KATEND
arvutused ja mõõtmised

ESTEL / Teede Tehnokeskus

13.10.2026

Ain Kendra, T-Konsult OÜ

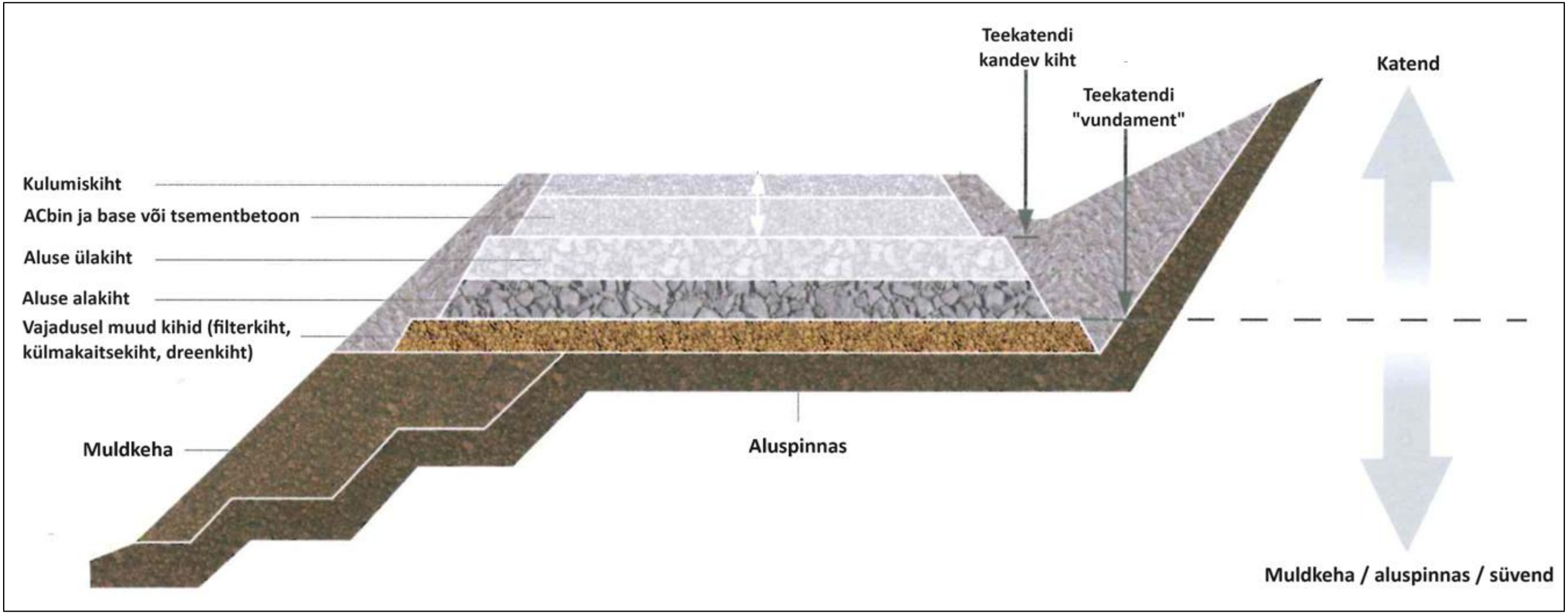
Teemad

1. Terminoloogia. Mis on katend ja mis on muldkeha. Kus jookseb piir. TRAm juhendid uuenevad
2. KAP juhendi olulised muutused - v2.1 - uued siirdetegurid, logaritmvalemi muutus, paarisrataste lukustamine (siirdetegurid arvestavad paaris- ja üksikratastega), kasutusiga kuni 30 aastat, muudatused materjalide/pinnaste lehel. Lisandunud võimalus geosünteetide kasutust arvestada.
3. KAP 2.1 võrguversioon ja Excel. Võrgus ei saa uusi materjale defineerida, kuid võrguversioon talub nõrgema materjali tugevamal alusel (nt punase joone liivaga tõstmine). Arvutustulemuste edastamine tellijale mitte ainult ekraanikuva väljavõttena.
4. Konflikt KAPi arvutuslike tulemuste ja mõõdetava kandevõime väärtuste vahel, mistõttu saame täna soovitada vaid Odemarki valemi rakendust (Soome Excel või meie KRP, mis tugineb puhtal kujul Soome juhendist leitavatele pinnaste/materjalide elastsusmoodulitele) selleks, et insener saaks esitada projektis kandevõime kontrollväärtused, mida sidumata kihtidel saame mõõta. M101 esitatud numbrid ei ole adekvaatsed absoluutväärtustena nii seetõttu et puudub side arvutustega kui ka seetõttu, et määruses on fikseeritud võrdne nõue kõigi asfaltkatte aluste killustikaluste kohta (utreerides – külavaheteest kiirteeni). Lisaks - ka Inspectori seeria seadmete mõõtetulemused ei pruugi olla omavahel samased ega võrdsed Loadmaniga, rääkimata võrdlusest plaatkoormuskatsega.
5. Probleemiks on osutunud nii mõneski projektis tehtud eeldus, et olemasoleva tee rekonstrueerimisel uue konstruktsiooni alla jääva vana osa materjali elastsusmooduli väärtus on valitud ebareaalselt kõrge (kvaliteetkruus) mis oleks eeldanud, et valitud materjali kihipaksus on vähemalt 75 cm kuigi geoloogia seda ei kinnita.
6. Kataloogide kasutus – TRAm ning Tallinna juhis – aluseks on liiklus, mitte koormus
7. TalTech on alustanud uurimistööga - kaheaastane projekt RITA+, mille tulemuseks peaks olema uue tarkvara prototüüp. Tõenäoline alus on Rootsi/Norra ERAPave programm, millest võiks kujuneda EstPAVE. Eesmärgiks on saada rakendus, millega suudaksime katta lisaks katendi dimensioneerimisele ka elukaare kulude ja CO2 emissiooni arvutused.

TPN (projekteerimisnorm, Klim M71 – 2023)

- Nõrga pinnase definitsioon TPN järgi:
  - turvas ja turvastunud pinnas ning selline savipinnas, mille dreenimata nihketugevus looduslikus olekus on alla 40 kilopaskali või mille üldelastsusmoodul on alla viie megapaskali
- Aluseks EVS-EN ISO 14688 ja 14689 ning EVS-EN 16907-2 pinnaste liigitus
  - Nõrkade aluspinnaste korral JA kui muldkeha üle 4 meetri, vajalik geotehnika – muldkeha ja aluspinnase vajumise prognoos ning stabiilsusarvutus
- Oluline on teada, millist kandevõimet eeldame konstruktsiooni all
  - See tähendab, pärast kasvupinnase eemaldamist ja aluspõhja tihendamist
- Ehitusaegse liikluse jaoks vajalik 45 Mpa
- Normitekst vajab korrektuuri; katmata on asulasisesed teed (tänavad)

Terminid - teekonstruktsiooni kihid



Määrus 101 – aluspinnas ja muldkeha

- Määrus vajab tervikuna uut teksti, põhimõtteliselt alustades struktuurist
- Mulde aluspinnase **tihendustegur** peab olema ≥ 0,94 kui projektis ei ole ette nähtud erilahendust.
- Muldkeha ehituskvaliteedi hindamiseks kontrollitakse muldkeha kihtide tihedust
  - Tee muldkeha pinnase tihedust kontrollitakse tihendatavate kihtide kaupa ristlõike kolmes punktis, muldkehal kõrgusega kuni 3 meetrit iga 100 meetri järel ja muldkehal kõrgusega üle 3 meetri iga 50 meetri järel.
  - Liivpinnasest muldkeha tihedustegur peab vastama käesoleva määruse lisas 6 toodud nõuetele. Muudest pinnastest ehitatud muldkeha kihil kontrollitakse tihedust elastsusmooduli mõõtmise teel LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmega. Mõne teise analoogse elastsusmooduli mõõteseadme kasutamisel peavad selle lugemid olema eelnevalt võrreldud LOADMAN-tüüpi seadmega ja mõõtetulemused teisendatud võrreldavaks.
  - Elastsusmoodul, mõõdetuna LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmega või samaväärse seadmega muldkeha pinnal, ei tohi olla väiksem projektis ettenähtust.
  - Elastsusmoodulit mõõdetakse tee teljelt ning mõlemalt poolt vähemalt ühe meetri kaugusel mulde servast.

Määrus 101 – dreenkiht (mis on muldkehas) ja katend

- **Katendi konstruktsioon ja tugevusomadused tervikuna peavad vastama projektis ja käesolevas määruses toodud nõuetele.** Katendi kihtide (kate, alus ja dreenkiht) kvaliteeti kontrollitakse katendi ehitamisel nii eraldi kui ka ühtse tervikuna.
- Dreenkihi ehituskvaliteedi hindamiseks kontrollitakse dreenkihi tihedust
  - Liivpinnasest dreenkihi tihendustegur, mis on pinnaseskeleti tegeliku mahumassi ja sama pinnase optimaalse niiskuse juures määratud maksimaalse mahumassi suhe, peab olema vähemalt 0,98. Liivpinnasest dreenikihi elastsusmoodul, mõõdetuna teel LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmega, peab olema vähemalt 65 MPa.
  - Muudest täitematerjalidest ehitatud dreenkihil kontrollitakse tihedust elastsusmooduli mõõtmise teel LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmega. Elastsusmoodul dreenkihi pinnal ei tohi olla väiksem projektis ettenähtust.
- Aluse tihendamist kontrollitakse elastsusmooduli mõõtmise teel tihendatud kihi pinnal
  - mõõdetuna LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmega vähemalt iga 100 meetri järel ristlõike kolmes punktis (tee teljel ja aluse servast 1,0 meetri kaugusel).
  - Elastsusmoodul tihendatud aluse pinnal peab olema:

    sõiduteel ≥170 MPa; kõnniteel ≥140 MPa; jalg- ja jalgrattateel ≥140 MPa; jalg- ja jalgrattateel, mida kasutatakse teenindava transpordi jaoks ≥170 MPa; eraldussaarel ≥120 MPa.

    …kuid – see ei sõltu katendiarvutusest

Määrus 2 – tee ehitusprojektile esitatavad nõuded

- Eskiis ei ole projekt
- EP-PP-TP
  - Kuivõrd on võimalik TP faasis varem kirjeldatud lahendusi muuta – lukus võiks olla kogu tee geomeetria (mudeli pinna tase), kuid konstruktsioon võiks olla vaba – uus MTJ võiks siin anda suuna.
- Dokumentide prioriteet = graafika – seletuskiri – muud projekti dokumendid
  - Graafika ja mudelprojekteerimine (CAD, BIM) – paberivaba projekt
  - Tööristlõiked = tehniline lahendus mudeli baasilt
  - Materjalide mahud – ei saa kasutada m^2-põhist KUI nõlvad on mistahes kaldega (mitte 90°)
- EP ja PP detailsus ja ulatus
  - EP eesmärgiks on maaeraldus ja HINNANG koguinvesteeringule
  - TP täpsustab põhiprojekti lahendust, KUID kas kogu muutmisvõimalus piirdub materjali asendamisega tugevamaga?
    - Näiteks, kohaliku materjali (pinnase) stabiliseerimise võimalus karjäärimaterjali asemel – eeldusel, et vajalik (projektis toodud) kandevõime muldkehal ja alusel tagatakse

Juhendid – muldkeha (MDPERJ 2020)

uus juhend muudab käsitlust oluliselt

Tabel 5. Muldkeha liivpinnaste vähimad tihendustegurid K_t ja tihedusnäitajad T

Muldkeha kiht ja niiskuspaikkond	Kihi sügavus h teekatte pinnast, m	Püsikatend			Kerg- või siirdekatend		
		Vähimad tihedusnäitajate väärtused					
		Tihen-dus-tegur K_t	Tihedusnäitaja T		Tihen-dus-tegur K_t	Tihedusnäitaja T	
			Load-man	Ins-pector		Load-man	Ins-pector
Aktiivtsoon	$h < H_k + 0,5$ $H_k + 0,5 \leq h < 1,5$	1,00 0,98	1,11 1,24	1,15 1,30	0,98 0,95	1,24 1,43	1,30 1,54
I niiskuspaikkond	$h \geq 1,5$	0,95	1,43	1,54	0,95	1,43	1,54
II ja III niiskuspaikkond	$h \geq 1,5$	0,98	1,24	1,30	0,95	1,43	1,54

Märkused:
1. H_k – katendi paksus, m.
2. Tihedusnäitaja T – Loadmani või Inspectori mõõtmistsükli 3 viimase mõõtmistulemuse (6-s, 7-s ja 8-s) keskmise (ΣE/3) ja teisena mõõdetud elastsusmooduli (E(2)) suhe (T=ΣE/3 / E(2)).
3. Tihendustegur K_t - pinnaseskeleti tegeliku tiheduse suhe sama pinnaseskeleti maksimaaltihedusse standardsel *Proctorteim*il.

- 2.2.10 Projektis peavad olema määratud **dreenkihi, mulde kihtide ja mulde aluspinnase** nõutav kandevõime.
- 2.2.15 Juhul kui dreenkiht projekteeritakse, siis dreenkihi kandevõime peab olema määratud vastavalt katendiarvutusele.
- 4.11 … Aluspinna tugevus pärast tihendamist peab vastama katendiarvutuses eeldatud aluspinnase tugevusele. … Aluspinnase kandevõimet võib hinnata aluspinnase tüübi järgi näiteks InfraRYL Osa 1 tabel 18110:T1 järgi arvestades aluspinnase veesisaldust
- 4.18 Paigaldatud ja tihendatud täitepinnase ja täitematerjali **kandevõime peab vastama katendiarvutustes toodud näitajatele.** Kuna kandevõime määramine LOADMAN-või INSPECTOR tüüpi seadmega ei ole mõeldud näitamaks katendiarvutustes toodud kandevõime väärtusi, siis tuleb vajadusel hinnata kandevõime vastavust katendiarvutusele plaatkoormus katsega DIN 18134.
- 4.19 Muldkeha ja dreenkihi tihedust kontrollitakse LOADMAN-või INSPECTOR-tüüpi seadmega elastsusmoodulite suhte mõõtmise teel. Katendiarvutustes kasutatud elastsusmoodulite määramiseks ei sobi LOADMAN-või INSPECTOR-tüüpi seade ja sellega ei mõõdeta ei aluspinnase, mulde ega dreenkihi pinnal vastavat elastusmoodulit. Katendiarvutuses ettenähtud vastava kihi kandevõimet saab kontrollida plaatkoormuskatsega DIN 18134 ja see ei tohi olla väiksem katendiarvutuse projektis ettenähtud vastava kihi kandevõime nõutavast väärtusest.
- KUID – tihendusjuhendi (MA 2006-41) tabel 5 EI KEHTI

Kus ja mis on dreenkiht?

- Reeglina on dreenkihi funktsioonis killustikalus, kuid see peab nõlvale avatud olema
  - Tihendamine piiratud et mitte purustada kivimaterjali
- Reeglina on esimene liivakiht juba muldkeha ülakiht (külmakaitsekiht), aga liiv võib paikneda ka muldkehas allpool
- Ärge kasutage projektis dreenkihi mõistet kui seda spetsiifiliselt vaja ei ole – liivad on külmakaitsekihi rollis. M74 järgi peab dreenkihis filtratsiooni deklareerima ka siis, kui projektis nõudeid ei sätestata
- Uues muldkeha juhendis muutub liivade kasutus OLULISELT
  - Praeguse kavandi järgi
    - Külmakaitsekihis f7 ja Cu>3 (30+ cm)
    - Ülemises meetris f12 ja Cu>2 (max veetasemest kõrgemal)
    - allpool kuivas f35 ja Cu piiranguta, kuid märjas f15 ja Cu>3
    - Kaevandatud muldkeha materjalidel (sh aheraine) ei kontrollita veeimavust, eeldame et täpsustatakse ka orgaanikapiire sest aheraine ei pruugi ka alla 6% olla

Juhendid – killustikalus (KKEJ 2022) – muutus eeldab esmalt M101 muutmist

Kihi tihedus	Vähemalt iga 100 m järel	Kihi elastsusmooduli mõõtmine Loadman- või Inspector-tüüpi seadmega.	Sõiduteel või jalg- ja jalgrattateel, mida kasutatakse teenindava transpordi jaoks ≥ 170 MPa; jalg- ja jalgrattateel ≥ 140 MPa; eraldussaarel ≥ 120 MPa.
	4 mõõtmist km kohta	Plaatkoormuskatsega EVS 934	Plaatkoormuskatsel vastavalt katendiarvutusele, kuid mitte vähem kui $E_{V2} \geq 150$ MPa ja $E_{V2}/E_{V1} \leq 2{,}5$

- Uues juhendis muutub mõõtesagedus – ruutmeetripõhiseks – kuid muuta on vaja MÄÄRUST
- Loadman- ja Inspector-seadmete kasutus – vajab eraldi analüüsi ja uuringut, sest
  - Loadman ja Inspector ei ole samased, seadmete vaheline seos on tugev, kuid nende vahel kordaja 1,17 (Tehnokeskuse varasemast tööst)
  - Uuemad Inspector-seadmed (6 kg langev raskus, Inspectori mudelid 5, 7) annavad selgelt suuremad tulemused samadel pinnastel (killustikalustel)
  - Ka tänased kontrollarvud ei tugine uuringutel vaid on kokkuleppelised ajahetkelt, kus puudus piisav kogemus nende seadmete kasutusest

Faktid

- Inspector ≠ Loadman (Tehnokeskuse kandevõime uuringust)
- Inspectoriga tihendusteguri leidmine ei kannata kriitikat
  - Talviste kommentaar 2006 juhendi tabelile nii 2022 alusuuringus kui 2024 tihenduse uuringus
- Inspectori tulemuste korrelatsioon plaatkoormuskatsega on madal (2024 tihenduskontrolli uuringust), kõrge vaid juhul, kui mõõdetav kiht on halvasti tihendatud
  - Inspector ja Loadman kasutavad mõõtmisel kõrget pinget, mistõttu mõõtmistulemus (E) iseloomustab katseseeria käigus tihendatud materjali omadusi, mitte ehitatud kihti
- KAPi arvutustulemused ei ole mõõdetavad mistahes seadmetega, põhiliselt seetõttu, et liivade (ja pinnaste) elastsusmoodulid mõõtmistel jäävad oluliselt madalamaks kui KAP eeldab
- Soome juhise (038/2018) alusel tehtud arvutustulemused peaksid olema mõõdetavad plaatkoormuskatse ja sellega võrreldud seadmetega
- Juhis on tõlgituna TrAm veebis leitav (kuigi tõlkes on olulised osad kaduma läinud)

Arvutused – KAP 2.0 ja KAP 2.1

KATENDI ARVUTUS - KAP v2.0
Kurena 2.0

Koormussagedus: 9820 normtelge ööp/rajale
Maantee klass: 1 — Tugevustegur: 1.03
Teekatendi liik: Püsikatend — Töökindlustegur: 0.98
Normhälbetegur 1.71
Pinnas: D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne kerge li
Niiskuspaikkond: 2, niiske
Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0.05
L1.T3 p1; -0,05=-0.05
Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A
Ratta jälje läbimõõt: 37 cm
Erisurve kattele: 0.6 MPa
Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas
Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

Lisainfo: Teise etapi konstruktsioon

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubatavad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-hõõrde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastiksasfalt - SMA	3.0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	7.0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	9.0	1400	800	2200	0.6731	0.8935			
4	Komplekstabi kiht asfaldipurust teel segatud - KS	20.0	700							
5	Paekillustik (LA≥35)	15.0	240							
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv Cu 2...3]	30.0	105					38.0	0,005	5.0
7	Tm_90 [uFSa - ühtlaseterine peenliiv Cu 2...3]	50.0	90					36.0	0.004	4.0
ALUS	D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne kerge liivsavi		**33.0**					13.3	0.010	1.5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa: t_{arv}	Nihkepinged MPa: t_{lub}	Varu %	Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			25.4%	433.25	335.45	
1	Killustikmastiksasfalt - SMA	3.0					433.25		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	7.0					401.14		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	9.0	Asfaltbetooni tõmbepinged			24.7%	312.47		
4	Komplekstabi kiht asfaldipurust teel segatud - KS	20.0					230.94		
5	Paekillustik (LA≥35)	15.0					117.62		
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv Cu 2...3]	30.0	Nihkepinged	0.0044	6.3892	99.9%	84.42		
7	Tm_90 [uFSa - ühtlaseterine peenliiv Cu 2...3]	50.0	Nihkepinged	-0.0008	0.0041	119.9%	65.17		
	D - tolmne saviliiv, raske tolmne saviliiv, tolmne ke		Nihkepinged aluspinnasel	0.0038	0.0038	0.000%			0.792
	Katendi kogupaksus	134.0					Parandustegur Δ		0.039

KATENDI ARVUTUS - KAP_2.1
Juhendi (2026) näide

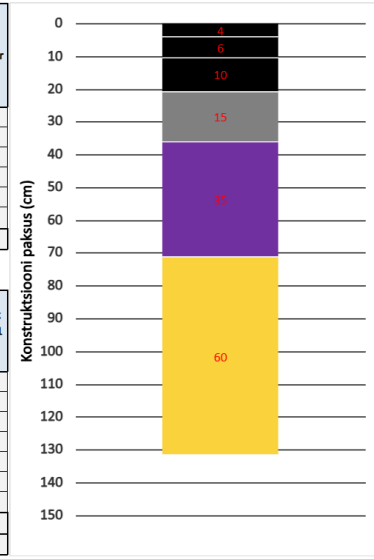
Koormussagedus: 5000 normtelge ööp/rajale — Tugevustegur: 1.03 — Niiskuspaikkond: 3, liigniiske (märg) — Arvutuslik koormus: Normtelg (100kN)
Liiklussagedus (AKÖL): 6000–14500 — Töökindlustegur: 0.98 — Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0.02 — Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0.9
Teekatendi liik: Püsikatend — Normhälbetegur 1.71 — KAP_2.1 Tabel 16:p1+p5; -0,05+0,03=-0.02
Tee funktsioon: 2+2 põhimaantee
Lisainfo: Arvutuskoht PK...+...

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R_{max}	Lubatavad tõmbe-pinged R_{lub}	Sise-hõõrde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	SMA killustikmastiksasfalt	4	3200	1800	4500					
2	AC surf; AC bin asfaltsegu	6	2400	1200	3600					
3	AC base asfaltsegu	10	1400	800	2200	0.5981	0.8959			
4	TS - Tsementstabiliseeritud kiht uutest materjalidest seguris se	15	900	900	900	0.1877	0.5289			
5	Tard- või paekivikillustik (LA≤35)	35	280							
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv]	60	105					38.0	0.005	5.0
ALUS	D - WLR=25...70; erinevad sõelkõverad		**29.7**					12.1	0.009	1.5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja: Kriteerium	Nihkepinged MPa: t_{arv}	Nihkepinged MPa: t_{lub}	Varu %	$E_{üld}$ (MPa)	E_{vaj} (MPa)	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Üldine elastusmoodul			42%	494	338	
1	SMA killustikmastiksasfalt	4					494		
2	AC surf; AC bin asfaltsegu	6					440		
3	AC base asfaltsegu	10	Asfaltbetooni tõmbepinged			33%	365		
4	TS - Tsementstabiliseeritud kiht uutest materjalidest seguris se	15	Tõmbepinged ts. stab. kihis			65%	263		
5	Tard- või paekivikillustik (LA≤35)	35					157		
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv]	60	Nihkepinged	0.0002	0.0079	98%	72		
	D - WLR=25...70; erinevad sõelkõverad 0,063...2 MM VÄHEM KUI		Nihkepinged aluspinnasel	0.0042	0.0042	1%			0.824
	Teekonstruktsiooni kogupaksus	130					Parandustegur Δ		0.066



Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	130
2. Klimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	8.0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	0.0
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	100.0%

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides

Pinnased ja materjalid – mis muutus

- Asfaldi loetelu on täiendatud
- Killustiku LA35 piiri käsitlus on muutunud – LA35 on veel E280
- Senise GOSTi põhise vahemiku asemel määrab sõelkõvera D50
- Väga oluline on teada terastikulist koostist, sest pinnase liigitust on ilma selleta väga raske piisavalt täpselt määrata.

Lõimis	Voolavuspiir (W_L, Rootsi koonus)	Klass	EVS-EN ISO14688-1; EVS-EN ISO14688-2	B väärtus
<0,1 mm üle 25%	<10	B	siSa, clSa	1
	<10	B	saSi, saclSi, sasiCl, saCl	2
	<10	B	Si, clSi, siCl, Cl	4 (4,5)
0,063...2 mm >50%	10-25	A	siSa, clSa	3
	10-25	A	saSi, saclSi, sasiCl, saCl	3,5
0,063...2 mm ≥40%	25-40	C		5 (8)
	40-50	C	siSa, clSa	4 (4,5)
	40-50	C	saSi, saclSi, sasiCl, saCl	3 (3,5)
0,063...2 mm <20%	10-25	D		5 (8)
0,063...2 mm 20%...40%	10-25	D		4 (4,5)
0,063...2 mm >40%	25-40	D		5 (8)
	40-50	D		4 (4,5)
	50-70	D		3 (3,5)

Jrk. nr.	Kihi nimetus	E-moodul, MPa	Sisehõõrde nurk ϕ^o	Nidusus c, MPa
1	Tuhkbetooni freespuru	150	40	0,01
2	Munakivi-, parkettkivi sillutis	500	-	-
3	Pinnatud freespurukate	400	-	-
4	PS_Killustiku ja freesipuru segu (50:50)	350	-	-

Jrk. nr.	Materjali nimetus	Katendi arvutamisel			
		Elastsele vajumile	Nihkele	Tõmbele	
		E_1 (10°C)	E2 (20°C)	E_3 (0°C)	R (tõmbetugevus)
1	SMA killustikmastiksasfalt	3200	1800	4500	2,8
2	AC surf; AC bin asfaltsegu	2400	1200	3600	2,4
3	MA valuasfalt	2400	1200	3600	2,4
4	AC base asfaltsegu	1400	800	2200	1,6
5	PA dreenasfaltsegu	1400	800	2200	1,6
6	AC surf kergasfaltsegu (B160/220)	1400	800	2000	1,2
9	MSE seguris / teel segatud	950	600 / 500		-
10	Vana mustkate või asfaltkate	1400	800		-
11	MUK mustkillustikust kiht	800	-	-	-
12	Kerg- ja sügavimmutus	450	-	-	-
13	BS bituumenstabiliseeritud kihid asfaldipurust: - seguris segatud - teel segatud		600 500		- -
14	KS kompleksstabiliseeritud kihid: - seguris segatud - teel segatud		800 700		- -
15	TS tsementstabiliseeritud kihid: - uutest mineraalmaterjalidest seguris segatud - uutest mineraalmaterjalidest teel segatud		900 700		0,6 0,4

2. Tabelis toodud arvutuslikud väärtused (nidusus, sisehõõrdenurk ja elastsusmoodul) on kehtivad ainult katendiarvutustes (max 1,5 m sügavuses katte pinnast).
3. Tugevama (E, φ ja c tabeliväärtused peavad olema ≥ projektsest) materjaliga asendamine ei vaja kooskõlastamist ja/või uusi arvutusi.
4. Killustikust katendikihtide ehitamise juhendile (KKEJ) mittevastav killustik.
5. **Peenosiste sisaldus teekonstruktsiooni ülemises meetris vastavalt:** [Lisa_1_Muldkeha_ja_dreenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhis dreenivuse tagamise lisa 1.pdf]

Tabel 21. KAP arvutuslehe kohustuslik lisa – materjalide ja pinnaste klassifikatsioon, esitatud nõuded ja arvutusparameetrid.

(Tm) kategooria	Arvutusparameetrid			Plastsus EVS-EN ISO 17892-12	Sõelkõver	Lõimise-tegur	Peenosiste sisaldus (deklareeritud)	Nimetus
	E (MPa)	Sisehõõr denurk φ (°)	Nidusus c (MPa)	Rootsi W_L	EVS-EN ISO 14688-1	Cu	%	EVS-EN ISO 14688-1; EVS-EN ISO 14688-2 (va killustikud, Tm_65 ja E, F ja G)
_280	280						Vt. KKEJ	Tard- või paekivikillustik (LA≤35)
_240	240				-			Pae- või kruuskillustik (LA>35 ja $C_{50/30}$ või $C_{50/10}$)
_200	200						≤15	Olemasolev killustikalus[4]
_180	180	45	0,03		-			Sidumata segu (KN Määrus 101 lisa 10)
_150	150	43	0,01	-	2 < D50 ≤ 63 mm	≥6	(vt. märkus 5)	Gr – Kruus
_135	135	42	0,008			-	≤15	Gr – Kruus
_E	160	41	0,03	Liiva-kruusa-killustiku segu nõutud omadused vt. p.6.2.1				
_F	110	36	0,02					
_G	60	31	0,01					
_130	130	42	0,007		0,5 < D50 ≤ 2 mm	>3		Kruusliiv, jämeliiv
_115	115	40	0,006			2 < Cu ≤ 3		Mõõdukalt ühtlaseterine jämeliiv
_120	120	40	0,006	-	0,25 < D50 ≤ 0,5 mm	>3	(vt. märkus 5)	Keskliiv
_105	105	38	0,005			2 < Cu ≤ 3		Mõõdukalt ühtlaseterine keskliiv
_100	100	38	0,005		0,063 < D50 ≤ 0,25 mm	>3		Peenliiv
_90	90	36	0,005			2 < Cu ≤ 3		Mõõdukalt ühtlaseterine peenliiv
_75	75	33	0,005		0,063 < D50 ≤ 2 mm	≤2		Ühtlaseterine liiv
_65	65	40	0,005	<35	>0,25 mm >50%	-	≤15 (vt. märkus 5)	Täitematerjal_65

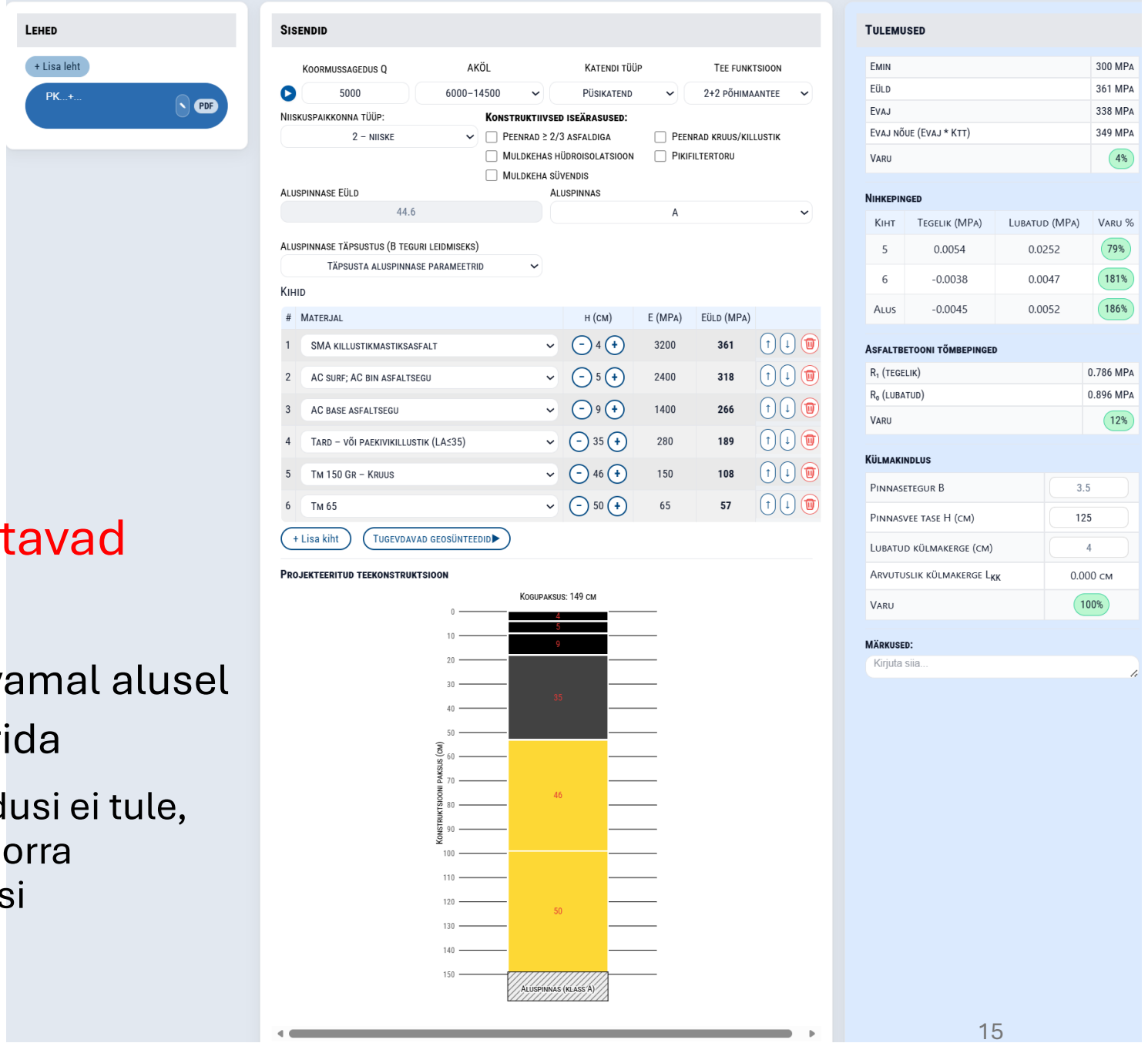
Tabel 23 EVS-EN ISO 14688-1 ning -2 peenpinnaste pinnase grupp (Tm_A…D)[11]

Pinnase-grupp	Pinnase nimetus	Plastsusnäitaja WLR (Rootsi koonus)	Plastsusarv IPC (Casagrande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
				Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
A	Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa Liivane möll - saSi Liivane savimöll - saclSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl	10-25	1-10	2 - 0,063	> 50
B	Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa Liivane möll - saSi Liivane savimöll - saclSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl Möll - Si Savimöll - clSi Möllsavi - siCl Savi - Cl	< 10	< 1	Ei määratleta	Ei määratleta
C	Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa Liivane möll - saSi Liivane savimöll - saclSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl Kruusaga mölline liiv - grsiSa Kruusaga savine liiv - grclSa	25 - 40	10 - 18	2 - 0,063	≥ 40
	Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa Liivane möll - saSi Liivane savimöll - saclSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl	40 - 50	18 - 27		
	Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa Liivane möll - saSi Liivane savimöll - saclSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl	50 - 70	27 - 44		
D	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 - sagrclS	10 - 25	1 - 10	2 - 0,063	20 - 50
	Möll - Si Savimöll - clSi Möllsavi - siCl Savi - Cl Kruusane möll - grSi Kruusane möll-savi - grclSi Kruusane savimöll - grsiCl Kruusane savi - grCl	10 - 25	1 - 10		< 20
	Kruusaga liivane möll - grsaSi Kruusaga liivane savi - grsaCl Liivaga kruusane möll - sagrSi Liivaga kruusane savi - sagrCl Kruusaga liivane möllpinnas - grsasiS Kruusaga liivane savipinnas - grsaclS Liivaga kruusane möllpinnas - sagrsiS Liivaga kruusane savipinnas - sagrclS	25 - 40	10 - 18		< 40
	Liivane möll - saSi Liivane savimöll - saclSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl Möll - Si Möllsavi - siCl Savimöll - clSi Savi - Cl	40 - 50	18 - 27		< 40
	Möll - Si Möllsavi - siCl Savimöll - clSi Savi - Cl Kruusane möll - grSi Kruusane savimöll - grsiCl Kruusane möllsavi - grsiCl Kruusane savi - grCl	50 - 70	27 - 44		< 40

Märkus: Kuna pinnasegrupp B kohta ei määratleta sõelkõvera osas nõudeid siis antud pinnasegruppi võib kasutada juhul kui vaadeldav pinnas ei klassifitseeru ühessegi teise pinnasegruppi (A, C ja D) ning ei sobi ka tabel 21 kohaseks materjaliks, mida oleks võimalik KAP'is aluspinnaseks arvestada.

KAP 2.1 veebis

- Aluseks uued siirdetegurid
- Logaritmseos on uuendatud
- Katendi kasutusiga 30 aastat
- Kuid numbrid ei ole ikka mõõdetavad
- Veebiversioon
  - talub ka nõrgemat materjali tugevamal alusel
  - Kuid ei lase uut materjali defineerida
- Järgmised kaks aastat tõenäoliselt uuendusi ei tule, SEST TalTech uurib RITA raames Rootsi/Norra katendiarvutuse kasutuselevõtu võimalusi



Tasakaalustatud siirdetegurid KRP vs KAP 2.1

Probleem, mis tuleb lahendada
SAPA ja VAAB klassi vahekoht
Et pikemad/raskemad pakiautod oleksid adekvaatselt arvestatud
Ärge püüdke arvestada detailsemat sõiduki kategooriat

Tabel T10.1. Arvutusveokite teljekoormuse taandamise siirdetegurid

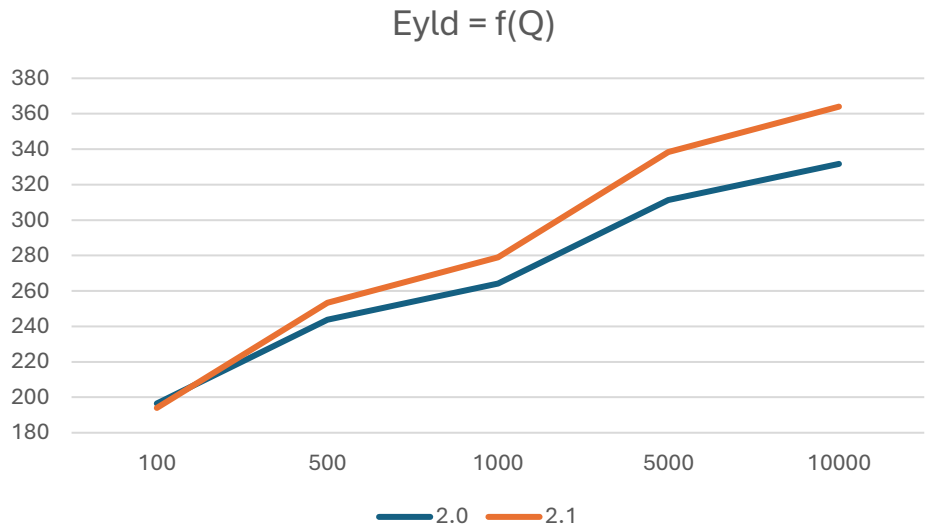
Liik	Teljed	Siirdetegur
Keskmine veoauto (VK)	1+1	*0,4*
Kaheteljeline raske veoauto (VR2; 18 tonni)	1+1	2,66
Kaheteljeliste veoautode keskmine (VA2)	1+1	*1,5*
Kolmeteljeline raske veoauto (VR3; 26 tonni)	1+2	2,56
Neljateljeline raske veoauto (VR4; 32 tonni)	2+2	4,33
Keskmine buss (BK2)	1+1	*0,4*
Kaheteljeline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

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

KRP KAP

	Kaalupunkt			Sillad			Kokku			
			total			total				
3 SAPA	0.00	0.00	119780	0.00	0.00	7795	0.001	0.002	127575	12.02%
4 SAPA	0.00	0.00	8198	0.00	0.00	560	0.001	0.001	8758	0.83%
2 soolo	0.51	0.71	284910	1.97	2.74	12160	0.672	0.937	297070	28.00%
3 soolo	1.70	2.39	55015	4.26	5.96	11479	1.986	2.787	66494	6.27%
2+2 soolo	2.02	2.82	6886	10.27	14.75	1047	2.924	4.130	7933	0.75%
1+3 soolo	2.49	3.52	1839	9.86	14.04	1655	3.301	4.676	3494	0.33%
VAAB+SAPA/h	0.54	0.76	476628	3.83	5.39	27180	0.903	1.267	503808	47.48%
VAAB	*0.74*	*1.04*	*348650*	*3.83*	*5.39*	*27180*	*1.080*	*1.514*	375830	35.42%
2v+2h	1.80	2.54	13916	4.52	6.43	2855	2.098	2.969	16771	1.58%
2s+2h (tõst.t.)	1.62	2.29	129359	4.57	6.54	4635	1.944	2.762	133994	12.63%
2s+3p vann	2.83	4.31	53261	6.92	10.56	10816	3.279	4.995	64077	6.04%
2s+3p reka	2.94	4.48	236264	6.20	9.52	2087	3.302	5.033	238351	22.46%
3v+2h	2.58	3.93	42599	5.24	8.07	1731	2.876	4.389	44330	4.18%
3s+3p reka	4.40	6.75	23159	6.70	10.29	899	4.651	7.140	24058	2.27%
3s+3p vann	5.22	8.02	16819	9.34	14.43	3260	5.677	8.725	20079	1.89%
3v+3h (sh m)	3.79	5.54	6826	5.36	8.01	957	3.964	5.815	7783	0.73%
4v+3h mets	4.93	7.28	2382	6.70	10.10	777	5.123	7.586	3159	0.30%
3v+4h mets	3.61	5.22	2221	5.57	8.31	1142	3.823	5.561	3363	0.32%
4v+4h mets	4.27	6.32	559	5.58	8.03	667	4.415	6.507	1226	0.12%
AUTORONGID	2.71	4.07	527363	6.31	9.53	29826	3.105	4.674	557188	52.52%
									1060996	100.00%

Muutuse mõjud



Q on suurenenud (siirdetegur, ainult 2.1)

VAAB kahanes, kuid osakaal on madal

AR kasvas (ka osakaal tõuseb)

väiksemate teede koormus langes, suurtel tõusis – keskmise muutus on väike

sest meil on palju madala kategooria teid, kus autorongide arv on väike

Q on suurenenud (30 aastat) – KUID, 30 aastat kasutame ainult püsikattel

Q kasvas ca 50%

E=a*logQ+b – valemi tõus on järsem

Enne: a=67,6 ja b=61,3

Nüüd: a=85, b=24

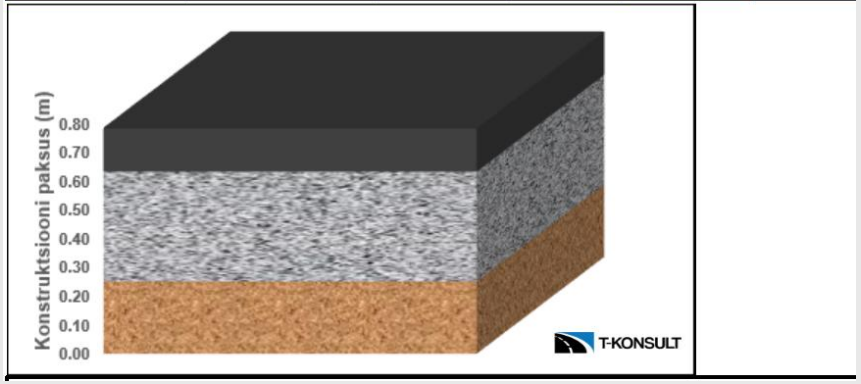
KAP ja põhitõed

- Liiklussagedus ei ole koormussagedus
- Arvutuslik koormus on eeldatava kasutusea summaarne koormus normtelgedes jagatud konstandiga et taandada 15-ndale aastale
  - 30-a kasutusea korral konstant 3450, 20-a korral 5000
- Niiskuspaikkonna valik vastab eeldatavale projektsele olukorrale, mitte geoloogilise uuringu aegsele
- Paljukihilise aluspinnase puhul tuleb põhjendada, miks valiti konkreetne number arvutuslikuks aluspinnaseks
  - Kriitilises profiilis - minimaalne; kaalutud keskmine; valdav
- Miks see on oluline? KUI aluspinnas on valitud tugev ja reaalselt objektil mõõdetav jääb sellele oluliselt alla, siis on ehitajal põhjust joriseda – kes on siis patune?

Mõõdetavus saavutatakse KRP kasutamisega https://t-konsult.ee/krp-arvutamine/

- Materjalide moodulid tuleb valida Soome juhisest, sidumata kihtide paksus vahemikus 15...30 cm

Kuupäev:	23.07.2026			
Materjal	Paksus (max 0,3m)	Hind €/m3	E-moodul	Arvutatud Ey (Ev2)
	0.78 m	51.76 €/m2	MPa	MPa
Asfaltbetoon	0.15	250.00	2500	310
Go 0/31,5	0.18	27.00	280	120
Go 0/31,5	0.20	27.00	200	70
liiv 50	0.15	16.00	50	33
liiv 35	0.10	16.00	35	27
aluspinnas	-	-	25	25



Kandevõime rehkenduse programm

Odemark–Ullidtz meetodil kihilise konstruktsiooni kandevõime arvutus

KONSTRUKTSIOONI KIHID

MATERJAL	PAKSUS (CM)	E (MPA)	ARVUTATUD E	KORREKTSIOON	
Asfaltbetoon	16	2500	**450**	☑	✕
KS (normaalne)	16	1250	**192**	☑	✕
Paekillustik	20	240	**76**	☑	✕
liiv 70 MPa	20	70	**34**	☑	✕

+ Lisa kiht

Soome arvutus – Odemarki valem

$$E_Y = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0{,}81 \cdot \left(\frac{h}{0{,}15}\right)^2}}\right)\frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0{,}81 \cdot \left(\frac{h}{0{,}15}\right)^2}\left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}}$$

- Ey – kandevõime kihi peal, Ea – kandevõime kihi all
- E – materjali elastsusmoodul, h – arvutatava materjalikihi paksus
- Valemit on võimalik kasutada ka kandevõime mõõtmistes – hinnata kas vastab soovitule ja mis teha tuleks – näiteks, asendatava aluspinnase kihipaksuse määramisel

Aluspinnas ja materjalid

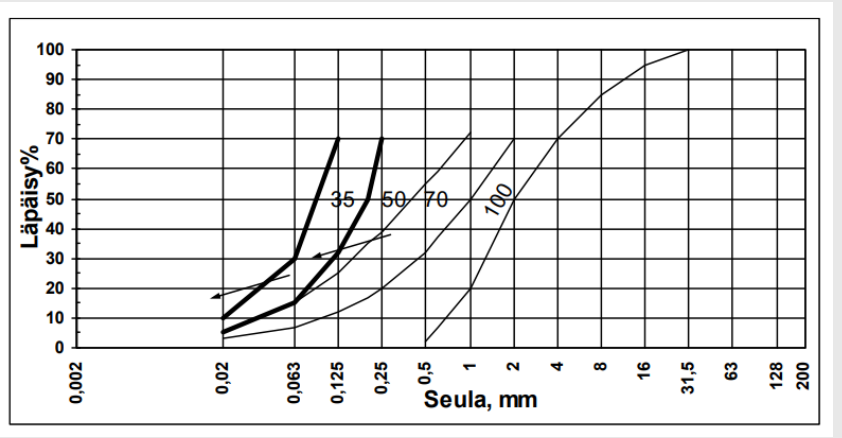
Soome reglement

Taulukko 6 Maan kelpoisuus- ja alusrakenneluokkien sekä alusrakenteen moduulin E ja routaturpoaman t arvojen määrittäminen.

Läpäisy- % pesuseulonnassa			Kelpoisuus-luokka	Moduuli E (MPa) Alusrakenneluokka Routaturpoama t (%)		Informatiivisia tietoja	
	0,063 mm	2 mm		Kuiva	Märkä	Soveltuvuus 1)	Kuvaus
				E = 280 **A** t = 0		Louhe-rakenne	Irtilouhittu kallio tai louhe
				E = 200 **B** t = 0		Kantava Jakava	Murske- tai soratäyttöalue
	< 7	< 70	S1	E = 100 **C** t = 0		Jakava	Sr, srHk (SrMr, srHkMr)
2)	7-15	< 70	S2	E = 70 **D** t = 0	E = 50 **E** t = 3	Penger kuivana	SrMr, srHkMr
	16–30	< 70	S3	E = 50 **E** t = 3	E = 35 **F** t = 6	Penger kuivana	SrMr, srHkMr
	31–50	< 70	S4	E = 35 **F** t = 6	E = 20 **H** t = 12	Penger kuivana	siSrMr, sisrHkMr
	<7	> 70	H1	E = 70 **D** t = 0		Suodatin	Hk, (HkMr)
	7–15	> 70	H2	E = 50 **E** t = 3		Suodatin Penger kuiv.	Hk, HkMr
	16–30	> 70	H3	E = 35 **F** t = 6	E = 20 **H** t = 12	Penger kuivana	Hk, HkMr
	31–50	> 70	H4	E = 35 **F** t = 6	E = 20 **H** t = 12	Penger kuivana	siHk, siHkMr
0,002 mm	**0,063 mm**	**Leikkaus-lujuus**					
< 30	≥ 50		U1	E = 20 **H** t = 12	E = 20 **J** t = 16		Si, SiMr, 3) kerrallinen Sa/Si
≥ 30	≥ 50	≥ 40 kPa	U2		E = 35 **F** t = 6		Jäykkä Sa
≥ 30	≥ 50	< 40 kPa	U3		E = 10 **G** t = 6		Pehmeä Sa
			U4		E = 10 **G** t = 6		Lj

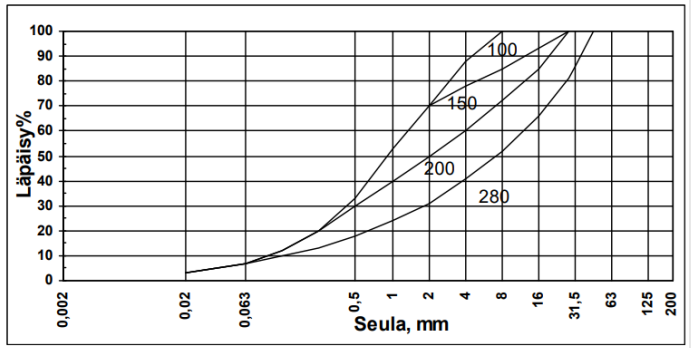
1) Kuvaa mahdollista soveltuvuutta. Soveltuvuus päällysrakenteeseen on varmistettava tarkemmilla tutkimuksilla. Kerrosmateriaalien rakeisuuden laatuvaatimukset on esitetty tarkemmin **InfraRYL**:ssä.
2) Kuuluu luokaan s1, jos läpäisyprosentti 0,02 mm kohdalla on alle 3
3) Kerrallinen savi/siltti (Sa/Si) on maata, jossa saven joukossa on ainakin paikoin silttikerroksia tai sitäkin karkeampia (vettä johtavia) kerroksia
4) Läpäisyprosentit pyöristetään lähimpään kokonaislukuun

LIIVAD



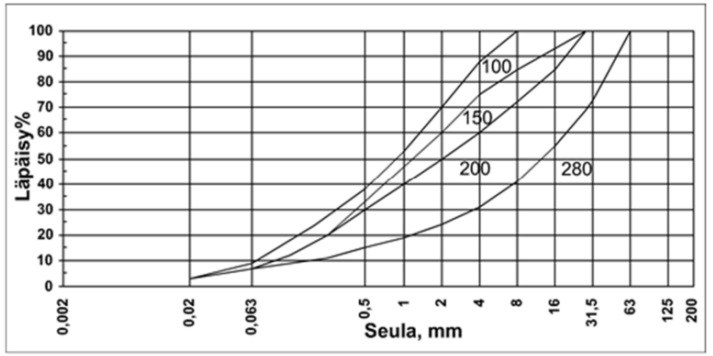
KILLUSTIKUD

Rakeisuusluokka (SFS-EN 13285 ja InfraRYL	Moduuli, MPa			
	100	150	200	280
	Raekoko o/D (D = maksimiraekoko), mm			
G_O	0/8…0/11,2	0/16…0/22	0/31,5	0/40…0/80
G_P	"	"	0/31,5…0/63	0/80
G_A	"	"	0/31,5…0/56	0/63…0/80
G_C	"	"	0/31,5…0/63	0/80
Soratien kulutusk.	0/11,2…0/16			
Soratien sidekerros		0/22…0/31,5		



Moduulit (MPa)	Seulakoko (mm) ja sitä vastaava läpäisy-% enintään									
	0,02	0,06	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
280	3	7	18	24	31	41	52	66	86	100
200	3	7	30	40	50	60	72	85	100	
150	3	7	33	53	70	78	85	93	100	
100	3	7	33	53	70	88	100			

KRUUSAD, kruuskillustikud



Moduulit (MPa)	Seulakoko (mm) ja sitä vastaava läpäisy-%									
	0,02	0,06	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
280	3	7	15	19	24	31	41	55	73	100
200	3	7	30	40	50	60	72	85	100	
150	3	7	33	47	60	75	85	93	100	
100	3	9	38	53	70	88	100			

Soome (KRP) materjalide elastsusmoodulid katendiarvutuses

Materiaali ja laatuluokka	Lyhenne	E, MPa[1)]	Huomautukset[2)]
Asfalttibetoni	AB, ABS, SMA	2500	
Pehmeä asfalttibetoni	PAB-B	1650	
Pehmeä asfalttibetoni	PAB-V	1400	
Kantavan kerroksen asfaltti-betoni	ABK	2500	
Remixerstabilointi 1	REST 1	900 $E_A \geq 70$, n=13	Laiha tai paksu (140…200 mm)
Remixerstabilointi 2	REST 2	1250 $E_A \geq 70$, n=18	Normaali
Komposiittistabilointi 1	KOST 1	900 $E_A \geq 70$, n=13	Laiha tai paksu (200…250 mm)
Komposiittistabilointi 2	KOST 2	1250 $E_A \geq 70$, n=18	Normaali
Vaahtobitumistabilointi 1	VBST 1	700 $E_A \geq 70$, n=10	Laiha tai paksu (200…250 mm)
Vaahtobitumistabilointi 2	VBST 2	1050 $E_A \geq 70$, n=15	Normaali
Bitumiemulsiostabilointi 1	BEST 1	700 $E_A \geq 70$, n=10	Laiha tai paksu (200…250 mm)
Bitumiemulsiostabilointi 2	BEST 2	1050 $E_A \geq 70$, n=15	Normaali
Masuunihiekkastabilointi 1	MHST 1	600 $E_A \geq 80$, n=7,5	28d:n puristuslujuus ≥ 1,5 MPa
Masuunihiekkastabilointi 2	MHST 2	1200 $E_A \geq 80$, n=15	Sementillä tai kalkilla aktivoitu, 28 d:n puristuslujuus ≥2,5 MPa
Sementtistabilointi 1	SST 1	1500 $E_A \geq 80$, n=18	7 d:n puristuslujuus ≥3 MPa
Sementtistabilointi 2	SST 2	3500 $E_A \geq 100$, n=35	7 d:n puristuslujuus ≥5 MPa

*1) **E** = Rakenteen mitoituksessa käytettävä materiaalin E-moduuli (MPa), jos stabiloidun kerroksen alustan kantavuus E_A on vähintään samassa solussa mainittu arvo. Jos E_A on pienempi, mitoituksessa käytettävä E-moduuli on n x E_A. Alustan huono kantavuus huonontaa tiivistystulosta ja suurentaa liikennekuormituksen aikana stabiloidun kerroksen alapinnan vetojännityksiä niin paljon, että E-moduuli jää pieneksi.*

*2) **Laiha** = Sideainepitoisuus alittaa joka toisessa näytteessä stabilointiohjeessa vaaditus pitoisuuden noin 1 prosenttiyksikön, mutta kerros on silti routimaton.*

***Paksu** = Kerralla tehtävän kerroksen paksuus suluissa esitetyn mukainen.*

***Normaali** = Stabilointiohjeen mukainen sideainepitoisuus, paksuus pienempi kuin tapauksessa 'Paksu'.*

Materiaali	E, MPa[1)]	Huomautukset
Betonimurske BEM I	700 $E_A \geq 70$, n=10	Sitomattoman kantavan kerroksen rakeisuus-vaatimukset. 28d:n puristuslujuus ≥ 1,2 MPa.
Betonimurske BEM II	500 $E_A \geq 50$, n=10	Sitomattoman kantavan kerroksen rakeisuus-vaatimukset. 28d:n puristuslujuus ≥ 0,8 MPa
Betonimurske BEM III	280 $E_A \geq 47$, n=6	Sitomattoman kantavan kerroksen rakeisuus-vaatimukset.
Masuunihiekka MaHk	600 $E_A \geq 60$, n=10	28 d:n puristuslujuus ≥ 1,0 MPa
Masuunikuonamurske MaKu	430 $E_A \geq 78$, n=6	Sitomattoman kantavan kerroksen rakeisuusvaatimukset.
Kappalekuona KapKu	350 $E_A \geq 58$, n=6	

*1) **E** = Rakenteen mitoituksessa käytettävä materiaalin E-moduuli (MPa), jos stabiloidun kerroksen alustan kantavuus E_A on vähintään samassa solussa mainittu arvo. Jos E_A on pienempi, mitoituksessa käytettävä E-moduuli on n x E_A.*

- NB! Komposiitti – KS (KOST), TS=SST – kuid siin tuleb jälgida survetugevust
- Šlakikillustik = Masuunikuonamurske

Külmumissügavus

- NSVL – Eestit läbib 1,0/1,5 m külmumissügavuse piir (ca Pärnu mnt joonel) = 125 cm üldine
- Mart Olman – MSc 2014 – külmumissügavuste kaart, arvestades Soome reeglistikuga, tuleb valida liiva veerus lähimad vaatluspunktid ja interpoleerida vajalikud väärtused
- Kuna Klim M71 (TPN) tabel juhindub otseselt Soome normidest, tuleks ka külmakerkearvutuses kasutada sama metoodikat

Tabel 4.6 Lumevaba maapinna keskmised külmumissügavused

Keskmine külmumissügavus, m					
Jaam	**Savi**	**Möll**	**Liiv**	**Kruus**	**Jämedam täide**
Jõgeva	0,91	1,11	1,19	1,35	1,58
Jõhvi	0,95	1,15	1,23	1,40	1,64
Kunda	0,79	0,96	1,03	1,17	1,38
Kuusiku	0,84	1,02	1,09	1,24	1,46
Lääne-Nigula	0,74	0,90	0,97	1,10	1,29
Pakri	0,64	0,78	0,84	0,95	1,12
Pärnu	0,75	0,91	0,97	1,10	1,30
Ristna	0,46	0,55	0,59	0,67	0,78
Sõrve	0,46	0,56	0,60	0,68	0,79
Tallinn-Harku	0,74	0,91	0,97	1,10	1,29
Tartu-Tõravere	0,86	1,04	1,12	1,26	1,49
Tiirikoja	0,91	1,11	1,19	1,35	1,58
Türi	0,85	1,04	1,11	1,26	1,48
Valga	0,85	1,04	1,11	1,26	1,48
Viljandi	0,85	1,04	1,11	1,26	1,48
Virtsu	0,64	0,78	0,83	0,94	1,11
Võru	0,86	1,04	1,12	1,27	1,49
Väike-Maarja	0,96	1,17	1,25	1,42	1,67
Kihnu	0,61	0,74	0,79	0,90	1,06
Vilsandi	0,45	0,54	0,58	0,66	0,77
Sämi	0,93	1,13	1,21	1,37	1,62
Tudu	1,01	1,23	1,32	1,50	1,76
Koodu	0,84	1,02	1,09	1,24	1,45
Oandu	0,79	0,96	1,03	1,17	1,38
Saku	0,87	1,05	1,13	1,28	1,51
Dirhami	0,70	0,85	0,91	1,03	1,21
Himmiste	0,96	1,17	1,25	1,42	1,67
Karja	0,74	0,90	0,96	1,09	1,29
Kiisa	0,91	1,11	1,18	1,34	1,58
Oore	0,83	1,02	1,09	1,23	1,45
Pajusi	0,90	1,09	1,17	1,32	1,56
Tahkuse	0,89	1,09	1,17	1,32	1,55
Haanja	1,01	1,23	1,31	1,49	1,75
Konuvere	0,92	1,12	1,20	1,36	1,60
Mauri	1,02	1,24	1,33	1,51	1,77
Vastseliina	1,01	1,23	1,31	1,49	1,75

Külmakerkearvutus (Soome)

https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_web.pdf

Taulukko 6 Maan kelpoisuus- ja alusrakenneluokkien sekä alusrakenteen moduulin E ja routaturpoaman t arvojen määrittäminen.

Läpäisy- % pesuseulonnassa			Kelpoisuus-luokka	Moduuli E (MPa) Alusrakenneluokka Routaturpoama t (%)		Informatiivisia tietoja	
	0,063 mm	2 mm		Kuiva	Märkä	Soveltuvuus 1)	Kuvaus
				E = 280 **A** t = 0		Louhe-rakenne	Irtilouhittu kallio tai louhe
				E = 200 **B** t = 0		Kantava Jakava	Murske- tai soratäyttöalue
	< 7	< 70	S1	E = 100 **C** t = 0		Jakava	Sr, srHk (SrMr, srHkMr)
2)	7–15	< 70	S2	E = 70 **D** t = 0	E = 50 **E** t = 3	Penger kuivana	SrMr, srHkMr
	16–30	< 70	S3	E = 50 **E** t = 3	E = 35 **F** t = 6	Penger kuivana	SrMr, srHkMr
	31–50	< 70	S4	E = 35 **F** t = 6	E = 20 **H** t = 12	Penger kuivana	siSrMr, sisrHkMr
	<7	> 70	H1	E = 70 **D** t = 0		Suodatin	Hk, (HkMr)
	7–15	> 70	H2	E = 50 **E** t = 3		Suodatin Penger kuiv.	Hk, HkMr
	16–30	> 70	H3	E = 35 **F** t = 6	E = 20 **H** t = 12	Penger kuivana	Hk, HkMr
	31–50	> 70	H4	E = 35 **F** t = 6	E = 20 **H** t = 12	Penger kuivana	siHk, siHkMr
0,002 mm	**0,063 mm**	**Leikkaus-lujuus**					
< 30	≥ 50		U1	E = 20 **H** t = 12	E = 20 **J** t = 16		Si, SiMr, 3) kerrallinen Sa/Si
≥ 30	≥ 50	≥ 40 kPa	U2		E = 35 **F** t = 6		Jäykkä Sa
≥ 30	≥ 50	< 40 kPa	U3		E = 10 **G** t = 6		Pehmeä Sa
			U4		E = 10 **G** t = 6		Lj

1) Kuvaa mahdollista soveltuvuutta. Soveltuvuus päällysrakenteeseen on varmistettava tarkemmilla tutkimuksilla. Kerrosmateriaalien rakeisuuden laatuvaatimukset on esitetty tarkemmin **InfraRYL**:ssä.
2) Kuuluu luokaan s1, jos läpäisyprosentti 0,02 mm kohdalla on alle 3
3) Kerrallinen savi/siltti (Sa/Si) on maata, jossa saven joukossa on ainakin paikoin silttikerroksia tai sitäkin karkeampia (vettä johtavia) kerroksia
4) Läpäisyprosentit pyöristetään lähimpään kokonaislukuun

- Külmumissügavus S
- Külmuva kihi paksus P = S – Rred
- Liivaks taandatud konstruktsiooni paksus Rred = sum (a_i *R_i)
  - a – väärtused
    - liivadel ja seotud kihtidel 1,0; kruus, kruusliiv, killustik 0,9;
    - üle 30 cm purustatud kaljupinnas 0,8; slakikillustik 1,6; slakiliiv 1,7;
    - 0,7 m sügavusel kergkruus ja vahtklaasikillustik 4,0; samas sügavuses XPS ja EPS 20,0
- Külmakerke ulatus Rn_{lask} = P*t/100, kus t on külmakerke protsent tabelis 6. Arvestusse võetakse vaid pinnased, mille t on suurem kui 3

Lubatud külmakerge

- M71 on praegu T34, kuid linnatänavatel täna regulatsioon puudub.
- Ilmselt rakendub Soome piirväärtus siis kaudselt

Tabel 34. Külmakerke arvutuslik suurim väärtus teekattel ja sidumata kihi siirdekiilu vähim kalle tee konstruktsiooni muutmisel

Tee tüüp	Projektkiirus km/h	Külmakerke suurim lubatud arvutuslik väärtus teekattel mm: Ühtlaste omadustega aluspinnas: Üldreegel	Ühtlaste omadustega aluspinnas: Hüdraulilise sideaine kasutamisel tee konstruktsioonis	Ebaühtlaste omadustega aluspinnas	Sidumata kihi siirdekiilu vähim kalle tee konstruktsiooni muutmisel
Maanteed	100 ja 110	70	70	10	1:30
	80 ja 90	100	70	10	1:20
	60 ja 70	130	70	30	1:15
	40 ja 50	160	100	70	1:10
Muud teed ja kergliiklusteed	–	160	100	70	1:7

Tabel 8. Lubatud arvutuslik külmakerge RN_{lub}, mida võrreldakse valemi 3 abil saadud arvutusliku külmakerkega RN_{arv}

Nõueteklassid V1…K2 ja neid kirjeldavad näitajad, näiteks arvutuslik kiirus ja sõidukite arv ööpäevas	Suurim lubatud arvutuslik külmakerge (RN_{lub}): Ühtlase kvaliteediga aluskonstruktsioon: Ilma terasvõrguta: Standardne konstruktsioon	Ühtlase kvaliteediga aluskonstruktsioon: Ilma terasvõrguta: Kahjustuste suhtes tundlik konstruktsioon 1)	Ühtlase kvaliteediga aluskonstruktsioon: Terasvõrk 2)	Ebaühtlase kvaliteediga aluskonstruktsioon: Ilma terasvõrguta	Ebaühtlase kvaliteediga aluskonstruktsioon: Terasvõrk 2)	Siirdekiilu kalle 1 : k 3)
V1, kiirteed (Mo, Mol)	30	30	30	0	0	1 : 40
V2, põhiteed (Vt, Kt) 80–100 km/h	70	70	100	10	10	1 : 30
V3, kohalikud teed 80…100 km/h ja sõidukite arv ööpäevas üle 1000 sõiduki	100	70	130	10	10	1 : 20
V4, kohalikud teed 60 km/h või sõidukite arv ööpäevas alla 1000 sõiduki ja ühendusteedel sõidukite arv ööpäevas üle 1000 sõiduki	130	70	160	30	100	1 : 15
V5, ühendusteed, sõidukite arv ööpäevas maksimaalselt 1000 sõidukit	160	100	piiramatu	70	130	1 : 15
R1, servatugedega, 80 km/h ja sõidukite arv ööpäevas üle 1000 sõiduki	30	30	30	0	0	1 : 30
R2, servatugedega, 50…70 km/h, sõidukite arv ööpäevas üle 1000 sõiduki	70	70	100	10	10	1 : 30
R3, servatugedega, alla 50 km/h, sõidukite arv ööpäevas alla 1000 sõiduki	Nagu V4 või kohaliku (vallakohase) praktika kohaselt					
R4, kanalisatsiooniga varustatud või muid äravoolutorusid sisaldav	70	70	70	0	0	1 : 30
K1, JK+PP tee, spetsiaalne, kõva kattega	100	70	160	30	130	1:10
K2, JK+PP tee, tõstetud	Nagu sõidurajal (R1, R2 või R3)					

1) Kehtib lõhatud materjali, vahtplasti või tsemendiga stabiliseeritud materjali (SST) sisaldavate konstruktsioonide kohta.
2) Terasvõrgu all mõistetakse „**InfraRYL-ile**" vastavat, pinnase külmumisest tingitud pikipragude vältimiseks ette nähtud terasvõrku või pikipragusid sama tõhusalt ära hoidvat (vähevenivat) võrku või muud lahendust.
3) Siirdekiilu kalle on suhtarv, mis näitab, kuidas laugjalt liivaga täidetud siirdekiilu õhendatakse kuni teekonstruktsiooni kihipaksuseni. Muudest materjalidest, kaasa arvatud soojustusmaterjalidest valmistatud kiilu pikkus on samasugune nagu liivakiilu pikkus.
4) Betoonpiirde tõttu drenaažiga varustatud Mo, Mol : siirdekiilu kalle vastavalt V1-le

Mitmesugused parklad, erilahendused

- Sõiduautoparkla = 0,3 AB = 170 MPa (KRP) = min 4 cm asfalti
  - Tüüpiline kõrvaltänav, kus koormuseks on prügiveok
- Raskesõidukiparkla = 2,0 AB = 285 Mpa (KRP) = min 10 cm asfalti
  - Raskesõidukite manööverdamisala kui liiklus pole suur

- Laadimisestakaadid raskesõidukitele – betoon või õhuke asfaltkate paksemal stabialusel, ei dimensioneeri
- Erikoormused – suuremad teljekoormused, asümmeetria – taandame 4-nda astme reegliga tavakoormuseks

TRAm kataloog - valiku alus – AINULT liiklus

- Võimalik kasutus – asulavälised väikese liiklusega teed

Tabel 24 Katendikataloog

	Konstruktiivne	E_{vaj}=180 MPa	E_{vaj}=290 MPa
Püsikatend	**Kergliiklustee, eramute mahasõidud, sõiduauto parkla**	**500-1500 AKÖL ja bussipeatused** (max 20 bussi/ööpäevas)	**Mahasõidud raskeliikluse (metsa-ja karjääriteed jms) jaoks, kaevetööde tsoonis katendi taastamine.**
AC surf 12 või 16	5	4	7 (AC16)
AC base 20 või 32	-	6	10 (AC32)
Killustikalus LA≥35, E_{min}=240MPa	20	30	40
Liivakiht Tm_90 või parem	20	28	40

	E_{vaj}=140 MPa
Kergkatend	**300-1500 AKÖL**
Pindamistehnoloogia	2x
MSE20 (või AC surf 160/220)	8
Kruusalus (segu 1-4)	50

	E_{vaj}=120 MPa		
Siirdekatend	**0-300 AKÖL**	**100-300 AKÖL**	**300-500 AKÖL**
Pindamistehnoloogia	- / 2x(50-100 AKÖL)	2x	2x
Purustatud kruus (segu 5 või 6)	12	-	-
Killustikalus LA≥35 (ülemine 6cm immutatud)	-	-	12
Freespuru või segu 5 või 6.	-	8	-
Kruusalus (segu 1-4)	45	45	40

1. Kruusaluse ja kruuskatte materjalinõuded (segu number) valida Majandus- ja taristuministri kehtivast „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ määruse lisast 10;
2. Tabelis on kõik paksused sentimeetrites;
3. Asfaltsegu mark 70/100;
4. Liivakihi deklareeritud maksimaalne peenosiste (0,063mm) sisaldus max 5% (**f5**). Paigaldatud kihis 7%;
5. Killustikaluse minimaalsed nõuded KKEJ tabel 1 järgi:
    a. AKÖL < 500: veerg nr. 7;
    b. AKÖL ≥ 500: veerg nr. 6.
6. Asfaltsegude minimaalsed nõuded vastavalt EVS 901-3 standardile:
    a. AC surf täitematerjali minimaalsed nõuded tabel 7 järgi:
        i. AKÖL < 900 kui on soolatatav lõik siis kasutada minimaalselt EVS 901-3 45% tard- ja moondekivimi nõuet;
        ii. AKÖL ≥ 900.
    b. AC base täitematerjali minimaalsed nõuded tabel 9 järgi.
7. Võib kasutada paremat materjali (näiteks võib kasutada Tm_90 asemel Tm_105);
8. Kui on teada, et kergliiklustee katendil hakkavad liiklema tavapärasest raskemat tehnikat (kaubaautod, raskem talihooldetehnika) siis tuleb valida kataloogist tugevam konstruktsioon või projekteerida lahendus.
9. Mahasõit – antud tabelis liituva tee liiklussagedusega alla 20 autot ööpäevas.
10. Geosünteetide kasutus vastavalt kehtivale geosünteetika juhendile.

Konstruktsioonide võrdlus, alternatiivid

- Vahet pole, kuidas alge konstruktsioon on arvutatud (või kas on)
- Leiame KRP-ga algse konstruktsiooni kandevõime
- Optimeerimisprotsess KRP raames – asendada materjale ja kihipaksusi, kuid eesmärgiks on saavutada algse konstruktsiooni KRP-järgne tugevus
- Nii saame igale kihile mõõdetava kandevõime väärtuse (E_{V2})
- Põhiline erisus (KAP vs KRP) tuleneb liivade käsitlusest

Kataloogide kasutus, eelkõige Tallinna oma

- Tehtud ühele aluspinnasele (liiv) ja ühe külmumissügavuse järgi (Tallinn)
- Juhises vananenud arusaamad nii pinnaseliigitusest, külmaohtlikkusest kui külmumissügavusest
- Liikluse numbrid saame liiklusmudelitest, Tallinna kodukalt leidub 2016 ajalugu, kuid nii Stratumil kui K-Projektil ja linna Transpordiametil on mudelid, kust on võimalik saada vajalik prognoos (nt: 2040); rusikareegel 20a=20%
- Mudelist tuleb ÕTT liiklus mõlemal suunal – kokku ja korrutatud 10-ga = AKÖL
- Teistest linnadest – Tartul ja Pärnul on kindlasti ka 2040 olemas, mujal pole nii kindel – kuid tõenäoline diapasoon (juhise kategooriate vahes) on lihtsalt võimalik – palju ei eksi
- Koormusgrupp võib olla üks väiksem või üks suurem vastavalt reaalsele raskeliikluse osakaalule – Martiseni MSc analüüsist

Tallinna kataloog ja ehitusprotsess

- Kataloogis on aluspinnase eelduslik kandevõime (45) ja iga kihi numbrid. Kõik kandevõimed on E_{V2} (plaatkoormuskatse)
- Tegelikud mõõtetulemused ja probleem hanke või lepingutekstiga
  - KUI rek. tööde käigus jõutakse projektse liiva pinnani (eelduslik 59 Mpa) ja tegelik mõõtetulemus on parem ning puudub mõjuv põhjus olemasoleva pinnase asendamiseks, ei tuleks seda asendada
  - KUI tööde käigus jõutakse projektse liiva alapinnani (aluspinnas) ja tegelik mõõtetulemus on nõrgem, tuleb teha kontrollarvutused ja tagada killustikaluse peal vajalik arvutuslik kandevõime – seda on võimalik saavutada kas täiendava aluspinnase asendamisega või asendades osa liivast killustikuga

Eesmärk – Linnade ja Valdade Liiduga

Tallinna kataloogi baasil täiendada selliseks, et oleks kasutatav igal pool üle Eesti – ei ole mõtet igale omavalitsusele oma juhendeid teha

- Erinevad aluspinnased
  - valikud, kui aluspinnased on nõrgemad – muldkeha ja aluse tasemel
- Külmumissügavuse/külmakerke arvestus
  - KAP eeldab 125 cm igal pool, kuid reaalne vahemik on 60…133 cm
  - Külmakerke arvutus ja lubatud piir – TRAM: 4-6-10 cm kuid M71 annab laiemad piirid sõltuvuses ristlõikest (äärekiviga või ilma), liiklussagedusest ja kiirusest
- Paindlik reglement
  - KUI kandevõime on olemas, ei pea aluspinnaseid asendama; kui kandevõimet pole, peab kohapeal improviseerima ning kalkulatsioonid KRP-ga kontrollima

Kandevõime ja tihendusteguri mõõtmistest

- **Tihendustegur** – pigem penetromeetriga, kuigi võimalik ka kergseadmetega – KUID mitte LWD seeria käigus fikseeritud muutuse baasil vaid materjalidele vastavad seadmepõhised kandevõimetasemed
- **Kandevõime** – seniste teadmiste järgi (TTÜ 2024), kas Saksa või Taani koolkonna LWD seadmed või plaatkoormuskatse, mitte Inspector
- Mida on näidanud Tehnokeskuse uuring 2026, saame varsti teada – ainult muldkeha kihtidel tihendusteguri, mitte kandevõime mõõtmiseks sobilike seadmete võrdlus

Kergseadmed ja kandevõime

- Soome (Loadman, Inspector), Saksa (Zorn, HMP) ja Taani (Dynatest, Sweco Prima) – kõik on erinevad; Soome/Saksa seadmed fix pingega (võimalik lisatald)
  - Langev raskus 5…20 kg; koormustald 100…300 mm; MPa = koormus kN jagatud pindalaga
- Kui tahame võrrelda mõõtetulemusi arvutatuga, tuleb mõõta sellisel pingel, mis antud kihi tööolukorras esineb.
- UK lähenemine – kolm kandevõimediapasooni, igas diapasoonis eraldi leitakse seos seadme tulemuste ja FWD vahel sama tööpingega, korrelatsioonitunnistus kehtib aasta.
  - Sihttase – 80% arvutuslikust 5 järjestikuse mõõtmise libiseva keskmisena, min = 50% arvutuslikust
- Mullatööde juhendi (MTJ) lähenemine – mistahes seade, mis rulli läbikute järel näitab tulemuse muutust alla 10%, määrab see tase vajaliku kandevõime. KAS saab kasutada? Näidu stabiilsus.
- Aluse võrdluskatsed tuleb veel teha, 2024 töö selles osas pigem indikatiivne

Dynatest ja Itaalia praktika

- Mõõtmised – 70 kPa pingel 300 mm tallaga
- Sidumata alus – 80 Mpa kandevõime, KUID mõõta soovitatakse 24 h pärast tihendamist
- Stabialused – 4 h pärast tihendamist – 60 Mpa mõõdetav; 24 h pärast tihendamist – 200 Mpa mõõdetav. Kui see (24h) saavutatud, ei ole vaja laboratoorseid katseid ja võib paigaldada järgmise kihi

Järeldus

- Pinnaste ja liivade tihenduskvaliteeti on võimalik hinnata läbi elastsusmooduli mõõtmise madala pinge režiimis töötavate kergdeflektomeetritega (Saksa ja Taani koolkonnad) – näis kui palju saame targemaks Tehnokeskuse uue uuringuga
- Projekteerija peab (riigiteedel) tegema katendiarvutuse KAPiga, mille eesmärgiks on konstruktsioonikihtide dimensioneerimine vastavuses koormuse ja konstruktsiooni kasutuseaga
  - Kas kasutada KAP 2.0 (20 a) või KAP 2.1 (30 a) annab ette tellija
- Projekteerija peab andma projektis ka mõõdetavad kandevõimetasemed, selleks saab soovitada Odemarki valemi kasutust, mis eeldab materjalide moodulite väärtuste kasutust vastavuses Soome juhendiga (aluspinnas tabelist 6, materjalid tabelitest või graafikutelt). Võimalik nii Soome Excel kui KRP – seda saab käsitleda kontrollarvutusena, mitte dimensioneerimisena.

TalTech ja tulevikuvisioon = EstPave

- Kristjan Lill ja Sven Sillamäe; Ain Kendra, Tiit Kaal ja Luule Kaal ning tudengid
- Rootsi (ja Norra) EraPave rakenduse kohandamine
  - Kui Soome liitub, siis püüaksime sisse tuua ka mõõdetava kandevõime (Odemarki valemi)
- Parem ülevaade meie koormustest – Ääsmäe-Kernu ja Adavere kaalupunktid
  - Suudavad eristada üksikratast/paarisratast
- Kliimaerisuste detailsem arvestus – kui Rootsis on ca 200 ilmajaama andmed aluseks, piisaks Eestis ca 20 vaatluspunktist
  - Materjalide omadused sõltuvad temperatuurist, pinnastel niiskusest
  - Karli Kontsoni doktoritöös uuritud bituumeni omaduste kliimaseoseid
- CO2 ja LCC ehk elukaare kulude arvestus (50 aastat)
  - CO2 on TKTK poolt enamvähem olemas, LCC veel mitte (töös)
  - Elukaare kulude probleem – seni oleme tegelenud vaid ehitusprotsessiga, ei ole selge hooldustööde ajastamine/maht ega ka teekasutaja kulude jaotus
- Roopasügavuse prognoos
- 2028 septembriks toimiv prototüüp (mitte võrgupõhine lahendus)

Tänud tähelepanu eest – ja – jälgige mängu

- Uued juhendid – muldkeha, elastsed katendid, stabi
- Olulised arengud – aluspinnaste stabiliseerimine, et saavutada projektis eeldatud tasemed, kui tegelik aluspinnas on nõrgem
- Kergseadmete kasutus ja võrdlus objektil erinevate baasmeetoditega
  - Penetromeeter, lõikerõngas, vee- või liiva mahupõhised võtted
  - Plaatkoormuskatse
  - Rulli läbikud katselõigul, kuni LWD näit ei parane uue läbikuga üle 10%
- Inglismaa praktika – FWD ja LWD võrdluskatsed ning korrelatsioon, siis poleks objektipõhist võrdlust aasta jooksul vaja teha