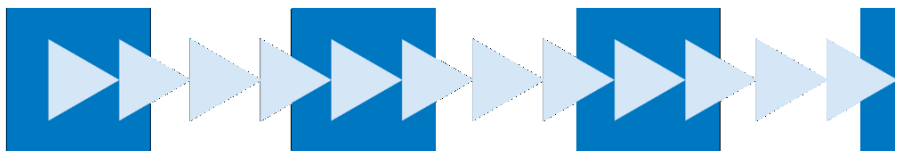




TRANSPORDIAMET



Juhend

Elastsete teekatendite projekteerimine

TRANSPORDIAMET 2023

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

2/58

SISUKORD

1. EESMÄRK.....	2
2. MÕISTED	3
3. KÄSITLUSALA	4
4. OSAPOOLED JA VASTUTUS.....	4
5. SEOTUD DOKUMENDID.....	4
6. ELATSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE	5

1. EESMÄRK

Käesoleva juhendiga kehtestatakse detailsemad elastsete teekatendite projekteerimise nõuded lisaks Kliimaministeeriumi määrusega nr. 05.08.2015. a kehtestatud üldnõuetele. Juhendisse on lisatud varasemast määrusest väljajäänud olulisemad osad, et moodustuks terviklik katendi arvutuseeskiri. Lisatud on tabel 1 et uue määruse järgsetelt sõidutee funktsioonidelt saaks üle minna katendiarvutusi tehes teeklassile. Seejärel on võimalik 1983 aastast kasutusel oleva Odemarki baasmetoodikal põhineva arvutuseeskirjaga projekteerida jätkuvalt tehnilis-majanduslikult ning keskkonnasõbralikumaid lahendusi. Juhend ja arvutusprogrammi KAP 2 baseeruvad TalTech 2016a teadustööle¹.

1.1. Juhendi sihtrühm

Juhend on mõeldud kasutamiseks teede projekteerimise projektijuhtidele ning riigimaanteede projekteerijatele jt. Seda võivad kasutada ka teised teeomanikud.

1.2. Juhendi huvigrupid

Tee omanikud, liiklejad jt seotud osapooled.

¹ <https://transpordiamet.ee/media/3173/download>

2. MÕISTED

- 2.1. **Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus** (AKÖL) – aasta jooksul vaadeldavat tee ristlõiget läbinud sõidukite arv jagatuna päevade arvuga aastas.
- 2.2. **Alus** – katendi ühe- või mitmekihiline osa, mis asub katte ja muldkeha vahel (v.a drenikiht).
- 2.3. **Aluspinnas** – looduslik pinnas või kivim, millele on rajatud muldkeha või selle puudumisel katend.
- 2.4. **Dreenikiht** – erijuhul rajatav, töökihil asetsev piisava paksusega kiht, mis juhib vee katendist välja või ajutiselt mahutab liigvett.
- 2.5. **Elastne katend** – katend, mille kihtide tõmbetugevus puudub või on väga väike ja mis arvutatakse peamiselt elastsetele deformatsioonidele ja nihkepingetele ning sideainega töödeldud katte kihid ka tõmbepingetele Elastsusmoodul suurus, mis iseloomustab materjali elastsust: pinge ja sellele vastava elastse deformatsiooni suhe.
- 2.6. **Geosüntees** – üldnimetus toote kirjeldamiseks, mille vähemalt üks lehe-, ribavõi kolmemõõtmelise tarindi kujuline koostisosa on valmistatud sünteetilisest või looduslikult polümeerist, ning mida kasutatakse kokkupuutes pinnase ja/või muude materjalidega geotehnilistel ja üldehituslikel rakendustel.
- 2.7. **Kandev kiht** – asfaltbetoonkatte alumine kiht, mis paikneb kulumiskihi või siduvkihi ja aluse vahel.
- 2.8. **Kapillaartõus** – veetõus pinnastes üle gravitatsioonivee pinna pindpinevusjõu toimetel.
- 2.9. **Kasutuspiir seisund** – seisund, millele vastavate tingimuste ületamisel konstruktsiooni või konstruktsioonelemendi normaalseks kasutamiseks kehtestatud nõuded ei ole enam täidetud.
- 2.10. **Kate** – katendi ühe- või mitmekihiline ülaosa, mis paikneb alusel ja võtab vahetult vastu transpordivahenditelt tuleva koormuse.
- 2.11. **Katendikiht** – katendi struktuuriline element, mis on valmistatud ühest materjalist (segust) ning mida võib paigaldada ühe või mitme kihina.
- 2.12. **Kindlustatud peenar** – tolmuva kattega teepeenra osa, mis jääb muldkeha serval paikneva tugipeenra ja sõidutee vahele.
- 2.13. **Koormussagedus** – tee enamkoormatud sõiduraja ristlõiget läbinud arvutuslike teljekoormuste arv ajaühikus Kulumiskiht asfaltbetoonkatte pealmine kiht, mis on liiklusega otse kontaktis.
- 2.14. **Külmakaitsekiht** – kiht materjalidest, mille maht tänu poorsusele külmudes ei muutu ja kogu niiskusega seotud mahu suurenemine külmumisel toimub pooride arvel.
- 2.15. **Külmakerkeline pinnas** – külma ja kapillaartõusu tõttu veega küllastuv pinnas, mille maht veesisalduse suurenemise tõttu külmudes oluliselt suureneb ja mis sulades kaotab vajaliku kandevõime.
- 2.16. **Külmakindlus** – materjali omadus veega immutatult taluda paljukordset vahelduvat külmumist ja ülessulamist.
- 2.17. **Külmumissügavus** – sügavus, milleni pinnas talvel külmub.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

4/58

3. KÄSITLUSALA

Käesolev juhend on aluseks riigimaanteedel elastsete teekatendite projekteerimiseks. Kuni 1000 AKÖL korral võib riigimaanteedel kasutada Tüüpkatendid väikese liiklussagedusega teedele näidislahendusi (vt p 5.2).

Esitatud põhimõtteid tuleb rakendada nii uute teede kavandamisel kui ka olemasolevate teede rekonstrueerimisel.

Lühematel teelõikude (kuni 2 km) projekteerimisel tuleb kaaluda, tehnoloogilistest kaalutlustest tulenevalt, erilahendusi. Näiteks teede laiendamisel ristmiku piirkonnas võib kasutada olemasoleva katendi konstruktsiooni kui see on osutunud vastupidavaks (sel juhul ei pea uut konstruktsiooni arvutama, projektis tuleb seda vaid analüüsida ning tehnilis-majanduslikult põhjendada). Kui põhiteel on näiteks stabiliseeritud alus, siis nt ristmikuala laiendamisel on otstarbekam arvutada uus killustikalus, mida on tehnoloogiliselt lihtsam ja kvaliteetsem väikeses mahus ehitada jms.

4. OSAPOOLED JA VASTUTUS

Osapool	Vastutus protsessi raames
Taavi Tõnts	juhendi koostaja
Aivo Salum	töörühma liige
Romet Raun	töörühma liige

5. SEOTUD DOKUMENDID

5.1. Õigusaktid

- Tee projekteerimise normid

5.2. Seotud dokumendid

- Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juh
- Tüüpkatendid väikese liiklussagedusega teedele
- Liiklusuuringu juhendi ja baasprognoosi koostamine

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	5/58

6. ELATSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

6.1. Üldist

Katendiarvutusi teostades tuleb sõidutee funktsioonilt üle minna maantee klassile Tabel 1 alusel.

Tabel 1. Sõidutee funktsioonilt maantee klassile üleminek (katendiarvutuste jaoks).

Sõidutee funktsioon	Maantee klass	Füüsiline perspektiivne liiklussagedus AKÖL
2+2 põhimaantee	I	üle 14500
2+1 põhimaantee	II	6000-14500
1+1 põhimaantee	III	3000-6000
1+1 tugimaantee	IV	500-3000
Kõrvalmaantee	V	50-500
Muud teed	VI	Kuni 50

Tugevuskriteeriumina on kasutatud võrdlust tegelike tugevuslike suuruste (pinged, elastne vajum) kõrvutamist vastavate lubatavate suurustega:

$$M \leq M_{lub} / K_{tt} \quad (6.1)$$

$$E_{vaj} * K_{tt} \leq E_{üld} \quad (6.2)$$

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 vaikumisi – ülalt alla;
- valemid kehtivad ainult selgitustes toodud liikmete dimensioonide korral;
- vaikumisi 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 $\mu = 0,3$

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;
- J14.2. tähendab 14.punkti 2.joonist;
- L1.4. tähendab 1.lisa vastavat 4.alajaotust;
- N3.T1. tähendab 3. näite 1.tabelit.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	6/58

Katendite tugevusarvutust käsitletakse **Juhendis** ainult dünaamilisele koormusele.

Staatilise koormuse ala kohta vt p.6.11.2.

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.

6.2. Katendi projekti lähteülesanne

Katendi projekti lähteülesanne sisaldab:

- **tee ja rajatise** nimetust, algus- ning lõpp-punkti;
- riigiteede puhul tee klassi, linnatänavate korral tänavaliiki 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 ülevaatuses 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.

6.3. Teekatend

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: asfaltbetoonkatte, asfaltbetoonkatte ülakiht, killustikalus jne.

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

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

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

6.4. Katendi tüübid ja katte põhiliigid

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.

6.5. Ehitusmaterjalid ja pinnased

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

Katendiarvutustes tuleb kasutada Geotehniliste uuringute kehtiva juhise järgseid lähteandmeid.

6.6. 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 tabel 2.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

8/58

Tabel 2. Tegurid K_{tt} ja K_{tk}

Tee klass	Katend	K_{tt}	K_{tk}
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 kergesti saavutatav. Kui soovitakse kasutada T6.1 tooduist erinevaid K_{tt} ja K_{tk} , siis tuleb ette anda K_{tk} väärtus ning arvutada K_{tt} :

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

6.7. 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 püsikatendile.

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

6.8. Koormamise viis

Sõidutee katend arvutatakse lühiajalisele korduvkoormusele, kusjuures üksikkoormamise kestvuseks on 0,1s (mis vastab maanteekiirustele). Juhendi järgnevates osades 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.

6.9. Normkoormus

Normkoormuseks on veoauto või autobuss, mille koormuskarakteristikud on järgmised:

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

9/58

Tabel 3. Koormuskarakteristikud

	Koormus- grupp	Max. koormus staatil.kN		Max. dün koormus paarisrattale, kN	Keskm arvutus- erisurve teepinnale p, Mpa	Ratta jälje arvutusdiameeter 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

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

Tegelikud teljekoormused tuleb taandada arvutuslikeks teljekoormusteks (S_i) valemiga 6.9

$$S_i = 1,3 \left(\frac{Q_i}{10} \right)^{4,4}$$

kus:

Q_i – i-ndale teljele langev tegelik koormus, t;

1,3 – dünaamikat arvestav tegur.

(6.9)

Arvutuslikeks tuleb taandada ainult normatiivsest väärtusest kergemad teljekoormused. Raskemate koormuste taandamine arvutuslikeks võib toimuda vaid juhul, kui nad ei ületa normatiivset mitte rohkem kui 20% ja sellise koormusega telgi on raskeliikluses alla 5%. Vastasel juhul tuleb katend dimensioneerida tegelikule koormusele või rakendada koormusepiiranguid ebasoodsal ilmastikuperioodil. Sõiduki üleviimiseks normatiivse koormusega telgede arvule arvutatakse siirdetegur K valemiga 6.10.

$$K = \sum_{i=1}^n S_i$$

(6.10)

Lisaks tabel 3 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 rehvisurvete mõju arvestatud siirdetegurites (tabel 5).

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 (tabel 4).

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

10/58

Tabel 4. 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) Tabel 3 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;

6.10. Koormussagedus

Arvutusveok V₁ – 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 sõiduaudod üldse ja reeglina väikebussid ning -veoautod pole arvutusveokiteks V₁, mistõttu katendi tugevusarvutustes neid ei arvestata. Viimased kaks võivad osutada arvutusveokiteks nende suure hulga (>500 auto ööpäevas) puhul, kui kogumass on ≥ 25 kN.

Arvutusveok V₂- 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 V₂'eks. Arvutusveoki V₂ kasutamine katendi arvutamisel on otstarbekas intensiivse ühissõidukiliiklusega linnatänavail.

Arvutusveok V₃ - veoauto, mõni muu maantee- või linnaliikluseks erandkorras lubatud spetsiaalveok ja –masin, mille ratta maks dunaamiliseks koormuseks on > 78 kN; sel juhul võetakse üks neist normkoormuseks ja kõik teised füüsilised veokid redutseeritakse V₃'eks. Arvutusveokit V₃ kasutatakse **tee ja rajatise** katendi projekteerimisel ainult teomaniku taotlusel ja loal; sel juhul tuleb silmas pidada iseärasusi katendi arvutamisel (vt P12.2). Reeglina ei kasutata arvutusveokit V₃ üldkasutatavate teede katendite projekteerimisel, küll aga olevate katendite tugevuse kontrollimiseks, kui selline veok erandkorras lubatakse üldkasutatavale teele.

Kui katendi arvutamisel kasutatakse veokeid V₂ või V₃ , siis tuleb ratta jälje arvutusdiameeter määrata järgmise valemi abil.

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

P - on veoki V₂ või V₃ rattakoormus, kN;

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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

11/58

Koormussagedus Q on tee põiklõiget teataval (loendamise, ennustuslikul) ajal läbinud arvutusveokite (tabel 5) 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 5. Arvutusveokite teljekoormuse taandamise siirdetegurid

Liik	Teljed	Siirdetegur
Keskmine veoauto (VK)	1+1	0,4
Kaheteljeline raske veoauto (VR2; 18 tonni)	1+1	2,66
Kaheteljeliste veoautode 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
Kaheteljeliste busside keskmine (B2)	1+1	1,5
Kolmeteljeline raske buss (BR3)	1+2	2,6
6-12 meetri pikkuste sõidukite keskmine (VA/AB)		2,67
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
Viieteljeline konteineriveok (2+3; 44 tonni)	5	8
Kuueteljeline metsaveok (3+3; 48 tonni)	6	5,46
Seitsmeteljeline metsaveok (3+4; 52 tonni)	7	4,2
Üle 12 meetri pikkuste sõidukite keskmine (AR)		3,76

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

Aasta keskmine ööpäevane koormussagedus Narv arvutatakse valemiga 6.10

$$N_{arv} = d \sum_{j=1}^m N_j K_j \quad (6.10)$$

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

12/58

kus: m – sõidukiliikide arv (näiteks tabelis 5 $j=18$); N_j – j liiki sõidukite arv ööpäevas tee mõlemas suunas; K_j – j liiki sõidukite siirdetegur, mis võetud tabelist 5, a' – rajategur, mis arvestab enamkoormatud sõidurajale langeva koormussageduse osa (tabel 4).

6.10.1. Ennustusliku koormussageduse Q määramine

Ennustusliku koormussageduse määramine toimub „Liiklusuuringu juhendi ja baasproгноosi koostamine² 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 $Q_{15} = \Sigma(Q_i \cdot 365,25) / 5000$. 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 baasproгноosi 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.

²<https://transpordiamet.ee/media/3125/download>

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	13/58

Katendi arvutusel tuleb lähtuda eeldatavast koormussagedusest. Vaatamata arvutustulemustele ei tohi katendi üldine elastsusmoodul 100 kN normkoormuse korral olla väiksem tabelis 6 toodust

Tabel 6. Katendi vähimad nõutavad arvutuslikud koormussagedused ja elastsusmoodulid

Maantee klass	Katendi tüüp					
	Püsikatend		Kergkatend			Siirdekateend
	Koormus-sagedus	Elastsus-moodul	Koormus-sagedus	Elastsus-moodul	Koormus-sagedus	Elastsus-moodul
Kiirtee	870	260	-	-	-	-
I	440	240	115	200	-	-
II	225	220	60	180	-	-
III	57	180	29	160	-	-
IV	57	180	15	140	10	130
V	57	180	10	130	10	130
VI	57	180	10	130	10	130

6.11. Katendi konstrueerimine

- Katendi konstrueerimise käigus tuleb valida kattetüüp, katendikihtide materjalid ja kihtide järjestus, kihtide orienteeruvad paksused ning külmakindluse, pragudekindluse ja nihkekindluse tagamise viisid.
- Katendi konstruktsiooni valik peab toimuma variantide **tehnilis-majandusliku analüüsi** alusel, kus tuleb arvestada asukoha looduslike tingimusi, sealhulgas pinnaste niiskumise ja temperatuuri kõikumiste iseärasusi ning pikaajalisi praktilisi kogemusi nendes tingimustes.
- Katendikihtide rajamisel on esmatähtis lähtuda majanduslikust tasuvusest ja objekti lähedal saadaolevatest materjalidest (karjäärdest) ning objektil saadaolevate materjalide võimalikult suurel määral taaskasutamisest.

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 teosal arvutusprofiili, mille kohta konstrueeritakse katend ja tehakse tugevusarvutus. Kogu tee(lõigu) ulatuses võib selliseid "kõige halvemaid" teosi olla mitu. Sellest tulenevalt on võimalik ka mitu arvutusprofiili. Minimaalne arvutusprofiilide arv 1tk/2km teelõigu kohta.

Katendiaruandes tuleb välja tuua karjäärde asukohtade ülevaade 50km raadiuses (Transpordiamet jm andmetele tuginedes) koos veokaugustega objekti keskele. Andmed tuleb

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

14/58

grupeerida tabelis: 10; 30 ja 50km kaupa. Karjäärde 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 ülakihis, 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 $E_{\text{üld}}$ 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** pikeetid.

Rekonstrueerimistööde korral võib esineda olukord, kus pole võimalik sellest reeglist kinni pidada; sel juhul toimub $E_{\text{üld}}$ 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 arvutulehele 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.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

15/58

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 7. Asfaltsegust katendikihtide vähimad paksused

Perspektiivne E_{vaj} , MPa	<125	125 - 180	180 - 220	220 - 250	250 - 300	>300
Min kogupaksused, cm	4	6	8	10	13	16

Märkus: bituumensideainetega töödeldud aluse kihid arvestatakse kogupaksuse hulka poole kihina.

Katendi konstrueerimisel tuleb lähtuda iga katendikihi vähimast (sõltuvad suurimast teramõõdust) ja suurimast (sõltuvad tihendamisvõimalustest) tehnoloogilisest paksusest. Vaatamata arvutustulemustele ei tohi materjalikihtide paksused olla väiksemad vastava kihi juhendis või standardist toodule.

6.11.1. 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 tabelis 7 toodust.

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

- Asfaldist katendikihtide ehitamise kehtiv juhend;
- Killustikust katendikihtide ehitamise kehtiv juhend;
- Stabiliseeritud katendikihtide ehitamise kehtiv juhend;
- Muldkeha ja drenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi kehtiv juhend.

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** stabiliseeritud kihtide all **fraktsioneeritud killustikust kihti, paksusega min 10cm** (täidab ka drenikihi ülesandeid). Sellisel juhul tuleb tagada eelpool nimetatud killustikukihist vee väljavool kas pikidreenide kasutamise või viies killustikukihi välja muldkeha nõlvale.

Teel teostatav stabiliseerimine tuleb projekteerida täiendava min.10cm killustikukihiga, mis paigaldatakse koos stabiliseeritava segu koostisse kuuluva killustikuga. Kui killustikukihi alla jääb peentäitematerjalist kiht, tuleb kaaluda killustikukihi eristamist vanast konstruktsioonist eristava

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	16/58

geosünteediga (kaitseb killustikukihti pooride ummistumise eest).

Kui stabiliseerimise 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).

6.11.2. Staatileine koormus

Staatilese koormusega aladel rakendatakse katendikihtide konstrueerimisel täiendavaid meetmeid ning vastavaid konstruktsioone eraldi ei arvutata.

6.11.2.1. Eeldatava koormussagedusega üle 500 normtelge ööpäevas tuleb teelõikude ühissõidukite peatuses, ristmiku ja raudteeülesõidukohas arvestada staatilese koormusega.

6.11.2.2. Staatilese koormuse esinemisalaks loetakse raudteeülesõidul 100 meetrit raudtee telgjoonest ja samatasandilisel ristmikul ristmiku tsentrist kõigis suundades kogu ristlõike ulatuses, kus koormussagedus ületab 500 normtelge ööpäevas ning sõidukite kiirus langeb vähemalt poole võrra.

6.11.2.3. Staatilese koormuse esinemisalal tuleb:

- projekteerida katte kaks ülemist kihti jäigemad, kasutades selleks näiteks vastavaid lisandeid;
- kandevkihi alla näha ette kandevkihiga identne kiht (aluse ülaosa asendatakse asfaltbetooniga), mille paksust võib tehnoloogilistel kaalutlustel muuta;

6.11.3. Tehnoloogilised kihid.

Tehnoloogilised kihid on need, mis tugevusarvutuslikult ega katendi külmakindluse jaoks pole vajalikud, kuid mille olemasolu tingivad mitmesugused tehnoloogilised kaalutlused, mis võivad alles ilmned ehitamise ajal, olenevalt ilmastikust ja aastaajast. Tehnoloogilised kihid on vajalikud vältimaks konstruktiivsete kihtide materjalide segunemist, sidumata kihil ehitusaegse sõidetavuse tagamiseks ning kaitsmaks dreniiva 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)

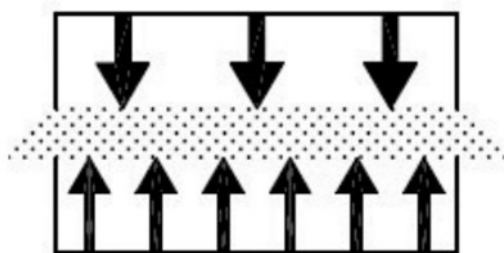
6.11.4. Geosünteedide kasutamine teekatendi konstrueerimisel.

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

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

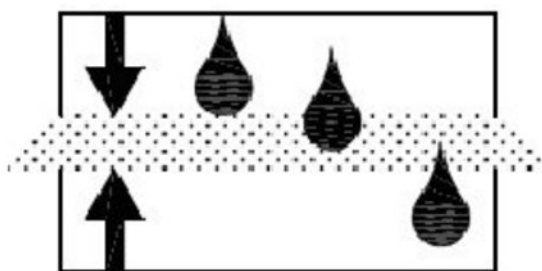
- Eraldusfunktsiooni** (Joonis 1) täitev geosüntee eraldab füüsiliselt kahte materjalikihti. Näiteks takistatakse killustiku segunemist liivaga või liiva segunemist saviga. Materjalina kasutatakse geotekstiile (enamasti mittekoitud, aga võivad olla ka koitud). Teedeehituses

eraldamiseks sobiva materjali valik põhineb NorGeoSpeci juhendil, mida käsitletakse peatükis 2.2.2.



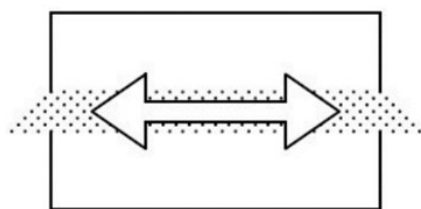
Joonis 1. Eraldusfunktsioon

- **Filtreerimise funktsiooni** (Joonis 2) täitev geosünteeet 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.

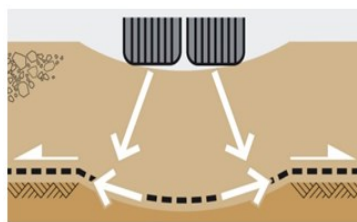


Joonis 2. Filtreerimisfunktsioon

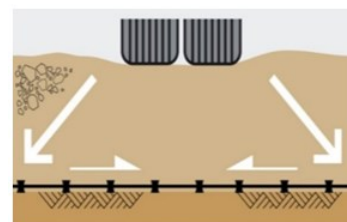
- **Armeerimise** (võidakse nimetada ka sarrustamiseks) **funktsiooni** (Joonised 3...5) täitev geosünteeet võimaldab tugevdada sideainega sidumata pinnase ja asfaltbetooni puudujääke tugevuses. Materjalina kasutatakse geovõrke ja kootud tekstiile. Kui geovõrk on teatud omadustega, toimib see sobiliku täitematerjali kasutamisel stabiliseerijana.
- **Stabiliseerimise funktsioon** on sidumata täitematerjali kihi omaduste parandamine läbi täitematerjali kihi osakeste liikumiste takistamise liikluskoormusest tulenevate jõudude mõjul (Joonis 5).



Joonis 3.



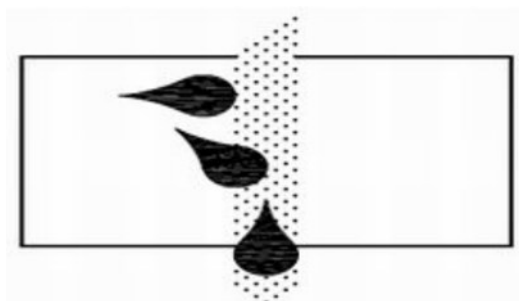
Joonis 4.



Joonis 5.

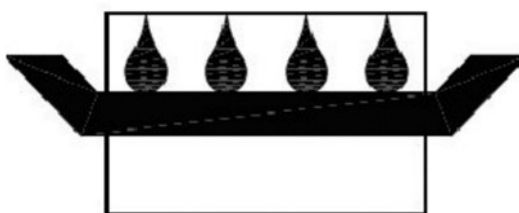
Armeerimisfunktsioon ja stabiliseerimine

- **Drenaaži funktsiooni** (Joonis 6) täitev geosünteeit juhib vedelikke ja teatud juhtudel ka gaase mööda oma tasapinda. Materjalina kasutatakse spetsiaalseid kolmemõõtmelisi drenmatte, aga võidakse kasutada ka nõeltöödeldud geotekstiile.



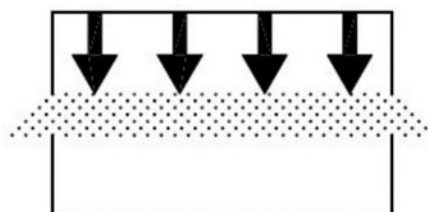
Joonis 6. Drenaažifunktsioon

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



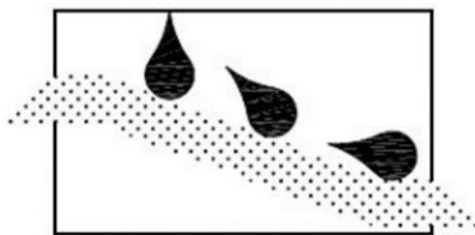
Joonis 7. Barjäär

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



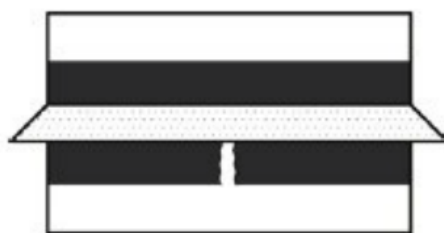
Joonis 8. Kaitsefunktsioon

- **Erosiooni tõkestamine** (Joonis 9Error! Reference source not found.). 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).

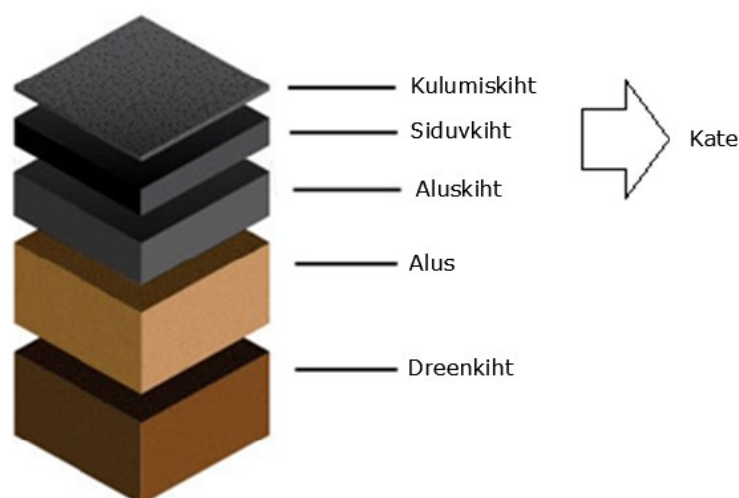


Joonis 10. *Pingetustamine ehk asfaltbetoonkihtides peegelduspragunemise tõkestamine*

6.11.4.2. 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.

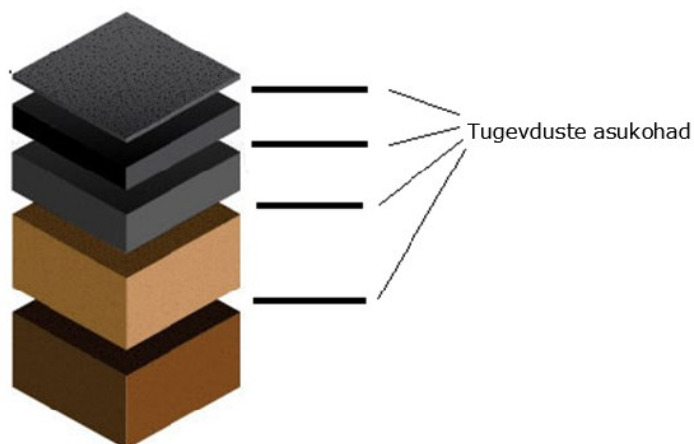
Kate võib olla tsement- või asfaltbetoonist, mis omakorda jaguneb kulumiskihiks (AC surf), siduvkihiks (AC bin) ja aluskihiks (AC base) (Joonis 11).

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).



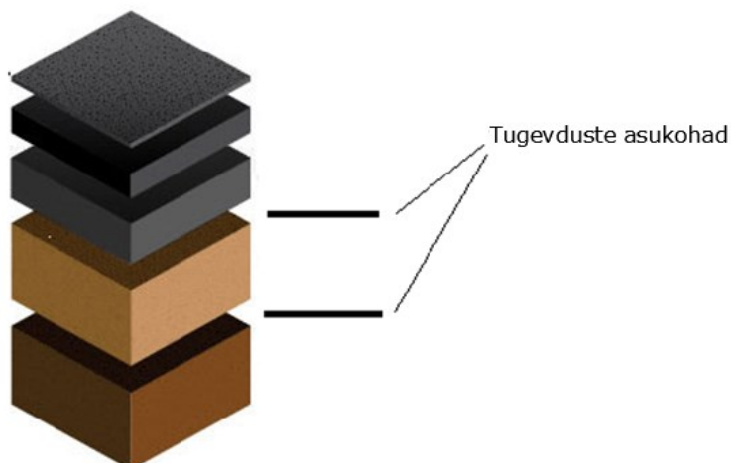
Joonis 11. Katendikihtide definitsioon

Suurendamaks teekatendi **vastupanu püsivatele deformatsioonidele** (roopad, ebaühtlased vajumid jms), kasutatakse enamasti geovõrke või geokomposiite (geovõrk ühendatud geotekstiiliga) kas kulumis-, siduv-, aluskihtides, aluses või dreenikihis (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

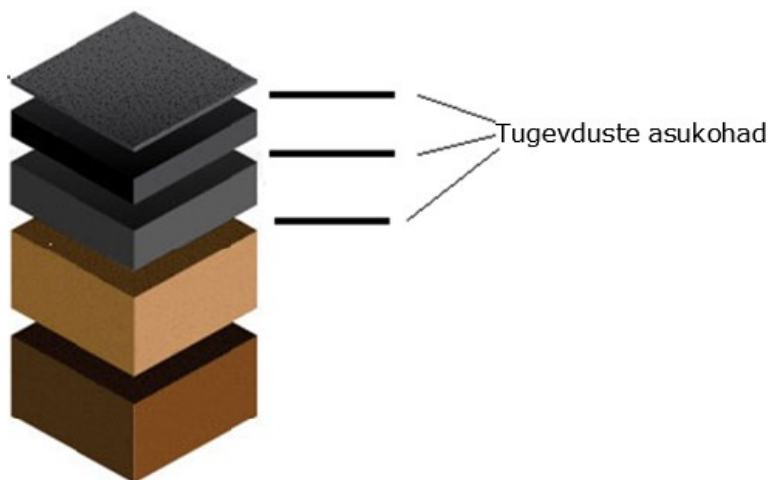
Suurendamaks teekatendi **kandevõimet** tuleks geosüntees paigaldada kõige nõrgema kandevõimega kihile võimalikult lähedale, milleks on reeglina muldkeha/teekatendi alla jääv konstruktsioon või looduslik pinnas. Üheks võimaluseks on suurendada katendikihtide paksusi halvema kandevõimega materjali peal, 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 kate alumisse kihti (Joonis 13).



Joonis 13. *Geosünteedide 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 geosünteed paigaldada katte pinnale võimalikult lähedale, mis ei ole siiski alati tehnoloogiliste võimalustega kooskõlas ja mistõttu võidakse materjal paigaldada ka sügavamale (Joonis 14).

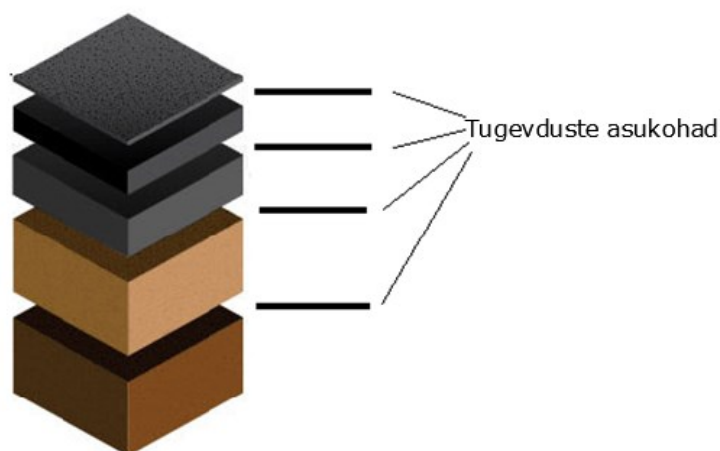
Külmakerked põhjustavad pinnase mahu muutust (suurenemist), st pinnase tihedus väheneb, mis suurendab ohtu püsivate deformatsioonide tekkele. Pinnase sulamisel vabaneb ka palju vett, mis vähendab külmakerkeliste pinnaste kandevõimeid suures ulatuses. Taoliste nähtuste vastu saab kasutada geosünteede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



Joonis 14. *Geosünteedide 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 geosünteede kasutada (Joonis 15) kujutatud kohtades. Peegelduspragude vastu töötades geosünteed kas leevendab pingeid (asfaldivõrgud) või tekitab

kihtide vahele „padja“ (asfaldigeotekstiilid, 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

1.1.1 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).



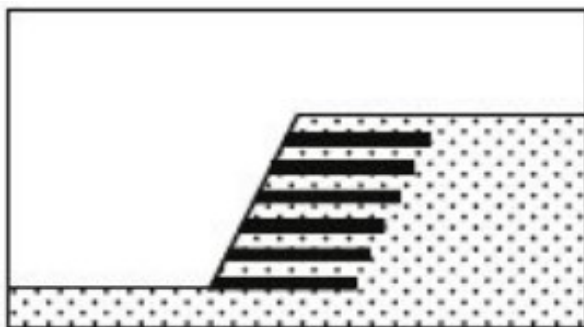
Joonis 17. *Geosünteedide kasutamine teekatendites*

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*

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

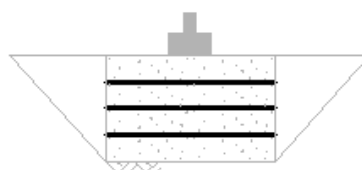
Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

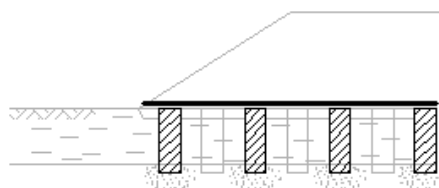
24/58



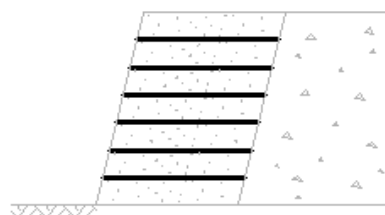
Muldkeha pehmetel pinnastel



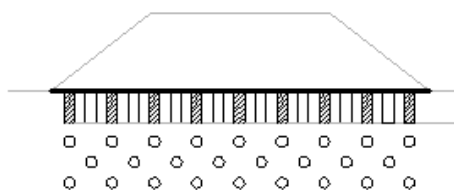
Tugevdatud vundamendi padjad



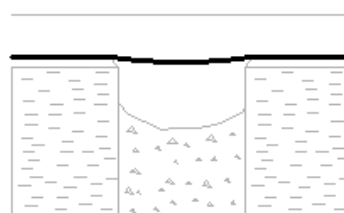
Tugevdatud maapinna struktuurid üle teatud punkti või sirgete elementide



Tugikonstruktsioonid



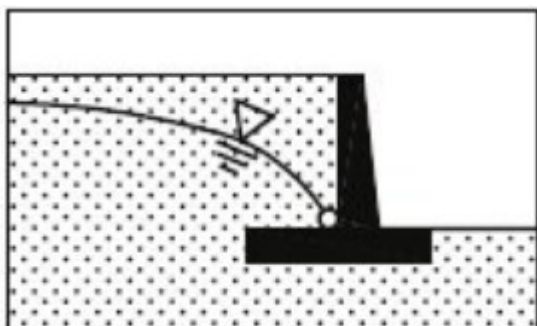
Geosünteedidest kapslis sambad



Sillaületus süsteemid vajuma kalduvatel aladel

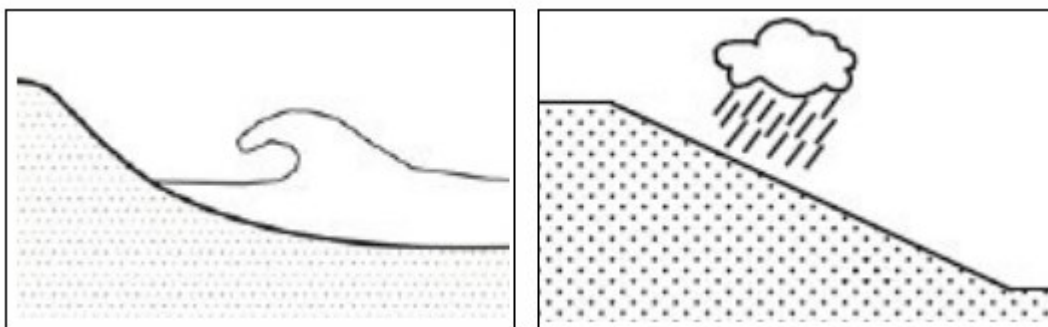
Joonis 19-2. Geosünteedide kasutamine mullatöödel, vundamentides ja tugikonstruktsioonides

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



Joonis 20. Geosünteedide kasutamine drenaažisüsteemides

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



Joonis 21. Geosünteedide kasutamine erosioonitõrjeks rannaäärsetel aladel ja nõlvadel

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

6.12. Üldiselt katendi tugevuse ja külmakindluse arvutusest

6.12.1. Katendi arvutamine koormusele Q (V1 või V2 / ööp)

Katendid arvutatakse tugevusele ja külmakindlusele. Järgnevalt käsitletakse ainult riigiteede sõidutee katendi tugevusarvutust dünaamilisel koormamisel tabelis 8. Teiste omanike valduses olevate teekatendite jaoks peab projekteerija kasutama riigitee klassile vastavat analoogi.

Tabel 8. Katendite dünaamilisele koormusele ja külmakindlusele arvutamise üldskeem

Katend	Tugevusele dünaamilisel koormamisel				Kogu katend külmakindlusele
	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° 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.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	26/58

Katendi võib lugeda arvutatuks siis, kui kõikide tugevuskriteeriumite tugevusvaru (**Varu %**) 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 arvutatud paksusest, siis on viimasega määratud katendi dimensioonid. Sel juhul tuleb projekteerijal:

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

Etapiviisiline ehitus (ei teostata välisrahastuse korral). 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 tõmbepingele ja
- 5) monoliitne vahekiht lubatavatele tõmbepingele (eeldab käsitsiarvutust kuna KAP seda ei lahenda).

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

27/58

6.12.2. 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 külmaskindlusele.

6.12.3. 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 $E_2 \dots$, tähendab üksikkihi E-moodulit.

Kirjeldatud tähistuste sisu selgub täpsemalt konkreetsete arvutuste juures.

6.13. Katendi tugevusarvutus

6.13.1. 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.

Tabel 9. Koormusgrupi tegurid

	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.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

28/58

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_{üld} puhul on deformatsioonide risk suurem ja sel juhul ei too deformatsioonid kaasa suurt pragunemisriski.

Kui liiklusvoog ei sisalda arvutusveokeid V₁ või V₂, projekteeritakse katend E_{min} järgi.

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

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

Juhindudes mitmesugustest tüüplahendustest, võttes aluseks valemi (13.1) ja tabel 9 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_{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_{üld} arvutamisel kasutada valemit (13.3):

(13.3)

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

Kui E₂ = E_{pinnas}, siis k₀ = 1,0 ning muudel juhtudel k₀ = 1,05

E_{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, vt tabel 10):

- 1.asendus koosneb pinnasest ja 4.kihist E-moodulitega vastavalt E₅ ja E₄ ning paksusega h₄; arvutusest saadakse E_{üld,3} 4.kihi peal; nomogrammi kasutamisel on vaja eelnevalt arvutada h₄/d ja E₅/E₄ ;
- 2.asendus koosneb kihist, millele on omistatud E_{üld,3} ja 3.kihist paksusega h₃ ning E-mooduliga E₃ ;arvutustest saadakse E_{üld,2} 3.kihi peal; nomogrammi kasutamisel on vaja eelnevalt arvutada h₃/d ja E_{üld,3}/E₃
- 3.asendus koosneb kihist, millele on omistatud E_{üld,2} ja 2.kihist paksusega h₂ ning E-mooduliga E₂ ; arvutustest saadakse E_{üld,1} 4.kihi peal; nomogrammi kasutamisel on vaja eelnevalt arvutada h₂/d ja E_{üld,2}/E₂
- 4.asendus koosneb kihist, millele on omistatud E_{üld,1} ja 1.kihist paksusega h₁ ning E-mooduliga E₁arvutustestsaadakse kogu katendi E_{üld} .

Tabel 10. $E_{\text{üld}}$ arvutamise skeem

Katendi $E_{\text{üld}}$ arvutamise skeem

T13.3

Tegelik konstruktsioon	1.asendus	2.asendus	3.asendus	4.asendus
<div> h_1, E_1 h_2, E_2 h_3, E_3 h_4, E_4 </div> <p>Pinnas F_5 Kihide E-moodulid ja paksused h_i on teada</p>	<div> $\nabla E_{\text{üld},3}$ h_4, E_4 </div> <p>Pinnas F_5 Arvutatakse kihte, E-moodulitega E_4 ja E_5, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on $E_{\text{üld},3}$</p>	<div> $\nabla E_{\text{üld},2}$ h_3, E_3 $\blacktriangle E_{\text{üld},3}$ </div> <p>Arvutatakse kihte, E-moodulitega E_3 ja $E_{\text{üld},3}$, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on $E_{\text{üld},2}$</p>	<div> $\nabla E_{\text{üld},1}$ h_2, E_2 $\blacktriangle E_{\text{üld},2}$ </div> <p>Arvutatakse kihte, E-moodulitega E_2 ja $E_{\text{üld},2}$, asendav ekvivalentne kiht, mille E-moodul on $E_{\text{üld},1}$</p>	<div> $\nabla E_{\text{üld}}$ h_1, E_1 $\blacktriangle E_{\text{üld},1}$ </div> <p>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</p>
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	$E_{\text{üld},3} = E_4 * a_1$	$E_{\text{üld},2} = E_3 * a_2$	$E_{\text{üld},1} = E_2 * a_3$	$E_{\text{üld}} = E_1 * a_4$

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	30/58

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_{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 $\eta = 0,3$.

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

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

6.13.2. Katendi kihtide ja pinnase arvutamine nihkele

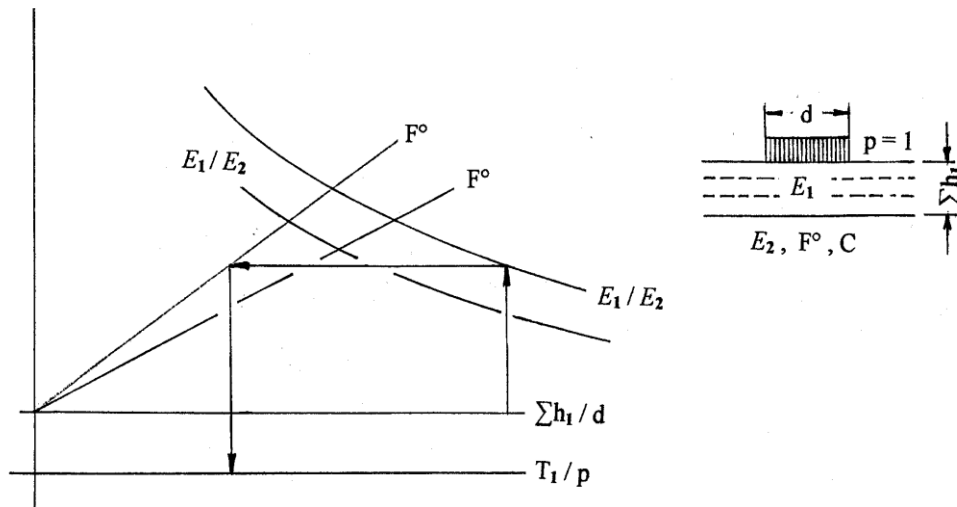
Nihkepinged katendi sideainetega töötlemata kihtides ja pinnases tekivad liikuvast koormusest ning neil lasuvate kihtide massist. Arvutamisel lubatavale nihkele tuleb bituumensideainetega töödeldud materjalide E-moodulid võtta 20°C juures; muude materjalide ja pinnaste omadused ei sõltu temperatuurist. 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 Σh_1 ja E – mooduliks on kaalutud keskmine elastsusmoodul E_1 ;
- teiseks on kiht (pinnas), tugevuskarakteristikute 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 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 tabel 11 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 11.

Valemid Z arvutamiseks	Nr.
Kui $0,1 \leq \Sigma h_1 / d \leq 1,0$ siis $Z = 1 / [a + b * (E_1 / E_2)]$	(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)
Kui $1,0 \leq \Sigma h_1 / d \leq 4,0$ siis $Z = a' * (E_1 / E_2) b'$	(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;

Σh_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.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

32/58

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, niidusus L1.T5, Mpa;

K_{tt} – tugevustegur.

Kasutamaks valemeid või nomogramme, tuleb arvutada suhe Σ_{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 $E_{\text{üld}}$.

6.13.3. 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 enamakihieline. 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 mitmekihiline asfaltbetooni alumine kiht töötaks tõmbele.

Selle esimese kihi, mille paksus on Σh_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 $E_{\text{üld}} = E_{\text{ü2}}$ 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:

$$\text{kui } \sum h_i / d > \frac{1,42}{E_1 / E_2} + 0,127, \text{ siis}$$

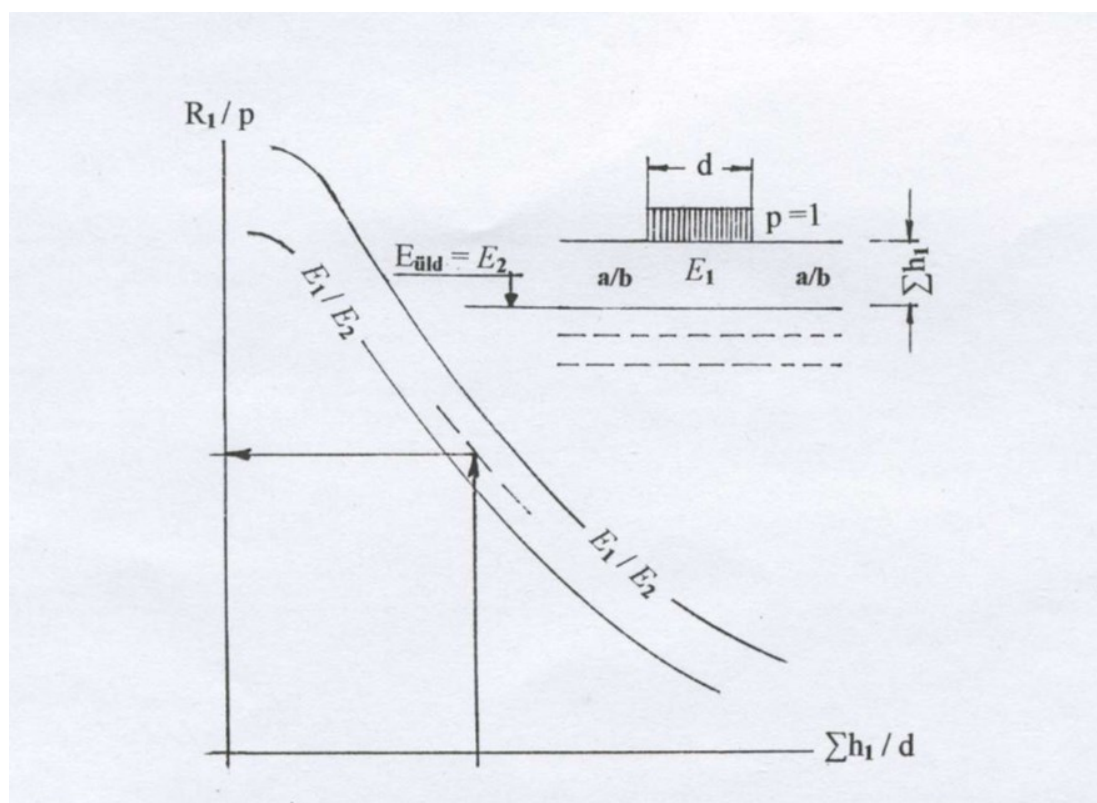
$$R_1 = 1,28 * \frac{E_1}{E_2} * \sum \frac{h_i}{d} * [1 - 0,637 * \arctan(C)] * [\arctan(1 / C)]^2 * p * k_4 \quad (13.20)$$

$$\text{kui } \sum h_i / d \leq \frac{1,42}{E_1 / E_2} + 0,127, \text{ siis}$$

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

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

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



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.

6.13.4. Aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihi arvutamine tõmbele

Alljärgnevalt nimetatakse aluse tsement- või kompleksstabiliseeritud kihti monoliitvahekihiks.

Monoliitvahekihi arvutamisel lubatavale tõmbele võetakse asfaltbetooni E-moodulid 20°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 Σh .

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

Nomogrammi ja selle kasutamise skeem on J13.3.

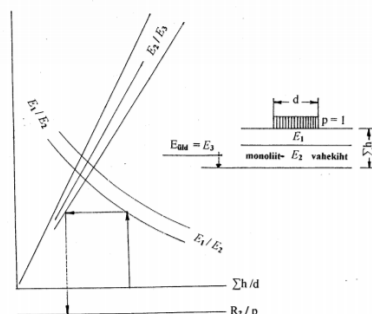
$$R_2 = [a * \exp(b * E_1 / E_2) + c] * \frac{(E_2 / E_3)^2 * p * k_4}{9,83 * (E_2 / E_3)^2 + 79,6 * (E_2 / E_3) - 5,8} \quad (13.28)$$

$$b = -0,124$$

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

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

$$k_4 = 1,0$$



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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	36/58

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 $x = 0,06$

$$\begin{aligned} \text{Katendi tugevus on tagatud, kui} \\ R_2 \leq R_{02} \end{aligned} \quad (13.30)$$

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 asetsevaid kihte asendama tugevamatega.

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

6.13.5. 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° - 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.

6.14. Katendi arvutamine külmakindlusele

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

$$l > l_{kk} \quad (14.1)$$

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 $z = 125 \text{ cm}$;

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

37/58

- Tabel 12 pinnasetegur $B, \text{cm}^2/\text{ööp}$;
- katendi (soojustehniliselt) redutseeritud paksus z_1, cm ;
- katendikihtide materjalide soojustehnilised ekvivalendid ε_i (L3) ja
- pinnasevee 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.

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

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

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

$$\text{katendi redutseeritud paksus } z_1 = h_1 * \varepsilon_1 + h_2 * \varepsilon_2 + h_3 * \varepsilon_3 + \dots \quad (14.3)$$

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.

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

Tabel 12 Pinnasetegur B.

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.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	38/58

1.ja 2. paikonnas toimub külmakindluse arvutus vastavalt tabel 13 skeemile. See skeem kehtib ainult muldkeha normidekohase kõrgus puhul. Kui muldkeha on normidest madalam või asetseb süvendis, tuleb igal juhul katend arvutada külmakindlusele.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

39/58

Tabel 13 Külmaskindluse arvutused

	Paikkonna tüübi nr.	Märkused
Püsikatend	1	Külmaskindlusele 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	Külmaskindlusele ei arvutata.
Kergkatend	2	Külmaskindlusele 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 külmaskindluse 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.

6.14.1. Külmaskaitsekihi materjal

Külmaskaitsekihina 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.
-

6.14.2. Katendi külmaskindluse arvutamise näide (vt tabel 14)

Tabel 14 Püsikatendi kihid

Kihi			
nimetus	paksus h_i , cm	soojustehnilised ekvivalendid ϵ_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, tabel 12 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

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

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

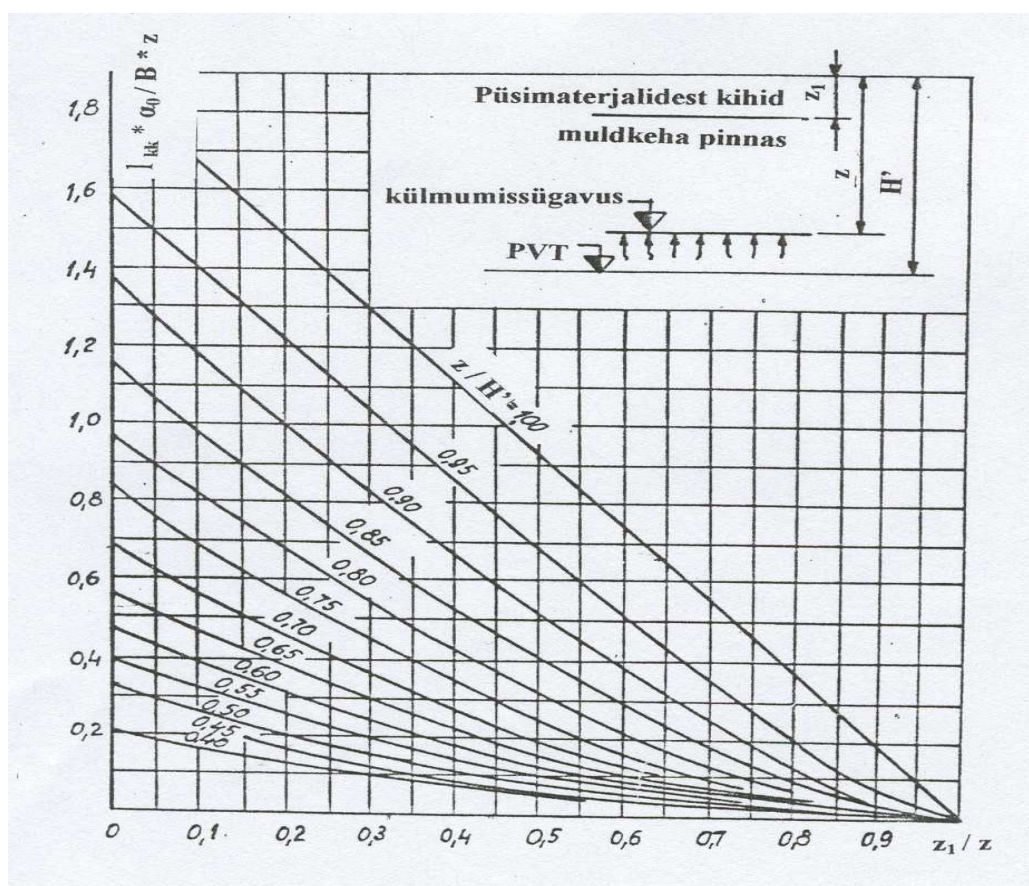
Kuna $l_{kk} < 1$ ($3,6 < 4$), siis vaatamata ebasoodsale pinnasvee ja külmumissügavuse olukorrale on katend külmakindel.

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;

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

z - arvutuslik külmumissügavus;

z_1 – katendi paksus, cm;

H' - pinnasvee arvutuslik (max teadaolev sügisene

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

41/58

külmumiseelne) sügavus tee teljel, cm;

B – pinnasetegur, cm² / ööp.

Parklates tuleb katendi nõutav arvutuslik elastsusmoodul võtta vähemalt VI klassi maantee omaga võrdseks (tabel 4.10).

Raskeliiklusega parklates (AR perspektiivselt >10 AKÖL) tuleb katendi nõutav arvutuslik elastsusmoodul võtta vähemalt V klassi maantee omaga võrdseks ja projekteerida katte kaks ülemist kihti jäigemad.

6.15. Dreenkiht

6.15.1. Üldist.

Täpsemad kehtivad nõuded ja selgitused drenkihi projekteerimise kohta on toodud Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhises (Maanteeameti peadirektori 05.01.2016. a käskkiri nr 0001 või uuem).

6.16. Katendi projekt

Katendi projekti koosseis:

- lähteülesanne;
- seletuskiri;
- väliuuringute aruanne*;
- aruanne projekteerimise ajal (eel) tehtud liiklusloendusest*;
- ennustusliku koormussageduse määramine*;
- aruanne varemtehtud uuringutest*;
- aruanne oleva katendi ülevaatusel*;
- 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° (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	Niske	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. Esinevad peamiselt savikad pinnased suhtelise niiskusega alla 0,8. On mõeldav tee külgnervate alade piki- ja põikplaneerimisega ning kraavimisega 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	Liigniiske (mürg)	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.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	43/58

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 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.

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 konstruktiivsetest iseärasusest tingitud paranduste arvessevõtmist $W_1 > 0,75$ ja katendi paksus on $>75\text{cm}$, siis tuleb kasutada tegeliku arvutusliku suhtelise niiskuse saamiseks parandustegurit Δ 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

Δ_1 - parandustegur tee konstruktiivsetest iseärasustest

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

v - variatsioonitegur = 0,1

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

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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

44/58

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 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
- nidusus, MPa

Pinnase grupid:

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

L1.T5. Pinnaste arvutuslikud (empiirilised) tugevuskarakteristikud

Pinnase grupp		Pinnaste tugevuskarakteristikud vastavalt arvutuslikule niiskusele W ₁ või korregeeritud 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) 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_{üla}, C ja F. Sügavamale (>75 cm) jäävate kihtide C ja F ei oma tähtsust.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

45/58

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): - seguris segatud - teel segatud	600 500			- -
14	Kompleksstabiliseeritud kihid (KS): - uutest mineraalmaterjalidest seguris segatud - asfaldipurust seguris segatud - asfaldipurust teel segatud - uutest materjalidest teel segatud	900 800 700 800			- - - -
15	Tsementstabiliseeritud kihid (TS): - 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

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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

46/58

3	Munakivi-, parkettkivi sillutis	500	-	-
4	Pinnatud freespurukate	400	-	-

L2.T3. KAP arvutuslehe kohustuslik lisa - materjalide klassifikatsioon, esitatud nõuded ja arvutusparameetrid³

Täite- materjalid (Tm)	E (MPa)	Sisehõõrdenurk F	Nidusus C (MPa)	Plastsus Rootsi W _{LR}	Sõelkõver	Cu d60/d10	Senine nimetus	Plastsus Vassiljev
280	280						Tardkivikillustik	
280	280						Pae- või kruuskillustik (LA<35)	
240	240						Pae- või kruuskillustik (LA≥35)	
200	200						Mittestandardne killustik (nõuetele mittevastav)	
180	180	45	0,03				Opt.terastikuga kruusliivast kiht	
150	150	43	0,01		2...63 mm >50%		Kruuspinnas	
_E (160) _F (110) _G (60)	160 110 60			<25	<0,63 10...40% ja >5 mm >20%		liiva-kruusa-killustiku segu	<7
_130 _115	130 115	42	0,007	<10	>0,5 mm >50%	>3 2...3	kruusliiv, jämeliiv möödukalt ühtlaseterine jämeliiv	<1
_120 _105	120 105	40	0,006	<10	>0,25 mm >50%	>3 2...3	keskliiv mööd.ühtlaseterine keskliiv	<1
_100 _90	100 90	38	0,005		>0,1 mm >50%	>3 2...3	peenliiv mööd.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 40..50 >50	2...0,05 mm ≥40%		kerge liivsavi raske liivsavi Savi	7...12 12...17 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 >50			raske tolmne liivsavi tolmne savi	12...17 17...27

³ <https://transpordiamet.ee/media/3209/download>, vt detailsemad pinnaste liigitused ja üleminekud EVS liigitusele.

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

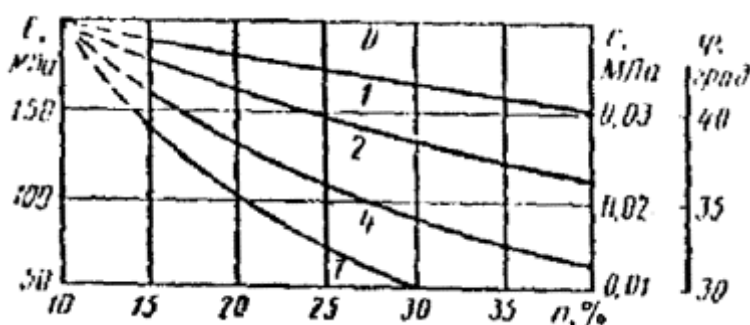
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: {kuupäev} nr {regNumber} Error! Bookmark not defined.	Koostaja: Taavi Tõnts	47/58
---------------	---	-----------------------	-------

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 teadustöö⁴ (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.

⁴ <https://transpordiamet.ee/media/3209/download>

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	48/58

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...40%

1. Sõltuvalt peenosise protsendist ja W_{LR} väärtusest interpoleeritavad tulemused – grupid E_160 – F_110 – G_60 (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...63 mm $>50\%$ - kruuspinnas (E-150)

b. Cu väärtus

i. $Cu > 3$ – kruusliiv/jämeliiv, keskliiv, peenliiv – E130, E120, E100

ii. Cu 2...3 – mõõdukalt ühtlaseteraline (eeltoodud) liiv – E115, E105, E90

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...25

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

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

b. $W_{LR} > 25$

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

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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	49/58

Lisa 4. Materjalide ja pinnaste soojustehnilised ekvivalendid ϵ_i

L3.T1.

Materjal, pinnas	ϵ_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
Lubitugevdatud 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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	50/58

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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	51/58

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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1	Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217	Koostaja: Taavi Tõnts	52/58
---------------	---	-----------------------	-------

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

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE			
KT_025_J21_r1	Kinnitamine: {kuupäev} nr {regNumber} Error! Bookmark not defined.	Koostaja: Taavi Tõnts	53/58

L5.T2. Tabel E_{üld} määramiseks.

Jrk. nr.	E ₂ / E ₁	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 _{üld} / E ₁																				
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

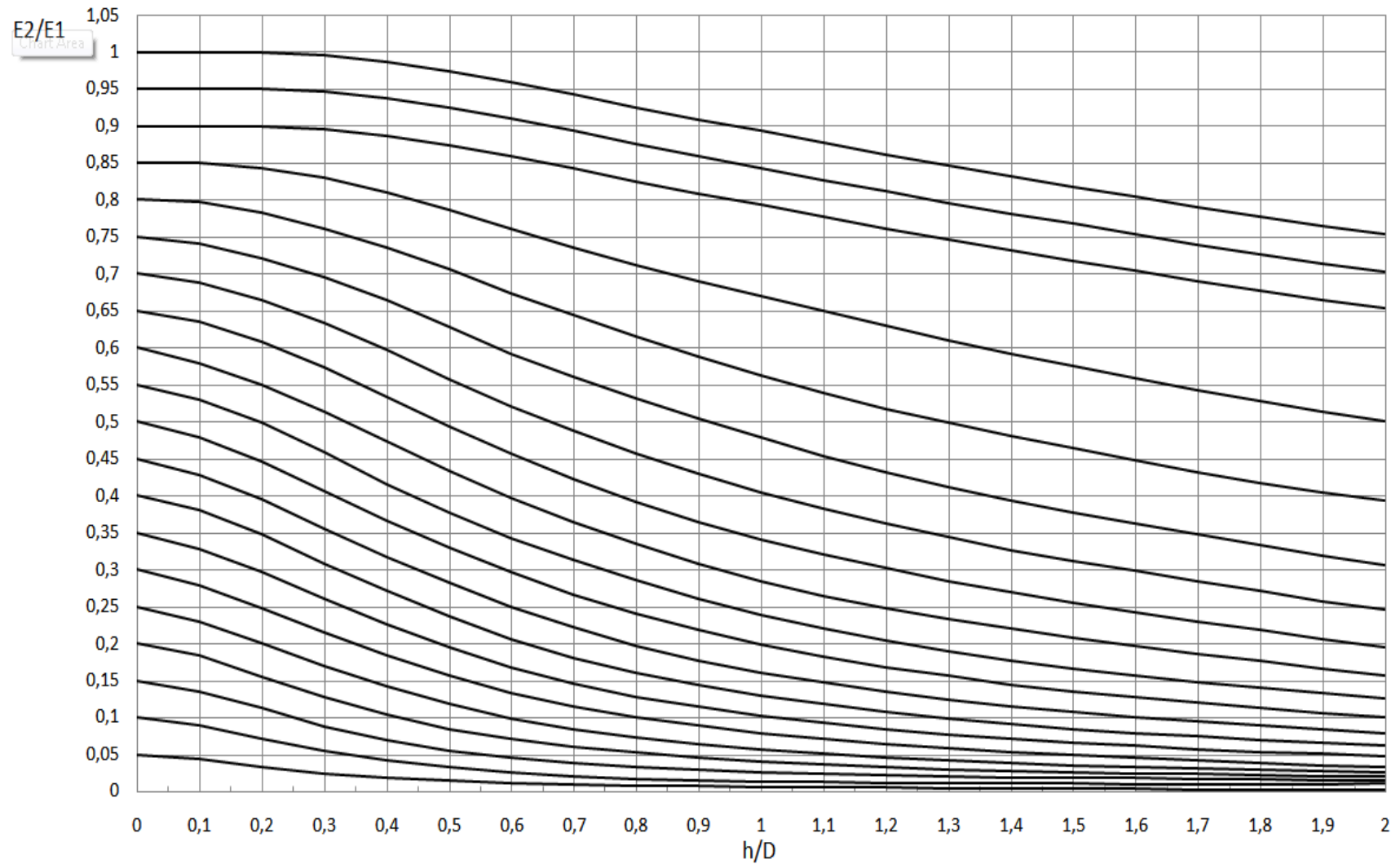
ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

54/58



Nomogramm L4.2 Eüld määramiseks

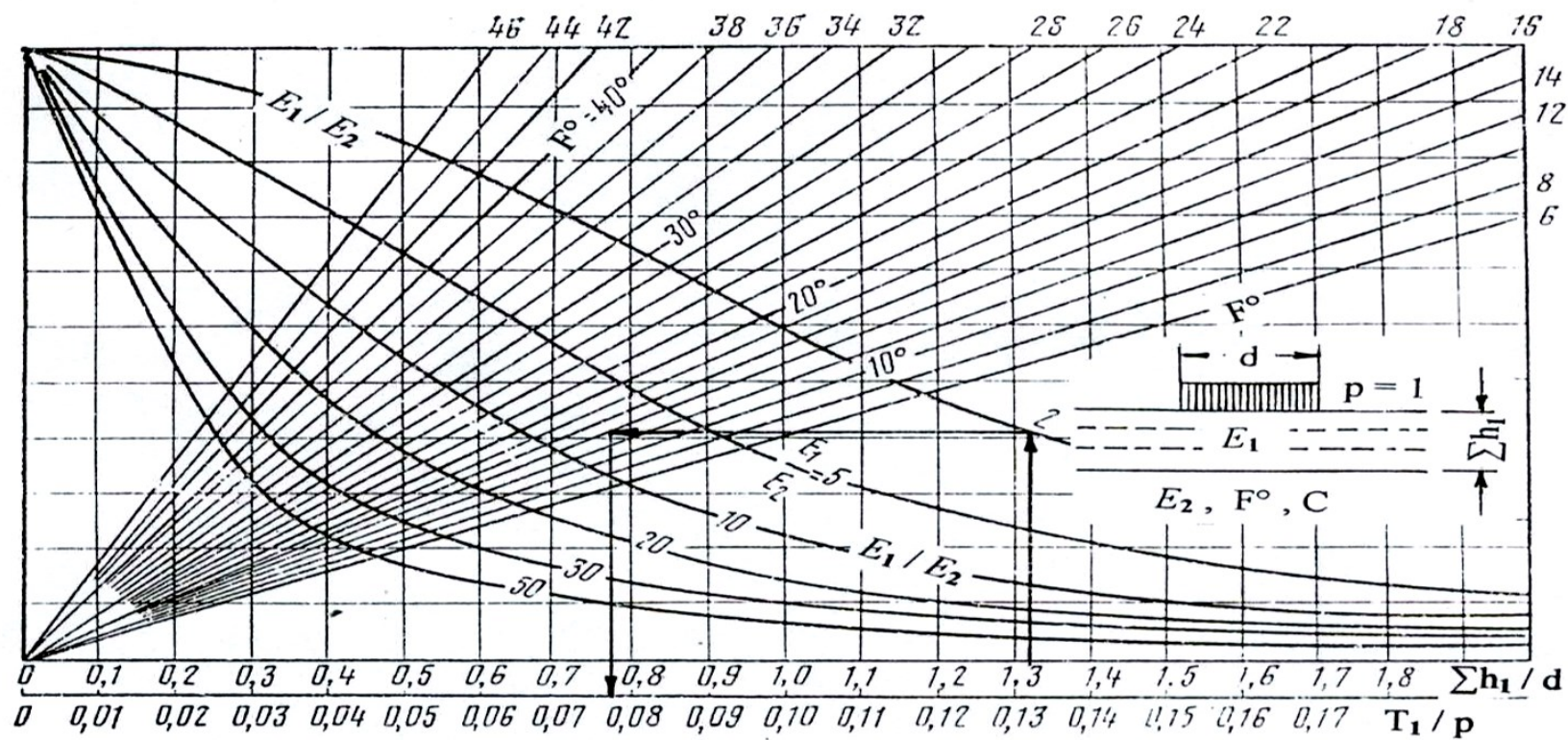
ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

Kinnitamine: 27.11.2023 nr 1.1-1/23/217

Koostaja: Taavi Tõnts

55/58



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

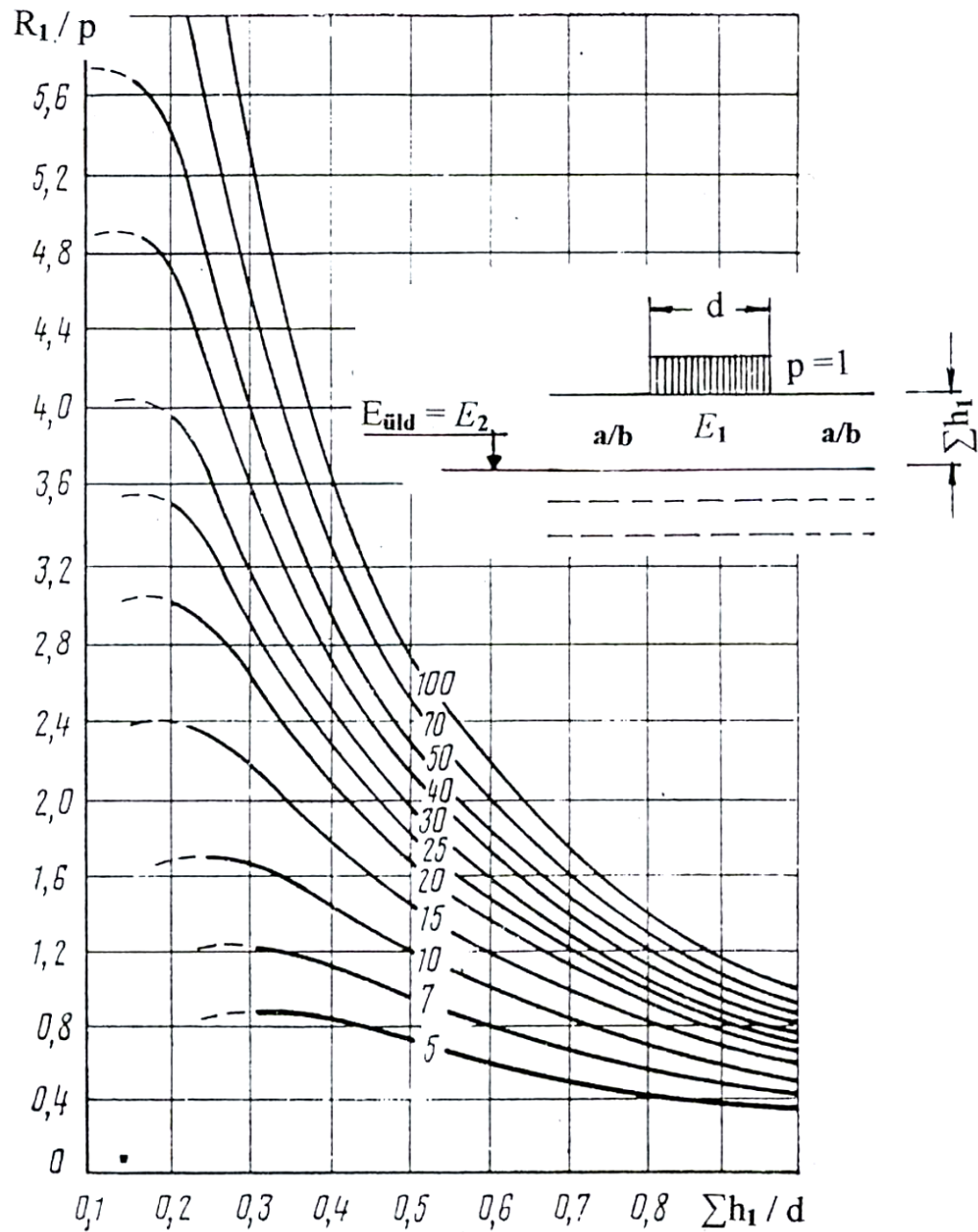
ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMINE

KT_025_J21_r1

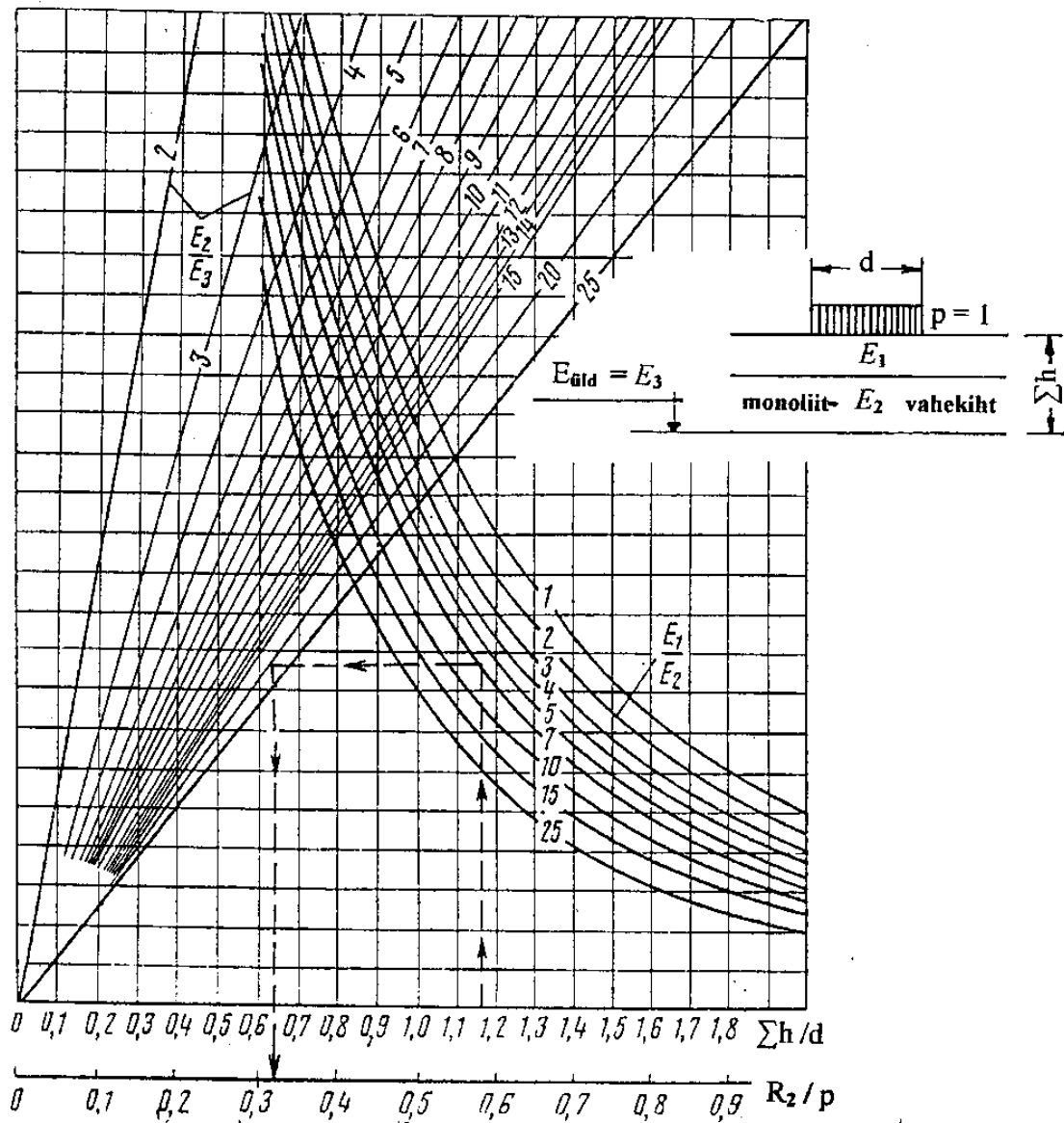
Kinnitamine: {kuupäev} nr {regNumber}
Bookmark not defined.

Koostaja: Taavi Tõnts

56/58



L4.4. Nomogramm asfaltbetooni tõmbepingete R_1/p määramiseks



L4.5. Nomogramm monoliitvahekihis tõmbepingete R_2/p määramiseks

L5.6 Teguri Delta graafik

Delta suurus, kui $W_{arv} > 0,75$ ja katendi paksus $> 75\text{cm}$ 