu omadused														
*Optimaalne niiskus %		* Mahumass kg/m³		Erimass kg/m³		JP %	Survetugevus Mpa				ITS kPa			
							7 päeva		28 päeva					
Norm														

Tsementstabiliseerimine - TS 32 (aheraine killustik ja purustatud asfalt)



LISA 4

LISA X. IMMUTAMISE KATSETE DETAILNE KIRJELDUS

Emulsioon	4
Põlevkivibituumen	14
Teetsement	24
Kustutatud lubi	33
Põlevkivituhk	43
Epoksüvaik	52
Vesiklaas	60

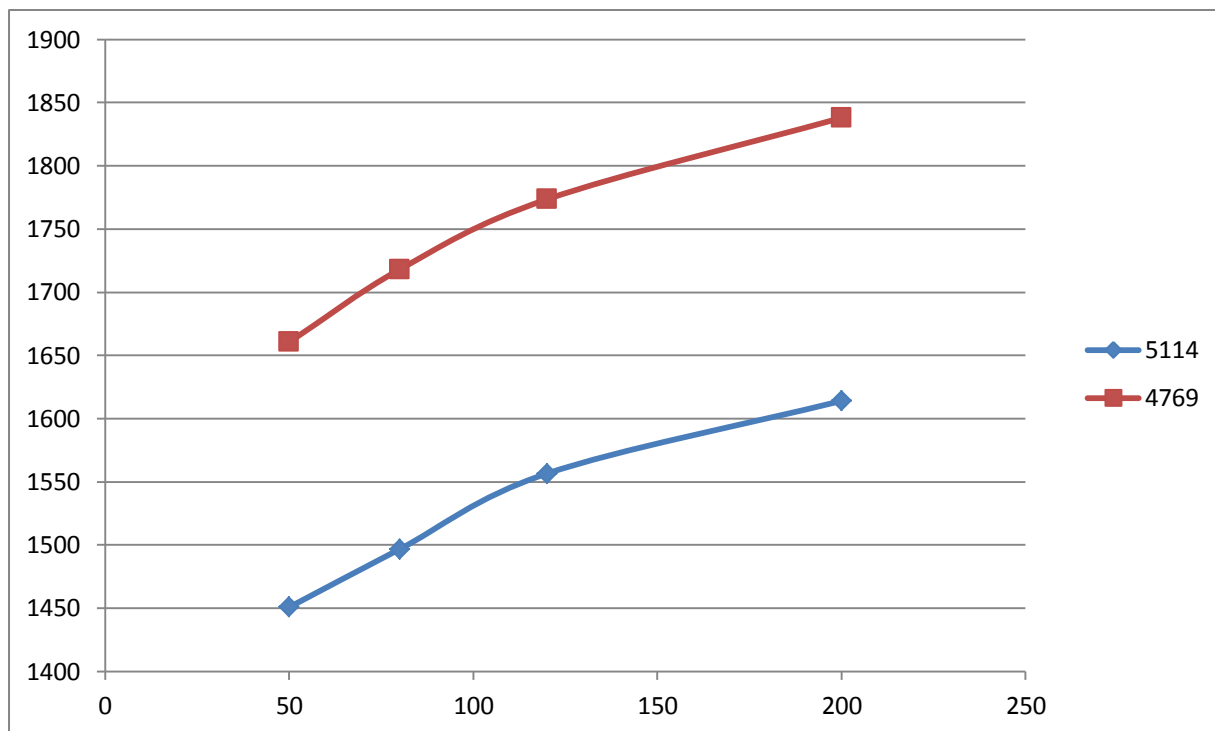
Kõik katsed tehti paralleelselt ühe aherainekillustikuga (nr 5264, Estonia) ja ühe referentskillustikuga (nr 5058, Kunda). Kogu katseteks kasutatav materjal pesti kasutades 4mm sõela. Veeimavuse katseks ja güraatortihendamiseks vajaminevat materjali peale pesemist ei sõelutud. Külmakindluse määramisel kasutati väljasõelatud materjali fr 16/31,5 mm. Kõik kasutatav materjal kuivatati enne katsetusi 105°C juures konstantse massini.

Veeimavuse proovidele teostati 120 pööret güraatoris ja määrati katsejärgne uus veeimavus. Güraatori kasutati tingimused: 120 pööret, survejõud 600 kPa, vorm diam 150 mm, tihendusnurk 17,5 mrad, pöörete arv tihendamisel 26,5 rpm.

120 pöörde valikuks tehti eelkatsed. Proovitööl kasutati Ahtme karjääri aherainekillustiku reg nr 5114 ja Sopimetsa II karjääri killustikku reg nr 4769. Güraatoris tihendati 4 kg materjali fr 16/32 mm, hinnati tihedust ja katsejärgset materjali purunemist (kuivsõelumisega).

Tabel 1 Proovitihtendamise mahumassid (güraator), proovikeha mahumass kg/m³ (tihendaja järgi)

Reg nr	Pöörded	1	2	3	4	Kesk
5114	50	1469	1428	1461	1445	1451
	80		1477	1507	1506	1497
	120			1553	1560	1557
	200				1614	1614
4769	50			1653	1668	1661
	80			1710	1726	1718
	120			1764	1783	1774
	200				1838	1838



Joonis 1. Proovitihtendamise mahumassid

Graafikust on näha, et aheraine lõpptihedus on oluliselt madalam, kui paekivikillustikul, kuid graafik on sarnane. Erinevus on tingitud sellest, et materjalide näivtihedused on erinevad: reg nr 4769 puhul 2,74 Mg/m³ ja reg nr 5114 puhul 2,53 Mg/m³.

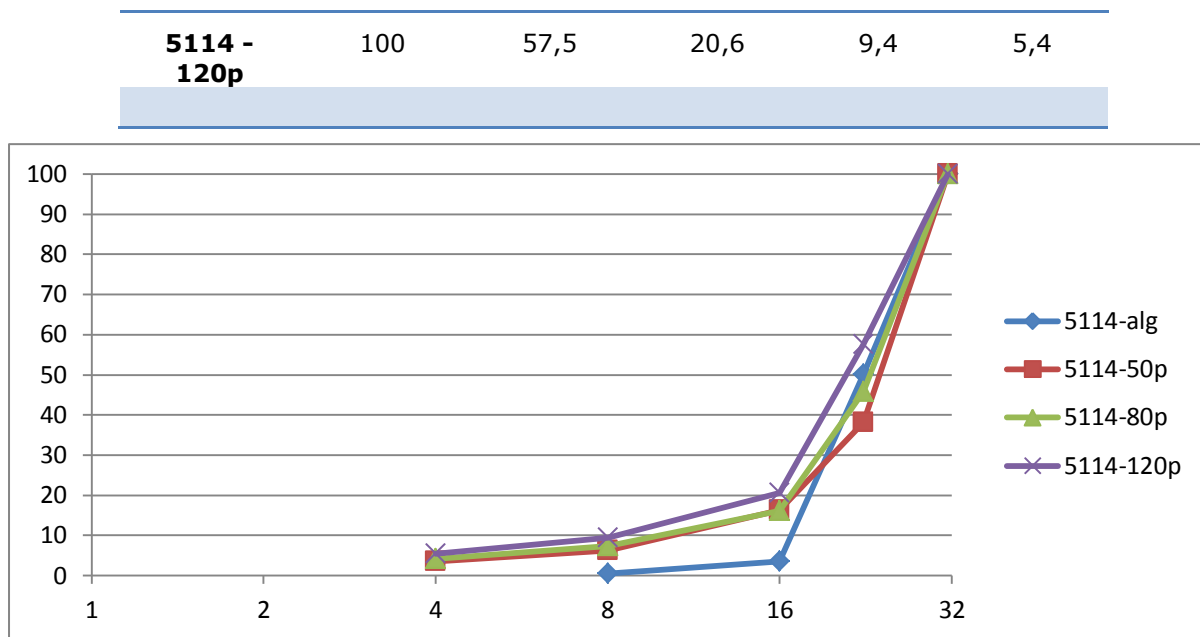
Samadel materjalidele teostati ka Proctor katseseadmes ühepunkti tihendamised (tavalise ja modifitseeritud Proctoriga).

Tabel 2 Proctor tihendamised, kuiv mahumass mg/m³

Reg nr	Proctor	1	2	Kesk
5114	Tava	1,39	1,39	1,39
	Mod	1,67	1,62	1,65
4769	Tava	1,61		1,61
	Mod	1,83		1,83

Tabel 3 Ahtme aheraine killustiku proovide purunemine peale güraatortihendamist, läbimineksõelast avaga (mm) massiprotsentides

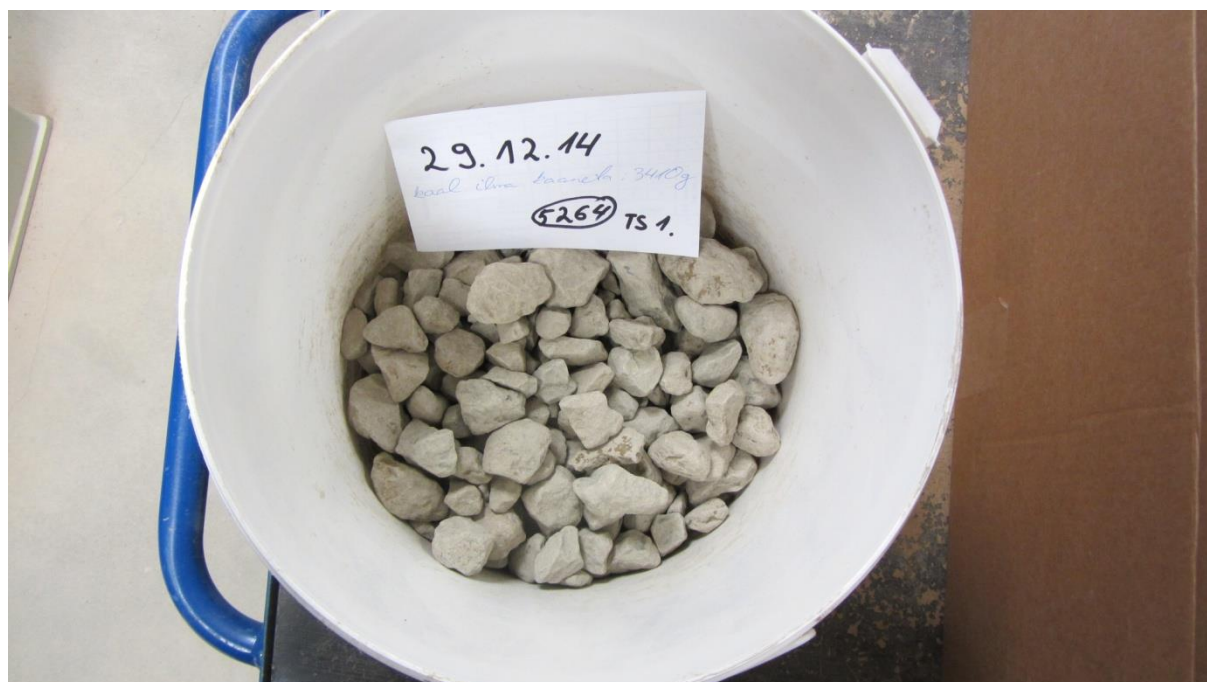
Proovi nr	31,5	22,4	16	8	4
5114 - alg	100	50,1	3,6	0,5	
5114 - 50p	100	38,1	16,3	6,3	3,6
5114 - 80p	100	45,7	16,1	7,4	4,2



Joonis 2. aheraine killustiku proovide purunemine peale güraatortihendamist

Güraator- ja Proctor tihendamiste järgi valiti güraatori katseks 120 pööret (sama ka asfaltsegude tihendamisel). 120 pööret läheneb modifitseeritud Proctor katsele. Kõrgemat pöörete arvu ei valitud, kuna 120 pöörde tihendamise järel oli 4 mm sõelast läbimine juba üle 5 %.

Algselt sooviti immutamist ette arvutatud protsendiga: lisati kaalutud killustikult kaalutud vee ja tsemendi/tuha/vesiklaasi segu. Selline meetod jättis katmata sügavamad lohud. Tsemendi ja vee segu ei jätkunud kõikidesse kohtadesse (kohati jäi paksult peale):



Järgnevad katsed teostati üleküllastumisega (tuha, lubja, tsemendi, vesiklaasi puhul).

Raskusi oli vesiklaasi kuivatamisega. Isegi 50 kraadi juures pikalt kuivanud kivid tegid veeimavuse katse ajal vee „libedaks“. Samas juba 1 % vesiklaasi koguse puhul kleepusid kivid nii kõvasti kokku, et lahutamisel purunesid osad nurgad.

Epoksüvaiguga töödeldud kivid kivistusid nii kõvasti kokku, et nende lahutamiseks tuli neid taguda vastu maad või midagi samaväärset. Sellega kaasnesid ka nõrgemate kivide purunemised.

Emulsioon

Esimeseks prooviti emulsiooni lisamist külmale (toasoe) kivile. Emulsioon muutus väga kiiresti kleepuvaks ja ei läinud kivi peal laiali. Kiht jäi tuntavalt paks ja kattuvus oli halb.

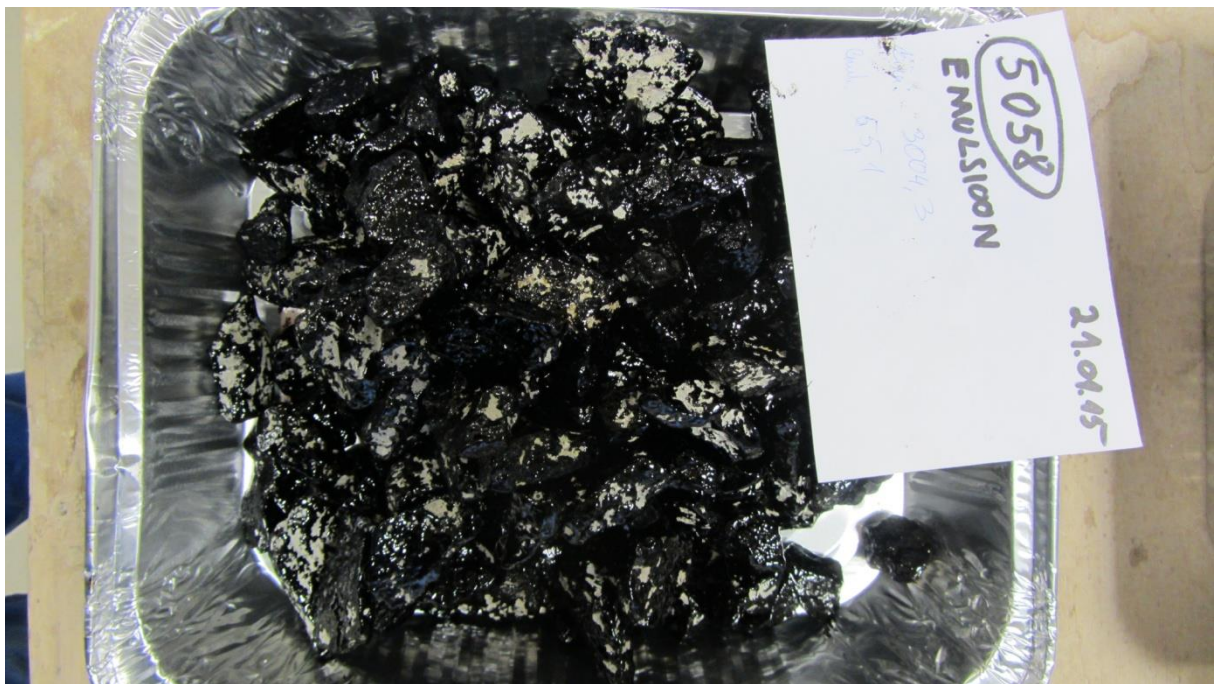


Seepärast otsustati järgmisteks proovimisteks kivi soojendada 70-80 kraadini. Seejärel segati kokku kolme erineva emulsiooni kontsentratsiooni juures hindamiseks proovid, iga kontsentratsiooniga üks proov ca 3kg. Tulemusi hinnati visuaalselt. Kolmest proovi põhjal valiti välja sobilik kontsentratsiooni vahemik. Valitud vahemik sai edaspidise segamise aluseks. Vahemikku oli raske piiritleda. Plaatjamaid kive oli raskem katta, kui ümaramaid.

Visuaalse hinnangu jaoks tehtud proovid segati kokku käsitsi katsepanni peal kasutades krohvikellut. Alloleval pildil toimub segamine põlevkivibituumeniga, kuid tehnika oli sama emulsiooniga segamise puhul.



Variant nr 1 referentskillustikuga (1,8%). Kivid olid halvasti kaetud. Plaatjad kivid jäid suhteliselt katmata. Segama pidi kiiresti, sest emulsioon aurustus sooja kivi peal kiiresti.



Variant nr 2 referentskillustikuga (3,4%). Kohati katmata laigud.



Variant nr 3 referentskillustikuga. Kividel olev kiht paks. Kohati katmata laigud.



Variant nr 1 aherainekillustikuga. Kohati katmata laigud. Segamine ja katmine oli lihtsam tänu vähestele plaatjatele kividele.



Variant nr 2 aherainekillustikuga. Katvus nähtavalt halvem, kui 3,6% puhul.



Variant nr 3 aherainekillustikuga. Emulsiooni kiht väga paks, kuid siiski mõned katmata lohud.



Hinnates kolme proovi mõlema killustiku puhul sai selgeks, et referentskillustiku puhul peaks emulsiooni kogus jääma 3-3,5% juurde ja aherainekillustiku puhul 3,5-4,5% juurde. Käsitsi segamine tundus väga ebaefektiivne, sest emulsiooni kihti oli kivide peal paks, aga katmata kohti jäi siiski kõikidele proovidele. Katsetusteks minevad kogused otsustati segada seguritega.

Veeimavus ja guraatortihendamine

Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus seguriga Tecnotest. Segamisel kasutati segamisnõu soojendust. Kasutati sooja (70-80 kraadi) killustikku. Segamisnõusse valati 8kg killustikku ja peale vajalik kogus emulsiooni ning segati masinaga. Segamine kestis 2-3 minutit, et kivi kattusk korralikult ja masin ei hakkaks kive lõhkuma. Kivide kattumine emulsiooniga oli nähtavalt ühtlasem kui käsitsi segades.



Peale segamist tõsteti kaetud killustik pannidele ja lasti laboris toatemperatuuril seista vähemalt 3 ööpäeva. Peale vähemalt kolme ööpäevast seismist tehti veeimavuse katse. Peale ööpäeva vees seismist viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil. Peale güraatortihendamist (4 kg) ei sõelutud materjali läbi 4mm sõela. Purunemist hinnati visuaalselt. Güraatortihendamise eelne ja järgne referentskivi:



Güraatortihendamis eelne ja järgne aherainekivi:



Peale 24 tunnist vees seismist pesti güraatortihendatud proovid 4mm sõelal ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil. Tulemus ei pruugi olla täpne, sest emulsiooni külge kleepus palju peenikest materjali, mis võis märkamatuult eralduda kivist ebasobival ajal.

Külmutuskatse

Kasutati pestud materjali fraktsiooniga 16/31,5. Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus asfaldiseguris SRC. Kasutati seguri soojendust ja eelnevalt soojendatud (70-80

kraadi) kivi. Korraga segati 25 kg killustikku. Pildil: põlevkivibituumeni lisamine referentskivile. Emulsiooniga toimus lisamine ja segamine analoogselt.



Peale segamist pandi kaetud kivi pannidele vähemalt 3ks ööpäevaks seisma toatemperatuuri juurde.



Veeimavuseks kasutati referentskivil 3,3%, aherainekivil 3,5% emulsiooni. Külmutuseks kasutati referentskivil 3,4%, aheraine kivil 4,3% emulsiooni. Külmutuskatseks segatud kivi emulsiooni kogust võis näivalt tõsta asfaldiseguri puhastamiseks kasutatud liiv, mis sattus väikeses koguses kaetava kivi peale koos emulsiooniga (hinnanguliselt kuni 25g). Vaatamata erinevatele soojendamistele ja seguritele ei õnnestunud kivi katmine 100%liselt.

Külmutuskatse toimus destilleeritud vees ja ka soolvees. Peale külmutuskatset pesti materjal põhjalikult läbi 8mm sõela ja asetati 105 kraadi juurde kuivama. Kuivanud

emulsioonine kivi kaaluti ja arutati katse tulemus. Referentskillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (pestud):



Aherainekillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (pestud):



Referentskillustik peale külmutuskatset soolvees (pesemata):



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (pesemata):



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (pestud):



Külmutuskatse järgsed kaalumised ei ole täpsed, sest väike kogus alla 8mm materjali jäi emulsiooni külge, kuid see kogus on hinnanguliselt maksimaalselt 10g.

Põlevkivibituumen

Bituumenit kastutati soojendatud kujul (130-145 kraadi). Esimeseks prooviti bituumeni lisamist külmale (toasoe) kivile. Bituumen muutus väga kiiresti kleepuvaks (15 sekundit) ja ei läinud kivi peal laiali:



Seepärast otsustati järgmisteks proovimisteks kivi soojendada 70-80 kraadini. Seejärel segati kokku kolme erineva bituumeni kontsentratsiooni juures hindamiseks proovid, iga kontsentratsiooniga üks proov ca 3kg proov. Tulemusi hinnati visuaalselt. Kolmest proovi põhjal valiti välja sobilik kontsentratsiooni vahemik. Valitud vahemik sai edaspidise segamise aluseks. Vahemikku oli raske piiritleda. Plaatjamaid kive oli raskem katta, kui ümaramaid.

Visuaalse hinnangu jaoks tehtud proovid segati kokku käsitsi katsepanni peal kasutades krohvikellut:



Variant nr 1 referentskillustikuga. Kivid olid hästi kaetud. Plaatjad kivid jäid kohati katmata. Segama pidi kiiresti, et kivi kattuks ühtlasemalt.



Variant nr 2 referentskillustikuga. Kivid olid hästi kaetud. Plaatjad kivid jäid kohati katmata.



Variant nr 3 referentskillustikuga.



Variant nr 1 aherainekillustikuga. Kivid olid hästi kaetud.



Variant nr 2 aherainekillustikuga. Katvus sama, mis eelneva puhul.



Variant nr 3 aherainekillustikuga. Bituumeni kiht suhteliselt paks.



Hinnates kolme proovi mõlema killustiku puhul sai selgeks, et referentskillustiku puhul peaks bituumeni kogus jääma 2-2,5% juurde ja aherainekillustiku puhul 2,5% juurde. Käsitsi segamine tundus väga ebaefektiivne, sest bituumeni kihti oli kivil ebaühtlane. Katsetusteks minevad kogused otsustati segada seguritega.

Veeimavus ja güratortihendamine

Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus seguriga Tecnotest. Segamisel kasutati segamismõu soojendust. Kasutati sooja (70-80 kraadi) killustikku. Segamismõusse valati 8kg killustikku ja peale vajalik kogus bituumenit ning segati masinaga. Segamine kestis 2-3 minutit, et kivi kattusk korralikult ja masin ei hakkaks kive lõhkuma.

Kivide kattumine bituumeniga oli nähtavalt ühtlasem kui käsitsi segades.

Peale segamist tõsteti kaetud killustik pannidele ja lasti laboris toatemperatuuril seista vähemalt 3 ööpäeva.

Peale vähemalt kolme ööpäevast seismist tehti veeimavuse katse. Peale ööpäeva vees seismist viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil.

Peale güratortihendamist (4 kg) ei sõelutud materjali läbi 4mm sõela. Purunemist peab hindama visuaalselt.

Güratortihendamis eelne ja järgne referentskivi.



Güraatortihendamis eelne ja järgne aherainekivi.



Peale peale 24 tunnist vees seismist pesti kergelt güraatortihendatud proovid 4mm sõelal ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil. Tulemus ei pruugi olla täpne, sest bituumeni külge kleepus palju peenikest materjali, mis võis märkamatult eralduda kivist ebasobival ajal.

Külmutuskatse

Kasutati pestud materjali fraktsiooniga 16/31,5. Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus asfaldiseguris SRC. Kasutati seguri soojendust ja eelnevalt soojendatud (70-80 kraadi) kivi. Korraga segati 25 kg killustikku.



Pildil: põlevkivibituumeni lisamine referentskivile. Peale segamist pandi kaetud kivi pannidele vähemalt 3ks ööpäevaks seisma toatemperatuuri juurde.

Veeimavuseks kasutati referentskivil 2,5%, aherainekivil 2,1% bituumenit. Külmutuseks kasutati referentskivil 2,1%, aheraine kivil 2,4% bituumeint. Külmutuskatseks segatud kivi bituumeni kogust võis näivald tõsta asfaldiseguri puhastamiseks kasutatud liiv, mis sattus väikeses koguses kaetava kivi peale koos bituumeniga (hinnanguliselt kuni 20g). Vaatamata erinevatele soojendamistele ja seguritele ei õnnestunud kivi katmine 100%liselt

Külmutuskatse toimus destilleeritud vees ja ka soolvees. Peale külmutuskatset pesti materjal põhjalikult läbi 8mm sõela ja asetati 105 kraadi juurde kuivama. Kuivanud bituumeniga kaetud kivi kaaluti ja arvutati katse tulemus.

Referentskillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (pestud):



Aherainekillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (pesemata):



Referentskillustik peale külmutuskatset soolvees (pesemata):



Referentskillustik peale külmutuskatset soolvees (pestud):



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (pesemata):



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (pestud):



Külmutuskatse järgsed kaalumised ei ole täpsed, sest väike kogus alla 8mm materjali jäi bituumeni külge, kuid see kogus on hinnanguliselt maksimaalselt 8g. Kogust kontrolliti peale kuivamist: külmutati kaetud kuivad kivid, murti lahti üksteise küljest ja sõeluti ning vaadeldi üle.

Teetsement

Tsemendile lisati destilleeritud vett. Segati kokku kolme erineva tsemendi kontsentratsiooni juures hindamiseks proovid, iga kontsentratsiooniga üks proov ca 3kg

proov. Peale segamist lasti proovidel õhu käes kuivada ja seejärel hinnati tulemust visuaalselt. Kolmest proovi põhjal valiti välja sobilik kontsentratsiooni vahemik. Valitud vahemik sai edaspidise segamise aluseks.

Variant nr 1 referentskillustikuga. Kivid olid kaetud, kiht väga õhuke. Segu vajus lohkudesse jättes suure osa kivist väga õhukese kihi alla.



Variant nr 2 referentskillustikuga. Kivide katvus tsemendiga oli piisav, kohati liiga paks kiht.



Variant nr 3 referentskillustikuga. Kividel olev kiht väga paks.



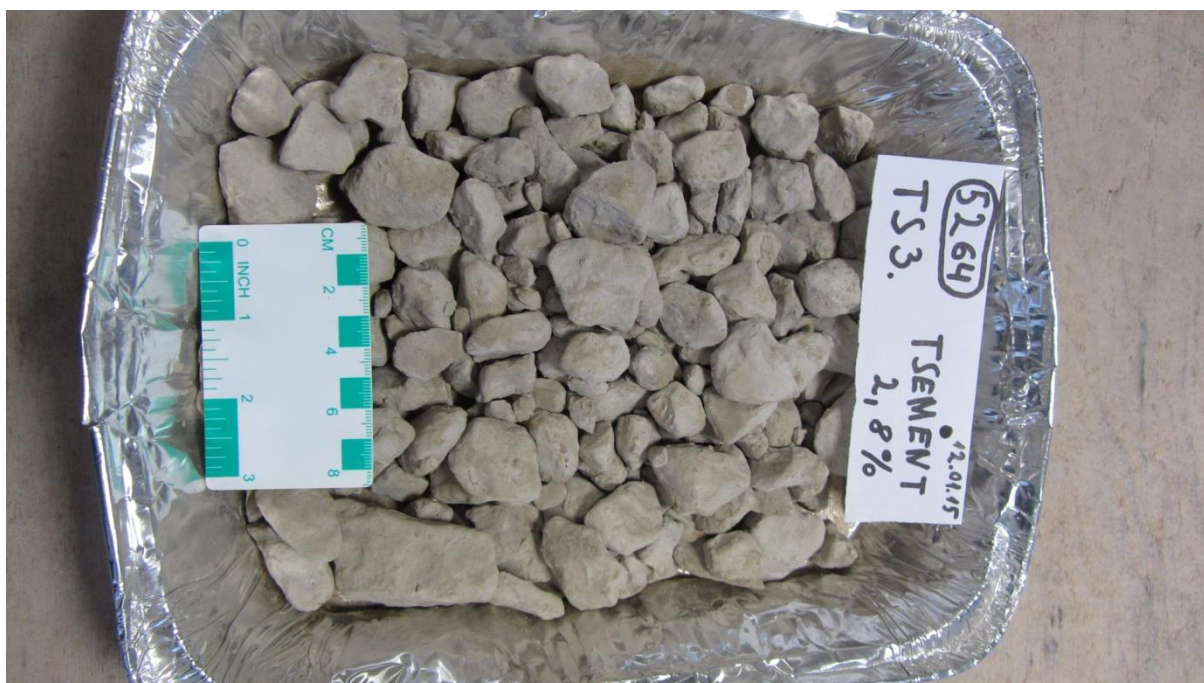
Variant nr 1 aherainekillustikuga. Kivid olid kaetud, kuid mitte piisavalt.



Variant nr 2 aherainekillustikuga. Kivide katvust tsemendiga oli hea.



Variant nr 3 aherainekillustikuga. Tsemendi kiht väga paks.



Hinnates kolme proovi mõlema killustiku puhul valiti sobilikuks 1 kuni 1,5% tsemendi kogus kummagi kivi puhul.

Veeimavus ja guraatortihendamine

Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitristes ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (9 kg) valati peale tsemendi ja vee segu, mille kontsentratsioon oli määratud (kummagi killustiku segamisel kasutati iga kilogrammi kivi kohta 40grammi tsementi ja 70 grammi vett). Tsemendi ja vee segu valmistati vahetult enne kasutamist. Killustiku

segati käsitsi ämbris ringjate liigutustega ja ka ämbrist ämbrisse kallates. Immutamine toimus nõ üleküllastumisega. Segamine kestis keskmiselt 1,5 minutit. Peale segamist lasti üleliigsel segul killustiku pealt ära valguda 1 minuti jooksul. Seejärel tõsteti tsemendiseguga kaetud killustik tühja ämbrisse, kaaluti, tähistati ja kaanetati. Valmis segatud killustikuga täidetud ämbrid asetati 7ks ööpäevaks kliimaruumi.



Segamine oli lihtne ja kivi kattus kiiresti. Kasutatud tsemendi ja vee segu oli suhteliselt vedel, seega oli kivi pinnalt näha, et rohkem segu vajus kivi lohkudesse. Peale kliimaruumist võtmist kuivatati proovi lahtiselt laboris 4 tundi ja seejärel 24 tundi 50°C juures. Kergelt niiske referentskivi kohe peale kliimaruumist võtmist:



Sama kivi peale kuivamist:



Enne veeimavuse katset pesti väga kergelt 4 kg tsemendiga kaetud killustiku, et eemaldada lahtine tsement ja asetati veeimavuse määramiseks 24ks tunniks vette. Peale ööpäeva vees seismist pesti jälle kergelt veega ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil. Enne güraatortihendamist materjali ei pestud. Peale güraatortihendamise (4 kg) sõeluti materjal läbi 4mm sõela ja kaaluti läbimine. Gýraatortihendamise järgne referentskivi:



Güraatortihendamise järgne aherainekivi:



4mm sõelale jäänud materjal pesti kergelt peale 24 tunnist vees seismist ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil.

Külmutuskatse

Kasutati pestud materjali fraktsiooniga 16/31,5. Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitristes ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (4-8 kg) valati peale tsemendi ja vee segu, mille kontsentratsioon oli määratud (kummagi killustiku segamisel kasutati

iga kilogrammi kivi kohta 40grammi tsementi ja 70 grammi vett). Tsemendi ja vee segu valmistati vahetult enne kasutamist. Killustiku segati käsitsi ämbris ringjate liigutustega ja ka ämbrist ämbrisse kallates. Immutamine toimus nõ üleküllastumisega. Segamine kestis keskmiselt 1,5 minutit. Peale segamist lasti üleliigsel segul killustiku pealt ära valguda 1 minuti jooksul. Seejärel tõsteti tsemendiseguga kaetud killustik tühja ämbrisse, kaaluti, tähistati ja kaanetati. Valmis segatud killustikuga täidetud ämbrid asetati 9ks ööpäevaks kliimaruumi. Tsemendiga kaetud referentskillustik enne ämbri kaanetamist ja kliimaruumi asetamist:



Peale kliimaruumist välja võtmist ei olnud ämbrisene niiskus vähenenud. Killustik valati välja, kaaluti ja pandi kuivama õhu kätte 8ks tunniks ja seejärel 50 °C juurde kolmeks ööpäevaks. Peale kolme ööpäeva oli kogu vaba vesi killustikust väljunud. Nüüd sai määrata tegeliku tsemendi ja kivi vahekorra. Veeimavuseks, güraatortihendamiseks ja ka külmutuskatseteks kasutati 1,1% tsemendikogust. Erinevate koguste killustiku tsemendisisaldus kõikus väga vähe (kuni 0,1 protsendipunkti keskmisest, ehk 1,0-1,2%). Külmutuskatse toimus destilleeritud vees ja ka soolvees. Peale külmutuskatset kuivatati materjal konstantse kaaluni ja sõeluti läbi 8mm sõela. Referentskillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelatud):



Tsemendikiht oli referentskivi küljest osaliselt ära tulnud. Aheraine killustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelutud). Tsemendi kiht oli hinnanguliselt alles jäänud 10% kivi peale.



Referentskillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud):



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud):



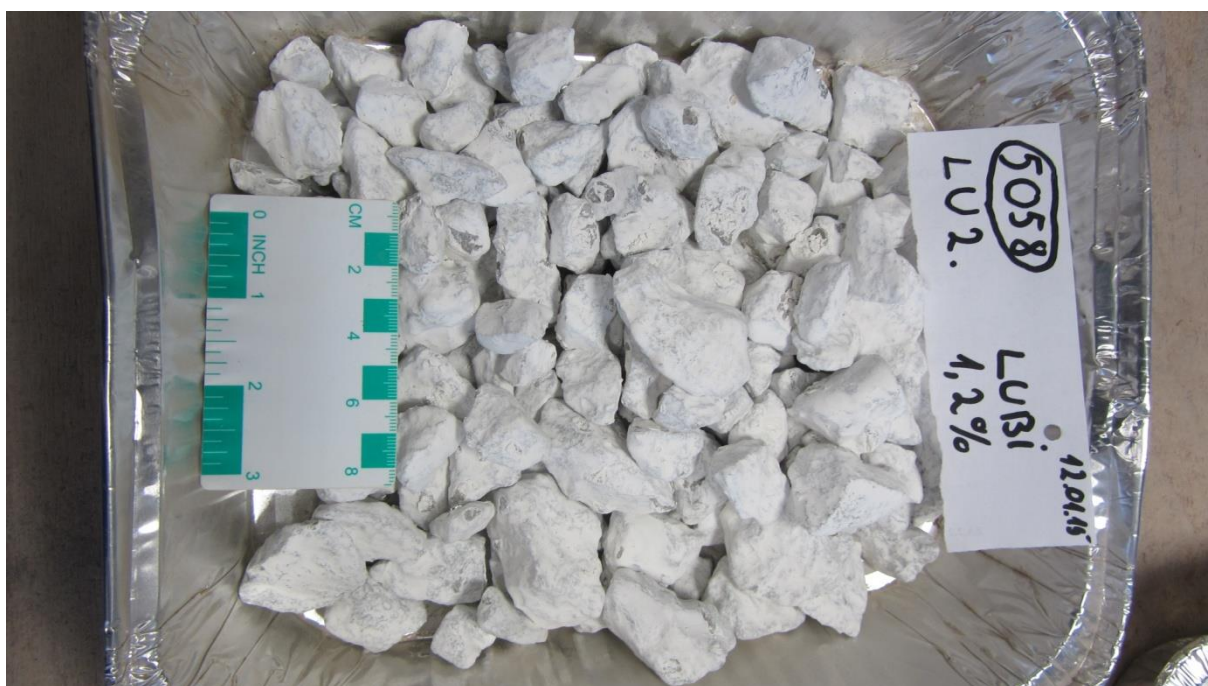
Kustutatud lubi

Lubjale lisati destilleeritud vett. Segati kokku kolme erineva lubja kontsentratsiooni juures hindamiseks proovid, iga kontsentratsiooniga üks proov ca 3kg proov. Peale segamist lasti proovidel õhu käes kuivada ja seejärel hinnati tulemust visuaalselt. Kolmest proovi põhjal valiti välja sobilik kontsentratsiooni vahemik. Valitud vahemik sai edaspidise segamise aluseks.

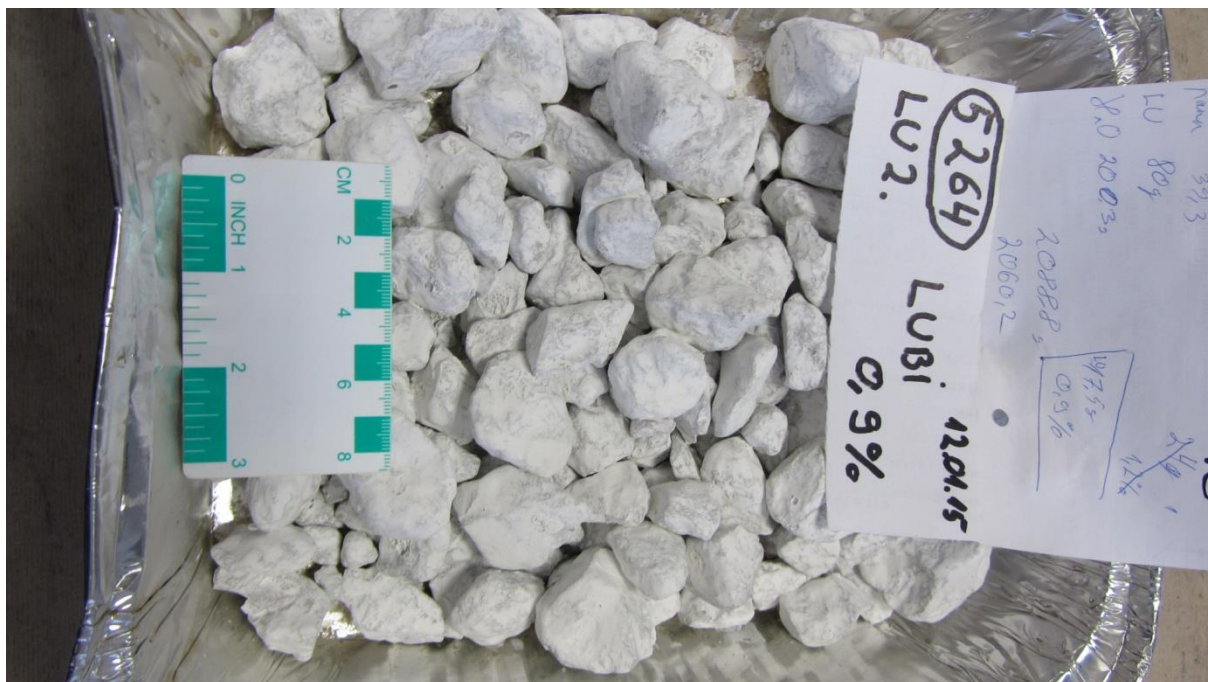
Variant nr 1 referentskillustikuga. Kivid olid hästi kaetud, ühtlane kiht.



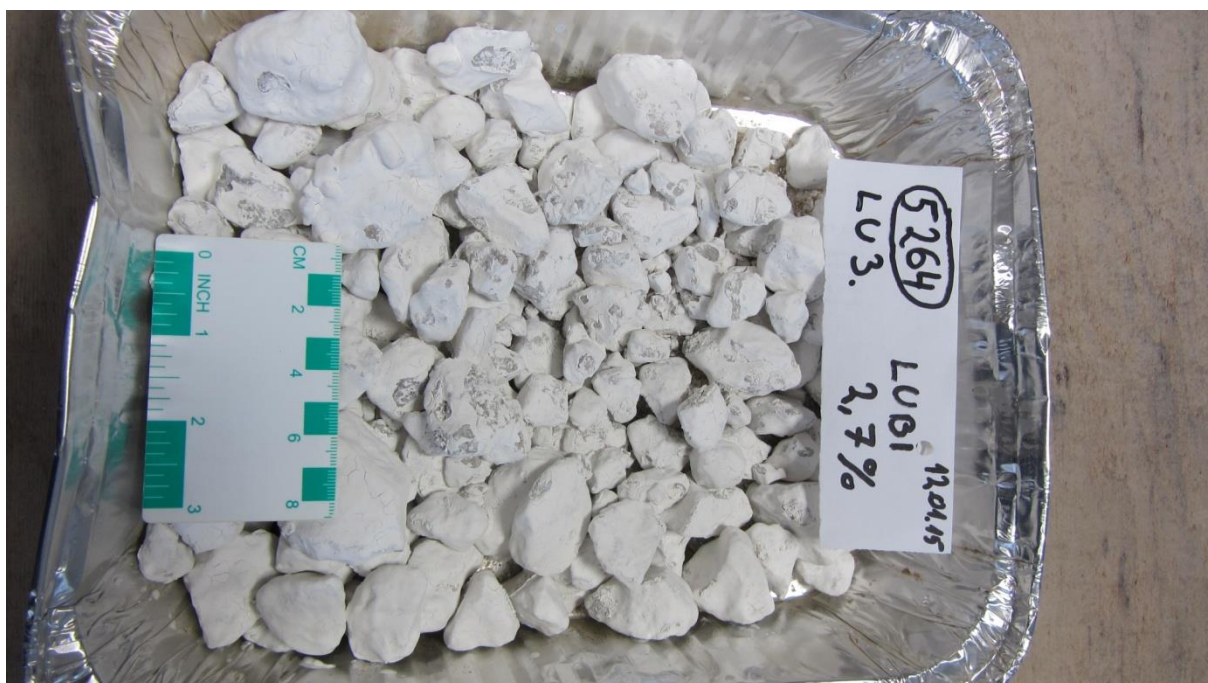
Variant nr 2 referentskillustikuga. Kivid lubjaga kaetud, kohati paksult lubjaga kaetud alad.



Variant nr 3 referentskillustikuga. Kividel olev kiht väga paks, aga ühtlane.



Variant nr 3 aherainekillustikuga. Lubja kiht väga paks ja kergesti mahakooruv.



Hinnates kolme proovi mõlema killustiku puhul valiti sobilikuks 0,7 kuni 1,0% lubja kogus kummagi kivi puhul.

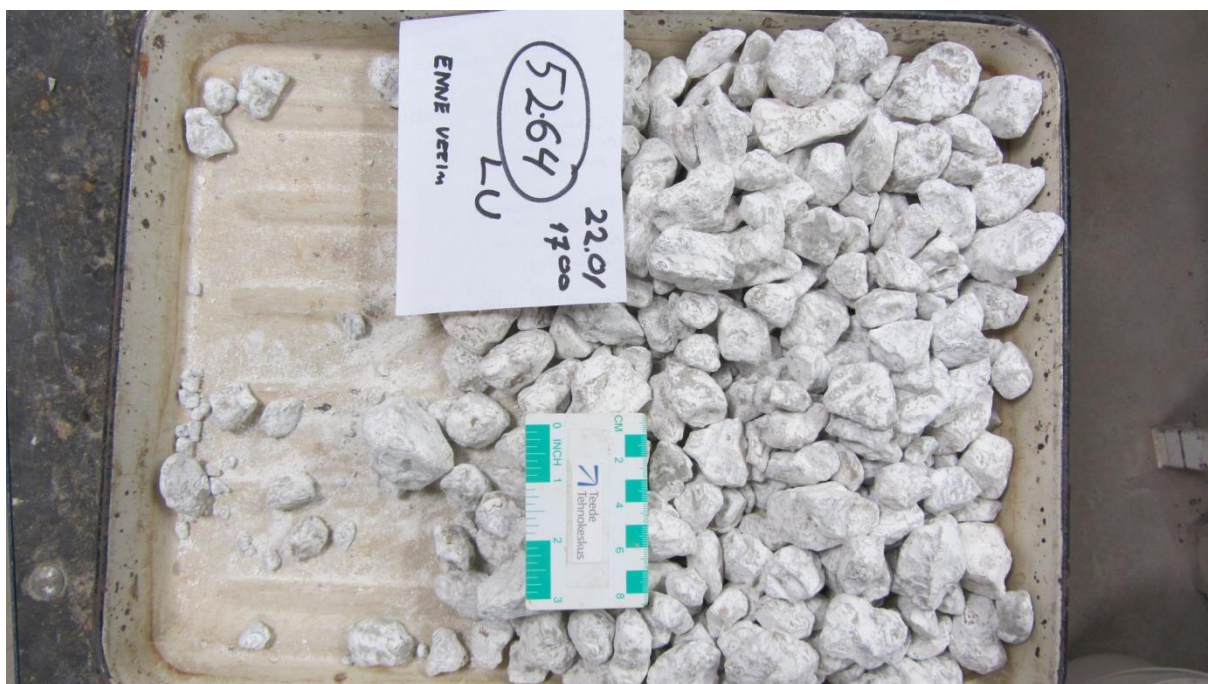
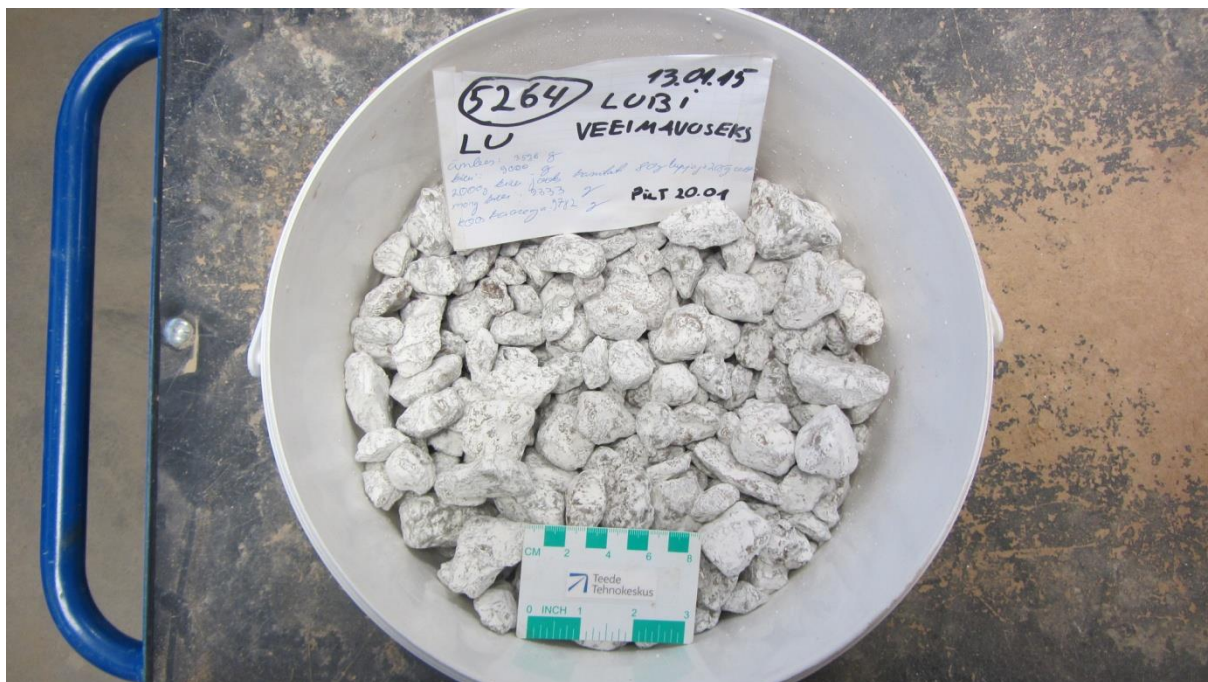
Veeimavus ja güratortihendamine

Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitristes ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (9 kg) valati peale lubja ja vee segu, mille kontsentratsioon oli määratud (mõlema killustiku puhul kasutati ühe kilogrammi kivi kohta 40 grammi lupja, vett kasutati referentskillustiku puhul ühe kilogrammi kivi kohta 103 g ja aherainekillustiku

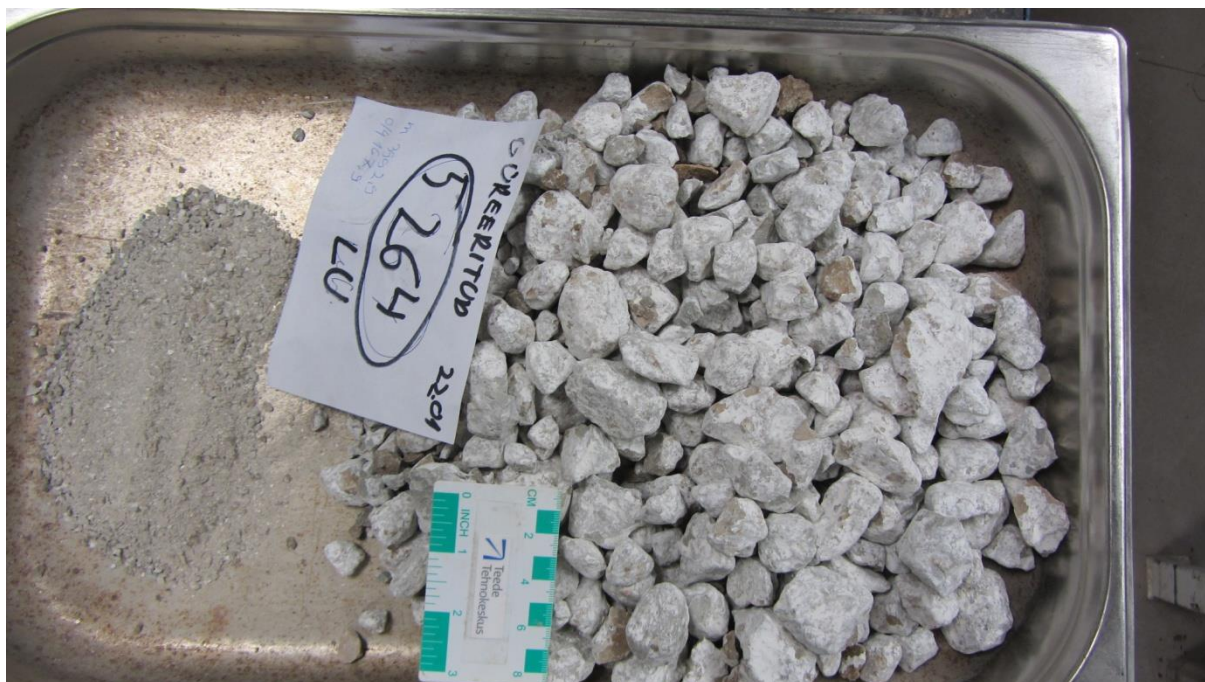
puhul 100g). Lubja ja vee segu valmistati vahetult enne kasutamist. Killustiku segati käsitsi ämbris ringjate liigutustega ja ka ämbrist ämbrisse kallates. Immutamine toimus nõ üleküllastumisega. Segamine kestis keskmiselt 1,5 minutit. Peale segamist lasti üleliigsel segul killustiku pealt ära valguda 1 minuti jooksul. Seejärel tõsteti lubjaseguga kaetud killustik tühja ämbrisse, kaaluti, tähistati ja kaanetati. Valmis segatud killustikuga täidetud ämbrid asetati 8ks ööpäevaks kliimaruumi.



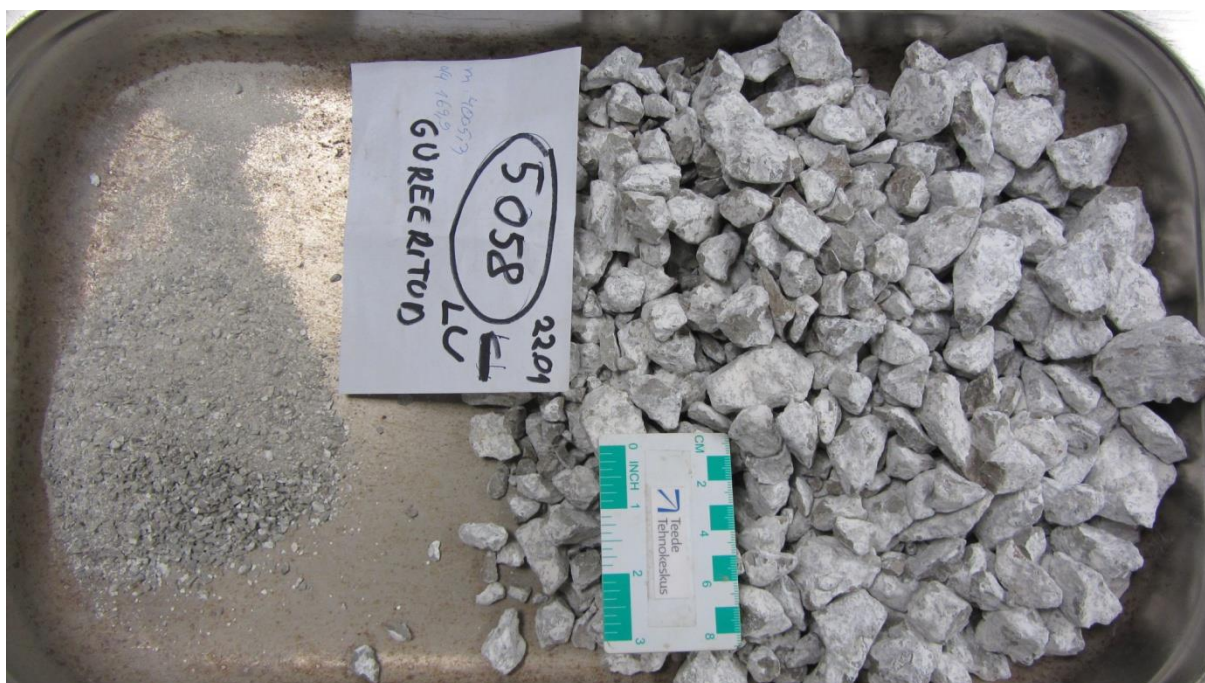
Segamine oli lihtne ja kivi kattus kiiresti. Kasutatud lubja ja vee segu oli suhteliselt vedel, seega oli kivi pinnalt näha, et rohkem segu vajus kivi lohkudesse. Peale kliimaruumist võtmist kuivatati proovi lahtiselt laboris 4 tundi ja seejärel 24 tundi 50°C juures. Kergelt niiske aherainekillustik kohe peale kliimaruumist võtmist:



Enne veeimavuse katset pesti väga kergelt 4 kg lubjaga kaetud killustiku, et eemaldada lahtine lubi ja asetati veeimavuse määramiseks 24ks tunniks vette. Peale ööpäeva vees seismist pesti jälle kergelt veega ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil. Enne güraatortihendamist materjali ei pestud. Peale güraatortihendamise (4 kg) sõeluti materjal läbi 4mm sõela ja kaaluti läbimine. Güraatortihendamise järgne aheraine:



Güraatortihendamise järgne referentskivi:



4mm sõelale jäänud materjal pesti kergelt peale 24 tunnist vees seismist ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil.

Külmutuskatse

Kasutati pestud materjali fraktsiooniga 16/31,5. Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitristes ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (8-12 kg) valati peale lubja ja vee segu, mille kontsentratsioon oli määratud (mõlema killustiku puhul kasutati ühe kilogrammi kivi kohta 40 grammi lubja, vett kasutati referentskillustiku puhul ühe

kilogrammi kivi kohta 103 g ja aherainekillustiku puhul 100g). Lubja ja vee segu valmistati vahetult enne kasutamist. Killustiku segati käsitsi ämbris ringjate liigutustega ja ka ämbrist ämbrisse kallates. Immutamine toimus nõ üleküllastumisega. Segamine kestis keskmiselt 1,5 minutit. Peale segamist lasti üleliigsel segul killustiku pealt ära valguda 1 minuti jooksul. Seejärel tõsteti lubjaseguga kaetud killustik tühja ämbrisse, kaaluti, tähistati ja kaanetati. Valmis segatud killustikuga täidetud ämbrid asetati 10ks ööpäevaks kliimaruumi. Lubjaga segatud aherainekillustik enne ämbri kaanetamist kliimaruumi asetamist:



Peale kliimaruumist välja võtmist ei olnud ämbrisene niiskus vähenenud. Killustik valati välja, kaaluti ja pandi kuivama õhu kätte 8ks tunniks ja seejärel 50 °C juurde kolmeks ööpäevaks. Peale kolme ööpäeva oli kogu vaba vesi killustikust väljunud. Nüüd sai määrata tegeliku lubja ja kivi vahekorra.

Veeimavuseks, güraatotortihendamises ja ka külmutuskatseteks kasutati 0,9% lubja kogust. Erinevate koguste killustiku lubjasisaldus kõikus väga vähe (kuni 0,1 protsendipunkti keskmisest, ehk 0,8-1,0%). Külmutuskatse toimus destilleeritud vees ja ka soolvees. Peale külmutuskatset kuivatati materjal konstantse kaaluni ja sõeluti läbi 8mm sõela. Referentskillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelatud):



Lubi oli pea aegu täielikult kivi küljest ära tulnud ja settinud külmutusnõu põhja:



Aherainekillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelutud):



Lubi oli pea aegu täielikult kivi küljest ära tulnud ja settinud külmutusnõu põhja:



Referentskillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud).



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud):



Lubi oli pea aegu täielikult kivi küljest ära tulnud ja settinud külmutusnõu põhja.

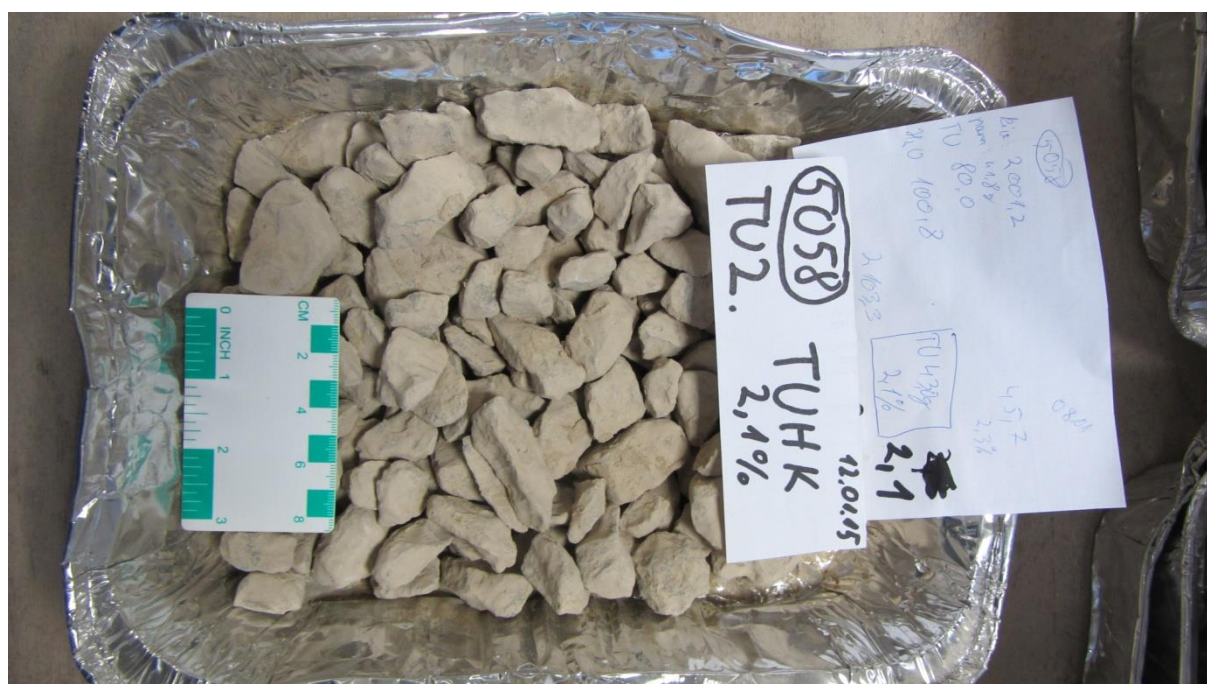
Põlevkivituhk

Tuhale lisati destilleeritud vett. Segati kokku kolme erineva tuhakontsentratsiooni juures hindamiseks proovid, iga kontsentratsiooniga üks proov ca 3kg proov. Peale segamist lasti proovidel õhu käes kuivada ja seejärel hinnati tulemust visuaalselt. Kolmest proovi põhjal valiti välja sobilik kontsentratsiooni vahemik. Valitud vahemik sai edaspidise segamise aluseks.

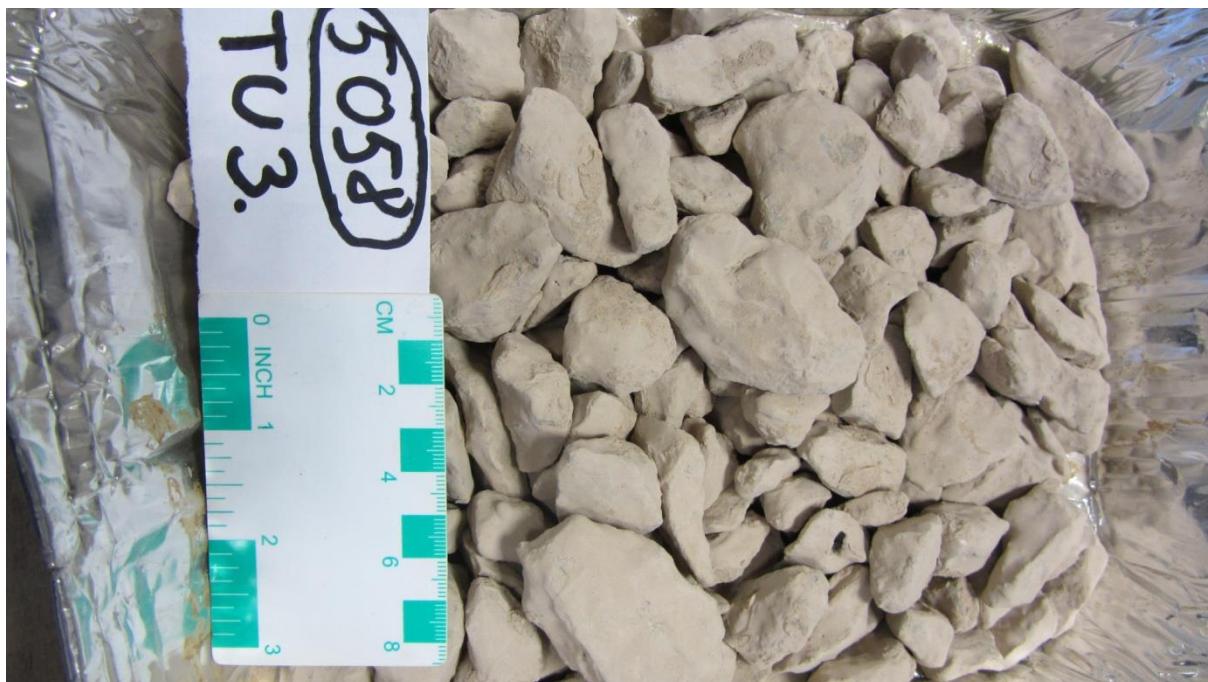
Variant nr 1 referentskillustikuga. Kivid olid kaetud, katvus hea. (1,4%)



Variant nr 2 referentskillustikuga. Kiht suhteliselt paks.



Variant nr 3 referentskillustikuga. Kividel olev kiht väga paks. (3,2%)



Variant nr 1 aherainekillustikuga. Kivid olid kaetud.



Variant nr 2 aherainekillustikuga. Kiht tundus paks.



Variant nr 3 aherainekillustikuga. Tuha kiht väga paks.



Hinnates kolme proovi mõlema killustiku puhul valiti sobilikuks 1 kuni 1,5% tuha kogus kummagi kivi puhul.

Veeimavus ja güratortihendamine

Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitristes ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (9 kg) valati peale tuha ja vee segu, mille kontsentratsioon oli määratud (referentskillustiku segamisel kasutati iga kilogrammi kivi kohta 40 grammi tuhka ja 58 grammi vett ning aheraine puhul vastavalt 40 grammi tuhka ja 63 grammi vett). Tuha ja

vee segu valmistati vahetult enne kasutamist. Killustiku segati käsitsi ämbris ringjate liigutustega ja ka ämbrist ämbrisse kallates. Immutamine toimus nõ üleküllastumisega. Segamine kestis keskmiselt 1,5 minutit. Peale segamist lasti üleliigsel segul killustiku pealt ära valguda 1 minuti jooksul. Seejärel tõsteti tuhaseguga kaetud killustik tühja ämbrisse, kaaluti, tähistati ja kaanetati. Valmis segatud killustikuga täidetud ämbrid asetati 28ks ööpäevaks kliimaruumi.



Segamine oli lihtne ja kivi kattus kiiresti. Kasutatud tuha ja vee segu oli suhteliselt vedel, seega oli kivi pinnalt näha, et rohkem segu vajus kivi lohkudesse. Peale kliimaruumist võtmist kuivatati proovi lahtiselt laboris 4 tundi ja seejärel 72 tundi 40°C juures.

Niske referentskivi kohe peale kliimaruumist võtmist:



Enne veeimavuse katset pesti väga kergelt 4 kg tuhaga kaetud killustiku, et eemaldada lahtine tuhk ja asetati veeimavuse määramiseks 24ks tunniks vette. Peale ööpäeva vees seismist pesti jälle kergelt veega ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil. Enne güraatortihendamist materjali ei pestud. Peale güraatortihendamise (4 kg) sõeluti materjal läbi 4mm sõela ja kaaluti läbimineki. Gýraatortihendamise järgne referentskivi:



Gýraatortihendamis järgne aherainekivi:



4mm sõelale jäänud materjal pesti kergelt peale 24 tunnist vees seismist ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil.

Külmutuskatse Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitrites ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (4-6 kg) valati peale tuha ja vee segu, mille kontsentratsioon oli määratud (referentskillustiku segamisel kasutati iga kilogrammi kivi kohta 40 grammi tuhka ja 58 grammi vett ning aheraine puhul vastavalt 40 grammi tuhka ja 63 grammi vett). Tuhka ja vee segu valmistati vahetult enne kasutamist. Killustiku segati käsitsi ämbris ringjate liigutustega ja ka ämbrit ämbriksse kallates. Immutamine toimus nõ üleküllastumisega. Segamine kestis keskmiselt 1,5 minutit. Peale segamist lasti üleliigselt segul killustiku pealt ära valguda 1 minuti jooksul. Seejärel tõsteti tuhaseguga kaetud killustik tühja ämbriksse, kaaluti, tähistati ja kaanetati. Valmis segatud killustikuga täidetud ämbriks asetati 28ks ööpäevaks kliimaruumi.

Tuhaga kaetud referentskillustik enne ämbri kaanetamist ja kliimaruumi asetamist:



Peale kliimaruumist välja võtmist ei olnud ämbrisene niiskus vähenenud. Killustik valati välja, kaaluti ja pandi kuivama õhu kätte 8ks tunniks ja seejärel 40°C juurde kolmeks ööpäevaks. Peale kolme ööpäeva oli kogu vaba vesi killustikust väljunud. Nüüd sai määrata tegeliku tuha ja kivi vahekorra. Veeimavuseks, güraatortihendamiseks ja ka külmutuskatseteks kasutati aheraine puhul 1,3% ja referents killustiku puhul 1,5% tuha kogust. Erinevate koguste killustiku tuhasisaldus kõikus väga vähe (kuni 0,1 protsendipunkti keskmisest).

Külmutuskatse toimus destilleeritud vees ja ka soolvees. Peale külmutuskatset kuivatati materjal konstantse kaaluni ja sõeluti läbi 8mm sõela.

Referentskillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelatud). Tuhk oli referentskivi küljest peaaegu täielikult ära tulnud.



Aherainekillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelutud). Tuhk oli aheraine küljest peaaegu täielikult ära tulnud.



Referentskillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud). Tuhk oli referentskivi küljest peaaegu täielikult ära tulnud.



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud):



Tuhk oli aheraine küljest peaaegu täielikult ära tulnud.

Epoksüvaik

Kasutati kahekomponentset epoksüvaiku. Kokkusegamisel järgiti toote segamisvahekorda (2 osa A komponenti ja 1 osa B komponenti). Korruga segati ligikaudu 150 grammi epoksüvaiku.

Segati kokku kolme erineva epoksüvaigu kontsentratsiooni juures hindamiseks proovid, iga kontsentratsiooniga üks proov ca 3kg proov. Peale segamist lasti proovidel õhu käes kuivada ja seejärel hinnati tulemust visuaalselt. Kolmest proovi põhjal valiti välja sobilik kontsentratsiooni vahemik. Valitud vahemik sai edaspidise segamise aluseks.

Variant nr 1 referentskillustikuga:



Variant nr 2 referentskillustikuga:



Variant nr 3 referentskillustikuga:



Variant nr 1 aherainekillustikuga:



Variant nr 2 aherainekillustikuga:



Variant nr 3 aherainekillustikuga:



Hinnates kolme proovi mõlema killustiku puhul ei eristunud ükski kõrgematest kontsentratsioonidest. Kõige madalamate kontsentratsioonide juures jäid üksikud katmata lohud, seepärast välistati kõige madalam kontsentratsioon.

Veeimavus ja guraatortihendamine

Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitristes ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (6 kg) valati peale epoksüvaik, mis segati kokku vahetult enne. Killustiku segati käsitsi ämbri ringjate liigutustega. Üleküllastumist ei toimunud, vaid kivile valati peale

kindla kontsentratsiooni saamiseks vajalik kogus vaiku (pluss u 10grammi ämbri seintele mineva kao jaoks). Segamine kestis keskmiselt 7 minutit. Kaetud killustik valati pannidele 3kg kaupa ja asetati 3ks ööpäevaks ventileeritud kappi 30 kraadi juurde. Referentskillustiku segamine:



Segamine oli raske ja vaik hakkas kleepuma. Ühtlane kaetus saavutati pikaajalise segamisega. Plaatjaid kive oli raskem üleni katta. 1,4% juures oli katvus 100%. Peale kuivamist olid kõik kivid ümbritsevate kivide külge liimitud ja nende eraldamine oli väga raske ning nõudis jõu kasutamist. Lahti murdmisel murdusid paljud kivid nii nurkadest kui ka suuremal määral. Referentskivi peale lahtimurdmist:



Osa materjalist asetati vette. Peale ööpäeva vees seismist pesti jälle kergelt veega ja viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil. Peale güraatortihendamist (4 kg) sõeluti materjal läbi 4mm sõela ja kaaluti läbimineks. Güraatortihendamise järgne aheraine:



Güraatortihendamise järgne referentskivi:



4mm sõelale jäänud materjalile viidi läbi peale 24 tundi vees seismist terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil.

Külmutuskatse

Kasutati pestud materjali fraktsiooniga 16/31,5. Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitristes ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (6 kg) valati peale epoksüvaik, mis segati kokku vahetult enne. Killustiku segati käsitsi ämbri ringjate liigutustega. Üleküllastumist ei toimunud, vaid kivile valati peale kindla kontsentratsiooni saamiseks vajalik kogus vaiku (pluss u 10grammi ämbri seintele mineva kao jaoks). Segamine kestis keskmiselt 7 minutit. Kaetud killustik valati pannidele 3kg kaupa ja asetati 3ks ööpäevaks ventileeritud kappi 30 kraadi juurde. Külmutuskatseks segatud aherainekivi epoksüvaiguga:



Veeimavuseks, guraatortihendamiseks ja ka külmutuskatseteks kasutati 1,4% epoksüvaigu kogust. Erinevate koguste killustiku epoksüvaigu sisaldus kõikus väga vähe (alla 0,1 protsendipunkti). Külmutuskatse toimus destilleeritud vees ja ka soolvees. Peale külmutuskatset kuivatati materjal konstantse kaaluni ja sõeluti läbi 8mm sõela. Referentskillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelatud):



Aherainekillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelutud):



Referentskillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud):



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud):



Vesiklaas

Vesiklaasile lisati vajadusel destilleeritud vett. Segati kokku nelja erineva vesiklaasi kontsentratsiooni juures hindamiseks proovid, iga kontsentratsiooniga üks proov ca 3kg proov. Peale segamist lasti proovidel õhu käes kuivada ja seejärel hinnati tulemust visuaalselt. Neljas proovi põhjal valiti välja sobilik kontsentratsiooni vahemik. Valitud vahemik sai edaspidise segamise aluseks.

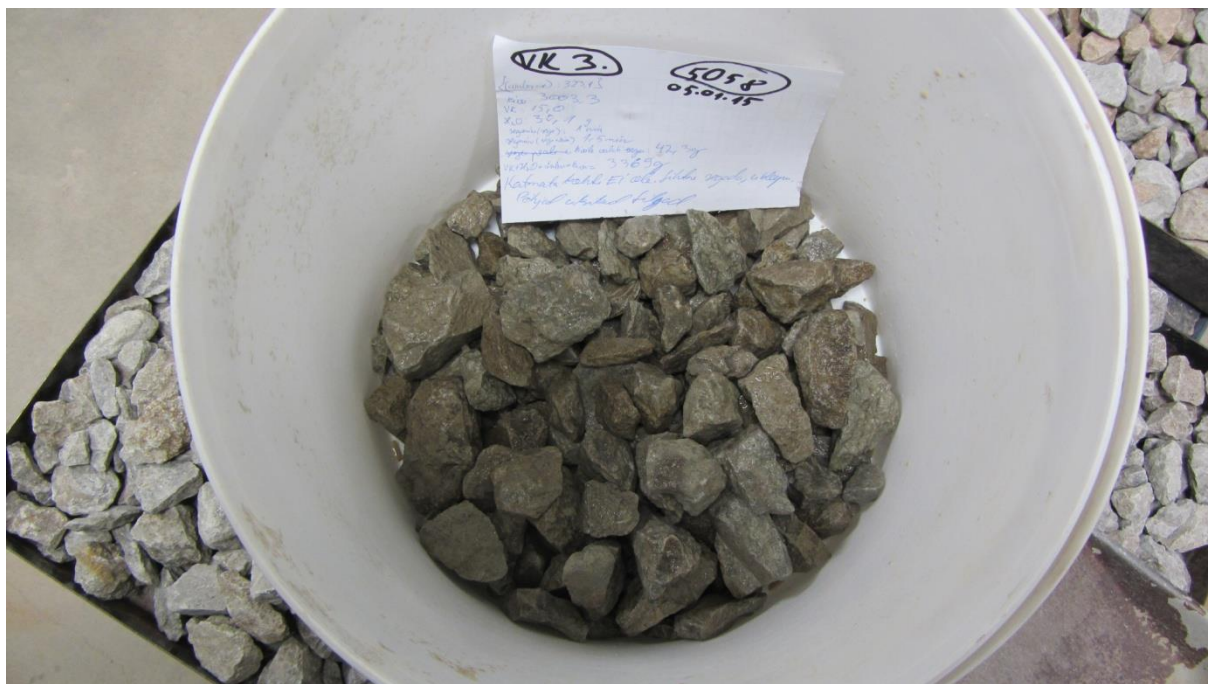
Variant nr 1 referentskillustikuga. Vesiklaasile ei segatud juurde vett.



Variant nr 2 referentskillustikuga.



Variant nr 3 referentskillustikuga.



Variant nr 4 referentskillustikuga.



Variant nr 1 aherainekillustikuga, vesiklaasile ei segatud juurde vett.



Variant nr 2 aherainekillustikuga.



Variant nr 3 aherainekillustikuga.



Variant nr 4 aherainekillustikuga.



Hinnates nelja proovi mõlema killustiku puhul valiti sobilikuks 1% vesiklaasi kogus (ligikaudu) kummagi kivi puhul.

Veeimavus ja güratortihendamine

Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitristes ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (9 kg) valati peale vesiklaasi ja vee segu, mille kontsentratsioon oli määratud. Vesiklaasi ja vee segu valmistati vahetult enne kasutamist. Killustiku segati käsitsi ämbris ringjate liigutustega ja ka ämbrist ämbrisse kallates. Immutamine toimus nõ

üleküllastumisega. Segamine kestis keskmiselt 1,5 minutit. Peale segamist lasti üleliigsel vedelikul killustiku pealt ära valguda 1 minuti jooksul. Seejärel jäi kivi laborisse lahtiselt kuivama 7ks ööpäevaks. Et selle ajaga ei aurustunud piisavalt vett ära, asetati kivi 2ks ööpäevaks 50 kraadi juurde ventileeritud kappi. Varasemalt oli probleeme kuivamata vesiklaasiga, sest see lahustus vee keskkonnas kivi pealt maha. Segamine oli lihtne ja kivi märgamine toimus kiiresti. Peale kuivamist asetati vesiklaasine killustik veeimavuse määramiseks 24ks tunniks vette. Peale ööpäeva vees seismist viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil. Vesi tundus näppude all „libe“, tundus, et vesiklaas lahustus vaatamata kuivatamisele 50 kraadi juures. Peale güraatortihendamist (4 kg) sõeluti materjal läbi 4mm sõela ja kaaluti läbimine. Güraatortihendamise järgne referentskivi:



Güraatortihendamise järgne aherainekivi:



4mm sõelale jäänud materjalile viidi läbi terade tiheduse ja veeimavuse määramine traatkorvimeetodil.

Külmutuskatse

Kasutati pestud materjali fraktsiooniga 16/31,5. Valitud kontsentratsiooniga segamine toimus 10 liitrites ämbrites. Kaalutud killustiku kogusele (10-12 kg) valati peale vesiklaasi ja vee segu, mille kontsentratsioon oli määratud. Vesiklaasi ja vee segu valmistati vahetult enne kasutamist. Killustiku segati käsitsi ämbri ringjate liigutustega ja ka ämbri ämbri kallates. Immutamine toimus nõ üleküllastumisega. Segamine kestis keskmiselt 1,5 minutit. Peale segamist lasti üleliigsel vedelikul killustiku pealt ära valguda 1 minuti jooksul. Seejärel jäi kivi laborisse lahtiselt kuivama 7ks ööpäevaks. Et selle ajaga ei aurustunud piisavalt vett ära, asetati kivi 2ks ööpäevaks 50 kraadi juurde ventileeritud kappi. Varasemalt oli probleeme kuivamata vesiklaasiga, sest see lahustus vee keskkonnas kivi pealt maha. Veeimavuseks, guraatortihendamiseks ja ka külmutuskatseteks kasutati aherainekillustiku puhul 1,0% vesiklaasi ja referentskillustiku puhul 1,2% vesiklaasi (kivi massist). Külmutuskatse toimus destilleeritud vees ja ka soolvees. Peale külmutuskatset kuivatati materjal konstantse kaaluni ja sõeluti läbi 8mm sõela. Referentskillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelatud):



Aherainekillustik peale külmutuskatset destilleeritud vees (sõelutud):



Referentskillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud):



Aherainekillustik peale külmutuskatset soolvees (sõelutud):



