



MAANTEEAMET

# Elastsete teekatendite projekteerimise juhend



MA 2017-003

## SISSEJUHATUS

Käesolev juhend on koostatud Maanteeameti tellimisel, tegemist on Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi nr 2001-52 (Maanteeameti peadirektori 04.03.2002. a käskkirjaga nr 39) uue redaktsiooniga. Varasemalt on sisse viidud olulisi parandusi ja täiendusi:

- Maanteeameti Peadirektori 6. mai 2004.a. käskkirjaga nr 72;
- Maanteeameti Peadirektori 6. novembri käskkirjaga nr 222;
- 10.02. 2009.a. E. Karu täiendused ja parandused (elastsusmoodulid);
- Maanteeameti Peadirektori 30. aprilli 2014.a. käskkirjaga nr 0171 (katendi tööiga, kulumisvaru, etapiviisilise ehituse varutegurid);
- Maanteeameti Peadirektori 6. jaanuari 2016.a. käskkirjaga nr 0005 (siirdetegurid).

Lisaks on juhendit uuendatud arvutusprogrammi tarbeks:

- Tabel teekatendi üldise elastsusmooduli määramiseks;
- Nomogrammid teekatendi üldise elastsusmooduli määramiseks;
- Delta graafik tabeli kujuks.

Juhend on koostatud PhD Ants Vaimeli poolt ja selle täiendamisel ja parandamisel osalesid 2011. aastal, seoses programmi KAP juurutamisega:

PhD Kuuno Meschin

Jaak Kapten

Elmur Karu

Taivo Kurg

2014. aastal on juhendit täiendatud TTÜ Teedeinstituudi poolt seoses pinnaste liigituse aluste asendusega ning töös osalesid:

PhD Andrus Aavik

Ain Kendra

PhD Peeter Talviste

2016. aastal on juhendit korrigeeritud TTÜ Teedeinstituudi poolt seoses siirdetegurite muutuse, materjalide elastsusmoodulite täiendamise ja varutegurite käsitlese ning konstrueerimise peatüki täienduste ja materjalinõuete määratlusega, töös osalesid:

PhD Andrus Aavik

Ain Kendra

Sven Sillamäe

Taavi Tõnts (Tellija esindaja).

## SISUKORD

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sissejuhatus .....                                                           | 2  |
| 1 Kasutusvaldkond.....                                                       | 5  |
| 2 Üldist.....                                                                | 5  |
| 3 Katendi projekti lähteülesanne.....                                        | 6  |
| 4 Teekatend.....                                                             | 7  |
| 4.1 Katendi tüübid .....                                                     | 7  |
| 5 Ehitusmaterjalid ja pinnased .....                                         | 8  |
| 6 Tugevustegur ja töökindlustegur.....                                       | 8  |
| 7 Kasutusaeg .....                                                           | 9  |
| 8 Koormamise viis .....                                                      | 9  |
| 9 Normkoormus .....                                                          | 9  |
| 10 Koormussagedus .....                                                      | 10 |
| 10.1 Ennustusliku koormussageduse Q määramine .....                          | 12 |
| 11 Katendi konstrueerimine .....                                             | 13 |
| 11.1 Konstruktiivsed kihid .....                                             | 14 |
| 11.2 Staatile koormus .....                                                  | 15 |
| 11.3 Tehnoloogilised kihid.....                                              | 15 |
| 11.4 Geosüntetide kasutamine teekatendi konstrueerimisel.....                | 16 |
| 12 Üldiselt katendi tugevuse ja külmakindluse arvutusest.....                | 24 |
| 12.1 Katendi arvutamine koormusele Q ( $V_1$ või $V_2$ / ööp).....           | 24 |
| 12.2 Katendi arvutamine koormusele Q ( $V_3$ / ööp).....                     | 26 |
| 12.3 E-moodulite tähistusest.....                                            | 26 |
| 13 Katendi tugevusarvutus .....                                              | 26 |
| 13.1 Katendi arvutamine elastsele vajumile .....                             | 26 |
| 13.2 Katendi kihtide ja pinnase arvutamine nihkele.....                      | 29 |
| 13.3 Asfaltbetooni arvutamine tõmbele.....                                   | 31 |
| 13.4 Aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihi arvutamine tõmbele..... | 33 |
| 13.5 Arvutuste täpsusest.....                                                | 35 |
| 14 Katendi arvutamine külmakindlusele.....                                   | 35 |
| 14.1 Külmakaitsekihi materjal.....                                           | 37 |
| 14.2 Katendi külmakindluse arvutamise näide.....                             | 37 |
| 15 Dreenkiht.....                                                            | 39 |
| 15.1 Üldist. ....                                                            | 39 |
| 15.2 Dreenkihi konstrueerimine .....                                         | 39 |

|              |                                                                         |           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 16           | Katendi projekt .....                                                   | 39        |
| LISAD        | .....                                                                   | 41        |
| Lisa 1.      | Pinnaste tugevuskarakteristikud .....                                   | 41        |
| <i>L1.1.</i> | <i>Üldist.....</i>                                                      | <i>41</i> |
| <i>L1.2.</i> | <i>Paikkonna tüübi kirjeldus ja pinnaste suhtelised niiskused.....</i>  | <i>41</i> |
| <i>L1.3.</i> | <i>Arvutusliku suhtelise niiskuse <math>W_1</math> arvutamine .....</i> | <i>42</i> |
| <i>L1.4.</i> | <i>Pinnase tugevuskarakteristikute määramine .....</i>                  | <i>43</i> |
| Lisa 2.      | Materjalide tugevuskarakteristikud .....                                | 45        |
| Lisa 3.      | KAP ja pinnase liigitus sõelkõvera järgi .....                          | 48        |
| Lisa 4.      | Materjalide ja pinnaste soojustehnilised ekvivalendid ei .....          | 49        |
| Lisa 5 .     | Tabelid ja graafikud .....                                              | 50        |

## 1 KASUTUSVALDKOND

Elastsete teekatendite projekteerimise juhend (**Juhend**) on mõeldud Ehitusseadustiku (RT I, 05.03.2015, 1)<sup>1</sup> §92 mõistes **teede projekteerimiseks**.

**Juhend** on koostatud riigiteede katendite projekteerimiseks. Kohalike ja erateede puhul võib projekteerija kasutada sobivat analoogi. Linnatänavate standard EVS 843:2016 võimaldab kasutada nii tüüpkatendeid kui ka teiste riikide projekteerimisjuhendeid ja tarkvara.

## 2 ÜLDIST

**Juhend** on koostatud samanimelise venekeelse instruksiooni “Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа” (БСН 46-83, Минтрансстрой) alusel, kuid pole selle Eesti osa käsitlev tõlge.

**Juhendi** koostamisel on kasutatud ka teisi allikaid, mis peamiselt tuginevad БСН 46-83, kuid täpsustavad ja laiendavad, kohati ka kitsendavad, selle üksikosi. Ka käsitusviisis on mõningaid erinevusi.

Sellega seoses:

- on vähendatud nomogrammide järgi arvutamist, asendades võimaluse piires neid valemitega, silmas pidades kaasaja arvutivõimalusi; valemite kasutamine on sageli mugavam kui halvasti loetavatelt ja korrektse mõõtkavata nomogrammidelt vajalike suuruste leidmine; vaatamata sellele taotlusele pole siiski suudetud nomogramme täielikult välistada;
- loomaks võimalusi **Juhendi** laialdaseks kasutamiseks, on keerulisemad valemid dubleeritud ka nomogrammidega;
- tugevuskriteeriumina on kasutatud võrdlust tegelike tugevuslike suuruste (pinged, elastne vajum) kõrvutamist vastavate lubatavate suurustega:

$$M \leq M_{lub} / K_{tt} \quad (2.1)$$

$$E_{vaj} * K_{tt} \leq E_{üld} \quad (2.2)$$

$M$  – tegelikud pinged,  $M_{lub}$  – eelmistele vastav lubatav suurus;  $E_{vaj}$  – teekatendi (katend) vajalik elastsusmoodul (edaspidi vajalik  $E$  – moodul või  $E_{vaj}$ );  $E_{üld}$  – teekatendi üldine elastsusmoodul (edaspidi üldine  $E$  – moodul),  $K_{tt}$  – tugevustegur;

- katendikihtide numeratsioon on vaikimisi – ülalt alla;
- valemid kehtivad ainult selgitustes toodud liikmete dimensioonide korral;
- vaikimisi on dünaamilisuse teguriks  $K_d = 1,3$  (sõltub kiirusest - 1,3 vastab maanteekiirustele);
- kui on vaja kasutada Poisson tegureid, siis on need järgmised:
  - muldkeha pinnastel  $\mu = 0,35$
  - aluse materjalidel  $\mu = 0,25$
  - $E_{üld}$  arvutamisel  $\mu = 0,3$

---

<sup>1</sup> <https://www.riigiteataja.ee/akt/125012017007?leiaKehtiv#para92>

Valemite, tabelite ja jooniste numbrid on kaheosalised: esimene osa tähistab punkti ja teine jooksvat järjekorranumbrit; viimane algab igas uues punktis ühest. Eraldamiseks valemide, tabelleid ja jooniseid täiendatakse tabeli ja joonise numbrit tähega “T” või “J”. Näiteks:

- P2 tähendab viidet punktile 2;
- (10.2) tähendab 10.punkti 2.valemit;
- T5.1. tähendab 5.punkti 1.tabelit;
- J14.2. tähendab 14.punkti 2.joonist;
- L1.4. tähendab 1.lisa vastavat 4.alajaotust;
- N3.T1. tähendab 3. näite 1.tabelit.

Katendite tugevusarvutust käsitletakse **Juhendis** ainult dünaamilisele koormusele. Staatilise koormuse mõju osas on arvestatud Tee projekteerimise normides (Majandus- ja taristuministri 05.08.2015. a määrus nr 106) sätestatud täiendavate nõuetega materjalidele ja kihipaksustele staatilise koormuse mõjualas, seda ei ole eraldi lahendatud algoritmilise kontrollina (maanteedel on valdav dünaamiline koormus).

Kui katendi projekteerimisel ilmneb olukordi, mida pole **Juhendis** käsitletud, siis peab projekteerija pakkuma tellijale kooskõlastamiseks omapoolsed lahendused. Nende loetelu ja põhjendused tuleb esitada katendi projekti seletuskirjas.

**Juhendi** järgi projekteeritud ja ehitatud katendi tugevus ja külmakindlus on tagatud pinnaste ning ehitusmaterjalide normtiheduse ja teemaal korrastatud vete äravoolu korral.

### 3 KATENDI PROJEKTI LÄHTEÜLESANNE

Katendi projekti lähteülesanne sisaldab:

- **tee ja rajatise** nimetust, algus- ning lõpp-punkti;
- riigiteede puhul tee klassi, linnatänavate korral tänava liiki või nõuet selle määramiseks;
- katendi tüüpi või nõuet selle määramiseks;
- katendi eeldatavat kasutusaega (sõltuvalt katte liigist ja ehituse etapiviisilisusest);
- nõuet liiklusloenduse korraldamiseks ja liiklusvoo grupilise koosseisu määramiseks;
- nõuet ennustusliku koormussageduse määramiseks;
- vajadusel katendi etapiviisilist ehitamist;
- nõuet varem (sh ka PMSi raames) tehtud uuringute kirjeldamiseks ja hinnangut antud projektis nende kasutamise võimalikkusest;
- nõuet oleva katendi ülevaatuseks ja seisukorra kirjeldamiseks;
- aruannet oleva katendi ehitusaasta, remontide, varem projekteeritud katendi koormussageduse,  $E_{vaj}$ , ja  $E_{üld}$  kohta;
- nõuet teemaal vete äravoolu korrastamiseks.

Sõltuvalt konkreetse **tee ja rajatise** iseärasustest võib tellija seda loetelu täiendada või ahendada.

## 4 TEEKATEND

Teekatend (katend) on mitmekihiline looduslikest või sideainega töödeldud kivimaterjalidest konstruktsioon, mis võtab vastu ja hajutab liiklusvahendite rataste koormuse muldkeha pinnasele.

Katendid liigitatakse elastseiks ja jäikadeks. Jäikade katenditega on tegemist siis, kui mõni kihtidest on ehitatud tsement- või raudbetoonist. Kõik teised katendid on elastsed. Tänapäeval võivad esineda ka poolelastsed katendid. **Juhendis** käsitletakse ainult elastseid katendeid.

Katend koosneb kahest põhikihist – kattest (katendi kõige ülemine kiht, mis puutub vahetult kokku liiklusvahendite ratastega) ja alusest. Need kihid peavad reeglina olema. Põhikihtidele võivad lisanduda lisakihid.

Katendi iga põhikiht võib omakorda koosneda mitmest kihist. Näiteks püsikatte ülakiht (AC surf, SMA), katte vahekiht (AC bin), katte alakiht (AC base); aluse sideainega töödeldud kiht (MUK, KS, TS) ja sideainega töötlemata kiht (tavaliselt killustik). Kihi nimetusele võib lisada ka materjali, millest antud kiht ehitatakse, nimetus. Näiteks: asfaltbetoonkate, asfaltbetoonkatte ülakiht, killustikalus jne.

Lisakihtidest esineb tavaliselt drenkiht, mis võib puududa, kui mõni teine kiht seda funktsiooni täidab või kui muldkeha materjal on nõutava filtratsiooniga.

Täiendavalt võivad vajadusel lisanduda külmakaitse-, soojaisolatsiooni-, hüdrolatsiooni-, kapillaartõusu katkestavad jm kihid. **Juhend** neid kihte ei käsitle.

Kuigi kate, alus ja drenkiht ning muldkeha eraldi täidavad teatavaid, ainult neile omaseid funktsioone, tuleb neid vaadelda katendi arvutamisel ja konstrueerimisel kui ühtset koostõotavat tervikut.

### 4.1 Katendi tüübid

#### 4.1.1 Katendi tüübid ja katte põhiliigid on:

##### 1) püsikatend:

- asfaltbetoonist, ka drenasfaltbetoonist;
- monoliittsementbetoonist;
- monteeritavast raudbetoonist;
- kui mõni aluse kihtidest on monoliittsement- või raudbetoonist;

##### 2) kergkatend (soovitav kaaluda kuni 1500AKÖL korral):

- kergasfaltbetoonist (ACsurf B/160/220 või vedelam sideaine, KAB varemalt);
- pinnatud mustsegust (MSE);
- pinnatud stabiliseeritud segu;

##### 3) siirdekate:

- kiilutud killustikust;
- optimaalsest kruusliiva segust;
- kiilutud killustikust, freespurust või optimaalsest kruusliiva segust kate, mis on 2-kordselt pinnatud;
- sideainega töödeldud (v.a sidus-) pinnastest.

##### 4) lihtkatend, kui puudub mõni põhikihtidest või kate on juhusliku terakoostisega materjalist.

## 5 EHTUSMATERJALID JA PINNASED

**Juhendi** käsitluses on ehitusmaterjalid (materjalid) need, mida toodetakse ja paigaldatakse. Pinnased on need, mis jäävad konstruktsiooni alla.

Katendiarvutustes tuleb kasutada Geotehniliste pinnaseuuringute juhendi (Maanteeameti peadirektori 05.01.16. a käskkiri nr 0002 või uuem) järgseid lähteandmeid.

## 6 TUGEVUSTEGUR JA TÖÖKINDLUSTEGUR

Katte (katendi) seisund muutub (halveneb) kasutusaja jooksul. Ka korrektne hooldus ja õigeaegsed remondid ei taga katte seisundit sellisena nagu see oli ehitusjärgselt. Kuid toimunud sõidetavuse halvenemine peab jääma ka kasutusaja lõpuks teatavatesse vastuvõetavatesse piiridesse.

Neid piire iseloomustab töökindluse tegur  $K_{tk}$ , mille normväärtus reeglina on 0,95 ... 0,60. See tähendab, et kasutusaja lõpus võib arvutuslikult esineda maksimaalselt katte pinna defekte (mitmesuguseid jäävdeformatsioone, sh ebatasasust, pragunemist, remonditud auke jmt) vastavalt 5% kuni 40% sõidutee pinnast.

Katendi töökindlus tagatakse katendi tugevusega, mida arvutustes väljendatakse normitud tugevusteguri  $K_{tt}$  kaudu. Tegurid  $K_{tt}$  ja  $K_{tk}$  on toodud T6.1.

**Tabel T6.1.** Tegurid  $K_{tt}$  ja  $K_{tk}$

| Tee klass | Katend        | $K_{tt}$ | $K_{tk}$ |
|-----------|---------------|----------|----------|
| Kiirtee   | Püsikatend    | 1        | 0,95     |
| Kiirtee   | Kergkatend    | 0,9      | 0,85     |
| Kiirtee   | Siirdekateend | 0,63     | 0,6      |
| 1         | Püsikatend    | 1,03     | 0,98     |
| 2         | Püsikatend    | 1        | 0,95     |
| 3         | Püsikatend    | 0,95     | 0,9      |
| 3         | Kergkatend    | 0,9      | 0,85     |
| 4         | Püsikatend    | 0,9      | 0,85     |
| 4         | Kergkatend    | 0,84     | 0,8      |
| 4         | Siirdekateend | 0,8      | 0,75     |
| 5         | Püsikatend    | 0,85     | 0,8      |
| 5         | Kergkatend    | 0,79     | 0,75     |
| 5         | Siirdekateend | 0,68     | 0,65     |
| 6         | Püsikatend    | 0,79     | 0,75     |
| 6         | Kergkatend    | 0,68     | 0,65     |
| 6         | Siirdekateend | 0,63     | 0,6      |

Reeglina kasutatakse ülaltoodud tabeli andmeid. Projekteerimise lähteülesandega võib sätestada ka teistsugused  $K_{tt}$  ja  $K_{tk}$  väärtused. Teistsuguste väärtuste püstitamisel peab arvestama, et  $K_{tk} > 0.95$  pole praktikas saavutatav. Kui soovitakse kasutada T6.1 tooduist erinevaid  $K_{tt}$  ja  $K_{tk}$ , siis tuleb ette anda  $K_{tk}$  väärtus ning arvutada  $K_{tt}$  :

$$K_{tt} = -0,1459 * (K_{tk})^2 + 1,2743 * K_{tk} - 0,0819 \quad (6.1)$$



## 7 KASUTUSAEG

Katendi üldpaksus ja üksikute kihtide paksused peavad tagama kogu konstruktsiooni tugevuse ning külmakindluse kogu kasutusaja jooksul. Elastse katendi kasutusajaks on soovitatav võtta mitte vähem kui:

- 7 aastat siirdekateendile;
- 10 aastat kergkatendile;
- 20 aastat püsikateendile.

Kasutusaeg määratakse katendi projekti lähteülesandes. Juhul kui võrreldakse omavahel maksumusi siis peab olema võrdne kasutusaeg.

## 8 KOORMAMISE VIIS

Sõidutee katend arvutatakse lühiajalisele korduvkoormusele, kusjuures üksikkoormamise kestvuseks on 0,1s (mis vastab maanteekiirustele). **Juhendi** järgnevatel osadel nimetatakse seda dünaamiliseks koormuseks. Koormamise kestvuse arvulist väärtust ei lähe vaja katendi projekteerimisel, kuid seda on vaja teada bituumensideainega töödeldud ehitusmaterjalide ja pinnaste tugevuskarakteristikute määramisel kas väli- või labori teimiga.

## 9 NORMKOORMUS

Normkoormuseks on veoauto või autobuss, mille koormuskarakteristikud on järgmised:

**Tabel T9.1.** Koormuskarakteristikud

|        | Koormus-<br>grupp | Max. koormus<br>staatil.kN |                   | Max. dün<br>koormus<br>paarisrattale,<br>kN | Keskm<br>arvutus-<br>erisurve<br>teepinnale<br>p, Mpa | Ratta jälje<br>arvutusdiameeter d, cm |     |
|--------|-------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----|
|        |                   | Üksik<br>teljele           | Paaris<br>rattale |                                             |                                                       | staat                                 | dün |
|        |                   |                            |                   |                                             |                                                       | koormamisel                           |     |
| Veauto | A                 | 100                        | 50                | 65                                          | 0,6                                                   | 33                                    | 37  |
|        | B                 | 60                         | 30                | 39                                          | 0,5                                                   | 28                                    | 32  |
| Buss   | A                 | 110                        | 55                | 72                                          | 0,6                                                   | 34                                    | 39  |
|        | B                 | 70                         | 35                | 46                                          | 0,5                                                   | 30                                    | 34  |

Reaalselt lubatud 115 kN (96/53/EÜ) teljekoormused (veoteljel) on taandatud siirdeteguritega 100 kN (10 t) standardtelgedeks.

Lisaks tabeli T9.1 koormuskarakteristikutele on normeeritud topelt telje normkoormuseks 180kN ja kolmikteljele 240 kN. Topelt- ja kolmiktelje normkoormusi on vaja teada tegelike teljekoormuste redutseerimisel normkoormusteks. Et tegelikud rehvisurved ületavad tabelis toodud väärtusi, on võimalik arvutustes kasutada vaid väiksema rattajälje väärtust, kuid rehvisurve mõju teistes valemities käesolevas juhendis kasutatud meetodika puhul arvestada ei saa. Üldjuhul on tegelike teljekoormuste ja rehvisurve mõju arvestatud siirdetegurites (T10.1).

Reeglina kasutatakse Eestis A grupi koormusi P1 nimetatud teede ja rajatiste katendite projekteerimisel. Tellija vastava taotluse korral kasutatakse B grupi koormusi klassiväliste teede ja rajatiste katendite projekteerimisel.

A ja B grupi autobuss on normkoormuseks, kui nende osatähtsus on suurem kui 5% raskeliikluse (veoauto + auto-troll-buss) liiklussagedusest. Koormused jaotatakse sõiduradade vahel vastavalt sõiduradade arvule ristlõikes (T9.2).

**Tabel T9.2.** Koormuse jaotus sõiduradade vahel

| Sõiduradade arv ristlõikes | Enimkoormatud sõiduraja rajategur $a'$ | Märkus                  |
|----------------------------|----------------------------------------|-------------------------|
| 1                          | 1                                      |                         |
| 2                          | 0,55                                   | Sõidutee laius üle 6 m  |
| 2                          | 0,6                                    | Sõidutee laius 5-6 m    |
| 2                          | 0,8                                    | Sõidutee laius kuni 5 m |
| 2                          | 0,9                                    | Ühesuunaline sõidutee   |
| 3                          | 0,5                                    |                         |
| 4                          | 0,45                                   |                         |
| 6                          | 0,45                                   |                         |

Märkused:

- 1) T9.2 andmeid kasutatakse siis, kui liiklusuuringutega pole teisiti kindlaks tehtud;
- 2) radade numeratsioon paremalt vasakule;
- 3) kindlustatud teepeenral  $a'$  võrdub äärmise sõiduraja rajateguriga;
- 4) kui sõiduradade arv ristmiku tsoonis (mõlemas suunas kokku, sh ka vasak- ning parempöörde rajad) on  $> 3$ , siis kõikide radade puhul  $a' = 0,50$ ;
- 5) rampide puhul  $a' = 1,0$ .

## 10 KOORMUSSAGEDUS

Arvutusveok  $V_1$  – veoauto, buss või troll, mõni muu maantee- või linnaliikluseks lubatud spetsiaalveok ja –masin, mille rattakoormus on redutseeritud normkoormuse rattakoormuseks ning mille redutseerimistegur on  $\geq 0,05$ ; ligikaudu vastab sellele auto kogumassiga 75 kN. Sellest tulenevalt sõidua autod üldse ja reeglina väikebussid ning -veoautod pole arvutusveokiteks  $V_1$ , mistõttu katendi tugevusarvutustes neid ei arvestata. Viimased kaks võivad osutada arvutusveokiteks nende suure hulga ( $>500$  auto ööpäevas) puhul, kui kogumass on  $\geq 25$  kN.

Arvutusveok  $V_2$ - selleks võib olla üks veoauto, buss või troll, mõni muu maantee- või linnaliikluseks lubatud spetsiaalveok ja –masin, kui liiklusvoog koosneb valdavalt ühest neist; sel juhul võetakse see üks normkoormuseks ja kõik teised füüsilised veokid redutseeritakse  $V_2$ 'eks. Arvutusveoki  $V_2$  kasutamine katendi arvutamisel on otstarbekas intensiivse ühissõidukiliiklusega linnatänaval.

Arvutusveok  $V_3$  - veoauto, mõni muu maantee- või linnaliikluseks erandkorras lubatud spetsiaalveok ja –masin, mille ratta maks dünaamiliseks koormuseks on  $> 78$  kN; sel juhul võetakse üks neist normkoormuseks ja kõik teised füüsilised veokid redutseeritakse  $V_3$ 'eks. Arvutusveokit  $V_3$  kasutatakse **tee ja rajatise** katendi projekteerimisel ainult teeomaniku taotlusel ja loal; sel juhul tuleb silmas pidada iseärasusi katendi arvutamisel (vt P12.2 ). Reeglina ei kasutata arvutusveokit  $V_3$  üldkasutatavate teede katendite projekteerimisel, küll aga olevate katendite tugevuse kontrollimiseks, kui selline veok erandkorras lubatakse üldkasutatavale teele.

Kui katendi arvutamisel kasutatakse veokeid  $V_2$  või  $V_3$  , siis tuleb ratta jälje arvutusdiameeter määrata järgmise valemi abil.

$$d = \sqrt{16,6 * P / p} , \text{ cm} \quad (10.1)$$

$P$  - on veoki  $V_2$  või  $V_3$  rattakoormus, kN;

$p$  – katte ja ratta kontaktpinna erisurve (võrdub rehvirõhuga), Mpa.

Koormussagedus  $Q$  on tee põiklõiget teataval (loendamise, ennustuslikul) ajal läbinud arvutusveokite (T10.1) aasta keskmine hulk ööpäevas. Seejuures peab projekteerija projekti vastavas kohas seletuskirjaliselt lisama:

- millise aasta liiklusloendusega on tegemist;
- milline on ennustuslik aasta;
- millise arvutusveokiga on tegemist;
- kas katendi projekteerimisel on kasutatud A, B grupi või mõnda muud koormust.

Katendi tugevusarvutamisel on koormuseks ennustusliku aasta keskmine koormussagedus  $Q$  arvutusveokites ööpäevas sõidutee ühel enimkoormatud sõidurajal.

**Tabel T10.1.** Arvutusveokite teljekoormuse taandamise siirdetegurid

| <b>Liik</b>                                            | <b>Teljed</b> | <b>Siirdetegur</b> |
|--------------------------------------------------------|---------------|--------------------|
| Keskmine veoauto (VK)                                  | 1+1           | 0,4                |
| Kaheteljeline raske veoauto (VR2; 18 tonni)            | 1+1           | 2,66               |
| Kaheteljeline veoauto keskmine (VA2)                   | 1+1           | 1,5                |
| Kolmeteljeline raske veoauto (VR3; 26 tonni)           | 1+2           | 2,56               |
| Neljeteljeline raske veoauto (VR4; 32 tonni)           | 2+2           | 4,33               |
| Keskmine buss (BK2)                                    | 1+1           | 0,4                |
| Kaheteljeline raske buss (BR2)                         | 1+1           | 2,6                |
| Kaheteljeline busside keskmine (B2)                    | 1+1           | 1,5                |
| Kolmeteljeline raske buss (BR3)                        | 1+2           | 2,6                |
| <b>6-12 meetri pikkuste sõidukite keskmine (VA/AB)</b> |               | <b>2,67</b>        |
| Sadulrong või autorong, 3 telge                        | 3             | 2,56               |
| Sadulrong või autorong, 4 telge (36t)                  | 4             | 4,23               |
| Sadulrong või autorong, 5 telge* (40t)                 | 5             | 4,35               |
| Sadulrong või autorong, 6 ja enam telge (44t)          | 6 ja enam     | 4,8                |
| Viiheteljeline konteineriveok (2+3; 44 tonni)          | 5             | 8                  |
| Kuuweteljeline metsaveok (3+3; 48 tonni)               | 6             | 5,46               |
| Seitsmeteljeline metsaveok (3+4; 52 tonni)             | 7             | 4,2                |
| <b>Üle 12 meetri pikkuste sõidukite keskmine (AR)</b>  |               | <b>3,76</b>        |

Märkused: Siirdetegurid tuginevad „Elastsete katendite projekteerimisjuhise 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas“, töö nr 2015-8 tulemustele.

## 10.1 Ennustusliku koormussageduse Q määramine

Ennustusliku koormussageduse määramine toimub „Liikluse baasprognoos Eesti riigimaanteedele aastaks 2040“, TTÜ lõpparuanne<sup>2</sup> või uuema järgi, lähtudes keskmisest kasvutrendist ja juhul kui tellija ei ole määranud teisi meetodeid.

Kui ennustuslik Q tuleb väiksem kui alguses olev, siis tuleb võtta aluseks kavandatava ehituse alguse Q väärtus.

Liiklusuuringu raames või ka regulaarloendustes saadud tulemuste baasil saab leida loendatud sõidukigrupi keskmised siirdetegurid (10-liigiline jaotus püsiloenduspunktidest, 13-liigiline voolikloenduspunktidest) ning neid kasutada regulaarloenduste tulemustes väljastatud jaotuses (SAPA, VAAB, AR) ja nende baasil teostatud koormuse prognoosis.

**Juhendi** järgi püsikatendite dimensioneerimisel kasutatakse 15-nda aasta koormussagedust (ehk siis, katendi eluea jooksul esinevat maksimaalset koormussagedust), kuid et katendi eluiga sõltub pigem summaarsest koormusest normtelgedes, tuleb katendi 20 aastase eluea korral arvutuslik koormus taandada tinglikule 15nda aasta koormusele valemiga  $Q_{15} = \Sigma(Q_i * 365,25) / 5000$ . Juhul, kui kasutatakse 20-nda aasta koormussagedust, ei arvestataks esimese viie aasta jooksul mõjuvaid koormusi.

Kui katendi projektiga käsitletaval teel (lõigul) on aastate jooksul liiklust loendatud, s.o on olemas loendusrida, siis viimase umbes 10 aasta pikkuse rea analüüsiga, teades ka liiklusvoo grupilist koosseisu, on võimalik määrata ennustuslikku koormussagedust.

Ennustusliku koormussageduse määramisel tuleb kasutada matemaatilise prognoosi meetodeid (juhul kui baasprognoosi asemel nõutud). Seejuures tuleb hoiduda (teise või enamaastmelise) polünoomitaoliste või lihteksponentvõrrandite ekstrapoleerimisest, sest seda tüüpi funktsioonide kasv pole mitte millegagi piiratud, mistõttu pole välistatud ebaõiged tulemused. Arvestanud seda, tuleks eelistada asümptooti omavaid funktsioone. Näiteks Gompertzi kõverat, modifitseeritud eksponenti jt. Ka 1. astme polünoomi kasutamine võib anda rahuldavaid tulemusi.

Liiklusloendusrea alusel võib ennustuslikku koormussagedust määrata siis, kui tee haardekonna (mõjuala) majanduses pole ette näha muudatusi, mis võiksid mõjutada loendusrea statsionaarset iseloomu.

Uute teelõikude puhul on üldjuhul koormussageduse määramise aluseks liikluse modelleerimise tulemused liiklusuuringust.

Katend tuleb projekteerida vähemalt minimaalse vajaliku  $E_{min}$  järgi, kui katendi projekteerimisaegse liiklusloenduse või katendi projekti lähteülesandest ei tulene teisiti.

---

<sup>2</sup>[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/liikluse\\_baasprognoos\\_eesti\\_riigimaanteedel\\_aastaks\\_2040.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/liikluse_baasprognoos_eesti_riigimaanteedel_aastaks_2040.pdf)

## 11 KATENDI KONSTRUEERIMINE

Katendi konstrueerimisele eelnevalt tuleb projektiga käsitletav tee(lõik) jagada järgmiste tunnuste järgi osadeks:

- süvendid;
- mulded;
- normidest madalam muldkeha;
- paikkonna tüübid; tuleb kaaluda võimalust paikkonna tüübi muutmiseks teemaal veerežiimi korrastamise abil;
- pinnased;
- pinnasvee arvutuslik tase ja
- muud näitajad (projekteerija äranägemisel).

Nende tunnuste järgi määrab projekteerija kõige halvemates tingimustes oleval teeosal arvutusprofiili, mille kohta konstrueeritakse katend ja tehakse tugevusarvutus. Kogu tee(lõigu) ulatuses võib selliseid "kõige halvemaid" teeosi olla mitu. Sellest tulenevalt on võimalik ka mitu arvutusprofiili. Minimaalne arvutusprofiilide arv 1tk/2km teelõigu kohta.

**Katendiaruandes tuleb välja tuua karjäärade asukohtade ülevaade 50km raadiuses** (Maaameti jm andmetele tuginedes) koos veokaugustega objekti keskele. Andmed tuleb grupeerida tabelis: 10; 30 ja 50km kaupa. Karjäärade omanikelt vm tuleb küsida maksumused, materjalide omadused, saadaolevad kogused jms projekteerimiseks vajalik info (esitada koondtabelina).

Saadud info analüüsi põhjal tuleb projektis kirjeldada milliste materjalide kasutamist katendiarvutuste osas tuleks eelistada antud piirkonnas optimaalseima lahenduse saamiseks (projekteerijal tuleb valida kogukuludelt soodsaim lahendus). Eraldi tuleb välja tuua ehituse massvedude tugevdamist vajavad teed koos maksumustega.

Olemasolevast kattest saadavat freesipuru tuleb kasutada maksimaalselt sama objekti remondis. Projekteerimisel tuleb konstrueerida tugevamaid (paksemaid) aluseid, kallimaid kattekihte õhemalt.

Reeglina projekteeritakse katend sõidutee enimkoormatud sõiduraja järgi ühesugusena kogu põiklõike jaoks. Mitmerajalisele (enam kui 2 ühes suunas) sõiduteele lubatakse kokkuleppel tellijaga ka põiklõikes muutuva paksusega katendit (kindlustatud peenra osas), kuid see eeldab üleminekuala tehnoloogilist lahendamist viisil, mis tagab eeldatava sõidujälje lähialas ühetaolise konstruktsiooni (muutused ei tohi sattuda rattajälge ega selle lähialasse).

Katendi konstruktiivseisse ja kui see on võimalik, siis ka tehnoloogilistesse kihtidesse, tuleb ehitusmaterjalid paigutada selliselt, et tugevamad, ilmastiku- ning kulumiskindlad asetseksid katendi ülakihtides; kõige tugevamad katte ülakihi, mis on vahetus kokkupuutes sõiduki ratastega. Igas järgmises kihis allpool aga paikneksid nõrgemad, vähema ilmastiku- ja kulumiskindlusega materjalid. Uutel konstruktsioonidel ei tohi tugevad ja nõrgad ehitusmaterjalid olla katendis vaheldumisi. Kui see tingimus on täidetud, arvutatakse Eura nomogrammi L4.2 abil, mida kasutab ka KAP arvutusprogramm..

Oleva tee remondi või rekonstrueerimise korral tuleb teostada teeregistri andmete analüüs (FWD, IRI, roopasügavus, defektid), mille andmeid kõrvutatakse geotehnilise uuringu tulemustega ning määratakse ning kirjeldatakse probleemsemad lõigud ja nõrkade kohtade

täiendava tugevdamise vajadus. Andmete analüüsi põhjal tuleb esitada arvutuslike nõrgimate kohtade piketid.

Rekonstrueerimistöõde korral võib esineda olukord, kus pole võimalik sellest reeglist kinni pidada; sel juhul toimub  $E_{ma}$  arvutamine valemi (13.3) järgi. On võimalik mitme kihi ühendamine arvutusteks kasutades liitkihi jaoks ühendatud kihtidest nõrgema arvutusparameetreid, või näha ette ehitusprotsessis materjalide mehaaniline segamine millisel juhul tuleb projekteerijal valida arvutusparameetrid näiteks kaalutud keskmise meetodil, defineerides KAPis (elastsete teeKatendite Arvutamise Programm – Maanteeameti kodulehelt) vajaliku uue materjali.

Kuna KAP ei võimalda arvutada katendeid, kus tugevamal kihil paikneb nõrgem, tuleb KAPi jaoks käsitleda ka tugevamat aluskihti osana selle peale rajatavast nõrgemast kihist. Materjalide omaduste osas on võimalik kasutada keskmistatud näitajaid luues selleks täiendavad materjalid (lisatakse vastav märkus arvutulehe alla).

Katendi konstrueerimisel on konstruktiivsete (ka tehnoloogiliste) kihtide ehitusmaterjalide tugevuse peamiseks tunnuseks E-moodul; selle järgi paigutatakse katendisse ehitusmaterjalid. Katendi konstrueerimisel tuleb ülemistelt suurema tugevusega kihtidelt alumistele vähema tugevusega kihtidele üle minna võimalikult sujuvalt, leevendamaks pingekontsentratsiooni puutepindadel.

Kasvupinnaste esinemist olemasolevas konstruktsioonis ei saa arvutustes täpselt arvestada. Vajadusel tuleb neis kohtades näha ette lisa tugevdusmeetmeid (geosünteedid jms) defektide jms andmete analüüsile tuginedes. Kattele lähemal olevaid paksemaid kasvupinnaseid võib asendada, põhjendades seda tehnilis-majanduslikult.

Vältimaks katte rohket pragunemist, tuleb tsementbetoonist ja ka mineraalsideainega töödeldud materjalist alusele rajada vähemalt 10 (III, IV kl teel), 12 (II kl teel) ja 16 (kiir- ja I kl teel) cm paksune bituumensideainega töödeldud kate. Kompleksstabiliseeritud materjalist aluse puhul võib toodud paksusi vähendada 20 % võrra. Sideainega töödeldud kihtide üldarv ei tohi olla suurem kui neli (arvestamata seejuures loodusliku aluspinnase töötlemist), sest nende kihtidega on reeglina võimalik lahendada kõik tehnilised ja majanduslikud probleemid. Erijuhud tuleb kooskõlastada tellijaga.

**Tabel T11.1.** Bituumensideainega töödeldud katendi ülakihtide soovituslikud kogupaksused

| Evaj, Mpa        | <125  | 125 - 180 | 180 - 220 | 220 - 250 | 250 – 300 |
|------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Kogupaksused, cm | 4 – 6 | 7-12      | 13-18     | 19-24     | ca 25     |

Bituumensideainetega töödeldud aluse kihid võetakse kogupaksuses T11.2 tähenduses arvesse koefitsiendiga 0,5. Kiir-, I ja II kl teele ehitatakse asfaltbetoonkate vähemalt 2-kihilisena; seejuures soovitatakse see paigaldada sideainega töödeldud alusele. III kl teele võib 1-kihilist asfaltbetoonkatet ehitada vaid bituumensideainega töödeldud alusele juhul kui on tagatud piisav nake aluskihiga.

### 11.1 Konstruktiivsed kihid

Konstruktiivsed kihid on need, millede paksus määratakse või kontrollitakse tugevusarvutusega. Nende olemasolu on vajalik katendi tugevuse või külmakindluse tagamiseks. Konstruktiivsetele kihtidele, sõltuvalt suurimast teramõõdust ja

tihendamisvõimalustest, on kehtestatud minimaalsed paksused. Vaatamata arvutustulemustele ei tohi kihipaksused olla väiksemad T11.1 toodust.

Konstruktiiivsete kihtide minimaalsed paksused on sätestatud üldjuhul vastava kihi hankemenetluse väljakuulutamise ajal kehtinud juhises, kui tellija ei ole lähteülesandes sätestanud teisiti:

- Asfaldist katendikihtide ehitamise juhise (Maanteeameti peadirektori 23.12.2015. a käskkiri nr 0314 või uuem);
- Killustikust katendikihtide ehitamise juhise (Maanteeameti peadirektori 22.11.2016. a käskkiri nr 0215 või uuem);
- Stabiiliseeritud katendikihtide ehitamise juhise (Maanteeameti peadirektori 22.11.2016. a käskkiri nr 0215 või uuem);
- Muldkeha ja drenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise (Maanteeameti peadirektori 05.01.2016. a käskkiri nr 0001 või uuem).

**Rekonstrueerimise korral**, kui uute kihtide alla jääb piisava kandevõimega kiht kuid mille filtratsioon ei ole piisav, ning samas olemasoleva tee defektid ei viita sügavamate kihtide probleemidele, mida ei kõrvaldata pinnasvee taseme langetamisega, **kasutatakse** stabiiliseeritud kihtide all **fraktsioneeritud killustikust kihti, paksusega min 10cm** (täidab ka drenikihi ülesandeid). Sellisel juhul tuleb tagada eelpool nimetatud killustikukihi vee väljavool kas pikidreenide kasutamisega või viies killustikukihi välja muldkeha nõlvale.

Teel teostatav stabiiliseerimine tuleb projekteerida täiendava min.10cm killustikukihiga, mis paigaldatakse koos stabiiliseeritava segu koostisse kuuluva killustikuga. Kui killustikukihi alla jääb peentäitematerjalist kiht, tuleb kaaluda killustikukihi eristamist vanast konstruktsioonist eristava geosünteediga (kaitseb killustikukihti pooride ummistumise eest).

Kui stabiiliseerimise asemel kasutatakse rekonstrueerimisel killustikalust, siis tuleb lähtuda Killustikust katendikihtide ehitamise juhise punktist 2.6 (Maanteeameti peadirektori 22.11.2016. a käskkiri nr 0215 või uuem).

## 11.2 Staatile koormus

Staatile koormusega alad on määratletud Majandus- ja taristuministri 05.08.2015. a määruse „Tee projekteerimise normid“ lisa 1 „Maantee projekteerimismid“ punktis 4.6(7). Staatile koormusega aladel rakendatakse katendikihtide konstrueerimisel täiendavaid meetmeid P4.6 (8) ning vastavaid konstruktsioone eraldi ei arvutata.

## 11.3 Tehnoloogilised kihid.

Tehnoloogilised kihid on need, mis tugevusarvutuslikult ega katendi külmakindluse jaoks pole vajalikud, kuid mille olemasolu tingivad mitmesugused tehnoloogilised kaalutlused, mis võivad alles ilmuda ehitamise ajal, olenevalt ilmastikust ja aastaajast. Tehnoloogilised kihid on vajalikud vältimaks konstruktiivsete kihtide materjalide segunemist, sidumata kihil ehitusaegse sõidetavuse tagamiseks ning kaitsmaks dreni funktsiooniga kihte pooride ummistumise eest. Tehnoloogiliste kihtide:

- materjalide tugevusomadused ei tohi olla halvemad kui kihil, millele need paigaldatakse;
- paksused võivad olla väiksemad kui konstruktiivse kihi miinimum seda ette näeb.

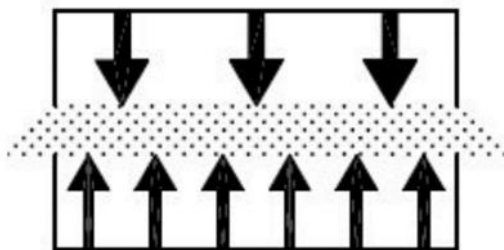
Tehnoloogilisi kihte ei võeta reeglina tugevusarvutuslikult arvesse ja katendi projektis neid ei käsitleta. Asfaltkatte ülahihile lisatakse kulumisvaru 1 cm (arvutatakse konstruktsioon ilma varu lisamata)

#### 11.4 Geosünteedide kasutamine teekatendi konstrueerimisel.

Terasvõrke võib kasutada vaid Tellija kirjalikul loal kuna nende hilisem eemaldamine ja ümbertöötlemine on keerukam.

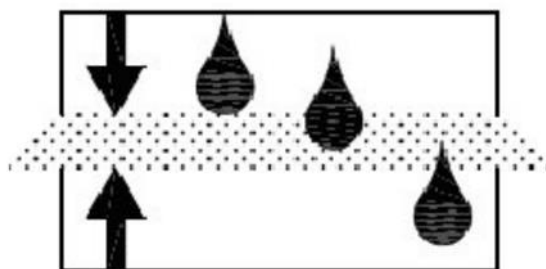
11.4.1 Geosünteedide funktsioonid. Geosünteedidega täidetakse kaheksat põhilist funktsiooni (kasutatud joonised pärinevad EVS-EN ISO 10318-2 Geosünteedid. Osa 2: Sümbolid):

- **Eraldusfunktsiooni** (Joonis 1) täitev geosüntee eraldab füüsiliselt kahte materjalikihti. Näiteks takistatakse killustiku segunemist liivaga või liiva segunemist saviga. Materjalina kasutatakse geotekstiile (enamasti mittekoatud, aga võivad olla ka koatud). Teedeehituses eraldamiseks sobiva materjali valik põhineb NorGeoSpeci juhendil, mida käsitletakse peatükis 2.2.2.



Joonis 1. Eraldusfunktsioon

- **Filtreerimise funktsiooni** (Joonis 2) täitev geosüntee võimaldab vedeliku läbipääsu geosünteedist, kuid takistab pinnaste omavahelist segunemist. Teede puhul käsitletakse seetõttu eraldamis- ja filtreerimisfunktsiooni alati koostöös ning materjali valik toimub lähtudes NorGeoSpeci juhistest. Drenaažrajatiste projekteerimisel lähtutakse sobiva materjali valikul ümbritseva pinnase terastikulisest koostisest. Kasutatavad geosünteedid on geotekstiilid.



Joonis 2. Filtreerimisfunktsioon

- **Armeerimise** (võidakse nimetada ka sarrustamiseks) **funktsiooni** (Joonised 3...5) täitev geosüntee võimaldab tugevdada sideainega sidumata pinnase ja asfaltbetooni puudujääke tugevuses. Materjalina kasutatakse geovõrke ja koatud tekstiile. Kui geovõrk on teatud omadustega, toimib see sobiliku täitematerjali kasutamisel stabiliseerijana.

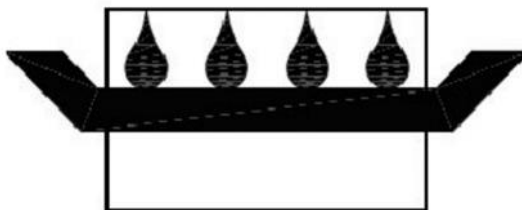


- 
- A diagram showing a rectangular box. A horizontal double-headed arrow is centered within the box. A dotted line passes through the center of the arrow, extending slightly beyond the box's boundaries on both sides.

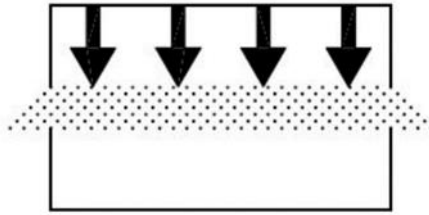
## Armeerimisfunktsioon ja stabiliseerimine

- 

- **Barjääri funktsiooni** (Joonis 7) täitev geosüntee eraldab vedelikud ja gaasid ümbritsevast keskkonnast. Materjalidena kasutatakse geomembraane ja geosünteeilisi savikangaid.

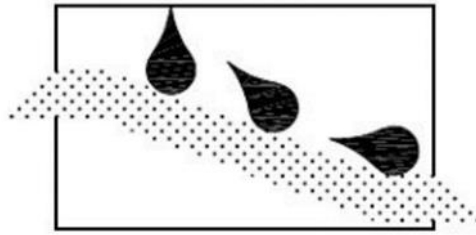


- **Kaitsefunktsiooni** (Joonis 8) täitev geosüntees kaitseb objekti või kihti kahjustuste eest. Näiteks kasutatakse geomembraanide peal mittekootud geotekstiili, et hajutada punktkoormusi geomembraanile vastuvõetavale tasemele.



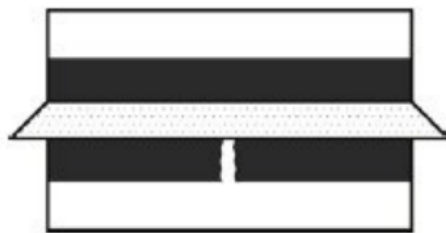
**Joonis 8.** Kaitsefunktsioon

- **Erosiooni tõkestamine** (Joonis 9 **Tõrge! Ei leia viiteallikat.**). Kasutatakse erosioonitõkkematte (täpsemalt peatükis 7).



**Joonis 9.** Erosiooni tõkestamine

- **Pingetustamine** (Joonis 10) ehk peegelduspragude esiletuleku aja pikendamine või vältimine uutesse asfaltbetoonkihtidesse (täpsemalt vt järgmine peatükk).

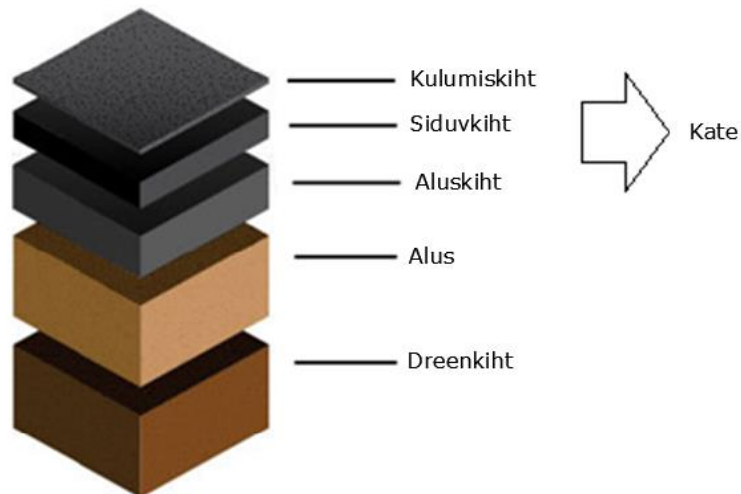


**Joonis 10.** Pingetustamine ehk asfaltbetoonkihtides peegelduspragunemise tõkestamine

**11.4.2 Geosünteedide kasutusnäited teekonstruktsioonis.** Tee katend koosneb kolmest põhilisest kihist – kate, alus ja vajadusel drenikiht (kui muldkeha ülaosas kasutatakse piisava veeläbilaskvusega materjali, võidakse eraldi drenkihist loobuda) ning vajadusel võib sisaldada ka lisakihte.

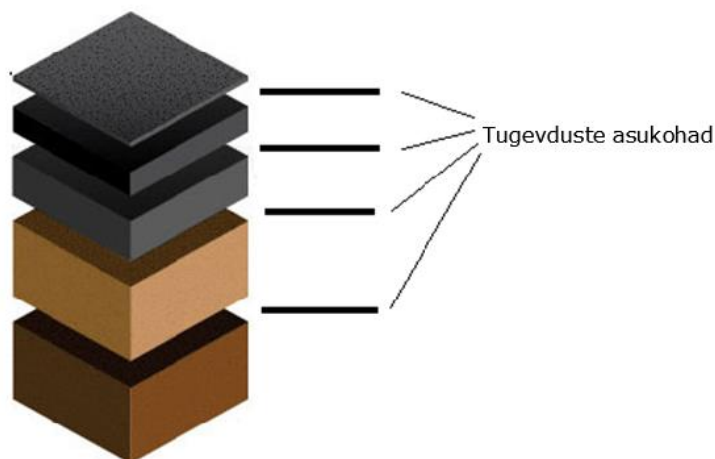
Kate võib olla tsement- või asfaltbetoonist, mis omakorda jaguneb kulumiskihiks (AC surf), siduvkihiks (AC bin) ja aluskihiks (AC base) (Joonis 11).

Geosünteede võidakse kasutada koostöös kõikide nimetatud kihtidega vältimaks või aeglustamaks erinevat tüüpi defektide teket ja ilmnemist nii uute kui rekonstrueeritavate teede puhul. Enamasti on geosünteedide ülesanneteks eraldamine (geotekstiilid) ja tugevdamine (kootud geotekstiilid ja geovõrgud), aga ka filtreerimine (geotekstiilid), drenimine (geotekstiilid, drenmatid) ja vedelike liikumiste takistamine (geomembraanid, savimatid).



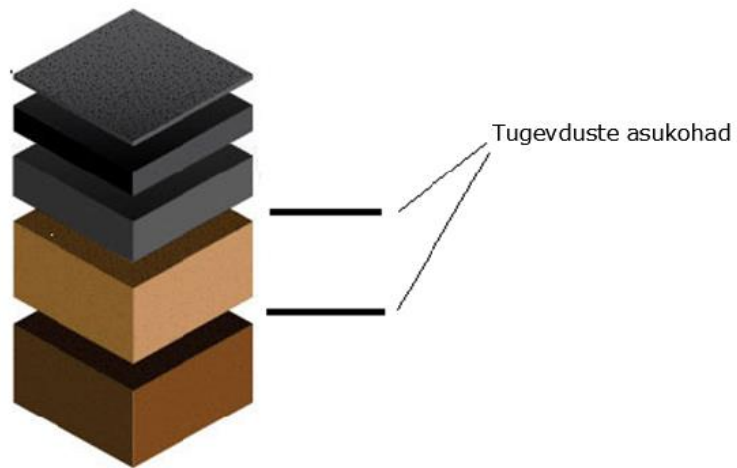
**Joonis 11.** Katendikihtide definitsioon

Suurendamaks teekatendi **vastupanu püsivatele deformatsioonidele** (roopad, ebäühtlased vajumid jms), kasutatakse enamasti geovõrke või geokomposiite (geovõrk ühendatud geotekstiiliga) kas kulumis-, siduv-, aluskihtides, aluses või drenkihis (Joonis 12). Geosünteesilise materjali valik ja selle paigutus sõltub probleemi ulatusest, katendis kasutatavatest materjalidest ning sellest, kas rajatakse uut teed või tehakse rekonstrueerimistöid.



**Joonis 12.** Geosünteeside võimalikud asukohad roobaste vastu

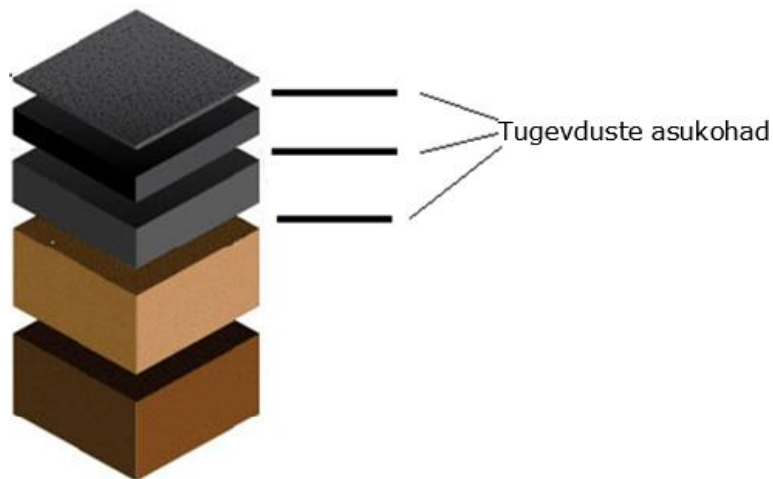
Suurendamaks teekatendi **kandevõimet** tuleks geosüntees paigaldada kõige nõrgema kandevõimega kihile võimalikult lähedale, milleks on reeglina muldkeha/teekatendi alla jääv konstruktsioon või looduslik pinnas. Üheks võimaluseks on suurendada katendikihtide paksusi halvema kandevõimega materjali peal, teiseks võimaluseks on kasutada armeerivaid geosünteesi (geovõrgud või kootud geotekstiilid). Geosünteesilise materjali valik sõltub katendis kasutatud materjalidest ja tee tüübist (kas kattega või katteta). Kandevõimet parandab armeeriva geosünteesi paigaldamine alusele või katte alumisse kihti (Joonis 13).



**Joonis 13.** Geosünteetide asukohad kandevõime parandamiseks

Rekonstrueeritavate teede puhul põhjamaises kliimas on tihti probleemiks **külmakerked**, mis avalduvad ülespoole suunatud lükkejõuna ning seeläbi tekkivates pikipragudes. Tekkinud praod võimaldavad suurel hulgal vee sissepääsu teekatendisse, mis kahjustab seal kasutatavaid materjale ning halvendab kogu tee kandevõimet. Külmakerkepragunemise vastu tuleks geosünteet paigaldada katte pinnale võimalikult lähedale, mis ei ole siiski alati tehnoloogiliste võimalustega kooskõlas ja mistõttu võidakse materjal paigaldada ka sügavamale (Joonis 14).

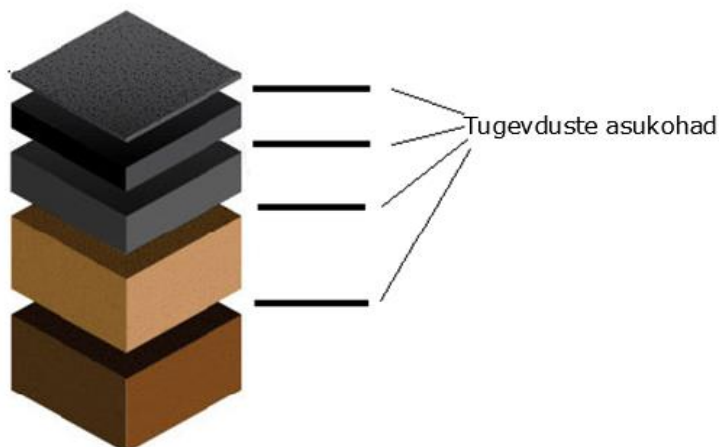
Külmakerked põhjustavad pinnase mahu muutust (suurenemist), st pinnase tihedus väheneb, mis suurendab ohtu püsivate deformatsioonide tekkele. Pinnase sulamisel vabaneb ka palju vett, mis vähendab külmakerkeliste pinnaste kandevõimeid suures ulatuses. Taoliste nähtuste vastu saab kasutada geosünteete sarnaselt kandevõime parandamisega.



**Joonis 14.** Geosünteetide asukohad külmakerke vastu

Olemasolevate teede rekonstrueerimisel on tihti eesmärgiks vältida vanas tees olnud põikpragude uuestiavaldumist uue teekatte pinda (**peegelduspragunemine**). Põikpraod võivad olla põhjustatud mõnest tsementeerunud kihist või vanast asfaltkattest. Olenevalt probleemi algallikast ja rekonstrueerimistööde mahukusest võib geosünteete kasutada (Joonis 15) kujutatud kohtades. Peegelduspragude vastu töötades geosünteet kas leevendab pingeid (asfaldivõrgud) või tekitab kihtide vahele „padja“ (asfaldivõrgud, SAMI vahekiht), mis

võimaldab selle all ja peal oleva kihi omavahelist liikumist takistades prao edasikandumist (täpsemalt peatükis 2.1).



**Joonis 15.** *Geosünteedide asukohad peegelduspragude vastu*

**11.4.3 Geosünteedide omadused ja valiku põhimõtted.** Iga ehitusprojekti õnnestumiseks on kolm eeldust, mis peavad kõik olema täidetud:

- kvaliteetne projekt, sh põhjalikud eeluuringud, milles on arvestatud kõikide oluliste teguritega;
- korralik ehitamine;
- kvaliteetsed materjalid vastavalt projekti eripäradele.

Nõuded geosünteedilistele materjalidele on esitatud vastavatele kasutuskohtadele eraldi harmoniseeritud standardites või EOTA (*European Organisation for Technical Assessment*) tehnilises kirjelduses, milleks on:

- EVS-EN 15381 Geotekstiilid ja geotekstiilpõhised tooted. Nõutavad omadused kasutamisel asfaldikihis (Joonis 16).



**Joonis 16.** *Geosünteedide kasutamine asfaltbetoonkihtides*

- EVS-EN 13249 Geotekstiilid ja analoogne funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused teede ja muude liiklusalade (v.a raudteed ja asfaldikihid) ehitamisel (Joonis 17).



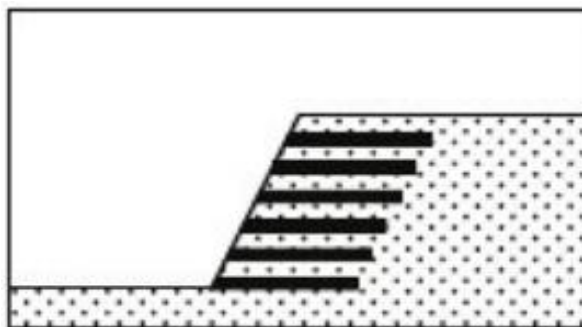
**Joonis 17.** *Geosünteedide kasutamine teekatendites*

EVS-EN 13250 Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused raudteede ehitamisel (Joonis 18).

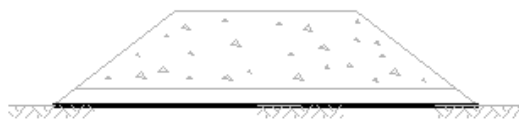


**Joonis 18.** *Geosünteedide kasutamine raudteede ehitamisel*

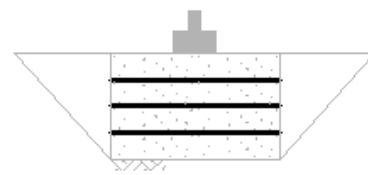
- EVS-EN 13251 Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused kasutamiseks mullatöödel ning vundamentides ja tugikonstruktsioonides (Joonis 19-1). Täpsemalt saab kasutuskohad tuua välja joonise 19-2 abil.



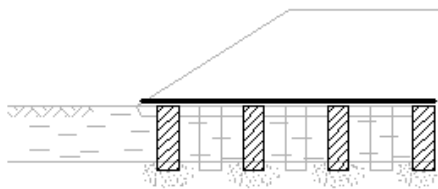
**Joonis 19-1.** *Geosünteedide kasutamine mullatöödel, vundamentides ja tugikonstruktsioonides*



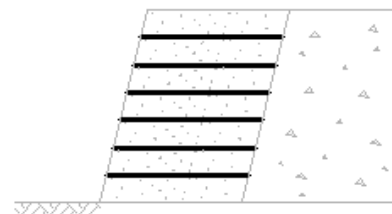
Muldkeha pehmetel pinnastel



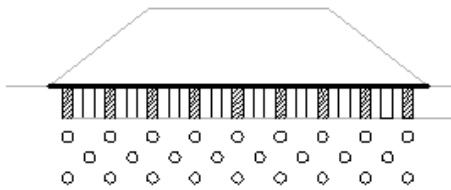
Tugevdatud vundamendi padjad



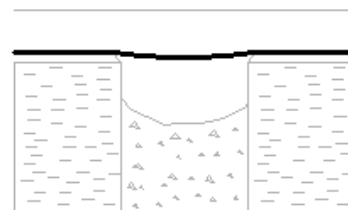
Tugevdatud maapinna struktuurid üle teatud punkti või sirgete elementide



Tugikonstruktsioonid



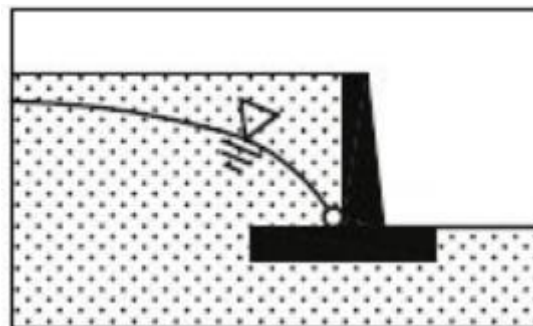
Geosüntetidest kapslis sambad



Sillaületus süsteemid vajuma kalduvatel aladel

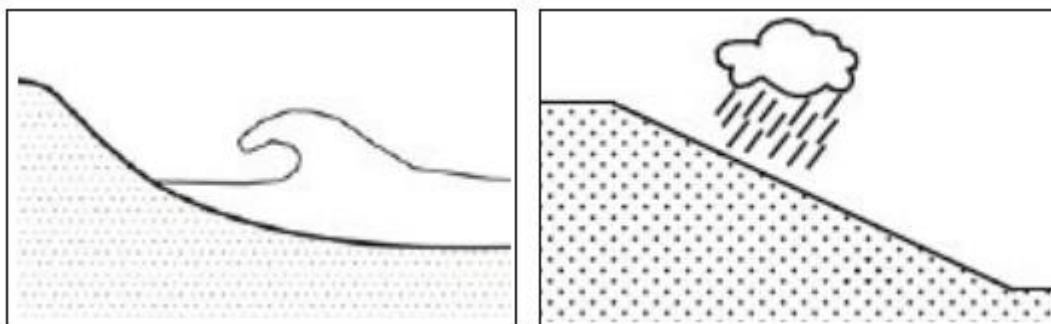
**Joonis 19-2.** Geosüntetide kasutamine mullatöödel, vundamentides ja tugikonstruktsioonides

- EVS-EN 13252 Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused drenaažisüsteemide rajamisel (Joonis 20).



**Joonis 20.** Geosüntetide kasutamine drenaažisüsteemides

- EVS-EN 13253 Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused erosioonitõrjeks (rannäärased alad ja nõlvad) (Joonis 21).



**Joonis 21.** Geosünteedide kasutamine erosioonitõrjeks rannäärsetel aladel ja nõlvadel

EOTA Tehniline raport nr 41 Mitteammeriv kuusnurkse struktuuriga geovõrk sidumata täitematerjali kihtide stabiliseerimiseks täitematerjali osakeste lukustamise kaudu.

## 12 ÜLDISELT KATENDI TUGEVUSE JA KÜLMAKINDLUSE ARVUTUSEST

### 12.1 Katendi arvutamine koormusele $Q$ ( $V_1$ või $V_2$ / ööp)

Katendid arvutatakse tugevusele ja külmakindlusele. Järgnevalt käsitletakse ainult riigiteede sõidutee katendi tugevusarvutust dünaamilisel koormamisel T12.1. Teiste omanike valduses olevate **teede ja rajatiste** katendite jaoks peab projekteerija kasutama riigitee klassile vastavat analoogi.

**Tabel T12.1.** Katendite dünaamilisele koormusele ja külmakindlusele arvutamise üldskeem

| Katend  | Tugevusele dünaamilisel koormamisel |                |                                                                        |                                                                 | Kogu katend<br><b>külmakindlusele</b> |
|---------|-------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|         | Kogu katend elastsele vajumile      | Pinnas nihkele | Asfaltbetoon, mineraalse ja komplekssideainega töödeldud kihid tõmbele | Sideainega töötlemata ehitusmaterjalid (v.a. killustik) nihkele |                                       |
| Püsi-   | +                                   | +              | +                                                                      | +                                                               | +                                     |
| Kerg-   | +                                   | +              | +                                                                      | +                                                               | +                                     |
| Siirde- | +                                   | +              | -                                                                      | -                                                               | +                                     |
| Liht-   | +                                   | -              | -                                                                      | -                                                               | -                                     |

Lubatavale elastsele vajumile ja külmakindlusele arvutamisel vaadeldakse kogu katendit tervikuna. Lubatavatele nihke- ja tõmbepingetele arvutatakse ainult katendi üksikkihid.

Kahtluse korral, millised kihid ja millele arvutatakse – selgub see täpsemalt materjalide (ja pinnaste) tugevuskarakteristikuist (L1 ja L2). Näiteks, kui mingi materjali või pinnase tugevuskarakteristikute tabelis on toodud tõmbetugevused, siis tuleb vastav kiht arvutada ka tõmbele; kui esinevad suurused  $F^\circ$  ja  $C$ , siis nihkele.

Katendit kui mitmekihilist konstruktsiooni pole võimalik tugevusarvutuste alusel täies ulatuses dimensioneerida. Seetõttu katendi tugevusarvutus on sisuliselt etteantud konstruktsiooni kontrollarvutus. On võimalik ainult ühe kihi paksuse määramine kui kõigi teiste kihtide paksused on teada.



Katendi võib lugeda arvatuks siis, kui kõikide tugevuskriteeriumite tugevusvaru on positiivne ja kolmest tugevuskriteeriumist ühe tugevusvaru on vahemikus 0 kuni +5% (tehniliselt märkusega põhjendatult ka veidi suurem, nt tehnoloogilise min kihi nõuded vaja tagada vms).

Enamikel juhtudel pole võimalik seda 0 kuni 5% nõuet täita kõigi kolme tugevuskriteeriumi (elastne vajum, tõmbe- ja nihkepinged) puhul. Sageli määravad nihkepinged katendi dimensioonid, aga lubatava vajumi ja tõmbepingete järgi osutub katend üle dimensioneerituks. Järelikult peab see 5% nõue olema täidetud vähemalt ühe, määravaks osutuva, tugevustingimuse juures. Kui katendi paksus tugevusarvutuste järgi osutub väikesemaks külmakindlusele arvatud paksusest, siis on viimasega määratud katendi dimensioonid. **Sel juhul tuleb projekteerijal:**

- kaaluda katendi ümberprojekteerimist, vähendades katte ja aluse paksust kuni konstruktiivse miinimumini, kuid suurendades dreenikihi või külmakaitsekihi paksust selliselt, et katendi kogupaksus vastaks külmakindluse järgi arvatud paksusega;
- võtta tarvitusele meetmed veetaseme alandamiseks ning teostada uus arvutus.

**Etapiviisiline ehitus.** Katendi etapiviisilisel ehitusel, kui kulumiskiht paigaldatakse hiljemalt **7-ndal aastal tee kavandatud** ehituse valmimisest, teostatakse kaks arvutust:

- konstruktsioonile enne kulumiskihi paigaldamist, koormusele mis vastab koormussagedusele vahetult enne kavandatud kulumiskihi paigaldamist – seejuures võivad katendi tugevusvaru näitajad olla kuni 5% ulatuses negatiivsed.
- konstruktsioonile koos kulumiskihiga, koormusele mis vastab katendi maksimaalsele koormussagedusele, kusjuures negatiivne tugevusvaru ei ole lubatud, samas ei esitata ka maksimaalse tugevusvaru nõuet (eeltoodud positiivne 5%), seega lõpliku konstruktsiooni tugevusvaru võib olla suurem.

Etapiviisilisel ehitusel kontrollitakse katendi summaarse ressursi vastavust. Selleks leitakse mõlema konstruktsiooni (enne ja pärast kulumiskihi paigaldamist) maksimaalne arvutuslik koormussagedus (ja sellele vastav summaarne normtelgede arv korrutades sageduse konstandiga 5000), mille korral tugevusvaru ei lähe üheski parameetris negatiivseks. Leitakse ressursi kasutuse protsent kummalgi juhul (prognoosi järgne summaarne normtelgede arv vastava konstruktsiooni tööea jooksul jagatuna vastava konstruktsiooni ressursile). Summeerides selliselt leitud ressursikasutuse (enne ja pärast kulumiskihi paigaldust) ei tohi summa ületada 100%.

Katendi, kui mitmekihilise konstruktsiooni tugevusarvutuseks puudub korrektne kasutajale kõlbulik teoreetiline lahend, mistõttu inseneripraktikas rakendatakse lihtsustatud matemaatilisi aproksimatsioone (valemitena) või nomogrammide järgi arvutamist. Peamine lihtsustus seisneb selles, et mitmekihiline konstruktsioon asendatakse kahe(kolme)kihiliste (ekvivalentsete) konstruktsioonidega.

Katendi tugevusarvutuse soovituslik järjekord:

- 1) lubatavale elastsele vajumile;
- 2) lubatavatele nihkepingetele pinnases;
- 3) sideainetega töötlemata kihid lubatavatele nihkepingetele;
- 4) asfaltbetoon lubatavatele tõmbepingetele ja
- 5) monoliitne vahekiht lubatavatele tõmbepingetele (eeldab käsitsiarvutust kuna KAP seda ei lahenda).

## 12.2 Katendi arvutamine koormusele Q ( $V_3$ / ööp)

Kui koormuseks on Q ( $V_3$  / ööp), siis katendit ei arvutata elastsele vajumile, küll aga nihkepingetele ja (tõmbele töötavad) sideainetega töödeldud kihid tõmbele ning kogu katend külmakindlusele.

## 12.3 E-moodulite tähistusest

- $E_1$ ,  $E_2$  ja  $E$  on bituumensideainega töödeldud kihtide (mõne erandiga peamiselt asfaltbetoonid)
- temperatuurist sõltuvate materjalide E-moodulid;
- eraldi pole tähistatud nende materjalide E-mooduleid, mis ei sõltu temperatuurist;
- $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  tähendavad enamikel juhtudel 2- või 3-kihilise asenduskonstruksiooni
- E-mooduleid; nomogrammid ja arvutusvalemid tuginevad sellele tähistusele;
- $E_i$ , näiteks  $E_1$  või  $E_2$  ..., tähendab üksikkihi E-moodulit.

Kirjeldatud tähistuste sisu selgub täpsemalt konkreetsete arvutuste juures.

# 13 KATENDI TUGEVSARVUTUS

## 13.1 Katendi arvutamine elastsele vajumile

Pinnaste ja materjalide E-moodulid on toodud L1 ja L2. Lubatavale elastsele vajumile arvutamisel tuleb asfaltbetoonide E-moodulid võtta  $10^\circ$ ; muude materjalide ja pinnaste E – moodulid ei sõltu temperatuurist.

Katendi arvutamine lubatava elastse vajumi järgi tugineb vajaliku elastsusmooduli  $E_{vaj}$  määramisele valemi (13.1) järgi:

$$E_{vaj} = a * \log(Q) + b \quad (13.1)$$

Q – (ennustuslik) koormussagedus,  $V_1$  / ööp või  $V_2$  / ööp

$E_{vaj}$  arvutamisel peab Q arvuline väärtus olema minimaalselt 2

Valemit (13.1) ei või kasutada  $V_3$  järgi määratud koormussageduse puhul;

$V_1$  ja  $V_2$  on defineeritud P10.

**Tabel T13.1.**

|          | Koormus Grupp | a  | b  |
|----------|---------------|----|----|
| Veoauto  | A             | 70 | 56 |
|          | B             | 70 | 0  |
| Autobuss | A             | 77 | 62 |
|          | B             | 77 | 0  |

Kui  $E_{vaj}$  on määratud, tuleb seda võrrelda normis toodud suurustega.

Minimaalsed E – moodulid  $E_{min}$ , Mpa on määratud projekteerimisnormides.

Osutub  $E_{vaj}$  neist väiksemaks, tuleb katend projekteerida normis sätestatud  $E_{min}$  järgi.

Asfaltkatte projekteerimisel IV-VI klassi teedele on soovitatav näha ette vedelamate bituumenite kasutamine (100/150 või 160/220 kuigi EVS 901-3 ei käsitle 160/220 kasutamist), sest madalama  $E_{\text{üld}}$  puhul on deformatsioonide risk suurem ja sel juhul ei too deformatsioonid kaasa suurt pragunemisriski.

Kui liiklusvoog ei sisalda arvutusveokeid  $V_1$  või  $V_2$ , projekteeritakse katend  $E_{\text{min}}$  järgi.

Kui katendit arvutatakse  $E_{\text{min}}$  järgi, siis sellele vastav  $Q$  tuleb määrata järgmise valemi abil:

$$Q = 10^{(E_{\text{min}} - b) / a} \quad (13.2)$$

Juhindudes mitmesugustest tüüplahendustest, võttes aluseks valemi (13.1) ja T13.2 andmestiku, P11 konstrueerimisreeglid ning projekteerija enda kogemused, projekteeritakse katend, s.o määratakse kihtide järjestus, valitakse kihtide materjalid, viimaste tugevuskarakteristikud ja kihtide paksused.

Järgneb projekteeritud katendi üldise elastsusmooduli  $E_{\text{üld}}$  arvutamine nomogrammi (L4.2) abil ja selle  $E_{\text{vaj}}$  võrdlemine.

Nomogramm (L4.2) on kasutatav ainult siis, kui tugevad ja nõrgad kihid ei asetse katendis vaheldumisi.

Kui tugevad ja nõrgad kihid asetsevad katendis vaheldumisi, tuleb  $E_{\text{üld}}$  arvutamisel kasutada valemit (13.3):

$$E_{\text{üld}} = \frac{k_0 * E_2}{\frac{1 + E_2 / E_1}{\sqrt{1 + 4 * (h / d)^2 * (E_2 / E_1)^{-2/3}}} + E_2 / E_1} \quad (13.3)$$

Kui  $E_2 = E_{\text{pinnas}}$ , siis  $k_0 = 1,0$  ning muudel juhtudel  $k_0 = 1,05$

$E_{\text{üld}}$  arvutamisel, nomogrammi L4.2 või valemi (13.3) abil, asendatakse mitmekihiline tegelik konstruktsioon kihtide kaupa 2-kihilistega.

Olgu meil näiteks 5-kihiline katend (5.kiht on pinnas):

- 1.asendus koosneb pinnasest ja 4.kihist  $E$ -moodulitega vastavalt  $E_5$  ja  $E_4$  ning paksusega  $h_4$ ; arvutusest saadakse  $E_{\text{üld},3}$  4.kihi peal; nomogrammi kasutamisel on vaja eelnevalt arvutada  $h_4/d$  ja  $E_5/E_4$  ;
- 2.asendus koosneb kihist, millele on omistatud  $E_{\text{üld},3}$  ja 3.kihist paksusega  $h_3$  ning  $E$ -mooduliga  $E_3$  ;arvutustest saadakse  $E_{\text{üld},2}$  3.kihi peal; nomogrammi kasutamisel on vaja eelnevalt arvutada  $h_3/d$  ja  $E_{\text{üld},3}/E_3$
- 3.asendus koosneb kihist, millele on omistatud  $E_{\text{üld},2}$  ja 2.kihist paksusega  $h_2$  ning  $E$ -mooduliga  $E_2$  ; arvutustest saadakse  $E_{\text{üld},1}$  4.kihi peal; nomogrammi kasutamisel on vaja eelnevalt arvutada  $h_2/d$  ja  $E_{\text{üld},2}/E_2$
- 4.asendus koosneb kihist, millele on omistatud  $E_{\text{üld},1}$  ja 1.kihist paksusega  $h_1$  ning  $E$ -mooduliga  $E_1$  arvutustest saadakse kogu katendi  $E_{\text{üld}}$  .

Tabel T13.3. E<sub>üld</sub> arvutamise skeemKatendi E<sub>üld</sub> arvutamise skeem

T13.3

| Tegelik konstruktsioon                                                                                                                                                                                         | 1.asendus                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.asendus                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 3.asendus                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4.asendus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div> <math>h_1, E_1</math><br/> <math>h_2, E_2</math><br/> <math>h_3, E_3</math><br/> <math>h_4, E_4</math> </div> <p>Pinna <math>E_5</math><br/>Kihtide E-moodulid ja paksused <math>h_i</math> on teada</p> | <div> <math>\nabla E_{\text{üld},3}</math><br/> <math>h_4, E_4</math> </div> <p>Pinna <math>E_5</math><br/>Arvutatakse kihte, E-moodulitega <math>E_4</math> ja <math>E_5</math>, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on <math>E_{\text{üld},3}</math></p> | <div> <math>\nabla E_{\text{üld},2}</math><br/> <math>h_3, E_3</math><br/> <math>\blacktriangle E_{\text{üld},3}</math> </div> <p>Arvutatakse kihte, E-moodulitega <math>E_3</math> ja <math>E_{\text{üld},3}</math>, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on <math>E_{\text{üld},2}</math></p> | <div> <math>\nabla E_{\text{üld},1}</math><br/> <math>h_2, E_2</math><br/> <math>\blacktriangle E_{\text{üld},2}</math> </div> <p>Arvutatakse kihte, E-moodulitega <math>E_2</math> ja <math>E_{\text{üld},2}</math>, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on <math>E_{\text{üld},1}</math></p> | <div> <math>\nabla E_{\text{üld}}</math><br/> <math>h_1, E_1</math><br/> <math>\blacktriangle E_{\text{üld},1}</math> </div> <p>Arvutatakse kihte, E-moodulitega <math>E_1</math> ja <math>E_{\text{üld},1}</math>, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on <math>E_{\text{üld}}</math>; viimane on n-kihilist (antud juhul <math>n=5</math>) tarindit asedava ekvivalentse kihi E-moodul</p> |
| <b>SELLEKS</b>                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Nomogrammi horisontaaltelje jaoks arvutatakse :                                                                                                                                                                | $h_4/d$                                                                                                                                                                                                                                                          | $h_3/d$                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $h_2/d$                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $h_1/d$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Nomogrammi vertikaaltelje jaoks arvutatakse :                                                                                                                                                                  | $E_5/E_4$                                                                                                                                                                                                                                                        | $E_{\text{üld},3}/E_3$                                                                                                                                                                                                                                                                               | $E_{\text{üld},2}/E_2$                                                                                                                                                                                                                                                                               | $E_{\text{üld},1}/E_1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Nomogrammi skeem                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Nomogrammilt saadakse suhte $E_{\text{üld},i-1}/E_i$ arvuline väärtus $a$                                                                                                                                      | $E_{\text{üld},3}/E_4 = a_1$<br>$i = 4$                                                                                                                                                                                                                          | $E_{\text{üld},2}/E_3 = a_2$<br>$i = 3$                                                                                                                                                                                                                                                              | $E_{\text{üld},1}/E_2 = a_3$<br>$i = 2$                                                                                                                                                                                                                                                              | $E_{\text{üld}}/E_1 = a_4$<br>$i = 1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Arvutatakse                                                                                                                                                                                                    | $E_{\text{üld},3} = E_4 * a_1$                                                                                                                                                                                                                                   | $E_{\text{üld},2} = E_3 * a_2$                                                                                                                                                                                                                                                                       | $E_{\text{üld},1} = E_2 * a_3$                                                                                                                                                                                                                                                                       | $E_{\text{üld}} = E_1 * a_4$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Tugevustingimuseks katendi arvutamisel lubatava vajumi järgi on:

$$E_{\text{üld}} \geq E_{\text{vaj}} * K_{\text{tt}} \quad (13.4)$$

$$\text{või} \\ E_{\text{üld}} \geq E_{\text{min}} * K_{\text{tt}} \quad (13.5)$$

E-moodulite  $E_{\text{üld}}$ ,  $E_{\text{vaj}}$  ja  $E_{\text{min}}$  järgi arvutamine sisaldab lubatavat vajumit järgmiselt:

$$E_{\text{vaj}} = p * d * (1 - \eta^2) / s \quad (13.6)$$

Võrdsustades valemid (13.1) ja (13.6), on võimalik arvutada lubatavat vajumit  $s$ . Antud juhul  $\eta = 0,3$ .

$$s = p * d * (1 - \eta^2) / [a + b * \log(Q)], \text{ cm} \quad (13.7)$$

Toimides **Juhendi** järgi, pole siin ega edaspidi vaja teada lubatava vajumise väärtust, küll aga mõnesuguste juhendiväliste arvutusega kaasnevate probleemide lahendamisel.

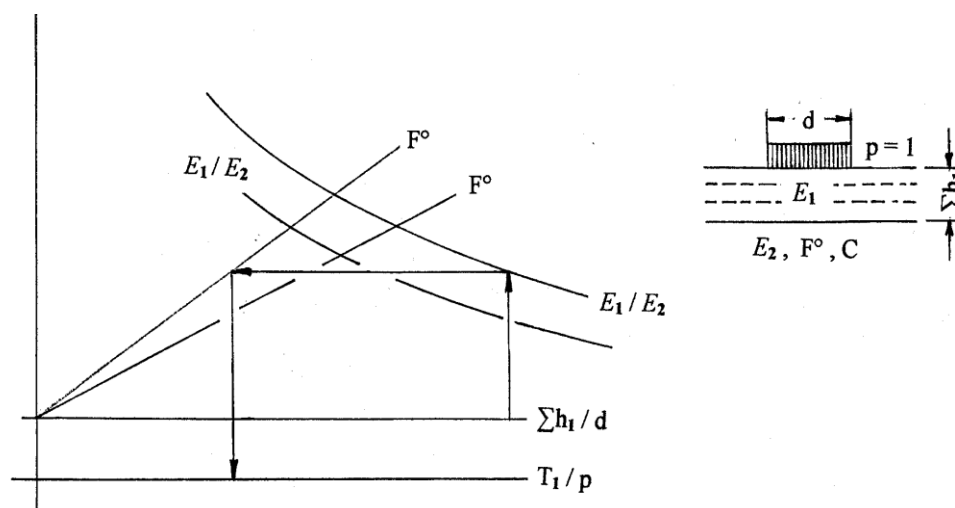
## 13.2 Katendi kihtide ja pinnase arvutamine nihkele

Nihkepinged katendi sideainetega töötlemata kihtides ja pinnases tekivad liikuvast koormusest ning neil lasuvate kihtide massist. Arvutamisel lubatavale nihkele tuleb bituumensideainetega töödeldud materjalide E-moodulid võtta 20°C juures; muude materjalide ja pinnaste omadused ei sõltu temperatuurist. Nihkepinged arvutatakse nihkele töötava kihi (pinnase) ülapinnas. Arvutamisel asendatakse tegelik mitmekihiline konstruktsioon 2 - kihilisega:

- esimeseks kihiks on kõik kihid, mis lasuvad kihil (pinnasel), mida arvutatakse nihkele, kokku; selle summaarse kihi paksus on  $\Sigma h_1$  ja E – mooduliks on kaalutud keskmine elastsusmoodul  $E_1$ ;
- teiseks on kiht (pinnas), tugevuskarakteristikutega  $E_2$ ,  $F^\circ$  ja  $C$  (tabelist L1.T5), kus arvutatakse nihkepinged; selle kihi paksust pole arvutustes vaja;
- selliseid 2 – kihilisi asendusi on sama palju kui on nihkele töötavaid materjalikihte + pinnas, s.o iga nihkele töötava kihi ja pinnase jaoks on üks 2 – kihiline asendus.

Kuigi kõik sideainega töötlemata materjalid töötavad nihkele, ometigi praktilistes arvutustes killustikkihti nihkele ei arvutata, sest mistahes koormuse ja koormussageduse puhul jäävad pinged lubatavatesse piiridesse; ka siis, kui killustikkiht asetseb vahetult pinnasel.

Nihkepingete arvutamisel pole tähtis, kas tugevad ja nõrgad kihid paiknevad katendis vaheldumisi või mitte. Nihkepinged liikuvkoormusest  $T_1$  arvutatakse (13.8) ja T11.4 valemite või nomogrammi L4.3 järgi.



**Joonis J13.1.** Nomogrammi ja selle kasutamise skeem.

J13.1. Nihkepinged liikuvkoormusest. Nomogrammi L4.3 kasutamiseskeem

$$T1 = p * 0,00459 * Z * 10^{-0,0132 * F}, \text{ Mpa} \quad (13.8)$$

**Tabel T13.4.**

| Valemid Z arvutamiseks                                                                                                                       | Nr.     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Kui <math>0,1 \leq \Sigma h_1 / d \leq 1,0</math> siis <math>Z = 1 / [a + b * (E_1 / E_2)]</math></b>                                     | (13.9)  |
| $a = 0,01041 + 0,05461 * (\Sigma h_1 / d) - 0,2029 * (\Sigma h_1 / d)^2 + 0,25405 * (\Sigma h_1 / d)^3 - 0,092 * (\Sigma h_1 / d)^4$         | (13.10) |
| $b = 10^{-4} [ 4,7102 - 47,39 * (\Sigma h_1 / d) + 230,25 * (\Sigma h_1 / d)^2 - 221,29 * (\Sigma h_1 / d)^3 + 75,73 * (\Sigma h_1 / d)^4 ]$ | (13.11) |
| <b>Kui <math>1,0 \leq \Sigma h_1 / d \leq 4,0</math> siis <math>Z = a' * (E_1 / E_2) b'</math></b>                                           | (13.12) |
| $a' = 275,48 - 334,12 * (\Sigma h_1 / d) + 162,32 * (\Sigma h_1 / d)^2 - 35,4 * (\Sigma h_1 / d)^3 + 2,87 * (\Sigma h_1 / d)^4$              | (13.13) |
| $b' = - 0,461 - 0,568 * (\Sigma h_1 / d) + 0,507 * (\Sigma h_1 / d)^2 - 0,17 * (\Sigma h_1 / d)^3 + 0,019 * (\Sigma h_1 / d)^4$              | (13.14) |

Valemites (13.8) - (13.14)

p – kontaktpinna erisurve; kui arvutusveokiks on  $V_1$ , siis  $p = 0,6$  Mpa;  $V_2$  ja  $V_3$  puhul p võrdub rehvirõhuga (kontaktpinna erisurve muutmine ei ole soovitatav, kuna arvutusalgoritmid on kontrollitud vaid normatiivse surve korral);

F – nihkele arvutatava kihi (materjali) või pinnase sisehõõrdenurk L1.T5;

d – katte ja ratta kontaktpinnaga pindvõrdse ringi läbimõõt, cm;

$E_1$ - pinnasest või kihist, kus arvutatakse nihkepinged, ülalpool asetsevate kihtide kaalutud keskmine E-moodul, Mpa;

$\Sigma h_1$  - pinnasest või kihist, kus arvutatakse nihkepinged, ülalpool asetsevate kihtide paksuste summa;

$$E1 = (h_1 * E_1 + h_2 * E_2 + \dots + h_n * E_n) / \Sigma h_1, \text{ Mpa} \quad (13.15)$$

$H_i$  ja  $E_i$  – pinnasest või kihist, kus arvutatakse nihkepingeid, ülalpool asetsevate kihtide E-moodulid ja paksused;  $i = 1 \dots n$ ;

n - pinnasest või kihist, kus arvutatakse nihkepinged, ülalpool asetsevate kihtide arv;

$E_2$  – pinnase või selle kihi, kus arvutatakse nihkepinged, elastsusmoodul, Mpa.

Pinnasest või kihist, kus arvutatakse nihkepinged, ülalpool asetsevate kihtide massist põhjustatud nihkepinged  $T_2$  arvutatakse valemi (13.16) järgi .

$$T_2 = 10^{-5} * \Sigma_{h1} * (5 - 0,3 * F) , \text{ MPa} \quad (13.16)$$

Lubatavad nihkepinged  $T_0$  arvutatakse valemi (13.17) järgi:

$$T_0 = k_1 * k_2 * k_3 * C / K_{tt} , \text{ Mpa} \quad (13.17)$$

$k_1$  – koormamise viisi tegur  $k_1 = 0,6$  ;

$k_2$  - korduvkoormamise tegur  $k_2 = 1,82 - 0,345 * \log (Q)$ ; (13.18)

$k_3$  –kihtide seotistegur  $k_3 = 9,5$  – optimaalse terastikuga kruusliiv;  
 $k_3 = 8,0$  – kruus;  
 $k_3 = 7,0$  – jämeliiv, kruusliiv;  
 $k_3 = 6,0$  – keskliiv;  
 $k_3 = 5,0$  – peenliiv;  
 $k_3 = 4,0$  – ühtlase terastikuga liiv;  
 $k_3 = 3,0$  – tolmlüiv, jäme saviliiv;  
 $k_3 = 1,5$  – siduspinnased (savikad pinnased).

$C$  – pinnase või kihi materjali, kus arvutatakse nihkepinged, nidusus L1.T5, Mpa;

$K_{tt}$  – tugevustegur.

Kasutamaks valemeid või nomogramme, tuleb arvutada suhe  $\Sigma_{h1} / d$  ja  $E_1 / E_2$  .

Katendi tugevus on tagatud, kui nihkele töötavate kihtide ja pinnase puhul

$$\begin{aligned} T_0 &\geq T_3 \\ T_3 &= T_1 + T_2 \end{aligned} \quad (13.19)$$

Kui tingimus (13.19) pole täidetud, tuleb suurendada kihtide, mis asetsevad ülalpool kihti, kus arvutatakse nihkepinged, paksusi või valida suuremate E-moodulitega materjalid. Seejuures kihi, mida arvutatakse nihkele, paksust võib vähendada konstruktiivse miinimumini, kui seda võimaldavad teised asjaolud. Tavaliselt on ehitusmaterjalid ette antud. Sel juhul on ainukeseks võimaluseks kihtide paksuse suurendamine. Nihkepinged ei sõltu nihkele arvutatava kihi paksusest, katendi ega selle kihtide peal  $E_{\text{all}}$ .

### 13.3 Asfaltbetooni arvutamine tõmbele

Tõmbepinged  $R_1$  arvutatakse asfaltbetooni kõigi kihtide alapinnas, s.o kui meil on 2-kihiline asfaltbetoon, siis alakihi alapinnas; ühekihilise asfaltbetooni puhul selle alapinnas. Asfaltbetooni arvutamisel lubatavale tõmbele võetakse asfaltbetoonide elastsusmoodulid  $0^\circ\text{C}$  , muude materjalide omad ei sõltu temperatuurist L.

Nagu nihkepingete arvutamisel, asendatakse ka siin, kuigi natuke teisiti, mitmekihiline katend, kahekihilisega. Üheks kihiks on asfaltbetoon - ühe või enamakihtiline. Kui see koosneb mitmest (tavaliselt kahest kihist), siis käsitletakse seda tõmbele arvutamisel ühekihilisena, kogupaksusega  $\Sigma_{h1} = h_1 + h_2$ ; on tegemist kolmekihilise asfaltbetooniga, siis  $\Sigma_{h1} = h_1 + h_2 + h_3$ . Seejuures pole tähtis, kas esimesed kihid (nt kergasfaltbetoon) töötavad tõmbele. Oluline on, et ühekihiline või mitmekihilise asfaltbetooni alumine kiht töötab tõmbele.

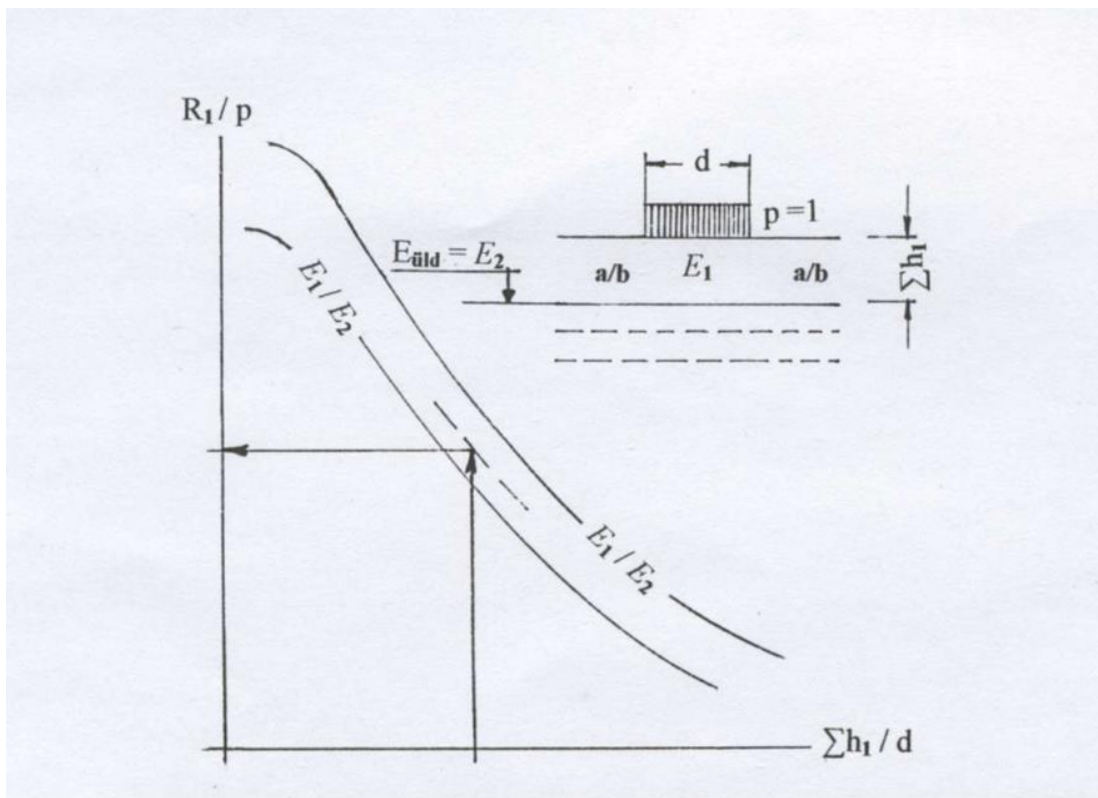
Selle esimese kihi, mille paksus on  $\Sigma_{h1}$  , tugevuskarakteristikuteks on kaalutud keskmine E-moodul  $E_1$ , mis arvutatakse (13.15) abil ja asfaltbetooni alakihi tõmbetugevus R.

Asfaltbetoonide tugevuskarakteristikud on toodud L2.T1.

Teine kiht moodustub asfaltbetooni all asetsevatest kihtidest, mille tugevuskarakteristikuks on  $E_{\text{äld}} = E_2$  asfaltbetooni alla jääva kihti peal.

Tõmbepingeid võib arvutada valemite või nomogrammi L4.4 abil. Nomogrammi ja selle kasutamise skeem on J13.1.

Kasutamaks valemeid või nomogrammi, tuleb arvutada suhe  $\Sigma h_1 / d$  ja  $E_1 / E_2$ . Valemid on järgmised:



**Joonis J13.1.** Nomogrammi kasutamise skeem



Lubatavad tõmbepinged asfaltbetoonis  $R_0$  arvutatakse (13.22):

$$R_0 = R * (1 - t * v) * k_5 * k_6 / K_{tt} \quad (13.22)$$

$p$  – kontaktpinna erisurve; kui arvutusveokiks on  $V_1$ , siis  $p = 0,6$  Mpa;

$R$  – asfaltbetooni tõmbetugevus, Mpa;

$t$  – normhälbe tegur L1.T4;

$K_{tt}$  – tugevustegur T6.1;

$v$  – variatsioonitegur; kui  $R$  on määratud labori- või väliteimiga ning määramiste arv on  $> (10 \dots 15)$ , siis variatsioonitegurit on võimalik arvutada; kui  $R$  võetakse tabelist L2.T1, siis  $v = 0,1$ ;

$k_4$  – rattategur  $k_4 = 0,85$  kui enimkoormatud teljel on paarisrattad (üldjuhul);  
 $k_4 = 1,00$  kui enimkoormatud teljel on üksikrattad (erikoormuste korral ning juhul, kui liiklusvoos on autorongide osakaal kõrge ja kasutusel valdavalt super-single rehvitüüp);

$k_5$  – väsimustegur  $k_5 = (Q / 1000)^{-x}$ ; (13.23)  
 $x = 0,16$  asfaltbetoonid bituumeni penetratsiooniga  $< 130$  (0,1 mm) (kuumad segud);  
 $x = 0,27$  asfaltbetoonid bituumeni penetratsiooniga  $> 130 \dots < 200$  (0,1 mm) (soojad segud)

$k_6$  - materjalitegur:  $k_6 = 1,0$  asfaltbetoon tardkivikillustikust;  
 $k_6 = 0,9$  lubjakivikillustikust;  
 $k_6 = 0,8$  kruuskillustikust;  
 $k_6 = 0,7$  kruusast

Katendi tugevus on tagatud, kui asfaltbetooni tõmbepinged

$$R_1 \leq R_0 \quad (13.24)$$

Kui tingimus (13.24) pole täidetud, tuleb:

- suurendada ükskõik millise kihi paksust; mõjusaim on tugevamate kihtide, eriti asfaltbetooni paksuse suurendamine; tavaliselt piisab asfaltbetooni paksuse suurendamisest 1 cm võrra;
- kui millegipärast otsustatakse asfaltbetooni kihtide paksusi mitte suurendada, siis peab asendama allasetsevate kihtide materjale tugevamatega või suurendama esialgselt valitud materjalist kihtide paksusi.

Kui ehitusmaterjalid on ette antud, siis sel juhul on ainukeseks võimaluseks asfaltbetooni või allasetsevate kihtide paksuse suurendamine.

### 13.4 Aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihi arvutamine tõmbele

Alljärgnevalt nimetatakse aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihti monoliitvahekihi.

Monoliitvahekihi arvutamisel lubatavale tõmbele võetakse asfaltbetooni E-moodulid  $20^\circ\text{C}$ , teiste materjalide ja pinnaste omad temperatuurist sõltumatult.

Monoliitvahekihiga katend asendatakse vahekihi tõmbele arvutamisel kolmekihilisega:

- monoliitvahekihi peal asetsevad kihid kokku moodustavad esimese kihi, mille tugevuskarakteristikuks on kaalutud keskmine E - moodul  $E_1$  ; see arvutatakse (13.15) abil;
- teiseks kihiks on monoliitvahekiht oma elastsusmooduliga  $E_2$  ;
- kolmas kiht moodustub monoliitvahekihi all asetsevatest kihtidest, mille tugevuskarakteristikuks on  $E_{\text{all}} = E_3$  monoliitvahekihi alla jääva kihi peal.

Tõmbepingete arvutamiseks on vaja teada ka monoliitvahekihi peal asetsevate kihtide + monoliitvahekihi paksust, s.o  $\Sigma h$ .

Tõmbepinged monoliitvahekihis arvutatakse (või nomogrammi L4.5 abil).

Nomogrammi ja selle kasutamise skeem on J13.3.

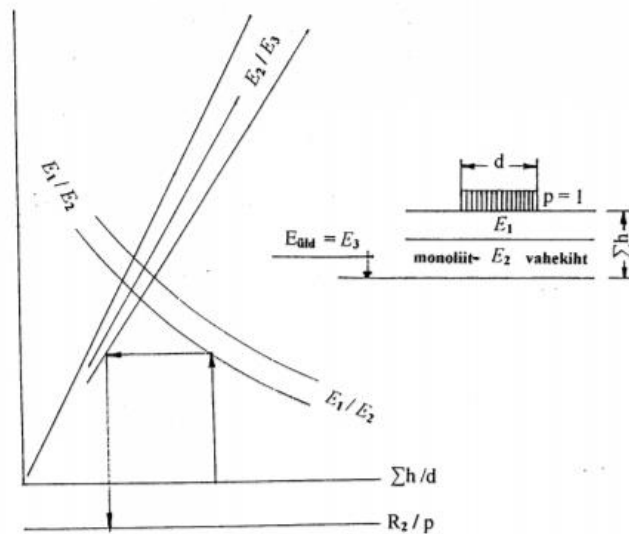
$$R_2 = [a * \text{EXP}(b * E_1 / E_2) + c] * \frac{(E_2 / E_3)^2 * p * k_4}{9,83 * (E_2 / E_3)^2 + 79,6 * (E_2 / E_3) - 5,8} \quad (13.28)$$

$$b = -0,124$$

$$a = 6,37701 * (\Sigma h / d)^{-0,87057} - 1,88424$$

$$c = 4,54964 * (\Sigma h / d)^{-1,4951} - 0,73075$$

$$k_4 = 1,0$$



**Joonis J13.3.** Monoliitvahekihi tõmbepinged. Nomogrammi L4.5 kasutamise skeem

Kasutamaks valemeid või nomogrammi, tuleb arvutada suhe  $\Sigma h/d$ ,  $E_1/E_2$  ja  $E_2/E_3$  .

Lubatavad tõmbepinged monoliitses vahekihis arvutatakse valemiga (13.29):

$$R_{02} = R_2 * k_5 / K_{tt} \quad (13.29)$$

$K_5$  arvutatakse valemiga (13.23), kuid siin  $x = 0,06$

Katendi tugevus on tagatud, kui

$$R_2 \leq R_{02}$$

(13.30)

Kui tingimus (13.30) pole täidetud, tuleb:

- suurendada ükskõik millise kihi paksust; mõjusaim on tugevamate kihtide, eriti asfaltbetooni paksuse suurendamine; tavaliselt piisab asfaltbetooni paksuse suurendamisest 1 cm võrra;
- kui millegipärast otsustatakse kihtide paksusi mitte suurendada, siis peab monoliitvahekihi all asetsevaid kihte asendama tugevamatega.

Tavaliselt on ehitusmaterjalid ette antud. Sel juhul on ainukeseks võimaluseks kihtide paksuse suurendamine.

### 13.5 Arvutuste täpsusest

Lähteandmetega tehtavatest eelarvutustest sõltuvad ka lõpptulemused. Erinevate vahenditega (nomogrammid, arvutiprogrammid, käsitsiarvutused) saadud tulemuste võrdlemise võimaldamiseks soovitatakse alljärgnevaid täpsusi:

- $h / d$  – kaks kohta peale koma;
- $\Sigma h_1 / d, \Sigma h / d$  – kaks kohta peale koma;
- kaalutud keskmine  $E$  – moodul – täisarv;
- $E_{\text{üld}}$  arvutamisel  $E_2/E_1$  ja  $E_{\text{üld}} / E_1$  – kolm kohta peale koma;
- Katendi  $E_{\text{üld}}$  ja  $E_{\text{üld}}$  kihtide peal – täisarvud;
- $E_1 / E_2$  – üks koht peale koma;
- $E, C$  ja  $F^\circ$  - täpsus nagu L1.T45
- $E_2 / E_3$  – üks koht peale koma;
- pinnase suhtelised niiskused – kaks kohta peale koma;
- nihkepinged – neli kohta peale koma;
- tõmbepinged – kaks kohta peale koma.

## 14 KATENDI ARVUTAMINE KÜLMAKINDLUSELE

Katendi külmakindluse arvutus seisneb tegelikult esineda võiva (eeldatava) külmakerke  $l_{kk}$  võrdlemises lubatavaga  $l$ , s.o

$$l > l_{kk}$$

(14.1)

Lubatavad külmakerked on järgmised:

- püsikatendid - 4 cm;
- kergkatendid, pinnatud kruuskatted – 6 cm;
- siirdekateendid – 10 cm

Külmakerke arvutamiseks J14.1 või (14.2) abil vajalikud suurused on järgmised:

- kliimategur  $\alpha_0 = 75, \text{ cm}^2/\text{ööp}$ ;
- arvutuslik külmumissügavus  $z = 125 \text{ cm}$  ;
- T12.1 pinnasetegur  $B, \text{ cm}^2/\text{ööp}$ ;
- katendi (soojustehniliselt) redutseeritud paksus  $z_1, \text{ cm}$ ;
- katendikihtide materjalide soojustehnilised ekvivalendid  $\epsilon_i$  (L3) ja
- pinnasee arvutuslik (max. teadaolev sügisene külmumiseelne) sügavus tee teljel  $H'$  (cm).

Täpsemate vaatlusandmete ja nõuete puudumisel tuleb arvutustes kasutada pinnasevee sügavusena sügisese külmumiseelse maksimaalse pinnasevee taseme (vastava eriala eksperdi)

hinnangut. Sügisese külmumiseelse maksimaalse pinnasevee taseme hinnangul tuleb juhinduda väliuuringute, eelnevate perioodide andmete ja küsitluste tulemustest. Ehitusgeoloogilise uuringu käigus saab ainult fikseerida olemasoleva taseme, taseme mõõtmise kuupäeval või perioodil. Hinnangut saab täpsustada vajadusel mõõtmistega, mõõtmiste periood peab hõlmama vähemalt üht sügisest maksimumi enne külmumist, soovitatavalt siiski rohkem.

$$L_{kk} = 1,67 * B * (H' / (z - z_1 / z)) * \{(2,8 * M - 1) * \exp[2,8 * (M - 1)] + 0,061\}, \text{ cm} \quad (14.2)$$

$$M = (125 - z_1) / (H' - z_1)$$

Kuna katendi- ja pinnasekihtidel on erinevad soojustehnilised parameetrid, siis võetakse see arvesse järgmiselt:

$$\text{katendi redutseeritud paksus } z_1 = h_1 * \epsilon_1 + h_2 * \epsilon_2 + h_3 * \epsilon_3 + \dots \quad (14.3)$$

$h_1, h_2, h_3, \dots$  - katendi- ja pinnasekihtide paksused;

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots$  - katendi- ja pinnasekihtide soojustehnilised ekvivalendid on L3.

Pinnaseteguri B määramiseks tuleb hinnata lõimist ja plastsust ning pinnase nimetust EVS järgi.

**Tabel T14.1.**

| Lõimis                  | Plastsus ( $W_{LR}$ ) | Klass | EVS nimetus                | B väärtus |
|-------------------------|-----------------------|-------|----------------------------|-----------|
| <0,1 mm üle 25%         | <10                   | B1    | siSa, clSa                 | 1         |
|                         | <10                   | B1    | saSi, saclSi, sasiCl, saCl | 2         |
|                         | <10                   | B1    | Si, clSi, siCl, Cl         | 4,0-4,5   |
| 0,2...2 mm >50%         | 10-25                 | A1    | siSa, clSa                 | 3         |
|                         | 10-25                 | A1    | saSi, saclSi, sasiCl, saCl | 3,5       |
| 0,063...2 mm $\geq$ 40% | 25-40                 | C1    |                            | 5-8       |
|                         | 40-50                 | C1    | siSa, clSa                 | 4-4,5     |
|                         | 40-50                 | C1    | saSi, saclSi, sasiCl, saCl | 3-3,5     |
| 0,063...2 mm <20%       | 10-25                 | D1    |                            | 5-8       |
| 0,063...2 mm 20%...40%  | 10-25                 | D1    |                            | 4-4,5     |
| 0,063...2 mm >40%       | 25-40                 | D1    |                            | 5-8       |
|                         | 40-50                 | D1    |                            | 4-4,5     |
|                         | 50-70                 | D1    |                            | 3-3,5     |

Märkus: Eeldatav külmakerge  $l_{kk}$  või  $z_1$ , määratuna J14.1 või (14.2) abil, vastab kõikide katenditüüpide (v.a lihtkatend) 3. paikkonna olukorrale. Kergkatetel tuleb külmakindluse arvutus teostada vaid juhul, kui B väärtus on vähemalt 5. Kui B väärtus on antud vahemikuna, kehtib alumine piir 1-2 niiskuspaikkonnas ja ülemine piir 3 niiskuspaikkonnas.

1.ja 2. paikkonnas toimub külmakindluse arvutus vastavalt T14.2 skeemile. See skeem kehtib ainult muldkeha normidekohase kõrgus puhul. Kui muldkeha on normidest madalam või asetseb süvendis, tuleb igal juhul katend arvutada külmakindlusele.

**Tabel. T14.2.**

|               | Paikkonna<br>tüübi nr. | Märkused                                                                                                                      |
|---------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Püsikatend    | 1                      | Külmakindlusele ei arvutata, kuid juhul, kui $B \geq 5$ , tuleb võtta meetmeid takistamiseks vee sattumist muldkehasse ülalt. |
| Püsikatend    | 2                      | $Z_{1,2} = 0,8 * z_1$                                                                                                         |
| Kergkatend    | 1                      | Külmakindlusele ei arvutata.                                                                                                  |
| Kergkatend    | 2                      | Külmakindlusele arvutatakse ainult juhul, kui $B \geq 5$                                                                      |
| Siirdekateend | 1 ja 2                 | Ei arvutata.                                                                                                                  |
| Lihtkatend    | 1, 2 ja 3              | Ei arvutata.                                                                                                                  |

J14.1 ja (14.2) võimaldab teha külmakindluse arvutusi olukorras, kus pinnasvee sügavus  $H$  pole suurem külmumissügavusest  $z = 125$  cm. Kui esineb olukord, kus  $z / H > 1,0$  (külmumissügavus ulatub pinnasvette), mis on eriti külmaohtlik, tuleb suurendada muldkeha kõrgust või alandada sügavdrenaažiga pinnasvee taset.

Kui tingimus (14.1) pole täidetud, tuleb katendi alumiste kihtide paksusi suurendada, lisada üks kruusa-(ülespoole drenikihti) või mõnest spetsiaalmaterjalist soojaisolatsioonikiht. Kuna viimast pole eesti teedehituses kasutatud, siis pole ka alljärgnevalt sellise kihi arvutamist käsitletud.

#### 14.1 Külmakaitsekihi materjal

Külmakaitsekihina võib kasutada looduslikku:

- kruusliiva, kui ta sisaldab kuni 10% peenosiseid, mis läbivad sõela 0.063 mm ja
- liiva või sõelmeid, mille massist vähemalt 90 % läbib sõela 2 mm; märgsõelumisel võib looduslik liiv sisaldada kuni 10% peenosiseid, mis läbivad sõela 0.063 mm.

#### 14.2 Katendi külmakindluse arvutamise näide

**Tabel T14.3.** Püsikatendi kihid

| nimetus             | Kihi                 |                                               |                          |
|---------------------|----------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|
|                     | paksus $h_i$ ,<br>cm | soojustehnilised<br>ekvivalendid $\epsilon_i$ | $Z_i = h_i * \epsilon_i$ |
| Tihe asfaltbetoon   | 6                    | 1,15                                          | 6,90                     |
| Poorne asfaltbetoon | 7                    | 1,22                                          | 8,54                     |
| Paekillustik        | 30                   | 1,00                                          | 30,00                    |
| Keskliiv            | 35                   | 0,87                                          | 30,45                    |
|                     |                      |                                               | Kokku 77                 |

Pinnas: kerge mittetolmne liivsavi, 3. paikkond, T14.1 järgi  $B = 3$ .

Arvutuses kasutatud suurused:

- kliimategur  $\alpha = 75 \text{ cm}^2 / \text{ööp}$ ;
- arvutuslik külmumissügavus  $z = 125$  cm;
- pinnasvee sügavus katte pinnast  $H = 125$  cm;
- lubatav külmakerge  $l = 4$  cm.

Kasutamaks J14.1, arvutame  $z / H' = 125 / 125 = 1$  ja horisontaaltelje jaoks  $z_1 / z = 77 / 125 = 0,62$ ; viimasest tõmbame vertikaaljoone kuni lõikumiseni joonega  $z / H' = 1$ ; lõikepunktist tõmbame horisontaaljoone kuni lõikumiseni vertikaalteljega; viimasele vastab suurus

$$l_{kk} * \alpha / B * z = l_{kk} * 75 / 3 * 125 = 0,72, \text{ millest}$$

$$l_{kk} = 0,72 * 3 * 125 / 75 = 3,6 \text{ cm}$$

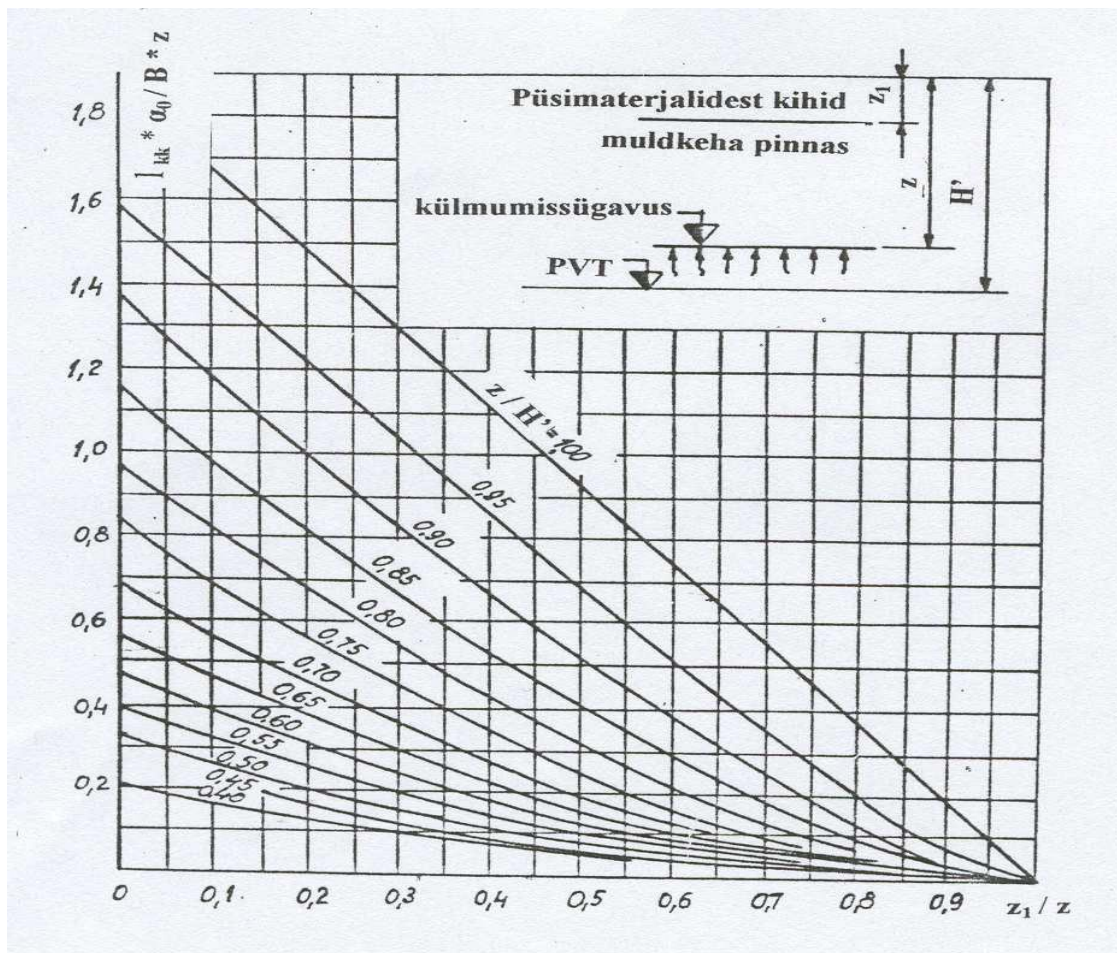
Kuna  $l_{kk} < 1$  ( $3,6 < 4$ ), siis vaatamata ebasoodsale pinnasvee ja külmumissügavuse olukorrale on katend külmakindel.

Kasutades (14.2)  $M = (125 - z_1) / (H' - z_1) = (125 - 77) / (125 - 77) = 1$ , siis

$$L_{kk} = 1,67 * B * (H' / z - z_1 / z) * \{(2,8 * M - 1) * \text{EXP}[2,8 * (M - 1)] + 0,061\}$$

$$= 1,67 * 3 * (125 - 77) / 125 * \{(2,8 * 1 - 1) * \text{EXP}[2,8 * (1 - 1)] + 0,061\} = 3,6 \text{ cm, s.o}$$

sama tulemus nagu J15.1 järgi arvutades.



**Joonis J14.1.** Nomogramm katendi külmakindluse arvutamiseks

PVT – pinnasvee tase;

$L_{kk}$  – külmakerge, cm;

$\alpha_0$  – kliimategur,  $\text{cm}^2 / \text{ööp}$ ;

$z$  - arvutuslik külmumissügavus;

$z_1$  – katendi paksus, cm;

$H'$  - pinnasvee arvutuslik (max teadaolev sügisene külmumiseelne) sügavus tee teljel, cm;

$B$  – pinnasetegur,  $\text{cm}^2 / \text{ööp}$ .



## 15 DREENKIHT

### 15.1 Üldist.

Dreenkihi peamiseks ülesandeks on ülaltpoolt, s.o läbi katte ja aluse imbuva sademetevee eemaldamine muldkeha nõlvadele, kust see valgub veeviimaritesse või filtreerub teemaa pinnasesse. Dreenkihi üheks lisaülesandeks on kapillaartõusu katkestamine (juhul kui seda ei ole katkestatud juba allpool, mis on õigem). Muldkeha peab olema üldjuhul projekteeritud nii, et kapillaarvee tõus ei ulatuks dreenkihi alapinnani. See tagatakse muldkeha kõrgusega pinna- ja pinnasvee suhtes või erandjuhtumil muldkeha sisse ehitatud kapillaartõusu katkestavate spetsiaalsete kihtide või pinnaseveetaseme alandamisega sügavdrenaaži abil. Sügavdrenaaži olemasolul on võimalik ja soovitatav dreenkihist vee juhtimine sügavdrenaaži.

Allpool on toodud üldine informatsioon dreenkihi konstrueerimise ja materjalide kohta. Täpsemad kehtivad nõuded ja selgitused dreenkihi projekteerimise kohta on toodud Muldkeha ja dreenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhises (Maanteeameti peadirektori 05.01.2016. a käskkiri nr 0001 või uuem).

### 15.2 Dreenkihi konstrueerimine

Dreenkihi konstruktsiooni projekteerimisele eelnevalt tuleb järgmiste tunnuste järgi projektiga käsitletav tee(lõik) jagada iseloomulikeks osadeks:

- süvendid;
- mulded;
- paikkonna tüübid;
- muldkeha pinnased;
- normidest madalam muldkeha;
- pikiprofiili muud iseärasused;
- põikprofiilide iseärasused (näiteks sõidutee ühepoolse kaldega teelõigud);
- veeviimarite ja eesvoolude olemasolu ja
- muud (projekteerija äranägemisel).

Nende tunnuste järgi määratakse arvutusprofiilid ja rakendamise ulatus. Igale arvutusprofiilile valitakse dreenkihi konstruktsioon. Peamine valik tuleb teha kahe variandi vahel:

- pikifiltertorudeta, muldkeha laiune, dreenkiht või
- muldkeha laiune pikifiltertorudega dreenkiht .

## 16 KATENDI PROJEKT

Katendi projekti koosseis:

- lähteülesanne;
- seletuskiri;
- väliuuringute aruanne\*;
- aruanne projekteerimise ajal (eel) tehtud liiklusloendusest\*;
- ennustusliku koormussageduse määramine\*;
- aruanne varemtehtud uuringutest\*;
- aruanne oleva katendi ülevaatuset\*;
- aruanne oleva katendi varem koostatud projekti põhiaandmeist ja ehitusaastale järgnenud remontidest\*;

- konstruktiivsete põikprofiilide joonised valitud arvutusprofiilide kohta;
- tugevusarvutuste ja külmakindluse koond - programmi KAP väljundi kohaselt.

\* - kuuluvad katendi projekti koosseisu vaid juhul, kui eraldi ei ole koostatud oleva tee seisundi hinnangu ja liiklusuuringu aruandeid



## LISAD

### Lisa 1. Pinnaste tugevuskarakteristikud

#### L1.1. Üldist

Tugevuskarakteristikud sõltuvad peamiselt pinnase niiskusest (paikkonna tüübist, vt L1.T2), kuid ka tihedusest, struktuurist ja vähesel määral koormamise viisist. Eeldatakse, et muldkeha pinnase tihedus vastab normidele. Pinnase tugevuskarakteristikud määratakse pinnase arvutusliku suhtelise niiskuse järgi, mis tagab kogu katendi töövõime ka kõige niiskemal ajal (mille puhul säilib pinnase minimaalne tugevus). See esineb kevadeti pinnase ülessulamise ja sügisei sademeterikkal ajal. Pinnase tugevuskarakteristikud on: E-moodul (MPa),  $F^\circ$  (sisehõõrdenurk) ja C (nidusus, MPa). Nende määramiseks on vaja teada pinnase arvutuslikku niiskust  $W_1$ .

Arvutusliku suhtelise niiskuse  $W_1$  püstitamisel lähtutakse paikkonna tüübist, pinnase keskmise niiskuse  $W_0$  ning voolavuspiirile  $W_v$  vastava niiskuse suhtest  $W = W_0 / W_v$ . Kuna voolavuspiirile vastaval niiskusel pinnase kandevõime praktiliselt puudub, on suhteline niiskus sellisena ette antud, et see on alati alla ühe.

#### L1.2 .Paikkonna tüübi kirjeldus ja pinnaste suhtelised niiskused

##### L1.T1.

| Paik-konna tüübi nr | Paik-konna tunnus | Paikkonna tüübi kirjeldus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | Kuiv              | Pinnavete äravool on tagatud; pinnasvesi on sügaval ega mõjuta kasvupinnase taimestikku. Pinnasteks on peamiselt kruusliivad, liivad ja saviliivad, kuid esineb ka savikaid pinnaseid, kuid viimaste suhteline niiskus on alla 0,73. Kui muldkeha kõrgus on normidest 1,5 korda suurem, on tegemist, sõltumata muudest asjaoludest, 1. paikkonna teelõiguga.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2                   | Niiske            | Pinnavete äravool pole ajuti tagatud; selle üheks tunnuseks on maapinna 0,003 lähedased, kuid suuremad sellest, looduslikud kalded. Esineb lühiajalist (alla 30 päeva) seisuvett. Pinnasvesi, on külmumispiirist ainult vähesügavamal, ometigi mõjutab kasvupinnase niiskumist, mistõttu kasvavad niiskuslembelised taimed; võib isegi esineda pindmise soostumise tunnuseid.<br>Esinevad peamiselt savikad pinnased suhtelise niiskusega alla 0,8. On mõeldav tee külgnevate alade piki- ja põikplaneerimisega ning kraavitamisega niiskustingimusi parandada ning seega saavutada 1. paikkonna olukord.<br>Kõik 1. Paikkonna tüübi süvendid ja 0-profiilid (ka normidega ettenähtust madalamad muldkehad) kuuluvad 2. paikkonda. |
| 3                   | Liigniiske (märg) | Pinnavete äravool on raskendatud; esineb pikaajalist (üle 30 päeva) seisuvett.<br>Maapinnalähedase pinnasvee tõttu esineb ilmseid soostumise tunnuseid. Pinnasvee tase on külmumispiirist kõrgemal.<br>Esinevad peamiselt savikad pinnased suhtelise niiskusega üle 0,8.<br>Paikkonna tüübi muutmine on võimalik ainult suureulatuslike                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|  |  |                                                                                                                       |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | kuivendustöödega. Kõik 2. paikkonna tüübi süvendid ja normidega ettenähtust madalamad muldkehad kuuluvad 3.paikkonda. |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Märkus: paikkonna tüübi kirjelduses ainult ühe tunnuse (v.a pinnase) esinemine määrab tüübi.*

#### **L1.T2. Pinnaste suhtelised niiskused voolupiirist**

| Paikkonna tüübi nr | Pinnase suhteline niiskus W |                |                                       |                                                             |
|--------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                    | Kerge saviliiv              | Tolmliiv       | Kerge liivsavi, raske liivsavi, savid | Tolmne saviliiv, raske tolme saviliiv, tolme kerge liivsavi |
|                    | Pinnasegrupp                |                |                                       |                                                             |
|                    | A <sub>1</sub>              | B <sub>1</sub> | C <sub>1</sub>                        | D <sub>1</sub>                                              |
| 1                  | 0,63                        | 0,65           | 0,68                                  | 0,73                                                        |
| 2                  | 0,66                        | 0,68           | 0,71                                  | 0,76                                                        |
| 3                  | 0,68                        | 0,70           | 0,73                                  | 0,78                                                        |

#### **L1.3. Arvutusliku suhtelise niiskuse W<sub>1</sub> arvutamine**

Arvutusliku suhtelise niiskuse W<sub>1</sub> arvutamine toimub järgmiselt:

- 1) L1.T1 järgi määratakse tee(lõigu) paikkonna tüübi number;
- 2) teades pinnast, saadakse L1.T2 pinnase suhteline niiskus W;
- 3) suhtelisi niiskusi tuleb parandada sõltuvalt tee konstruktiivsetest iseärasustest; saadakse W<sub>2</sub>:

#### **L1.T3.**

| Jrk nr | Konstruktiivne iseärasus (summeritakse)                                   | Parandus |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1      | Teepeenrad on kaetud $\geq 2/3$ laiuses asfaltbetooniga                   | -0,05    |
| 2      | Teepeenrad on kaetud kruusa või killustikuga                              | -0,02    |
| 3      | Muldkehas on vastavatest geosüntetidest hüdroisolatsioonikiht (vt p.11.4) | -0,05    |
| 4      | Dreenkihis on pikifiltertoru                                              | -0,05    |
| 5      | Muldkeha on süvendis                                                      | +0,03    |

$$4) \text{ arvutuslik suhteline niiskus } W_1 = (W \text{ või } W_2) * (1 + t * v) \quad (L1.1)$$

*Märkus: Kui arvutuslik suhteline niiskus peale konstruktiivset iseärasusest tingitud paranduste arvessevõtmist  $W_1 > 0,75$  ja katendi paksus on  $>75\text{cm}$ , siis tuleb kasutada tegeliku arvutusliku suhtelise niiskuse saamiseks parandustegurit  $\Delta_1$  kasutades L5.6 graafikut.*

Arvutuslik suhteline niiskus, mis on aluseks E, F ja C leidmiseks tabelist L1.T5 leitakse siis alljärgneva valemi põhjal:

$$W_{\text{arv}} = (W + \Delta_1) * (1 + t * v) - \Delta$$

Kus: W - pinnase suhteline niiskus voolupiirist

$\Delta_1$  - parandustegur tee konstruktiivsetest iseärasustest

t - normhálbetegur (sõltub töökindlustegurist, mis omakorda on seotud tugevusteguriga ja tee klassiga)

v - variatsioonitegur = 0,1

$\Delta$  - parandustegur delta, kui  $H > 75\text{cm}$

Parandusteguri delta kasutamine väldib katendi üledimensioneerimist eriti 3 niiskuspaikkonnas D grupi aluspinnastes.

#### L1.T4. Normhälbe tegurid

|                                                                                                                     |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Töökindluse tegur (vt P6)                                                                                           | 0,6  | 0,85 | 0,9  | 0,95 |
| Normhälbetegur t                                                                                                    | 0,26 | 1,06 | 1,32 | 1,71 |
| Variatsioonitegur v                                                                                                 | 0,1  |      |      |      |
| Kui W on määratud laboriteimiga ning määramiste arv on > (10 – 15), siis on variatsiooniteguri võimalik ka arvutada |      |      |      |      |
| $t = 9,7526 * (K_{tk})^2 - 11,009 * K_{tk} + 3,3551$                                                                |      |      |      |      |

#### L1.4. Pinnase tugevuskarakteristikute määramine

$W_1$  järgi määratakse L1.T5, vajadusel interpoleerides, pinnase tugevuskarakteristikud:

- E-moodul, Mpa;
- sisehõõrdenurk  $F^\circ$  ja
- niidusus, MPA

Pinnase grupid:

$A_1$  – kerge saviliiv;  $B_1$  – tolmlüiv;  $C_1$  – kerge liivsavi, raske liivsavi, savid;  $D_1$  – tolme saviliiv, raske tolme saviliiv, tolme kerge liivsavi.

#### L1.T5. Pinnaste arvutuslikud (empiirilised) tugevuskarakteristikud

| Pinnase grupp |   | Pinnaste tugevuskarakteristikud vastavalt arvutuslikule niiskusele $W_1$ või korrigeeritud arvutuslikule Pinnase niiskusele $W_3$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               |   | 0,5                                                                                                                               | 0,55  | 0,6   | 0,65  | 0,7   | 0,75  | 0,8   | 0,85  | 0,9   | 0,95  |
| A             | E | 70                                                                                                                                | 60    | 56    | 53    | 49    | 45    | 43    | 42    | 41    | 40    |
|               | F | 37                                                                                                                                | 36    | 36    | 36    | 35    | 35    | 34    | 34    | 33    | 33    |
|               | C | 0,015                                                                                                                             | 0,014 | 0,014 | 0,013 | 0,012 | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,008 | 0,007 |
| B             | E | 96                                                                                                                                | 90    | 84    | 78    | 72    | 66    | 60    | 54    | 48    | 43    |
|               | F | 38                                                                                                                                | 38    | 37    | 37    | 36    | 35    | 34    | 33    | 32    | 31    |
|               | C | 0,026                                                                                                                             | 0,024 | 0,022 | 0,018 | 0,014 | 0,012 | 0,011 | 0,01  | 0,009 | 0,008 |
| C             | E | 108                                                                                                                               | 90    | 72    | 50    | 41    | 34    | 29    | 25    | 24    | 23    |
|               | F | 32                                                                                                                                | 27    | 24    | 21    | 18    | 15    | 13    | 11    | 10    | 9     |
|               | C | 0,045                                                                                                                             | 0,036 | 0,030 | 0,024 | 0,019 | 0,015 | 0,011 | 0,009 | 0,006 | 0,004 |
| D             | E | 108                                                                                                                               | 90    | 72    | 54    | 46    | 38    | 32    | 27    | 26    | 25    |
|               | F | 32                                                                                                                                | 27    | 24    | 21    | 18    | 15    | 13    | 11    | 10    | 9     |
|               | C | 0,045                                                                                                                             | 0,036 | 0,030 | 0,024 | 0,016 | 0,013 | 0,010 | 0,008 | 0,005 | 0,004 |

Märkus:

- 1) interpoleerimistulemus ümardatakse tabeli täpsuseni;
- 2) katendarvutuse jaoks ei sõltu E, F ja C temperatuurist, küll aga peab arvestama temperatuuriga laboriteimi puhul;

- 3) katendi alla jäävat pinnast võib vaadelda lõpmatu paksusega kihina, kui kihi paksus on  $> 75$  cm. Vastasel korral mitmekihilisena, mille tugevuskarakteristikud katte all on  $E = E_{\text{üld}}$ , C ja F. Sügavamale ( $> 75$  cm) jäävate kihtide C ja F ei oma tähtsust.

## Lisa 2. Materjalide tugevuskarakteristikud

### L2.T1. Sideainega töödeldud materjalid

| Jrk nr | Materjali nimetus                                                                                                                                                                               | Katendi arvutamisel      |           |         |                  |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------|---------|------------------|
|        |                                                                                                                                                                                                 | Elastsele vajumile       | Nihkele   | Tõmbele |                  |
|        |                                                                                                                                                                                                 | E1                       | E2        | E       | R                |
| 1      | Killustikmastiksfalt (SMA)                                                                                                                                                                      | 3200                     | 1800      | 4500    | 2,8              |
| 2      | Tihe kuum asfaltbetoon (ACsurf; bin)                                                                                                                                                            | 2400                     | 1200      | 3600    | 2,4              |
| 3      | Valuasfalt (MA)                                                                                                                                                                                 | 2400                     | 1200      | 3600    | 2,4              |
| 4      | Kuum poorne asfaltbetoon (ACbase)                                                                                                                                                               | 1400                     | 800       | 2200    | 1,6              |
| 5      | Kuum drenasfaltbetoon (PA)                                                                                                                                                                      | 1400                     | 800       | 2200    | 1,6              |
| 6      | Kuum kergasfaltbetoon (ACsurf 160/220 või vedelama bituumeniga, end. KAB)                                                                                                                       | 1400                     | 800       | 2000    | 1,2              |
| 7      | Tihe soe asfaltbetoon (WMA)                                                                                                                                                                     | 1200                     | 600       | 2000    | 1,8              |
| 8      | Soe kergasfaltbetoon                                                                                                                                                                            | 1200                     | 600       | 2000    | 1,0              |
| 9      | Seguris / teel segatud mustkate (MSE)                                                                                                                                                           | 950                      | 600 / 500 |         | -                |
| 10     | Vana asfaltbetoon ja mustkate                                                                                                                                                                   | 1400                     | 800       |         | -                |
| 11     | Mustkillustikust kiht (MUK)                                                                                                                                                                     | 800                      | -         | -       | -                |
| 12     | Kerg- ja sügavimmutus                                                                                                                                                                           | 450                      | -         | -       | -                |
| 13     | Bituumenstabiliseeritud kihid asfaldipurust (BS):<br>- seguris segatud<br>- teel segatud                                                                                                        | 600<br>500               |           |         | -<br>-           |
| 14     | Kompleksstabiliseeritud kihid (KS):<br>- uutest mineraalmaterjalidest seguris segatud<br>- asfaldipurust seguris segatud<br>- asfaldipurust teel segatud<br>- uutest materjalidest teel segatud | 900<br>800<br>700<br>800 |           |         | -<br>-<br>-<br>- |
| 15     | Tsementstabiliseeritud kihid (TS):<br>- uutest mineraalmaterjalidest seguris segatud<br>- uutest mineraalmaterjalidest teel segatud<br>- asfaldipurust teel segatud                             | 900<br>700<br>600        |           |         | 0,6<br>0,4<br>-  |
| 16     | Põlevkivituhaga tugevdatud kihid:<br>- kruusliivast, jämeliivast<br>- teistest liivadest, sh saviliivast                                                                                        | 600<br>400               |           |         | 0,5<br>0,4       |

**Märkused:** E1 - elastsusmoodul 10°C juures, MPa;  
E2 - elastsusmoodul 20°C juures, Mpa;  
E - elastsusmoodul 0°C juures, Mpa;  
R - tõmbetugevus, MPa

### L2.T2. Sideainega töötlemata kihid ja materjalid

| Jrk .nr. | Kihi nimetus                    | E-moodul, MPa | Sisehõõrde nurk F° | Nidusus C, MPa |
|----------|---------------------------------|---------------|--------------------|----------------|
| 1        | Paetuhk                         | 120           | 30                 | 0,01           |
| 2        | Tuhkbetooni freespuru           | 150           | 40                 | 0,01           |
| 3        | Munakivi-, parkettkivi sillutis | 500           | -                  | -              |
| 4        | Pinnatud freespurukate          | 400           | -                  | -              |

## L2.T3. KAP arvutuslehe kohustuslik lisa - materjalide klassifikatsioon, esitatud nõuded ja arvutusparameetrid

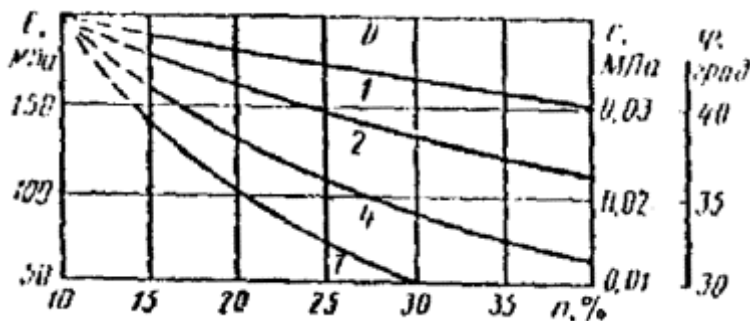
| Täite-materjalid<br>(Tm)        | E (MPa)          | Sisehõõrdenurk<br>F | Nidusus C (MPa) | Plastsus<br>Rootsi W <sub>LR</sub> | Sõelkõver                          | Cu<br>d60/d10 | Senine nimetus                                          | Plastsus<br>Vassiljev        |
|---------------------------------|------------------|---------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| _280                            | 280              |                     |                 |                                    |                                    |               | Tardkivikillustik                                       |                              |
| _280                            | 280              |                     |                 |                                    |                                    |               | Pae- või kruuskillustik (LA<35)                         |                              |
| _240                            | 240              |                     |                 |                                    |                                    |               | Pae- või kruuskillustik (LA≥35)                         |                              |
| _200                            | 200              |                     |                 |                                    |                                    |               | Ridakillustik, mittestd. killustik                      |                              |
| _180                            | 180              | 45                  | 0,03            |                                    |                                    |               | Opt.terastikuga kruusliivast kiht                       |                              |
| _150                            | 150              | 43                  | 0,01            |                                    | 2...63 mm >50%                     |               | Kruuspinnas                                             |                              |
| _E (160)<br>_F (110)<br>_G (60) | 160<br>110<br>60 |                     |                 | <25                                | <0,63 10...40%<br>ja<br>>5 mm >20% |               | liiva-kruusa-killustiku segu                            | <7                           |
| _130<br>_115                    | 130<br>115       | 42                  | 0,007           | <10                                | >0,5 mm >50%                       | >3<br>2...3   | kruusliiv, jämeliiv<br>mõõdukalt ühtlaseterine jämeliiv | <1                           |
| _120<br>_105                    | 120<br>105       | 40                  | 0,006           | <10                                | >0,25 mm >50%                      | >3<br>2...3   | keskliiv<br>mõõd.ühtlaseterine keskliiv                 | <1                           |
| _100<br>_90                     | 100<br>90        | 38                  | 0,005           |                                    | >0,1 mm >50%                       | >3<br>2...3   | peenliiv<br>mõõd.ühtlaseterine peenliiv                 |                              |
| _75                             | 75               | 33                  | 0,005           |                                    | piiranguteta                       | ≤2            | ühtlaseterine liiv                                      |                              |
| _65                             | 65               | 40                  | 0,005           |                                    |                                    |               | jäme kerge saviliiv                                     |                              |
| _A                              |                  |                     |                 | 10...25                            | 2...0,25 mm >50%                   |               | kerge saviliiv                                          | 1...7                        |
| _B                              |                  |                     |                 | <10                                | >0,1 mm <75%                       |               | tolmliiv                                                | <1                           |
| _C                              |                  |                     |                 | 25...40<br>40..50<br>>50           | 2...0,05 mm ≥40%                   |               | kerge liivsavi<br>raske liivsavi<br>Savi                | 7...12<br>12...17<br>17...27 |
| _D                              |                  |                     |                 | 10...25                            | 2...0,05 mm <20%                   |               | raske tolmne saviliiv                                   | 1...7                        |
|                                 |                  |                     |                 |                                    | 2...0,05 mm 20...50%               |               | tolmne saviliiv                                         | 1...7                        |
|                                 |                  |                     |                 | 25...40                            | 2...0,05 mm <40%                   |               | kerge tolmne liivsavi                                   | 7...12                       |
|                                 |                  |                     |                 | 40...50<br>>50                     |                                    |               | raske tolmne liivsavi<br>tolmne savi                    | 12...17<br>17...27           |

Märkused:

- 1) Orgaanilise aine sisaldus mitte üle 2%.
- 2) Ühtlaseteralise materjali ( $C_u < 3$ ) kasutamise korral on kohustuslik eristava geosünteedi kasutamine liivakihi peal, kui liivakiht täidab drenkihi rolli siis ka selle kihi all. Muudel juhtudel on see soovituslik.
- 2) Materjalide ja pinnaste liigitamisel tuleb lugeda võrdseks lähedased sõeladiameetri väärtused 0,5 ja 0,63 mm, 0,1 ja 0,125 mm, 0,05 ja 0,063 mm.

Projekteerijal võib tellija nõusolekul liiva-kruusa-killustikusegude puhul kasutada arvutusparameetreid, mis tuginevad konkreetse kruusa omadustel. Vastavalt teadustöö<sup>3</sup> (TTÜ 2014) P1.4.3 tulemustele on võimalik segu elastsusmoodul 160, 110 või 60 MPa, kui alltoodud graafiku või tabeli alusel saadud näitaja on sellest suurem. Sellisel juhul on segu arvutusparameetrite määramise aluseks VSN 46-84 joonis 9 (lk 88) ning see rakendub kui:

- Üle 5 mm osiseid on vähemalt 20%
- peenosid (alla 0,63 mm) ei ole plastne ( $I_p^v < 7$ ;  $W_{LR} < 25$ )
- alla 0,63 mm osiste sisaldus on vahemikus 10...40%



Graafikust on loetud väärtused ning konkreetse materjali kohta interpoleeritakse laboratoorse uuringu tulemustest plastsusnäitaja ja peenosise sisalduse järgi vastav elastsusmoodul.

|              |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $I_p^v$      | 0   | 1   | 2   | 4   | 7   |
| $W_{LR}$     | 0   | 8   | 11  | 17  | 25  |
| <0,63 mm 10% | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| <0,63 mm 15% | 200 | 190 | 179 | 160 | 140 |
| <0,63 mm 20% | 200 | 181 | 161 | 131 | 103 |
| <0,63 mm 25% | 200 | 174 | 149 | 110 | 70  |
| <0,63 mm 30% | 200 | 166 | 134 | 90  | 50  |
| <0,63 mm 35% | 200 | 159 | 121 | 74  | 33  |
| <0,63 mm 40% | 200 | 150 | 113 | 64  | 25  |

Sõelkõvera alusel tuleb välja arvutada kaks indeksit:  $C_u$  ( $d_{60}/d_{10}$ ) ning  $C_c$  ( $d_{30}/d_{10}^2$ ), mis määravad materjali ühtlaseteralisuse EVS-EN standardi alusel.

<sup>3</sup> [https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/2001-52\\_pinnaste\\_nimetused\\_09102014.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/2001-52_pinnaste_nimetused_09102014.pdf)

### Lisa 3. KAP ja pinnase liigitus sõelkõvera järgi

Lähteandmetena sisestatakse jäägid sõeltel ja plastsusarv (kui seda pole, eeldame nulli ehk alla ühe). Pinnase liigituse algoritm on mitmeastmeline. Lisaks standardsetele sõeltele interpoleeritakse läbi logaritmskaala ka vahepealsete sõelte väärtused selles osas, milliseid sõelu vajatakse GOST-põhise jaotuse kasutamiseks või milliseid on konkreetse katse korral tegelikult kasutatud. Enamlevinud sõelad on:

GOST 25100 (MNT parandus 2006) järgi:

- 60 – 40 – 20 – 10 – 5 – 2 – 1 – 0,5 – 0,25 – 0,1 – 0,063 – 0,05 – 0,01 – 0,002

EVS-EN 14688 järgi:

- 63 – 31,5 – 16 – 8 – 4 – 2 – 1 – 0,5 – 0,25 – 0,125 – 0,063 – 0,02 – 0,006 – 0,002

Materjali või pinnase liigituseks vajalikud sõelad (minimaalne komplekt) on:

- 63 – 5 – 4 – 2 – 0,63 – 0,5 – 0,25 – 0,1 – 0,05

Nendest puuduvad tuleb igal juhul interpoleerida, kuid pigem on otstarbekas interpoleerida ka vahepealsed puuduvad, sest mingil hetkel on hea tulemus visualiseerida ja Exceli graafikute parema väljanägemise huvides peaksid jooned olema pidevad. Plastsus – valitakse näitaja kas  $W_{LR}$  lahtrist või  $I_p^V$  lahtrist. Mõlemas väärtust ei tohi olla, ainult ühes neist.

1) Jäme segu:  $>5 \text{ mm} >20\%$  (sisaldab piisavalt jämedat osa)

a.  $W_{LR} < 25$  (ei ole väga plastne)

i.  $>0,63 \text{ mm } 10\ldots 40\%$

1. Sõltuvalt peenosise protsendist ja  $W_{LR}$  väärtusest interpoleeritavad tulemused – grupid E<sub>160</sub> – F<sub>110</sub> – G<sub>60</sub> (arvutusparameetrid ei sõltu niiskusest).

b. Kui eeltoodud parameetrid ei ole täidetud või graafikult tulenev väärtus on alla 60, on tegemist pinnasega

2) Liiv või kruus:  $W_{LR} < 10$  - Kruusad, liivad ja tolmliid

a.  $2\ldots 63 \text{ mm} >50\%$  - kruuspinna (E-150)

b. Cu väärtus

i.  $Cu > 3$  – kruusliiv/jämeliiv, keskliiv, peenliiv – E<sub>130</sub>, E<sub>120</sub>, E<sub>100</sub>

ii.  $Cu 2\ldots 3$  – mõõdukalt ühtlaseteraline (eeltoodud) liiv – E<sub>115</sub>, E<sub>105</sub>, E<sub>90</sub>

c.  $>0,1 \text{ mm}$  kuni 75% (ehk, alla 0,1 mm vähemalt 25%) – tolmliid – B-grupp (arvutusparameetrid sõltuvad niiskusest)

3) Pinnas:  $W_{LR} > 10$  – pinnased A, C, D grupist (arvutusparameetrid sõltuvad niiskusest)

a.  $W_{LR} 10\ldots 25$

i.  $2\ldots 0,25 \text{ mm} >50\%$  - Kerge saviliiv – A-grupp

ii.  $2\ldots 0,25 \text{ mm} <50\%$  - tolmne – D-grupp

b.  $W_{LR} > 25$

i.  $2\ldots 0,05 \text{ mm} <40\%$  - tolmne – D-grupp

ii.  $2\ldots 0,05 \text{ mm} >40\%$  - mittetolmne – C-grupp



#### Lisa 4. Materjalide ja pinnaste soojustehnilised ekvivalendid $\epsilon_i$

##### L3.T1.

| Materjal, pinnas                                                | $\epsilon_i$ |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| Asfaltbetoon – tihe                                             | 1,15         |
| - poorne                                                        | 1,22         |
| - ülipoorne                                                     | 1,30-1,36    |
| Bituumenemulsiooniga stabiliseeritud saviliiv                   | 1,13         |
| Tsementstabiliseeritud (6 – 10%) segaterine liiv                | 1,0          |
| Tsementstabiliseeritud (10%) ühemõõduline peenliiv              | 1,07         |
| Lubitungevdatud nõrk lubjakivikillustik                         | 1,27         |
| Tsementstabiliseeritud (6 – 12%) liivsavi                       | 1,13         |
| Kompleksstabiliseeritud (tsement 2 - 6%, lubi 2 – 6 %) liivsavi | 1,18         |
| Tsementstabiliseeritud (8 – 10 %) saviliiv                      | 1,11         |
| Graniitkillustik                                                | 1,0          |
| Lubjakivikillustik                                              | 1,15         |
| Kruus                                                           | 1,0          |
| Jämeliiv – sulanud                                              | 1,03         |
| -külmunud                                                       | 0,88         |
| Keskliiv - sulanud                                              | 0,98         |
| - külmunud                                                      | 0,87         |
| Peenliiv - sulanud                                              | 0,98         |
| - külmunud                                                      | 0,89         |
| Tolmliiv - sulanud                                              | 1,02         |
| - külmunud                                                      | 0,92         |
| Saviliiv - sulanud                                              | 1,02         |
| - külmunud                                                      | 0,96         |
| Liivsavi ja savi – sulanud                                      | 1,07         |
| - külmunud                                                      | 0,97         |

## Lisa 5 . Tabelid ja graafikud

### L5.T1. Parandustegur delta määramiseks.

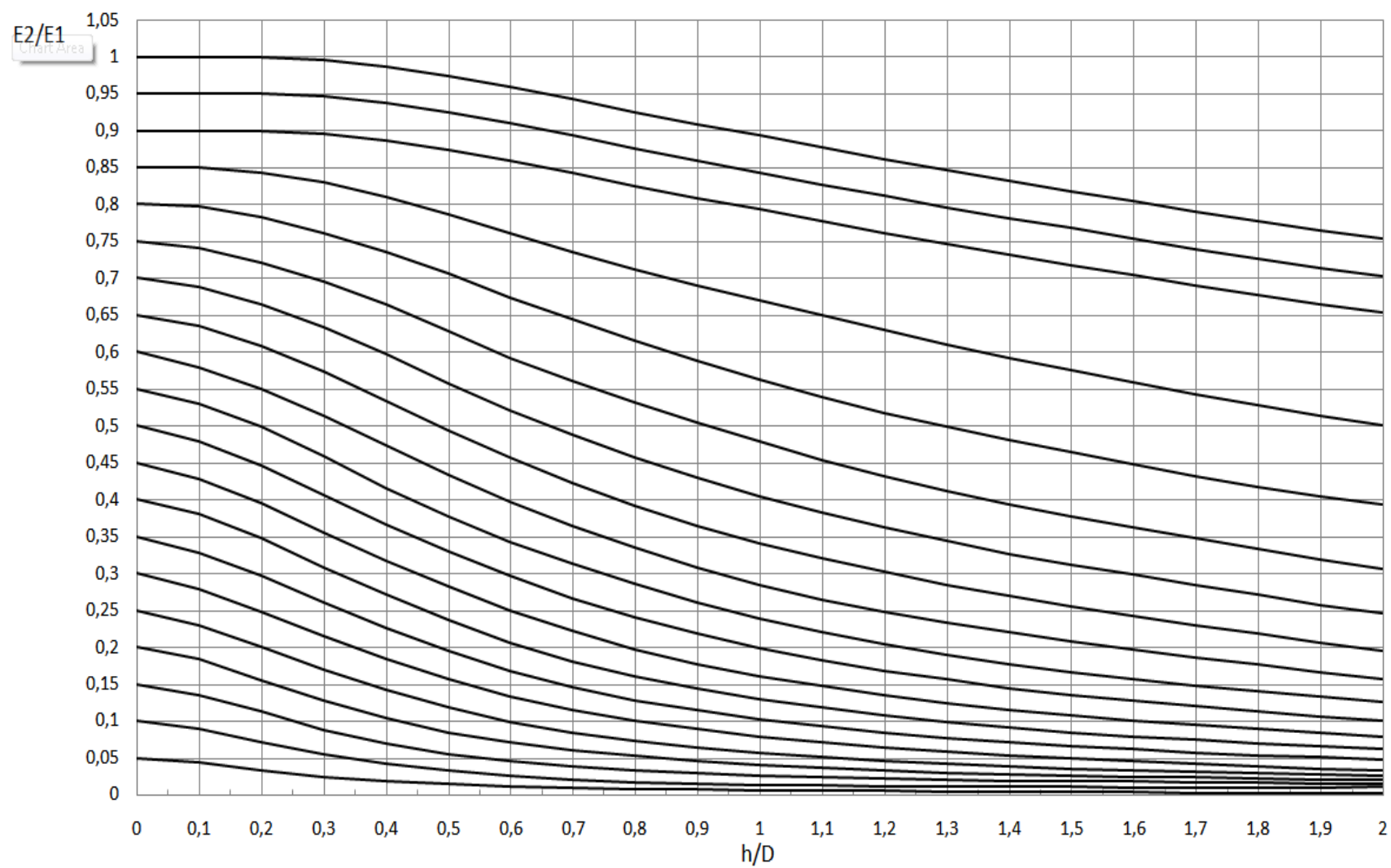
| x    | Parandus Delta |           |           |           |           |
|------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|      | Warv=0,95      | Warv=0,90 | Warv=0,85 | Warv=0,80 | Warv=0,75 |
| 0,76 | 0,00995        | 0,00498   | 0,00000   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,77 | 0,01189        | 0,00595   | 0,00000   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,78 | 0,01383        | 0,00728   | 0,00074   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,79 | 0,01575        | 0,00878   | 0,00181   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,80 | 0,01765        | 0,01026   | 0,00288   | 0,00054   | 0,00000   |
| 0,81 | 0,01955        | 0,01174   | 0,00393   | 0,00108   | 0,00000   |
| 0,82 | 0,02143        | 0,01321   | 0,00498   | 0,00163   | 0,00000   |
| 0,83 | 0,02330        | 0,01466   | 0,00602   | 0,00217   | 0,00000   |
| 0,84 | 0,02516        | 0,01611   | 0,00706   | 0,00270   | 0,00000   |
| 0,85 | 0,02700        | 0,01754   | 0,00808   | 0,00324   | 0,00000   |
| 0,86 | 0,02883        | 0,01897   | 0,00910   | 0,00376   | 0,00000   |
| 0,87 | 0,03066        | 0,02038   | 0,01011   | 0,00429   | 0,00000   |
| 0,88 | 0,03246        | 0,02179   | 0,01111   | 0,00480   | 0,00000   |
| 0,89 | 0,03426        | 0,02318   | 0,01210   | 0,00532   | 0,00000   |
| 0,90 | 0,03604        | 0,02457   | 0,01309   | 0,00583   | 0,00000   |
| 0,91 | 0,03781        | 0,02594   | 0,01407   | 0,00634   | 0,00000   |
| 0,92 | 0,03957        | 0,02730   | 0,01504   | 0,00684   | 0,00000   |
| 0,93 | 0,04132        | 0,02866   | 0,01600   | 0,00733   | 0,00000   |
| 0,94 | 0,04305        | 0,03000   | 0,01695   | 0,00783   | 0,00000   |
| 0,95 | 0,04478        | 0,03134   | 0,01789   | 0,00832   | 0,00000   |
| 0,96 | 0,04649        | 0,03266   | 0,01883   | 0,00880   | 0,00000   |
| 0,97 | 0,04818        | 0,03397   | 0,01976   | 0,00928   | 0,00000   |
| 0,98 | 0,04987        | 0,03527   | 0,02068   | 0,00976   | 0,00000   |
| 0,99 | 0,05154        | 0,03657   | 0,02159   | 0,01023   | 0,00000   |
| 1,00 | 0,05320        | 0,03785   | 0,02250   | 0,01070   | 0,00000   |
| 1,01 | 0,05479        | 0,03908   | 0,02336   | 0,01114   | 0,00000   |
| 1,02 | 0,05638        | 0,04030   | 0,02422   | 0,01159   | 0,00000   |
| 1,03 | 0,05798        | 0,04153   | 0,02508   | 0,01203   | 0,00000   |
| 1,04 | 0,05957        | 0,04276   | 0,02594   | 0,01248   | 0,00000   |
| 1,05 | 0,06116        | 0,04398   | 0,02680   | 0,01292   | 0,00000   |
| 1,06 | 0,06275        | 0,04521   | 0,02767   | 0,01337   | 0,00000   |
| 1,07 | 0,06435        | 0,04644   | 0,02853   | 0,01381   | 0,00000   |
| 1,08 | 0,06594        | 0,04766   | 0,02939   | 0,01426   | 0,00000   |
| 1,09 | 0,06753        | 0,04889   | 0,03025   | 0,01470   | 0,00000   |
| 1,10 | 0,06912        | 0,05012   | 0,03111   | 0,01515   | 0,00000   |
| 1,11 | 0,07059        | 0,05124   | 0,03189   | 0,01555   | 0,00000   |
| 1,12 | 0,07206        | 0,05237   | 0,03267   | 0,01595   | 0,00000   |
| 1,13 | 0,07353        | 0,05349   | 0,03345   | 0,01636   | 0,00000   |
| 1,14 | 0,07500        | 0,05462   | 0,03423   | 0,01676   | 0,00000   |
| 1,15 | 0,07647        | 0,05574   | 0,03501   | 0,01716   | 0,00000   |
| 1,16 | 0,07794        | 0,05686   | 0,03579   | 0,01757   | 0,00000   |

|      |         |         |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1,17 | 0,07941 | 0,05799 | 0,03657 | 0,01797 | 0,00000 |
| 1,18 | 0,08087 | 0,05911 | 0,03735 | 0,01837 | 0,00000 |
| 1,19 | 0,08234 | 0,06024 | 0,03814 | 0,01877 | 0,00000 |
| 1,20 | 0,08381 | 0,06136 | 0,03892 | 0,01918 | 0,00000 |
| 1,21 | 0,08516 | 0,06239 | 0,03962 | 0,01954 | 0,00000 |
| 1,22 | 0,08650 | 0,06341 | 0,04032 | 0,01990 | 0,00000 |
| 1,23 | 0,08785 | 0,06443 | 0,04102 | 0,02026 | 0,00000 |
| 1,24 | 0,08919 | 0,06546 | 0,04172 | 0,02062 | 0,00000 |
| 1,25 | 0,09054 | 0,06648 | 0,04242 | 0,02098 | 0,00000 |
| 1,26 | 0,09189 | 0,06750 | 0,04312 | 0,02134 | 0,00000 |
| 1,27 | 0,09323 | 0,06853 | 0,04382 | 0,02170 | 0,00000 |
| 1,28 | 0,09458 | 0,06955 | 0,04452 | 0,02206 | 0,00000 |
| 1,29 | 0,09592 | 0,07057 | 0,04522 | 0,02242 | 0,00000 |
| 1,30 | 0,09727 | 0,07159 | 0,04592 | 0,02278 | 0,00000 |
| 1,31 | 0,09849 | 0,07252 | 0,04654 | 0,02310 | 0,00000 |
| 1,32 | 0,09971 | 0,07344 | 0,04716 | 0,02342 | 0,00000 |
| 1,33 | 0,10093 | 0,07436 | 0,04778 | 0,02374 | 0,00000 |
| 1,34 | 0,10216 | 0,07528 | 0,04840 | 0,02405 | 0,00000 |
| 1,35 | 0,10338 | 0,07620 | 0,04902 | 0,02437 | 0,00000 |
| 1,36 | 0,10460 | 0,07712 | 0,04964 | 0,02469 | 0,00000 |
| 1,37 | 0,10582 | 0,07804 | 0,05026 | 0,02501 | 0,00000 |
| 1,38 | 0,10704 | 0,07896 | 0,05088 | 0,02533 | 0,00000 |
| 1,39 | 0,10827 | 0,07988 | 0,05150 | 0,02565 | 0,00000 |
| 1,40 | 0,10949 | 0,08081 | 0,05212 | 0,02596 | 0,00000 |
| 1,41 | 0,11059 | 0,08163 | 0,05266 | 0,02624 | 0,00000 |
| 1,42 | 0,11169 | 0,08244 | 0,05320 | 0,02652 | 0,00000 |
| 1,43 | 0,11278 | 0,08326 | 0,05374 | 0,02679 | 0,00000 |
| 1,44 | 0,11388 | 0,08408 | 0,05428 | 0,02707 | 0,00000 |
| 1,45 | 0,11498 | 0,08490 | 0,05482 | 0,02734 | 0,00000 |
| 1,46 | 0,11608 | 0,08572 | 0,05536 | 0,02762 | 0,00000 |
| 1,47 | 0,11718 | 0,08654 | 0,05590 | 0,02790 | 0,00000 |
| 1,48 | 0,11828 | 0,08736 | 0,05644 | 0,02817 | 0,00000 |
| 1,49 | 0,11938 | 0,08818 | 0,05698 | 0,02845 | 0,00000 |
| 1,50 | 0,12048 | 0,08900 | 0,05753 | 0,02873 | 0,00000 |
| 1,51 | 0,12145 | 0,08972 | 0,05798 | 0,02896 | 0,00000 |
| 1,52 | 0,12243 | 0,09044 | 0,05844 | 0,02919 | 0,00000 |
| 1,53 | 0,12340 | 0,09115 | 0,05890 | 0,02943 | 0,00000 |
| 1,54 | 0,12438 | 0,09187 | 0,05936 | 0,02966 | 0,00000 |
| 1,55 | 0,12535 | 0,09259 | 0,05982 | 0,02989 | 0,00000 |
| 1,56 | 0,12633 | 0,09331 | 0,06028 | 0,03013 | 0,00000 |
| 1,57 | 0,12730 | 0,09402 | 0,06074 | 0,03036 | 0,00000 |
| 1,58 | 0,12828 | 0,09474 | 0,06120 | 0,03060 | 0,00000 |
| 1,59 | 0,12925 | 0,09546 | 0,06166 | 0,03083 | 0,00000 |
| 1,60 | 0,13023 | 0,09618 | 0,06212 | 0,03106 | 0,00000 |
| 1,61 | 0,13108 | 0,09679 | 0,06250 | 0,03126 | 0,00000 |
| 1,62 | 0,13193 | 0,09741 | 0,06288 | 0,03145 | 0,00000 |

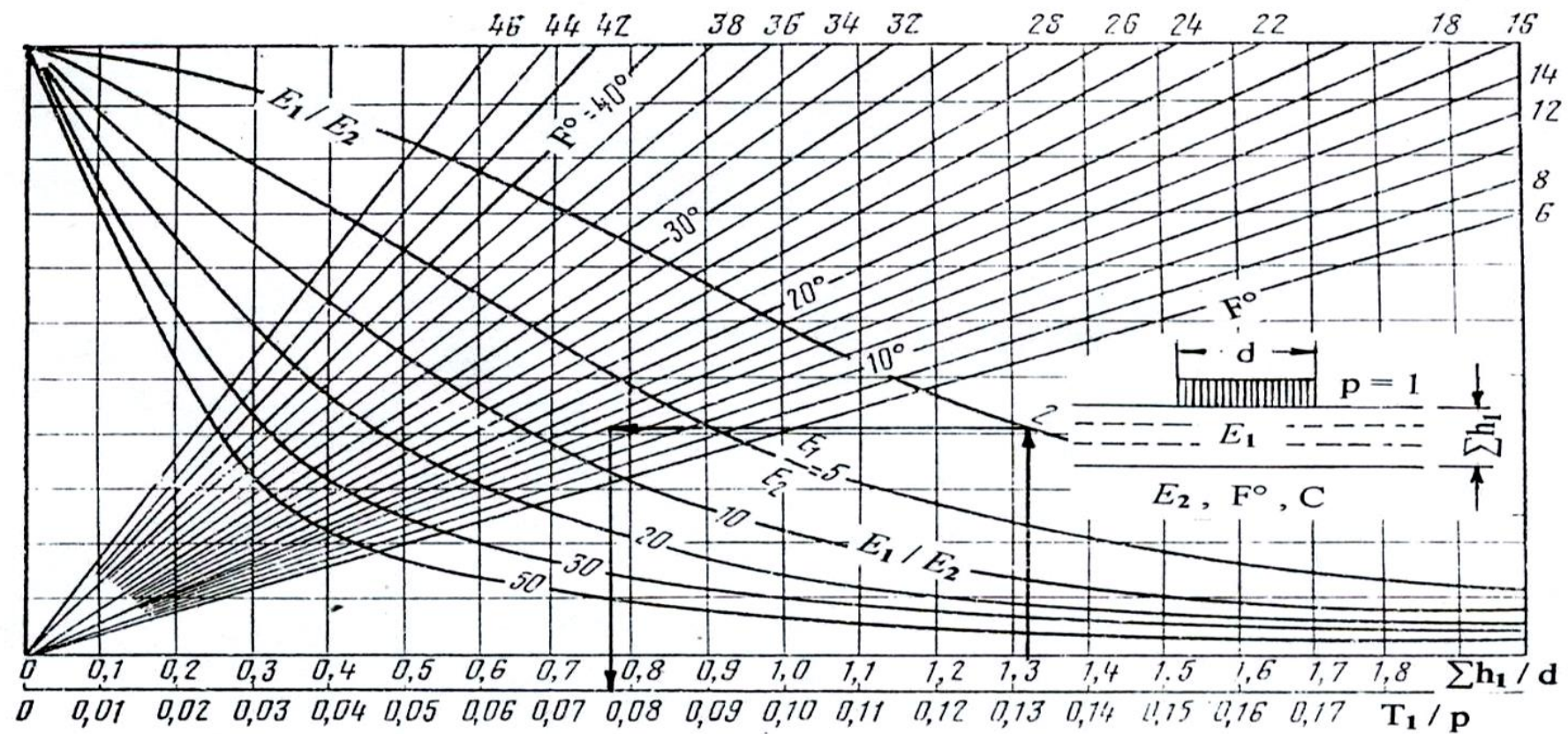
|      |         |         |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1,63 | 0,13278 | 0,09802 | 0,06326 | 0,03164 | 0,00000 |
| 1,64 | 0,13364 | 0,09864 | 0,06364 | 0,03183 | 0,00000 |
| 1,65 | 0,13449 | 0,09926 | 0,06402 | 0,03202 | 0,00000 |
| 1,66 | 0,13534 | 0,09987 | 0,06440 | 0,03221 | 0,00000 |
| 1,67 | 0,13619 | 0,10049 | 0,06478 | 0,03241 | 0,00000 |
| 1,68 | 0,13704 | 0,10110 | 0,06516 | 0,03260 | 0,00000 |
| 1,69 | 0,13790 | 0,10172 | 0,06554 | 0,03279 | 0,00000 |
| 1,70 | 0,13875 | 0,10233 | 0,06592 | 0,03298 | 0,00000 |
| 1,71 | 0,13948 | 0,10285 | 0,06622 | 0,03313 | 0,00000 |
| 1,72 | 0,14020 | 0,10336 | 0,06652 | 0,03328 | 0,00000 |
| 1,73 | 0,14093 | 0,10388 | 0,06682 | 0,03343 | 0,00000 |
| 1,74 | 0,14166 | 0,10439 | 0,06712 | 0,03358 | 0,00000 |
| 1,75 | 0,14239 | 0,10490 | 0,06742 | 0,03373 | 0,00000 |
| 1,76 | 0,14312 | 0,10542 | 0,06772 | 0,03388 | 0,00000 |
| 1,77 | 0,14385 | 0,10593 | 0,06802 | 0,03403 | 0,00000 |
| 1,78 | 0,14458 | 0,10645 | 0,06832 | 0,03418 | 0,00000 |
| 1,79 | 0,14530 | 0,10696 | 0,06862 | 0,03433 | 0,00000 |
| 1,80 | 0,14603 | 0,10747 | 0,06892 | 0,03448 | 0,00000 |
| 1,81 | 0,14664 | 0,10789 | 0,06914 | 0,03458 | 0,00000 |
| 1,82 | 0,14724 | 0,10830 | 0,06935 | 0,03469 | 0,00000 |
| 1,83 | 0,14785 | 0,10871 | 0,06957 | 0,03480 | 0,00000 |
| 1,84 | 0,14845 | 0,10912 | 0,06979 | 0,03491 | 0,00000 |
| 1,85 | 0,14906 | 0,10954 | 0,07001 | 0,03501 | 0,00000 |
| 1,86 | 0,14966 | 0,10995 | 0,07023 | 0,03512 | 0,00000 |
| 1,87 | 0,15027 | 0,11036 | 0,07045 | 0,03523 | 0,00000 |
| 1,88 | 0,15087 | 0,11077 | 0,07067 | 0,03533 | 0,00000 |
| 1,89 | 0,15148 | 0,11118 | 0,07089 | 0,03544 | 0,00000 |
| 1,90 | 0,15208 | 0,11160 | 0,07111 | 0,03555 | 0,00000 |
| 1,91 | 0,15256 | 0,11191 | 0,07125 | 0,03561 | 0,00000 |
| 1,92 | 0,15305 | 0,11222 | 0,07139 | 0,03568 | 0,00000 |
| 1,93 | 0,15353 | 0,11253 | 0,07153 | 0,03574 | 0,00000 |
| 1,94 | 0,15401 | 0,11284 | 0,07167 | 0,03581 | 0,00000 |
| 1,95 | 0,15449 | 0,11315 | 0,07180 | 0,03587 | 0,00000 |
| 1,96 | 0,15497 | 0,11346 | 0,07194 | 0,03594 | 0,00000 |
| 1,97 | 0,15545 | 0,11377 | 0,07208 | 0,03600 | 0,00000 |
| 1,98 | 0,15594 | 0,11408 | 0,07222 | 0,03607 | 0,00000 |
| 1,99 | 0,15642 | 0,11439 | 0,07236 | 0,03613 | 0,00000 |
| 2,00 | 0,15690 | 0,11470 | 0,07250 | 0,03620 | 0,00000 |

**L5.T2.** Tabel E<sub>üld</sub> määramiseks.

| Jrk.<br>nr. | E <sub>2</sub> /<br>E <sub>1</sub> | h/ d                              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             |                                    | 0,01                              | 0,10   | 0,20   | 0,30   | 0,40   | 0,50   | 0,60   | 0,70   | 0,80   | 0,90   | 1,00   | 1,10   | 1,20   | 1,30   | 1,40   | 1,50   | 1,60   | 1,70   | 1,80   | 1,90   | 2,00   |
|             |                                    | E <sub>üld</sub> / E <sub>1</sub> |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 1           | 0,95                               | 0,9501                            | 0,9483 | 0,9422 | 0,9389 | 0,9408 | 0,9441 | 0,9481 | 0,9533 | 0,9591 | 0,9636 | 0,9678 | 0,9723 | 0,9768 | 0,9820 | 0,9871 | 0,9917 |        |        |        |        |        |
| 2           | 0,90                               | 0,9000                            | 0,9001 | 0,9001 | 0,9023 | 0,9082 | 0,9147 | 0,9214 | 0,9283 | 0,9354 | 0,9410 | 0,9462 | 0,9514 | 0,9564 | 0,9619 | 0,9671 | 0,9719 | 0,9767 | 0,9816 | 0,9864 | 0,9909 |        |
| 3           | 0,85                               | 0,8499                            | 0,8507 | 0,8559 | 0,8656 | 0,8774 | 0,8868 | 0,8952 | 0,9033 | 0,9117 | 0,9185 | 0,9246 | 0,9305 | 0,9360 | 0,9417 | 0,9472 | 0,9522 | 0,9572 | 0,9622 | 0,9671 | 0,9717 | 0,9759 |
| 4           | 0,80                               | 0,7999                            | 0,8040 | 0,8158 | 0,8281 | 0,8432 | 0,8576 | 0,8710 | 0,8810 | 0,8888 | 0,8962 | 0,9029 | 0,9096 | 0,9156 | 0,9216 | 0,9273 | 0,9325 | 0,9376 | 0,9428 | 0,9478 | 0,9524 | 0,9566 |
| 5           | 0,75                               | 0,7507                            | 0,7578 | 0,7740 | 0,7926 | 0,8110 | 0,8286 | 0,8446 | 0,8570 | 0,8673 | 0,8755 | 0,8827 | 0,8895 | 0,8956 | 0,9014 | 0,9073 | 0,9127 | 0,9181 | 0,9234 | 0,9284 | 0,9332 | 0,9374 |
| 6           | 0,70                               | 0,7011                            | 0,7128 | 0,7310 | 0,7535 | 0,7766 | 0,7971 | 0,8154 | 0,8313 | 0,8443 | 0,8542 | 0,8621 | 0,8697 | 0,8766 | 0,8833 | 0,8891 | 0,8941 | 0,8988 | 0,9040 | 0,9091 | 0,9139 | 0,9181 |
| 7           | 0,65                               | 0,6511                            | 0,6648 | 0,6876 | 0,7139 | 0,7393 | 0,7644 | 0,7860 | 0,8033 | 0,8172 | 0,8301 | 0,8409 | 0,8504 | 0,8572 | 0,8639 | 0,8707 | 0,8765 | 0,8823 | 0,8874 | 0,8919 | 0,8957 | 0,8990 |
| 8           | 0,60                               | 0,6019                            | 0,6183 | 0,6438 | 0,6728 | 0,7031 | 0,7305 | 0,7540 | 0,7726 | 0,7915 | 0,8055 | 0,8160 | 0,8265 | 0,8364 | 0,8457 | 0,8527 | 0,8581 | 0,8642 | 0,8703 | 0,8752 | 0,8795 | 0,8832 |
| 9           | 0,55                               | 0,5517                            | 0,5709 | 0,6008 | 0,6312 | 0,6637 | 0,6948 | 0,7192 | 0,7428 | 0,7607 | 0,7771 | 0,7924 | 0,8049 | 0,8137 | 0,8229 | 0,8319 | 0,8393 | 0,8464 | 0,8525 | 0,8579 | 0,8631 | 0,8671 |
| 10          | 0,50                               | 0,5021                            | 0,5215 | 0,5512 | 0,5881 | 0,6241 | 0,6558 | 0,6844 | 0,7083 | 0,7292 | 0,7472 | 0,7631 | 0,7764 | 0,7886 | 0,8008 | 0,8083 | 0,8167 | 0,8252 | 0,8326 | 0,8390 | 0,8448 | 0,8500 |
| 11          | 0,45                               | 0,4521                            | 0,4721 | 0,5039 | 0,5415 | 0,5792 | 0,6143 | 0,6449 | 0,6720 | 0,6949 | 0,7151 | 0,7311 | 0,7471 | 0,7606 | 0,7719 | 0,7820 | 0,7910 | 0,8008 | 0,8078 | 0,8155 | 0,8221 | 0,8265 |
| 12          | 0,40                               | 0,4018                            | 0,4223 | 0,4545 | 0,4947 | 0,5350 | 0,5703 | 0,6022 | 0,6305 | 0,6563 | 0,6761 | 0,6966 | 0,7134 | 0,7283 | 0,7414 | 0,7535 | 0,7628 | 0,7723 | 0,7820 | 0,7896 | 0,7977 | 0,8032 |
| 13          | 0,35                               | 0,3520                            | 0,3723 | 0,4030 | 0,4443 | 0,4839 | 0,5227 | 0,5561 | 0,5854 | 0,6141 | 0,6381 | 0,6564 | 0,6740 | 0,6909 | 0,7053 | 0,7178 | 0,7302 | 0,7405 | 0,7512 | 0,7602 | 0,7689 | 0,7764 |
| 14          | 0,30                               | 0,3018                            | 0,3212 | 0,3536 | 0,3922 | 0,4316 | 0,4687 | 0,5049 | 0,5357 | 0,5653 | 0,5908 | 0,6138 | 0,6322 | 0,6487 | 0,6651 | 0,6789 | 0,6910 | 0,7022 | 0,7129 | 0,7235 | 0,7345 | 0,7447 |
| 15          | 0,25                               | 0,2517                            | 0,2689 | 0,3020 | 0,3386 | 0,3789 | 0,4159 | 0,4499 | 0,4819 | 0,5090 | 0,5369 | 0,5624 | 0,5829 | 0,6015 | 0,6167 | 0,6318 | 0,6445 | 0,6599 | 0,6711 | 0,6822 | 0,6940 | 0,7040 |
| 16          | 0,20                               | 0,2012                            | 0,2166 | 0,2495 | 0,2845 | 0,3190 | 0,3573 | 0,3929 | 0,4243 | 0,4533 | 0,4785 | 0,5018 | 0,5235 | 0,5438 | 0,5623 | 0,5780 | 0,5906 | 0,6033 | 0,6166 | 0,6299 | 0,6434 | 0,6564 |
| 17          | 0,15                               | 0,1511                            | 0,1647 | 0,1940 | 0,2260 | 0,2594 | 0,2924 | 0,3256 | 0,3560 | 0,3833 | 0,4093 | 0,4319 | 0,4543 | 0,4731 | 0,4921 | 0,5093 | 0,5239 | 0,5397 | 0,5524 | 0,5649 | 0,5767 | 0,5908 |
| 18          | 0,10                               | 0,1008                            | 0,1117 | 0,1358 | 0,1646 | 0,1950 | 0,2221 | 0,2508 | 0,2757 | 0,3006 | 0,3229 | 0,3452 | 0,3632 | 0,3834 | 0,4020 | 0,4179 | 0,4332 | 0,4491 | 0,4630 | 0,4743 | 0,4877 | 0,5014 |
| 19          | 0,05                               | 0,0501                            | 0,0555 | 0,0727 | 0,0933 | 0,1137 | 0,1378 | 0,1585 | 0,1781 | 0,1944 | 0,2089 | 0,2267 | 0,2455 | 0,2620 | 0,2762 | 0,2907 | 0,3039 | 0,3148 | 0,3269 | 0,3375 | 0,3474 | 0,3573 |

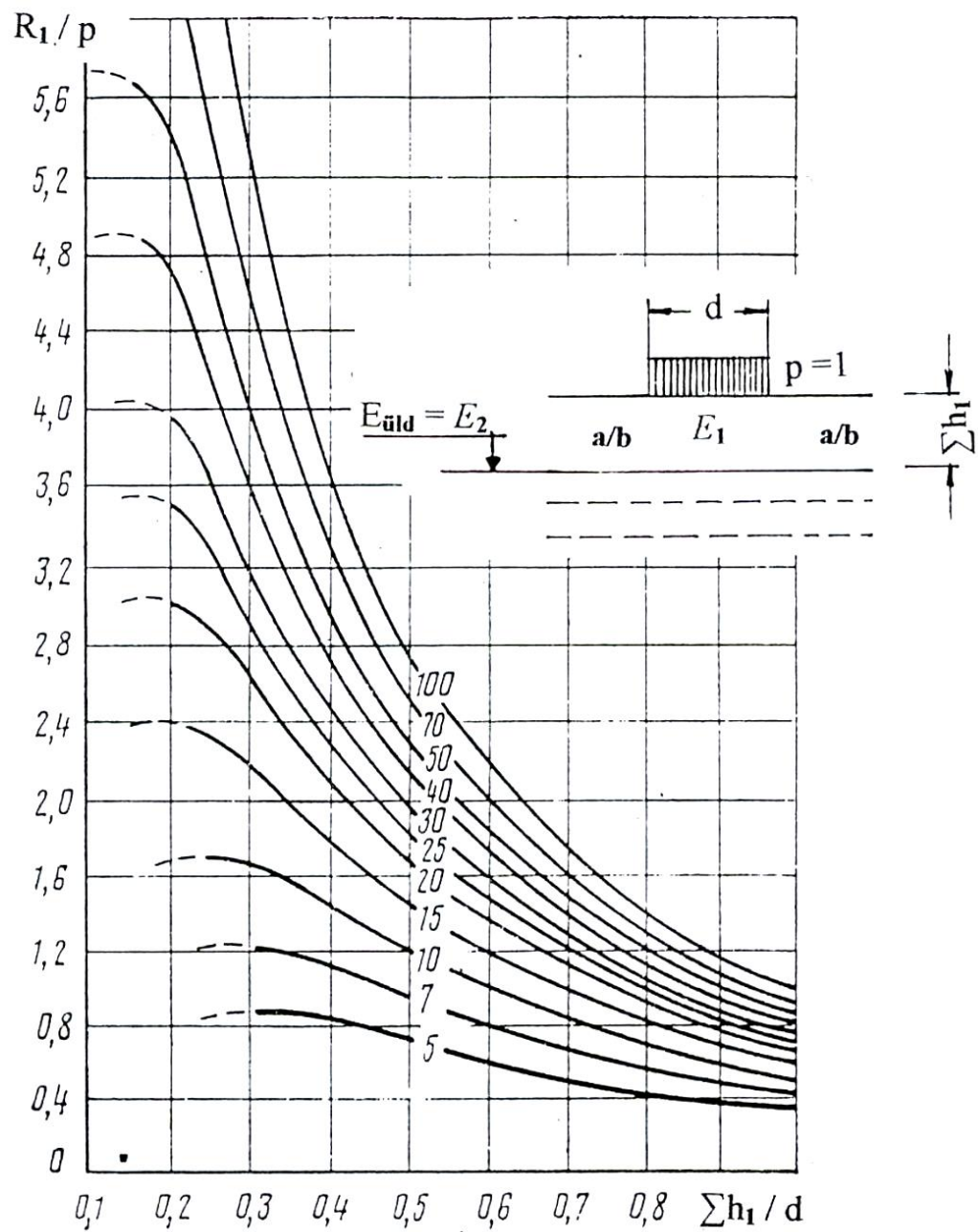


**Nomogramm L4.2** Eüld määramiseks



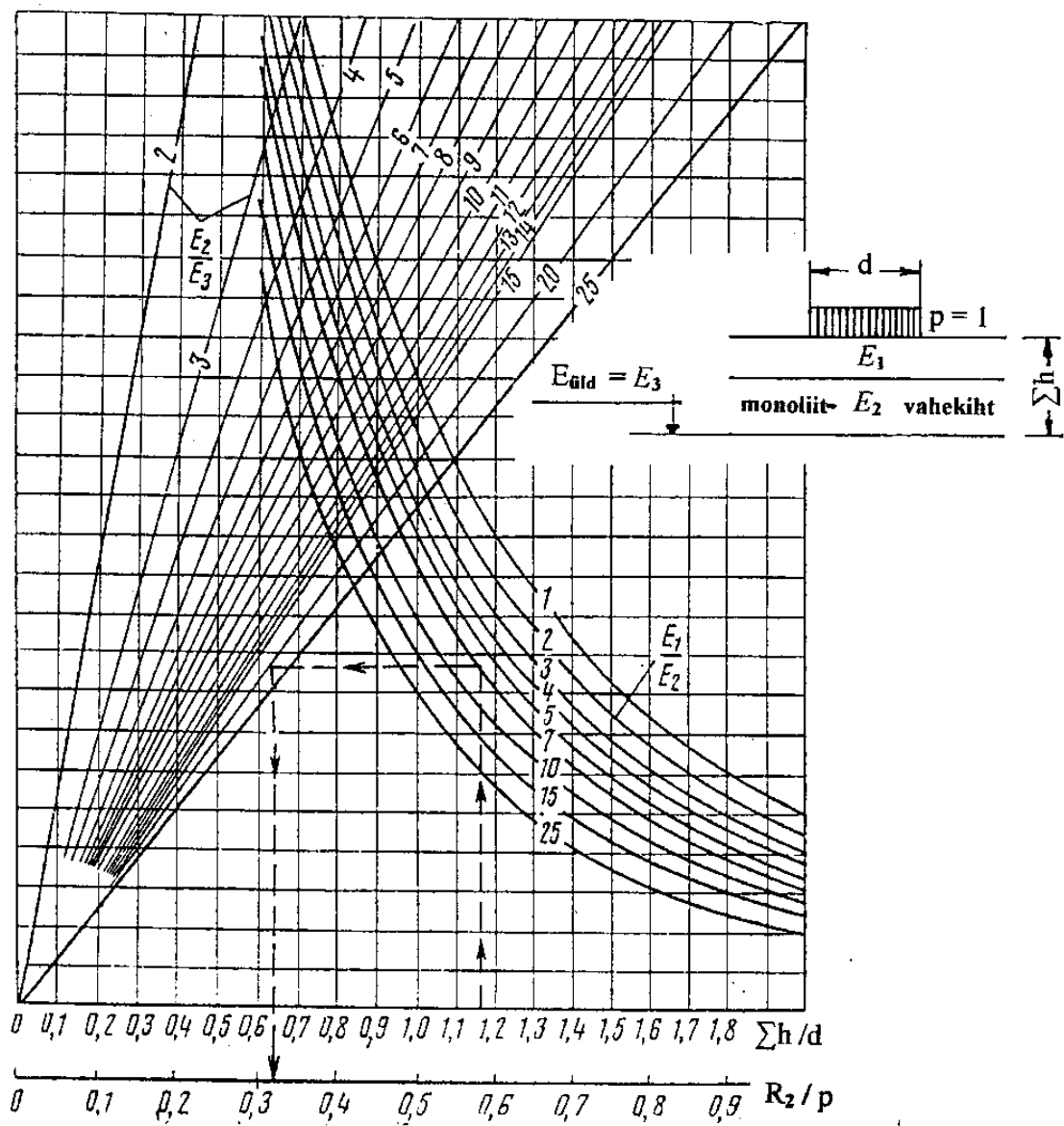
L4.3. Nomogramm liikuvkoormusest nihkepingete  $T_1/p$  määramiseks pinnases ja katendi kihtides





L4.4. Nomogramm asfaltbetooni tõmbepingete  $R_1 / p$  määramiseks





L4.5. Nomogramm monoliitvahekihis tõmbepingete  $R_2/p$  määramiseks

