



- 12:05 – 13:10 **Liiva terasuuruse, ümardatuse ja tiheduse mõju liiva tugevusele ja elastsusmoodulile. Eesti liivpinnaste võrdlev analüüs. Kas liiva (pinnase) insenerlikud omadused (tugevus, kokkusurutavus) on määratud pinnase nimetuse või varem defineeritu poolt. Kuidas pinnaseomadusi määrata (lisaks võimalusele pinnase nimetuse kaudu neid (ebatäpselt) defineerida). Muu maailma praktika.**
Peeter Talviste, IPT Projektijuhtimine
- 13:10 – 13:30 **Näidiskatendid maanteedele ja kohalikele teedele**
Ain Kendra, Ramboll Eesti AS
- 13:30 – 14:00 **KAP ja arvutusnäited uute pinnasenimetustega**
Ain Kendra, Ramboll Eesti AS

ÜHTLASETERALISE LIIVA ($C_u < 3$)
GEOTEHNILISI OMADUSI
MÕJUTAVAD TEGURID

Peeter Talviste

Annette Talpsep

Töö eesmärgid

- Anda teaduslike publikatsioonide põhjal teoreetiline ülevaade teguritest, mis mõjutavad liivpinnaste tugevust ja kokkusurutavust.
- Analüüsida arhiiviandmete alusel Eesti liivade laborikatsetega määratud tugevus- ja deformatsiooniomadusi ja võrrelda nende alusel Eesti liivade omadusi publitseeritud liivade omadustega.
- Anda soovitused ühtlaseteralise liiva kasutamise kohta teedehituses

PINNASE TUGEVUST (SISEHÕÕRDE- NURKA) MÕJUTAVAD TEGURID

- Mineraloogiline koostis ja orgaanikasisaldus
- Pinnaseosakeste kuju
- Lõimiseline sorteeritus
- Suhteline tihedus

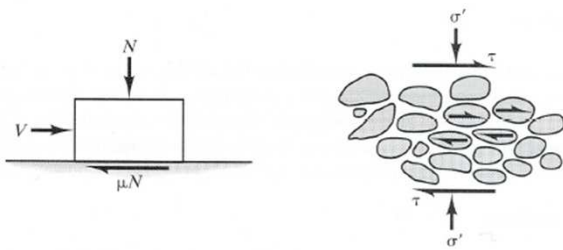


Figure 13.3 Comparison between friction on a sliding block and frictional strength in soil.

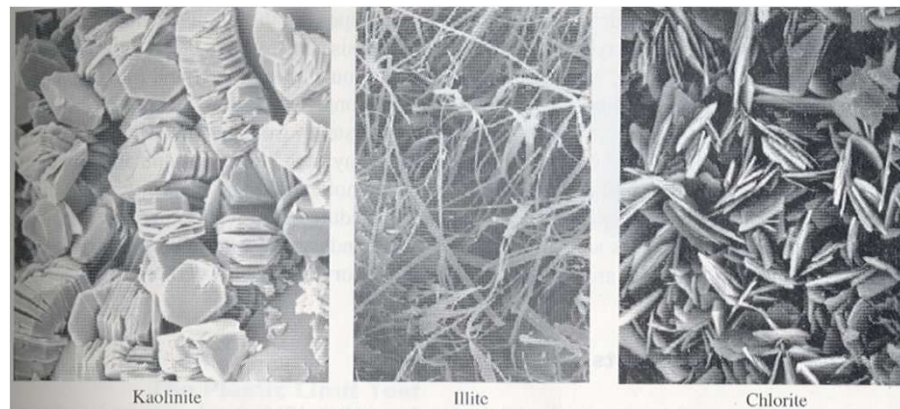


$$s = \sigma \times \tan(\phi) + c$$

Mineraloogiline koostis ja orgaanikasisaldus

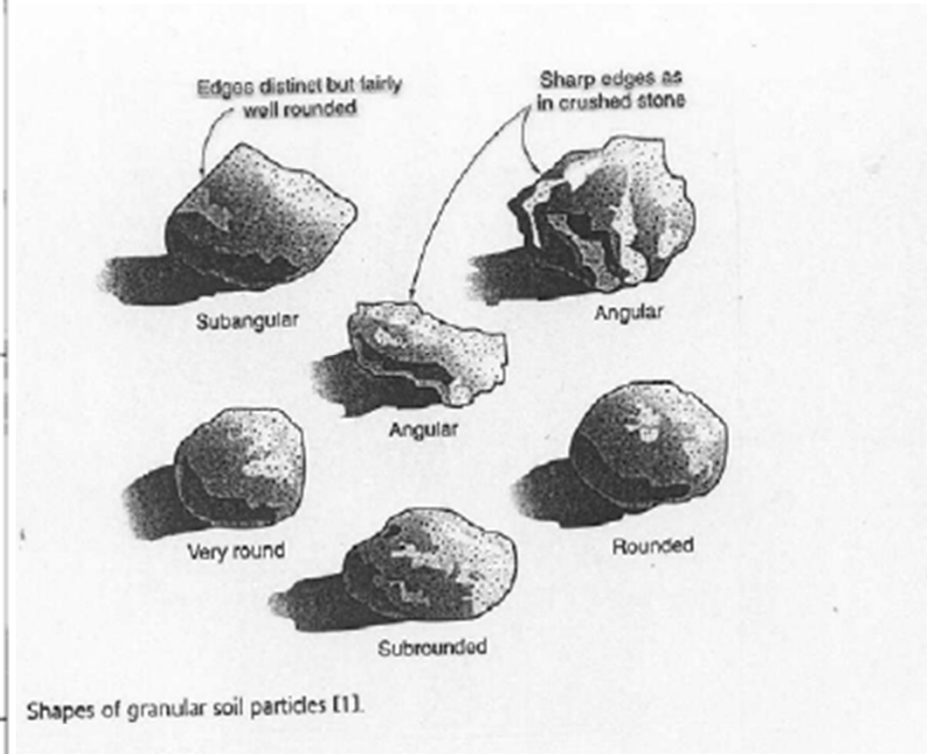
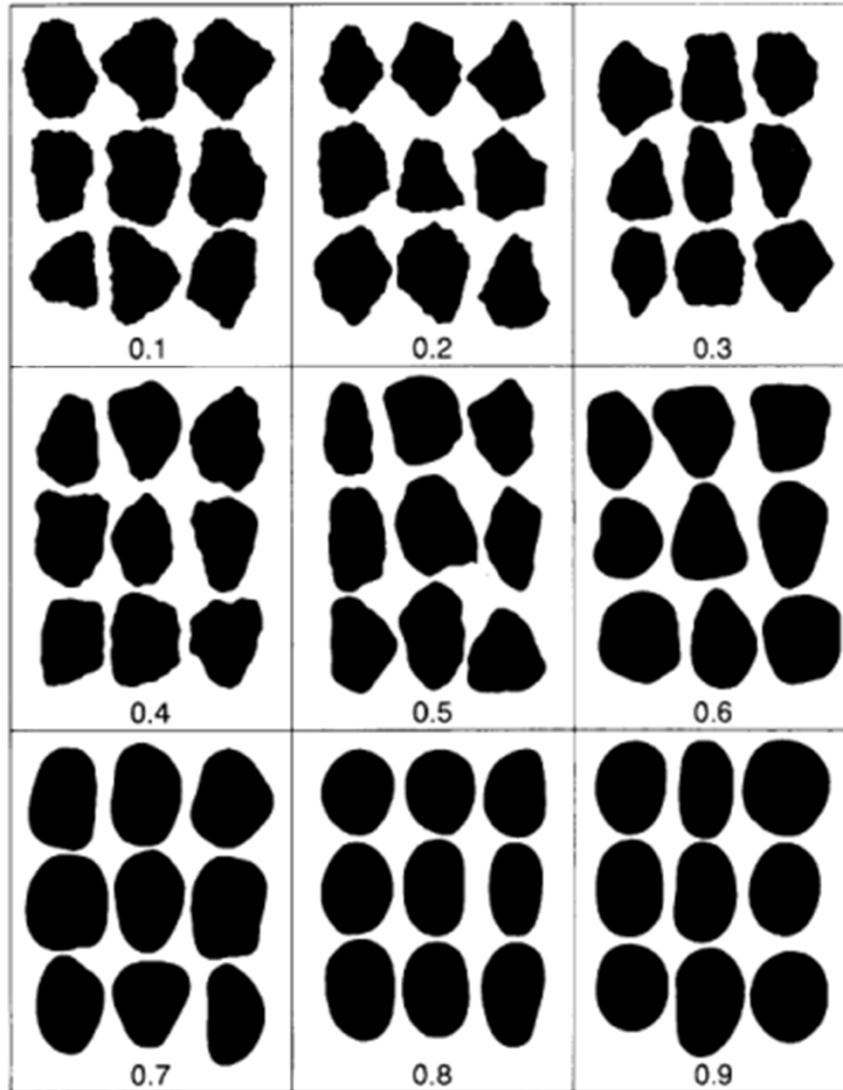
- **Mineraloogiline koostis**

- kvarts 22–35°,
- päevakivi 36–38°,
- küünekivi 31°,
- kaltsiit 31–34°



- **Savimineraalide ja vilkude sisehõrdenurk on tunduvalt madalam ning nende sisaldus liivas vähendab sisehõrdenurga väärtust.**
- **Orgaanilise aine sisaldus vähendab sisehõrdenurga väärtust, tekitades pinnaseosakeste vahele nn libisemisele kaasaaitava määrdekihi.**

Pinnaseosakeste kuju

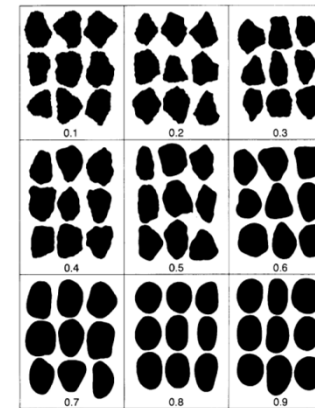


Pinnaseosakeste kuju

- Pinnaseosakeste kuju saab hinnata kolme näitaja – sfäärilisuse (sfääriline vs plaatjas), ümardatuse (ümardunud vs nurgeline) ja osakeste mikroskoopilise pinnastruktuuri (sile vs kare) põhjal.

- $\phi_{cs} = 42 - 17R$

R →



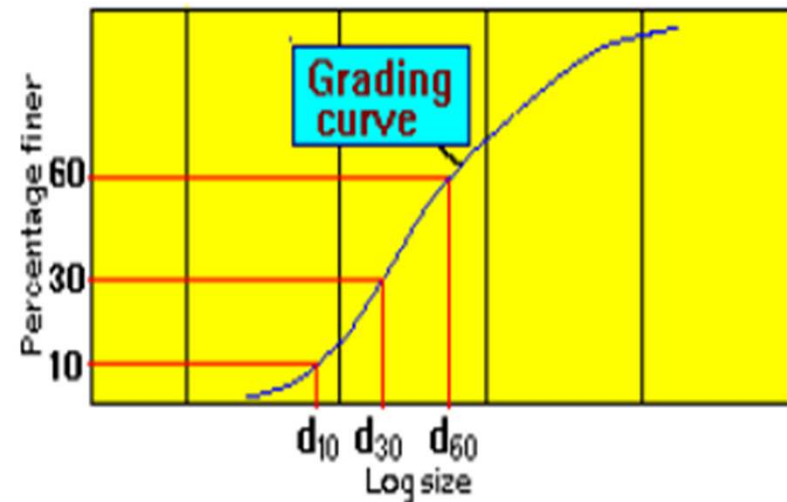
- R - jooniselt

- ϕ_{cs} – suurte siirete korral,

teedehituses on siirded oluliselt väiksemad

Lõimiseline sorteeritus

- Sorteeritus näitab, kui erineva suurusega on pinnast moodustavad osakesed.
- Kõige tavalisemaks näitajaks, mida sorteerituse väljendamiseks kasutatakse, on lõimisetegur (c_u)
- $c_u = D_{60}/D_{10}$



Lõimiseline sorteeritus

- Mida suurem on c_u väärtus, seda ebaühtlasema terasuurusega (eriteralisem) on pinnas.
- Üldiselt on ühtlase terasuurusega pinnased, mille $c_u < 3$.
- Tavaliselt on eriteralisemad liivad mõnevõrra tugevamad võrreldes ühtlaseteralistega, kuna osakesed saavad seal tihedamalt paigutuda. ->
- Sisehõõrdenurga ϕ' väärtus suurem ca 2 ° võrra. Normides isegi suurem.

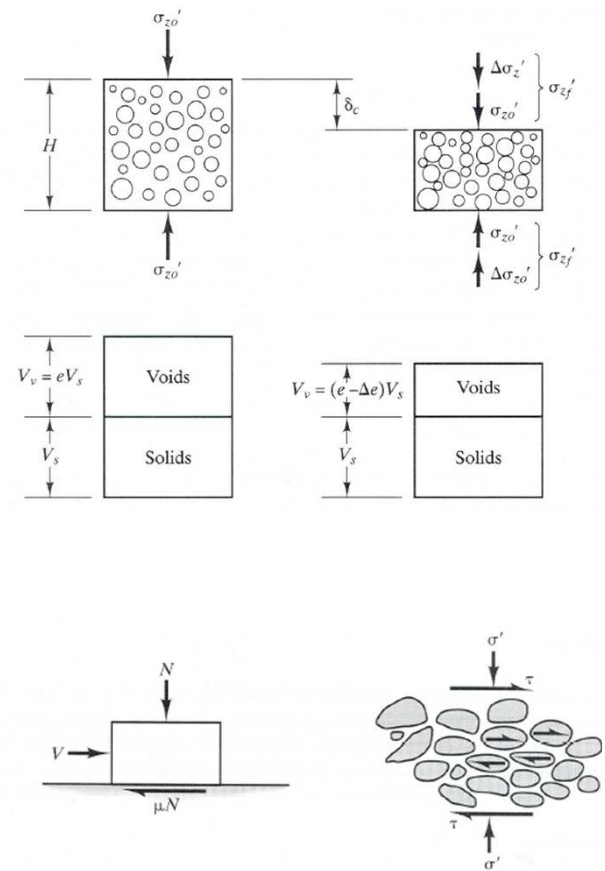
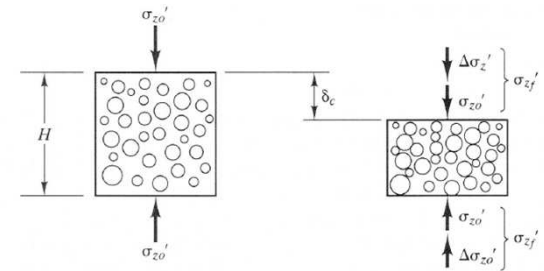


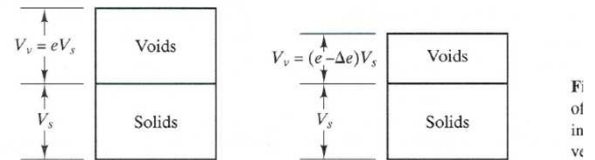
Figure 13.3 Comparison between friction on a sliding block and frictional strength in soil.

Suhteline tihedus

- Mida tihedamalt paiknevad osakesed, seda suurem on liiva tugevus.



- $D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min}) \cdot 100\%$



- Suhteline tihedus (D_r) väljendab konkreetse pinnase olekut tema kõige kohevama ja tihedama oleku suhtes ja on tihti informatiivsem kui tiheduse absoluutne väärtus.

Suhteline tihedus

Pinnas	Suhteline tihedus	Sisehõõrdenurk, °
liivane kruus	kohev	35
	tihe	50
eriteraline liiv, nurgeline	kohev	33
	tihe	45
ühtlaseteraline liiv, ümardunud	kohev	27
	tihe	34
liiv	kohev	29-30
	keskmine	30-36
	tihe	36-41

Tabel 1. Näited liivade sisehõõrdenurga väärtus sõltuvalt suhtelisest tihedusest

Liiva tugevuse (sisehõõrdenurga) väärtus Briti Standardi (BS 8002:1994) kohaselt

- Suured siirded –

$$\phi' = 30 + A + B$$

- Väikesed siirded –

$$\phi'_{\max} = \phi' + C = 30 + A + B + C$$

- Siirded tee-ehituses on alati väikesed

Liiva tugevuse (sisehõõrdenurga) väärtus Briti Standardi (BS 8002:1994) kohaselt

A		B	
Ümardunud	0	Ühtlaseteraline	0
Osaliselt		Keskmiselt	
ümardunud	2	sorteeritud	2
Nurgeline	4	Eriteraline	4

Tabel 2. Tegurite A ja B väärtused BS 8002:1994 [13] järgi.

$$\phi' = 30 + A + B$$

C	
$N_{30}^* < 10$	0
$N_{30} = 20$	2
$N_{30} = 40$	6
$N_{30} = 60$	9

Tabel 3. Teguri C väärtused BS 8002:1994 [13] järgi.

$$\phi'_{\max} = \phi' + C = 30 + A + B + C$$

Geoloogiline genees

- Liivad on erineva geoloogilise päritoluga (tekkelooga) ning seetõttu erinevad ka nende lõimise, sorteerituse, ümardatus ja teised näitajad.
- Mida pikema maa pinnaseosakesed enne settimist läbinud on seda, seda ümardunumad nad on, ja vastupidi, mida lähemale lähtekohast materjal jääb, seda nurgelisem ta on.
- Eoolsed (tuuletekkelised) liivalasundid on sageli küllaltki ühtlase terasuurusega ja ümardunud.
- Aktiivses lainetusvööndis toimub intensiivne kulutamine ja liivaosakesed saavutavad oluliselt suurema ümardatuse võrreldes nõ keskmise merelise liivaga.

Kokkuvõte

- Liiva tugevus (sisehõõrdenurk) on muude tegurite hulgas määratud lõimiselise sorteerituse poolt.
- Kirjanduse andmetel on eriteralise liiva sisehõõrdenurk ca 2° võrra suurem, võrreldes ühtlaseteralise liiva sisehõõrdenurgaga samadel tingimustel.
- BS 8002:1994 [13] annab praktiliseks kasutamiseks isegi suurema mõju – kuni 4° .

Kokkuvõte

- Sorteerituse mõju tugevusele on aga oluliselt väiksem kui terade ümardatusel või liiva tihendatusel (tihedusastmel).
- Kirjanduse andmetel mõjutab liivaterade ümardatus sisehõõrdenurga väärtust kuni 15° võrra.
- Kuna looduses äärmuslikult nurgelised ja ümarad terad üldjuhul puuduvad, siis annab BS 8002:1994 [13] selleks mõjuks taas kuni 4°.

Kokkuvõte

- Liiva tihedus mõjutab sisehõõrdenurka BS 8002:1994 soovitude kohaselt 9° ulatuses.
- Kokku määravad sorteeritus, ümardatus ja tihedus liiva sisehõõrdenurga 17° ulatuses.
- Suurim mõju on tihedusel (9°).

Kokkuvõte

- Liivaterade ümardatus on määratud (karjääri) geoloogilise tekkelooga.
- Liiva settimiseaegsete ja järgsete geoloogiliste tingimuste tundmine võimaldab eeldatavat terade ümardatust hinnata.
- Vähese terade ümardatusega liiva vajadusel tuleb selleks leida sobiv karjäär, liivaterade ümardatust muuta ei saa.

Kokkuvõte

- Liiva lõimiseline sorteeritus on samuti määratud geoloogilise tekkelooga.
- Liiva lõimiselist sorteeritust saab parandada sõelumise ja eriti peenosise väljapesemisega.

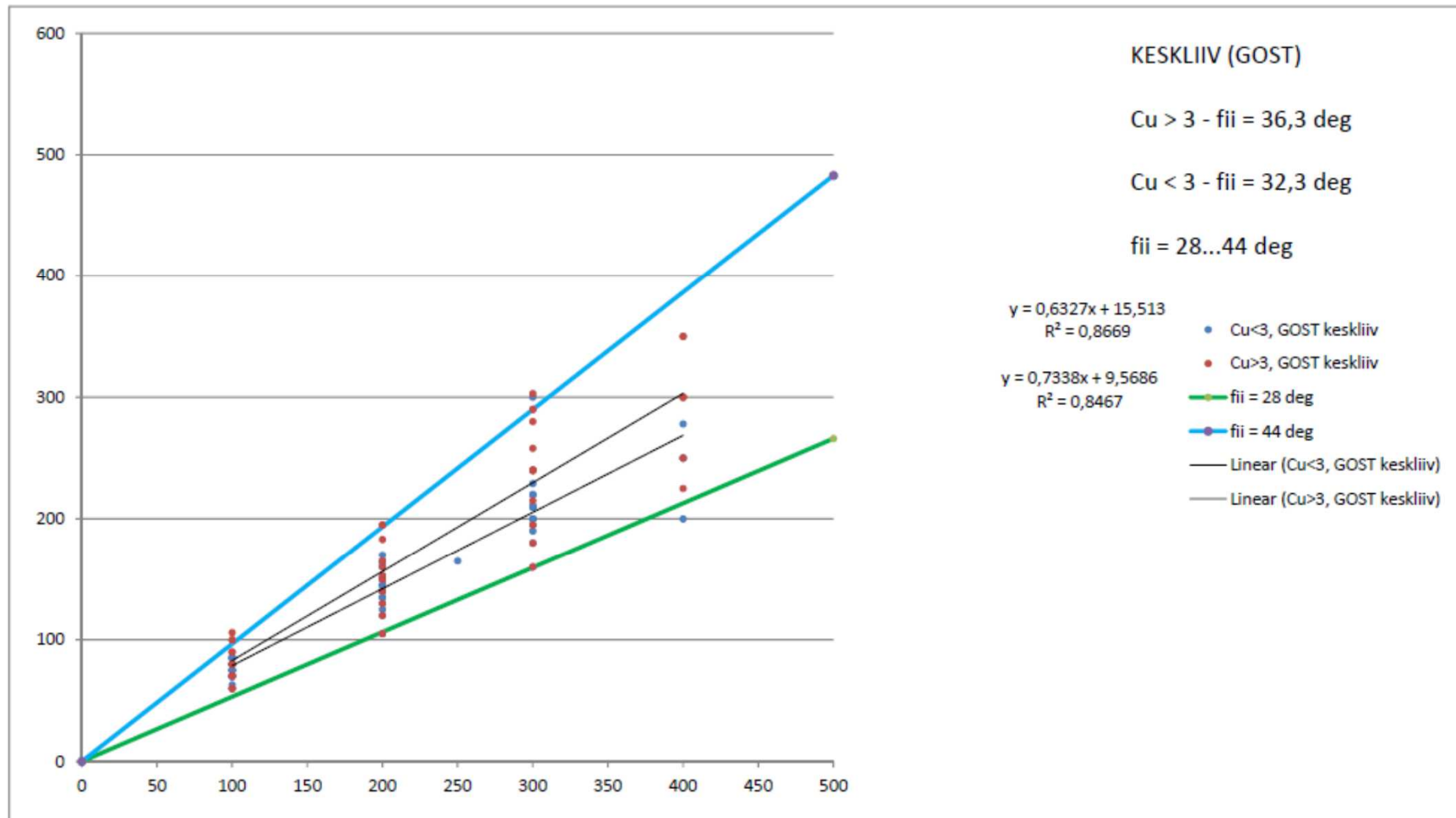
Kokkuvõte

- Liiva tihedust saab parandada tihendamisega.
- Ühtlaseteralise materjali tihendamisel tuleb arvestada aga erinõuetega, eriti kui liivaterad on ümardatud.

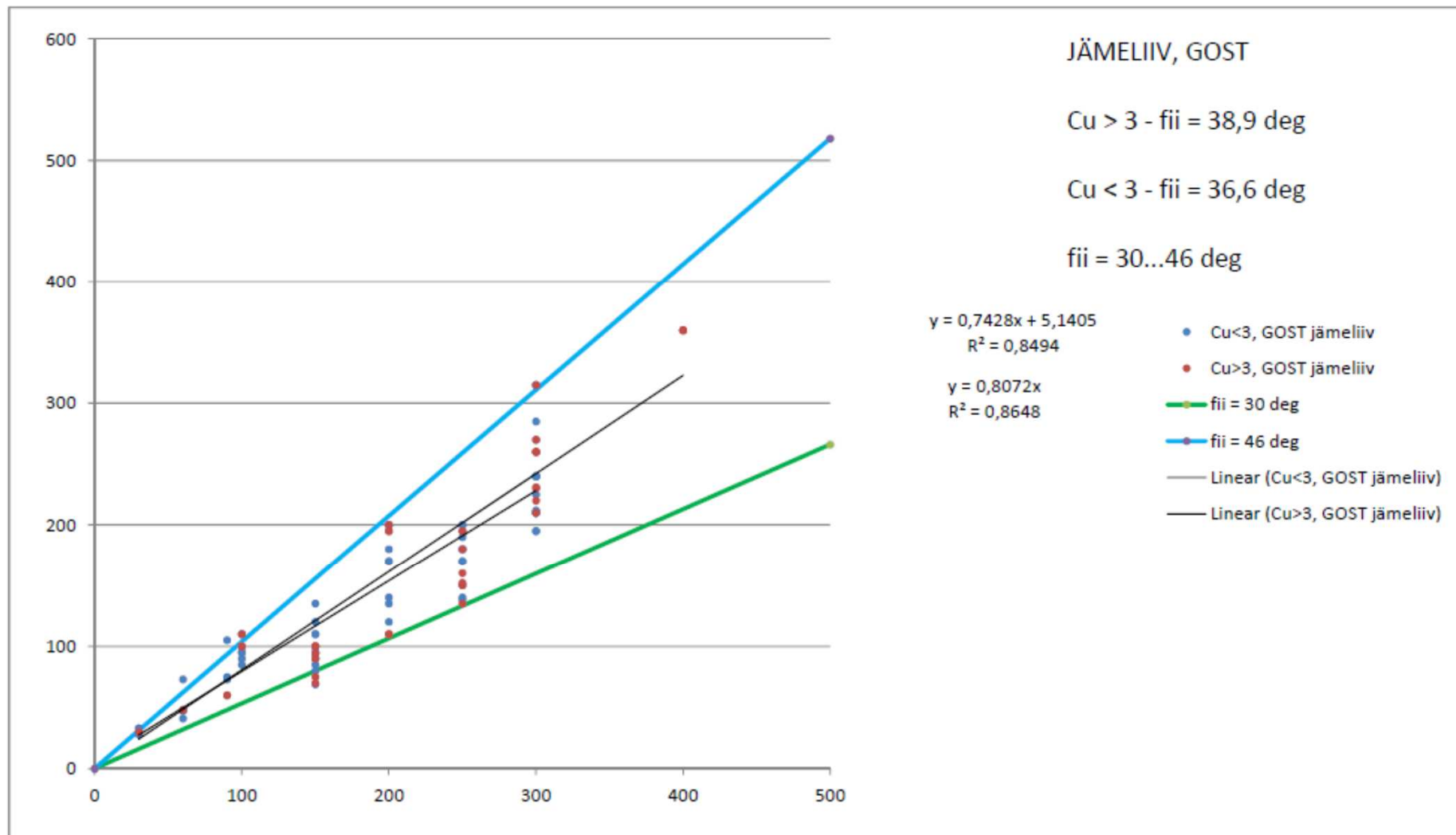
Eesti liivpinnaste nihketugevuse määrangute analüüs

- Analüüs hõlmab 22 jämeliiva ja 40 keskliiva proovi andmeid. Liivad grupeeritud lõimiseteguri (c_u) järgi:
 - jämeliiva proovid:
 - $c_u < 3$: 13 proovi, nihketeime 7
 - $c_u > 3$: 9 proovi, nihketeime 10
 - keskliiva proovid:
 - $c_u < 3$: 22 proovi, nihketeime 19
 - $c_u > 3$: 18 proovi, nihketeime 13.

Eesti liivpinnaste nihketugevuse määrangute analüüs



Eesti liivpinnaste nihketugevuse määrangute analüüs



Eesti liivpinnaste nihketugevuse määrangute analüüs

- Ühtlaseteralise liiva ($C_u < 3$) keskmine sisehõõrdenurk on keskliival 4° võrra ja jämeliival $2,3^\circ$ võrra **väiksem** kui eriteralisel liival ($C_u > 3$).
- See on kooskõlas nii kirjandusest leitud andmetega kui ka BS 8002:1994 [13] soovitustega.

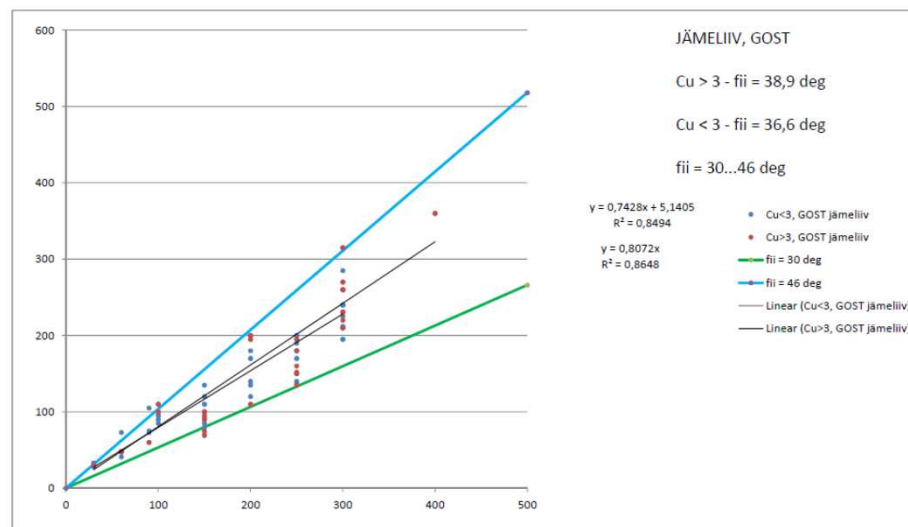
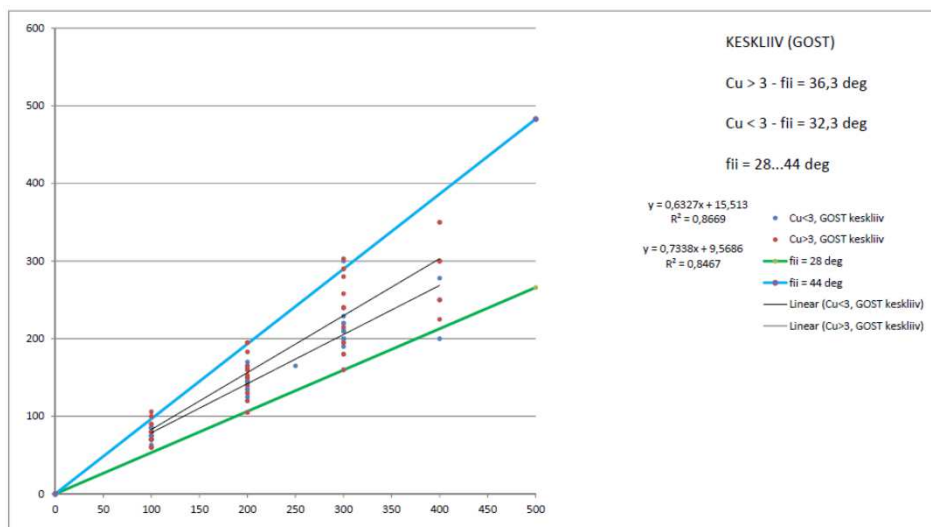
Eesti liivpinnaste nihketugevuse määrangute analüüs

- **Jämeliiva** keskmine sisehõõrdenurk on $2,3^\circ$ võrra eriteralisel liiva puhul ja $4,6^\circ$ võrra ühtlaseteralisel liiva puhul **suurem** kui keskliiva keskmine sisehõõrdenurk.
- Üldiselt on geoloogiliste protsesside tagajärjel moodustunud terad seda nurgelisemad, mida suuremad nad on, põhjustades suurema sisehõõrdenurga.

Eesti liivpinnaste nihketugevuse määrangute analüüs

- Katsepunktide pilv koondgraafikutel on väga suure hajuvusega.
- **Jämeliiva** puhul jäävad määrangud joonte vahele, mis on määratud sisehõõrdenurga väärtustega $\phi' = 30^\circ$ ja $\phi' = 46^\circ$.
- **Keskliiva** puhul jäävad määrangud joonte vahele, mis on määratud sisehõõrdenurga väärtustega $\phi' = 28^\circ$ ja $\phi' = 44^\circ$.
- See on kooskõlas BS 8002:1994 tabelväärtustega, mis määratlevad sisehõõrdenurga väärtused $30\text{--}47^\circ$ sõltuvalt terade ümardatusest, sorteeritusest ja liiva tihedusest.

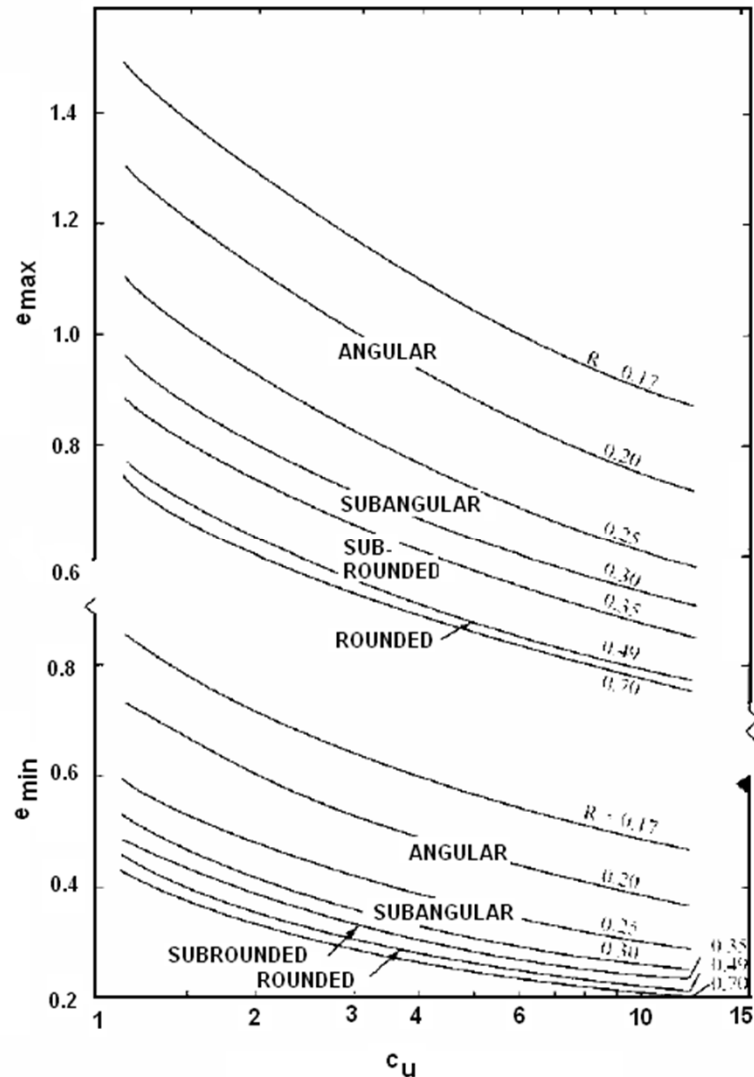
Seega ei erine Eesti liivpinnased nihketugevuse osas publikatsioonides käsitletud liivadest ning nendele saab rakendada näiteks BS 8002:1994 soovitatud lähenemist liiva tugevuse eksperthindamisel.



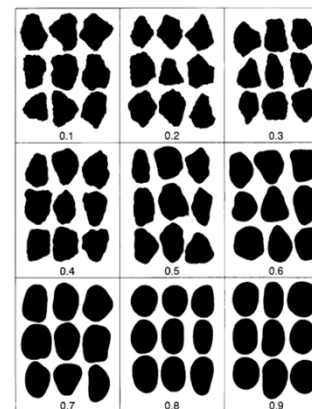
LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE

- Algselt koheva pinnase tihendatavus sõltub üldjoontes samadest teguritest nagu nihketugevuski – pinnase **lõimiselisest sorteeritusest, osakeste kujust, osakeste ümardatusest ning osakeste mineraalselt koostisest.**
- Maksimaalne ja minimaalne poorsustegur (või poorsus) määravad pinnase tihendatavuse. Muldesse paigaldatud tihendamata liiva poorsustegur on lähedane maksimaalse poorsustegurile ja tihendatud liiva poorsustegur on lähedane minimaalsele poorsustegurile.

LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE



- Maksimaalse ja minimaalse poorsusteguri määravad aga osakeste ümardatus ja lõimiseline sorteeritus

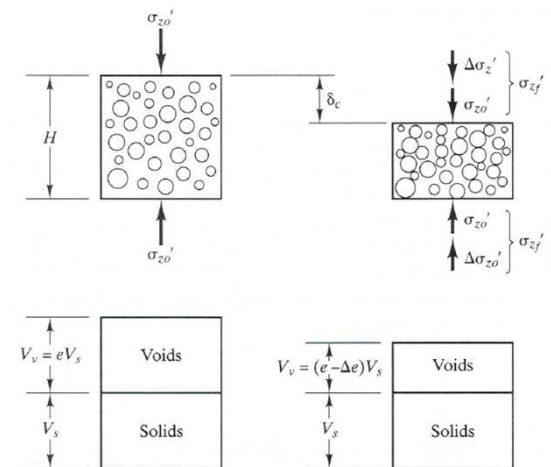


LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE

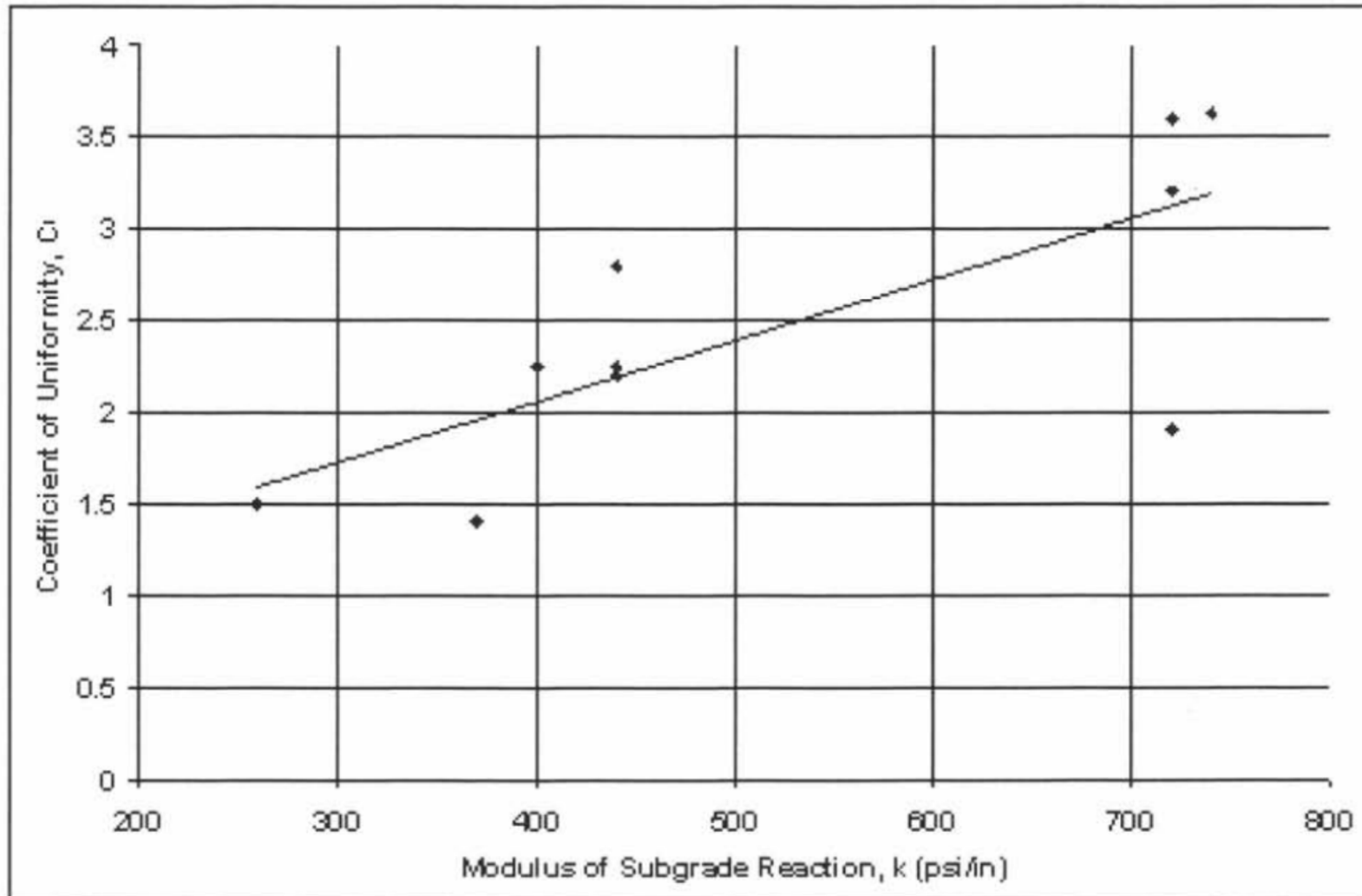
- Mida ümaramad ja sfäärilisemad on osakesed, seda tihedamalt on nad võrreldes nurgeliste ja kandiliste osakestega paigutunud. Põhjuseks on see, et nurgelised ja kandilised osakesed lukustuvad omavahel, mis takistab nende tihedamat paigutumist võrreldes ümarate ja sfääriliste osakestega
- Mida eriteralisem (suurem C_u väärtus) on liiva lõimis, seda väiksem on nii minimaalne kui maksimaalne poorsustegur. Põhjuseks on see, et pisikesed osakesed täidavad suuremate osakeste vahelise pooriruumi, vähendades seeläbi tühja ruumi (poorsustegurit).

LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE

- Mida väiksem on pinnase poorsus, seda väiksem on tema kokkusurutavus ja suurem kokkusurutavuse iseloomustamiseks kasutatav näitaja, olgu selleks elastsusmoodul või deformatsioonimoodul.
- Põhjuseks on asjaolu, et inimese poolt rakendatavate koormuste suhtes loetakse pinnaseosakesed kokkusurumatuteks ja deformatsioonid toimuvad pooriruumi vähenemise arvel.



LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE



LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE

Pinnas	E (MPa)
ühtlaseteraline kruus	20–80
eriteraline kruus liivaga	50–300
ühtlaseteraline liiv	30–200
eriteraline liiv mölliga	100–1000

Tihendatavus vibromeetodil

- Ühtlaseteralise liiva ja kruusa puhul on vibrotihendamine vähese efektiga. Eriteralise liiva vibrotihendatavust hinnatakse reeglina heaks, samas kui $C_u < 2$ korral aga marginaalseks.
- Kuigi teoreetiliselt peaks olema ümardunud osakestega pinnase tihendamine kergem (ei esine lukustumist, lihtsam pinnaseosakesi liigutada), siis tavaliselt on nurgelisemate osakestega pinnased peale tihendamist siiski tihedamad.

Tihendatavus vibromeetodil

- Põhjuseks on osakestevaheliste kontaktide väiksem hulk ühtlaseteralistes liivades, lisaks kontaktpindade siledus ümardatud osakestega pinnastes.
- Kontaktide väike arv tähendab suuremat kontaktpinget kokkupuutepunktis sama lauskoormuse korral, osakeste siledus vähendab aga hõõret osakeste vahel, mis kontaktpinged vastu võtma peab.

Tihendatavus vibromeetodil

- Tihendamisel liigub rull või vibraator reeglina tihendatava kihi pinnal, kus nidususeta liivadekruusade nihketugevus on 0 või väga väike.
- Sellistes tingimustes sõltub tugevus suures osas just osakeste nurgelisuse poolt põhjustatud näivast nidususest, mis siledatel-ümarates osakestel aga puudub.
- Rakendades sellisele tugevuseeta pinnasele tsüklilist koormust (vibratsioon), ei toimu tihenemist, vaid koormus purustab sidemed põhjustades vahetu pinnakihi kobestumist rulli all.

Tihendatavus vibromeetodil

- Ülaltoodu valguses on allpool toodud „Teehoiutööde tehnoloogilised juhised. Muldkeha pinnaste tihendamise ja tiheduse kontrolli juhised“ 2006-41 (kinnitatud Maanteeameti direktori käskkirjaga nr. 264 29.12.2006.a.) [20] punktid 2.2.1.4 ja 2.2.4.4 eksitavad:
 - *2.2.1.4. Pinnase tüüpidest sobivad staatilise rulliga tihendamiseks praktiliselt kõik sõmerpinnased, välja arvatud ühtlase terastikulise koostisega ja tolmsed liivad.*
 - *2.2.4.4. Kõige sobivamad on vibrorullid sõmerate liiv- ja kruuspinnaste tihendamiseks, aga ka raskete savide tihendamiseks. Ühtlase terastikulise koostisega liiva saab efektiivselt tihendada ainult vibrorulliga.*

Tihendatavus vibromeetodil

- Ühtlaseteralise (ja eriti ühtlaseteralise ning ümardatud) liiva tihendamiseks sobib ainult staatiline tihendamine.
- Veelgi parem oleks ühtlaseteralise liiva tihendamine läbi teda katva (killustiku) kihi. Saavutatav efekt oleks võrreldav laste mänguväljaku „pallimerele“ vineerist katte paigutamiselega – tihendamise energia oleks üle kantud suuremale pinnale (suuremale kontaktide arvule) ja seetõttu väiksema kontaktpingega.

Tiheduse kontrolli meetodid

- Dünaamilised tiheduse määramise meetodid ühtlaseteralise liivakihi pinnalt omavad samu puuduseid, mis dünaamilise tihendamise meetodid.
- Ei määrata tegelikku elastsusmoodulit (kandevõimet E), katsetulemused on mõjutatud jäävdeformatsioonide poolt (näiteks liivaterade “voolamine” katseplaadi alt.
- Staatilised meetodid on paremad. Veel parem on kandevõime määramine läbi katva kihi.

Kokkuvõte

- Liiva maksimaalne ja minimaalne tihedus (minimaalne ja maksimaalne poorsus või poorsustegur) sõltub liivaterade ümardatusest ja lõimise sorteeritusest.
- Üldjuhul on eriteralise liiva elastsusmoodul mõnevõrra suurem kui ühtlaseteralisel liival, seda selle tõttu, et osakesed paiknevad eriteralises liivas tihedamalt ja osakestevaheliste kontaktide arv on seetõttu suurem (kontaktpingete suurus on seeläbi muude võrdsete tingimuste juures väiksem).

Kokkuvõte

- Ühtlaseteralise liiva tihendamine kihi pinnalt vibromeetodil ei ole võimalik. Väikese osakeste vaheliste kontaktide arvu tõttu on kontaktpinged suured ja väikese pinnakihi nihketugevuse tõttu paisatakse osakesed tihendava rulli alt eemale, tagajärjeks on ulatusliku pinnakihi kobestumine.
- Ühtlaseteralise liiva tihendamiseks sobib staatiline rullimine. Veel efektiivsem on tihendamine läbi katva (killustiku) kihi.

Kokkuvõte

- Ühtlaseteralise liiva tiheduse kontrollimiseks sobib kas lõikerõnga, radioaktiivse isotoobi, kummiballooni või liivakoonuse meetod.
- Elastsusmooduli määramiseks sobib staatiline koormamine, soovitatavalt läbi katva (killustiku) kihi.
- Vältida tuleb dünaamilisi meetodeid, mis reeglina annavad elastsusmoodulile vähendatud väärtused

SOOVITUSED

- Loobuda SOJUZDORNII meetodil filtratsioonimooduli määramisest.
- Meetod sobib eranditult vaid ühtlaseteralise liiva filtratsioonimooduli määramiseks ja välistab väikese tolmusisaldusega (kuni 3-5%) eriteraliste liivade kasutamise, mis ometi Lääne standardite kohaselt (*) dreenikihti sobiks.
- Alternatiiviks SOJUZDORNII meetodile on lõimise järgi pinnase sobivuse üle otsustamine.

SOOVITUSED

- Alustada eri konstruktsioonikihtidesse vajaliku liiva tootmist karjäärides sõelumise ja pesemise läbi.
- Reeglina on Eesti karjääride liiv eriteraline (üksikute eranditega). Enamus eriteralisi liivu peaks aga geneesi kohaselt olema väiksema ümardatusega kui ühtlaseteralised liivad.
- Pesemine võimaldaks toota ühtlaseteralist liiva, mis ei ole ümardatud teradega.

SOOVITUSED

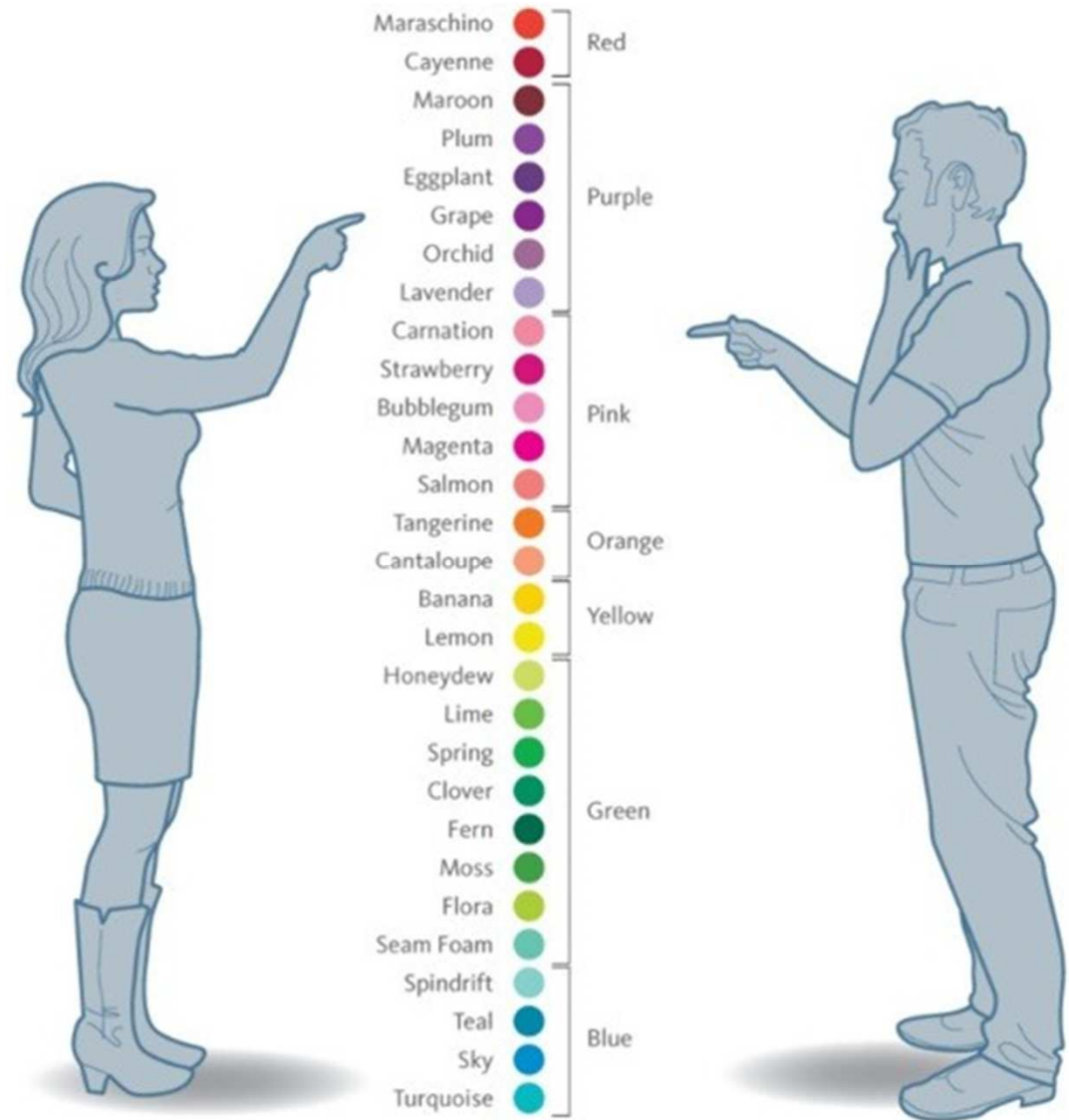
- Teha Eesti liivakarjääride analüüs – hinnata nendest kaevandatava liiva geneesi ja terade ümardatust. Selliselt saaks hinnata liiva kasutatavust teatud eesmärkidel. Igal juhul tuleks teedehituses eelistada väiksema ümardatusega teradega liivakarjääre.
 - Männiku liivakarjäär on üks suuremaid ühtlaseteralise liiva karjääre. Selles karjääris on kaht tüüpi liiva – ümardamata sanduriliiv (jääliustiku delta) ja hilisemalt lainetuse ja tuule poolt ümardatud rannavallide liiv ja luiteliiv. Tõenäoliselt on ümardatud terad karjääri ülemistes kihtides, see jaotus aga tuleks selgitada.

SOOVITUSED

- Ühtlaseteralise liiva tihendamine staatilise rulliga.
- Ühtlaseteralise liiva tihendamine läbi katva (killustiku) kihi.
- Ühtlaseteralise liiva tiheduse mõõtmine vaid otse mahukaalu määramist võimaldava meetodiga – löikerõngas, liivakoonus, kummiballoon või radioaktiivsete isotoopide meetod.
- Ühtlaseteralise liiva elastsusmooduli mõõtmine vaid staatilise koormamisega, soovitatavalt läbi katva (killustiku) kihi.

An approximate solution to the right problem is more desirable than a precise solution to the wrong problem.

(U.S. Army, et al., 1971)



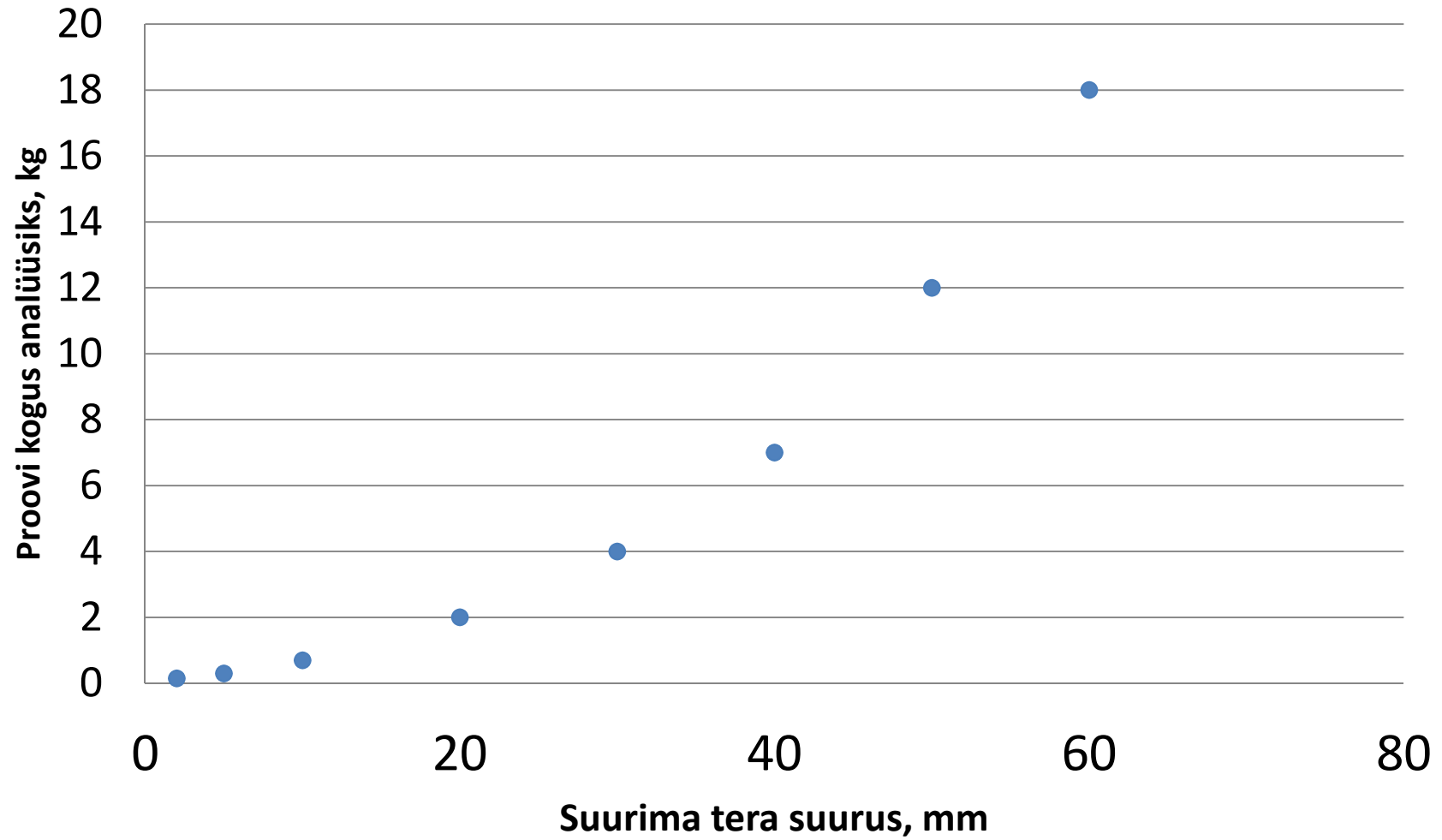




PROOVI KVALITEET

- 5 kvaliteediklassi
- Määratud katsed, mida iga klassi proovist teha saab
- Lõimist ja plastsust saab määrata 1-4 klassi proovidest
- Määratud meetod, kuidas vastava klassi proovi võtta
- 4 klassi proovivõtmiseks sobib igasugune puurimine

DIN 18123:1996-1



SOJUZDORNII MEETOD

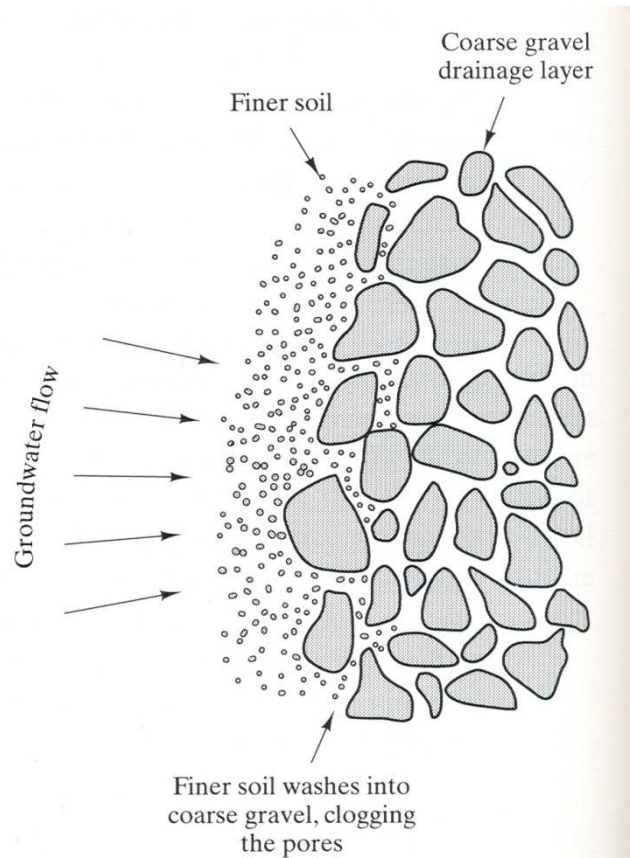
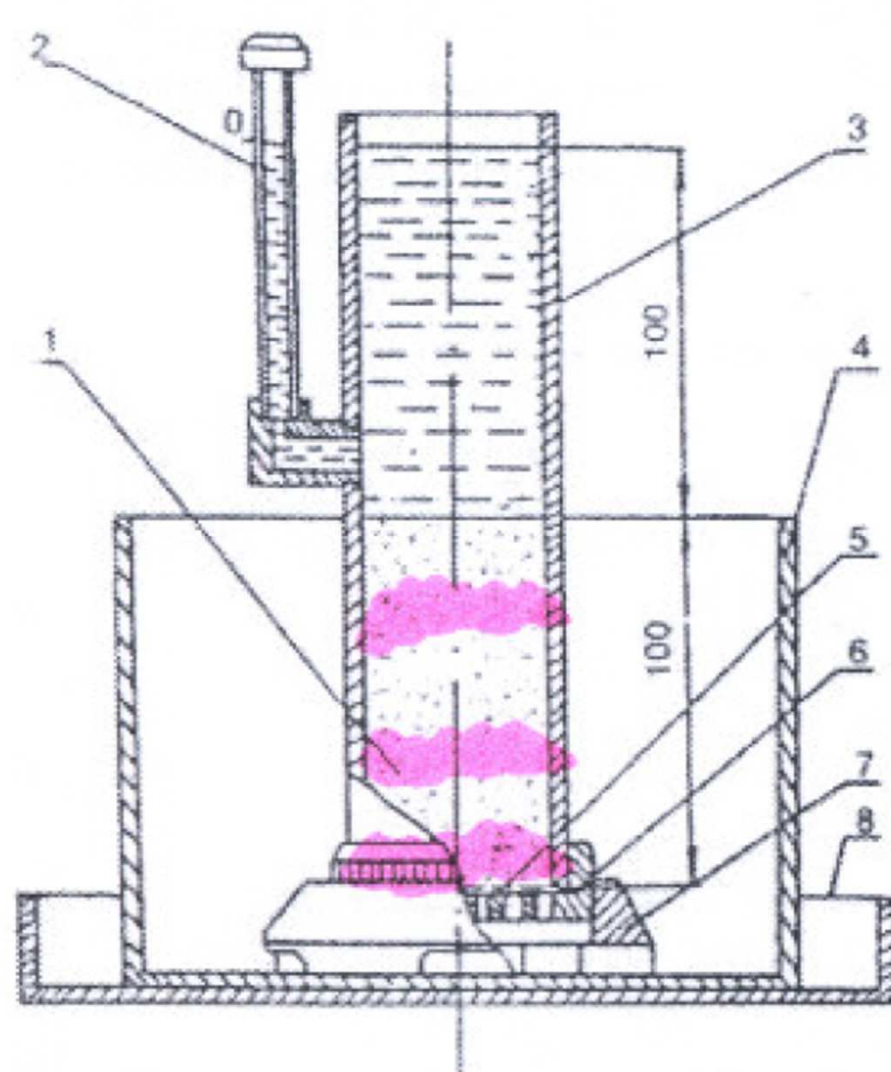
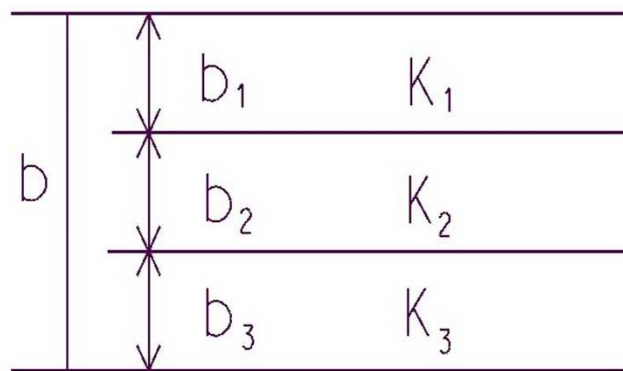


Figure 8.34 Migration of finer soils into a coarse drainage layer. The groundwater flow is washing the finer soils into the voids between the coarse gravel particles.



SOJUVDORNII MEETOD



- Vool toimub vertikaalsuunas
– $K_{vkeskm} = b / (b_1/k_1 + b_2/k_2 + b_3/k_3)$
- Vool toimub horisontaalsuunas
– $K_{hkeskm} = (k_1 b_1 + k_2 b_2 + k_3 b_3) / b$

Vertikaalse voolu korral **vähima** veejuhtivusega kiht.

Horisontaalse voolu korral määrab veejuhtivuse **suurima** filtratsioonikoefitsiendiga kiht.

Kui $b_1 = 2$ cm $k_1 = 0,05$ m/s ; $b_2 = 28$ cm $k_2 = 5$ m/s

$$k_v = 30 / (2/0,05 + 28/5) = 30 / (40 + 5,6) = 30 / 45,6 = 0,65 \text{ m/s}$$

$$k_h = (2 \cdot 0,05 + 28 \cdot 5) / 30 = (0,1 + 140) / 30 = 4,67 \text{ m/s}$$

Kui $k_1 = 0,5$ m/s, siis $k_v = 3,12$ m/s ja $k_h = 4,7$ m/s

PERMEAMETER (INGLISE MEETOD)



THE HIGHWAYS AGENCY

HA 41/90



THE SCOTTISH OFFICE DEVELOPMENT DEPARTMENT

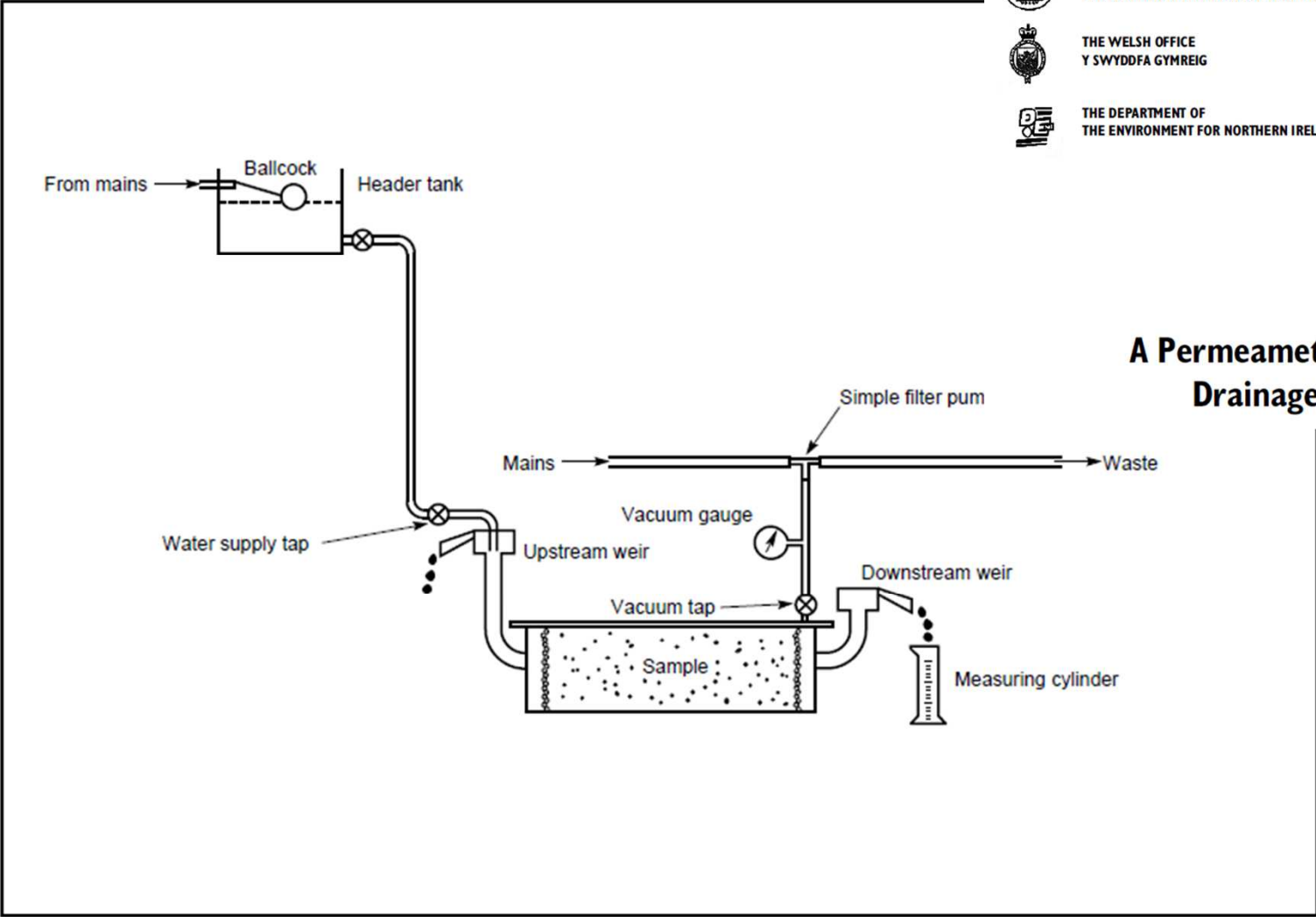


THE WELSH OFFICE
Y SWYDDFA GYMREIG



THE DEPARTMENT OF
THE ENVIRONMENT FOR NORTHERN IRELAND

Fig 1 Schematic diagram of apparatus



**A Permeameter for Road
Drainage Layers**

KAP ja pinnaste tabelväärtused

A		B		C	
Ümardunud	0	Ühtlaseteraline	0	$N_{30}^* < 10$	0
Osaliselt		Keskmiselt		$N_{30} = 20$	2
ümardunud	2	sorteeritud	2	$N_{30} = 40$	6
Nurgeline	4	Eriteraline	4	$N_{30} = 60$	9

$$\phi'_{\max} = \phi' + C = 30 + A + B + C$$

