

TEEHOIUTÖÖDE TEHNOLOOGILISED JUHISED
MULDKEHA REMONDI PROJEKTEERIMISE
JUHS

Kinnitatud Maanteeameti peadirektori
29.12.2006. a käskkirjaga nr 264

2006-27



MAANTEEAMET

Tallinn 2006

Kinnitatud
Maanteeameti peadirektori
29.detsembri 2006.a
käskkirjaga nr 264

Eessõna

Käesolev juhise on valminud Maanteeameti ja TTÜ teedeinstituudi vahel 21.12.2005. a sõlmitud lepingu

GEOSÜNTEETIDE KASUTAMISE JA MULDKESHA REMONDI PROJEKTEERIMISE JUHISE KOOSTAMINE

lõpparuande alusel.

Teadustöö lõpparuande koostasid:

1. Prof. Andrus Aavik – lepingu vastutav täitja;
2. Emeeritus Maano Koppel – pinnaste klassifikatsioon ja külmaohtlikkus;
3. Lektor Harri Rõuk - katendi arvutus ebasoodsatele mõjudele;
4. Ins. Tiit Kaal, AS Teede Tehnokeskus - probleemsete teekatendi konstruktsiooni-kihtide leidmine FWD mõõtmistulemuste alusel.

SISUKORD

	<u>TEE MULDKAHA REMONDI PROJEKTEERIMINE</u>	4
1.	ÜLDIST	4
2.	PINNASED	7
2.1.	Pinnaste klassifikatsioon	7
2.2.	Pinnaste külmakerkelisus	22
2.2.1.	Muldkeha veerežiim	22
2.2.2.	Külmakerke tekkimise protsess	23
2.2.3.	Külmakerkeline pinnas	24
2.3.	Külmaohtlike pinnaste parendamine	27
3.	KATENDI ARVUTUS EBASOODSATELE MÕJUDELE	29
3.1.	Katendi arvutus külmakerkele	29
3.2.	Veerežiimiga seotud arvutused	34
3.2.1.	Üldist kraavide arvutamise kohta	35
3.2.2.	Drenaaži arvutus	35
3.2.3.	Dreenkihi arvutus	38
4.	PROBLEEMSE TEEKATENDI KONSTRUKTSIOONIKIHI LEIDMINE FWD MÕÕTMISTULEMUSTE ALUSEL – PRAKTILINE NÄIDE	44
5.	KOKKUVÕTE	49
	KASUTATUD INFORMATSIOONIALLIKAD	51

TEE MULDKEGA REMONDI PROJEKTEERIMINE

1. ÜLDIST

Muldkeha projekteerimisel, aga samuti ka muldkeha remondi projekteerimisel tuleb arvestada:

- maantee klassi,
- teekatendi tüüpi,
- mulde kõrgust ja süvendi sügavust,
- muldkeha- ja aluspinnaste omadusi ning
- ehitustingimusi,
- ehituspaikkonna looduslikke ja insenergeoloogilisi iseärasusi ning
- maanteede ehitamise, remondi ja hoolde varasemaid kogemusi.

Maantee ehitusgeoloogilised tingimused on määratud niiskuspaiikkonna tüübi (tabel 1), maapinna reljeefi, pinnaste omaduste ja geoloogilise, hüdrooloogilise ning kliima omapäraga.

Tabel 1

Niiskuspaiikkonna tüübid [27]

Paik- konna tüübi nr.	Paik- konna tunnus	Paikonna tüübi kirjeldus
1.	Kuiv	Pinnavee äravool on tagatud; pinnasevesi on sügaval ega mõjuta kasvupinnase taimestikku. Pinnasteks on põhiliselt kruusliivad, liivad ja savikad liivad, kuid viimaste suhteline niiskus on alla $0,73W_L$. Kui mulde kõrgus on normides (tabel 2.2) nõutud vähimast kõrgusest vähemalt 1,5 korda suurem, on tegemist, sõltumata muudest asjaoludest, esimese paikkonnaga.
2.	Niiske	Pinnavee äravool pole ajuti tagatud; mille üheks tunnuseks on 0,003 lähedased, kuid suuremad sellest, maapinna looduslikud kalded. Esineb lühiajalist (alla 30 päeva) seisuvett. Pinnasevesi on külmumispiirist ainult vähe sügavamal ja mõjutab kasvupinnase niiskumist, mistõttu kasvavad niiskuslembelised taimed; võib esineda isegi pindmise soostumise tunnuseid. Esinevad peamiselt savikad pinnased suhtelise niiskusega alla $0,8W_L$. On võimalik piki- ja põikplaneerimisega ning kraavitamisega tee külgnervate alade niiskumist vähendada ja saavutada esimese paikkonna olukord. Kõik esimese paikkonna süvendid ja 0-profiilid (ka normidega ettenähtust madalamad muldkehad) kuuluvad teise paikkonda.
3.	Liig- niiske (märg)	Pinnavete äravool on raskendatud; esineb pikaajalist (üle 30 päeva) seisuvett. Maapinna lähedase pinnasevee tõttu esineb ilmseid soostumise tunnuseid. Pinnasevee tase on külmumispiirist kõrgemal. Peamiselt esinevad savikad pinnased suhtelise niiskusega üle $0,8W_L$. Paikkonna tüübi muutmine on võimalik ainult suureulatuslike kuivendustöödega. Kõik teise paikkonna tüübi süvendid ja normidega ettenähtust madalamad muldkehad kuuluvad kolmandasse paikkonda.

Märkus: W_L - voolavuspiir

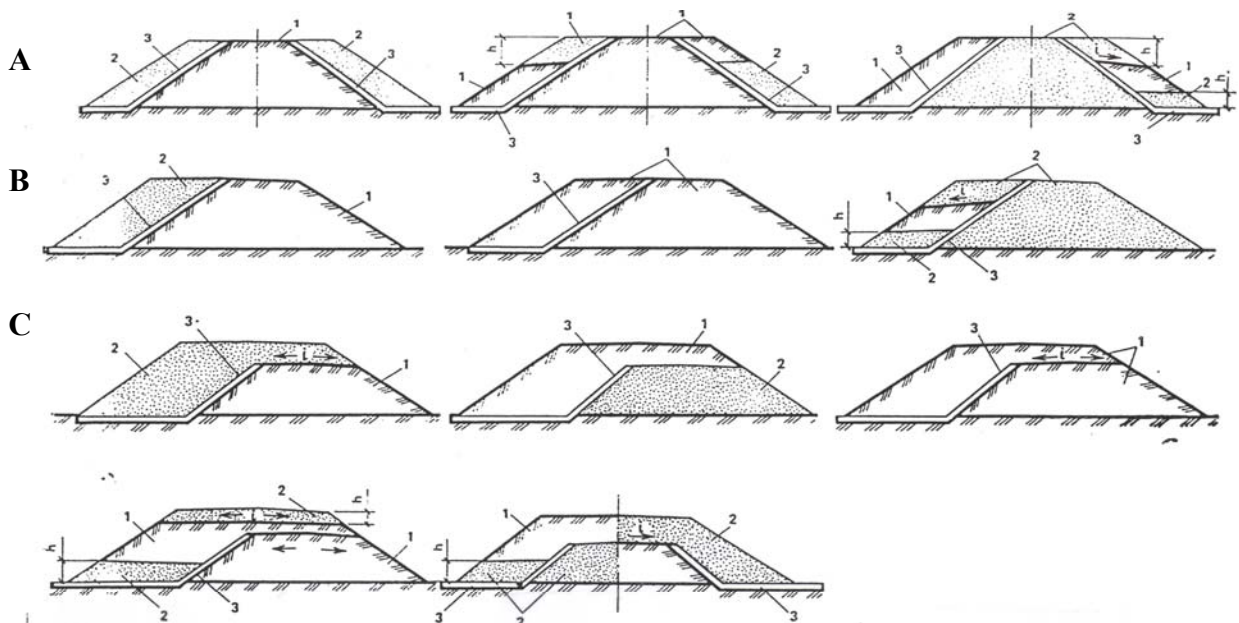
Muldkeha remondi projekteerimisel tuleb tagada muldkeha vajalik tugevus ja püsivus vähimate remondikuludega.

Kui vähegi võimalik, tuleb mulded rajada kogu muldkeha laiuses horisontaalsetest, ühtlastest pinnasekihtidest. Kihi paksus oleneb tihendamise meetoditest. Tavaliselt õnnestub kogu mulde laiuste kihtide ehitamine ainult uute mullete ehitamisel. Olemasolevate mullete laiendamisel see sageli ei ole võimalik ja tuleb täita allpool toodud eritingimusi (Joonis 1). Kuid, kui vähegi võimalik, siis tuleb laiendamist vajav muldkeha ettenähtud laiuses laiuli lükata, planeerida, tihendada ja vedada selle peale kihtide kaupa uuest materjalist muldkeha.

Mulde nõlvade katmiseks kasutatavad pinnased ei tohi olla halvemini drenivad kui mulde pinnased. Halvemini drenivad pinnased tuleb asetada alumistesse kihtidesse, paremini drenivad ülemistesse. Erandiks on sellised mulded, mille alaosas peab olema dreniv kiht mulde kaitsmiseks pinnasevete ja kapillaarvete eest.

Dreeniva pinnase paigaldamisel mittedreenivale pinnasekihile peab allasuval kihil olema kalle teljest servade poole vähemalt 4 %. Mittedreeniva pinnase paigaldamisel drenivale (näiteks kapillaarniiskuse eest kaitsvale kihile mulde allosas) ehitatakse kokkupuutepind horisontaalsena.

Erinevate pinnaste korrapäratu puistamine muldesse on keelatud, sest selle tõttu võib mulde keskele moodustuda veekotte ja ülemised kihid võivad lihkuda mööda kallakulisi savikihte.



A – sümmeetriline laiendus, **B** – ühepoolne laiendus, **C** – pikiprofiili parandus

1 – siduspinnas, 2 – dreniv pinnas, 3 – eemaldatav kasvupinnas

h – pinnasekihi paksus, mis peaks olema suurem, kui antud pinnase kapillaartõus

Joonis 1 Erinevate pinnasetüüpide paigutus muldesse selle laiendamisel või pikiprofiili parandamisel

Olemasolevate mullete laiendamisel tuleb täita järgmisi tingimusi:

- Vanalt muldelt tuleb eemaldada mätas ja ehitada nõlv astmeliseks (astme laius vähemalt 1m ja kalle 10-20 % teest eemale). Liivaste pinnaste puhul astmeid ei tehta.
- Laiendamiseks kasutatav pinnas peab olema samasugune, kui vana mulde pinnas; pinnaste erinevuse korral peab juurdelisatav olema paremate drenivate omadustega.
- Olemasolevaid drenivatest pinnastest muldeid ei ole lubatud laiendada mittedreenivate pinnastega.
- Laiend tuleb ehitada horisontaalsete kihtidena ja need tihendada.
- Lõpetamata mullete pealispind tuleb enne pikaajalist töövaheaega hoolikalt tihendada ja tasandada sellise kaldega, mis tagaks vihmavete takistuse ära voolu.
- Mullete, süvendite, kõigi kaitseehitiste ja veeviimarite nõlvad, mis on ehitatud pinnastest ja alluvad ilmastiku ning vete purustavale toimele, peavad olema kindlustatud.

Kui muldkeha materjal muutub või kui on vaja tasandada külmakerke, kandevõime või vajumiste erinevusi, peab ehitama siirdekiilud. Siirdekiilude lubatud kalded (1:n):

- Kiirteed, I klassi maanteed - 1:20
- II ja III klassi maanteed - 1:15
- IV ja V klassi maanteed - 1:10
- Jalgrattateed, jalgteed - 1:7
- Põhitänavad ja -teed lubatud sõidukiirusega 70...80 km/h - 1:15
- Põhitänavad ja -teed lubatud sõidukiirusega 50...70 km/h - 1:10
- Tänavad liiklussagedusega > 100 autot/tunnis - 1:10
- Tänavad liiklussagedusega ≤ 100 autot/tunnis - 1:7

Siirdekiilu pikkus leitakse seosest $L = n \times S$, kus: L – siirdekiilu pikkus m; n – siirdekiilu kalde pöördarv; S – kihi paksus (m).

Muldkeha aktiivsooni ja katendi tugevuse tagamiseks peab teekatte pinna vähim kõrgus vastama tabelile 2.

Tabel 2

Teekatte pinna vähimad kõrgused [27]

Aktiivsooni pinnas	Maanteetarindi vähim kõrgus, m
Kruus, jämeliiv, keskliiv	$\frac{0,8}{Ei\ normita}$
Peenliiv, möllikas ja savikas liiv, möllikas ja savikas kruus	$\frac{1,1}{0,9}$
Mölline liiv ja kruus, savine liiv või kruus	$\frac{1,5}{1,2}$
Möll, savi	$\frac{2,2}{1,6}$
Möllsavi, savimöll	$\frac{2,4}{1,8}$

Märkused:

1. Lugejas on teekatte pinna vähim kõrgus pinnasevee või pikaajalise (>30 ööpäeva) seisuvee tasemest. Nimetajas on sama kõrgus maapinnast aladel, kus ei ole tagatud pinnavee äravool, või lühiajalise (<30 ööpäeva) seisuvee tasemest.

2. Pinnasevee arvutuslikuks tasemeks tuleb võtta katendi remontidevahelisel perioodil esinev maksimaalne võimalik kevadine või sügisene (külumiseelne) tase. Pinnasevee arvutuslik tase tuleb määrata väliuuringutel.
3. ühe sõidurajaga VI klassi kruusatee, mille kasutamist ebasoodsal aastaajal ajutiselt piiratakse, mulde kõrgus võib olla väiksem [tabelis 2](#) toodust.

Teekatte pinna vähima kõrguse nõudeid võib mitte arvestada, kui muldkeha aktiivtsooni tugevuse ja püsivuse tagamiseks või katendi tugevdamiseks on kasutatud järgmisi meetmeid:

- külmatõrjekihhi rajamine;
- muldkeha vee-soojusrežiimi reguleerimine hüdroisolatsiooni-, soojusisolatsiooni-, dren- või kapillaare katkestavate kihtidega;
- aktiivtsooni pinnaste tugevdamine ja parendamine sideainete jt lisandite kasutamisega;
- armeeritud kihtide kasutamine;
- pinnaseveetaseme alandamine drenaaži abil;
- muldkeha eriristprofiilide kasutamine, kaitsmaks teda pinnavee eest (lamedad nõlvad, perved).

Kui aktiivtsoonis on erinevaid pinnaseid, tuleb katendi (teekatte pinna) kõrgus määrata külmakindla katendi arvutuse või külmakerke ohtlikema (vastavalt [joonis 3](#)) pinnase lõimise järgi.

Aktiivtsooni ülemises osas on soovitatav kasutada drenivaid pinnaseid, mille filtratsioonimoodul standardse *Proctorteimi* maksimaaltihedusel on vähemalt 0,5 m ööpäevas. Tsementbetoonkatete pinnast vähemalt 1,2 m sügavuseni ja asfaltkatete puhul vähemalt 1 m sügavuseni peab pinnas olema külmakindel.

2. PINNASED

2.1. Pinnaste klassifikatsioon

Teede projekteerimisel ja ehitamisel on pinnaste klassifitseerimine seotud muldkeha püsivusega s.h külmakindlusega ja teekatendi arvutamisega. Järgnevas arutelus on välja jäetud mullete vajumise probleem ja põhiliselt käsitletakse mulde külmakindlust ning kandevõimet.

Teedeinseneridel on igapäevatoos kasutusel põhiliselt GOST 25100-95 [30] või ka sama normi 1982. aasta variant [29]. Viimasel põhineb ka Elastsete teekatendite projekteerimise meetodika 2001-52. Maanteede projekteerimismid (TSM määrus nr 55 28.12.1999) lähtub Eesti projekteerimismid EPN-ENV 7.1 lisast 9 [31]. Seni kinnitamata ja korrigeerimata Maanteede projekteerimismid eelnõu kasutab EVS-EN ISO 14688-1:2002 (pinnaste identifitseerimine ja kirjeldamine) [32] ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 [33]. Eestis kehtib ka EVS-EN ISO 14689:2004 (kaljupinnaste identifitseerimine ja kirjeldamine) [34]. ([Tabel 3](#)). Riigimaanteedel on praegu lubatud kasutada GOST 25100-95 järgseid pinnase nimetusi. EPN-ENV 7.1 lisa 9 ja EVS-EN ISO standardid on oma ülesehituselt sarnased ja klassifitseerivad pinnase terakoostise järgi ja edasi täpsustatakse omadusi ([tabelid 4 ja 5](#)). Terakoostise määramisel on EN standardites ettenähtud sõelad vastavalt ISO 3310-1 ja ISO 3310-2 (vastavalt punutud ja perforeeritud sõelad). Need erinevad Eesti

projekteerimismisnormide omast vähe. Sõltel, millel projekteerimismisnormides on ava mõõdus number kuus on ISO standardis kuue järel veel kolm (näiteks 0,06 ISO 0,063).

Tabel 3

Valik pinnaste ja teematerjalidega seotud normidest

Tähis	Pealkiri	Alapealkiri
ГОСТ 25100-95	Грунты	Классификация
EPN-ENV 7.1 lisa 9:1998	Geotehniline projekteerimine	
EVS-EN ISO 14688-1:2002	Geotechnical investigation and testing- Identifications and classification of soils	Identification and description
EVS-EN ISO 14688-2:2004	Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of soils	Principles for a classification
EVS-EN ISO 14689:2004	Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of rock	Identification and description
ISO 3310-1	Test sieves- Technical requirements and testing	Test sieves of metal wire cloth
ISO 3310-2	Test sieves- Technical requirements and testing	Test sieves of perforated metal plate
EVS-EN 13286-43:2002	Unbound and hydraulically bound mixtures	Test method for the determination of the modulus of elasticity of hydraulically bound mixtures
EVS-EN 13043:2002	Asfaltsegude ning teede, lennuväljade ja muude liiklusalade pindamiskihide täitematerjalid Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments roads and other trafficked areas	
EVS-EN 13242:2003	Ehitustöödel ja tee-ehituses kasutatavate sidumata ja hüdrauliliselt seotud materjalide täiteained Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction	
EVS-EN 13285:2003	Unbound mixtures- Specifications	
prEN 12271-2	Surface dressing- Specifications	Chippings
EVS EN 12591:2000	Bitumen and bituminous binder. Specifications for paving grade bitumens	
EVS-EN 13357:2003	Bitumen and bituminous binders - Determination of the efflux time of petroleum cut-back and fluxed bitumens	
EVS-EN 12595:2000	Bitumen and bituminous binders - Determination of kinematic viscosity	
EVS-EN 12596:2000	Bitumen and bituminous binders - Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary	
EVS-EN 12597:2001	Bitumen and bituminous binders - Terminology	
EVS 653:1994	Teedeehituse põlevkivibituumenid	

Neis dokumentides jagatakse pinnased 4 rühma: kaljupinnas, jämedateraline pinnas (kruus, liiv), peeneteraline (möll, savipinnas) ja eripinnased (turvas, muda jne). EPN-ENV 7.1 lisa 9 järgi jagunevad pinnased terasuuruse fraktsioonideks (tabel 4).

EVS-EN ISO 14688-1:2002 pinnase jaotus terasuuruse järgi on sarnane, juurde on tulnud suured rahnud ja fraktsiooni nimetused ning juba eespool juttu olnud sõelte läbimõõdud (tabel 5).

Tabel 4

Pinnase terasuuruse klassifikatsioon vastavalt EPN-ENV 7.1 lisa 9

Fraktsioon	Alafraktsioon	Osakeste suurus, mm
Rahnud		>200
Veerised		60...200
Kruusaterad	Kruusa jämeterad	20...60
	Kruusa keskterad	6...20
	Kruusa peenterad	2...6
Liivaterad	Liiva jämeterad	0,6...2
	Liiva keskterad	0,2...0,6
	Liiva peenterad	0,06...0,2
Mölliosakesed	Mölli jämeosakesed	0,02...0,06
	Mölli jämeosakesed	0,006...0,02
	Mölli jämeosakesed	0,002...0,006
Saviosakesed		≤0,002

Tabel 5

Pinnaseosakeste liigitus fraktsioonideks terasuuruse järgi vastavalt EVS-EN ISO 14688-1:2002

Fraktsioon	Alafraktsioon	Rahvusvaheline tähis	Osakeste suurus, mm
Väga jäme pinnas	Suured rahnud	LBo	>630
	Rahnud	Bo	>200 kuni 630
	Veerised	Co	63 kuni 200
Jäme pinnas	Kruus s.h	Gr	>2 kuni 63
	Jämekruus	CGr	20 kuni 63
	Kesk kruus	MGr	6,3 kuni 2,0
	Peen kruus	FGr	2 kuni 6,3
	Liiv s.h.	Sa	>0,063 kuni 2
	Jämeliiv	CSa	0,63 kuni 2
	Keskliiv	MSa	0,2 kuni 0,63
	Peenliiv	FSa	0,063 kuni 0,2
	Möll s.h	Si	>0,002 kuni 0,063
Peen pinnas	Jämemöll	CSi	0,02 kuni 0,063
	Keskmöll	MSi	0,0063 kuni 0,02
	Peenmöll	FSi	0,002 kuni 0,0063
	Savi	Cl	≤0,002

Olulised on fraktsiooni rahvusvahelised nimetused ja nende lühendid: Boulder (Bo), Cobble (Co), Gravel (Gr), Sand (Sa), Silt (Si), Clay (Cl). Terasuuruse lühend peab olema suure tähega: L - Large, C - Coarse, M - Medium, F - Fine.

Enamasti on pinnaste puhul tegemist erinevate terasuuruste kombinatsiooniga. Sellisel juhul tähistatakse põhifraktsioon nimisõnaga ja teine väikse tähega tähistatud omadussõnaga. Näiteks sandy clay = saCl - liivane savi, gravelly coarse silt = grCSi - kruusane jämemöll, coarse gravelly coarse silt = cgrCSi – jämekruusane jämemöll. Kui kaks fraktsiooni on esindatud ligikaudu võrdsel määral, tähistatakse need kaldkriipsuga eraldatud suurte tähtedega. Näiteks fine cravel/sand = FGr/Sa - peenkruus/liiv.

Pinnased, milles on veeriseid ja rahne alla 40% jagunevad EPN-ENV 7.1 lisa 9 järgi jämeteralisteks ja peeneteralisteks pinnasteks.

Tabel 6

Pinnase liigitus EPN-ENV 7.1 lisa 9 järgi

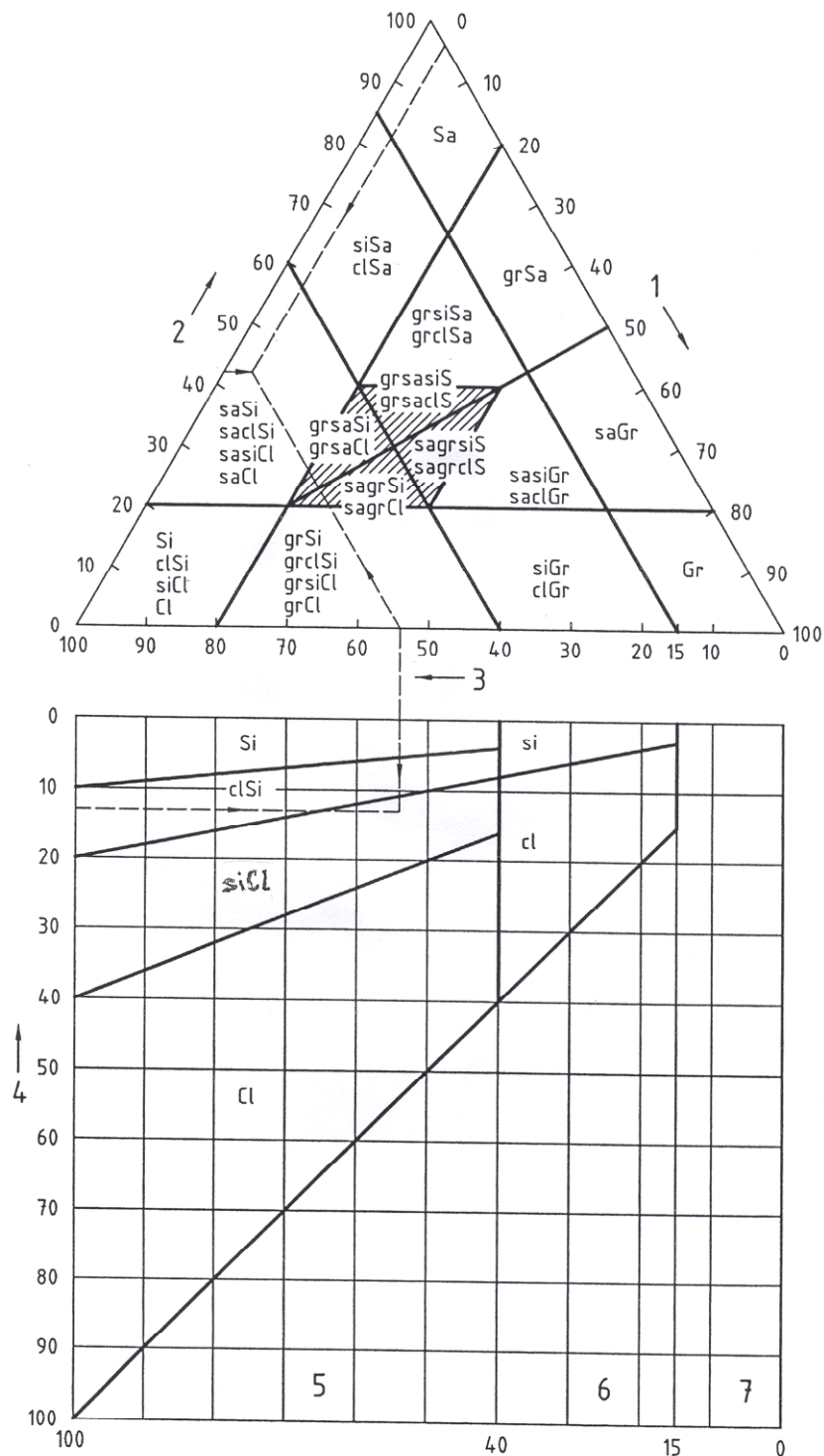
Rühm	Liik	Alaliik	Peeneosisisaldus <0,06 mm, %	Sauesisaldus peenosises <0,002/ <0,06 mm, %
Jämedateraline pinnas (jämepinnas) <0,06 mm ≤40%	Kruuspinnas 2–60 mm >50%	Kruus	<5	
		Möllikas kruus	5–15	<20
		Savikas kruus		≥20
		Mölline kruus	>15–40	<20
		Savine kruus		≥20
	Liivpinnas 0,06–2 mm >50%	Liiv	<5	
		Möllikas liiv	5–15	<20
		Savikas liiv		≥20
		Mölline liiv	>15–40	<20
		Savine liiv		≥20
Peeneteraline pinnas (peenpinnas) <0,06 mm >40%	Möllpinnas <0,002/<0,06 mm ≤20%	Möll	>40	<10
		Savimöll		10–20
	Savipinnas <0,002/<0,06 mm >20%	Möllsavi		>20–40
		Savi		>40

Märkused:

1. Alaliigi põhinimetuste «kruus», «liiv», «möll» ette võib lisada enam esineva alafraktsiooni nimetuse (jämep-, kesk-, peen-), nt peenliiv, savikas jämeliiv, mölline peenliiv.
2. Lisanimetused kruusa- või liivafraktsiooni sisalduse alusel, kui see ei kajastu juba pinnase nimetuses: 10 kuni 25% – lisatakse täiendsõna «kruusaga» või «liivaga», 25 kuni 50% – «rohke kruusaga» või «rohke liivaga», nt rohke liivaga savimöll, kruusaga mölline liiv.
3. Jämedateralist pinnast võib jaotada lõimiseteguri $C_U = d_{60}/d_{10}$ ja jaotusteguri $C_C = d_{30}^2/d_{10}d_{60}$ järgi: ühtlane, kui $C_U < 6$ ja $1 < C_C < 3$; ebaühtlane, kui $C_U \geq 6$.
4. Peeneteralist pinnast ja jämedateralise pinnase väiksemad kui 0,425 mm osakesi jaotatakse ka plastsusomaduste järgi, vt EPN-ENV 7.1 lisa 9 punkt 5.

Tabelis 6 on ebatäpsus. Ei ole märgitud kruus ja liivpinnase eraldamisel, millest võetakse 50%. Kui kogumassist, siis mis pinnas on 2...60 mm 40%, 0,06...2 mm 40% ja alla 0,06 mm 20% sisaldav pinnas. Peaks olema jämepinnas (0,03...60 mm 80%), kuid nii liiva kui ka kruusa on alla 50 %. Teises veerus peaks olema 50% järel sõnad “jämefraktsioonist”.

Standardis EVS EN ISO 14688-1:2002 on pinnase klassifitseerimise näitena esitatud kolmnurkdiagramm, kus on kõikvõimalike pinnasekombinatsioonide nimetused. Selles on arvestatud terakoostist, kuid mitte omadusi (joonis 2).



Joonis 2 Pinnaste jaotuskolmnurk nende klassifitseerimiseks (EVS EN ISO 14688-1:2002)

Pinnased milles on veeriseid ja rahne alla 40 % jagunevad EVS EN ISO 14688-1:2002 ja EN ISO 14688-2:2004 alusel jämeteralisteks ja peeneteralisteks pinnasteks, mis liigitatakse

terakoostise, loodusliku oleku ja orgaaniliste ainete sisalduse järgi. Otse sellist tabelit standardites pole, kuid seal olevad nõuded on paigutatud EPN sarnasesse tabelisse (tabel 7).

Tabel 7

Pinnaste liigitus EVS EN ISO 14688-1:2002 ja EVS EN ISO 14688-2:2004 alusel

Rühm	Liik	Alaliik	Peenosise- sisaldus <0,063mm %	Savi sisaldus peenosises <0.002/<0.06 3 mm %	Tähis
Jämeda- teraline pinnas (jämepinnas) <0,063mm ≤ 40%	Kruuspinnas 2-63mm >50% jämefraktsioonist	Kruus	<5		Gr
		Möllikas kruus	5-15	<20	Gr
		Savikas kruus		≥20	Gr
		Mölline kruus	>15-40	<20	siGr
		Savine kruus		≥20	clGr
	Liivpinnas 0,063-2mm >50% jämefraktsioonist	Liiv	<5		Sa
		Möllikas liiv	5-15	<20	Sa
		Savikas liiv		≥20	Sa
		Mölline liiv	>15-40	<20	siSa
		Savine liiv		≥20	clSa
Peeneteraline pinnas (Peenpinnas) <0,063mm >40%	Möllpinnas <0,002/<0,063mm ≤ 20% peenfraktsioonist	Möll	>40	<10	Si
		Savimöll		10-20	clSi
	Savipinnas <0,002/<0,06mm >20% peenfraktsioonist	Möllsavi		>20-40	siCl
		Savi		>40	Cl

Märkused:

1. Alaliigi põhinimetuste «kruus», «liiv», «möll» ette võib lisada enamesineva alafraktsiooni nimetuse (jäme-, kesk-, peen-), nt peenliiv, savikas jämeliiv, mölline peenliiv.
2. Lisanimetused kruusa- või liivafraktsiooni sisalduse alusel, kui see ei kajastu juba pinnase nimetuses: >20 kuni 40% <63 mm mõõduga teri kogumassist– lisatakse täiendsõna «kruusane» või «liivane», nt liivane savimöll, kruusane mölline liiv.

Standardites on teise fraktsiooni vähese sisalduse tähistamiseks sõnad kergelt (näiteks kergelt savine), selles tabelis on kasutatud senist tähistust möllikas, savikas jne.

EPN alusel oli pinnas jaotatud lõimise- ja jaotusteguri väärtuste alusel vaid ühtlaseks ja ebaühtlaseks (tabel 6 märkus 3). EVS-EN ISO jagab nende näitajate alusel pinnased neljaks grupiks (tabel 8).

Tabel 8

**Jämedateralist pinnast jaotus lõimiseteguri $C_U = d_{60}/d_{10}$ ja jaotusteguri $C_c = d_{30}^2/(d_{10}d_{60})$ järgi
EVS-EN ISO 14688-1:2002 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004**

Väga ebaühtlane	$C_U \geq 15$	$1 < C_c < 3$
Ebaühtlane	$C_U = 6$ kuni 15	$C_c < 1$
Ühtlane	$C_U =$ kuni 6	$C_c < 1$
Katkev	Tavaliselt suur	Mistahes (tavaliselt <0,5)

Peenpinnase alla 0,425 mm fraktsiooni kohta määratakse plastsusarvud Casagrande meetodil (I_{pC}) (EPN, EVS-EN ISO), GOST-i metoodika põhineb nn. Vassiljevi meetodil, kus tera läbimõõt on <1mm (I_{pV}). Nende plastsusarvude vahel on seos

$$I_{pC} = 1,74 * I_{pV} - 2,76 . \quad (1)$$

Pinnase voolavuspiir on veesisaldus, mille juures pinnas muutub pehmest voolavaks. Voolavuspiir määratakse Casagrande meetodil, mis seisneb teatud niiskusega pinnase koputamises kuni vajub kinni sinna tõmmatud standardne vagu. Katset tehakse vähemalt kahe niiskussisaldusega ja graafikult leitakse niiskus, mille puhul tuleks koputada 25 korda. See ongi voolavuspiir. Ligikaudu võib voolavuspiiri arvutada valemiga

$$w_L = w_N * (N/25)^{0,121} , \quad (2)$$

kus N on löökide hulk, kui niiskusesisaldus oli w_N .

Üleminekut poolkõvast olekust kõvasse tähistab rullpiir. Niiskest peenpinnasest rullitakse umbes 3 mm jämedusi rullikesi, kuni need hakkavad murenema. Sel hetkel määratud niiskuse sisaldus on rullpiir w_P . Voolavuspiiri ja rullpiiri vahet nimetatakse plastsusindeksiks või plastsusarvuks:

$$I_P = w_L - w_P . \quad (3)$$

Voolavusarv (I_L) ja konsistentsarv (I_C) iseloomustab pinnase plastsust mingil niiskussisaldusel w ja arvutatakse

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} = \frac{w - w_P}{w_L - w_P} ; \quad (4)$$

$$I_C = \frac{w_L - w}{I_P} = \frac{w_L - w}{w_L - w_P} . \quad (5)$$

Tabel 9

Pinnaste jagunemine voolavuspiiri ja voolavusarvu järgi EPN-ENV7.1 lisa 9

Nimetus	Voolavuspiir w_L , %	Nimetus	Voolavusarv I_L , %
Väheplastne	<35	Kõva	<0
Keskplastne	35...50	Poolkõva	0...0,25
Väga plastne	>50...70	Sitke	>0,25...0,5
Üliplastne	>70	Poolpehme	>0,5...0,75
		Pehme	>0,75...1

EVS-EN ISO 14688-2:2004 oli antud pinnase klassifikatsioon voolavuspiiri ja plastsusarvu järgi, samuti ka konsistentsarvu järgi (tabel 10).

Tabel 10

Pinnatse jagunemine voolavuspiiri, plastsusarvu ja konsistentsarvu järgi EN ISO 14688-2:2004

Nimetus	Voolavuspiir w_L , %	Plastsusarv I_p	Nimetus	Konsistentsarv I_C
Mitteplastne		<12	Väga jäik	>1
Väheplastne	<30	12 kuni 25	Jäik	0,75 kuni 1
Keskplastne	30 kuni 50	25 kuni 4	Tahke	0,5 kuni 0,75
Üliplastne	>50	>40	Pehme	0,25 kuni 0,5
			Väga pehme	<0,25

Segadust tekitab mingil määral konsistentsi termin, mida käsitletakse erinevates normdokumentides erinevalt. GOST 25100-95 kohaselt on konsistents määratud voolavusarvu kaudu. Vene teede projekteerimismid SNiP 2.05.02 p.6.7 nimetab muuhulgas nõrkadeks pinnased konsistentsarvuga üle 0,5. Seal peaks konsistentsarv olema asendatud voolavusarvuga (tabel 11).

Tabel 11

Pinnase jaotus voolavusarvu järgi GOST 25100-95

Nimetus	Voolavussarv I_L	
	Saviliiv	Liivsavi ja savi
Kõva	$I_L < 0$	$I_L < 0$
Plastne	$0 \leq I_L \leq 1$	
Poolkõva		$0 \leq I_L \leq 0,25$
Jäik		$0,25 < I_L \leq 0,50$
Pehme		$0,50 < I_L \leq 0,75$
Voolavplastiline		$0,75 < I_L \leq 1,0$
Voolav	$I_L > 1$	

Pinnase elastsumoodulit määratakse mõnedes projektides ödomeetriga (E_0) (GOST 23908-79) ja see on tavaliselt väga väike. Arvestatud on pinge langust ja suhtelist deformatsiooni dekompressioonil. BCH 46-83 meetodika lähtub vertikaalpaigutusest ja jälje läbimõõdust (E_{VSN}). Nende kahe vahel on seos

$$E_{VSN} = 2,3055 * E_0 + 5,1 \quad R^2 = 0,998 \quad (6)$$

Pinnase orgaanilise aine moodustavad lagunemata ja poollagunenud taim- ja mikroorganismide jäänused ning huumus (tabel 12). Muldes võib kasutada vähesel orgaanilise aine sisaldusega pinnast.

Tabel 12

Pinnaste jaotus orgaanilise aine sisalduse järgi [27]

Pinnas	Orgaanilise aine sisaldus (%) alla 2 mm teramõõduga kuivas pinnases
Vähesel orgaanilise aine sisaldusega	2 kuni 6
Keskmi orgaanilise aine sisaldusega	6 kuni 20
Rohke orgaanilise aine sisaldusega	>20

Nõrkadeks loetakse peenpinnased, mille dreanimata nihketugevus looduslikus olekus $c_u < 40$ kPa või elastsusmoodul $E < 5,0$ MPa. Nõrkadeks pinnasteks loetakse samuti turvas ja turvastunud pinnased, mudad, sapropeelid ning savipinnased konsistentsarvuga alla 0,5.

Dreenivateks loetakse pinnased, mille filtratsioonimoodul standardse *Proctorteimiga* saavutatava maksimaalse tiheduse juures on vähemalt 0,5 m ööpäevas.

Tabel 13

Pinnaste jaotus veesisalduse järgi [27]

Nimetus	Niiskus W
Väheniiske	$< 0,9W_o$
Normaalse niiskusega	$0,9W_o$ kuni W_{lub}
Kõrgenenud niiskusega	W_{lub} kuni W_{max}
Liigniiske	$> W_{max}$

Märkused:

1. W_o – optimaalne niiskus (veesisaldus) standardsel *Proctorteimil* (EVS-EN 13286-2:2004).
2. W_{max} – maksimaalne niiskus (veesisaldus) standardse *Proctorteimi* kohase tihendusteguri $K_t=0,9$ saavutamisel (vt tabel 14).
3. W_{lub} – lubatav niiskus (veesisaldus) standardse *Proctorteimi* kohase nõutava tihendusteguri $K_t \geq 0,9-1,0$ saavutamisel (vt tabel 14).

Tabel 14

Pinnaste lubatav ja maksimaalne niiskus (veesisaldus) tihendamisel [27]

Pinnased	Niiskus nõutava pinnase tihendusteguri K_t saavutamisel			
	W_{lub}			W_{max}
	$K_t > 1,0$	$K_t = 0,98$	$K_t = 0,95$	$K_t = 0,90$
Mölline peenliiv, möll	1,30 W_o	1,35 W_o	1,60 W_o	1,60 W_o
Savine või mölline liiv	1,10 W_o	1,15 W_o	1,25 W_o	1,50 W_o
Liivane savimöll või liivane möllsavi	1,05 W_o	1,10 W_o	1,20 W_o	1,40 W_o
Savi, möllsavi	1,00 W_o	1,05 W_o	1,15 W_o	1,30 W_o

Märkused:

1. Suvel liivpinnasest mulde rajamisel niiskust (veesisaldust) ei piirata.
2. Käesolevad piirangud ei laiene mulde rajamisele hüdromeetodil.
3. Talvel ei tohi mulde rajamisel niiskus (veesisaldus) olla üle: 1,3 W_o – liivpinnases; 1,2 W_o – savises või möllises liivas; 1,1 W_o – teistes seotud pinnastes
4. Pinnase lubatava niiskuse suurust võib täpsustada, arvestades konkreetsete tihendusmasinate tehnoloogilisi võimalusi.

Vastavalt GOST 25100-95-le klassifitseeritakse liivad ja kruusad terakoostise järgi (tabel 15) ja peenpinnased terakoostise ja plastsusarvu järgi (tabel 16).

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis 2001-52 on GOST 25100-95 järgi klassifitseeritud pinnased grupeeritud (grupid A_1 , B_1 , C_1 ja D_1) lähtudes nende tugevuskarakteristikutest (elastsusmoodul – E , MPa; sisehõõrdenurk – φ , °; nidusus – c , MPa) (tabel 16).

Tabel 15

Kruusade ja liivade jaotus GOST-is 25100-95

Liik	Terade sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist
Rahnuline pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – munakivine)	Üle 200 mm kivide mass on üle 50 %
Rähane pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – klibune)	Üle 10 mm terade mass on üle 50 %
Mügine pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – kruusane)	Üle 2 mm terade mass on üle 50 %
Kruusliiv	Üle 2 mm terade mass on üle 25 %
Jämeliiv	Üle 0,5 mm terade mass on üle 50 %
Keskliiv	Üle 0,25 mm terade mass on üle 50 %
Peenliiv	Üle 0,1 mm terade mass on üle 75 %

Tabel 16

Peenpinnaste jaotuse koondtabel GOST 25100-95 ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 alusel

Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsusarv	Terade läbimõõt, mm	Terade sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist
A ₁	Kerge saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	> 50
B ₁	Tolmliiv	< 1	> 0,1	< 75
C ₁	Kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
	Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
	Savi	17 - 27	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
D ₁	Tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	20 - 50
	Raske tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	< 20
	Tolmne kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	< 40
	Raske tolmne liivsavi*	12 - 17	2 - 0,05	< 40
	Tolmne savi*	17 - 27	2 - 0,05	< 40

Märkus: * märgitud pinnaseid ei esine juhendis 2001-52, allikas E.Karu

Juhendis 2001-52 sõltuvad peenpinnaste tugevuskarakteristikud nende arvutuslikust niiskusesisaldusest w_1 (tabel 17, juhendi 2001-52 tabel L1.T5).

Tabel 17

Pinnaste arvutuslikud tugevuskarakteristikud [26]

Pinnase grupp		Pinnaste tugevuskarakteristikud vastavalt arvutuslikule niiskusele w_1									
		0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
A ₁	E	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
	φ	37	36	36	36	35	35	34	34	33	33
	c	0,015	0,014	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007
B ₁	E	96	90	84	78	72	66	60	54	48	43
	φ	38	38	37	37	36	35	34	33	32	31
	c	0,026	0,024	0,022	0,018	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008
C ₁	E	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
	φ	32	27	24	21	18	15	13	11	10	9
	c	0,045	0,036	0,030	0,024	0,019	0,015	0,011	0,009	0,006	0,004
D ₁	E	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	φ	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

2004. a teostatud teadustöö raames koostati juhendi 2001-52 pinnaste klassifikatsiooni ja EN ISO 14688-1 ja 2 pinnaste klassifikatsiooni vastavustabel, grupeerides EN ISO alusel klassifitseeritud peenpinnased nende tugevuskarakteristiku alusel pinnasegruppidesse A₁, B₁, C₁ ja D₁ (tabelid 18 ja 19).

Tabel 18

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 peenpinnaste ja EN ISO 14688-1 ning 2 pinnaste klassifikatsiooni vastavus

Juhend 2001-52 (GOST 25100-95)					EN ISO 14688			
Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus-arv (Vassiljev)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase nimetus	Plastsus-arv (Casa-grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
			Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %			Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
A₁	Kerge saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	> 50	siSa, clSa	1 - 10	2 - 0,063	> 50
					saSi, saclSi, sasiCl, saCl			
B₁	Tolmliiv	< 1	> 0,1	< 75	siSa, clSa	< 1	Ei määratleta	Ei määratleta
					saSi, saclSi, sasiCl, saCl			
					Si, clSi, siCl, Cl			
C₁	Kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)	siSa, clSa	10 - 18	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)
					saSi, saclSi, sasiCl, saCl			
					grsiSa, grclSa			
	Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)	siSa, clSa	18 - 27	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)
					saSi, saclSi, sasiCl, saCl			
	Savi	17 - 27	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)	siSa, clSa saSi, saclSi, sasiCl, saCl	27 - 44	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)
D₁	Tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	20 - 50	sasiGr, saclGr	1 - 10	2 - 0,063	20 - 50
					grsiSa, grclSa			
					grsasiS, grsacIS			
					sagrsiS, sagrcIS			
	Raske tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	< 20	Si, clSi, siCl, Cl	1 - 10	2 - 0,063	< 20
					grSi, grclSi, grsiCl, grCl			
	Kerge tolmne liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	< 40	grsaSi, grsaCl	10 - 18	2 - 0,063	< 40
					sagrSi, sagrCl			
					grsasiS, grsacIS			
					sagrsiS, sagrcIS			
	Raske tolmne liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	< 40	saSi, saclSi, sasiCl, saCl	18 - 27	2 - 0,063	< 40
					Si, siCl, clSi, Cl			
	Tolmne savi	17 - 27	2 - 0,05	< 40	Si, siCl, clSi, Cl	27 - 44	2 - 0,063	< 40
					grSi, grclSi, grsiCl, grCl			

Tabel 19

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 peenpinnaste ja EN ISO 14688-1 ning 2 pinnaste klassifikatsiooni vastavus

EN ISO 14688				Juhend 2001-52 (GOST 25100-95)				
Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Vassiljev)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
		Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %				Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl	1 - 10	2 - 0,063	> 50	A ₁	Kerge saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	> 50
Mölline liiv – siSa Savine liiv - clSa Liivane möll – saSi Liivane savimöll – sacSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl Möll – Si Savimöll – clSi Möllsavi – siCl Savi - Cl	< 1	Ei määratleta	Ei määratleta	B ₁	Tolmliiv	< 1	> 0,1	< 75
Mölline liiv – siSa Savine liiv - clSa Liivane möll – saSi Liivane savimöll – sacSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl Kruusaga mölline liiv – grsiSa Kruusaga savine liiv - grclSa	10 - 18	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)	C ₁	Kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Mölline liiv – siSa Savine liiv - clSa	18 - 27	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)		Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)

EN ISO 14688				Juhend 2001-52 (GOST 25100-95)				
Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Vassiljev)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
		Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %				Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Liivane möll – saSi Liivane savimöll – saclSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl	18 - 27	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)	C ₁	Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Mölline liiv – siSa Savine liiv - clSa Liivane möll – saSi Liivane savimöll – saclSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl	27 - 44	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)		Savi	17 - 27	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Liivaga mölline kruus – sasiGr Liivaga savine kruus - saclGr Kruusaga mölline liiv – grsiSa Kruusaga savine liiv - grclSa Kruusaga liivane möllpinnas – grsasiS Kruusaga liivane savipinnas - grsaclS Liivaga kruusane möllpinnas – sagrsiS Liivaga kruusane savipinnas - sagrcIS	1 - 10	2 - 0,063	20 - 50	D ₁	Tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	20 - 50
Möll – Si Savimöll – clSi Möllsavi – siCl Savi - Cl Kruusane möll – grSi Kruusane möll-savi – grclSi Kruusane savimöll – grsiCl Kruusane savi - grCl	1 - 10	2 - 0,063	< 20		Raske tolme saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	< 20

EN ISO 14688				Juhend 2001-52 (GOST 25100-95)				
Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Vassiljev)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
		Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %				Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Kruusaga liivane möll – grsaSi Kruusaga liivane savi - grsaCl Liivaga kruusane möll – sagraSi Liivaga kruusane savi - sagraCl Kruusaga liivane möllpinnas – grsasiS Kruusaga liivane savipinnas - grsaciS Liivaga kruusane möllpinnas – sagrsiS Liivaga kruusane savipinnas - sagraciS	10 - 18	2 - 0,063	< 40	D ₁	Kerge tolmne liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	< 40
Liivane möll – saSi Liivane savimöll – saciSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl	18 - 27	2 - 0,063	< 40		Raske tolmne liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	< 40
Möll – Si Möllsavi – siCl Savimöll – ciSi Savi - Cl	27 - 44	2 - 0,063	< 40		Tolmne savi	17 - 27	2 - 0,05	< 40
Möll – Si Möllsavi – siCl Savimöll – ciSi Savi - Cl								
Kruusane möll – grSi Kruusane savimöll – grciSi Kruusane möllsavi – grsiCl Kruusane savi - grCl								

2.2. Pinnaste külmakerkelisus

2.2.1. Muldkeha veerežiim

Muldkehas asuva niiskuse hulk W ei ole aasta läbi konstantne ja muutub vastaval valemile:

$$W = (A + B + C) - (D + E + F) \quad (7)$$

- kus,
- A - mulkehale langevate sademete hulk;
 - B - ümbritsevast loodusest juurdevoolava vee imbumine muldkehasse;
 - C - veeaur + seotud vesi + niiskus pinnasevee kapillaartõusust;
 - D - vee äravool muldkehast;
 - E - vee aurustumine muldkehast;
 - F - vee imbumine muldkehast alumistesse kihtidesse.

Lisaks sademetele mõjutavad mulkeha veerežiimi märkimisväärselt veel aastaringsed temperatuurimuutused, millede tulemusena muldkehas sisalduv niiskus (vesi) on pidevas liikumises soojemast kihist külmemasse kihti.

Nagu looduses on neli aastaaega, nii jaotatakse ka muldkeha aastaringne niiskustsükkel neljaks perioodiks:

- niiskuse kogunemine muldkehasse sügisestest vihmavetest
- muldkeha külmumine ja talvine niiskuse ümberpaiknemine
- mulkeha sulamine ja sellega seotud niiskuse suurenemine kevadel
- muldkeha suvine kuivamine(tahenemine)

Meie tingimustes on suurema tähtsusega pinnasevee kapillaartõus (pinnasevesi asub suhteliselt kõrgemal) ja väiksema tähtsusega niiskuse aurustumine muldkehast.

Sõltuvalt veekile paksusest on veel kivimi pinnal erinevad omadused. Üldiselt on kivimi pinnal negatiivne laeng ja vahetult kivimi pinnal olevad vee molekulid orienteeruvad positiivse laenguga kivimi poole.

Sorptsioon on vedeliku neeldumine tahkes aines või kogunemine selle pinnale. Selline vesi on kivimiga tugevalt seotud. Solvatatsioon on lahusti (vee) molekulide liitumine lahustunud aine osakestega, tekkinud solvaadid on ebapüsivad. Vee puhul nimetatakse solvatatsiooni hüdratatsiooniks.

Sorptsioonvesi on liikumatu, solvatatsioonivesi raskelt liikuv ja tera pinnast üle 0,0005 mm kaugusel olev vesi liikuv s.o. vaba.

Lisaks veele on pinnase poorides ka vee aur, mis liigub raskusjõust sõltumatult.

Mida õhem on veekile seda tugevamini on vee molekulid kivimi pinnaga seotud ja seda tugevamini hoiab vesi pinnase teri koos. Jämeterise pinnase puhul neist jõududest ei piisa terade vahelise hõõrde ületamiseks ja vesi ei seo neid monoliidiks.

2.2.2. Külmakerke tekkimise protsess

Muldkeha külmumise protsessi käigus moodustub temperatuuride vahe $+4...+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -st (pinnasevete paiknemise sügavuses) kuni miinuskraadideni pinnase ülemises külmunud kihis. Temperatuuride vahest põhjustatult hakkab vesi (veeaur) liikuma soojemast pinnasest külmumispiiri poole. Selleks on mitu võimalust:

- niiskuse ümberpaiknemine mööda pinnaseosakesi ümbritsevaid kilesid (soojematelt pinnaseosakestelt külmematele, kuna viimased omavad suuremat pinnaenergiat);
- altpoolt soojematest kihtidest mööda poore ülespoole liikunud veeauru kondenseerumine madalama temperatuuriga pinnaseosakeste pinnale ülemistes kihtides;
- veel külmumata vee kapillaartõus külmunud kihti (külmunud pinnase piirkonnas külmub vesi kapillaarides $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures, samal ajal tekivad üksikutes suurmates poorides jääkristallid);
- Jää kristallide tekkimisega kistakse osa sorptsioonivett kivimi pinnalt lahti mille tulemusel tasakaal rikutakse ja seda taastab allajahtunud vesi, mis liigub suurema rõhu piirkonnast väiksema rõhu piirkonda s.o. ülespoole.

Vee külmumise mõju võib jagada kaheks - esmane on vee paisumine poorides, teine sekundaarne, mis seisneb täiendavas vee juurdevoolus külmumispiirkonda ja jääläätsete tekkimises. Tee ehituse seisukohalt on oluline just viimane. Külma mõju sõltub pinnase teramõõdust, poorsusest, vee olemasolust ja temperatuuri muutusest. Temperatuur muutub põhimõtteliselt jäätumisel ühte moodi. Esmalt langeb vee temperatuur alla külmumispunkti ilma jää tekkimiseta. Jääkristallide tekkimisel vabaneb soojus ja temperatuur tõuseb jämepeinnasel 0 kraadini, seotud pinnastel jääb mõnevõrra madalamaks. Edaspidi hakkab jää temperatuur langema

Normaalrõhul külmub vesi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures. Rõhu suurenedes vee käitumine muutub. Sõltuvalt rõhust võib vesi olla jäätumata kuni $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures (jää I, suuremal rõhul tekivad jää III ja II).

Vee lisandumine külmumispiirkonda on intensiivne $0...-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures. Kiirel külmumisel ja madalamal temperatuuril teradel olev veekile külmub, poorid sulguvad ja intensiivne vee liikumine lõpeb. Vett koguneb seda rohkem, mida pikemat aega püsib selline nulli-lähedane temperatuur mingis pinnasekihis. Tee mulde ja katendi omakaalust tekitatud surve poorides olevale veele püüab vett välja tõrjuda, mille tulemusel vee liikumine külmumispiirkonda väheneb. See on põhjuseks, miks sügavamal vee kristalle tekitab vähem, kuigi nullilähedane temperatuur on just sügavamal muldes. Teatud külmumissügavuses vee kogunemine lõpeb. Peentel liivadel on see umbes 80 cm, savisel liival kuni 160 cm. Soodsates oludes külmumise tulemusel pinnas paisub $2...3\%$ külmumissügavusest, eriti halvades $15...20\%$.

Vee tõus pinnases suureneb, kui tera läbimõõt on alla 0,125 mm. Mida peenem on pinnas, seda suurem on vee tõus pinnases. Ühtlasi väheneb ka pooride läbimõõt, millega suureneb vee liikumistakistus ja vee tõus aeglustub. Seepärast on väga peened savipinnased vähem külmaohtlikud võrreldes möllpinnastega. Pinnased, milles pole alla 0,125 mm teri on hea filtratsiooni tõttu täiesti külmakindlad. Neis olev vesi külmub umbes $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures täies ulatuses ja maht suureneb ligikaudu 9%. Ühendatud pooride tõttu surutakse paisunud jää ja vesi mulde ja liikluse koormusel allapoole ja pinnase paisumist pole. Külmakerge võib esineda vaid survelees vees.

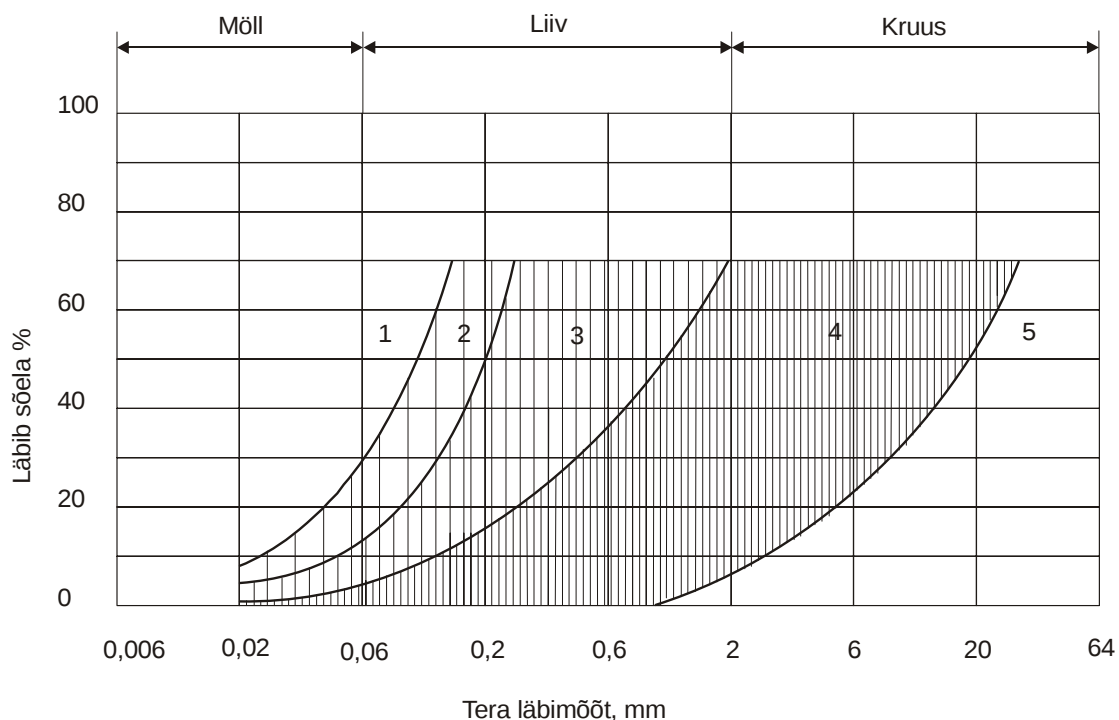
Seotud pinnastes tekkivad aeglasel külmumisel risti külafondile jääläätsed, mille paksus on alates millimeetrist kuni sentimeetriteni. Kiirel külmumisel jääläätsesid ei tekki.

2.2.3. Külmakerkeline pinnas

Külmakerkeline pinnas on külma ja kapillaartõusu tõttu veega küllastuv pinnas, mille maht veesisalduse suurenemise tõttu külmudes oluliselt suureneb ja mis sulades kaotab seetõttu kandevõime. Külmakeerge on alati seotud vee olemasoluga pinnases.

Maanteede projekteerimismisnormide eelnõu

Maanteede projekteerimismisnormides hinnatakse pinnase külmakerkelisust ligikaudselt pinnase terastikulise koostise ehk lõimise alusel (joonis 3).



Joonis 3 Pinnaste külmakerkelisuse hindamine terastikulise koostise alusel [27]

Pinnase külmakerkelisuse hindamise aluseks on võetud Soome *RIL Pohjarakennusohjeet* 121-1988. Pinnas, mille sõelkõver jääb joonise alale 1, on külmakerkeohtlik. Eesti normides olev ala 2 on originaalis jagatud kolmeks. Pinnas, mille sõelkõver satub joonise aladele 2, 3 või 4 ei ole külmakerkeohtlik, kui sõelkõvera alumine ots jääb kogu ulatuses piirkonna ülemisest kõverast allapoole. Pinnase külmakerkelisuse täpsemaks hindamiseks tuleb teha kas laboratoorseid teime või välimõõtmisi.

Kõige külmakerkeohtlikumad on möllpinnased, mille terade eripind on väga suur ja neis on piisavalt poore vee kapilaartõusuks ja auru liikumiseks.

Tabel 20

Pinnase kapilaartõus	
Pinnas	Kapillaartõus, m
Kruus, liiv	Kuni 0,3
Peenliiv, möll	0,3...1,5
Möll	6...12
Sõmer pinnas, mölli sisaldus üle 20%	1,5...6
Savi	Väga suur, kuid väikese filtratsiooni tõttu aeglane

Saksamaa DIN normid

Paigutades saksa täiesti külmakerkeohutud kruusad ja liivad meie normide graafikule oleksid nad nagu tinglikult külmakerkeohtlikud. Soome RIL normide järgi on nad 3 ja 4 piirkonna eraldusjoonel, seega külmakerkeohutud. Kruusa ja liiva segud savi või mölliga võivad olla nii külmaohtlikud kui ka ohutud. Kõik möllid ja savid langevad Soome normide 1 piirkonda ja on seega külmaohtlikud.

Tabel 21

Saksamaa pinnaste külakerkelisuse jaotus

Rühm	Osa %		Asend plastusjoonel	Pinnas	Tunnused	Näited	Külmakerke- lus	Sobivus tee muldkehaks
	≤0,06 mm	≤2 mm						
Kruus	Alla 5	Kuni 60		ühtlane	Järsk sõelkõver	Jõe- ja ranna- kruus	++	+
				ebaühtlane	Lauge sõelkõver		++	++
Liiv	Alla 5	Üle 60		ühtlane	Järsk sõelkõver	Düüniliivad	++	+0
				ebaühtlane	Lauge sõelkõver	Moreenliiv	++	+
Kruusa mõlli segu	5 kuni 40	Kuni 60		≤0,06mm 5...15%	Lauge sõelkõver, peenosis mõlline	Moreen- kruus	-0	+
			≤0,06mm 15...40%	--			-0	
Kruusa savi segu				≤0,06mm 5...15%	Lauge sõelkõver, peenosis savi		-0	+
				≤0,06mm 15...40%			-	+0
Liiva mõlli segu	5 kuni 40	Üle 60		≤0,06mm 5...15%	Lauge sõelkõver, peenosis mõlline	Tertsiaarliiv	0	+0
				≤0,06mm 15...40%		Löss, luhasavi	--	-0
Liiva mõlli segu				≤0,06mm 5...15%	Lauge sõelkõver, peenosis mõlline	Astanguliiv	-0	+0
				≤0,06mm 15...40%		Rühksavi	-	0
Möll	Üle 40		I _p ≤4% ja allpool plastusjoont	Kergelt plastne w _L <35%			--	-0
				Kesk plastne 35≤w _L ≤50%		Meresavi	--	-0
				kokkusurutav w _L >50%		Vulkaaniline pinnas	-0	-
Savi	Üle 40		I _p ≥7% ja ülalpool plastusjoont	Kergelt plastne w _L <35%		Rühkmergel	--	-0
				Kesk plastne 35≤w _L ≤50%		Nõosavi	-0	-0
				Väga plastne w _L >50%			+·	-

Tabeli 21 selgitused

Külmkerkelisus		Kasutatavus	
--	Väga suur	--	Sobimatu
-	Suur	-	Vähe sobiv
-0	Suur kuni keskmine	-0	Mõõdukalt kasutatav
0	keskmine	0	Kasutatav
+0	Väike kuni keskmine	+0	Sobiv
+	Väga väike	+	Hästi sobiv
++	Puudub	++	Väga sobiv

Endised nõukogude normid kirjeldavad külmakerkeohtlikkust küll erinevalt (tabel 22), kuid annavad üldiselt Soome ja Saksa normidega ühesuguse tulemuse

Tabel 22

Pinnaste ja nende külmaohtlikkuse klassifikatsioon GOST-i ja SNiP-i alusel

Pinnas	Tunnus	Külmakindluse kriteerium	Külmakerke grupp	
			Kuivalt	Niiskelt või märjalt
Kruusliiv	Ø 2 mm üle 25 %	Ø 0,05 mm alla 15 %	I	II
Jämeliiv	Ø 0,5mm üle 50 %	Ø 0,05 mm alla 15 %	I	II
Keskliiv	Ø 0,25mm üle 50 %	Ø 0,05 mm alla 15 %	I	II
Peenliiv	Ø 0,1mm üle 75 %	Ø 0,05 mm alla 2 %	I	II
		Ø 0,05 mm alla 15 %	II	III
Tolmliiv	Ø 0,1mm alla 75 %		III	V
Jäme, kerge saviliiv	plastsusarv 1...7	Ø 2...0,25 mm üle 50 %	II	III
Kerge saviliiv		Ø 2...0,05 mm üle 50 %	II	IV
Tolmne saviliiv		Ø 2...0,05 mm 20... 50 %	III	V
Raske tolmne saviliiv		Ø 2...0,05 mm alla 20 %	VI	
Kerge liivsavi	plastsusarv üle 7...12	Ø 2...0,05 mm üle 40 %	III	IV
Kerge tolmne liivsavi		Ø 2...0,05 mm alla 40 %	VI	
Raske liivsavi	plastsusarv üle 12...17	Ø 2...0,05 mm üle 40 %	III	IV
Raske tolmne liivsavi		Ø 2...0,05 mm alla 40 %	III	V
Liivane savi	plastsusarv üle 17...27	Ø 2...0,05 mm üle 40 %	III	IV
Tolmne savi		Ø 2...0,05 mm vähem, kui Ø 0,05 ...0,005 %	III	IV
Rasvane savi	plastsusarv üle 27		III	IV

I grupi pinnased –	ei ole külmaohtlikud,
II...III grupi pinnased -	vähe külmaohtlikud,
IV grupi pinnased -	külmaohtlikud,
V grupi pinnased -	väga külmaohtlikud,
VI grupi pinnased -	erakordselt külmaohtlikud

2.3. Külmaohtlike pinnaste parendamine

Külmakerkeohututest pinnastest muldkehad on väga kindlad, kuid sageli kallid, mistõttu võib osutuda vajalikuks kohalike külmaohtlike pinnaste parendamine. Kohalike külmaohtlike pinnaste omaduste parendamiseks on mitmeid võimalusi (tabel 23).

Võimalik pinnase stabiliseerimise sügavus on praegu meil tehniliselt kuni 50 cm, mida võimaldavad segada Eestis olevad freesid (WR 2500).

Kasutatakse pinnaste

- mehaanilist,

- termilist või
 - keemilist stabiliseerimist,
- mille tulemusel muutub pinnase tugevus ja ka ilmastikukindlus.

Tabel 23

Külmakerkeohtliku pinnase tugevdamise võimalused

Meetod	Sobivad pinnased	Pinnase omaduste muutumine	Mõju külmakerkeohule	Mõju kandevõime vähenemisele
Veetõkke kiht	Nõrgalt kuni tugevalt seotud	Vee ja pinnase ülestõusmise takistus	Mõjuta	Katte kahjustuste vähenemine
Filterkiht	Nõrgalt kuni tugevalt seotud	Läbimärgunud pinnase ülestõusmise takistus, dreenimine	Mõjuta	Katte kahjustuste ja kihtide segunemise vähenemine
Mehaaniline stabiliseerimine	Nõrgalt seotud	Terakoostise muutumine	Vähenemine kuni vältimine	Vähenemine kuni vältimine
Lubi-stabiliseerimine	Nõrgalt kuni tugevalt seotud	Struktuurimuutus, mõningane siduv toime	Vähenemine	Vähenemine
Tsement-stabiliseerimine	Nõrgalt kuni keskmiselt seotud	Hüdrauliliselt seotud	Välditud	Välditud
Bituumen-stabiliseerimine	Nõrgalt seotud	Seotud, veetõke	Välditud	Välditud

Mehaaniline stabiliseerimine põhineb pinnase terakoostise muutmisel. Enamasti on tegemist jämedateralise sõrmermaterjali lisamisega. Selle tulemusel suureneb oluliselt pinnase nihkekindlus ja mõningal määral ka külmakerkekindlus. Põhimõtteliselt on võimalik lisades jämedamat pinnast saavutada piisavalt külmakindel pinnas, kuid tavaliselt lisatava pinnase kogused on üsna suured.

Lubistabiliseerimiseks sobivad kõik pinnased, milles on mölli osakesi (0,063 mm) üle 20%. Sõltuvalt pinnase veesisaldusest võib kasutada nii kustutamata kui ka kustutatud lupja. Lubja kogus on nõrgalt ja keskmiselt seotud pinnaste puhul umbes 5%, tugevalt seotud pinnastel oluliselt kõrgem - 15...20%. Suur savi sisaldus vajab hügroskoopsuse neutraliseerimiseks palju lupja, kui lubja kogus on väike suureneb vaid poorsus, mille tulemusel suureneb ka vee juurdevool. Tulemuseks on külmakerkelisuse suurenemine. Järelikult peab stabiliseerimise kavandamisel hoolega uurima pinnase omadusi, et mitte saavutada negatiivset efekti. Lubja reaktsioon savika pinnasega on aeglane, mistõttu soovitud tulemus ei selgu enne 10 nädalat.

Kvartspeenpinnased koos mõõduka savisisaldusega on sobivad tsementstabiliseerimiseks. 6...8% tsementi väldivad täiesti jääläätsede tekkimise, külmakerkeohu ja tugevuse langemise niiskuse toimet. Stabiliseerimise eelduseks on pinnase sujuv terakoostis, mis vähendab pinnase poorsust. Sageli on poorsuse parandamiseks otstarbekas pinnast mehaaniliselt stabiliseerida.

Bituumenstabiliseerimise toime seisneb pinnaseosakeste kaitsmises vee eest. Bituumenit kasutatakse tavaliselt kas emulsioonina või vahtbituumenina. Pinnas peaks olema enam-

vähem kuiv. Pinnase bituumeniga segamise raskuse tõttu külmakerke ohu vähendamiseks seda vaevalt kasutatakse.

Külmakerkevastase toimega on külmumispunkti alandavad soolad (naatrium- ja kaltsiumkloriid). 2...3% soola lisand väldib täiesti pinnase külmumise. Soolade mõju ei ole püsiv, sest väga hea vees lahustuvuse tõttu nad uhutakse pinnasest välja. Muldkehas, mis peab vastu pidama aastakümneid, on nad kasutud.

Nagu korduvalt öeldud sõltub mulde tugevus ja ilmastikukindlus mulde ja aluspinnase veesisaldusest. Vesi pääseb muldesse alt auru, kapilaartõusu ja kileveena ning pealt ja külgedelt sademeveena. Viimase tõrjeks on oluline tee veekindel katend ja kindlustatud peenrad. Kui siiski on vesi sattunud muldesse, tuleb ta kiiresti sealt välja juhtida. Olulised on katte ja peenarde ning ka aluse kihtide põikkalle ning küvetid.

Juhul kui pole võimalik ehitada kogu mullet külmakindlast pinnasest, ehitatakse meil enamasti drenkiht. Selleks kasutatakse jämedat või keskliiva, mille poorsus ja filtratsioonimoodul on suured. Sõltuvalt katte laiuusest peaks filtratsioonimoodul olema 3...5 m/ööpäevas (katte laius 6...12 m). Ühepoolse ristkalde puhul peaks ka filtratsioonimoodul olema poole suurem. Filtratsioonimoodul määratakse optimaalse tiheduse juures.

Külmaohtlike pinnaste omaduste parendamine tuleb projekteerida laboratoorselt järgides vastavaid juhiseid.

Külmakerkele sarnaseid, kuid märksa väiksemaid deformatsioone põhjustab pinnase pundumine niiskuse toimel. Sõltuvalt pinnasest ulatub pundumine kuni 10%-ni.

Tabel 24

Pinnase klassifikatsioon pundumisastme järgi

Nimetus (niiskusel 0,5 W _o)	Suhteline pundumisdeformatsioon, % niiskunud kihi paksusest
Mittepunduvad	<2
Nõrgalt punduvad	2–4
Keskmiselt punduvad	5–10
Tugevalt punduvad	10

Märkus: W_o – optimaalne niiskus (veesisaldus) standardsel *Proctorteimil*.

3. KATENDI ARVUTUS EBASOODSATELE MÕJUDELE

3.1. Katendi arvus külmakerkele

Katendi arvutus külmakerkele toimub vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52 [26].

Kõige ratsionaalsemad (just külmakindluse seisukohalt) on katendid, mis asuvad vähe- või mitte külmakerkeohtlikest pinnastest muldel ja kus katendi ülemise pinna kaugus arvutuslikust pinnasevee tasemest on suurem või võrdne arvutusliku külmumissügavusega.

Lõikudel ,kus seda nõuet pole võimalik täita, tuleb ette näha soojusisolatsioonikihid, et vähendada külmumissügavust või üldse külmumist ära hoida. Teine võimalus on ette näha

meetmed pinnasevee taseme alandamiseks. Tihti aitab ka veekindlate või kapillaartõusu takistavate kihtide ehitamine. Soojusisolatsioonikihid (näiteks fenoplastidest) tuleks ette näha ainult väga halbade niiskustingimuste puhuks nagu “märjad” süvendid, nullprofiilid ja madalad mulded.

Kohtades, kus saavad kokku kaks erineva külmakerkega konstruktsiooni, tuleb ette näha nn üleminekuala (tavaliselt tehakse kiilukujuline), et vältida külmakerke puhul astme tekkimist teekonstruktsiooni pinnale.

Põhilised meetmed, mis aitavad parandada külmakindlust:

- väikese külmakerkeohtlikkusega pinnaste kasutamine;
- kindlustada katendi piisav kaugus pinnase- või pinnavetest;
- külmakaitsekihtide (materjalidest, mis ei muuda mahtu külmudes max niiskusesisalduse juures) või soojusisolatsioonikihtide (aeglustavad muldkeha külmumist ja vähendavad ühtlasi mulkeha külmumissügavust) ehitamine;
- pinnasevete taseme alandamine;
- veeisolatsioonikihi ehitamine (või ainult kapillaartõusu läbilõikav kiht).

Külmakaitsekihina võib kasutada looduslikku:

- kruusaliiva, kui ta sisaldab kuni 10% peenosiseid, mis läbivad sõela 0,063 mm ja
- liiva või sõelmeid, mille massist vähemalt 90% läbib sõela 2 mm; märgsõelumisel võib looduslik liiv sisaldada kuni 10% peenosiseid, mis läbivad sõela 0,063 mm.

Külmakaitsekiht filtreerivatest materjalidest töötab tavaliselt ka veel dreniiva kihina, seetõttu tuleks üldjuhul teostada ka dreniivihiga seotud arvutused.

Soojusisolatsioonikihis tuleb kasutada palju paremate soojust isoleerivate omadustega materjale, kui seda on pinnased ja tavalised teedehitusmaterjalid. Näitena võiks tuua:

- polümeermaterjalid (fenoplastid);
- kergbetoonid, milles sisalduvad poorsed täitematerjalid (keramsiit, agloporiit, polüstürooli graanulid, jahvatatud fenoplast);
- segistis valmistatud segud kohalikest materjalidest või pinnastest kergete täitematerjalide ja sideainetega;
- bituumenmineraalsegud.

Materjalide seletusi:

- *keramsiit* – mullstruktuuriga kerge granuleeritud materjal, mis on saadud kergsulavat savikivimit puhetumiseni põletades (1100-1200°C);
- *keramsiitbetoon* – keramsiit + tsement või kips või sünteetiline vaik;
- *agloporiit* – killustiku või kruusataoline tehisk poorne täitematerjal, saadakse savirikast materjali või kivisõe tootmise, rikastamise ja põletamise jäätmeid termiliselt töödeldes, purustades ja fraktsioonideks sõeludes;
- *polüstürool* e polüstüreen – sünteetiline polümeer, suhteliselt väikese tugevusega, püsiv vee, leeliste ja hapete suhtes, odav;
- *fenoplast* – fenoolformaldehüüdvaikudest plastmassid (näiteks vahtplast).

On leitud, et kattekonstruktsiooni talvine külmakerge ei mõjuta oluliselt katte taset ja eluiga juhul, kui katte üldine kerkimine ei ületa järgnevas tabelis toodud suurusi (lubatavad külmakerked):

- püsiakatendid – 4 cm;
- kergakatendid – 6 cm;
- siirdekatendid – 10 cm ja
- pinnatud kruuskatted – 6 cm.

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

$$l > l_{kk} . \quad (8)$$

Külmakerke arvutamiseks [joonis 4](#) või valemi (9) abil vajalikud suurused on järgmised:

- kliimategur $\alpha_0 = 75$, $\text{cm}^2/\text{ööp}$;
- arvutuslik külmumissügavus $z = 125 \text{ cm}$;
- pinnasetegur B , $\text{cm}^2/\text{ööp}$ ([tabel 25](#));
- katendi (soojustehniliselt) redutseeritud paksus z_1 , cm;
- katendikihtide materjalide soojustehnilised ekvivalendid ε_i ([tabel 26](#)) ja
- pinnasvee arvutuslik (maksimaalne teadaolev sügisene külmumiseelne) sügavus tee teljel H' , cm.

$$l_{kk} = 1,67 * B * (H'/z - z_1/z) * \{(2,8 * M - 1) * \text{EXP}[2,8 * (M - 1)] + 0,061\}, \text{ cm} \quad (9)$$

$$M = (125 - z_1) / (H' - z_1) \quad (10)$$

Tabel 25

Pinnasetegur B

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

Märkus: väikesemad arvud kehtivad normikohase kõrgusega muldkeha korral. Eeldatav külmakeerge l_{kk} või z_1 , määratuna [joonis 4](#) või valemi (9) abil, vastab kõikide katenditüüpide (v.a lihtkatend) 3. paikkonna olukorrale.

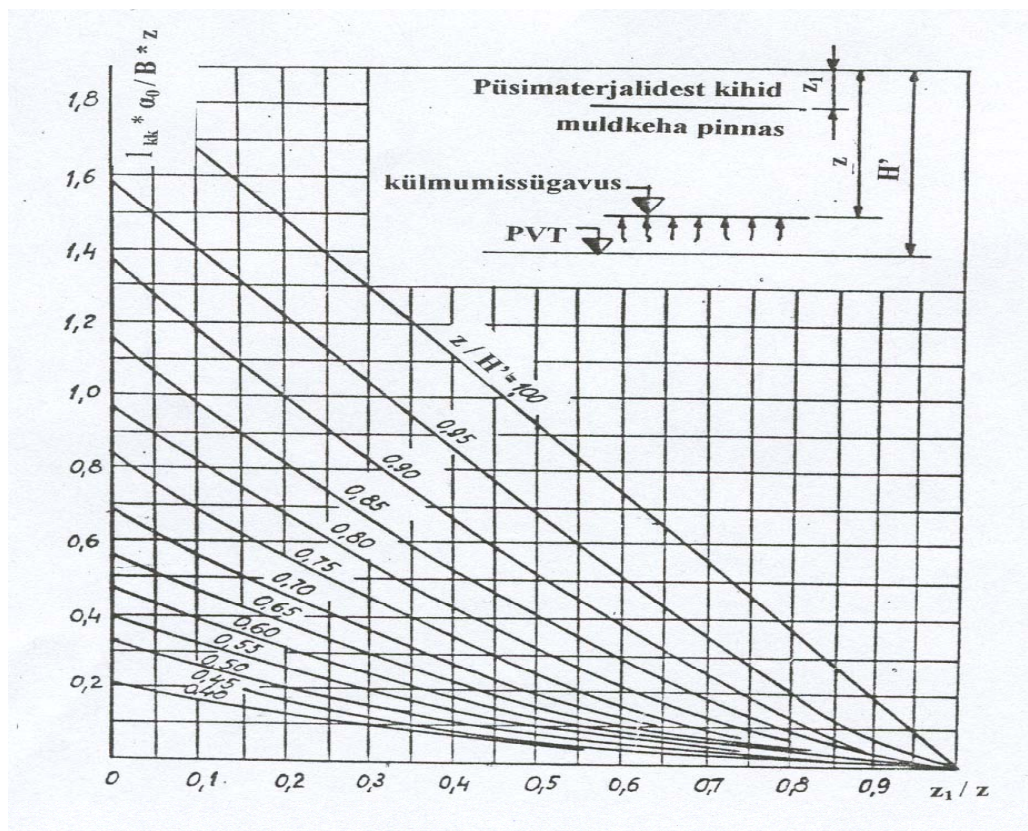
Kuna katendi- ja pinnasekihtidel on erinevad soojustehnilised parameetrid, siis võetakse see arvesse järgmiselt:

$$\text{katendi redutseeritud paksus } z_1 = h_1 * \varepsilon_1 + h_2 * \varepsilon_2 + h_3 * \varepsilon_3 + \dots \quad (11)$$

kus $h_1, h_2, h_3, \dots$ - katendi- ja pinnasekihtide paksused;
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots$ - katendi- ja pinnasekihtide soojustehnilised ekvivalendid ([tabel 26](#)).

[Joonis 4](#) ja valem (9) võimaldavad teha külmaskindluse arvutusi olukorras, kus pinnasvee sügavus H pole suurem külmumissügavusest $z = 125 \text{ cm}$. Kui esineb olukord, kus $z/H > 1,0$

(külumissügavus ulatub pinnasvette), mis on eriti külmaohtlik, tuleb suurendada muldkeha kõrgust või alandada sügavdrenaažiga pinnasvee taset.



Joonis 4 Nomogramm katendi külmakindluse arvutamiseks

PVT – pinnasvee tase;

l_{kk} – külmakerge, cm;

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

z – arvutuslik külumissügavus;

z_1 – katendi paksus, cm;

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

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

Nomogrammi (joonis 2.4) kasutamiseks tuleb leida vertikaaltelje suurusuhe: $l_{kk} * \alpha_0 / (B * z)$. Teades nüüd projekti andmetest suhet z/H' , saame nomogrammi horisontaalteljelt suhte z_1/z . Teades külumissügavust z on lihtne arvutada katendi püsimaterjalist kihtide paksus z_1 , mille puhul külmakerge jääb lubatavuse piiridesse.

Muidugi võib nomogrammi kasutada ka vastupidises järjekorras s.o horisontaaltelje jaoks arvutatakse suhte z_1/z , teades suhet z/H' saadakse vertikaalteljelt suurus $l_{kk} * \alpha_0 / (B * z)$. Kuna B , z ja α_0 on teada, siis on lihtne arvutada külmakerke l_{kk} .

Tabel 26

Materjalide ja pinnaste soojustehnilise ekvivalendid ε_i

Materjal, pinnas	ε_i
Asfaltbetoon – tihe	1,15
– poorne	1,22
– ülipoorne	1,30 – 1,36
Bituumenemulsiooniga tugevdatud saviliiv	1,13
Tsementtugevdatud (6 – 10%) segaterine liiv	1,0
Tsementtugevdatud (10%) ühemõõduline peenliiv	1,07
Lubitugevdatud nõrk lujakivikillustik	1,27
Tsementtugevdatud (6 – 12%) liivsavi	1,13
Komplekstugevdatud (tsement 2 - 6%, lubi 2 – 6%) liivsavi	1,18
Tsementtugevdatud (8 – 10%) saviliiv	1,11
Graniitkillustik	1,0
Lubjakivikillustik	1,15
Kruus	1,0
Jämeliiv – sulanud	1,03
– külmunud	0,88
Keskliiv – sulanud	0,98
– külmunud	0,87
Peenliiv – sulanud	0,98
– külmunud	0,89
Tolmeliiv – sulanud	1,02
– külmunud	0,92
Saviliiv – sulanud	1,02
– külmunud	0,96
Liivsavi ja savi – sulanud	1,07
– külmunud	0,97

1. ja 2. paikonnas toimub külmakindluse arvutus vastavalt tabelis 27 esitatud skeemile. See skeem kehtib ainult muldkeha normidekohase kõrguse puhul. Kui muldkeha on normidest madalam või asetseb süvendis, tuleb igal juhul katend arvutada külmakindlusele.

Tabel 27

Külmakindluse arvutuse vajadus sõltuvalt katendi tüübist

Katendi tüüp	Niiskus-paikkonna tüübi nr	Märkused
Püsikatend	1	Külmakindlusele ei arvutata, kuid tolmse saviliiva puhul tuleb võtta meetmeid takistamaks vee sattumist muldkehasse ülalt.
Püsikatend	2	$z_{1,2} = 0,8 * z_1$
Kergkatend	1	Külmakindlusele ei arvutata.
Kergkatend	2	Külmakindlusele arvutatakse ainult tolmse saviliiva puhul
Siirdekate	1 ja 2	Ei arvutata.
Lihtkatend	1, 2 ja 3	Ei arvutata

Kui tingimus (8) pole täidetud, tuleb katendi alumiste kihtide paksusi suurendada, lisada üks kruusa-(ülespoole drenikihti) või mõnest spetsiaalmaterjalist soojusisolatsioonikiht.

Soojusisolatsioonikihte pole Eesti teedehituses seni kasutatud ja seetõttu ka nende arvutust siinjuures ei käsitleta. Vajaduse tekkides on võimalik kasutada BCH 46-83 [28] esitatud soojusisolatsioonikihtide arvutamise metoodikat.

3.2. Veerežiimiga seotud arvutused

Veeviimarite kompleksi ülesandeks on vee kogumine ja ärajuhtimine või ennetava abinõuna vee liikumise takistamine (muldkeha ülemistesse kihtidesse) eesmärgiga ära hoida muldkeha üleniiskumine ja kindlustada enam-vähem optimaalne niiskusrežiim.

Selleks, et ära juhtida kogu pinnavett (sadevesi + muldkehasse küljelt tungiv pinnavesi), antakse muldkehale ja kattele vajalik põikkalle ning planeeritakse ja kindlustatakse peenrad. Vee juhtimiseks pikiprofiilis nähakse ette külgkraavid, süvendite puhul ka mäekraavid.

Üheltpoolt tuleb vee ärajuhtimise kindlustamiseks põiksuunas anda seda suurem kalle, mida väiksem on katte tasasus, et vesi ei koguneks ega imbuks kattes. Teiselt poolt piirab kalde suurust sõidumugavuse tagamise nõue – põikkalle peaks olema minimaalne võimalik, mille puhul on veel tagatud vete ärajuhtimine (erinevatel katetel 1,5 ... 4%).

Peenardele antakse suurem põikkalle kui kattele, kuna viimaste väiksema tugevuse tõttu võivad seal tekkida eksploatatsiooni käigus ebatasasused – aga isegi kindlustatud peenarde puhul viib seisev vesi välja muldkeha üleniiskumiseni. Olenevalt katte tüübist antakse peenardele 1-2% suurem kalle kui kattele, s.t. ligikaudu 4%.

Üldjuhul rajatakse külgkraavid alati süvendites ja mulletele kõrgusega kuni 1,2 m. Nende kraavide ülesandeks on vihmavee, lumesulamisvee ja pinnavee ärajuhtimine. Kraavide sügavus määratakse kogemuslikult (kolmnurksed ~ 0,3 m, nelinurksed ~ 0,7...0,8 m, maksimaalne 1,2 m), kontrollides vajaduse korral konstruktsiooni hüdrauliliste arvutustega.

Kindlustamata kraavide pikikalle on enamasti vahemikus 1-2%, kindlustatud 2-5%. Tähtis on nõue, et drenikihi alumise pinna kõrgus peab olema vähemalt 20 cm kraavi põhjast kõrgemal. Edasi järgneb, olenevalt maastikust, vete võimalik kogumine ja truupide või väikesildade abil muldkeha alt läbijuhtimine. Kuna ei ole otstarbekas ehitada kraave ristlõikega, mis arvestaks erakordsete vooluhulkadega, siis rajatakse mäepoolse külje olemasolul truubid ~ 0,5 km tagant.

Drenaaži puhul on tavaliselt tegemist kas

- kinnise drenaažiga – drenaažitorud (plast, asbesttsement, keraamiline, betoon) paigutatud pinnasesse – või
- lahtise drenaažiga – peidetud (kaetud) jämedast drenivast materjalist (näiteks killustik) kiht vettpidava pinnasekihi peal.

Kinnise drenaaži korral siseneb vesi torudesse neis olevatest perforeeritud piludest (plasttorud) või liitekohtadest. Nende ummistumise vältimiseks tuleb nad katta drenivast materjalist kihiga (näit liiv, kruus). Drenaaži võib kasutada nii pinnasevee alandamiseks kui ka kogu muldkehasse küljelt imbuva vee kinnipüüdmiseks.

Viimasena tee veeviimarite süsteemis mainitakse tavaliselt aluse täiendava kihina drenikihti, mis rajatakse liivast, kruusast, killustikust ja teistest jämedatest sõrmermaterjalidest.

Olenevalt muldkeha laiuksst ja niiskustingimustest peaks drenkihi materjali filtratsiooni-moodul olema vahemikus 2-10 m/ööp. Drenkihi ülesandeks on koguda kokku ja ära juhtida vesi, mis koguneb järgnevatest allikatest:

- peenardest alusesse imbunud vesi
- katte pragudest, aga ka vuukidest alusesse imbunud vesi
- kevadel külmunud katte ülemistest kihtidest (jääläätsedest) sulav vesi

Drenkihist juhitakse vesi reservidesse või külgkraavidesse, seoses sellega peab drenkihi laius üldjuhul olema kogu pikkuses võrdne muldkeha laiusega. Heade hüdrooloogiliste tingimuste korral võib selle asemel, et drenkihti rajada kogu laiuses, kasutada vee kraavidesse juhtimiseks nn lehrtrite süsteemi. Viimased rajatakse hästidreenivatest materjalidest (näit ridakillustik ϕ 40-60 mm) laiusega 0,4 m ja kõrgusega 0,2 m ning paigutatakse 4-6 m vahedega malekorras.

Kuna drenaažilehrtrite läbilaskevõime on väike, siis vee ärajuhtimiseks kulub palju aega. Eriti pingeline on olukord kevadel. Kuna peenrad on talvel kaetud paksema lumekihiga, kui sõidutee, hakkavad nad ka sulama hiljem. Tänu sellele asjaolule ei ole drenkihi ääred (või siis lehrtrid) veel sulanud, kui neid kõige rohkem vaja oleks. Seepärast on hakatud kõige ebasoodsamate niiskustingimustega kohtades lehrtrite asemele rajama torudreene (nii põiki- kui ka pikidreene), mis juhiks vee külmunud pinnasest läbi.

3.2.1. Üldist kraavide arvutuse kohta

Kraavid arvutatakse vastavalt vedeliku ühtlase voolamise valemile. Üldjuhul tuleb kõigepealt määrata pindala (km^2), millelt vesi koguneb - tavaliselt kasutatakse selleks kaarti mõõtkavas 1:25 000 ... 1:50 000, seejärel kliimakaardilt sademete intensiivsus mm/min. Kindlustamata kraavides peaks veevoolu kiirus jääma alla 0,8 m/s.

3.2.2. Drenaaži arvutus

Drenaaž paigaldatakse selleks, et alandada pinnasevete taset. Otstarbekas on paigaldada drenid külgkraavide alla, et neid vajadusel oleks võimalikult lihtne puhastada. Erijuht on nn ekraniseeriv drenaaž, mis tavaliselt paigutatakse süvendite nõlvadesse juhul, kui süvend lõikab läbi vettpidava kihi. Sel juhul vee hulk 1m dreni pikkuse kohta leitakse:

$$q = K h i_v, \quad (11)$$

kus K – filtratsioonitegur, m/s (N.B. mitte filtratsioonimoodul), määratakse katseliselt (jämeliiv 10^{-2} , peenliiv 10^{-2} - 10^{-3} , saviliiv 10^{-4} - 10^{-5} , liivsavi 10^{-5} - 10^{-7} m/s);
 h – vee sügavus vaadeldavas kihis;
 i_v – vettpidava kihi kalle.

Pikkusel l koguneb vooluhulk $Q = K h i_v l$. Sellise veehulga läbilaskmiseks on vajalik toru, mille läbimõõdu võib leida valemist:

$$Q_{vaj} = K_d i_d^{1/2} \text{ ja } K_d = 24 d^{8/3}, \quad (12)$$

kus i_d = drenaažitoru kalle;
 K_d = drenaažitoru kulutegur;
 d = toru diameeter, m (tavaliselt 0,05 või 0,1).

Näiteks: $Q = 0,01(=K) * 0,3(=h) * 0,003(=i_v) * 500(=l) = 0,0045 \text{ m}^3$
 $Q_{vaj} = 0,009 (=i_d) 24 0,1 (=d)^{8/3} = 0,0049 \text{ m}^3$

Vee voolamise kiirus torus ei tohi olla liiga suur, kuid ei tohi olla ka liiga väike (et vältida ummistumist). Soovituslikult tuleks võtta kiirus mitte väiksem, kui 0,6 m/s ja mitte suurem, kui toru peal asetseva drenivast materjalist kihi jaoks suurim lubatav kiirus (et minema ei uhuks). Vee voolamise kiiruse torus võib arvutada valemiga:

$$v_d = W_d i_d^{1/2} \text{ ja } W_d = 30,4 d^{2/3}, \quad (13)$$

kus W_d – toru kiiruskarakteristik.

Ülaltoodud näite puhul: $v_d = 30,4 0,1 (=d)^{2/3} 0,09(=i_d)^{1/2} = 0,62 \text{ m/s}$

Teede rajamisel kohtadesse, kus pinnasevesi on kõrgel, võib loomulikult ehitada nii kõrge muldkeha, et drenaaži ehitamine pole vajalik. Esineb aga küllalt juhtumeid, kus muldkeha ülemise ääre kõrgus on ette antud ja seda muuta ei saa. Sel juhul on ainukeseks lahenduseks drenaaži rajamine. Külgkraavide all paiknevad drenid peavad olema nii sügaval, et tekiks vajalik pinnasevee taseme alanemine. Erijuhul, kui vahetult drenide all on vettpidav kiht ja on olemas põikkalle, võib piirduda ühe dreniga, mille arvutamise käik langeb kokku ülaltooduga (veekihi läbilõikamine).

Kui aga vettpidav kiht asub sügavamal, tuleb rajada mõlemad drenid, paigutades nad sümmeetriliselt kahele poole teed. Kumbki dren alandab vee taset mingis ruumiosas laiuseni, mida saab leida valemiga

$$H/R = \tan \alpha, \quad (14)$$

$$\text{ehk enamkasutatavam kuju} \quad R = H / \tan \alpha, \quad (14a)$$

kus R – nn. depressioonilehtri raadius;
 H – kaugus drenist kuni pinnasevee tasemeni;
 α – lehrile joonistatud kõõlu nurk horisondi suhtes.

Depressioonijoone võrrand kujutab endast teise astme kõverat. Veevoolu jooksvat kõrgust kajastab valem

$$h = H \sqrt[3]{1-x/R}, \quad (15)$$

kus x = kaugus depressioonilehtri äärest.

Kui $x=0$, siis alanemist pole ja $h=H$, kui $x=R$, siis $h=0$ ja veetase on alandatud kõrguse H võrra.

Kahe sümmeetriliselt paigutatud dreni puhul on minimaalne alanemine tee keskel:

$$S = H - h = H(1 - \sqrt[3]{1-L/2R}), \quad (16)$$

Kus L – drenidevaheline kaugus;
 S – pinnasevee minimaalne alanemine keskel;
 H – pinnasevee alanemine dreni juures.

Kogu arvutuskäik koosneks kolmest etapist:

- 1) tingimusest, et drenikiht ei tohi olla kapillaartõusust põhjustatud veest küllastunud, määratakse pinnasevee alandamise vajadus S .
- 2) teades kahe rippuva dreni vahelist kaugust L , ja suurusi S ning α , määratakse järgnevast võrrandist suurus S/H ;

$$\left(\frac{S}{H}\right)^2 + \left(2 + \frac{L \tan \alpha}{2S}\right) \frac{S}{H} + 1 = 0$$

ja H saab järelilikult $S / (S/H)$

- 3) Vee hulk 1 m dreni pikkuse kohta tuleb järelilikult (arvestades, et vesi voolab dreni poole mõlemalt küljelt

$$2q = 2Kh^{dh}/dx \text{ (N.B. pidevalt muutuv kalle), arvestades ülaltoodud valemeid}$$

$$2q = KH^2/R = K h \tan \alpha$$

kogu dreni pikkusele tuleb vooluhulk $Q = l K h \tan \alpha$

Pinnaste filtratsioonitegur tuleb määrata pinnaseproovide alusel, mis on võetud ilma pinnase struktuuri lõhkumata. Orienteeruvate arvutuste jaoks kõlbab ka [tabel 28](#).

Tabel 28

Pinnaste filtratsioonitegurid		
Pinnas	K , m/s	$\tan \alpha$
Kruus või jämeliiv	10^{-2}	0,15-0,3
Peenliiv	$10^{-2} \dots 10^{-3}$	0,3-1
Saviliivad	$10^{-4} \dots 10^{-5}$	1-2,5
Liivsavid	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	2,5-5
Savid	10^{-7}	5-8
Rasked savid	10^{-7}	8-10
Turvas	$10^{-3} \dots 10^{-4}$	1-7

3.2.3. Dreenkihi arvutus

Dreenkihi arvutus toimub vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52 [26].

Seoses niiskuse ümberpaiknemisega, koguneb talvel alumistest soojadest kihtidest külmumispiirile vesi, mis seal külmub jääläätsedeks. Kuna külmumine on pikaajaline protsess, siis tekib jää loomulikult mitmesse kihti alates ülevalt kuni külmumissügavuseni. Ebasoodsate niiskustingimuste korral võib vee hulk olla märkimisväärne.

Kevadel algab sulamine loomulikult tumedama asfaltkatte alt, peenarde alt algab sulamine üldjuhul ~ nädala jagu hiljem. Külmunud pinnas teekatte all omandab küna kuju ja kuna vee äravool ei ole veel tagatud (võimaliku dreenkihi ääred on alles külmunud ja ka muud veeviimarid ei tööta veel), siis algab eelpoolmainitud künassee vee kogunemine. Autode sõitmisel sellisel teel tekib üleniiskunud pinnases hüdrodünaamiline surve, pinnase vastupidavus nihkele väheneb ja tihti lõpeb kogu protsess katte purunemisega. Järelikult peab olema garanteeritud vee õigeaegne äravool dreenkihi kaudu (või dreenkihti!).

Vee hulk, mis kevadisel sulamisperioodil alusesse koguneb, on peamiselt kahte päritolu:

- 1) vesi, mis vabaneb katte ja peenarde all oleva pinnase sulamisel;
- 2) ülevalt läbi pragude, vuukide ja peenarde imbunud kevadine vihmavesi.

Meie kliimas on pinnase sulamise kiirus katte all umbes 5 cm päevas, peenardel umbes 3 cm päevas. Järelikult tuleb leida koht kuhu mahutada 3-6 päeva jooksul kogunev vesi. Üks võimalus on kogu vesi mahutada dreenkihi pooridesse.

Sulav pinnas on võimeline mahutama vee hulka, mis on ligikaudu 0,75 voolavuspiirile vastavast niiskusest, ülejäänud osa surutakse üles dreenkihti. Kuna on väga raske täpselt määrata, kui suur on vee kogus mingil konkreetsetel teelõigul, kasutatakse kogemuslikul teel (vaatlused, mõõtmised) saadud keskmisi ööpäevaseid veehulki. Arvutuslik vee hulk q_a , mis võib sattuda dreenkihti ööpäevas, leitakse valemiga

$$q_a = q \cdot k_e \cdot k_h / 1000, \quad (17)$$

kus q – normatiivne dreenkihti sattuda võiva vee hulk ööpäevas (tabel 29);
 Q – normatiivne dreenkihti sattuda võiva vee koguhulk (tabel 29);
 k_e – tegur, mis arvestab pinnase ebaühtlast ülessulamist ja sademete hulka (tabel 30)
 k_h – hüdroloogiline varutegur, mis arvestab dreenkihi filtratsioonivõime vähenemist ekspluatatsiooni käigus (peente osakeste sattumine liivakihti jms) (tabel 30).

Tabel 29

Normatiivne dreenkihti sattuda võiva vee koguhulk Q [l/m²] (murru lugejas) ja hulk ööpäevas q [l/m² ööpäevas] (murru nimetajas)

Niiskus-paikkonna tüüp	Mulde pinnas			
	Kerge mittetolmne saviliiv, tolmane liiv	Mittetolmne liivsavi ja savi	Tolmane liivsavi	Tolmane saviliiv
1	15/2,5	25/2,5	43,75/3,75	100/4,38
2	25/3	62,5/3,75	100/5	162,5/5,6
3	60/3,5	112,5/5	162,5/5,6	225/6,25

Märkus: Mittetolmsetest pinnastest mullete puhul mille kõrgus on normatiivsest suurem, võetakse q võrdseks $1,5 \text{ l/m}^2$ ööpäevas. Haljasriba (eraldusriba) olemasolu korral tuleb normatiivsetest madalamate mullete puhul nullprofiilis suurendada tabeli 29 väärtusi 20%.

Tabel 30

Tegur, mis arvestab pinnase ebaühtlast ülessulamist ja sademete hulka (k_e) ja hüdroloogiline varutegur (k_h)

Niiskus-paikkonna tüüp	Mittetolmne pinnas	Tolmne pinnas	
	k_e	k_e	k_h
1	1,5	1,5	1,0/1,0
2	1,5	1,6	1,2/1,2
3	1,6	1,7	1,3/1,2

Märkus: Mittetolmsete mulde pinnaste puhul k_h on 1,0; k_h lugejas on kiirtee, I ja II klassi ning nimetajas III-IV klassi teele vastavad arvud.

Kogu arvutuslik veehulk sulamise hilinemisest:

$$Q_a = q_a T_{\text{tag}}, \quad (18)$$

kus T_{tag} – veeviimarite sulamise hiline mine, meie kliimatsoonis 4-6 päeva, suurem hiline mine vastab peenliivadele.

Abinõud, mis aitavad vähendada pinnavete tungimist alusesse ja pinnasesse (ühtlasi ka drenikihti):

- peenarde kindlustamine koos vajaliku põikkalde andmisega (0,5-0,75 m);
- piirete ehitamine sõidutee äärde;
- õigete nõlvakallete kasutamine;
- külgkraavide läbimõeldud paigutus;
- aluse monoliitsete kihtide ehitamine laiemana kui katte ülaosa;
- soojusisolatsioonikihtide rajamine (vähendab niiskuse tungimist ~ 20%).

Dreenihi arvutamisel on vaja teada, et mitte iga materjal ei sobi drenihi ehitamiseks. Materjali sobivuse drenihi jaoks määrab (peamiselt) üksainus näitaja – filtratsioonimoodul K_f (tabel 31).

Tabel 31

Filtratsioonimooduli K_f soovitatavad minimaalsed väärtused

Paikkonna tüüp	Sõidutee laius (m)	Min K_f (m/ööp)
2	6	3 (2)
	7...7,5	4
	12 ja enam	5
3	6	4
	7...7,5	6
	12 ja enam	10

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

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

Nõuded drenkihi materjali terakoostisele on samad nagu külmakaitsekihtide puhul.

Kui muud asjaolud seda võimaldavad, võib sõmermaterjalist drenkihi asemel kasutada tootja poolt garanteeritud näitajatega filtreerivat geotekstiili või geokomposiiti.

Drenkihi arvutusviis sõltub drenkihi materjali filtratsioonimoodulist:

- kasutades materjali, mille $K_f < 4$ m/ööp, arvutatakse tingimusele, et oleks garanteeritud kogu vee õigeaegne ärajuhtimine; mahutavusarvutust ei teostata, kuna kogemused näitavad, et sel juhul on tagatud ka sulamisperioodil tekkiva vee mahtumine;
- kasutades materjali, mille $K_f > 7$ m/ööp, arvestatakse ainult sulamisperioodil tekkiva vee mahtumise võimalust drenkihi materjali pooridesse; eeldatakse, et hilisema vee ärajuhtimisega ei teki mingeid probleeme;
- kasutades materjali, mille $K_f = 4...7$ m/ööp, tuleb kontrollida nii sulamisperioodil tekkiva vee mahtumise võimalust drenkihi materjali pooridesse kui ka vee õigeaegset ärajuhtimist.

Sõltumata arvutustulemustest ei tohi drenkiht olla õhem kui 0,20 m. Sama kehtib ka juhul, kui mulde pinnas ($K_f > 0,5$ m/ööp) ei tingi drenkihi ehitamist, kuid liivakiht on vajalik kui katendi konstruktiivne kiht. Ka selline filtratsiooni arvutuste seisukohalt mittevajalik liivakiht ehitatakse kogu mulde laiusena; kõik teised konstruktiivsed kihid on muldest kitsamad.

Drenkiht, olles katendi kõige alumine osa, on samaaegselt madaldrenaažiks, mille peamiseks ülesandeks on ülaltpoolt, s.o läbi katte ja aluse imbuva sademetevee eemaldamine muldkeha nõlvadele, kust see valgub veeviimaritesse või filtreerub teemaa pinnasesse.

Drenkihi ülesandeks pole kapillaartõusu katkestamine. Muldkeha peab olema nii projekteeritud, et kapillaarvee tõus ei ulatuks drenkihi alapinnani. See tagatakse muldkeha kõrgusega pinna- ja pinnasevee suhtes või erandjuhtumil muldkeha sisse ehitatud kapillaartõusu katkestavate spetsiaalsete kihtide või pinnaseveetaseme alandamisega sügavdrenaaži abil. Sügavdrenaaži olemasolul on võimalik ja soovitatav drenkihist vee juhtimine sügavdrenaaži.

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

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

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

- filterpikitorudeta muldkeha laiune drenikiht või
- muldkeha laiune pikifiltertorudega drenikiht.

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

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

Muldkeha laiune pikifiltertorudega drenikiht valitakse siis, kui:

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

Sõltumata drenikihi konstruktsioonist peab drenikihi põhja põikkalle olema $\geq 4\%$.

Drenikihi ühepoolse kalde puhul (viraažidel, kiir- ja I klassi teedel), kui filtratsioonitee pikkus on >10 m, sõltumata muudest asjaoludest, tuleb projekteerida pikifiltertorudega drenikiht. Viraažidel, kui filtratsioonitee pikkus on < 10 m, võib projekteerida kahepoolse kaldega pikifiltertorudeta drenikihti.

Teades katendi ja drenikihi konstruktsiooni kõiki mõõtmeid, ka mulde nõlva kaldeid, on võimalik filtratsioonitee pikkust iga konkreetse juhtumi jaoks täpselt määrata. Orienteeruvad pikkused on toodud tabelis 32.

Tabeli 32

Filtratsioonitee orienteeruvad pikkused (m)

Sõidutee	Drenikihi konstruktsioon	
	Sõidutee laiune drenikiht ja torudreenid piki sõidutee serva	Drenikiht kogu mulde laiuse ulatuses
Laius 7-7,5 m, kahepoolne põikkalle	3,75 ... 4	7,5
Laius 7-7,5 m, ühepoolne põikkalle	8	10,5
Neljarealine kahepoolse põikkaldega sõidutee	8	10,5

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

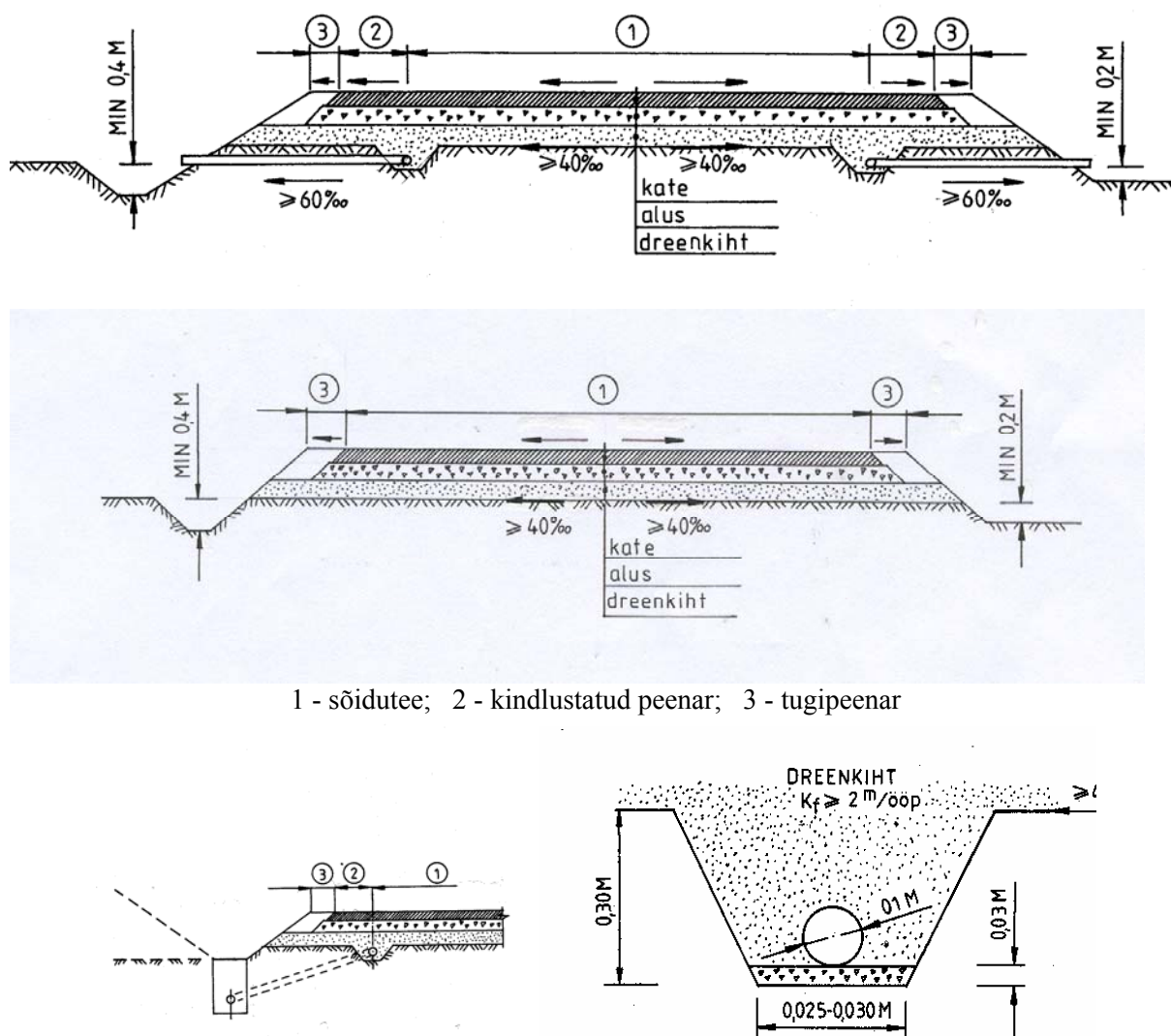
- läbimõõt on 8...10 cm;
- kalle peab olem suurem pikifiltertoru kaldest, kuid vähemalt 4%;
- vahekaugused pole suuremad kui 200 m ja mis asetsevad sõidutee telje suhtes 45° nurga all.

Pikifiltertoru algab ja lõpeb põikväljalasuga, mis alguses on sõidutee telje suhtes 145° ja lõpus 45° all.

Pikifiltertoru pikikalle võrdub sõidutee pikikaldega, kuid peab olema $\geq 5\text{ ‰}$.

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

Dreenkihi konstruktsiooni näidisskeemid on esitatud [joonisel 5](#).



Joonis 5 Dreenkihi konstruktsiooni näidisskeemid

Esialgu määratakse projekteerimisel drenkihi (liivakihi) paksus konstruktiivselt või lähtudes külmakindluse kaalutlustest. Seejärel kontrollitakse kihti pooride mahutavusele. Seejuures tuleb arvestada, et veega küllastumist võib lubada ainult liivakihi alumises osas, ülemises osas

võib olla ainult kapillaartõusust tulenev vesi. Niisiis, sõltumata drenikihi materjali filtratsioonimoodulist ja konstruktiivsetest iseärasustest, koosneb drenikihi kogupaksus H kahest osast:

$$H = h_k + h_v, \quad (19)$$

Kus h_k – veest täielikult küllastunud kihi paksus; drenikihi kogupaksuse määramisel arvutatakse ainult selle kihi paksus;
 h_v – paksuse varu, ei arvutata vaid võetakse tabelist 33 võrdseks h_1 -ga.

Tabel 33

Kapillaartsooni veejuhtivustegur ja kapillaarvee liikumise taseme kõrgus

Liiva kirjeldus	Kapillaartsooni veejuhtivustegur K_w (m/ööp)	Kapillaarvee liikumise taseme kõrgus h_1 (m)
Jämeliiv	0,55	0,10-0,12
Keskliiv	0,60	0,14-0,15
Peenliiv	0,65	0,18-0,20

Dreenikihi arvutus vee ärajuhtimisele

Matemaatiliselt oleks drenikihi arvutus vee ärajuhtimisele sarnane torudreeni arvutusele (kasutatakse Darcy valemit):

$$Q = K_f h (i - dh / dx), \quad (20)$$

kus Q – drenikihi 1m laiuse riba läbilaskevõime;
 K_f – drenikihi filtratsioonimoodul, m/ööp;
 i – drenikihi põhja kalle;
 h – muutuva kõrgusega veekiht drenikihis.

Teiselt poolt on 1 m laiuse riba kohta tulev veehulk Q [m³/ööp] kevadel:

$$Q = q x, \quad (21)$$

kus x – kaugus tee teljest.

Pannes mõlemad pooled võrduma, saame:

$$q x dx / K_f = i h dx - h dh \quad (22)$$

Integreerides x 0-st kuni L -ni ja h h_1 -st kuni h_2 -ni, saame valemi:

$$L^2 Q / (2K_f) = i L (2h_1 + h_2) / 3 + (h_1^2 + h_2^2) / 2 \quad (23)$$

h_2 – võetakse tavaliselt 0,05 m (veevoolu sügavus torudreenis).

Valem võimaldab leida drenikihi paksuse h_1 , teades i , L , Q ja K_f väärtuseid, või siis teades ülejäänud parameetreid, leida vajaliku filtratsioonimooduli K_f .

Dreenihi arvutus sulamisvee mahutavusele.

Dreenihi paksust, mis on võimeline mahutama kogu kevadel koguneva vee saab arvutada järgneva valemi abil:

$$h = ((q k_e k_h T_{tag})/n + h_v(1-\phi_k))/(1-\phi_{talv}), \quad (24)$$

kus n – dreenihi materjali poorsus;
 ϕ_k – ülemise, kapillaarvett sisaldava kihi täitumus (võetakse $\sim 0,7$);
 ϕ_{talv} – tegur mis arvestab dreenihi materjali pooride täituvust veega enne sulamise algust, võetakse sõltuvalt poorsusest ja kihi paksusest 0,3-0,7 (tabel 34).

Tabel 34

Tegur mis arvestab dreenihi materjali pooride täituvust veega enne sulamise algust

Dreenihi paksus, cm	ϕ_{talv} dreenihi poorsuse n puhul			
	0,4	0,36	0,32	0,28
kuni 20	0,4	0,5	0,6	0,7
20-40	0,35	0,4	0,5	0,6
> 40	0,3	0,35	0,45	0,55

Valemi (24) lihtsustatud kuju:

$$h = (Q/n + 0,3h_v)/(1-\phi_{talv}). \quad (24a)$$

Dreenihi arvutamise tulemusi on võimalik korrigeerida, muutes:

- dreenihi materjali filtratsioonimoodulit;
- dreenihi põikkallet;
- filtratsioonitee pikkust.

4. PROBLEEMSE TEEKATENDI KONSTRUKTSIOONIKIHI LEIDMINE FWD MÕÖTMISTULEMUSTE ALUSEL – PRAKTILINE NÄIDE [35]

AS Teede Tehnokeskuse PMS-grupp mõõtis AS ASPI tellimusel augustis 2006. aastal maanteel nr 18 Niitvälja-Kulna teekonstruktsiooni kandevõimet kokku 26-s punktis.

Niitvälja-Kulna maantee aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (2006. a. liiklusloenduse andmetel) on maantee alguses (0,5 km kaugusel) orienteeruvalt 1500 autot ööpäevas ja maantee lõpus (3,9 km kaugusel) orienteeruvalt 1200 autot ööpäevas. Normatiivne liikluskoormus on kogu maanteel 358 normtelge ööpäevas. Liiklussagedus on viimase 10 aastaga kasvanud 2 korda. Vastavalt hetke koormussagedusele on nõutav teekonstruktsiooni elastsusmoodul 235 MPa. Enamus kandevõime mõõtmistulemustest vastavad nõutavale teekonstruktsiooni kandevõimele. Ainult 5-s punktis 26-st, ehk 20% jääb mõõdetud teekonstruktsiooni üldine elastsusmoodul alla nõutava väärtuse. Juhul kui koormussagedus kahekordistub, siis kasvab nõutav teekonstruktsiooni üldine elastsusmoodul 260 MPa-ni.

Rahvusvahelises praktikas on kasutusel erinevaid parameetreid katendi seisukorra määratlemiseks. Antud parameetreid on täpsemalt uurinud magistrant Priit Paabo oma 2006. a valminud magistritöös [36].

Katendi üldise seisukorra võimalikult täpseks hindamiseks vaadeldakse katendi kihte eraldi, eristades seotud kihid, aluse ja aluspinnase. Selline kihtkihiline analüüs võimaldab osutada katendikonstruktsiooni kihile, kus võimalikud probleemid (nt ebasobiv materjal) paiknevad.

Katendi erinevate konstruktsioonikihtide hindamiseks on võimalik kasutada:

- Seotud kihtide puhul – Surface Curvature Index (SCI) e pinna kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D1 ja D2 lugemite vahe ($d_0 - d_{300}$);
- Aluse puhul – Base Damage Index (BDI) e aluse vigastatuse tegur – FWD läbivajumisandurite D2 ja D3 lugemite vahe ($d_{300} - d_{600}$);
- Aluspinnase puhul – Base Curvature Index e aluse kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D6 ja D7 lugemite vahe ($d_{1200} - d_{1500}$).

Kõikide nende väärtuste leidmisel on arvestatud, et 50 kN koormuse puhul on vajalik kontaktsurve ekvivalent 300 mm plaadil 707 kPa.

Pinna kõverusteguri ehk SCI (Surface Curvature Index), aluse vigastatuse teguri ehk BDI (Base Damage Index) ja aluse kõverusteguri ehk BCI (Base Curvature Index) kasutamise eeliseks on asjaolu, et vajalikud arvutusvalemid on lihtsad. Eestis on neid parameetreid seni vähe kasutatud ja otsesed piirväärtused antud parameetritele vajavad veel täpsustamist, kuid lähtudes võrdlusemomendist (võrreldes toodud väärtusi nendes kohtades, kus katendis probleeme ei ole, nende kohtadega, kus probleemid esinevad) on võimalik neid siiski ka juba praegu kasutada.

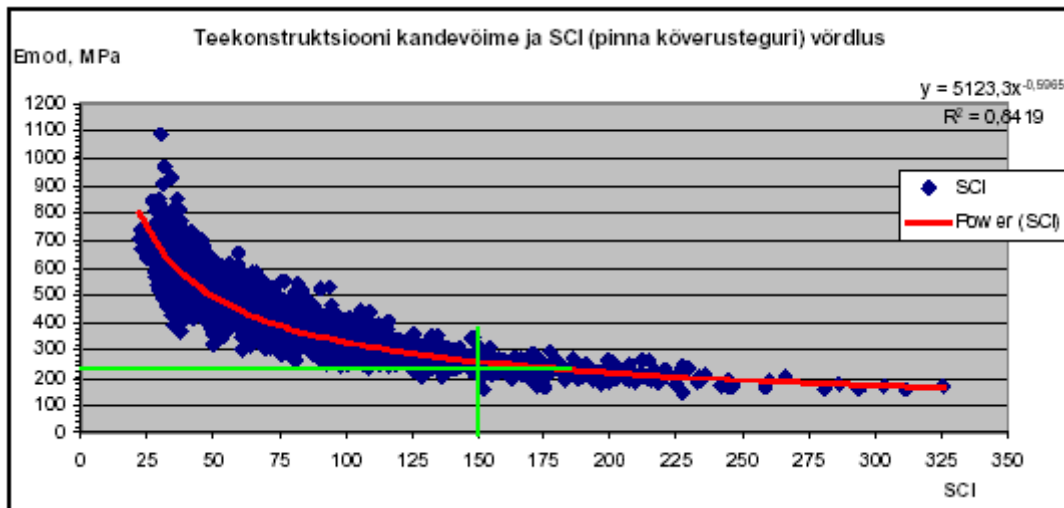


Joonis 6 Roobas maanteel nr. 18 Niitvälja-Kulna vasakpoolsel sõidurajal aadressil 18_1_1_1150

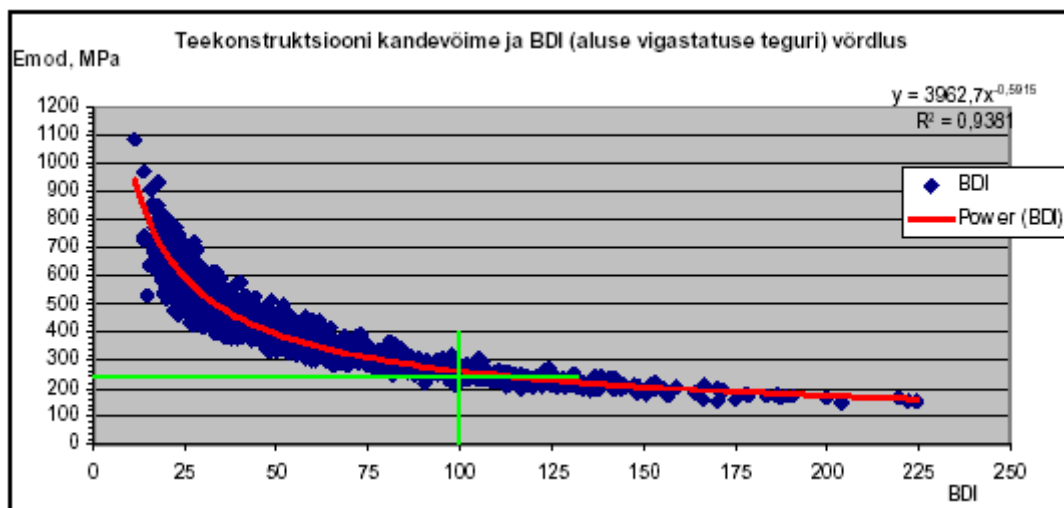
Piirväärtused eelpool toodud parameetritele on teekonstruktsiooni seisukorra kirjeldamiseks kehtestatud lähtudes 2005. a Eesti teedevõrgul teostatud FWD mõõtmistulemuste põhjal arvatud SCI, BDI ja BCI väärtuste ja neile vastavate teekonstruktsiooni kandevõime väärtuste vaheliste seoste alusel (joonised 7...9). Lähtudes leitud seostest võime praegu kehtestada järgmised piirväärtused:

- SCI > 150 - seotud kihtides esineb probleeme;
- BDI > 100 - aluskihis esineb probleeme;
- BCI > 20 - aluspinnases esineb probleeme.

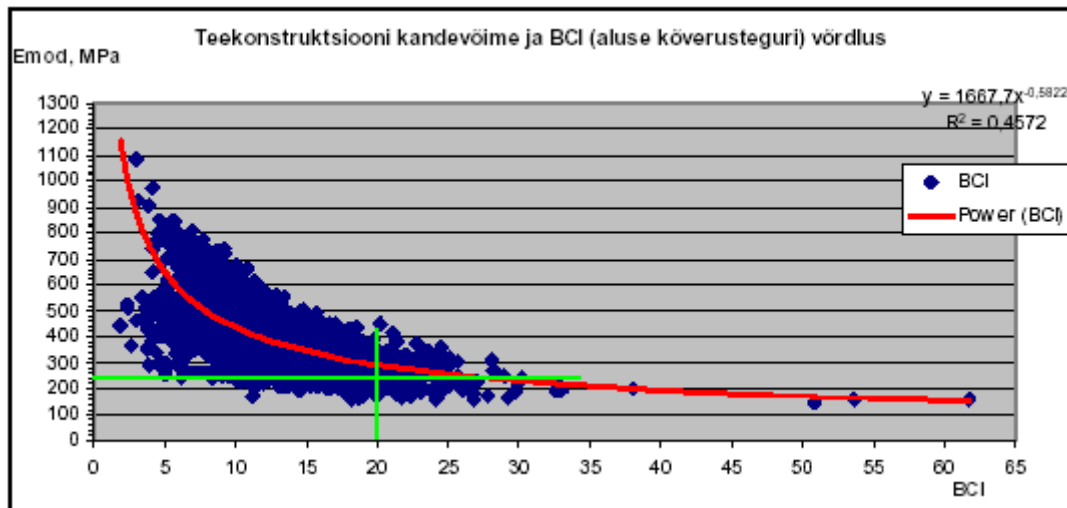
Kuid esitatud väärtusi tuleb täpsustada ja need võivad tulevikus muutuda.



Joonis 7 Teekonstruktsiooni kandevõime ja SCI vaheline võrdlus

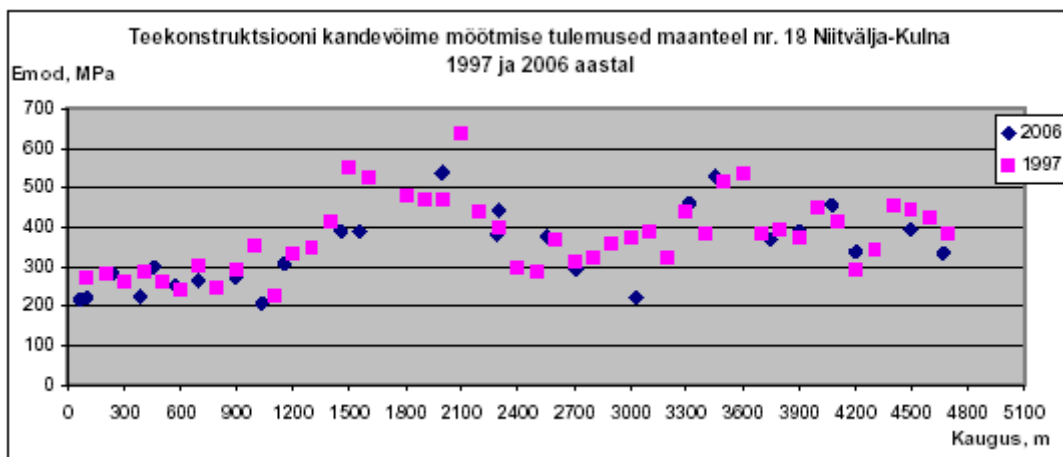


Joonis 8 Teekonstruktsiooni kandevõime ja BDI vaheline võrdlus



Joonis 9 Teekonstruktsiooni kandevõime ja BCI vaheline võrdlus

Võrreldes teekonstruktsiooni seisukorda 2006. aastal ja 1997. aastal (10 aastat tagasi), on näha, et teekonstruktsiooni üldine kandevõime ei ole aja jooksul praktiliselt üldse muutunud (joonis 10). Kuna antud maanteel niiskuspõhiseid probleeme ei esine, siis on see tulemus üsna ootuspärane.

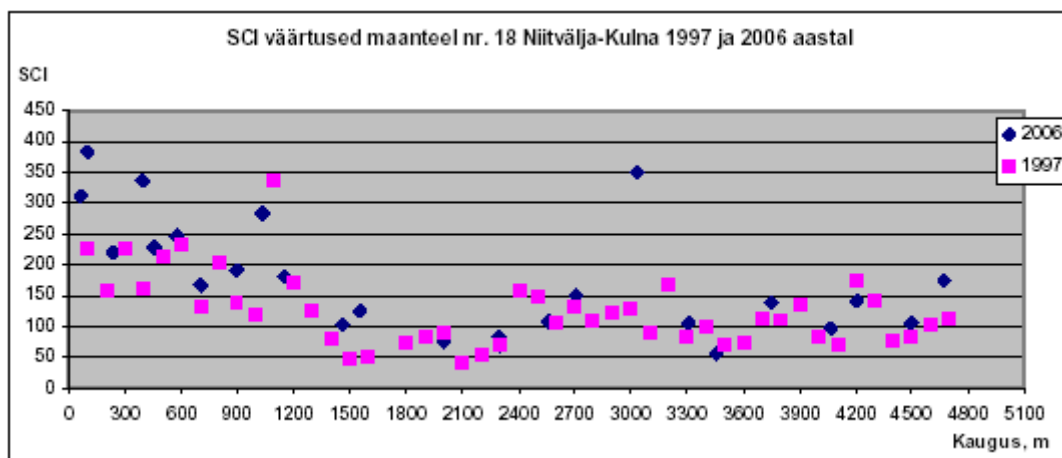


Joonis 10 Teekonstruktsiooni kandevõime 1997. ja 2006. aastal

FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud SCI, BDI ja BCI parameetrite väärtused näitavad, et Niitvälja-Kulna maanteel on probleemid eelkõige teekonstruktsiooni ülemistes kihtides.

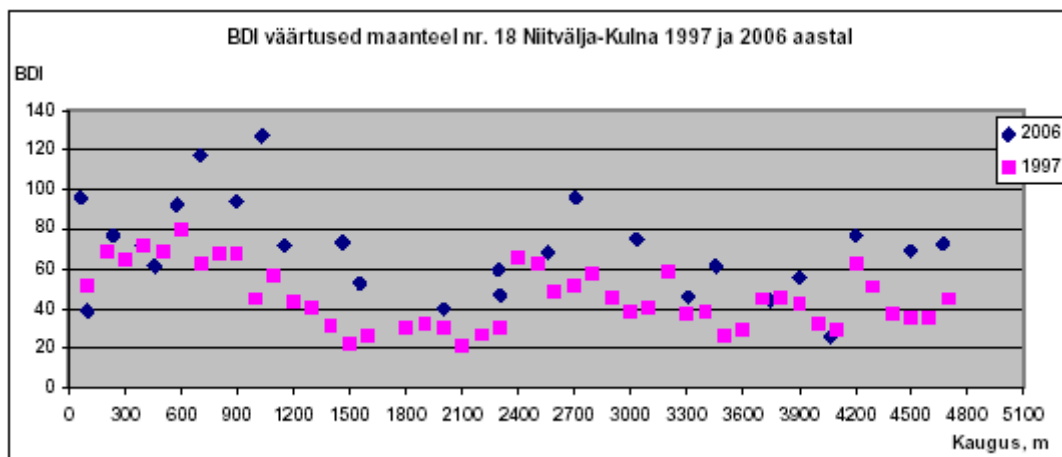
Pinna kõverusteguri SCI võrdlus näitab, et see ei ole viimase kümne aasta jooksul eriti muutunud. Erandiks on ainult maantee esimene kilomeeter, kus on võimalik täheldada SCI teguri mõningast kasvu, ehk siis teekonstruktsiooni ülemised kihid on muutunud nõrgemaks. SCI väärtused on kohati, eriti mõõdetud lõigu algusosas (umbes 1 km ulatuses), selgelt üle piirväärtuse 150. Lisaks on SCI väärtused kogu lõigu lõpuosa ulatuses (km 2,7-4,6) piirväärtuse lähedased. Selle tulemusena võime järeldada, et sellel lõigul esinevad suured probleemid katendikonstruktsiooni ülemistes (0-30 cm) kihtides (Joonis 11). Seda illustreerib

ka katte tegelik seisukord (joonis 6), kus valdavaks on nihkejõudude toimel katte ülemistes kihtides tekkinud roopad.



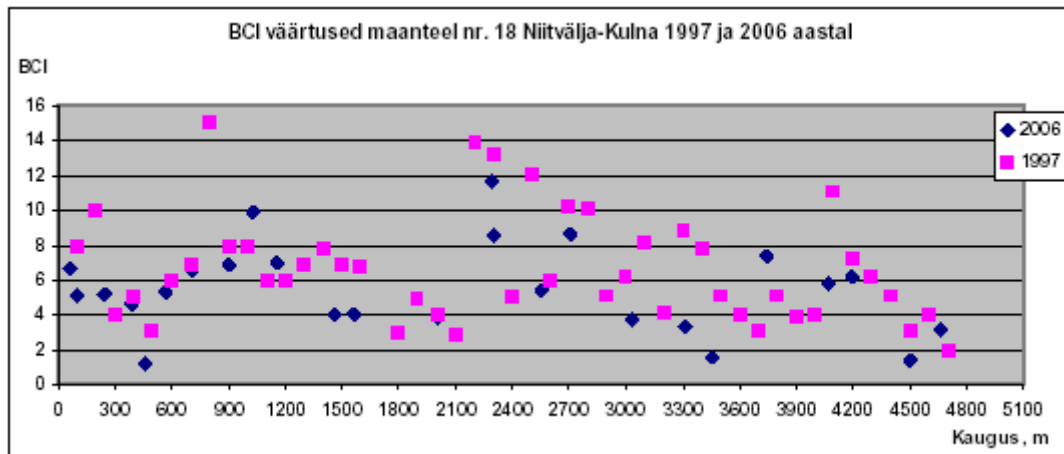
Joonis 11 SCI väärtuste muutumine ajavahemikul 1997 kuni 2006 a.

Aluskihi seisukorda iseloomustav BDI tegur on viimase 10 aastaga kogu maantee ulatuses selgelt kasvanud (joonis 12), mis näitab, et aluse (sügavusel 30-60 cm) seisukord on selle aja jooksul märkimisväärselt halvenenud. Mõnes kohas on BDI piirväärtus (100) ületatud või lähedal sellele.



Joonis 12 BDI väärtuste muutumine ajavahemikul 1997 kuni 2006 a.

BCI väärtused, ehk siis aluspinnase tugevust iseloomustav näitaja ei ole viimase 10 aasta jooksul praktiliselt üldse muutunud. Aluspinnase seisukorda iseloomustav BCI väärtus on kõigis mõõdetud punktides selgelt allpool piirväärtust (20) ja seega aluspinnasega probleeme ei esine. (Joonis 13).



Joonis 13 BCI väärtuste muutumine ajavahemikul 1997 kuni 2006 a.

Eeltoodud analüüsi tulemusena võime järeldada, et maantee nr. 18 Niitvälja-Kulna on probleemid - ja kohati väga tõsised – peamiselt teekonstruktsiooni ülemistes kihtides. Mõõtmistulemuste põhjal on selgelt näha, et teekonstruktsiooni ülemised kihid vajavad uuendamist, kuna nende töötamisvõime on praktiliselt ammendunud. Lisaks on võimalik täheldada katendikonstruktsiooni tugevuse vähenemise siirdumist alumistesse konstruktsiooni kihtidesse (teekatte pinnast 30-60 cm sügavusele). Aluspinnase (teekatte pinnast 1,2-1,5 m sügavusel) tugevus on hetkel hea ja see antud analüüsi alusel uuendamist ei vaja.

5. KOKKUVÕTE

Muldkeha remondi projekteerimisel tuleb üldjuhul juhendada samadest nõuetest, mis kehtivad ka uue tee projekteerimisel. Üheks olulisemaks momendiks on olemasoleva katendikonstruktsiooni, mulde ja aluspinnaste seisukorra hindamine selleks, et teha kindlaks vastavate konstruktsioonikihtide välja vahetamise vajadus.

Eriti tähtis on mulde pinnase ja aluspinnase tüübi ja muude omaduste täpne määratlemine, kuna sellest sõltuvad suuresti neile projekteeritavate katendikonstruktsiooni kihtide paksused. Viimased moodustavad tee maksumusest olulise osa ja juba väike kokkuhoid nende paksuses annab märkimisväärse rahalise kokkuhoiu.

Muldkehas olemasolevad/(kasutatavad) pinnased peavad vastama Maanteede projekteerimismäärde esitatud nõuetele. Kui olemasolevad pinnased kehtivatele normidele ei vasta, tuleb nad muldkeha remondi käigus asendada uutega või näha ette meetmed olemasolevate pinnaste omaduste parendamiseks.

Olemasoleva mulde laiendamisel tuleks eelistada pinnase muldesse sobivusel viimase laiendi lükkamist kogu uue laiendatava mulde laiuselt, millele siis veetakse vastavalt projektile näiteks täiendav kogus sobivat pinnast mulde tõstmiseks vajalikule kõrgusele. Sellega välditakse kõrvutiasetsevate erinevate pinnaste võimalikku erinevat käitumist mulde soojus- ja niiskusréžiimi muutumisel ja pikiprao tekkimist mööda olemasoleva mulde ja selle laienduse kokkupuutepinda.

Kui olemasoleva muldkeha laiendamisel ei ole mingitel põhjustel võimalik seda kogu laiendatava mulde laiuselt laiali lükata, vaid laiendus tuleb ehitada juurde veetavast pinnasest, tuleb teha kõik selleks, et vältida võimalikke tekkida võivaid probleeme. Selleks tuleb erilist tähelepanu pöörata:

- laienduse mulde ehituseks kasutatava pinnase valikule,
- laienduse nõuetekohasele tihendamisele ja
- vajadusel erimeetmete (näiteks geosünteedide, kergete mulde materjalide – näiteks kergkruus ja vahtpolüstirool) kasutamisele.

Olemasoleva muldkeha remondi projekteerimisel tuleb sobiv lahendus leida igal üksikjuhul eraldi, vastavalt kohapeal eksisteerivatele tingimustele. Üldist ja kõigjale sobivat ühest lahendust muldkeha remondi projekteerimiseks ei ole olemas.

Muldkeha remondi projekteerimise võib põhimõtteliselt jagada järgmisteks etappideks:

- Olemasoleva teekonstruktsiooni tugevuse hindamine (näiteks FWD);
- Geoloogilise uuringud olemasoleva konstruktsiooni kindlaksmääramiseks (kihipaksused, materjalide ja pinnaste tüübid, pinnasevee tase jmt);
- Geoloogiliste uuringute käigus võetud materjali- ja pinnaseproovide laboratoorsed katsetused;
- Olemasoleva katendikonstruktsiooni, mulde ja aluspinnase seisukorra hinnang ja asendamisele kuuluvate kihtide määratlemine;
- Uue katendi arvutus arvestades geoloogilise ja laboratoorse uuringu tulemusi ning teatud materjalide/pinnaste välja vahetamise otsust nende mittesobivuse tõttu.

KASUTATUD INFORMATSIOONIALLIKAD

1. Civil Engineering, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG.
2. E. Soonurm, Sillasammaste ja – vundamentide projekteerimise metoodiline juhend, Tallinna Polütehniline Instituut, Ehituskonstruksioonide kateeder, Tallinn, 1972
3. Engineering use of geotextiles, Joint Departments of the Army and the Air Force, TM 5-818-8/AFJMAN 32 1030, Washington USA, 1995, 65 lk
4. Geotekstiilid ja geotekstiilidega seotud tooted. Teede ja muude liiklusalade (v.a. raudteed aj asfaltsuletised) ehitamisel kasutamiseks vajalikud karakteristikud, Eesti Standard EVS-EN 13249:2001, 2001, 29 lk
5. Geotextile Technical Handbook, E.I. du Pont de Nemours and Company, http://www.typargeo.com/pdf/drainage_systems.pdf, 2003, 65 lk
6. Geotextile technical manual, Armtec Ltd, Guelph Ontario, 15 lk
7. Geotextiles in road construction, maintenance and erosion control
8. Geotubes - a high tensile strength woven polypropylene geotextile, <http://www.infolink.com.au/articles/f0/0c018ff0.asp>, 2003, 2 lk
9. H. K. Moo-Young, D. A. Gaffney, X. Mo, Testing protsedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes, 19 lk
10. Installation Guidelines, http://www.typargeo.com/en/004/002_3.php?sess_id=34c5e4d9e6c4fd1a6d697b744e468150
11. K. P. von Maubeuge, C. M. Quirk, Geosynthetic Clay Liners and long-term slope stability, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, Manchester, UK
12. Nonwovens Installation Recommendations, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, Germany, 6 lk
13. NorGeoSpec 2002 A Nordic system for specification and control of geotextiles in road and other trafficked areas, Nordic Industrial Fund, 2004, 27 lk
14. Rankilor P. R., UTF Geosynthetics Manual, Manchester UK: Manstock Geotechnical Consultancy Services Ltd, 1994, 287 lk
15. Reuter E., Reinforcement with geosynthetics examples of applications and design, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, 2001, 53 lk
16. Technische Lieferbedingungen für Geotextilen und Geogritter für den Erdbau im Straßenbau, TL Geotex E-StB 95, Köln, 1995, 26 lk
17. The Carbofol geomembrane manufacturing process and its advantages over the blown sheet process, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, Germany, 50 lk
18. Use of geogrids in pavement construction, U.S. Army Corps of Engineers, ETL 1110-1-189, Washington USA, 2003, 36 lk
19. W. Wilmers, Geosynthetics in road construction- german regulations, 14 lk
20. <http://www.geofabrics.com/about.cfm>
21. <http://www.naue.com>
22. <http://www.geoterra.ru/geotextiles.htm>
23. Basal Reinforcement Constructing. Embankments over weak ground. <http://www.tensar-international.com>
24. TENAX Design of Flexible Pavements with Tenax Geogrids, Technical Reference Grid-de-2, 2001
<http://www.tenaxus.com/roads/designinformation/designmanual/FlexiblePavement.pdf>
25. AASTHO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. ISBN 1-56051-055-2. Washington DC, 1993.

26. Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52. Maanteeamet. Tallinn, 2001. 50 lk.
27. Maanteede projekteerimismid. Eelnõu. TTÜ teedeinstituut, 2005. <http://www.mnt.ee/atp/?id=811>
28. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83. Минтрансстрой СССР. Moscow, Transport, 1985. 157 p.
29. ГОСТ 25100-82 Грунты. Классификация. Москва, 1981. 9 lk.
30. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация. lk 6, 20-22.
31. Eesti projekteerimismid, EPN-ENV 7.1. Lisa 9, Geotehniline projekteerimine. Eesti Ehitusinformatsioon, ET-1 0113-0237. Juuni 1998. 6 lk.
32. EVS-EN ISO 14688-1:2002. Geotechnical investigation and testing- Identifications and classification of soils. Identification and description.
33. EVS-EN ISO 14688-2:2004. Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of soils. Principles for a classification.
34. EVS-EN ISO 14689:2004. Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of rock. Identification and description.
35. Teekonstruktsiooni kandevõimest mnt nr 18 Niitvälja-Kulna. AS Teede Tehnokeskus, PMS grupp, Tallinn 2006. 17 lk.
36. Priit Paabo. Teekatendite tugevuse hindamine dünaamilise koormusseadmega. Magistritöö, TTÜ teedeinstituut, Tallinn 2006. 77 lk.