

**ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMISE
JUHEND**

2001-52

Tallinn, 2001

Elastsete teekatendite projekteerimise juhend (2001-52) on koostatud
Maanteeameti tellimisel
teedeinsener, PhD Ants Vaimeli poolt

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi (2001-52) koostamisel on arvestatud rea märkuste ja ettepanekutega, mille eest koostaja on tänulik kolleegidele Andrus Aavik, Elmur Karu Maanteeametist, Vello Mespak, Maano Koppel TTÜ teedeinstituudist ning kolleegidele Kuuno Meschin ja Irene Püü.

Sisukord	lk
1. Kasutusvaldkond	5
2. Üldist	5
3. Katendi projekti lähteülesanne	6
4. Teekatend	6
4.1 Katendi tüübid	7
5. Ehitusmaterjalid ja pinnased	7
6. Tugevustegur ja töökindlustegur	7
7. Kasutusaeg	8
8. Koormamise viis	8
9. Normkoormus	8
10. Koormussagedus	9
10.1. Ennustusliku koormussageduse määramine	10
11. Katendi konstrueerimine	10
11.1. Konstruktiivsed kihid	12
11.2. Tehnoloogilised kihid	12
12. Üldiselt katendi tugevuse ja külmakindluse arvutusest	13
12.1. Katendi arvutamine koormusele Q (V_1 või V_2 / ööp)	13
12.2. Katendi arvutamine koormusele Q (V_3 / ööp)	14
12.3. E-moodulite tähistusest	14
13. Katendi tugevusarvutus	14
13.1. Katendi arvutamine elastsele vajumile	14
13.2. Katendi kihtide ja pinnase arvutamine nihkele	18
13.3. Asfaltbetooni arvutamine tõmbele	20
13.4. Aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihi arvutamine tõmbele	22
13.5. Arvutuste täpsusest	23
14. Katendi tugevusarvutuse näited	23
Näide 1 (asfaltbetoonkattega katend)	23
Näide 2 (monoliitvahekihiga katend)	25
Näide 3 (kruuskattega katend)	27
15. Katendi arvutamine külmakindlusele	30
15.1. Külmakaitsekihi materjal	31
15.2. Katendi külmakindluse arvutamise näide	31
16. Dreenkiht	34
16.1. Üldist	34
16.2. Dreenkihi konstrueerimine	34
16.3. Dreenkihi materjalid	35
17. Katendi projekt	36
18. Tähtsimate katendite projekteerimise iseärasused	36
Lisad	
Lisa 1. Pinnaste tugevuskarakteristikud	39
L1.1. Üldist	39
L1.2. Paikkonna tüübi kirjeldus ja pinnaste suhtelised niiskused	39
L1.3. Arvutusliku suhtelise niiskuse W_1 arvutus	40
L1.4. Pinnaste tugevuskarakteristikute määramine	40
Lisa 2. Materjalide tugevuskarakteristikud	42
Lisa 3. Materjalide ja pinnaste soojustehnilised ekvivalendid	43
Lisa 4. Nomogrammid	
L4.1. Tabel $E_{\text{üld}}$ määramiseks	44
L4.2. Nomogramm $E_{\text{üld}}$ määramiseks	45

L4.3. Nomogramm liikuvkoormusest nihkepingete T_1 / p määramiseks pinnases ja katendi kihtides	46, 47
L4.4. Nomogramm asfaltbetooni tõmbepingete R_1 / p määramiseks	48
L4.5. Nomogramm monoliitvahekihis tõmbepingete R_2 / p määramiseks	49
Lisa 5. Katendi tugevusarvutuse koond	50

1. Kasutusvaldkond

Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52 (**Juhend**) on mõeldud 17.02.99.a Teeseaduse paragrahvis 2 toodud teede ja järgmiste rajatiste (**teed ja rajatised**):

- sõiduteele ning sellega külgnevale alale sissesõidu ja sealt väljasõidu tee ning kõnnitee;
 - parkla ja puhkekoha;
 - liikurmasinaraja;
 - liikleja kontrollimiseks ja maksustamiseks mõeldud ala;
 - ühissõiduki peatuseks ettenähtud ala ja
 - teepeenra
- katendite projekteerimiseks.

Juhend on koostatud peamiselt riigimaantee katendite projekteerimiseks. Muude **teede ja rajatiste** katendite projekteerimisel peab projekteerija leidma riigimaanteele vastava sobiva analoogi.

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 nomogramme järgi arvutamist, asendades võimaluse piires neid valemitega, silmas pidades kaasaja arvutivõimalusi; valemite kasutamine on sageli mugavam kui halvasti loetavate ja korrektse mõõtkavata nomogrammidele 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 eleastsusmoodul (edaspidi vajalik E – moodul või E_{vaj}); $E_{üld}$ – teekatendi üldine eleastsusmoodul (edaspidi üldine E – moodul), K_{tt} – tugevustegur;

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

Valemite, tabelite ja jooniste numbrid on kaheosalised: esimene osa tähistab punkti ja teine jooksvat järjekorranumbrit; viimane algab igas uues punktis ühest. Eraldamaks valemeid, tabeleid 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.

Juhendis käsitletud arvutused kehtivad ainult teemaal tagatud vete äravoolu korral.

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

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

3. Katendi projekti lähteülesanne

Katendi projekti lähteülesanne peaks sisaldama:

- **tee ja rajatise** nimetust, algus- ning lõpppunkti;
- riigimaanteede puhul tee klassi, linnatänavate korral tänavaliiki või nõuet selle määramiseks;
- katendi tüüpi või nõuet selle määramiseks;
- tugevus- ja töökindlustegurite (K_{tt} , K_{tk}) arvulisi väärtusi või nõuet nende määramiseks;
- katendi kasutusaega;
- nõuet liiklusloenduse korraldamiseks ja liiklusvoo grupilise koosseisu määramiseks;
- nõuet ennustusliku koormussageduse määramiseks;
- vajadusel katendi etapilist ehitamist;
- nõuet ehitusmaterjalide ja pinnaste tugevuskarakteristikute määramiseks kas laboratoorselt või tabelisuurustena;
- nõuet väli- (sh ka geoloogiliste) uuringute tegemiseks laborite poolt, kelle vastavad teimid on akrediteeritud;
- nõuet varem (sh ka PMSi raames) tehtud uuringute kirjeldamiseks ja hinnangut antud projektis nende kasutamise võimalikkusest;
- teede/tänavate puhul nõuet oleva katendi ülevaatusse 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 või omanik 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. **Juhendis** käsitletakse ainult elastseid katendeid.

Katend koosneb kolmest põhikihist – katest (katendi kõige ülemine kiht, mis puutub vahetult kokku liiklusvahendite ratastega); sellele järgnevad alus ja drenikiht. Kõik need kolm põhikihti peavad reeglina olema. Drenikiht võib puududa, kui mõni teine kiht seda funktsiooni täidab või on muldkeha ehitatud liivast või jame kergest saviliivast. Neil juhtudel on tegemist fiktiivse drenkihiga – ta on olemas, kuid pole võimalik tõmmata joont, kus ta algab või lõpeb.

Katendi iga põhikiht võib omakorda koosneda mitmest kihist. Näiteks katte ülakiht, katte alakiht; aluse sideainega töödeldud kiht ja sideainega töötlemata kiht.

Kihi nimetusele võib lisada ka materjali, millest antud kiht ehitatakse, nimetus. Näiteks: asfaltbetoonkate, asfaltbetoonkatte ülakiht, killustikalus jne.

Põhikihtidele võivad vajadusel lisanduda külmakaitse-, soojaisolatsiooni-, hüdroisolatsiooni-, 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 koostöötavat tervikut.

4.1. Katendi tüübid

Katendi tüübid ja katte põhiliigid on:

1) püsikatend:

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

2) kergkatend:

- kergasfaltbetoonist;
- pinnatud mustsegust

3) siirdekate:

- kiilutud killustikust;
- optimaalsest kruusliiva segust;
- kiilutud killustikust 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. Ehitusmaterjalid ja pinnased

Juhendi käsitluses on ehitusmaterjalid (materjalid) need, mille tugevuskarakteristikute väärtused peaaegu ei sõltu nende looduslikust niiskusest; pinnased on need, mille tugevuskarakteristikute väärtused sõltuvad oluliselt nende looduslikust niiskusest.

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 esineda 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

T6.1

Tee klass	Katend	K_{tt}	K_{tk}
Kiirtee, I, II	Püsikatend	1,0	0,95
III	Püsikatend	0,94	0,9
III, IV, V	Kergkatend	0,9	0,85
IV, V	Siirdekateend	0,63	0,6
V, klassivälised teed	Lihtkatend	0,63	0,6

Reeglina kasutatakse ülaltoodud tabeli andmeid. Projekteerimise lähteülesandega võib püstitada ka teistsugust K_{tt} ja K_{tk} . 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 10 ... 20 aastat, kuid mitte vähem kui:

- 7 aastat siirdekateendile;
- 10 aastat kergkatendile;
- 15 aastat püsikatendile.

Kasutusaeg määratakse katendi projekti lähteülesandes.

8. Koormamise viis

Sõidutee katend arvutatakse lühiajalisele korduvkoormusele, kusjuures üksikkoormamise kestvuseks on 0,1 s. **Juhendi** järgnevatel osades nimetatakse seda dünaamiliseks koormuseks.

Koormamise kestvuse arvulist väärtust ei lähe vaja katendi projekteerimisel, kuid seda on vaja teada bituumensideainega töödeldud ehitusmaterjalide/pinnaste tugevuskarakteristikute määramisel kas väli- või laboriteimiga.

9. Normkoormus

Normkoormuseks on veoauto või autobuss, mille koormuskarakteristikud on järgmised:

T9.1

	Koor- mus grupp	Max staatil koormus, kN		Max dün koormus paaris- rattale, kN	Keskm arvutus- erisurve tee- pinnale p, Mpa	Ratta jälje arvutus- diameeter d, cm	
		üksik teljele	paaris 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

Lisaks selle tabeli koormuskarakteristikutele on normitud topelttelje normkoormuseks 160 ja kolmiktelele 250 kN. Topelt- ja kolmiktelje normkoormusi on vaja teada tegelike teljekoormuste redutseerimisel normkoormusteks.

Reeglina kasutatakse Eestis A grupi koormusi P1 nimetatud teede ja rajatiste katendite projekteerimisel. Omaniku või 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% veoauto + auto-trolli-bussi liiklussagedusest.

Koormuse jaotus sõiduradade vahel

T9.2

Sõiduradade arv	Rajategur a'					
1	1					
2, sõidutee laius >6m	0,55	0,55				
3	0,5	0	0,5			
4	0,45	0,05	0,05	0,05	0,45	
6	0,45	0,05	0	0	0,05	0,45

T9.2 järg

Sõidutee laius, m		
	Rajategur a'	
6	0,6	0,6
5	0,8	0,8

Märkused:

- 1) T9.2 andmeid kasutatakse siis, kui liiklusuuringutega pole teisiti kindlaks tehtud;
- 2) radade numeratsioon paremalt vasakule;
- 3) kindlustatud teepeenara 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 ≥ 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 linnatänavail.

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 omaniku 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 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.

10.1. Ennustusliku koormussageduse Q määramine

Ennustusliku koormussageduse määramine toimub vastava juhendi, mis ei kuulu **Juhendi** koosseisu, järgi.

Kuni seda pole, peab projekteerija ise sobilikul ja tellijale vastuvõetaval viisil, ennustusliku koormussageduse määrama..

Ükskõik, kuidas Q ka ei määrataks, tuleb projekteeritava teel (lõigul) liiklust loendada, teada saamaks liiklusvoo grupilist koosseisu

.

Alljärgnev on soovitusliku iseloomuga.

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. 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 jtt. Ka 1. astme polünoomi kasutamine võib anda rahuldavaid tulemusi.

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

Kui loendusrida puudub, siis tuleb kasutada analoogmeetodit, mis seisneb selles, et kasutatakse mõne teise (läheduses oleva) tee loendusrida, mille liiklussagedused on ligikaudu samasugused, nagu antud teel.

Kui mingisugusel põhjusel pole võimalik ka analoogmeetodit kasutada, tuleb katend projekteerida minimaalse vajaliku $E_{\min}$ järgi (T13.2), kui katendi projekteerimisaegse liiklusloenduse või katendi projekti lähteülesandest ei tulene teisiti.

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 (projekteerija äranägemisel).

Nende tunnuste järgi määratakse kõige halvemates tingimustes oleval teeosal arvutusprofiil, mille kohta konstrueeritakse katend ja tehakse tugevusarvutus. Kogu tee(lõigu) ulatuses võib selliseid “kõige halvemaid” teesi olla mitu. Sellest tulenevalt on võimalik ka mitu arvutusprofiili.

Reeglina projekteeritakse katend sõidutee enimkoormatud sõiduraja järgi ühesugusena kogu põiklõike jaoks. Mitmerajalisele (enam kui 2 ühes suunas) sõiduteele lubatakse ka põiklõikes muutuva paksusega katendit.

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 ülakihis, mis on vahetus kokkupuutes auto- ja veokirastestega. Igas järgmises kihis allpool aga paikneksid nõrgemad, vähesema ilmastiku- ja kulumiskindlusega materjalid. Konstruktiivne kiht, mis asetseb pinnasel, (tavaliselt) drenikiht, peab olema mulde pinnasest paremate tugevusomadustega. Reeglina ei tohi tugevad ja nõrgad ehitusmaterjalid olla katendis vaheldumisi. Kui see tingimus on täidetud, arvutatakse $E_{\text{üld}}$ nomogrammi L4.2 abil.

Rekonstrueerimistöode korral pole sageli võimalik sellest reeglist kinni pidada; sel juhul toimub $E_{\text{üld}}$ arvutamine valemi (13.3) järgi.

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.

Üksteisele järgnevate kihtide materjalide E -moodulite suurimad soovituslikud suhtarvud (suuremaid väärtusi kasutatakse paksude kihtide puhul)

T11.1

Katendikiht	E-mooduli suhe	
Asfaltbetoon	2 – 3	3 – 5
Sideainega töödeldud alus		
Sideainega töötlemata alus või aluse alumine kiht	2,5 – 3,5	3 - 4
Dreenikiht	2,5 – 3,5	
Pinnas	2 - 4	

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 tohiks olla suurem kui kolm, sest nende kolme kihiga on võimalik lahendada kõik tehnilised ja majanduslikud probleemid.

Bituumensideainega töödeldud katendi ülakihtide soovituslikud kogupaksused on järgmised:

T11.2

E_{vaj} , Mpa	<125	125 - 180	180 - 220	220 - 250	250 - 300
Kogupaksused, cm	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 13	13 - 16

Kiir-, I ja II kl teele ehitatakse asfaltbetoonkatte 2-kihilisena; seejuures soovitatakse see paigaldada sideainega töödeldud alusele.

III kl teele võib 1-kihilist asfaltbetoonkatet ehitada bituumensideainega töödeldud alusele.

Tuleks hoiduda:

- bituumensideainega töötlemata alusele 1-kihilise asfaltbetoonkatte ehitamisest;
- drenasfaltbetooni kasutamisest sõidutee katendi ülakihis.

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 väikesemad T11.3 tooduist.

Konstruktiivsete kihtide minimaalsed paksused

T11.3

Kihi materjal	Max teramõõt, D_{max} , mm	Min paksus, cm
Tihe asfaltbetoon	4 või 8 12 või 16 20 või 32	3 – 4 3 - 5 6 – 7
Kõik poorse asfaltbetooni liigid	16 32	4 – 5 6 - 7
Kergasfaltbetoon	8 16 või 20 32	4 – 5 4 – 6 8
Dreenasfaltbetoon		2
KMA		3 või $2 \cdot D_{max}$
Valuasfalt		$2 \cdot D_{max}$
Bituumenstabiliseeritud kihid		8
Tsement ja kompleksstabiliseeritud kihid		12
Mustsegud:		
• segistist		5 – 7
• teel segatud		8
Bituumenmakadam - sügavimmutus		6,5
Bituumenmakadam - kergimmutus		4
Kruuskate	12 16 20	4 5 12
Töötlemata killustik- ja kruusliiivalus:		
• tugevdatud kihil		12
• liiival		20
Liiv (dreenkihina)		20

Märkus: 1) kui minimaalsed paksused on antud piiridena, siis alumise piiri paksust lubatakse kasutada ainult III ... V kl teedel;

2) tabelis näitamata juhtudel kihtide min paksused peavad olema vähemalt $1,5 \cdot D_{max}$ (v.a bituumenmakadam).

~~Loomaks kulumisvaru, suurendatakse tugevusarvutustega määratud:~~

~~□ sideainega töödeldud pindamata ülakihi paksust 1 cm ja~~

~~□ kruuskatte paksust 3 cm võrra. (Eemaldatud Maanteeameti peadirektori 6. novembri 2006. a käskkirjaga nr 222)~~

11.2. Tehnoloogilised kihid.

Tehnoloogilised kihid on need, mis tugevusarvutuslikult ega katendi külmakindluse jaoks pole vajalikud, kuid mille olemasolu tingivad mitmesugused tehnoloogilised kaalutlused, mis võivad alles ilmned a ehitamise ajal, olenevalt ilmastikust ja aastaajast. Tehnoloogiliste kihtide:

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

Tehnoloogilisi kihte ei võeta tugevusarvutuslikult arvesse ja katendi projektis neid ei käsitleta.

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 riigimaanteed sõidutee katendi tugevusarvutust dünaamilisel koormamisel T12.1. Teiste omanike valduses olevate **teede ja rajatiste** katendite jaoks peab projekteerija kasutama riigimaantee klassile vastavat analoogi.

Katendite dünaamilisele koormusele ja külmakindlusele arvutamise üldskeem

T12.1

Katend	Tugevusele dünaamilisel koormamisel				Kogu katend külma- kindlusele
	Kogu katend elastsele vajumile	Pinnas nihkele	Asfaltbetoon, mineraalse ja komplekssideai- nega 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 pinnaste ja materjalide 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° 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.

Kui tugevusarvutuse tulemused erinevad lubatavatest suurustest enam kui 5%, tuleb katend ümber projekteerida. Enamikel juhtudel pole võimalik seda nõuet täita kõigi kolme tugevuskriteeriumi (elastne vajum, tõmbe- ja nihkepinged) puhul. Sageli määravad nihkepinged katendi dimensioonid, aga lubatava vajumi ja tõmbepingete järgi osutub katend üledimensioneerituks. Järelikult peab see 5% nõue olema täidetud vähemalt ühe, määravaks osutuva, tugevustingimuse juures.

Kui katendi paksus tugevusarvutuste järgi osutub väikesemaks külmakindlusele arvutatud paksusest, siis on viimasega määratud katendi dimensioonid. Sel juhul tuleb:

- kaaluda katendi ümberprojekteerimist, vähendades katte ja aluse paksust kuni konstruktiivse miinimumini, kuid suurendades drenkihi paksust selliselt, et katendi kogupaksus vastaks külmakindluse järgi arvutatud paksusega;
- uuesti määrata katendi $E_{\text{üld}}$, sellele vastav koormusintensiivsus ja teha pingekontroll.

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 etapilisel ehitamisel tuleb iga etapi katend arvutada tugevusele ja külmakindlusele.

Katendi tugevusarvutuse soovituslik järjekord:

- 1) lubatavale elastsele vajumile;
- 2) lubatavatele nihkepingetele pinnases;
- 3) sideainetega töötlemata kihid lubatavatele nihkepingetele;
- 4) asfaltbetoon lubatavatele tõmbepingele ja
- 5) monoliitne vahekiht lubatavatele tõmbepingetele.

Tugevuskriteeriumide rakendumise orienteeruvad piirid

T12.2

Q, V ₁ /ööp	Muldkoha pinnas											Jäme kerge savi- liiv	Peen- liiv
	Tolmne saviliiv, liivsavi, savi						Mittetolmne kerge saviliiv						
	Arvutuslik suhteline niiskus W / W _v (vt L1.1)												
	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,65	0,70	0,75	0,80			
100	E _{üld} R ₁	E _{üld} R ₁	T ₃	T ₃			E _{üld} R ₁		E _{üld}		E _{üld} R ₁	T ₃ E _{üld}	
500		E _{üld}	T ₃ E _{üld}				E _{üld}						
1000	E _{üld}												
3000													
5000				T ₃ E _{üld}	T ₃							E _{üld}	

Märkused: E_{üld} - määravaks osutub arvutus elastsele vajumile;

R₁ - määravaks osutuvad tõmbepinged 2-kihilises asfaltbetoonis;

T₃ - määravaks osutuvad nihkepinged pinnases.

12.2. Katendi arvutamine koormusele Q (V₃/ööp)

Kui koormuseks on Q (V₃/ööp), siis katendit ei arvutata elastsele vajumile, küll aga nihkepingetele ja (tõmbele töötavad) sideainetega töödeldud kihid tõmbele ja kogu katend külma kindlusele.

12.3. E-moodulite tähistusest

- E₁, E₂ ja E on bituumensideainetega töödeldud kihtide (mõne erandiga peamiselt asfaltbetoonid) temperatuurist sõltuvate materjalide E-moodulid;
- eraldi pole tähistatud nende materjalide E-mooduleid, mis ei sõltu temperatuurist;
- E₁, E₂, E₃ (**NB! Kaldkiri**) tähendavad enamikel juhtudel 2- või 3-kihilise asenduskonstruksiooni E-mooduleid; nomogrammid ja arvutusvalemid tuginevad sellele tähistusele;
- E_i, näiteks E₁ või E₂ ..., tähendab üksikkihi E-moodulit.

Kirjeldatud tähistuste sisu selgub täpsemalt konkreetsete arvutuste juures.

13. Katendi tugevusarvutus

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°; 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.

T13.1

	Koormus- grupp	a	b
Veoauto	A	67,6	61,3
	B	73,37	-7,7
Autobuss	A	77	62
	B	84,7	0

Kui E_{vaj} määratud, tuleb seda võrrelda T13.2 toodud suurustega.

Minimaalsed E – moodulid E_{min} , Mpa

T13.2

Maantee klass	Püsikatend	Kergkatend	Siirdekateend, lihtkatend
		E_{min}	
Kiirtee	260	-	-
I	240	200	-
II	220	180	-
III	180	160	-
IV	-	140	70
V	-	120	70
Muud teed ja rajatised	-	120	70

Osutub E_{vaj} neist väikesemaks, tuleb katend projekteerida T13.2 toodud E_{min} järgi.

Omaniku soovil võib projekteerida püsikatendit ka IV, V klassi teedele ning muudele **teedele ja rajatistele**, kuid kõikidel neil juhtudel peab $E_{min} = 180$ Mpa; kui omanik seda teisiti ei määra, tuleb sel juhul K_{tt} ja K_{tk} võtta (püsikatendite reast).

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

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

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

Kiirteele, I ja II klassi teele võib kergkatendit ehitada ainult (etapiliselt) 1. ehitusjärjekorras ehitusaasta koormuse järgi, kuid rakendades $K_{tt} = 1,0$.

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_{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):

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

Kui $E_2 = E_{\text{pinnas}}$, siis $k_0 = 1,0$

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 $E_{\text{üld}}$.

$E_{\text{üld}}$ arvutamise skeem on toodud T13.3

Tegelik konstruktsioon	1.asendus	2.asendus	3.asendus	4.asendus
h_1, E_1 h_2, E_2 h_3, E_3 h_4, E_4 Pinnas E_5 Kihide E-moodulid ja paksused h_i on teada	$\nabla E_{\text{üld},3}$ h_4, E_4 Pinnas E_5 Arvutatakse kihte, E-moodulitega E_4 ja E_5, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on $E_{\text{üld},3}$	$\nabla E_{\text{üld},2}$ h_3, E_3 $\Delta E_{\text{üld},3}$ Arvutatakse kihte, E-moodulitega E_3 ja $E_{\text{üld},3}$, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on $E_{\text{üld},2}$	$\nabla E_{\text{üld},1}$ h_2, E_2 $\Delta E_{\text{üld},2}$ Arvutatakse kihte, E-moodulitega E_2 ja $E_{\text{üld},2}$, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on $E_{\text{üld},1}$	$\nabla E_{\text{üld}}$ h_1, E_1 $\Delta E_{\text{üld},1}$ Arvutatakse kihte, E-moodulitega E_1 ja $E_{\text{üld},1}$, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on $E_{\text{üld}}$; viimane on n-kihilist (antud juhul $n=5$) tarindit asedava ekvivalentse kihi E-moodul
SELLEKS				
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	$E_{\text{üld},3}/E_4 = a_1$ $i = 4$	$E_{\text{üld},2}/E_3 = a_2$ $i = 3$	$E_{\text{üld},1}/E_2 = a_3$ $i = 2$	$E_{\text{üld}}/E_1 = a_4$ $i = 1$
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:

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

või

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

E-moodulite $E_{\text{üld}}$, E_{vaj} ja E_{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 $\eta = 0,3$.

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

Toimides **Juhendi** järgi, pole siin ega edaspidi vaja teada lubatava vajumi s 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) ülapiinnas.

Arvutamisel asendatakse tegelik mitmekihiline konstruktsioon 2 - kihilisega:

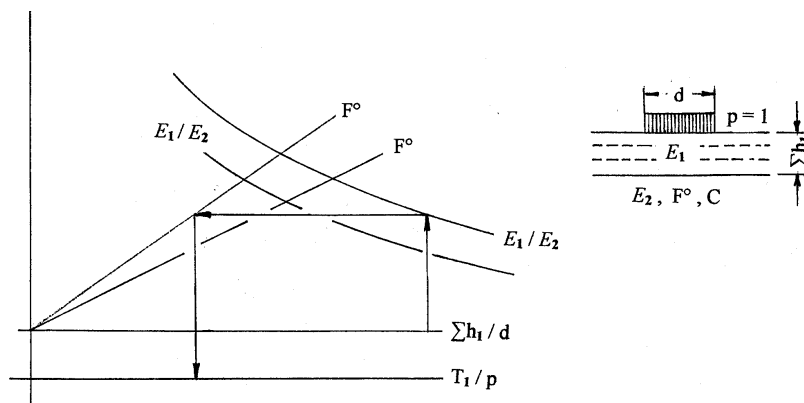
- esimeseks kihiks on kõik kihid, mis lasuvad kihil (pinnasel), mida arvutatakse nihkele, kokku; selle summaarse kihi paksus on $\sum h_1$ ja E - mooduliks on kaalutud keskmine elastsusmoodul E_1 ;
- teiseks on kiht (pinnas), tugevuskarakteristikutega E_2 , F° ja C (tabelist L1.T5), kus arvutatakse nihkepinged; 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 sideainetega 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.

Nomogrammi ja selle kasutamise skeem on J13.1.



J13.1. Nihkepinged liikuvkoormusest. Nomogrammi L4.3 kasutamise skeem

$$T_1 = p \cdot 0,00459 \cdot Z \cdot 10^{-0,0132 \cdot F}, \text{ Mpa} \quad (13.8)$$

T13.4

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

F – nihkele arvutatava kihi (materjali) või pinnase sisehõrdenurk 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;

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

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

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 .

$$T_2 = 10^{-5} * \sum h_1 * (5 - 0,3 * F), \text{ MPa} \quad (13.16)$$

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;
$k_3 = 7,0$ – 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 $\sum h_1 / d$ 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_{uld} .

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°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 $\sum h_1 = h_1 + h_2$; on tegemist kolmekihilise asfaltbetooniga, siis $\sum h_1 = h_1 + h_2 + h_3$. Seejuures pole tähtis, kas esimesed kihid (näit soe kergasfaltbetoon) töötavad tõmbele. Oluline on, et ühekihiline või mitmekihilise asfaltbetooni alumine kiht töötab tõmbele.

Selle esimese kihi, mille paksus on $\sum h_1$, 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 $E_{\text{uld}} = E_2$ 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 $\sum h_1 / d$ ja E_1 / E_2 .

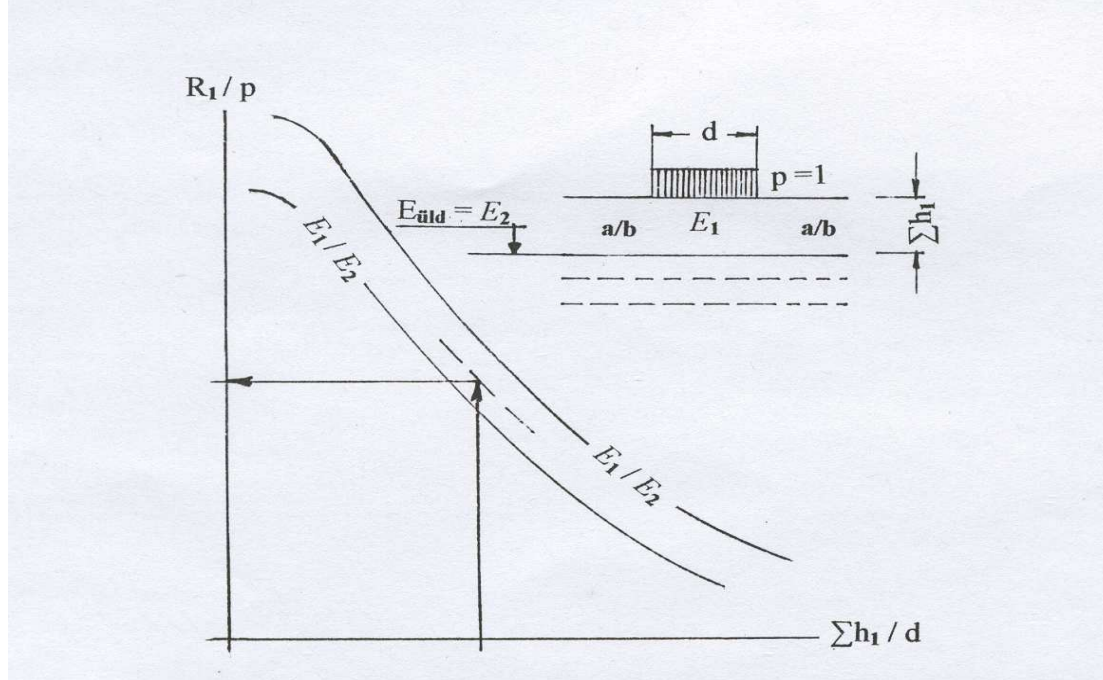
Valemid on järgmised:

$$\begin{aligned} & \text{kui } \sum h_1 / d > \frac{1,42}{E_1 / E_2} + 0,127, \text{ siis} \\ R_1 &= 1,28 * \frac{E_1}{E_2} * \sum \frac{h_1}{d} * [1 - 0,637 * \arctan(C)] * [\arctan(1 / C)]^2 * p * k_4 \quad (13.20) \\ & \text{kui } \sum h_1 / d \leq \frac{1,42}{E_1 / E_2} + 0,127, \text{ siis} \end{aligned}$$

$$R_1 = \left(1,818 + 0,162 * \frac{E_1}{E_2} \right) * [1 - 0,637 * \arctan(C_1)] * [\arctan(1 / C_1)]^2 * p * k_4 \quad (13.21)$$

$$C = A * (h / d)^{0,9} + B; \quad C_1 = A * \left(\frac{1,42}{E_1 / E_2} + 0,127 \right)^{0,9} + B$$

$$A = 0,083 * [\ln(E_1 / E_2)]^{2,2} + 1,870; \quad B = 0,00004 * (E_1 / E_2)^{1,4} + 0,007$$



J13.2. Asfaltbetooni tõmbepinged. Nomogrammi L4.4 kasutamise skeem

Lubatud tõmbepinged asfaltbetoonis R_0 arvutatakse (13.22):

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

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 variatsiooniteguri 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 (kasutatakse üldjuhul);
 $k_4 = 1,00$ kui enimkoormatud teljel on üksikrattad (kasutatakse erikoormuste korral);

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.

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

13.4. Aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihi arvutamine tõmbele

Erialases kirjanduses on nimetatud aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihti monoliitvahekihi, juhtimaks tähelepanu sellele, et taoline kiht asetseb kuskil katendi "sisemuses". Ka alljärgnevalt nimetatakse aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihti monoliitvahekihi.

Monoliitvahekihi arvutamisel lubatavale tõmbele võetakse asfaltbetooni E -moodulid 20°C , teiste materjalide ja pinnaste omad temperatuurist sõltumatult.

Monoliitvahekihi 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 $E_{\text{üld}} = E_3$ monoliitvahekihi alla jääva kihi peal.

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

Tõmbepinged monoliitvahekihis arvutatakse (13.28) või nomogrammi L4.5 abil. Nomogrammi ja selle kasutamise skeem on J13.3.

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

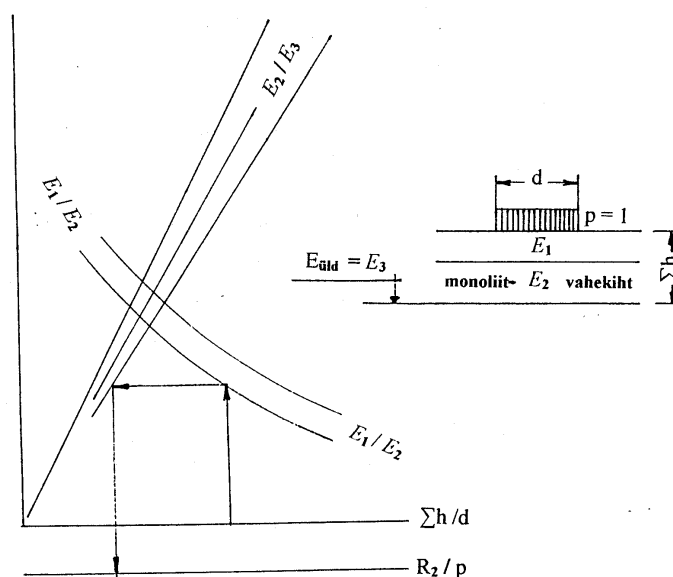
$$R_2 = [a * \text{EXP}(b * E_1 / E_2) + c] * \frac{(E_2 / E_3)^2 * p * k_4}{9,83 * (E_2 / E_3)^2 + 79,6 * (E_2 / E_3) - 5,8} \quad (13.28)$$

$$b = -0,124$$

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

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

$$k_4 = 1,0$$



J13.3. Monoliitvahekohi tõmbepinged. Nomogrammi L4.5 kasutamise skeem

Lubatud tõmbepinged monoliitses vahekihis arvutatakse valemiga (13.29):

$$R_{02} = R_3 * k_5 / K_{tt} \quad (13.29)$$

k_5 arvutatakse valemiga (13.23), kuid siin $x = 0,06$

Katendi tugevus on tagatud, kui

$$R_2 \leq R_{02} \quad (13.30)$$

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 asetsevad 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;
- $\sum h_1 / d$, $\sum h / d$ – 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° - 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 tugevusarvutuse näited

Näide 1 (asfaltbetoonkattega katend)

Kontrollida 2-kihilise (tardkivikillustikust) asfaltbetoonkattega (püsi-)katendi tugevust!

Lähteandmed:

- tee klass – II;
- T13.1 järgi $E_{\text{min}} = 220 \text{ Mpa}$;
- T6.1 järgi tugevustegur $K_{tt} = 1,0$;
- T6.1 järgi töökindlusetegur $K_{tk} = 0,95$;
- L1.T4 järgi normhálbetegur $t = 1,71$;
- L1.T4 järgi variatsioonitegur $v = 0,1$;
- normkoormuseks on A-grupi veoauto, T9.1 järgi koormuskarakteristikutega $p = 0,6 \text{ Mpa}$ ja $d = 37 \text{ cm}$;
- ennustuslik koormussagedus katendi kasutusaja lõpus $Q = 1200 \text{ V}_1 / \text{ööp}$;
- tee asetseb 2.paikkonna süvendis;
- muldkeha pinnas: kerge liivsavi;
- peenarad on kaetud 2/3 laiuses asfaltbetooniga;
- kihtide materjalid, paksused ja tugevuskarakteristikud:

K i h i									
nr	nimetus	h, cm	E ₁ , Mpa	E ₂ , Mpa	E, Mpa	R, Mpa	C, Mpa	F°	Viide
1.	Tihe asfaltbetoon	6	2400	1200	3600	2,0			L2.T1, rida 1
2.	Poorne asfaltbetoon	7	1400	800	2200	1,4			L2.T1, rida 2
3.	Lubjakivikillustik	30	400						L2.T2, rida 1
4.	Keskliiv	35	120				0,006	40	L2.T2, rida 6
	Kerge liivsavi		28				0,011	13	Vt 1)

1) Arvutused kerge liivsavi tugevuskarakteristikute määramiseks.

L1.T2 järgi on 2.paikkonna kerge liivsavi suhteline niiskus $W = 0,71$. Kuna tee asetseb süvendis ja peenrad on kaetud 2/3 laiuses asfaltbetooniga, siis parandatud suhteline niiskus L1.T3 järgi $W_2 = W - 0,05 + 0,03 = 0,71 - 0,02 = 0,69$.

Nüüd on määratav kerge liivsavi arvutuslik suhteline niiskus W_1 ja selle järgi tugevuskarakteristikud:

(L1.1) $W_1 = W_2 * (1 + t * v) = 0,69 * (1 + 1,71 * 0,1) = 0,80799 \approx 0,81$ ja L1.T5 saame, et kerge liivsavi $E = 28$ Mpa, nidusus $C = 0,011$ ja sisehõõrdenurk $F = 13^\circ$

2) Katendi arvutamine elastsele vajumile (E_{vaj} ja $E_{\text{üld}}$ arvutamine)

(13.1) järgi $E_{vaj} = [a * \log(Q) + b] * K_{tt} = [67,6 * \log(1200) + 61,3] * 1,0 = 269$ Mpa. Kuna $E_{vaj} > E_{\min}$ (vt T13.2), s.o $269 > 220$, siis edasised arvutused on tehtud E_{vaj} järgi.

Kogu katendi ja kihtide peal $E_{\text{üld}}$ on arvutatud nomogrammi abil.

Alljärgnevas tabelis on toodud vajalikud eelarvutused nomogrammi L4.2 kasutamiseks, kuid ka arvutuse lõpptulemused, s.o kogu katendi ja kihtide peal $E_{\text{üld}}$, kusjuures asfaltbetoonide E -moodulid on võetud 10°C juures.

	Kihi materjal	E_1	h	h/37	E_2/E_1	$E_{\text{üld}}/E_1$	$a * E_1 = E_{\text{üld}}$
1.	Tihe a/b	2400	6	0,16	$209/2400=0,087$	0,113	$0,111*2400 = 266$
2.	Poorne a/b	1400	7	0,19	$160/1400=0,114$	0,15	$0,149*1400 = 209$
3.	Killustik	400	30	0,81	$63/400=0,160$	0,47	$0,401 * 400 = 160$
4.	Keskliiv	120	35	0,95	$28/120=0,233$	0,61	$0,530 * 120 = 64$
5.	Kerge liivsavi	28					28

Märkus: E_1 tähendab 2-kihilise asenduse ülakihi E -moodulit, E_2 allasetseva kihi üldist E -moodulit. Kuna pinnasel see puudub, siis pinnase puhul E_2 võrdub pinnase E -mooduliga, s.o 28 Mpa.

Jagatis $h / 37$ on nomogrammi horisontaaltelje ja E_2/E_1 vertikaaltelje suurus.

Jagatise $E_{\text{üld}} / E_1 = a$ arvuline suurus saadakse nomogrammi väljalt.

Tulemuste hinnang: tugevustingimus $E_{vaj} = E_{\text{üld}}$ on lubatavuse piires ($\pm 5\%$) täidetud, sest ($269 \approx 266$); erinevus 1%.

3) Nihkepingete arvutamine.

Nihkepinged pinnases liikuvast koormusest T_1 on arvutatud nomogrammi abil, kusjuures asfaltbetoonide E -moodulid on võetud 20° juures; pinnase ning muude materjalide omad ei sõltu temperatuurist. Nomogrammi kasutamiseks tuleb teha järgmisi eelarvutusi:

(13.15) $E_1 = (h_1 * E_1 + h_2 * E_2 + h_3 * E_3 + h_4 * E_4) / \sum h_1 = (6 * 1200 + 7 * 800 + 30 * 400 + 120 * 35) / 78 = 29000 / 78 = 372$ Mpa;

$\sum h_1$ on pinnasel lasuvate kihtide paksus;

$E_2 = 28$ Mpa;

$E_1/E_2 = 372 / 28 = 13,3$ (nomogrammi kõverjoonte parve jaoks);

$\sum h_1 / d = 78/37 = 2,11$ (nomogrammi horisontaaltelje jaoks);

Kasutades L4.3 nomogrammi $T_1 = p \cdot T_1 / p = 0,6 \cdot 0,0108 \cdot 0,6 = 0,0065 \text{ MPa}$

Nihkepinged pinnasel lasuvate kihtide omamassist T_2 on arvutatud valemi järgi.

$$(13.16) \quad T_2 = 10^{-5} \cdot \sum h_1 \cdot (5 - 0,3 \cdot F) = 10^{-5} \cdot 78 \cdot (5 - 0,3 \cdot 13) = 0,0009 \text{ Mpa}$$

Pinnase lubatavad nihkepinged T_0 :

$$(13.18) \quad k_2 = 1,82 - 0,345 \cdot \log(Q) = 1,82 - 0,345 \cdot \log(1200) = 0,76$$

$$(13.17) \quad T_0 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot C / K_{tt} = 0,6 \cdot 0,76 \cdot 1,5 \cdot 0,011 / 1,0 = 0,0075 \text{ Mpa}$$

Summaarsed nihkepinged pinnases $T_3 = T_1 + T_2 = 0,0065 + 0,0009 = 0,0074 \text{ Mpa}$.

Katendi tugevus pinnase nihkepingete järgi on tagatud, sest $T_0 > T_3$, s.o $0,0075 > 0,0074$.

Analoogselt toimub ka nihkepingete arvutamine katendi dreengihis (keskliivas). Seda arvutust pole siinkohal esitatud, sest ka liivakihis jäävad nihkepinged lubatavuse piiridesse: $T_0 = 0,0164 > 0,0131 = T_3$.

4) Tõmbepinged asfaltbetoonis on määratud nomogrammi L4.4 abil, kuid selle kasutamiseks tuleb teha mõningaid eelarvutusi. Asfaltbetoonide E – moodulid on võetud 0°C juures.

$$(13.15) \quad \begin{aligned} E_1 &= (h_1 \cdot E_1 + h_2 \cdot E_2 + \dots + h_n \cdot E_n) / \sum h_1 = (6 \cdot 3600 + 7 \cdot 2200) / 13 = 2846 \text{ Mpa}; \\ E_2 &= 160 \text{ Mpa (E}_{\text{üld}} \text{ killustikkihi peal, vt N1.T2);} \\ \sum h_1 / d &= 13 / 37 = 0,35 \text{ (suurus nomogrammi horisontaaltelje jaoks) ja} \\ E_1 / E_2 &= 2846 / 160 = 17,8 \text{ (suurus nomogrammi välja jaoks).} \\ \text{Nomogrammi vertikaalteljelt saame } R_1 / p &= 2,17 \text{ ja } R_1 = 2,2 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 1,12 \text{ Mpa.} \end{aligned}$$

Lubatavad tõmbepinged arvutatakse valemite (13.23) ja (13.22) abil.

$$(13.23) \quad \begin{aligned} k_5 &= (Q / 1000)^{-x}; \quad x = 0,16 \\ k_5 &= (1200 / 1000)^{-0,16} = 0,97 \\ k_6 &= 1,0 \text{ (tardkivikillustik)} \end{aligned}$$

$$(13.22) \quad R_0 = R^* (1 - t \cdot v) \cdot k_6 \cdot k_5 / K_{tt} = 1,4 \cdot (1 - 1,71 \cdot 0,1) \cdot 1,0 \cdot 0,97 / 1,0 = 1,13 \text{ Mpa}$$

Katendi tugevus on tagatud, sest asfaltbetooni tõmbepinged $R_1 < R_0$, s.o $1,12 < 1,13$

Näide 2 (monoliitvahekihiiga katend)

Kontrollida 2-kihilise (tardkivikillustikust) asfaltbetoonkattega ja monoliitvahekihiiga (püsi-)katendi tugevust !
Lähteandmed:

- tee klass – III;
- T13.1 järgi $E_{\min} = 180 \text{ Mpa}$;
- T6.1 järgi tugevustegur $K_{tt} = 0,94$;
- T6.1 järgi töökindlustegur $K_{tk} = 0,90$;
- L1.T4 järgi normhålbetegur $t = 1,32$;
- L1.T4 järgi variatsioonitegur $v = 0,1$;
- normkoormuseks on A-grupi buss, T9.1 järgi koormuskarakteristikutega $p = 0,6 \text{ MPa}$; ja $d = 39 \text{ cm}$;
- ennustuslik koormussagedus katendi kasutusaja lõpus $Q = 90 \text{ V}_2 / \text{ööp}$;
- tee asetseb 3.paikkonna muldkehal;
- muldkeha pinnas: kerge saviliiv;
- peenarad on kaetud 2/3 laiuses asfaltbetooniga;
- kihtide materjalid, paksused ja tugevuskarakteristikud:

K i h i									
nr	nimetus	h, cm	E ₁ , Mpa	E ₂ , Mpa	E, Mpa	R, Mpa	C, MPa	F°	Viide
1.	Tihe asfaltbetoon	6	2400	1200	3600	2,0			L2.T1 rida 2
2.	Poorne asfaltbetoon	6	1400	800	2200	1,4			L2.T1 rida 4
3.	Tsementstabiliseeritud peenliiv	14	400			0,4			L2.T1 rida 15
4.	Keskliiv	23	120				0,006	40	L2.T2 rida 7
5.	Kerge saviliiv		49				0,012	35	Vt 1)

Märkus: E_1 tähendab 2-kihilise asenduse ülakihi E-moodulit, E_2 allasetseva kihi üldist E-moodulit. Kuna pinnasel see puudub, siis pinnase puhul E_2 võrdub pinnase E-mooduliga, s.o 28 Mpa.

Jagatis $h / 39$ on nomogrammi horisontaaltelje ja E_2 / E_1 vertikaaltelje suurus.

Jagatise $E_{\text{üld}} / E_1 = a$ arvuline suurus saadakse nomogrammi väljalt.

1) Arvutused kerge saviliiva tugevuskarakteristikute määramiseks

L1.T2 järgi on 3.paikkonna tüübi suhteline niiskus $W = 0,68$. Kuna peenrad on kaetud 2/3 lauses asfaltbetooniga, siis parandatud suhteline niiskus L1.T3 järgi $W_2 = W - 0,05 = 0,68 - 0,05 = 0,63$;

(L1.1) $W_1 = W_2 * (1 + t * v) = 0,63 * (1 + 1,32 * 0,1) = 0,71316 \approx 0,71$ ja L1.T4 saame, et kerge saviliiva $E = 49$ Mpa ning nidusus $C = 0,012$ Mpa; sisehõõrdenurk $F = 35^\circ$

2) Katendi arvutamine elastsele vajumile (E_{vaj} ja $E_{\text{üld}}$ arvutamine)

(13.1) ja T13.2 järgi $E_{\text{vaj}} = [a * \log(90) + b] * K_{tt} = [77 * \log(90) + 62] * 0,94 = 199$ Mpa. Kuna $E_{\text{vaj}} > E_{\text{min}}$ (vt T13.2) s. o $199 > 180$, siis edasised arvutused on tehtud E_{vaj} järgi.

Kogu katendi ja kihtide pealsed $E_{\text{üld}}$ on arvutatud nomogrammi L4.2 abil. Tulemused on esitatud alljärgnevas tabelis.

K i h i				h/d d=39	E_1/E_2	a	$E_{\text{üld}}$, MPa
nr	nimetus	h, cm	E ₂ , MPa				
1.	Tihe asfaltbetoon	6	2400	0,15	0,064	0,082	197
2.	Poorne asfaltbetoon	6	1400	0,15	0,087	0,109	153
3.	Tsementstabiliseeritud peenliiv	15	400	0,38	0,195	0,306	122
4.	Keskliiv	30	120	0,77	0,4	0,648	78
5.	Kerge saviliiv		48				48

Tulemuste hinnang: tugevustingimus $E_{\text{vaj}} = E_{\text{üld}}$ on lubatavuse piires ($\pm 5\%$) täidetud, sest ($199 \approx 197$); erinevus 1%.

3) Nihkepingete arvutamine. Keskliiva nihkepingeid T_1 liikuvkoormusest on arvutatud nomogrammi abil, kusjuures asfaltbetoonide E-moodulid on võetud 20°C juures; pinnase ja ning muude materjalide omad ei sõltu temperatuurist. Nomogrammi kasutamiseks tuleb teha järgmisi eelarvutusi:

$$(13.15) E_1 = (h_1 * E_1 + h_2 * E_2 + h_3 * E_3) / \sum h_i = (6 * 1200 + 6 * 800 + 15 * 400) / 27 = 667 \text{ MPa}$$

$\sum h_i$ on liivakihi lasuvate kihtide paksus.

$$E_2 = 120 \text{ MPa.}$$

$$E_1 / E_2 = 667 / 120 = 5,6 \text{ (nomogrammi kõverjoonte parve jaoks);}$$

$$\sum h_i / d = 28 / 39 = 0,72 \text{ (nomogrammi horisontaaltelje jaoks).}$$

$$\text{Kasutades L4.3 nomogrammi } T_1 = p * T_1 / p = 0,6 * 0,0473 = 0,0284 \text{ Mpa}$$

Keskliiva nihkepinged T_2 liivakihi lasuvate kihtide omamassist:

$$(13.16) \quad T_2 = 10^{-5} * \sum h_1 * (5 - 0,3 * F) = 10^{-5} * 27 * (5 - 0,3 * 40) = -0,0019 \text{ Mpa.}$$

Liivakihi lubatavad nihkepinged T_0 :

$$(13.18) \quad k_2 = 1,82 - 0,345 * \log(Q) = 1,82 - 0,345 * \log(90) = 1,15$$

$$(13.17) \quad T_0 = k_1 * k_2 * k_3 * C / K_{tt} = 0,6 * 1,15 * 6,0 * 0,006 / 0,94 = 0,0264 \text{ Mpa}$$

Summaarsed nihkepinged liivakihi $T_3 = T_1 + T_2 = 0,0284 - 0,0019 = 0,0265 \text{ Mpa}$

Katendi tugevus liivakihi nihkepingete järgi on tagatud, sest
 $T_0 \approx T_3$, s.o $0,0264 \approx 0,0265 \text{ Mpa}$.

Analoogselt toimub ka pinnase nihkepingete arvutus. Siinkohal on toodud ainult selle arvutuse tulemused:

- nihkepinged liikuvkoormusest $T_1 = 0,0090 \text{ Mpa}$;
- nihkepinged omamassist $T_2 = -0,0031 \text{ Mpa}$;
- summaarsed nihkepinged $T_3 = T_1 + T_2 = 0,0059 \text{ Mpa}$
- lubatavad nihkepinged $T_0 = 0,0132 \text{ Mpa}$;

Katendi tugevus pinnase nihkepingete järgi on tagatud, sest
 $T_0 > T_3$, s.o $0,0132 > 0,0059$

- 4) Siinkohal pole asfaltbetooni tõmbetugevuse arvutust detailselt esitatud. Tulemused on järgmised:
katendi tugevus on tagatud, sest asfaltbetooni
 $R_0 > R_1$, s.o $1,90 > 1,43$

- 5) Monoliitvahekihi tõmbepinged R_2 liikuvkoormusest arvutatakse valemite või nomogrammi abil. Sõltumata sellest, kas tõmbepinged arvutatakse valemite või nomogrammi L4.5 järgi, tuleb teha alljärgnevaid eelarvutusi:

$$\begin{aligned} \sum h/d &= (6+6+15)/39 = 0,69 \text{ (nomogrammi horisontaaltelje jaoks);} \\ (13.15) \quad E_1 &= (h_1 * E_1 + h_2 * E_2) / \sum h_1 = (6*1200 + 6*800)/12 = 1000 \text{ Mpa;} \\ E_2 &= 400 \text{ Mpa;} \\ E_3 &= 78 \text{ Mpa (s.o } E_{\text{üld}} \text{ liivakihi peal, monoliitvahekihi all, v.t N2.T2);} \\ E_1 / E_2 &= 1000 / 400 = 2,5 \text{ (nomogrammi kõverjoonte parve jaoks);} \\ E_2 / E_3 &= 400 / 78 = 5,1 \text{ (nomogrammi kiirtekimbu jaoks);} \end{aligned}$$

Kasutades nomogrammi L4.5 saadakse $R_2 = p * R_2 / p * k_4 = 0,6 * 0,48 * 1,0 = 0,29 \text{ Mpa}$.

Lubatavad tõmbepinged monoliitvahekihi arvutatakse järgmiselt:

$$(13.23) \quad k_5 = (Q/1000)^{-x} = (90/1000)^{-0,06} = 1,16$$

$$(13.29) \quad R_{02} = R_3 * k_5 / K_{tt} = 0,4 * 1,16 / 0,94 = 0,49 \text{ MPa}$$

Katendi tugevus on tagatud, sest monoliitvahekihi tõmbepinged
 $R_2 < R_{02}$, s.o $0,29 < 0,49$

Näide 3 (kruuskattega katend)

Kontrollida kruusliivast kattega (siirde-)katendi tugevust!

Lähteandmed:

- tee klass – IV;
- T13.1 järgi $E_{\min} = 70 \text{ Mpa}$;
- T6.1 järgi tugevustegur $K_{tt} = 0,63$;
- T6.1 järgi öökindlusetegur $K_{tk} = 0,6$;
- L1.T4 järgi normhõlbetegur $t = 0,26$;

- L1.T4 järgi variatsioonitegur $v = 0,1$
- 2.paikkonna tüüp;
- normkoormuseks on B-grupi veoauto, T9.1 järgi koormuskarakteristikutega $p = 0,5$ Mpa ja $d = 32$ cm;
- kasutusaja lõpus $E_{vaj} = 165 * 0,63 = 104$ Mpa;
- tee asetseb 2.paikkonna muldkehal;
- muldkeha pinnas: raske liivsavi;
- kihtide materjalid, paksused ja tugevuskarakteristikud:
- L2.T2 reakt 4 kruusliiva $E = 180$ Mpa;
- L2.T2 reakt 8 peenliiva $E = 100$ Mpa;
- pinnase $W_1 = W * (1 + t * v) = 0,71 * (1 + 0,26 * 0,1) = 0,72846 \approx 0,73$, vastavalt sellele ja L1.T5 on pinnase tugevuskarakteristikud: $E = 37$ Mpa, sisehõõrdenurk $F = 16^\circ$ ning niidusus $C = 0,017$ Mpa.

Arvutused:

1) Kogu katendi ja $E_{\text{üld}}$ kihtide peal on arvutatud nomogrammi L4.2 abil; tulemused on N3.T1.

Tulemuste hinnang: tugevustingimus $E_{vaj} = E_{\text{üld}}$ on täidetud, sest $E_{vaj} = E_{\text{üld}}$ s.o $104 = 104$.

2) Nihkepingete arvutus.

Siirdekatenidite puhul arvutatakse nihkepinged ainult pinnases.

Ükskõik, kas nihkepinged liikuvast koormusest T_1 arvutatakse nomogrammi või valemite järgi, tuleb teha järgmised eelarvutused:

$$\sum h_1/d = 50/32 = 1,56;$$

$$(13.15) E_1 = (h_1 * E_1 + h_2 * E_2) / \sum h_1 = (20 * 180 + 30 * 100) / 50 = 132 \text{ Mpa};$$

$$E_2 = 37 \text{ Mpa};$$

$E_1 / E_2 = 127 / 37 = 3,4$. Antud juhul nomogrammi L4.3 kasutamine on tülikas, sest joonte $E_1 / E_2 = 3,4$ ja $F = 18^\circ$ on lõikepunkt satub nomogrammi välja halvastiloetavasse piirkonda. Seepärast on kasutatud T_1 määramiseks valemid:

Kuna $1,0 \leq \sum h_1 / d \leq 4,0$ siis $Z = a' * (E_1 / E_2)^{b'}$		(13.17)
$a' = 275,48 - 334,12 * (\sum h_1/d) + 162,32 * (\sum h_1/d)^2 - 35,4 * (\sum h_1/d)^3 + 2,87 * (\sum h_1/d)^4$		(13.18)
$b' = -0,461 - 0,568 * (\sum h_1/d) + 0,507 * (\sum h_1/d)^2 - 0,17 * (\sum h_1/d)^3 + 0,019 * (\sum h_1/d)^4$		(13.19)

$$a' = 275,48 - 334,12 * 1,56 + 162,32 * 1,56^2 - 35,4 * 1,56^3 + 2,87 * 1,56^4 = 31,87893932$$

$$b' = -0,461 - 0,568 * 1,56 + 0,507 * 1,56^2 - 0,17 * 1,56^3 + 0,019 * 1,56^4 = -0,6461097$$

$$Z = 31,878939 * 3,4^{-0,64611} = 14,458060$$

$$T_2 = p * 0,00459 * Z * 10^{-0,0132 * F} = 0,5 * 0,00459 * 14,0155663 * 10^{-0,0132 * 16} = 0,0198 \text{ MPa}$$

Nihkepinged pinnasel lasuvate kihtide omamassist T_1 on arvutatud (13.21) järgi.

$$(13.16) T_2 = 10^{-5} * \sum h_1 * (5 - 0,3 * F) = 10^{-5} * 50 * (5 - 0,3 * 16) = 0,0001 \text{ MPa}$$

Pinnase lubatavad nihkepinged T_0 :

$$(13.2) Q = 10^{[(E_{vaj} / K_{tt} - b) / a]} = 10^{[(104 / 0,63) / 70]} = 228 \text{ V}_1/\text{ööp}$$

$$(13.18) k_2 = 1,82 - 0,345 * \log(Q) = 1,82 - 0,345 * \log(228) = 1,01$$

$$(13.17) T_0 = k_1 * k_2 * k_3 * C / K_{tt} = 0,6 * 1,01 * 1,5 * 0,017 / 0,63 = 0,0245 \text{ Mpa};$$

$$k_3 = 1,5 \text{ (kihtide seotistegur)}.$$

Summaarsed nihkepinged pinnases $T_3 = T_1 + T_2 = 0,0198 + 0,0001 = 0,0199 \text{ Mpa}$. Nihkepingete arvutamise tulemused on esitatud N3.T1.

Kihi						h/d	E_2/E_1	a	$E_{\text{üld}}$	T_3	T_0
nr	materjal	h, cm	E, Mpa	F^0	C,MPa				Mpa		
1.	Kruusliiv	20	180			0,63	0,367	0,578	104		
2.	Peenliiv	30	100			0,94	0,370	0,662	66		
3.	Raske liivsavi		37	16	0,017				37	0,0199	0,0245

Katendi tugevus on tagatud, sest $T_0 > T_3$, s.o $0,0245 > 0,0199$. Ometigi pole kihtide paksusi võimalik muuta, sest kihtide paksuste vähendamisel poleks katendi tugevus tagatud elastse vajumi järgi.

Tugevusarvutuste järgi on katendi tugevus tagatud, kuid drenkihina on peenliiv sobimatu.

15. Katendi arvutamine külmakindlusele

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

$$l > l_{kk} \quad (15.1)$$

Lubatavad külmakerked on järgmised:

- püskatendid – 4 cm;
- kergkatendid – 6 cm;
- siirdekateendid – 10 cm ja
- pinnatud kruuskatted – 6 cm.

Külmakerke arvutamiseks J15.1 või (15.2) 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 , cm;
- katendikihtide materjalide soojustehnilised ekvivalendid ε_i (L3) ja
- pinnasvee arvutuslik (maksimaalne teadaolev sügisene külmumiseelne) sügavus tee teljel H' , cm.

$$l_{kk} = 1,67 * B * (H'/z - z_1/z) * \{(2,8 * M - 1) * \text{EXP}[2,8 * (M - 1)] + 0,061\}, \text{ cm} \quad (15.2)$$

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

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

$$\text{katendi redutseeritud paksus } z_1 = h_1 * \varepsilon_1 + h_2 * \varepsilon_2 + h_3 * \varepsilon_3 + \dots \quad (15.3)$$

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

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots$ - katendi- ja pinnasekihtide soojustehnilised ekvivalendid on L3.

Pinnasetegur

T15.1

Pinnase nimetus	B , $\text{cm}^2/24\text{h}$	Külmaohtlikkuse aste 3.paikkonnas
Mittetolmne liiv, osiseid $< 0,05 \text{ mm}$ 2-15%; jäme kerge saviliiv	1,5 – 2,0	Mõõdukalt külmaohtlik
Savid; kerge ja raske mittetolmne saviliiv; kerge saviliiv	3,0 – 3,5	Külmaohtlik
Tolmne saviliiv; tolme raske liivsavi; tolmliiv	4,0 – 4,5	Väga külmaohtlik
Tolmne raske saviliiv; kerge tolme liivsavi	5,0 – 8,0	Eriti külmaohtlik

Märkus: väikesemad arvud kehtivad normikohase kõrgusega muldkeha korral. Eeldatav külmakerge l_{kk} või z_1 , määratuna J15.1 või (15.2) abil, vastab kõikide katenditüüpide (v.a lihtkatend) 3. paikkonna olukorrale.

1.ja 2. paikkonnas toimub külmakindluse arvutus vastavalt T15.2 skeemile. See skeem kehtib ainult muldkeha normidekohase kõrgus puhul. Kui muldkeha on normidest madalam või asetseb süvendis, tuleb igal juhul katend arvutada külmakindlusele.

	Paikkonna tüübi nr	Märkused
Püsikatend	1	Külmakindlusele ei arvutata, kuid tolmse saviliiva puhul 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 tolmse saviliiva puhul
Siirdekateend	1 ja 2	Ei arvutata.
Lihtkatend	1, 2 ja 3	Ei arvutata

J15.1 ja (15.2) 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 sügavdrenaaziga pinnasvee taset.

Kui tingimus (15.1) 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.

15.1. Külmakaitsekihi materjal

Külmakaitsekihina võib kasutada looduslikku:

- kruusaliiva, 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.

15.2. Katendi külmakindluse arvutamise näide

Püsikatend koosneb järgmistest kihtidest:

Kihi			
nimetus	paksus h_i , cm	soojustehnilised ekvivalendid ϵ_i	$z_1 = h_i * \epsilon_i$
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, T15.1 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 J15.1, 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 (15.2) $M = (125 - z_1) / (H' - z_1) = (125 - 77) / (125 - 77) = 1$, 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.

J15.1. Nomogramm katendi külmaskindluse arvutamiseks

PVT – pinnasvee tase;

l_{kk} – külmaskerge, cm;

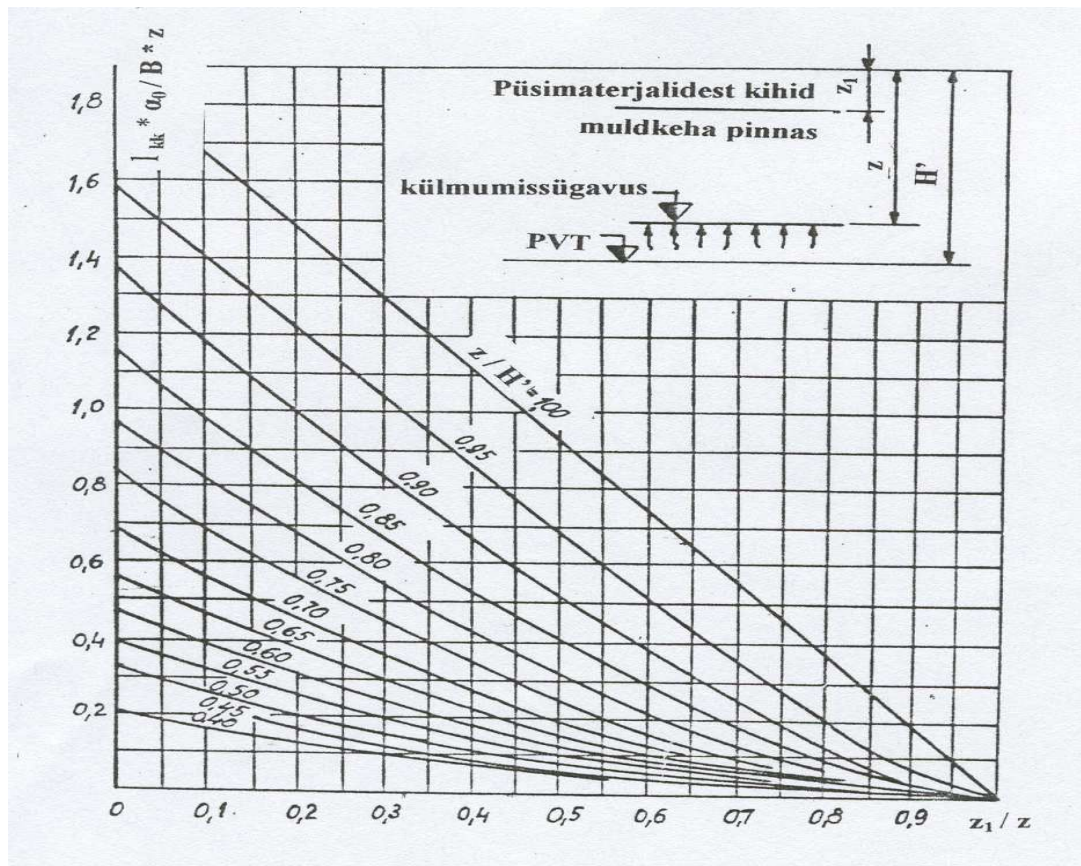
α_0 – kliimategur, $\text{cm}^2 / \text{ööp}$;

z – arvutuslik külmumissügavus;

z_1 – katendi paksus, cm;

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

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



16. Dreenkiht

16.1. Üldist.

Dreenkiht (vt ka P2, lk 4), olles katendi kõige alumisem osa, on samaaegselt madaldrenaažiks, mille peamiseks ülesandeks on ülaltpoolt, s.o läbi katte ja aluse imbuva sademetevee eemaldamine muldkeha nõlvadele, kust see valgub veeviimaritesse või filtreerub teemaa pinnasesse.

Dreenkihi ülesandeks pole kapillaartõusu katkestamine. Muldkeha peab olema nii projekteeritud, et kapillaarvee tõus ei ulatuks dreenkihi alapinnani. See tagatakse muldkeha kõrgusega pinna- ja pinnasevee 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.

16.2. 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:

- filterpikitorudeta muldkeha laiune dreenkiht või
- muldkeha laiune pikifiltertorudega dreenkiht.

Pikifiltertorudeta dreenkihi puhul peab arvestama, et muldkeha nõlvadele avanevad dreenkihi otsad võivad aja jooksul osaliselt või täielikult ummistuda. Korraliste remontide ajal tuleb dreenkihi otstes materjal uuendada. Pikifiltertorudeta dreenkihis voolava vee filtratsioonitee pikkus on suurem kui pikifiltertorudega dreenkihi puhul. Seda tuleb arvestada dreenkihi materjali valikul.

Pikifiltertoru paigutatakse dreenkihi all asetsevasse filterpuistega 30 cm sügavusega kraavi, mis asetseb sõidutee serva kohal.

Muldkeha laiune pikifiltertorudega dreenkiht valitakse siis, kui:

- tee(lõik) asetseb süvendis;
- muldkeha on normidest madalam;
- 3. paikkonnas on muldkeha pinnaseks mittetolmne liivsavi või savi;
- 2. , 3. paikkonnas on muldkeha pinnaseks tolme liivsavi või tolme saviliiv;
- projekteerija peab seda vajalikuks muudel põhjendatud olukordadel.

Sõltumata dreenkihi konstruktsioonist peab dreenkihi põhja põiklalle olema $\geq 40\%$.

Dreenkihi ühepoolse kalde puhul (viraažidel, kiir- ja 1.kl teedel), kui filtratsioonitee pikkus on >10 m, sõltumata muudest asjaoludest, tuleb projekteerida pikifiltertorudega dreenkiht. Viraažidel, kui filtratsioonitee pikkus on < 10 m, võib projekteerida kahepoolse kaldega pikifiltertorudeta dreenkihti.

Pikifiltertorudest (läbimõõt 8 ... 10 cm) väljelasud tehakse põiktorudega, mille

- läbimõõt on 8 ... 10 cm;
 - kalle peab olem suurem pikifiltertoru kaldest, kuid vähemalt 40‰;
 - vahekaugused pole suuremad kui 200 m ja mis asetsevad sõidutee telje suhtes 45° nurga all.
- Pikifiltertoru algab ja lõpeb põikväljalasuga, mis alguses on sõidutee telje suhtes 145° ja lõpus 45° all.

Pikifiltertoru pikikalle võrdub sõidutee pikikaldega, kuid peab olema $\geq 5\%$.

Dreenkihi minimaalseks paksuseks on 20 cm.

Pika ühesuunalise pikikaldega, kui see on suurem põikkaldest, lõikudel ja pikiprofiili nõgusatesse murdepunktidest asetatakse dreenkihi alla muldkeha põiksuunas läbivasse 30 cm sügavusega filterpuistega kraavi filtertoru läbimõõduga 8 – 10 cm. Selliste põikfiltertorude (põikdrenaaži) vahekaugus ühesuunalise pikikaldega lõikudel on 50 m.

Dreenkihi konstruktsiooni skeemid on toodud J16.1.

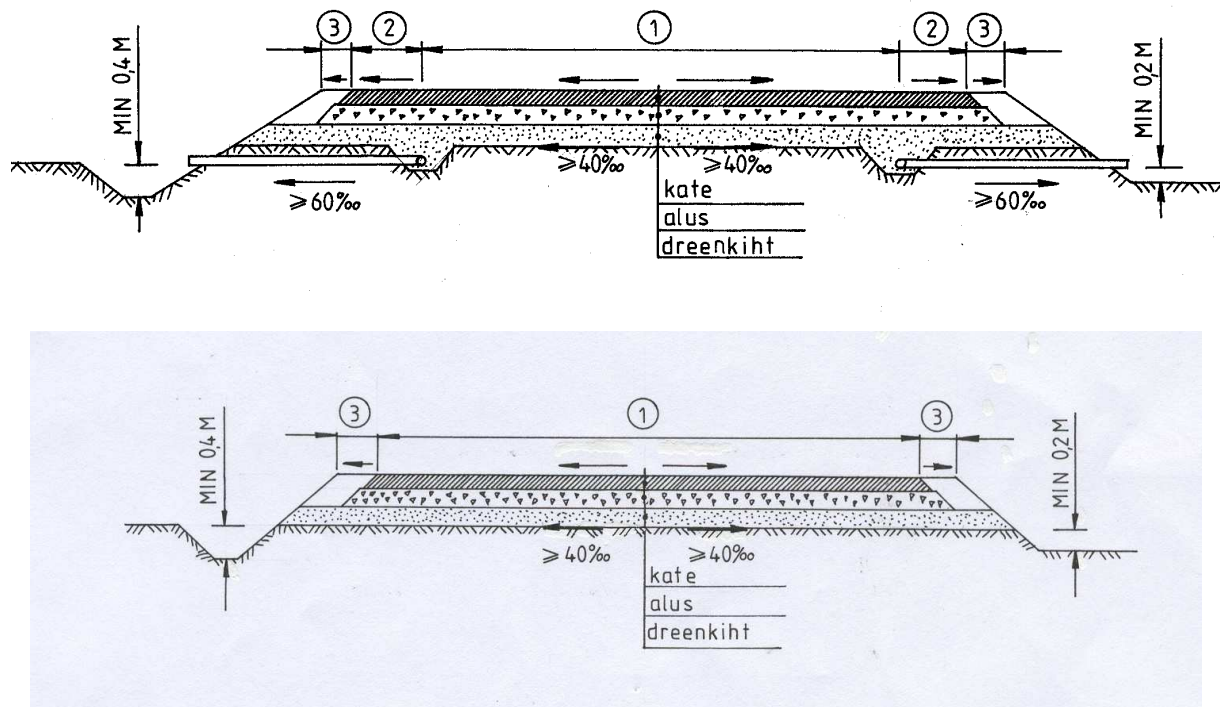
16.3. Dreenkihi materjalid

Dreenkihi materjalidena võib kasutada (v.a peen-) liiva, sõelmeid, kruusa või killustikku, mille $K_f \geq 2$, kui tee asetseb 2.paikkonnas; 3.paikkonna puhul $K_f > 3$ m / ööp.

Kui katendi külmakindluse või tugevusarvutustest tulenevalt on liivakihi paksus ≥ 40 cm, siis võib dreenkihi materjalina kasutada ka peenliiva, mille $K_f \geq 2$ m / ööp.

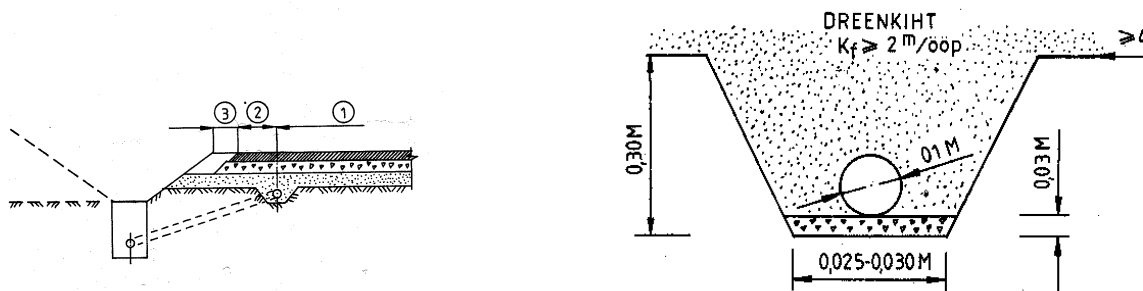
Nõuded dreenkihi materjali terakoostisele on samad nagu külmakaitsekihtide puhul; need on esitatud P15.1.

Kui muud asjaolud seda võimaldavad, võib sõrmermaterjalist dreenkihi asemel kasutada tootja poolt garanteeritud näitajatega filtreerivat geotekstiili.



J16.1. Dreenkihi konstruktsiooni skeemid

- 1 - sõidutee;
- 2 - kindlustatud peenar;
- 3 - tugipeenar;



J16.1. Järg. Dreenkihi konstruktsiooni skeemid

17. Katendi projekt

Katendi projekti koosseis:

- lähteülesanne;
- seletuskiri;
- väliuuringute aruanne;
- aruanne projekteerimise ajal (eel) tehtud liikusloendusest;
- ennustusliku koormussageduse määramine;
- aruanne varemtehtud uuringutest;
- aruanne oleva katendi ülevaatusel;
- aruanne oleva katendi varem koostatud projekti põhiandmeist ja ehitusaastale järgnenud remontidest;
- konstruktiivsete põikprofiilide joonised iga arvutusprofiili kohta;
- tugevusarvutuste koond vastavalt L5;
- koondandmed külmakindluse arvutusest vastavalt P15.

L5 on toodud näide tugevusarvutuste koondist on soovituslik. Projekteerija võib tabelis sisalduva esitada ka muul viisil.

18. Linnatänavate katendite projekteerimise iseärasused

Linnatänavate katendite projekteerimisel tuleb lähtuda **JUHEND**ist, kuid täiendavalt arvestada alljärgnevaga. Kuna **JUHEND** tugineb maanteedete klassifikatsioonile, siis selle rakendamisel linnatänavatele tuleb arvestada linnatänavate liikide puhul maantee klassi vastava analoogiga.

Linnatänavate liigid ja maanteed klassi analoog

T18.1

Linnatänavate liigid	Maantee klassi analoog
I. magistraalid	
• Kiirtee	I
• Põhitänav (tee)	I
• Jaotustänav	II
II. Juurdepääsud	
• Kõrvaltänav	III
• Veotänav (tee)	III
• Kvartalitänav	IV
• Jalgtänav	V

Minimaalsed E-moodulid E_{min} , MPa
T18.2

Tänaava liik	E_{min} , MPa	
	Püsi- katend	Kerg- katend
Kiirtee	260	-
Põhitänav	260	-
Jaotustänav	235	180
Kõrvaltänav	180	180
Veotänav	200	180
Kvartalitänav	-	140
Jalgtänav	-	120

Tänavakatendite projekteerimisel reeglina ei kasutata B-grupi normkoormust.

Linnatänavatele ja asulatesse tuleb sõiduteele projekteerida ainult tolmuvabu katteid. Siirdekateid võib projekteerida ainult 1.ehitusjärgjekorrana jaotus- kõrval- ja veotänavatele.

Kui puudub sadevete kanalisatsioon ja kui sõidutee pikikalle on $< 30\%$, projekteeritakse katendi alla piki- ja põikmadaldreanaž pikikaldega $> 30\%$, lahendades tekkinud probleemid eriprojektiga.

Tänavatel, kus pole kõnniteid, ehitatakse katend sõidutee äärekivide vahele, mis asetsevad sõidutee kattega ühes pinnas.

Kõnni- ja jalgte katend koosneb 3 kohustuslikust minimaalpaksusega kihist vastavalt T11.3: (peenteralise pinnaga) katest, alusest ja eelkihist. Reeglina selline konstruktsioon ei vaja tugevusarvutusega kontrollimist. Kui aga seda peetakse vajalikuks, siis kontrollarvutus tehakse ainult E_{mid} järgi, kasutades üksikveokina A-grupi normkoormust.

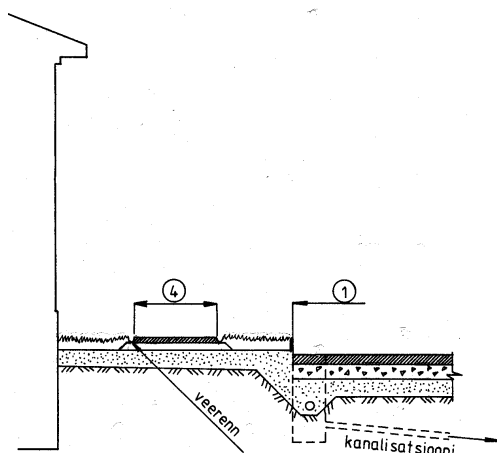
Kui kõnniteega külgneb haljasriba, siis eraldatakse see pikisuunalise veerenniga. Põiksuunaline veerenn nähakse ette vihmaveetorude kohale.

Niiskumistingimuste järgi on linnatänavail ainult kaks paikkonna tüüpi:

- 2. paikkond, kui ehitusjoonte vahel on kattega alade laius suurem katteta alade laiusest;
- 3. paikkond, kui ehitusjoonte vahel on kattega alade laius väiksem katteta alade laiusest.

J18.1. Linnatänavate drenkihi konstruktsiooni skeem

1 – sõidutee
4 – kõnnitee



L I S A D

L1. Pinnaste tugevuskarakteristikud

L1.1. Üldist

Kuigi kõige õigemad tugevuskarakteristikute väärtused saadakse pinnaste labori- või väliteimiga, ometigi kasutatakse sageli katendite projekteerimisel käsiraamatutes või normides toodud suurusi, sest need tuginevad suure hulga katsetulemuste üldistamisele ja on seetõttu lähedased tegelikkuses esineda võivatele.

Katendi projekti lähteülesandesse kirjutatakse, kust võetakse tugevuskarakteristikud, kas võetakse tabelisuurustena või tuleb need määrata labori- või väliteimiga.

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, mille puhul säilib pinnase (mingi minimaalne) veel selline tugevus, järgi, mis tagab kogu katendi töövõime ka kõige niiskemal ajal. See esineb kevadeti pinnase ülessulamise ja sügiseti sademeterikkal ajal.

Pinnase tugevuskarakteristikud on: E-moodul (MPa), F° (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 $W = W_0 / W_v$. Silmas pidades, et 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 0,7. 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 vähe sügavamal, ometigi mõjutab kasvupinnase niiskumist, mistõttu kasvavad niiskuslembelised taimed; võib isegi esineda pindmise soostumise tunnuseid. Esinevad peamiselt savikad pinnased suhtelise niiskusega alla 0,8. On mõeldav tee külgnevate alade piki- ja põikplaneerimisega ning kraavitamiseega niiskustingimusi parandada ning seega saavutada 1. paikkonna olukord. Kõik 1. Paikkonna tüübi süvendid ja 0-profiilid (ka normidega ettenähtust madalamad muldkehad) kuuluvad 2. paikkonda.
3	Liig- niiske (märg)	Pinnavete äravool on raskendatud; esineb pikaajalist (üle 30 päeva) seisuvett. Maapinnalähedase pinnasvee tõttu esineb ilmseid soostumise tunnuseid. Pinnasvee tase on külmumispiirist kõrgemal. Esinevad peamiselt savikad pinnased suhtelise niiskusega üle 0,8. 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.

Pinnaste klassifitseerimine teekatendite projekteerimiseks peab toimuma “Raud- ja maanteemuldkehade projekteerimise juhendis” SN 449-72, GOST 25100-82 ja GOST 25100-95 toodud põhimõtteid ja nendele vastavate teimimeetodite kasutamist järgides.

Pinnaste suhtelised niiskused

L1.T2

Paikkonna tüübi nr	Pinnase suhteline niiskus W			
	Kerge saviliiv	Tolmliiv	Kerge liivsavi, raske liivsavi, savi	Tolmne saviliiv, raske tolme saviliiv, tolme kerge liivsavi
	Pinnase grupp			
	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
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 W₁ arvutamine

Arvutusliku suhtelise niiskuse W₁ 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 W₂:

L1.T3

Konstruktiivne iseärasus	Parandus
Teepeenrad on kaetud $\geq 2/3$ laiuses asfaltbetooniga	- 0,05
Teepeenrad on kaetud kruusa või killustikuga	- 0,02
Muldkehas on (geotekstiilist) hüdroisolatsioonikiht	- 0,05
Dreenkihis on pikifiltertoru	- 0,05
Muldkeha on normidest madalam või süvendis	+ 0,03
Katendi paksus on ≥ 80 cm ja pinnase W ₁ $\geq 0,8$.	- 0,02

4) arvutuslik suhteline niiskus W₁ = (W või W₂) * (1 + t * v)

(L1.1)

Normhälbe tegurid

L1.T4

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 variatsioonitegurit võimalik ka arvutada				
$t = 9,7526 * (K_{tk})^2 - 11,009 * K_{tk} + 3,3551$				

L1.4. Pinnase tugevuskarakteristikute määramine.

W₁ järgi määratakse L1.T5, vajadusel interpoleerides, pinnase tugevuskarakteristikud:

- E-moodul, Mpa;
- sisehõõrdenurk F° ja

- niidusus, MPA

Pinnase grupid:

A₁ – kerge saviliiv; B₁ – tolmlüiv; C₁ – kerge liivsavi, raske liivsavi, savid; D₁ – tolmane saviliiv, raske tolmane saviliiv, tolmane kerge liivsavi.

Pinnaste tugevuskarakteristikud

L1.T5

Pinnase grupp		Pinnaste tugevuskarakteristikud vastavalt arvutuslikule niiskusele W ₁ või korrigeeritud arvutuslikule niiskusele W ₃									
		0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
A ₁	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 ₁	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	0,010	0,009	0,008
C ₁	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 ₁	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) katendiarvutuse 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_{üld}, C ja F. Sügavamale (>75 cm) jäävate kihtide C ja F ei oma tähtsust.

L2. Materjalide tugevuskarakteristikud

Sideainega töödeldud materjalid

(Muudetud Maanteeameti peadirektori 6. mai 2004.a käskkirjaga nr 72 ja
6. novembri 2006.a käskkirjaga nr 222)

L2.T1

Jrk nr	Materjali nimetus	Katendi arvutamisel			
		Elastsele vajumile	Nihkele	Tõmbele	
		E1	E2	E	R
1	Killustikmastiksasfalt (KMA)	3200	1800	4500	2,8
2	Tihe kuum asfaltbetoon	2400	1200	3600	2,4
3	Valuasfalt	2400	1200	3600	2,4
4	Kuum poorne asfaltbetoon	1400	800	2200	1,6
5	Kuum drenasfaltbetoon	1400	800	2200	1,6
6	Kuum kergasfaltbetoon	1400	800	2000	1,2
7	Tihe soe asfaltbetoon	1200	600	2000	1,8
8	Soe kergasfaltbetoon	1200	600	2000	1,0
9	Seguris / teel segatud mustkate	950	600 / 500		-
10	Vana asfaltbetoon ja mustkate	1400	800		-
11	Mustkillustikust kiht	800			
12	Kerg- ja sügavimmutus	450			
13	Bituumenstabiliseeritud kihid asfaldipurust: - seguris segatud - teel segatud	600 500			
14	Kompleksstabiliseeritud kihid: - uutest mineraalmaterjalidest seguris segatud - asfaldipurust seguris segatud - asfaldipurust teel segatud	900 700 600			
15	Tsementstabiliseeritud kihid: - uutest mineraalmaterjalidest seguris segatud - uutest mineraalmaterjalidest teel segatud - asfaldipurust teel segatud	900 700 600		0,6 0,4 -	
16	Põlevkivituhaga tugevdatud kihid: - kruusliivast, jämeliivast - teistest liivadest, sh saviliivast	600 400		0,5 0,4	

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

Sideainega töötlemata materjalid

L2.T2

Jrk nr	Materjali nimetus	E-moodul, MPa	Sisehõõrde nurk F°	Nidusus C, MPa
1	Lubjakivikillustikust kiht (kate / alus)	400	-	-
2	Tardkivi killustikust kiht (kate / alus)	400	-	-
3	Reakillustikust kiht	250	-	-
4	Optimaalse terastikuga kruusliivast kiht (kate / alus)	180	45	0.03
5	Kruus	150	43	0.01

L2.T2 järg

	Materjali nimetus	E-moodul, MPa	Sisehõõrde nurk F°	Nidusus C, MPa
6	Kruusliiv, jämeliiv	130	42	0.007
7	Keskliiv	120	40	0.006
8	Peenliiv	100	38	0.005
9	Ühtlase terastikuga liiv	75	33	0.005
10	Paetuhk	120	30	0.01
11	Tuhkbetooni freespuru	150	40	0.01
12	Munakivi-, parkettkivi sillutis	500	-	-
13	Jäme kerge saviliiv	65	40	0.005

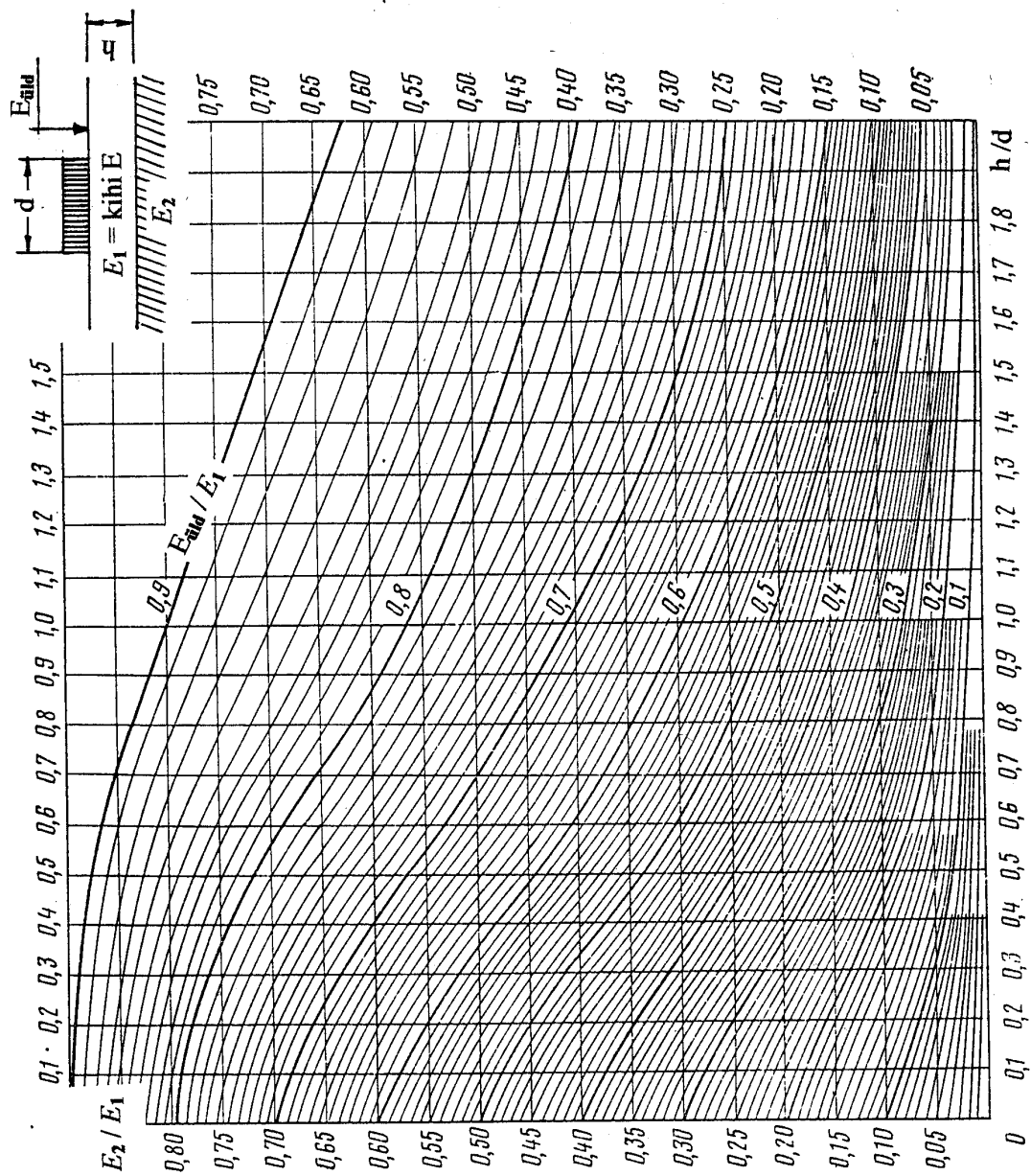
Kruus- ja liivpinnaste klassifitseerimine materjalideks teekatendite projekteerimisel peab toimuma “Raud- ja maanteemuldkehade projekteerimise juhendis” SN 449-72, GOST 25100-82 ja GOST 25100-95 toodud põhimõtteid ja nendele vastavate teimimismeetodite kasutamist järgides.

L3. Materjalide ja pinnaste soojustehnilised ekvivalendid ε_i **L3.T2**

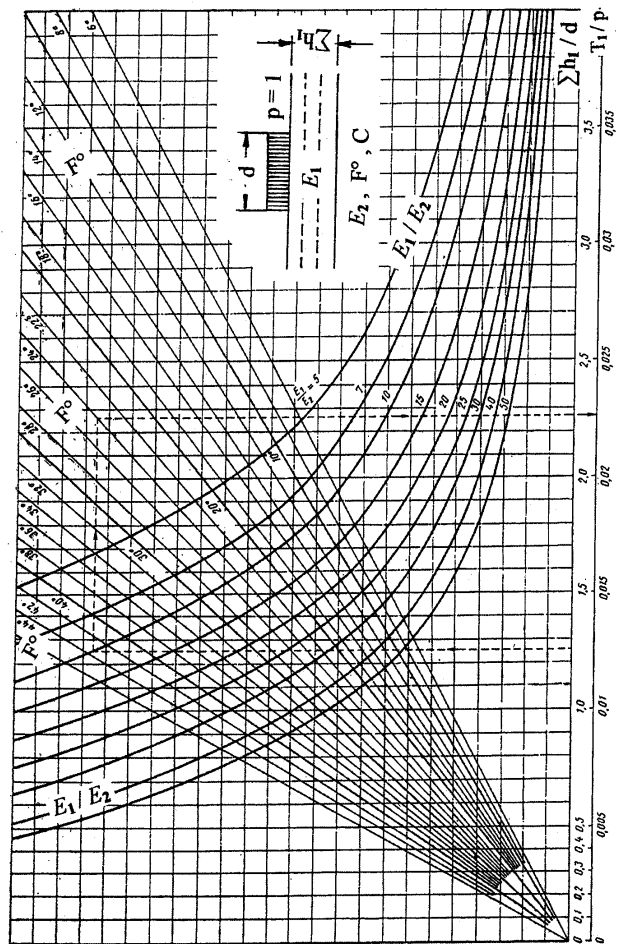
Materjal, pinnas	ε_i
Asfaltbetoon – tihe	1,15
- poorne	1,22
- ülipoorne	1,30 – 1,36
Bituumenemulsiooniga tugevdatud saviliiv	1,13
Tsementtugevdatud (6 – 10%) segaterine liiv	1,0
Tsementtugevdatud (10%) ühemõõduline peenliiv	1,07
Lubitugevdatud nõrk lujakivikillustik	1,27
Tsementtugevdatud (6 – 12%) liivsavi	1,13
Komplekstugevdatud (tsement 2 - 6%, lubi 2 – 6 %) liivsavi	1,18
Tsementtugevdatud (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
Tolmeliiv - sulanud	1,02
- külmunud	0,92
Saviliiv - sulanud	1,02
- külmunud	0,96
Liivsavi ja savi – sulanud	1,07
- külmunud	0,97

Jrk nr.	E_2/E_1	h/d																				
		E_{fld}/E_1																				
		0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
1	0,85	0,85	0,851	0,855	0,865	0,877	0,886	0,895	0,903													
2	0,80	0,80	0,804	0,816	0,829	0,844	0,858	0,871	0,881	0,889	0,897	0,904										
3	0,75	0,75	0,759	0,774	0,793	0,811	0,828	0,845	0,858	0,868	0,876	0,883	0,89	0,897	0,902							
4	0,70	0,70	0,713	0,731	0,754	0,777	0,798	0,816	0,832	0,845	0,854	0,863	0,87	0,884	0,89	0,895	0,899	0,905				
5	0,65	0,65	0,664	0,687	0,713	0,739	0,763	0,786	0,803	0,817	0,83	0,841	0,85	0,857	0,864	0,871	0,877	0,883	0,887	0,892	0,896	0,899
6	0,60	0,60	0,618	0,643	0,672	0,702	0,73	0,754	0,773	0,792	0,806	0,817	0,827	0,837	0,846	0,853	0,858	0,864	0,87	0,875	0,879	0,883
7	0,55	0,55	0,569	0,6	0,63	0,663	0,694	0,719	0,743	0,76	0,777	0,793	0,804	0,814	0,823	0,832	0,839	0,846	0,853	0,857	0,863	0,867
8	0,50	0,50	0,52	0,55	0,587	0,623	0,656	0,684	0,709	0,729	0,747	0,763	0,777	0,789	0,801	0,808	0,816	0,825	0,832	0,838	0,845	0,85
9	0,45	0,45	0,47	0,502	0,54	0,579	0,613	0,644	0,671	0,694	0,714	0,731	0,747	0,76	0,771	0,782	0,791	0,801	0,807	0,815	0,822	0,826
10	0,40	0,40	0,421	0,453	0,494	0,534	0,57	0,602	0,63	0,656	0,677	0,698	0,713	0,728	0,742	0,754	0,763	0,773	0,782	0,789	0,798	0,803
11	0,35	0,35	0,371	0,402	0,442	0,482	0,522	0,557	0,586	0,614	0,638	0,657	0,674	0,691	0,706	0,717	0,73	0,74	0,751	0,76	0,768	0,776
12	0,30	0,30	0,32	0,352	0,391	0,431	0,469	0,505	0,536	0,565	0,591	0,614	0,632	0,649	0,665	0,679	0,691	0,703	0,714	0,724	0,735	0,745
13	0,25	0,25	0,268	0,302	0,338	0,378	0,415	0,45	0,482	0,510	0,537	0,563	0,584	0,602	0,617	0,632	0,645	0,66	0,671	0,681	0,694	0,703
14	0,20	0,20	0,217	0,25	0,283	0,319	0,357	0,393	0,424	0,454	0,48	0,502	0,523	0,544	0,562	0,577	0,591	0,604	0,618	0,63	0,643	0,655
15	0,15	0,15	0,164	0,193	0,227	0,259	0,292	0,327	0,357	0,385	0,41	0,432	0,455	0,474	0,492	0,509	0,523	0,539	0,551	0,564	0,575	0,59
16	0,10	0,10	0,113	0,135	0,165	0,194	0,222	0,25	0,277	0,30	0,323	0,345	0,364	0,382	0,40	0,419	0,433	0,448	0,461	0,472	0,486	0,499
17	0,05	0,05	0,057	0,073	0,095	0,117	0,141	0,161	0,182	0,2	0,216	0,232	0,251	0,268	0,279	0,297	0,308	0,316	0,327	0,341	0,35	0,362

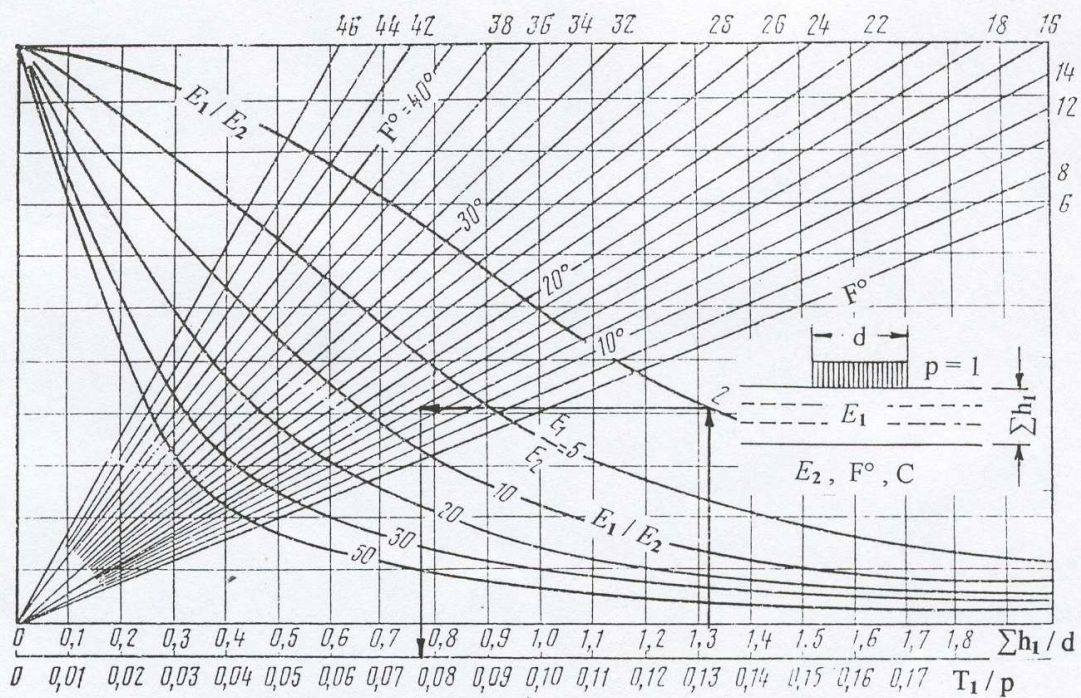
L4.1. Tabel E_{ald} määramiseks



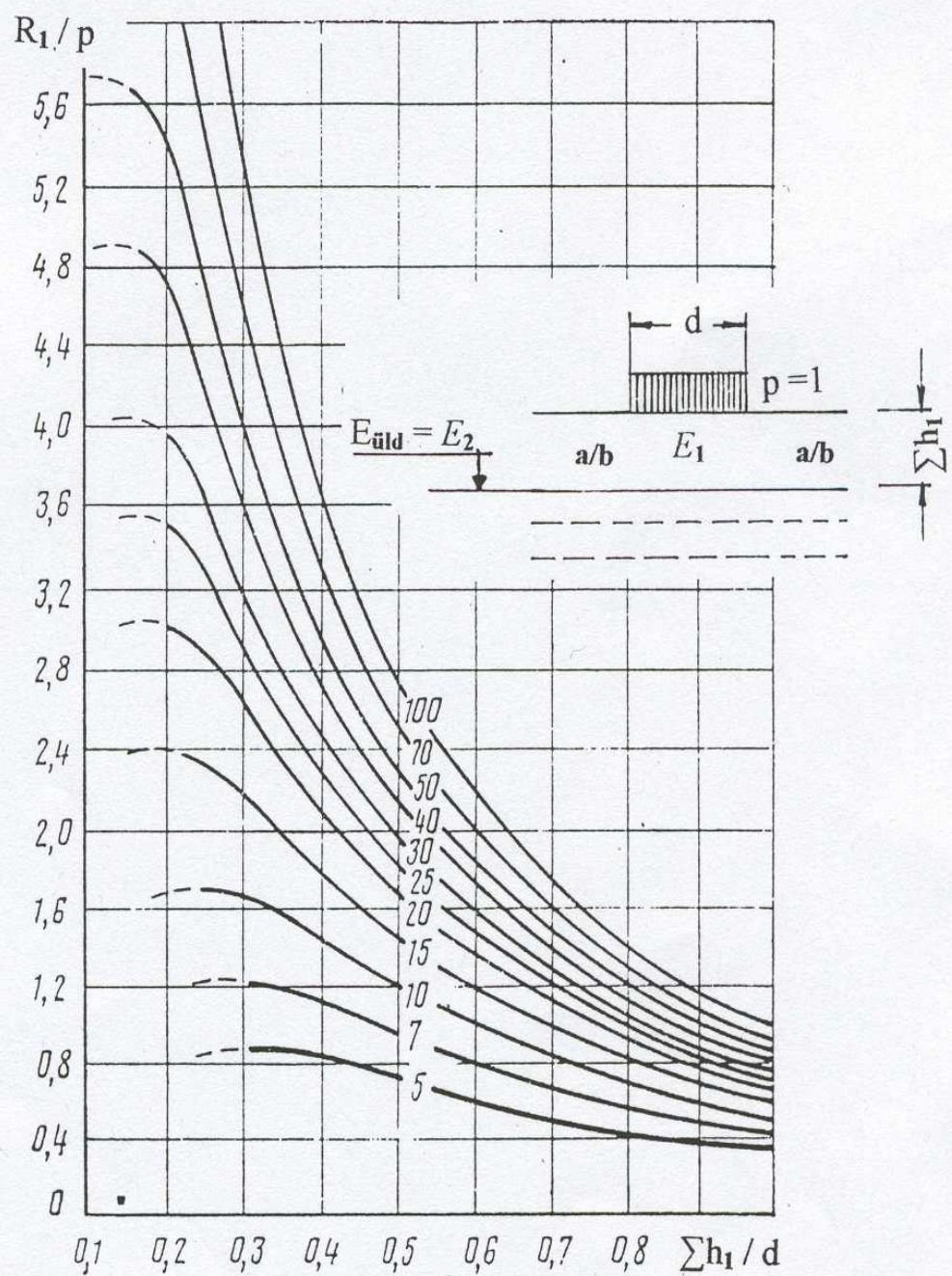
L4.2. Nomogramm E_{ad} määramiseks



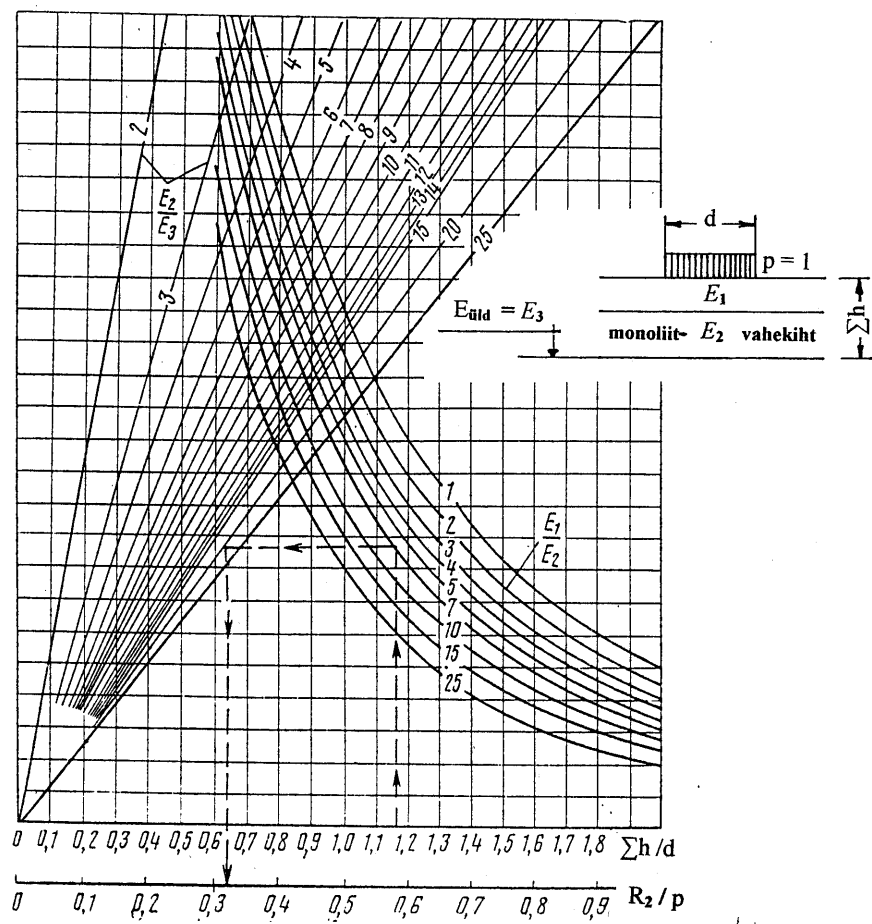
L4.3. Nomogramm liikukoormusest nihkepingete T_1/p määramiseks
piimases ja katendi kihtides



L4.3. Nomogramm liikukoormusest 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

