

**Graniitkillustiku kui
kohaliku ehitusmaterjali
kasutusvõimalused,
lubjakivi asendusväärtuse
eksperthinnang**



**Graniitkillustiku kui kohaliku ehitusmaterjali
kasutusvõimalused, lubjakivi asendusväärtuse
eksperthinnang**

Töö koostas: Luule Kaal
Projektijuht

Töös osalesid: Valev Kuusemäe
Tegevdirektor

Tallinn, 2009

Eessõna

Käesoleva uurimistöö on tellinud Maardu Graniidikaevandus OÜ.

Uurimistöö eesmärgiks on anda ülevaade graniitkillustiku kasutusest ehitusvaldkonnas, kasutuse avardamisvõimaluste kohta konstruktsioonides ning analüüsitakse tee-ehituse elutsüklit. Kuna suurem osa Eestis vajaminevast graniitkillustikust kasutatakse teedehituse tarbeks, on antud üldine ülevaade ka teekonstruktsioonist ja seda mõjutavatest teguritest. Lisaks analüüsitakse ka lubjakivikillustiku asendusväärtuse eeldatavaid miinimum-maksimum suuruseid.

Töö peamine eesmärk – arvestades tänast lubjakivikillustiku hinda ja kvaliteeti – missugune on majanduslik põhjendatus asendada lubjakivikillustik graniitkillustikuga.

Sisukord

Eessõna	1
Sisukord	2
1. Graniitkillustiku kasutamine ehituses	3
2. Graniitkillustiku kasutusvõimaluste avardamine konstruktsioonides	5
3. Teekonstruktsioonist üldiselt	7
4. Katendi konstruktsiooni mõjutavad peamised tegurid	11
5. Katendi projekteerimine	15
6. Katendi hooldus ja taastusremont	18
7. Tee-ehituse elukaar	23
8. Ülevaade mõningatest Eestis tehtud uurimistöödest	27
9. Teede olem	33
10. Eesti riigimaanteede remondivajadus	39
11. Laiendatud kasutuse majanduslik mõju investeeringute suurusele, investeeringu- ja eksploatatsioonikuludele. Lubjakivikillustiku asendusväärtuse eeldatavad miinimum-maksimum suurused	45
12. Kasutatud kirjandus	57

1. Graniitkillustiku kasutamine ehituses

Ülevaade graniitkillustiku kasutusest ehitusvaldkonnas

Tugeva kristalse struktuuri tõttu on graniit hea ehitusmaterjal. Ta ei kulu ega murene nii kiiresti, kui nt betoon. Graniiti kasutatakse laialdaselt nii avalike hoonete kui ka elamu- ja teedehituses. Graniidi peamised kasutusvaldkonnad on:

- Teedehituses – asfaltbetoonsegud, teekatete pindamiseks, äärekivid, sillutiskivid, sõelmed libedusetõrjeks;
- Üldehituses – betoontooted, raudbetoontooted; paneelid, talad, postid, piirded, seinafassaadikivid jne;
- Dekoratiivmaterjalina – hoonete põrandad, fassaadid, trepid; töötasapinnad.

Betoonist sillutuskivid ja äärekivid on graniidiga võrreldes vähem vastupidavad. Eestimaine kõikuv kliima ja agressiivne kasutuskeskkond rikub betooni küllalt intensiivselt ning mõnigi sillutus- või äärekivi võib juba 5 aasta jooksul praguneda, muuta tunduvalt oma värvi või täiesti laguneda. Samas, üldreeglina, on betoonkivid graniidist tunduvalt odavamad ning leiavad seetõttu laialdast kasutust.

Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liidu (EETL) andmetel kasutatakse Eestis 0,5...1 mln tonni graniitkillustikku (siin on arvestatud nii teede- kui ka üldehituse tarbeks). Täpsem statistika, millises mahus erinevate toodete tootmiseks seda kasutatakse, EETL-l kahjuks puudub. Sillutuskive toodeti näiteks eelmisel aastal ligi 1 mln m², betoonpaneeli ligi 300 000 m³. Samas kasutatakse betoonpaneelide tootmisel nii lubjakivi- kui ka graniitkillustikku, täpsem info, kui suur osa paneelidest on toodetud graniitkillustikuga, puudub. Graniitkillustikku kasutatakse betoon- ja raudbetoontoodetes sel juhul, kui toodetele on esitatud kõrgemad tehnilised nõuded tugevuse ja ilmastikukindluse osas. Võrreldes eelmiste aastatega on käesoleva aasta esimeste kuudega ehitustoodete tootmismahud langenud 3...5 korda.

Eesti Asfaldiliidu andmetel on teedehituse tarbeks mineva graniitkillustiku minimaalne aastavajadus aastatel 2008-2013 orienteeruvalt 0,7 mln tonni.

Kulukoht	Graniitkillustik, mln tonni	Paekillustik, mln tonni	Kokku, mln tonni
Asfaltsegudesse	0,6	0,5	1,1
Korduspindamiseks	0,1	0,1	0,2
Aluste ehitamiseks		0,6	0,6
Kokku	0,7	1,2	1,9

Tabelis toodud mahud on eeldusel, et:

1. Asfaltsegude tootmise maht jääb saavutatud tasemele, s.o. ~1,5 mln tonni.;
2. Pindamise maht maanteedel on 1400 km.;
3. Killustikaluseid ehitatakse:
 - a. Uutele ja taastatavatele maanteedetetele (kokku ~140 km);
 - b. Linnatänavatele (suuremad objektid).

Erinevate killustikega tehtud pindamistööd 2008.a.

Killustik	Pindamistöödeks kasutatud killustikku, tuhat m²
Graniitkillustik	7 422
Kruuskillustik	3 502
Paekillustik	213
Muud	0
Kokku	11 137

Asfaltsegude tootmine aastatel 2004...2008

Aasta	Toodetud asfaltsegusid, tuhat tonni/aastas
2004	1 103
2005	1 164
2006	1 482
2007	1 487
2008	1 507

Raudtee-ehituses kasutatakse graniitkillustikku aastas ligi 0,1 mln tonni.

Eestis dekoratiivkivina kasutatava graniidi osakaal on väike.

2. Graniitkillustiku kasutusvõimaluste avardamine konstruktsioonides

Lubjakivikillustiku kasutamine ehitusvaldkonnas

Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liidu andmetel on paekillustiku tootmismahud ja prognoositud nõudlus toodud järgnevas tabelites.

Killustiku müük (mln tonni) ning nõudluse protsentuaalne muutus võrreldes eelnenud aastaga.

2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
3	3	3,5	4,6	5,5	5,2	4,5-5
	-2%	+22%	+28%	+19%	-5%	

Paekivikillustiku nõudlus ja tootmismahud aastatel 2005-2006 ning ennustus 2007-2010, mln tonni

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Vajadus	4,5	5,5	5,5	6	6,5	7
Tootmine	4,5	5,5	5,5	6	6	5

Märkus: tuleb arvestada, et see ennustus on tehtud 2007.a. alguses, mil ehitusturu olukord oli oluliselt teistsugune. Käesolevaks aastaks on nõudlus juba vähenenud.

Nõuded täitematerjalidele

Vastavalt Eesti Asfaldiliidu standardile „Asfaldinormid AI ST 1-02“ kehtivad kivimaterjalidele järgmised nõuded:

Omadus	Ühik	Killustiku klass				Katsemeetod
		I	II	III	IV	
Purunemiskindlus Los Angelesi katsel	%	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 35	EVS-EN 1097-2
Kulumiskindlus Nordic katsel	%	≤ 10	≤ 14	PN	PN	EVS-EN 1097-9
Külmakindlus vahetul külmutamisel	%	≤ 2	≤ 2	≤ 4	≤ 4	EVS-EN 1367-1
Terakuju plaatsusteguri järgi	%	≤ 10	≤ 20	≤ 25	≤ 35	EVS-EN 933-3

PN- pole normeeritud.

Asfaldinormides toodud asfaltbetoonsegudes peab enamasti kasutama vähemalt II või III klassi killustikku (osades segudes on lubatud kasutada ainult I klassi

killustikku). IV klassi killustikku on lubatud kasutada vaid mustsegudes ja PAB16 segus.

Vastavalt „Teehoiutööde tehnoloogianõuetele“ (MKMm 13.05.2004; RTL 2004, 65, 1088) tuleb sideainega töötlemata aluste ehitamiseks kasutada vähemalt III klassi killustikku. Ka stabiliseeritud alustes tuleb kasutada vähemalt III klassi killustikku.

Üldehituses kasutatava betooni täitematerjali kvaliteedinõuded on toodud standardis EVS-EN 12620:2005+A1:2008, kus näiteks purunemiskindluse kohta on toodud, et nõudmisel määratakse täitematerjali purunemiskindlus Los Angelesi katsel ning saadud tulemus esitatakse LA kategooriana (LA_{15} – LA_{50} ; $LA_{\text{deklareeritud}}$; LA_{NR} (nõuded puuduvad)).

Lubjakivikillustiku kasutamise senine eelis on tema oluliselt soodsam hind võrreldes graniitkillustikuga. Graniitkillustikku kasutatakse ehitustoodetes sõltuvalt kasutuskohast kõrgemate tehniliste nõuete korral.

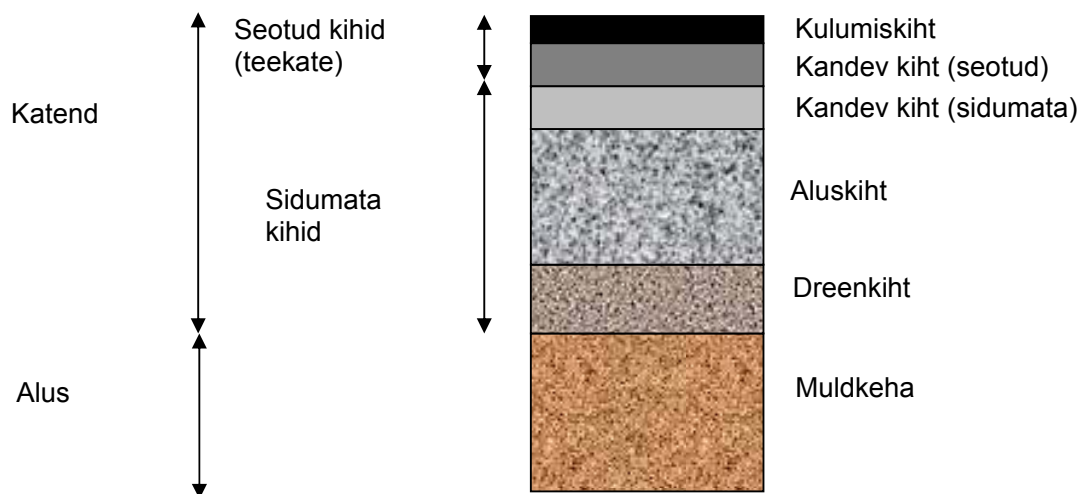
Graniitkillustiku kasutusvajadus tulevikus

Nii lähiaja kui ka pikema aja ehitusturu materjalide ning toodete vajaduse prognoosi ei suuda tänase hetke seisuga tõenäoliselt keegi teha. Nagu eelpool mainitud, on ehitustoodete tootmismahd langenud 3...5 korda ja millal olukord muutuma peaks, ei osata täpselt prognoosida.

Ka teede-ehituses on olukord sarnane – raske on prognoosida killustikuvajadust pikemas perioodis, kui käesoleval hetkel ei osata prognoosida kütuseaktsiisi laekumist, millest teede-ehituse ja korrashoiu maht otseselt sõltub. Viimane kinnitatud pikaajaline teehoiukava oli tehtud aastateks 2006-2009. Viimastel aastatel on Maanteeameti poolt tehtud teehoiukava mitmeid versioone, kuid seni pole ametlikult kinnitatud neist ühtegi. Maanteeameti poolt on käesoleval aastal Rahandusministeeriumile esitatud memorandum teehoiukava asjus, kuid seda praegusel hetkel ei avalikustata. 29.aprillil toimus Maanteeametis pressikonverents, kus avalikustati muuhulgas ka 2009.a. suuremad teetööd. Edasiste aastate kohta teedeehituses täpsem info puudub.

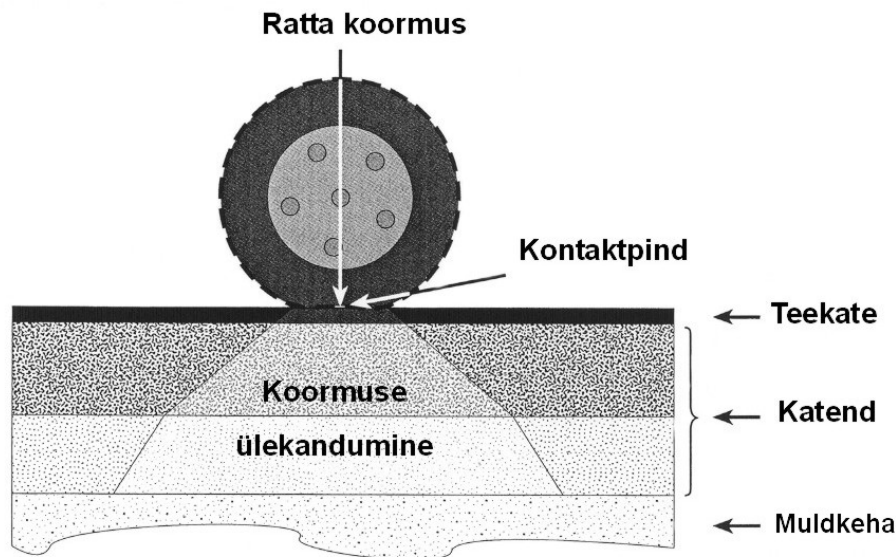
3. Teekonstruktsioonist üldiselt

Teekatend on mitmekihiline looduslikest või sideainetega töödeldud kivimaterjalidest konstruktsioon, mis võtab vastu transpordivahendite koormuse ja jaotab selle mulde pinnasele. Katend koosneb kolmest põhikihist – kattest (katendi kõige ülemine kiht, mis puutub vahetult kokku liiklusvahendite ratastega), alusest ja dreenikihist ning vajadusel lisakihtidest (külmatõrje, hüdroisolatsiooni- ja kapillaartõusu katkestavad jm kihid). Kate ja alus võivad koosneda mitmest kihist. Katendi valikul tuleb lähtuda maantee klassist, ennustuslikust koormussagedusest, liikluskoosseisust ja hüdrokeoloogilistest tingimustest, arvestades tee-ehituse ja –hoiu majanduslikkust ning keskkonnahoidu.



Joonis 1. Teekonstruktsiooni kihid.

Kate on tavaliselt tee ainuke nähtav osa. Kate on kõige pealmine kiht katendis, mis võib koosneda mitmest erinevast kihist ning võib ulatuda sageli enam kui meetri sügavusele. Katend on tee osa, mis töötab. Sõidukite koormus antakse edasi “maale” ehk looduslikule alusmaterjalile (muldkehale), mis tavaliselt on kandevõime seisukohalt nõrk. Katend jaotab liiklusest tulenevad suured pinnakoormused suurema pindalaga muldkehale, vt joonis 2.



Joonis 2. Koormuse kandumine muldkehale läbi katendi

Katendi moodustavad üksikud kihid erinevad koostise ja paksuse poolest. Katte pinnale lähemal asuvad kihid tehakse suure tugevusega materjalidest (nt kuum asfaltsegu), mis taluvad suuri pingeid. Kuna koormus jaotub alumistes kihtides laiemale pinnale, pinged vähenevad ning võib kasutada kehvema kvaliteediga materjale (nt looduslik kruus). Järelikult on alumistes kihtides kasutatavad materjalid ka odavamad kui need, mida kasutatakse ülemistes kihtides.

Kate, katendi konstruktsioon ja muldkeha teenivad igaüks ise eesmärgi.

Teekate

Katte ülesanne on kaitsta katendi konstruktsiooni liikluse ja keskkonna mõjude eest, toimides vastupidava ja veekindla kihina.

Liiklus mõjutab kate kahel viisil:

- rehvi koormusest katele edasi antud pinged on valdavalt vertikaalsuunalised. Horisontaalne komponent võib saada oluliseks kurvides, järskudel pikikalletel ning kohtades, kus sõidukid pidurdavad. Kattematerjalide tugevusnäitajad peavad taluma kõiki nimetatud mõjusid, ilma et materjal puruneks või deformeeruks;

- rehvide libisemisel, eriti kurvides, toimub pidev kattepinna poleerimine. Ajapikku põhjustab see katte haardeomaduste vähenemist ning kate muutub libedaks ja ohtlikuks, eriti märjana.

Katendi konstruktsioon

Katendi kihtide kaudu toimub pinnale mõjuva koormuse edasikandumine muldkehale. Nagu jooniselt 2 näha, väheneb teekonstruktsiooni kihtide pinnale edasiantav sõiduki ratta koormus katendis sügavuse suurenedes oluliselt ning jaotub lõpuks suures ulatuses muldkeha pinnale. Katend koosneb enamasti mitmest erinevate tugevusnäitajatega materjalikihist, kus iga kiht jaotab ülevalt tuleva koormuse laiemale pindalale. Ülemised kihid võtavad vastu suuremaid pingeid kui alumised ning peavad seepärast olema tugevamast materjalist. Kande kiht moodustab elastse aluse kulumiskihile ning koos katendi aluskihiga lisab teekonstruktsioonile kande võimet. Aluskiht takistab kapillaarvee tõusu katendisse. Tee kande võime on muutuv eri aastaegadel – kevadel sulades vähendab teekonstruktsioonis olev vesi kande võimet; suvel ja talvel kuivas olukorras on tee kande võime parem. Korralikul drenaazil ja heal teekattel on oma osa kande võime parendamisel. Drenaazikiht on alati vajalik, kui mulde materjal on külmakerkeohtlik.

Materjali käitumine koormuse rakendamisel sõltub suuresti materjali elastsetest omadustest ning koormuse iseloomust (ulatus, koormatuse aste jne). Materjalide olulisemad tunnusjooned on järgmised:

- täitematerjal, mille hulka kuuluvad killustik ja kruusad, annab talle rakendatud koormuse edasi struktuuri üksikute osakeste ehk skeleti kaudu. Osakeste vaheline hõõre säilitab struktuurilise terviklikkuse, kuid korduva koormamise korral (millele lisandub tihti niiskusesisalduse tõus) esineb järk-järgulist tihenemist osakeste liikudes üksteisele lähemale. See protsess võib aset leida ükskõik millises katendi kihis, kuid lõpptulemuseks on katte deformeerumine. Selline deformatsioon väljendub harilikult rattaroobaste tekkimises;
- seotud materjalid, kuhu hulka kuuluvad stabiliseeritud materjalid ja asfaltbetoon, käituvad nagu plaat. Rakendades plaadi pinnale vertikaalset koormust tekitab see plaadi ülemises pooles horisontaalseid survepingeid ning alumises pooles horisontaalseid tõmbepingeid, kusjuures maksimaalsed horisontaalpinged esinevad ülemisel ja alumisel pinnal. Pingete tagajärjel tekkinud deformatsioon, eriti tõmbedeformatsioon alumises pinnas, viib lõpuks väsimuspurunemiseni.

Kihi alumises pinnas tekivad praod ning kui koormuse rakendamine jätkub, levivad need vertikaalselt edasi.

Looduslikes materjalides esinev deformatsioon ja seotud materjalides esinev väsimuspurunemine on tingitud korduvast koormuse rakendamisest. Seepärast määratakse katendi eluiga selle järgi, mitu korda saab katendit koormata enne kui see laguneb.

Muldkeha

Looduslik materjal, millel katendi konstruktsioon asetseb, võib olla kas olemasolev (süvend) või kohaletoodud materjal (täide). Muldkeha tugevusnäitajatest sõltub katendi konstruktsiooni tüüp, mida on vaja pinnakoormuse jaotamiseks nii, et ei tekiks jääkdeformatsiooni.

4. Katendi konstruktsiooni mõjutavad peamised tegurid

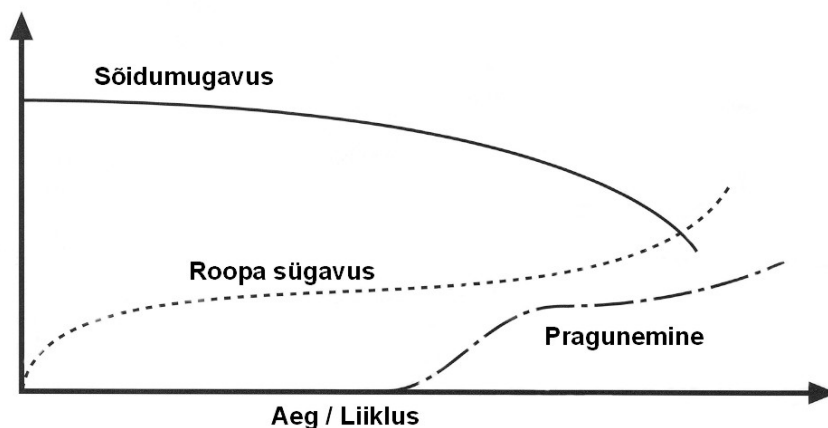
Lisaks liiklusele mõjuvad teepinnale päike, tuul, vihm, lumi ja muud loodusjõud. Loodusjõudude mõju teepinna omadustele väljendub:

- termilises toimes, mis põhjustab materjali paisumisel ja kokkutõmbumisel mahumuutusi. Olulist rolli mängib teepinna temperatuuri päevane kõikumine. Kõrbepiirkonnas võib musta värvi kattega teede puhul olla koidiku ja keskpäeva vaheline temperatuurikõikumine üle 50 °C, samal ajal kui talvises Arktikas on tee lume all suhteliselt ühtlasel temperatuuril;
- külmumise toimes, mille tagajärjel tekib nähtus, mida kutsutakse külmakerkeks. Korduvad külmumis/sulamistsüklid tekitavad teedele suuri kahjustusi;
- kiirguse toimes, mis tekitab teepindadele nn päikesepõletusi. Ultraviolettkiirgus põhjustab bituumeni oksüdeerumist ja muudab selle rabedaks. Seda protsessi tuntakse vananemise nime all.

Teede suurim vaenlane on vesi. Veega küllastumine muudab materjalid pehmeks ning vesi toimib koormuse rakendamisel osakeste vahelise määrdena. Kuivade materjalide kandevõime on alati suurem kui märgade oma ja mida nidusam (savitaolisem) materjal on, seda tundlikum on ta niiskuse suhtes. Lisaks sellele paisub külmumisel katendis leiduv vesi ning põhjustab ulatuslikke kahjustusi. Seega on väga oluline hoida ära vee sattumist katendisse, eriti selle alumistes kihtides olevatesse kehvema kvaliteediga materjalidesse.

Katendi lagunemist põhjustavad tegurid

Katendid lagunevad mitmel põhjusel, kuid kaks kõige olulisemat on keskkonna mõjud ja liikluskoormus. Harilikult mõõdetakse katendi lagunemist kaudselt, hinnates tee sõidumugavust, kuid olulised on ka nähtavad tunnused, nagu roopa sügavus ja katte pragunemine. Jooniselt 3 on näha, kuidas aja möödumise ja liikluskoormuse liitmõjude toimele need kolm tegurit muutuvad. Katendite järk-järgulist lagunemist põhjustab keskkonnategurite ja liikluskoormuse koosmõju.



Joonis 3. Katendi kahjustuste näitajad

Keskkonnategurid

Keskkonnategurite tagajärjel tekivad kattesse praod. Põhiliselt on see tingitud päikese ultraviolettkiirgusest, tänu millele bituumen ajapikku aeglaselt kõveneb. Kõvenemisega kaasneb elastsuse vähenemine, mis põhjustabki pinna jahenedes ja kokku tõmbudes pragude teket. Kui katte terviklikkus on pragunemise tõttu juba rikutud ning vesi pääseb konstruktsiooni sisse, hakkab katend üha kiiremini lagunema.

Liiklusest tingitud mõjud

Liikluskoormus on tegur, mille mõjul tekivad roopad ning algab katendi konstruktsioonist alguse saav pragunemine. Iga sõiduk põhjustab vähesel määral katendi konstruktsiooni ajutist deformatsiooni. Kerge sõiduki poolt põhjustatud deformatsioon on nii väike, et see ei oma tähtsust, kuid raske sõiduk põhjustab suhteliselt suuri deformatsioone. Paljude sõidukite liitmõju tagajärjel tekib järk-järgult jääkdeformatsioon ja/või väsimuspragunemine. Ülekoormatud teljed tekitavad katendi konstruktsioonile disproportsionaalse hulga kahjustusi, kiirendades nii katendi lagunemist.

Lagunemist põhjustavad kaks katendi konstruktsioonis aset leidvat mehhanismi:

- jääkdeformatsioon, mis on tingitud tihenemisest, mille käigus liiguvad korduva koormamise tagajärjel katendikihi üksikud materjaliosakesed üksteisele lähemale ning kaovad osakeste vahelised tühikud. Täitematerjalid viib poorsuse vähenemine tugevuse suurenemisele (tihedad materjalid on tugevamad), kuid asfaldi puhul on asi vastupidine. Poorsuse vähenemine asfaldis mitte ainult ei

põhjusta rattarobaste teket, vaid ka seda, et bituumen hakkab käituma nagu vedelik, luues keskkonna hüdraulilisele survele, mida tekitab rattakoormus. See omakorda põhjustab külgsuunalisi nihkeid ehk teekatte lainetamist roobaste servades;

- seotud materjalide väsimuspragunemine. Praod saavad alguse kihi põhjast, kus rattakoormusest tingitud tõmbepinged on maksimaalsed. Edasi levivad praod pinnale. Alumise materjali jääkdeformatsioon halvendab olukorda veelgi, suurendades rattakoormustest tulenevaid tõmbepingeid.

	Teekatte defekt	Mõjutav tegur
Liikluskoormus		
Kulumiskihi kulumine	Roopad	Täitematerjali kvaliteet, kohalikud tingimused
Seotud kihi väsimine	Piki- ja võrkpragu	Teekonstruktsioon, seotud kihi omadused
Katte pragunemine	Piki- ja võrkpragu	Õhuke kate ja nõrk kandev kiht
Konstruktsiooni deformatsioonist tulenev katte pragunemine	Piki- ja võrkpragu ning tasasuse probleemid	Õhuke kate, nõrk kandev kiht, kitsas tee
Seotud kihtide püsivad deformatsioonid	Roopad	Seotud kihtide omadused, aeglane liiklus, kohalikud tingimused
Muldkeha püsivad deformatsioonid	Piki- ja põikpraod; tasasuse probleemid	Materjali omadused, konstruktsioon, kohalikud tingimused
Keskkonnategurid		
Katte kahanemine	Põikpraod	Bituumeni kvaliteet, konstruktsioon
Bituumeni kõvenemine	Pragunemine, lagunemine	Bituumeni kvaliteet, poorsus
Külmakerked	Tasasuse probleemid, pragunemine	Materjali omadused, konstruktsioon, kohalikud tingimused
Liiklus- ja keskkonnategurid		
Peegelduspragu	Pragunemine	Konstruktsioon

Teekonstruktsioon töötab alati tervikuna ehk muutus mingis kihis mõjutab kogu konstruktsiooni toimivust. Üksikud defektid kiirendavad ka teist tüüpi defektide tekkimist. Nt praod kiirendavad katte väsimist, ebatasasust ja roobaste tekkimist.

Pragunemise tagajärjed

Kui pragu tungib läbi kaitsva teekatte pinna, pääseb vesi katendi konstruktsiooni alumisse ossa. Vee nõrgendav toime põhjustab teekonstruktsiooni tugevuse

vähennemist, mis omakorda põhjustab rataste korduskoormuse all katendi üha kiireneva lagunemise.

Lisaks sellele toimib vesi veega küllastatud materjalis katendi koormamisel lõhkuva tegurina. Valdavalt vertikaalsete rattakoormuste mõjumisel tekib veega küllastunud materjalides hüdrauliline surve ning selle tulemusena lõhutakse kiiresti mineraalmaterjali struktuur ja väheneb nake asfaltbetoonis oleva bituumeni ja kivimaterjali vahel. Sellistes tingimustes surutakse tekkinud peeneteralised fraktsioonid piki pragusid ülespoole (tuntakse pumpamiseefekti nime all) ja selle tagajärjel tekivad katendis tühimikud. Peagi tekivad kahjustatud katendi pealiskihti lõõkaugud ning katend laguneb kiiresti.

Kui temperatuur langeb alla 4 °C, paisub katendis olev vaba vesi, tekitades hüdraulilise rõhu isegi ilma rattakoormuseta. Pragunenud katendile mõjuvad kõige kahjulikumalt külmakerkeid põhjustavad korduvad külmumis/sulamistsüklid.

5. Katendi projekteerimine

Katendi arvutuse aluseks on tema kasutusaja lõpus aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (AKÖL, autot/ööpäevas) autotüüpide kaupa, millest arvutatakse koormussagedus. Ennustusliku koormussageduse määrab projekteerija liiklusloenduse analüüsi või muude kaalutluste põhjal.

Teekatte (katendi) seisund on ajas pidevalt muutuv, ka korrektne hooldus ja õigeaegsed remondid ei taga teekatte seisundit sellisena nagu see oli vahetult peale ehitamist. Samas peab teekatte seisukord jääma projekteeritud kasutusaja lõpuks vastuvõetavatesse piiridesse. Neid piire iseloomustab töökindluse tegur K_{tk} , mille normväärtus on reeglina 0,95...0,60 – see tähendab, et kasutusaja lõpus võib teekatte pinna defekte esineda vastavalt 5...40% sõidutee pinnast.

Katendi töökindlus tagatakse katendi tugevusega, mida arvutustes väljendatakse normitud tugevusteguri K_{tt} kaudu. Nõutav tugevustegur sõltub tee klassist ja valitud katenditüübist ning on vahemikus 1,0...0,63.

Katendi kogupaksus ja selle üksikute kihtide paksused peavad tagama kogu teekonstruktsiooni tugevuse ning külmakindluse kogu kasutusaja jooksul. Elastse katendi kasutusajaks on soovitav võtta 10...20 aastat, kuid mitte vähem kui 7 aastat siirdekattendile, 10 aastat kergkatendile ja 15 aastat püsikatendile. Kasutusaeg määratakse projekti lähteülesandes.

Katendi konstruktiivsetesse kihtidesse tuleb ehitusmaterjalid paigutada selliselt, et tugevamad materjalid (ilmastiku- ning kulumiskindlad) asetseksid katendi ülakihtides ning igas järgmises kihis allpool paikneksid nõrgemad, vähesema ilmastiku- ja kulumiskindlusega materjalid.

Katendi konstruktiivsed kihid on need, mille paksus määratakse või kontrollitakse tugevusarvutusega ning nende olemasolu on vajalik katendi tugevuse või külmakindluse tagamiseks. Konstruktiivsetele kihtidele on kehtestatud minimaalsed paksused. Töötlemata killustikkihi vähim paksus katendikonstruktsioonis on:

- Tugevdatud alusel – 12 cm
- Liivalusel – 20 cm

Katendi konstrueerimisel on konstruktiivsete ja tehnoloogiliste kihtide ehitusmaterjalide tugevuse peamiseks näitajaks elastsusmoodul. Katendi konstrueerimisel tuleb ülemistelt suurema tugevusega kihtidelt alumistele vähema tugevusega kihtidele üle minna võimalikult sujuvalt.

Katendi dimensioneerimisel tuleb lähtuda eeldatavast ennustuslikust koormussagedusest. Katendi vähimad nõutavad elastsusmoodulid on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Katendi vähimad nõutavad elastsusmoodulid (MPa) ja ennustuslikud koormussagedused (normtelge ööpäevas).

Maantee klass	Katendi tüüp					
	Püsikatend		Kergkatend		Siirdekateend	
	Koormus-sagedus	Elastsus-moodul	Koormus-sagedus	Elastsus-moodul	Koormus-sagedus	Elastsus-moodul
Kiirtee	870	260	-	-	-	-
I	440	240	115	200	-	-
II	225	220	60	180	-	-
III	60	180	30	160	-	-
IV	-	-	15	140	2	70
V	-	-	10	120	2	70
VI	-	-	10	120	2	70

Praegustes normides võib alused ehitada nii fraktsioneeritud killustikust kiilumismeetodil kui ka tiheda terakoostisega kivimaterjalist. Killustikkatetes ja – alustes kasutatava killustiku tugevus ja külmakindlus peavad vastama tabelis 2 ja 3 toodud nõuetele.

Alates 2010 aastast tuleb killustikalused ehitada optimaalse terakoostisega killustikust, mis segatakse kokku spetsiaalse killustiku segamise seadmega kas killustikku tootvas tehases või objekti vahelaos.

Tabel 2. Kiilumismeetodi puhul aluskihtides kasutatava kivimaterjalile esitatavad nõuded.

Kivimaterjali omadused	Maantee klass			
	Kiirtee, I	II-III	IV-V	VI
Purunemiskindlus Los Angelese katsel, % ja klass	≤ 25 LA ₂₅	≤ 30 LA ₃₀	≤ 35 LA ₃₅	≤ 40 LA ₄₀
Külmakindlus:				
- Vahetul külmutamisel	≤ 2 F ₂	≤ 4 F ₄	> 4 F _D	> 4 F _D
- Magneesiumsulfaadi katsel	≤ 25 MS ₂₅	≤ 35 MS ₃₅	≤ 35 MS _D	≤ 35 MS _D

Tabel 3. Tihedast killustikusegust katendikihis kasutatava kivimaterjali omadused

Kivimaterjali omadused	Kate		Alus				Dreenkiht
	Maantee klass						
	IV	V, VI	Kiirtee, I	II-III	IV-V	VI	
Purunemiskindlus Los Angelese katsel, % ja klass	≤ 30 LA ₃₀	≤ 35 LA ₃₅	≤ 25 LA ₂₅	≤ 30 LA ₃₀	≤ 35 LA ₃₅	≤ 40 LA ₄₀	≤ 35 LA ₃₅
Külmakindlus:							
- Vahetul külmutamisel	≤ 4 F ₄	≤ 4 F ₄	≤ 2 F ₂	≤ 4 F ₄	> 4 F _D	> 4 F _D	Pole nõudeid
- Magneesiumsulfaadi katsel	≤ 35 MS ₃₅	≤ 35 MS _D	≤ 25 MS ₂₅	≤ 35 MS ₃₅	≤ 35 MS _D	≤ 35 MS _D	Pole nõudeid

6. Katendi hooldus ja taastusremont

Katendi hooldustöödel keskendutakse tavaliselt vee eemalehoidmisele katendi konstruktsioonist. Selleks tuleb teekate hoida veekindlana ning tagada vee äravool, et teeservadesse ei tekiks lompe.

Tavaliselt tungib vesi katendi konstruktsiooni teekattes olevate pragude kaudu, mida võimendab veelgi vee kogunemine lompidesse. Seega tuleks praod kohe pärast nende teket sulgeda ning teeperved profileerida nii, et vesi saaks ära voolata. Vananemisest tingitud tagajärgi saab varajases staadiumis tõhusalt parandada, pihustades teekatte pinnale lahjendatud bituumenemulsiooni. Kui liiklussagedus on väike, siis võib suuremate kahjustuse puhul teostada pindamist või laotada teele tavapärase õhukese kuumast asfaltbetoonist kihi.

Teekatte elastsuse ja vastupidavuse säilitamiseks rakendatavad abinõud aitavad vaid keskkonna mõjudest tingitud lagunemise puhul. Liikluskoormusest tingitud deformatsioone ja väsimuspragunemist ei saa efektiivselt parandada hooldetöödega, vaid selleks tuleb teha juba teatavat konstruktsiooni taastusremonti.

Otsuseid selle kohta, milliseid abinõusid rakendada, kas parandada katendi seisukorda või lihtsalt säilitada selle sõidumugavus, mõjutavad eelarvelised piirangud. Lühiajalised edasilükkamised võivad osutada majanduslikult efektiivseiks. Vahel lükatakse katendi taastusremonti edasi, kuni seda saab kombineerida tee geomeetria muutmisega ja sõiduradade lisamisega. Iga remonttööd puudutav otsus tuleb vastu võtta iseseisvalt, üldises teedevõrgu kontekstis. Halvim variant on see, kui otsustatakse töödega oodata ning lastakse katendil edasi laguneda, kuna lagunemiskiirus suureneb ajas eksponentsiaalselt.

Taastusremondi variandid

Tavaliselt on teede taastusremondiks mitu võimalust ning on üsna raske otsustada, milline neist on kõige parem. Et välja selgitada, milline variant on tee eluiga silmas pidades majanduslikult kõige efektiivsem, tuleb leida vastus kahele olulisele küsimusele:

- Mis on olemasoleval katendil tegelikult viga? Tee seisundi pealiskaudne hindamine, mis koosneb visuaalsest vaatlusest ja mõnest põhikatsesest (nt

läbipainete mõõtmine), peaks olema tavaliselt piisav, et mõista kahjustuste tekkemehhanismi. Oluline on kindlaks teha, kas kahjustused piirduvad kattega (katendi ülemiste kihtidega) või on probleem teekonstruktsioonis;

- Mida tee omanik tegelikult tahab? Kas teelt oodataksegi 15-aastast projekteeritud eluiga või ollakse vahepeal valmis tegema väike investering, et lagunemine aeglustuks ning tee peaks vastu veel viis aastat?

Vastates nendele küsimustele, leitakse variandid, mis on majanduslikult efektiivsed konkreetse probleemi olemuse ja ajaliste piirangute kontekstis. Valiku tegemine lihtsustub, kui jagada probleemi olemus kahte kategooriasse (kate ja konstruktsioon) lähtudes ajalistest piirangutest (lühivi- või pikaajaline eksploatatsiooniaeg).

Katte taastusremont

Katte taastusremondiga parandatakse tavaliselt katendi ülemise 50–100 mm kihi vigu, mis on tekkinud asfaltkattes ja pindamiskihis. Need vead on harilikult tekkinud bituumeni vananemise ja termojõududest tingitud pinna pragunemise tagajärjel.

Kõige levinumad meetodid seda tüüpi vigade parandamiseks on järgmised:

- asfaltbetoonist ülekate. Pinna katmine õhukese (40–50 mm) kuumasfaltbetoonist segu kihiga. Katte probleemide puhul on see on kõige lihtsam lahendus, kuna see ei võta palju aega ning mõjutab tee kasutajat minimaalselt. Asfaltsegule lisatakse tihti modifitseeritud sideaineid, mis parandavad asfaltbetooni omadusi ning pikendavad seega kattekihi eluiga. Korduvad ülekatted tõstavad aga teepinda nii palju, et võivad tekkida sadevete äravoolu ja juurdepääsuteede probleemid;
- freesimine ja freesitud kihi asendamine. Selle meetodiga eemaldatakse pragunenud asfaldikiht ja asendatakse see uue kuumasfaltseguga, millele on tihti lisatud modifitseeritud sideainet. Protsess on suhteliselt kiire, kuna moodsad freesid on suure tööjõudlusega. Probleem kaob koos eemaldatava asfaltkihiga ja teekatte kõrgus jääb samaks;
- suhteliselt õhukese asfaltkihi stabiliseerimine (eeldusel, et asfaltkihi paksus on piisav). Stabiliseerimist saab teha kohapeal kuumalt (kuumtaastussegamine). Lisaks sellele saab stabiliseeritava asfaldi omadusi parandada ka uue materjali ja/või sideaine lisamisega.

Katendi konstruktsiooni taastusremont

Katendi konstruktsiooni taastusremonti käsitletakse harilikult pikaajalise lahendusena. Konstruktsiooni probleemidega tegelema hakates tuleb mees pidada, et kahjustatud on katendi konstruktsioon, mitte konstruktsioonis olev materjal. Lisaks sellele võib remondiks lugeda ka olemasoleva katendi parendamist konstruktsiooni tugevdamise teel (nt olemasoleva kruusatee parendamine mustkatte nõuetele vastavaks).

Mida rohkem on katendis olev täitematerjal tihenenud (ehk konsolideerunud) võrreldes loodusliku materjaliga, seda paremad on tugevusnäitajad. Teiselt poolt võib tihenemine põhjustada probleeme pealmistes, eriti sideainega seotud materjalidest ehitatud kihtides.

Reeglina peaks konstruktsiooni taastusremondi eesmärgiks olema olemasoleva katendi maksimaalne ära kasutamine. See tähendab, et tihenenud materjali ei tohi puutada. Tihenemiseks läks liikluse pideval toimel palju aastaid ning eeliseid, mida selline kõrge tihendusaste pakub, tuleks ära kasutada.

Konstruktsiooni taastusremondi kõige levinumad variandid on järgmised:

- täielik rekonstrueerimine. See variant on eelistatav juhul, kui taastusremonttööd on kombineeritud koos tee ajakohastamistöödega, mis hõlmavad suuri tee trassiga seotud muudatusi. Sisuliselt tähendab rekonstrueerimine seda, et olemasolev teekonstruktsioon tuleb lammutada ja ehitada uus. Kui liiklussagedus on suur, on sageli otstarbekas ehitada olemasoleva tee kõrvale ajutine tee, vältides nii liikluskorraldusega seotud probleeme;
- olemasolevale teekatte pinnale lisakihtide laotamine (täitematerjalist ja/või asfaldist). Kui liiklussagedus on suur, on paksude asfaltkihtide laotamine sageli kõige lihtsam viis lahendada konstruktsiooni probleeme. Kuid nagu juba eespool mainitud, toob teepinna tõstmine kaasa vee äravoolu ja juurdepääsuteedega seotud probleeme;
- materjali sügavstabiliseerimine sügavuseni, kus probleem ilmneb. Sellega luuakse uus paks suurte tugevusnäitajatega homogeenne kiht, mida võib tugevdada stabiliseerivate sideainete lisamisega. Kui katendit on vaja oluliselt parendada, võib stabiliseeritud kihi peale laotada veel lisakihte. Korduvkasutatavale materjalile lisatakse tavaliselt uusi materjale ja lisandeid,

eriti kui olemasolevas katendis on materjali vähe ning see vajab tugevdamist. Stabiliseerimisel on eesmärgiks kasutada maksimaalselt ära olemasolevat katendit. Lisaks sellele, et kasutatakse uuesti ära pealmiste kihtide materjal, jäävad alumised kihi puutumata;

- kahe stabiliseerimismeetodi – teel ja segistis stabiliseerimise – kombineerimine. Selle variandi puhul on võimalik töödelda olemasolevat katendit palju sügavamalt, kusjuures materjal katendi ülemisest osast tuleb ajutiselt ladustada kuhjadesse. Seejärel stabiliseeritakse alusmaterjal kohapeal. Kuhjades olev materjal töödeldakse seguris ning see laotatakse kohapeal stabiliseeritud kihi peale. Nii saavutatakse suurem konstruktsiooniline tugevus ilma lõplikku pinnakõrgust oluliselt muutmata. Teise võimalusena võib ajutistes kuhjades olnud materjali laotada teel stabiliseeritud kihi peale ning töödelda seda kohapeal.

Paljude variantide võrdlemise eesmärgiks on majanduslikult kõige tasuvama lahenduse väljavalimine.

Taastusremondi majandusanalüüs

Kõige sobivama remondivariandi valimisel on tähtsal kohal majandusanalüüs. Alternatiivseid katendi remondiprojekte ei saa võrrelda üksnes ehituskulude alusel. Majandusanalüüsi tegemisel tuleb arvestada ka tee eluea jooksul tehtavaid hooldustöid, mis sõltuvad katendi tüübist, konstruktsioonist, materjalidest jne. Seega tuleb arvutuste tegemisel arvestada katendi kogu eluea jooksul tehtavate kulutustega.

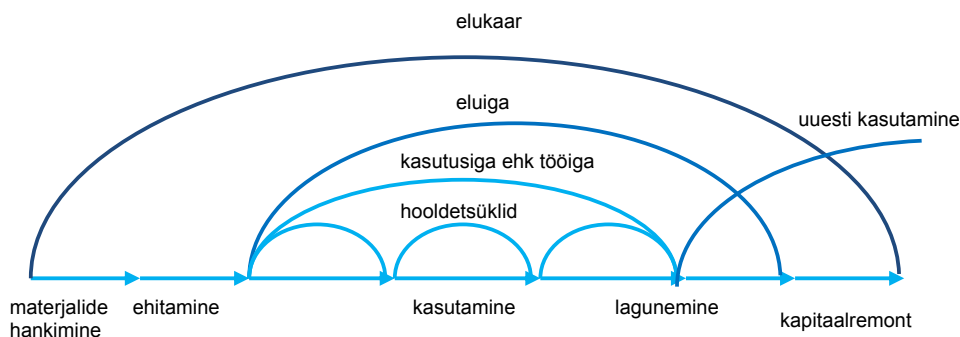
Üheks majandusanalüüsi meetodiks on kulude hetkeväärtus (PW_{oC}). Meetod põhineb ehituskulude ja analüüsitava perioodi jooksul prognoositavate hooldus- ja remonditööde kulude summeerimisel, kusjuures maha arvatakse katendi jääkväärtus perioodi lõpus. Tegelikku diskontomäära kasutatakse aja jooksul eskaleeruvate kulude arvutamiseks, et tulevasi hooldus- ja remondikuluseid oleks võimalik väljendada praegustes hindades.

Sageli on raske hinnata ehitamise võrreldavaid kulutusi ja ennustatavaid hoolduskulusid. Tulevasi hooldustöid ja nende ajastatust aitab prognoosida

materjalide ja keskkonna tundmine ning teekatte korrashoiusüsteemist saadavad andmed katendi käitumise kohta.

7. Tee-ehituse elukaar

Ühest vastust miks teekatted lagunevad pole võimalik anda, kuna katendikonstruktsiooni eluiga sõltub mitmetest erinevatest teguritest ja nende omavahelistest mõjudest. Teekonstruktsioonile avaldavad mõju liiklus, ilmastik ja aluspinnases toimuvad deformatsioonid (kuju muutused). Enamasti need tegurid üksi või koosmõjus teiste teguritega põhjustavad katendi lagunemise.



Joonis 4. Tee-ehituse elukaar

Tee elukaare all mõistetakse ajavahemikku, mille pikkuse valib projekteerija võimalike ehituslahenduste ja/või teekonstruktsioonile tehtavate remonditööde maksumuste võrdluse jaoks. Ajavahemik valitakse sellisena, et see kas lõpeb järgmise kapitaalremondiga või siis kindla aastate arvuna (nt 20, 30 või 40 aastat).

Teekonstruktsiooni tehnilise kasutusea all mõistetakse aega, mille jooksul peab konstruktsioon säilitama talle seatud kasutusnõuded. Kasutusea jooksul konstruktsiooni hooldatakse, kuid sellele pole vaja teha täiendavat remonti. Kasutus- ehk tööiga ei puuduta teekatte kulumiskihti, mille keskmine tööiga on sõltuvalt liiklussagedusest 5-7 aastat ja mida uuendatakse katendi kasutusea jooksul paar korda.

Teekonstruktsiooni erinevate osade eluiga varieerub suuresti. Katte pinna taset parandatakse suure liiklussagedusega teedel mõne aasta järel, samas võib mulde eluiga olla ka 50-100 aastat. Lisaks on ka erinevatel remont- ja hooldetöödel erinevad eluead.

Kuna elukaare maksumuse analüüsi eesmärgiks on ehituslahenduste vaheline võrdlus, siis analüüsis võetakse arvesse ainult need kulud, mis on erinevad erinevate võrdlusvariantide puhul. Maksumused diskonteeritakse vaadeldava ajahetke algusele ja arvutatakse aastamaksumused kogu vaadeldava ajaperioodi jooksul. Teehaldaja ja teekasutaja kulud võib arvestada eraldi.

Teehaldaja kulud

Teehaldaja kulude arvutamiseks on vaja andmeid ehitismaksumuse, tulevaste hooldekulude ning tee eluea kohta. Teehaldamise kavandamisel kasutatakse teekatte seisukorra mõõtmisandmeid, need on:

- Defektisumma (DS %)
- Tasasus (IRI, mm)
- Roopad (roopasügavus, mm)
- Kandevõime (elastsusmoodul Emod, MPa)

Teehoolde vajadust hinnatakse teekatte seisukorra muutujate mõõdetud väärtuste ja prognoositava arengu põhjal. Teekatte seisukorra muutujad on piki- ja põiksuunaline ebatasasus ja osa defektidest. Tee pikisuunalist ebatasasust kirjeldab IRI arv (*International Roughness Index*, mm/m), tee põiksuunalist ebatasasust kirjeldab roopa sügavus (mm). Teekattel olevad defektid tekivad peamiselt liikluse, ilmastiku ja deformatsioonide tõttu. Teekonstruktsiooni kandevõimet mõõdetakse Eestis dünaamilise koormamisseadmega Dynatest FWD 8002. Antud seade on maailmas laialdaselt kasutusel ja see on üks väheseid mõõteseadmeid, mis võimaldab teekonstruktsiooni uurimisi teostada ilma seda lõhkumata.

Teekasutaja kulud

Teekatte seisukorra mõju teekasutajatele mõõdetakse teekasutaja kuludega ja muude saavutatavate sotsiaalsete ning keskkonna alaste efektidega. Teekasutaja kulud (TKK) jagunevad:

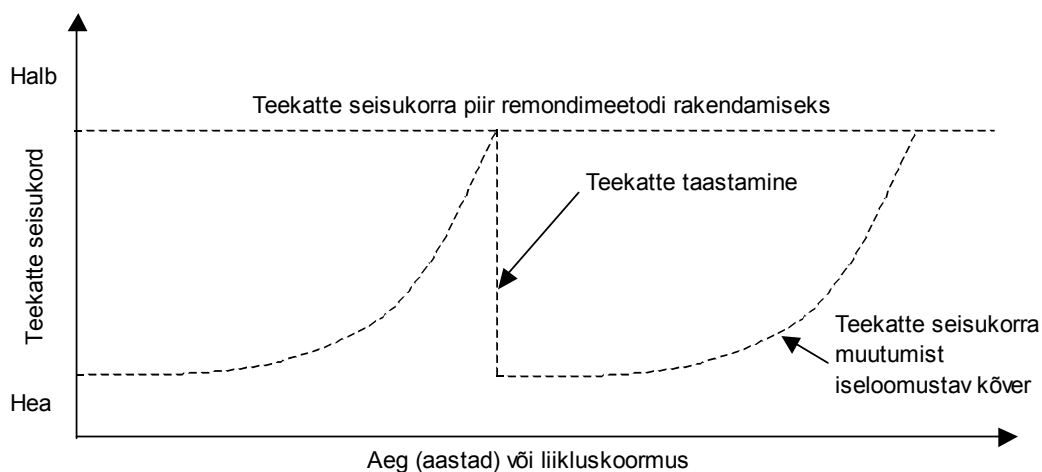
- sõiduki haldamise kulud (kütus, rehvid, määrdeained, varuosad, amortisatsioon, jne.);
- sõiduaja kulud, seda nii reisijatele kui ka kaubale;
- liiklusõnnetuse kulud (s.t. inimhukkude ja -vigastuste kulud ühiskonnale, kahjud sõidukitele ja teistele teeäärsetele objektidele).

Eestis kasutatakse teekatete remondi planeerimiseks ja analüüsiks tarkvara EPMS (*Estonian Pavement Management System*) ja HDM-4 (*Highway Development and Management Tool*). HDM-4 tarkvara on kasutusel üle maailma ja ta on heaks kiidetud erinevate finantsasutuste (Maailmapank jt.) poolt. Selle tarkvara välja töötamisel on osalenud maailma parimad oma ala eksperdid.

HDM-4 analüütilise raamistiku kontseptsioon põhineb teekatete elutsükli (*life-cycle*) analüüsimisel. Seda rakendatakse teekatete lagunemise, remonditööde mõjude, teekasutajate kulude ja ühiskonna ning keskkonna mõjude ennustamisel teekatete elutsükli jooksul, mille kestvuseks on tavaliselt 5-40 aastat.

Pärast teekatete ehitamist hakkavad need erinevate faktorite mõjutusel lagunema. Eelkõige mõjutavad teekatete lagunemist liikluskoormus, ilmastik ning puudused veeviimaries.

Teekatete seisukorra muutus, nende lagunemise kiirus ning arenevate defektide liigid ja hulk on otseselt seotud rakendatavate töömeetodite ja hooldusstandardite põhjalikkusega. Aukude lappimine ja pragude täitmine aeglustab defektide arengut tunduvalt vähem kui uue katte ehitamine. Teekatte seisukorra põhimõtteline muutumine ta eluea jooksul on esitatud joonisel 5.



Joonis 5. Teekatte eluea kontseptsioonil põhinev analüüsi meetod HDM-4 tarkvaras

Kokkuvõttes sõltub teekatete pikaajaline seisukorra areng otseselt rakendatud töömeetoditest. Ennustatud teekatte seisukorra muutumist on võimalik kirjeldada

sõidukvaliteedina, mida reeglina esitatakse rahvusvahelise tasetasuse indeksina (IRI, mm/m).

Majanduslik tulu teedehitusse tehtud investeeringutelt leitakse remonditööde kulude võrdlemisel n.n. baasvariandiga, mis reeglina sisaldab ainult hädavajalikke korrashoiutöid (aukude lappimine, pragude täitmine, pindamine) sõidetavuse tagamiseks. Kõik analüüsi perioodil tehtavad kulutused diskonteeritakse määratletud lähteaastale.

HDM-4 vajab analüüside tegemiseks väga palju erinevaid lähteandmeid ning koefitsiente. Kuna kohati on raske või lausa võimatu saada vajalikke parameetreid ja koefitsiente Eesti tingimuste kohta (puuduvad vastavad uurimistööd), siis on analüüside tegemisel kasutatud mõningate parameetrite ning koefitsientide puhul n.n. algväärtusi (*default values*). Samas on pidevalt jälgitud, et nende väärtuste kasutamisel analüüsi tulemused püsiksid n.ö. reaalsed. Aastate jooksul on olukord lähteandmete osas paranenud ning Maanteeameti tellimisel on tehtud erinevaid uurimistöid.

8. Ülevaade mõningatest Eestis tehtud uurimistöödest

2001.aastal tegi AS Teede Tehnokeskus Maanteeameti tellimusel uurimistöö „**1995-2000 aastal ehitatud katete seisukord**“, kus uuriti suhteliselt uute teekatete lagunemise põhjuseid ning kuidas arenevad ajas erinevad teekatte seisukorda iseloomustavad parameetrid. Mainitud uurimistöös keskenduti siiski eelkõige katendikonstruktsiooni pealmise kihi erinevate defektide uuringule ning seost aluskihi materjali kvaliteediga ei uuritud. Mõningal määral näitavad aluskihi kvaliteeti kandevõime mõõtmise tulemused. Kandevõime mõõtmiste tulemusel oli uuritud objektidest kandevõime alla vajaliku elastsusmooduli väärtuse 59% ja üle vajaliku elastsusmooduli väärtuse 41%.

Järgnevalt on esitatud mõningad uurimistöö kokkuvõttes toodud järeldused:

- Vanematel teekatetel oli defektide tekkimine ja nende areng kiirem, mis näitas, et mida aasta edasi, seda parema kvaliteediga katendeid projekteeritakse ning ehitatakse (teekonstruktsioon on tugevam, materjalid on paremad). Siiski olid mõningad defektid (kitsas vuugipragu ja murenemine), mille osas teekatte ehitusaasta ei olnud nende arengu osas mingit muutust näidanud.
- Kõige rohkem defektisummat mõjutavaks teekatte defektiks oli kõigis kattegruppides murenemine.
- Selgelt oli näha, et objektide, kus oli tehtud ainult ülekatet, oli defektide tekkimine ja nende areng teistest kiirem. Põhjuseks oli ilmselt uute katete alla jäänud vana teekatte defektide ülestulemine.
- Võrkprao areng on otseselt seotud teekonstruktsiooni mõõdetud kandevõimega.
- Asfaltbetoonkattega teedel muutub teekatte tasasus keskmiselt 0,05 mm/m aastas.
- Tõsisemaid teekatte parandustöid (lauspindamine) tehakse paljudel objektidel pärast garantiiperioodi lõppemist, enne seda tehakse väiksemaid töid.

2005.aastal tegi AS Teede Tehnokeskus Maanteeameti tellimusel uurimistöö „**Teekasutaja kulude sõltuvus teekatte seisukorra näitajatest**“. Uurimistöö tulemused võimaldavad HDM-4 tarkvaraga tehtud analüüsidele saada täpsemaid ja usaldatavamaid tulemusi ning seda nii objekti-, programmi-, kui ka strateegilise

analüüsi tasandil. Uurimistöö esimeses osas oli tundlikkusanalüüsiga määratletud need teekatte seisukorra andmed, mis avaldavad mõju teekasutaja kulude muutumisele. Eelkõige on selleks parameetriks teekatte tasetasus, kuid läbi teekatte tasetasuse mõjutavad teekasutaja kulusid ka erinevad teekatte defektid. Uurimistöö teises osas oli lähtuvalt teekatte seisukorra andmete tekkimise ja arenemise stsenaariumitest Eestis välja töötatud vastavad arengukoefitsiendid antud olukorra modelleerimiseks HDM-4 tarkvaras. Põhimõtteliselt on võimalik kirjeldada teekatete seisukorra andmete muutumist arengukoefitsientidega selliselt, et saavutatud olukord vastaks Eesti tingimustele. Uurimistöö kolmandas osas oli HDM-4 teekasutaja kulude mudeli põhjal arvatud teekasutaja kulud lähtudes kahest erinevast sõidukite liikideks jaotamisest. Teekasutaja kulud olid sõidukiliikide kaupa esitatud kolmese ja kümnese jaotuse põhjal.

Antud uurimistöö käigus analüüsiti ka esimese pindamise mõju teekatte defektide arengule. Antud olukord on üks osa teekatete elutsüklist ning eeldada võib, et pindamine uutel teekatetel mõjub defektidele erinevalt kui pindamine vanadele teekatetele. Analüüsitud andmete põhjal oli võimalik järeldada, et keskmiselt tehakse esimene pindamine asfaltbetoonkattele 5 kuni 6 aastat pärast ta ehitust. Kõige rutem on see tehtud juba kolmandal aastal (põhjuseks tõenäoliselt probleemid tööde või materjalide kvaliteedis) ja kõige kauem on teekate olnud pindamata 9 aastat. Antud uurimistöö käigus ei uuritud põhjusi, miks pindamine mõnel teelõigul väga vara tehakse.

Katendi üldise seisukorra võimalikult täpseks hindamiseks vaadeldakse katendi põhimõttelisi kihte (katendi osasid) eraldi: seotud kihid, alus ja aluspinnas. Sellisel viisil tehtav hinnang osutab kihile, kus võimalikud probleemid (nt. ebasobiv materjal) paiknevad. 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 võrdlusmomendist (võrreldes toodud väärtusi nendes kohtades, kus katendis probleeme ei ole, nende kohtadega, kus probleemid esinevad) on võimalik neid siiski ka juba praegu kasutada.

SCI väärtus on teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmise seadme läbivajumisandurite D1 ja D2 vahe ($d_0 - d_{300}$). BDI väärtus on läbivajumisandurite D2 ja D3 vahe ($d_{300} - d_{600}$) ning BCI väärtus on läbivajumisandurite D6 ja D7 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.

Hetkel on kasutusel järgmised piirväärtused eelpool toodud parameetritele:

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

Priit Paabo poolt tehtud magistritöös (2006) "**Teekatendite tugevuse hindamine dünaamilise koormusseadmega**" oli toodud, et SCI ja BCI keskmised väärtused rahuldavad püsikatendi puhul II klassi maanteele esitatavaid nõudmisi ning BDI keskmise väärtuse alusel on rahuldatud III klassi maantee püsikatendile esitatavad nõudmised. Eeltoodud põhjal järeldati, et keskmiselt on meie katendite kõige probleemsemaks osaks aluse kihid, mis jäävad teekatte pinnast 300 – 600 mm sügavusele. Samas tuleb meeles pidada, et tegemist on keskmiste väärtuste põhjal järelduste tegemisega ja esineb olukordi (mõõtepunkte), kus näiteks ühe parameetri (kas SCI, BDI või BCI) väärtust võib lugeda heaks, samal ajal kui teised kaks osutavad selgelt probleemidele ja nende asukohale katendis.

Seega on võimalik FWD mõõtmistulemuste alusel hinnata teekonstruktsiooni kandevõimet, kasutades selleks SCI, BDI ja BCI väärtusi. Samas saab nende parameetrite väärtuste alusel selgeks ka probleemide, kui need peaks ilmema, asukoht katendis.

Regina Petrova poolt tehtud magistritöös (2008) „**Karbonaatse killustiku määramine destilleeritud vee ja NaCl lahuses**“ võrreldi lubja- ja kruuskillustike külmakindlust katsetades proove destilleeritud vees ja 1% naatriumkloriidi lahuses. Samuti tehti killustike tugevusomaduste hindamiseks Los Angelese purunemiskindluse katsed. Materjali võeti kokku 18 karjäärast. Purunemiskindluse järgi vastas katsetatud materjal Eesti asfaldinormides toodud III ja IV killustiku klassi nõuetele. Külmutusele olid üldiselt vastupidavamad kruuskillustikud, mille tulemusele mõjub tardkivimite terade sisaldus üldproovis. Lubjakivikillustik oli pärast külmutus-

sulatustsükleid 1 % NaCl lahuses oluliselt rohkem lagunened kui destilleeritud vees katsetades.

2008.aastal tegi AS Teede Tehnokeskus koostöös TTÜ Teededeinstituudiga Maanteeameti tellimisel uurimistöö „**Teekatendi üksikute kihtide elastsusmoodulite mõõtmine ja nende alusel kandevõime parameetrite välja töötamine**“. Uurimistöö eesmärgiks oli määratleda erinevate teekonstruktsiooni ehitamisel kasutatavate kihtide tugevuslikud omadused, saada teekonstruktsiooni kihtidele sõltuvalt nendes kasutatavatele materjalidele ja ehitustehnoloogiatele usaldusväärsed elastsusmoodulite väärtused, mida saaks edaspidi katendi arvutustes kasutada. Uuritud objekti katendi konstruktiivsete kihtide pinnal juhendi 2001-52 alusel arvutatud ja FWD (*Falling Weight Deflectometer*) mõõtmistulemuste alusel arvutatud elastsusmoodulite võrdluse tulemusena järeldati, et:

- Alus, millele hakatakse ehitama projektset katendikonstruktsiooni on tegelikkuses arvutuslikust märkimisväärselt tugevam, mis tähendab, et 2001-52 meetodikaga määratus aluspinnaste/-materjalide E-moodulid on looduses esinevatest väiksemad;
- Killustikkihi arvutuslik E-moodul juhendis 2001-52 on üle hinnatud ja tegelikkuses reaalselt sellist killustikkihi E-moodulit praktikas ei saavutata.

Killustikukihi tagasiarvutatud mooduli erinevust arvutuslikust (2...3 korda väiksem) võib seletada sellega, et fraktsioneeritud killustikukihi tihendamise nõutud tiheduseni on suhteliselt komplitseeritud ja sageli seda tegelikult töö käigus ei saavutatagi. See viitab vajadusele minna üle fraktsioneeritud killustikust alusekihtide ehitamiselt euronormides sisalduvatele tihedatele killustiksegudele, mille nõutud tiheduse saavutamine on tunduvalt lihtsam.

2006.aastal tegi AS Teede Tehnokeskus Maanteeameti tellimisel uurimistöö „**Riigimaanteede ja rajatiste amortisatsiooninormide analüüs ja ettepanekud nende muutmiseks**“ mille käigus koostati uued maanteede amortisatsiooni määrad sõltuvalt katendi tüübist ja liiklussageduse vahemikust (tabel 4).

Tabel 4. Teede ja rajatiste kasulik eluiga ja amortisatsiooninorm

Vara				
Teed (vastavalt konstruktsiooni elementidele)				
	Kasulik eluiga aastates/ Amortisatsiooninorm protsentides			
Mulle (koos drenaažisüsteemi ja veeviimaritega)	50 a / 2 %			
Katendi konstruktsioon				
LIHTKATEND (pinnaste; kood 41)	5 a / 20 %			
	Liiklussagedus ≤250 auto/ööp		Liiklussagedus >250 auto/ööp	
SIIRDEKATEND (killustikkate, kruusatee; koodid 31-32)	12,5 a / 8 %		9 a / 11 %	
kruusatee uus kate paksusega alates 5 cm	8 a / 12,5 %		6 a / 17 %	
	Liiklussagedus ≤500 auto/ööp		Liiklussagedus >500 auto/ööp	
SIIRDEKATEND, tolmuvaba (stabiliseeritud kate, freesipurust kate, pinnatud kruusatee, munakivitee, kiviparkett, koodid 25-27 ja 51-52)	14 a / 7 %		12 a / 8 %	
	Liiklussagedus ≤500 auto/ööp	Liiklussagedus 500-2000 auto/ööp	Liiklussagedus >2000 auto/ööp	
KERGBKATEND (kergasfaltbetoon, mustkate, bituumenstab., immutuskatted, tuhkbetoon; koodid 21-24)	16,7 a / 6 %	14 a / 7 %	10 a / 10 %	
Pindamine	8 a / 12,5 %	6 a / 16 %	4 a / 25 %	
	Liiklussagedus <500 auto/ööp	Liiklussagedus 500-1999 auto/ööp	Liiklussagedus 2000-5000 auto/ööp	Liiklussagedus >5000 auto/ööp
PÜSIKATEND (tihe asfaltbetoon, poorne asfaltbetoon, killustikmastiksfalt, kuumpinnatud asfaltbetoon, dreenasfaltbetoon, valuasfalt; koodid 13-19)	20 a / 5 %		15 a / 6,5 %	10 a / 10 %
Pindamine	8 a / 12,5 %	6 a / 16 %	4 a / 25 %	-
uus a/b kulumiskiht	-		8 a / 12,5 %	5 a / 20 %
	Kokkupuutumine soolaga		Ei soolata	
Sillad	33 a / 3 %		50 a / 2 %	
Truubid	25 a / 4 %			

Alates 2010 aastast tuleb killustikalused ehitada optimaalse terakoostisega killustikust (seni fraktsioneeritud killustikust kiht), mis segatakse kokku spetsiaalse killustiku segamise seadmega kas killustikku tootvas tehases või objekti vahelaos. Käesoleval aastal remonti mineval maanteel nr 11115 Kurna-Tuhala on plaanitud ehitada 6 katselõiku, kus kasutatakse erinevate parameetritega killustike kihte – peamiselt lubjakivikillustikust, aga 2 lõigu aluskiht on planeeritud ehitada lubjakivikillustikust (alumine kiht 18 cm) ja graniitkillustikust (ülemine kiht 15 cm) ja 1 lõigu aluskiht tervenisti graniitkillustikust (erinevad segud 18+15 cm). Iga katselõigu keskmine pikkus on 250 m. Töö tulemusena saadakse iga kihi mõõdetud elastsusmoodulid. Kõik seitse katselõiku võetakse pideva jälgimise alla vähemalt 10 aastaks. Seega esimesed tulemused katendikonstruktsiooni kihtide tugevusomaduste kohta saab käesoleva aasta lõpuks ja täpsemad uuringu tulemused selguvad aastate jooksul. *(viimastel andmetel jääb eelpool mainitud uurimistööst siiski majanduslikel põhjustel ära).*

9. Teede olem

Eesti riigimaanteede pikkus seisuga 01.01.2009 on 16 487 km ehk 28,4 % eesti teedevõrgu kogupikkusest, mis on 58 034 km.

Riigimaanteed	16 487 km
- Põhimaanteed	1 602 km
- tugimaanteed	2 391 km
- kõrvalmaanteed	12 444 km
- rambid ja ühendusteel	50 km
Kohalikud ja eramaanteed	38 489 km
Linnade tänavad ja teed	3 058 km
Kokku	58 034 km

Katteliigid riigimaanteedel

Asfalt- ja tsementbetoon	3 900 km	24 %
Mustkate	3 855 km	23 %
Tuhkbetoon ja –stabiliseerimine	929 km	6 %
Pinnatud kruus	1 238 km	8 %
Kruusa- ja pinnasteed	6 565 km	40 %
Kokku	16 487 km	

2008.aastal moodustasid hooldekulutused 1 km maantee kohta 35,8 tuh krooni.

Remonditud katted

	Mln kr	Km
2004	557	167
2005	939	152
2006	1181	235
2007	870	143
2008	883	268

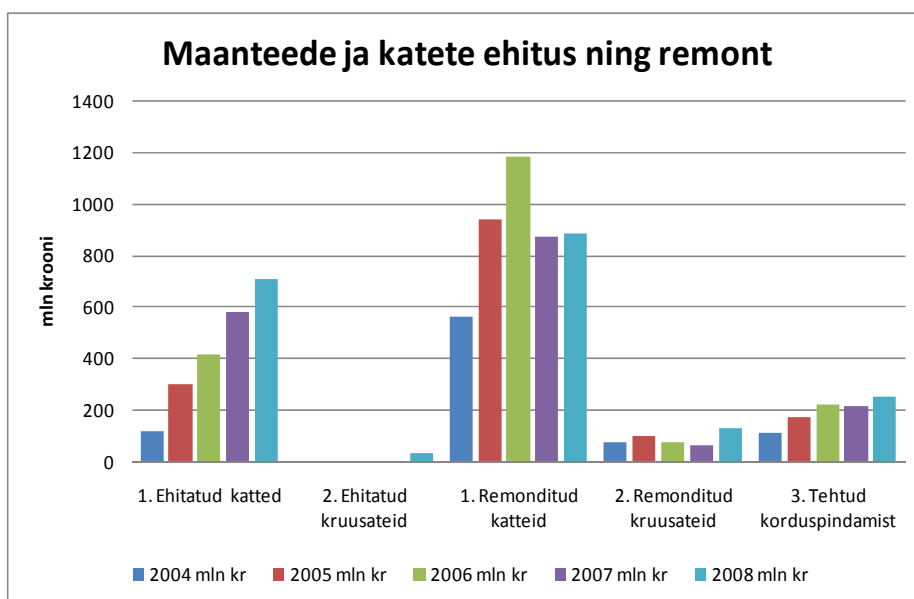
2008.a. riigieelarvest pindamiseks ja kruusateede remondiks eraldatud vahendid küll suurenesid, kuid vastavaid töid tehti eelmise aastaga võrreldes vähem, kuna materjalide ja töö hinnatõusu tõttu suurenes ühiku maksumus.

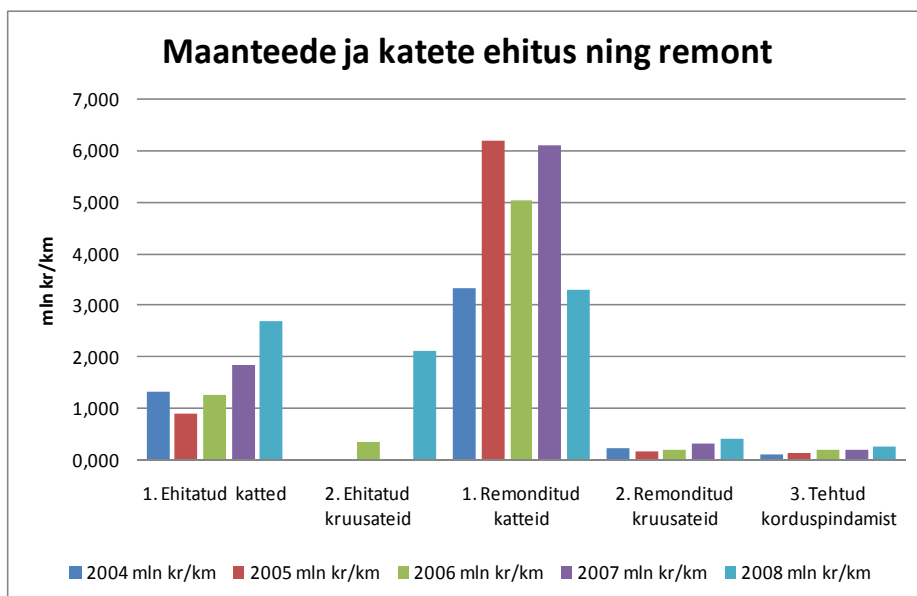
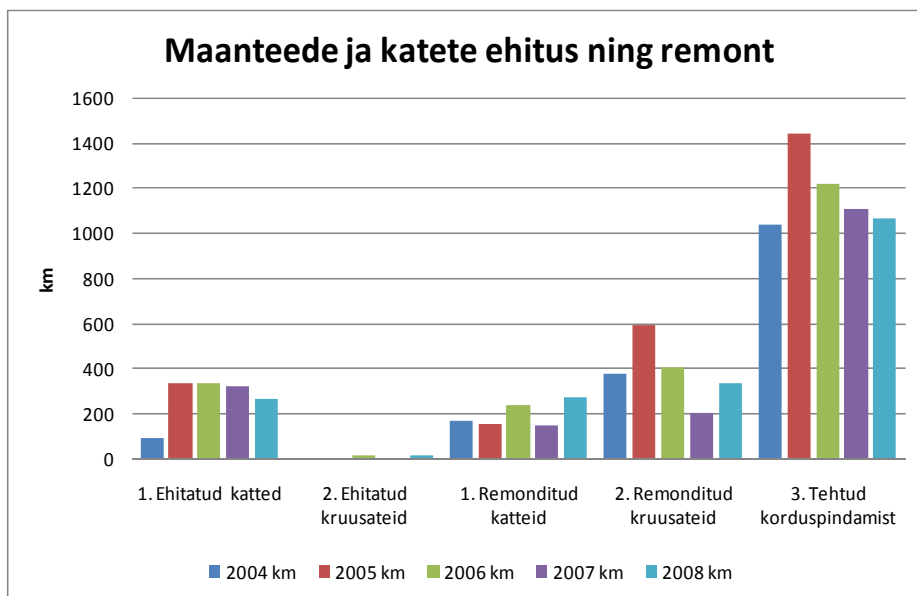
Korduspindamine

	Km
2004	1038
2005	1437
2006	1215
2007	1109
2008	1066

Ehitus- ja remonditööd riigimaanteedel 2008.a.

	mln kr	km
Maanteed ja katete ehitus	737,6	
1. Ehitatud katted	709,0	264
- Asfaltbetoonkatteid	536,2	43,5
- Muud teel või segistis sideainetega segatud katteid	77,0	39,4
- Freespurust kattega	47,9	92,9
- Pinnatud kruusateid	48,0	88,5
2. Ehitatud kruusateid	28,6	13,6
Maanteed remont	1261	
1. Remonditud katteid	883,5	268,5
- Asfaltbetoonkatteid	856,9	250,6
- Muud teel või segistis sideainetega segatud katteid	26,5	17,9
2. Remonditud kruusateid	130,8	330,9
3. Tehtud korduspindamist	246,6	1065,8





Viimasel graafikul on toodud üldistatud keskmine maantee ehituse või remondi maksumus mln krooni kilomeetri kohta.

Üldiselt välditakse ehituse/remondi hinda 1 km kohta, kuna see pole täpne. Eelkõige sõltub maksumus sellest, mis konkreetselt tehtud, milliseid materjale kasutatud, tee klassist jne jne. Kuna iga rekonstrueerimine on sisuliselt ainukordne (teekonstruktsiooni aluskiht, katend jne varieeruvad ulatuslikult), siis hinda 1 km

kohta ei saa üldistada kõikidele objektidele. Seetõttu analüüsitaksegi aastate kaupa ühikhindu (nt killustikaluse kihi ehitamise hind on olnud aastatel 2006-2008 vahemikus 305...340 eek/m³ – hind sisaldab nii tööd, masinaid kui materjale, ilma käibemaksuta).

Maanteeametis on koostatud teeremonditööde hindade tabel, kus on toodud tööde ühikhinnad. 2008.a. teeremonditööde hindade tabelis on esimest korda ka graniitkillustikust aluskiht välja toodud (paksus h=10...12 cm), hind m² kohta (pakkumisest Mäo ümbersõidu kohta).

Teekatte seisukorra mõõtmistulemused näitavad, et keskmine defektisumma väheneb, mis tähendab, et tehtud remonditööde üldmahud on sellele mõju avaldanud. Põhimaanteedel, kuhu viimastel aastatel on kõige rohkem rahalisi vahendeid suunatud, on languse põhjuseks uute katete ehitus. Tugi- ja kõrvalmaanteedel langetab defektisummat suurenenud pindamistööde maht.

Teekatete tasetas on paranenud kõigi teede gruppide puhul. Eriti selgelt avaldub see põhimaanteedel. Tugi- ja kõrvalmaanteedel on teekatte tasetasuse paranemine soovitud aeglasem.

Soome

Soomes on teedeolem (01.01.2008.a. seisuga) järgmine:

Riigimaanteed	km
I kl põhimaanteed	8 569
II kl põhimaanteed	4 761
Tugimaanteed	13 466
Kohalikud maanteed	51 365
Kokku	78 161

Katteliigid riigimaanteedel

	km	%
Püsikate (asfaltbetoon)	19 132	24
Mustkate	31 704	41
Kruusa- ja pinnasteed	27 325	35
Kokku	78 161	

Soomega võrreldes on Eesti püsikatete osakaal katteliikidest sama – 24 %. Ka teiste katteliikide osakaal on Eestis üsna sarnane.

Ehitus ja remonditööd Soomes aastatel 2004-2007

Soome Maanteeameti poolt avaldatud statistika väljaandes ei ole toodud eraldi andmeid uute katete ehituse ja vanade katete remondi kohta. Seetõttu väga täpselt Eesti andmetega neid võrrelda ei saa. Ka maanteehoiu jm finantseerimise kohta pole võimalik võrreldavaid andmeid välja tuua (osad suured hanked eraldi, abirahad eraldi jne).

Tabel 5. Katete ehitus ja remont Soomes

	2004	2005	2006	2007
	km	km	km	km
Katete ehitus ja remont	4083	4435	3790	3440
<i>Asfaltbetoonkatteid</i>	<i>1744</i>	<i>2070</i>	<i>1610</i>	<i>1495</i>
<i>Freepurust ja muud teel või segistis sideainetega segatud katteid</i>	<i>2236</i>	<i>2342</i>	<i>2177</i>	<i>1877</i>
<i>Pinnatud kruusateid</i>	<i>103</i>	<i>23</i>	<i>3</i>	<i>68</i>
Ehitatud ja remonditud katteid, % kogu riigimaanteede võrgust	5,2	5,7	4,8	4,4

Eestis ehitatakse maanteed ja katteid keskmiselt ligi 2 % aastas kogu riigimaanteede võrgust, remonditakse (siia alla kuulub katete remont, kruusateede remont ja korduspindamine) keskmiselt 10 % aastas kogu riigimaanteede võrgust (vt tabel

allpool). Kui vaadelda ainult katete remonti, siis keskmiselt on remonditud 1,5 % aastas kogu riigimaanteed võrgust.

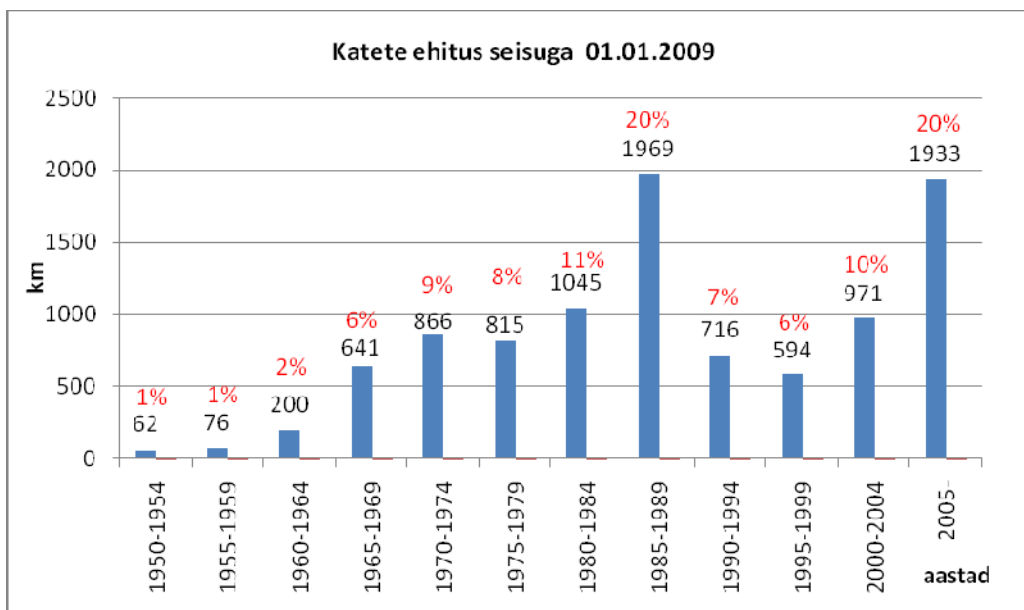
Tabel 6. Katete ehitus ja remont Eestis

	2004	2005	2006	2007	2008
	km	km	km	km	km
Maanteed ja katete ehitus	89,4	334,9	333,9	319,7	264,2
Maanteed ja katete ehitus, % kogu riigimaanteed võrgust	0,5	2,0	2,0	1,9	1,6
Maanteed remont	1582,8	2180,5	1851,4	1454,2	1665,2
Maanteed remont, % kogu riigimaanteed võrgust	9,6	13,2	11,2	8,8	10,1
Ainult katete remont	167,3	152,0	235,2	143,0	268,5
Ainult katete remont, % kogu riigimaanteed võrgust	1,0	0,9	1,4	0,9	1,6

10. Eesti riigimaanteede remondivajadus

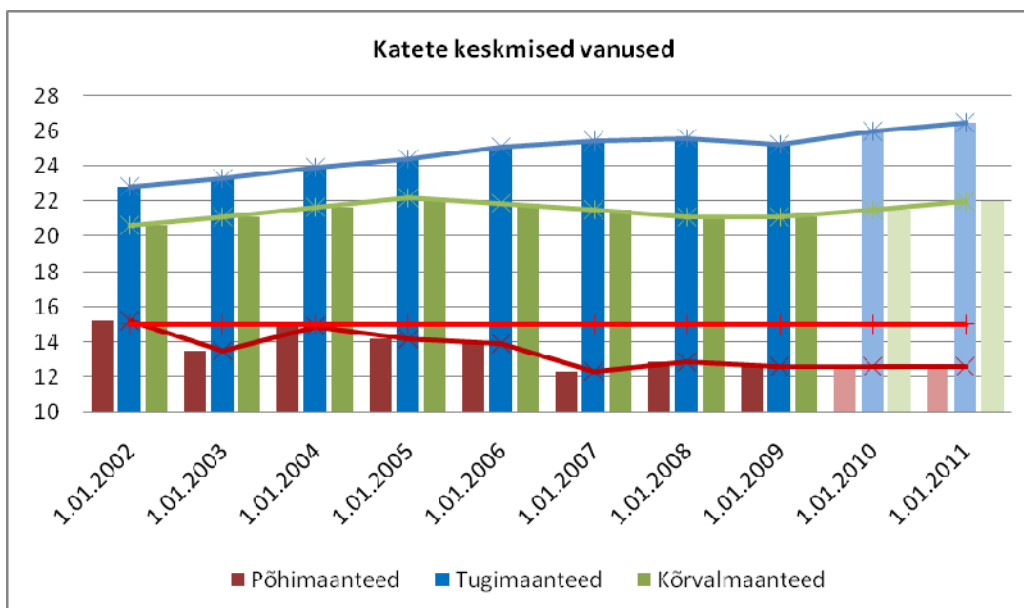
Nii tee-ehituse elutsükli kui ka katendikonstruktsiooni eluea kohta pole Eestis uurimistöid seni tehtud. Kuna Eestis on katendikonstruktsiooni aluskihtides kasutatud peamiselt lubjakivikillustikku, siis saab mõnevõrra üldistatud ülevaate anda selliste konstruktsioonide elueast. Graniitkillustikku on Eestis teedeehitusel seni kasutatud vaid asfaltsegudes ja pindamise korral.

Püsikattega teed on Eestis üldjuhul projekteeritud 15 aastase tööeaga ning katendi tugevusarvutusel tuleb arvesse võtta eeldatav aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus projekteeritud teelõigul ta kasutusaja lõpuks. Suur osa riigimaanteede teedevõrgust on oma projekteeritud tööea ületanud ning vajaks remonti. Nagu allpool olevast graafikust näha, on praeguse seisuga Eesti riigimaanteedel teelõike, mille katete vanus on isegi kuni 50 aastat (vahepealsetel aastatel on tehtud hooldustöid). Suurem osa Eesti riigimaanteede katetest on ehitatud aastatel 1985-1989 ja 2005-2008 (mõlemal puhul 20 %).



Eesti riigimaanteed katete keskmine vanus

Eesti riigimaanteed katete keskmine vanus on toodud järgneval graafikul.



Eesti riigimaanteed katete keskmine vanus 01.01.2009.a. seisuga on maanteed kaupa järgmine:

- Põhimaanteedel – 12,6 aastat
- Tugimaanteedel – 25,3 aastat
- Kõrvalmaanteedel – 21,1 aastat

Kogu Eesti riigimaanteed keskmine vanus on 20,7 aastat.

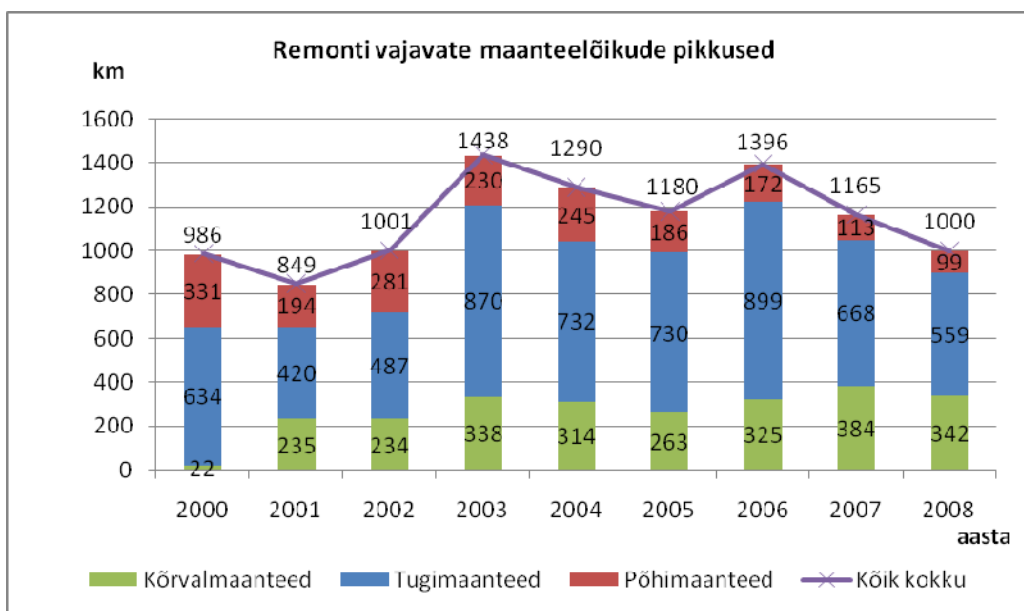
Graafikult on näha, et põhimaanteed katete keskmine vanus on järjekindlalt langenud ning tugimaanteed katete keskmine vanus vastupidiselt järjest kasvanud. Kõrvalmaanteed katete keskmine vanus on aastate lõikes jäänud samadesse piiridesse.

Remonti vajavate teelõikude keskmised pikkused

EPMS analüüsi eesmärgiks on ühtsete parameetrite alusel saada esimeses etapis teekatete remonti vajavate teelõikude nimekirjad ja teises etapis teha taastusremondi objektide eelvalik, mis oleks abiks lõplikul remondiobjektide määramisel.

Analüüsi tegemiseks jagatakse maanteede lõigud gruppidesse sõltuvalt liiklussagedusest ja maantee liigist. Prioriteetide määramisel lähtutakse teekatte seisukorra näitajatest iga maanteegrupi jaoks.

2008.a. EPMS analüüsis on välja toodud lähiajal remonti vajavate maanteelõikude pikkused (vt graafik). 2009.a. kohta on EPMS analüüs hetkel koostamisel.



Võrreldes 2007. aastaga on remonti vajavate teelõikude üldpikkus vähenenud üle 150 km jõudes tagasi 2000-2002 aasta tasemele. Teekatte seisukorra näitajaid võrreldes on näha, et põhiliseks probleemiks läbi aastate on teekatte tasasus ning teisel kohal on teekonstruktsiooni kandevõime probleemid, mille mõju pidevalt kasvab. Defektisumma osatähtsus väheneb tänu suurenenud pindamistööde mahtudele.

Põhimaanteedega osa on pidevalt vähenenud, samas tugimaanteedega osas on vähenemist märgata alles alates 2007.aastast.

Remonti vajavate lõikude maksumused

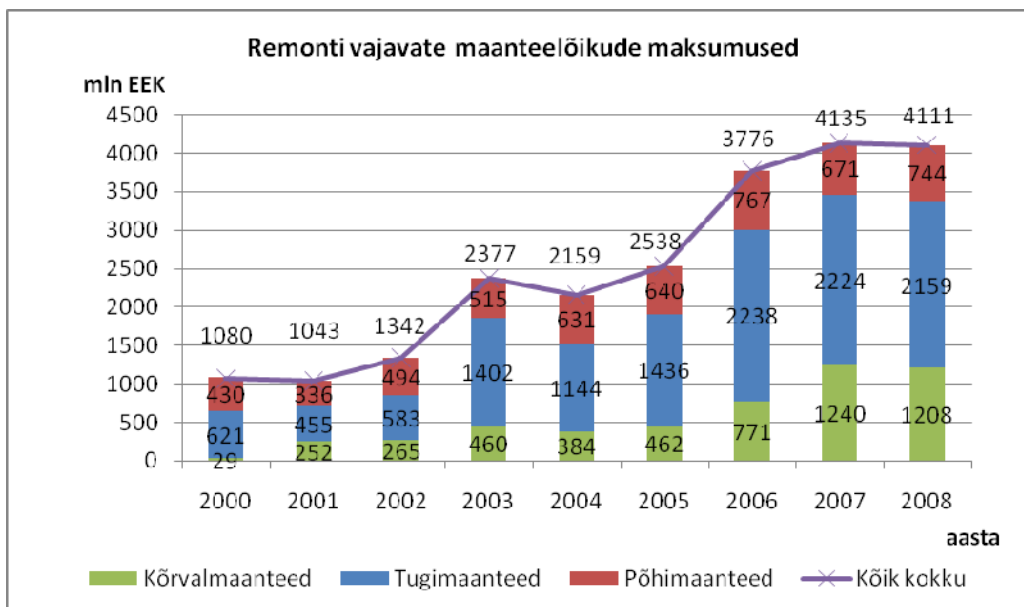
EPMS analüüsi käigus määratakse töömeetodid erinevatele teelõikudele järgmiste põhimõtete alusel:

- Liiklussagedus >5000 autot/ööp. – töömeetodiks stabiliseerimine, kaks asfaltbetooni kihti ja killustikmastiksfaldi kiht 3,5 cm; uue katte laius 9 m;
- Liiklussagedus 3001-5000 autot/ööp. – töömeetodiks stabiliseerimine, kaks asfaltbetooni kihti; uue katte laius 9 m;
- Liiklussagedus 1501-3000 autot/ööp. – töömeetodiks stabiliseerimine, kaks asfaltbetooni kihti; uue katte laius 8 m;
- Liiklussagedus 801-1500 autot/ööp. – töömeetodiks stabiliseerimine, üks asfaltbetooni kiht; uue katte laius 8 m;
- Liiklussagedus 501-800 autot/ööp. – töömeetodiks mustkate ja pindamine; uue katte laius 7 m;
- Liiklussagedus <501 autot/ööp. – töömeetodiks profiiliparandus ja kahekordne pindamine; uue katte laius 7 m.

EPMS tarkvara abil teekatete remondi ja korrashoiu analüüsimisel arvestatakse järgmiseid hindu:

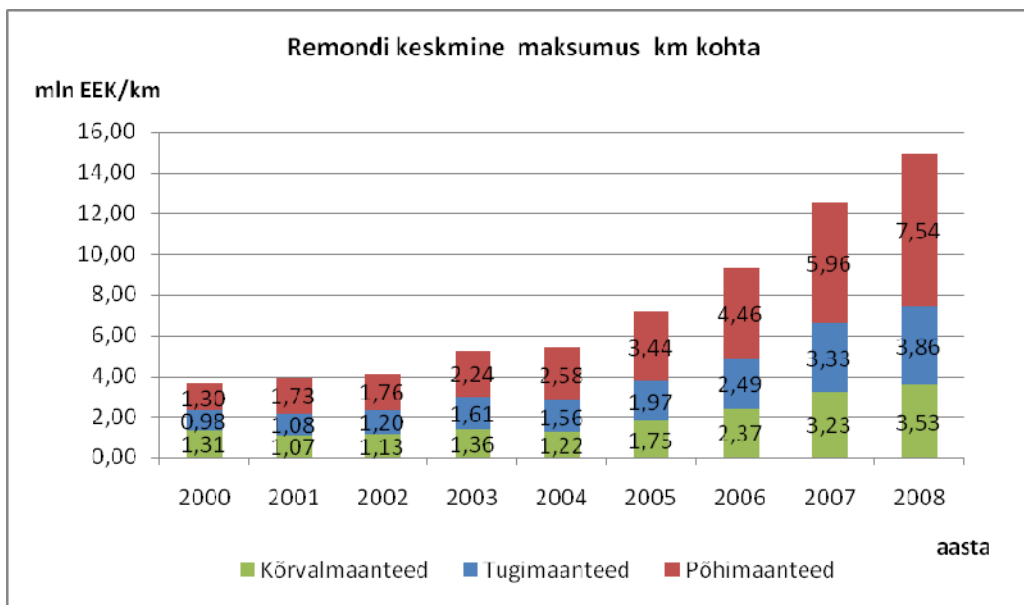
Töö	Ühik	Hind kr, km-ta
Stabiliseerimine 15 cm + a/b kate 10 cm + KMA	m ²	925
Stabiliseerimine 15 cm + a/b kate 10 cm	m ²	715
Stabiliseerimine 15 cm + a/b kate 5 cm	m ²	565
Freesimine + a/b kate 5 cm	m ²	515
Asfaltbetoonkate 6 cm	m ²	475
Mustkate ja pindamine	m ²	350
Profiili parandamine + 2-kordne pindamine	m ²	240

2008.a. tehtud analüüsi tulemusena hinnati vajaminevaks remonditööde kogumaksumuseks üle 4 mlrd krooni (vt järgnev graafik).



Remondi keskmine maksumus kilomeetri kohta

Järneval graafikul on toodud üldistatud keskmine 1 kilomeetri remondi maksumus maanteeliikide lõikes. Siinkohal tuleb juhtida tähelepanu, et see pole mitte tegelikkuses remondiobjektidel kasutatud summa, vaid analüüsi tulemuse arvatud maksumused.



Tehtud EPMS-analüüsi tulemusena valitakse välja teelõigud, mis:

- ei ole väga halvas seisukorras, kuid kus liiklussagedus on suur ja juba väike teekatte seisukorra parandamine annab suhteliselt suure majandusliku efekti;
- on halvas seisukorras, kuid kus tasuvus ei ole tingimata väga kõrge, kuna liiklussagedus on madal.

Keskmiselt tehakse Eesti riigimaanteedel pindamistöid iga 5-6 aasta tagant; pragude remonti tehakse iga aasta kevadel ja sügisel. Remontide vaheline periood sõltub siiski eelkõige liiklussagedusest ja teekonstruktsiooni materjalide omadustest.

Nagu eelpool mainitud põhjustavad teekatte lagunemist mitmed erinevad tegurid – ilmastik (külmumine/sulamine), soolamine libedusetõrjeks (aluskihis olev killustik laguneb ja kiht kaotab kandevõime), liikluskoormuse suurenemine, asfaltbetoonsegu ning selle paigaldamise kvaliteet, naastrehvide kasutamine talvisel ajal (roobaste teke) jne jne. Täpsemate põhjuste välja selgitamiseks tuleks vaadata igat konkreetset teelõiku eraldi, seda käesolevas uurimistöös ei käsitleta.

Iga teeremont põhjustab liikluspiiranguid, mis suurendab teekasutaja kulusid ning seetõttu on mõistlik pikendada teeremontide vahelist aega, et vähendada tekkivat majanduslikku kahju. Remontide vahelise perioodi pikendamiseks tuleks kasutada paremaid (ja kallimaid) materjale. Materjalide asendamise korral on tehniliste probleemidega võrreldes rohkem tegemist majandusliku probleemiga ehk kui ehitus kallineb, siis tuleb hinnata eelõige katendi eluea suurenemist.

11. Laiendatud kasutuse majanduslik mõju investeeringute suurusele, investeeringu- ja eksploatatsioonikuludele. Lubjakivikillustiku asendusväärtuse eeldatavad miinimum-maksimum suurused

Kuna Eestis kasutatakse graniitkillustikku peamiselt asfaltbetoonkatete ehitusel ja seni ei ole kasutatud graniitkillustikku katendi sidumata kihtidest (aluskihis), siis eelkõige on oluline leida asendusväärtus selles.

Asendusväärtus (*net replacement cost*) on kulu, mis tuleb teha vara asendamiseks teise varaga, mis on samade omaduste ja eaga. Kui vara ei saa asendada samasugusega, tuleb kalkuleerida kaasaegse samaväärse vara (*modern equivalent asset – MEA*) väärtus, mille korral asendusvara funktsioneerib samal tasemel, aga võib uue tehnoloogia või tuntavalt paremate näitajate tõttu omada tunduvalt suuremat erinevust hinnas.

Asendusväärtuse hindamisel on suurimaks probleemiks tulemi adekvaatsus vähese informatsiooni ja võrdlusvõimaluste puudumise tõttu.

Asendusväärtuse leidmiseks kasutatakse tavapäraselt väärtuse arvutamiseks järgmist valemit:

$$RV=RC - DE + (LV), \text{ kus}$$

RV – hinnatava vara asendusväärtus;

RC – hinnatava vara asendusmaksumuse väärtus;

DE – hinnatava vara amortisatsioonikulud;

LV – maa väärtus.

Amortisatsioon on muutus vara staatuses ja vara kasulikkuses ning väärtuse vähenemine. Vara amortiseeritakse kolmel moel: füüsiliselt, funktsionaalselt (tehnoloogiapõhiselt) ja majanduslikult (välisteguritest tingitult). Hinnatava vara amortisatsioonikulud määratletakse ühtlaselt, arvates asendusmaksumusest maha füüsilise, funktsionaalse ja majandusliku amortisatsiooni väärtused:

- Füüsiline amortisatsioon näitab muutust (alates vara kasutamise algusest) hinnatava vara füüsilistes omadustes;
- Funktsionaalne amortisatsioon on defektide ilmnemine teatud aja jooksul pärast turul toimuvaid muutusi tehnoloogia, moe või maitse osas või muude trendide ilmnemisel;

- Majanduslik amortisatsioon toimub teatavate väliste ja hinnatava varaga mitte seotud muutuste tõttu.

Käesoleva töö raames ei ole see valem täies ulatuses kasutatav.

Graniitkillustiku asendusväärtuse leidmisel pole maa väärtus oluline. Määrav on vara, antud hetkel siis paekivikillustikust või graniitkillustikust aluskihi kasulik eluiga, millest tuleneb amortisatsioonikulu suurus aastas. Paekivikillustiku graniitkillustikuga asendamisel ei saavutata vara samasuguseid omadusi ja iga, vaid tegelikkuses parenevad nii vara omadused kui ka pikeneb kasutusiga. See annab võimaluse ka asendusväärtuse suurenemiseks.

Katendi, mille hulka kuulub ka vaadeldav killustikust vahekiht, konstruktsiooni ja katteliigi valikul tuleb lähtuda projekteeritava maantee klassist, liikluse nõuetest, ehituse ja korrashoiu majanduslikkusest, perspektiivsest liiklussagedusest ning liikluskoosseisust, paikkonna kliima-, pinnase- ja hüdrokeoloogilistest tingimustest ning keskkonnanahoiust.

Asendusväärtuse leidmisel on katendile esitatavate nõuete hulgas olulised:

- Katendi üldpaksus ja üksikute kihtide paksused peavad tagama kogu konstruktsiooni tugevuse ja külmakindluse kogu projekteeritava kasutusaja kestel.
- Katendi konstrueerimise käigus tuleb valida kattetüüp, katendikihtide materjalid ja kihtide järjestus, kihtide orienteeruvad paksused ning külmakindluse, pragudekindluse ja nihkekindluse tagamise viisid.
- Valitud katend peab olema majanduslikus mõttes optimaalne.
- Katend peab koosnema võimalikult vähestest kihtidest. Katendi kogupaksus tuleb määrata tugevus- ja külmakindlusarvutustega. Kui tugevuse järgi arvutatud katend tuleb õhem kui külmakindluse seisukohast vajalik, täiendatakse katendit lisakihtidega.

Praeguste projekteerimismäärade järgi on soovitatav katendi kasutusajaks võtta 10-20 aastat, mille järgi peaks olema katendi amortisatsiooni kulu 5 % katendi maksumusest aastas.

Graniitkillustiku kasutamisel vahekihis ei saa katendi amortiseerimist enam kasutada põhimõttel, kus kogu katend amortiseerub ettenähtud aja jooksul. Katendi kaks alumist kihti, ilmselt tänu vahekihis kasutatavale paremate omadustega materjalile, peaks omama pikemat amortisatsiooniperioodi järgmistel põhjustel:

1. Graniitkillustik on paekivikillustikuga võrreldes oluliselt ilmastikukindlam, kuna ta veeimavus on väga väike. Kuna aluskihis pole seni graniitkillustikku Eesti tingimustes kasutatud, puuduvad võrdlusandmed erinevate graniitkillustikust aluskihiga teekonstruktsioonide eluea kohta erinevates niiskus- ja kliimaatilistes tingimustes ning liikluskoormusega piirkondades.

Suurenenud liikluskoormus ja puhaste kloriidide kasutamine libedusetõrjel nõuab teekatendite ehitamisel tugevaid ja kloriididele vastupidavaid materjale. Paekivikillustik laguneb soola vesilahuses, nii tee pinnal kui alustes, kuhu soolvesi läbi asfaltkatte pragude satub. Esimesel juhul tekivad poorsed kohad teekatte pinnale, teisel juhul tekivad aluse lagunemisest deformatsioonid. Keemiliselt on tõestatud, et naatriumkloriid lagundab paekivi, samuti väheneb paekivikillustiku külmakindlus 1% naatriumkloriidilahuses, võrreldes külmakindlusega tavalise vees, mitu korda.

Maanteeameti poolt AS-ist Teede Tehnokeskus tellitud uuringust selgus, et kõikidel suure koormusega kahe sõiduteega maanteedel on teekatte all lubjakivikillustikust alustes kuni 50% killustikust purunenud, seahulgas on tolmsete osiste sisaldus tõusnud kuni 24%-ni ja alus muutunud vettpidavaks.

Seega ei saa võrrelda aluskihi eluea pikenemist graniitkillustiku paremast külmakindlusest tingituna, sest need tulemused pole omavahel võrreldavad (graniitkillustik on praktiliselt vee ja soolakindel). See omadus peaks olema ilmselt määrav graniitkillustiku aluskihis eelistamisel.



Foto 1. Lubjakivikillustik pärast 9 külmutus-sulatustsüklit 1% NaCl lahuses (vasakul) ja destilleeritud vees (paremal).

Analoogne on ka Tallinna Tehnikaülikooli teadlaste 06.03.2008.a kirjas avaldatud seisukoht, kuid seal antakse ka alternatiivne võimalus suurendada suure liikluskoozumusega teedel seotud kihtide paksust.

Maanteeameti andmetel on 2007.a ehitusobjektide hinnapakkumiste alusel seotud kihi maksumus ca 1,5 korda suurem kui lubjakivi asendamine graniitkillustikuga. (E.Nurm ettekandest TTÜ Mäeinstituudi aastapäeval).

2. Graniitkillustiku tugevusomadused on oluliselt paremad kui paekivikillustikul.

Aastatel 2004-2006 on AS-i Teede Tehnokeskus laboris teostatud erinevate karjääride paekivikillustike katsetusi 179 korral.

Katsetuste tulemused olid järgmised:

Los Angeles tulemus	<25	25..30	>30
Proovide arv	14	41	124

Keskmine purunemiskindlus oli 32,6. Eestis on tegelikult kiirteele ning I, II ja III klassi maanteedele sobivat paekivikillustikku vähe ja teedeehituses on tehtud nõuetele sobiva kvaliteediga paekivi defitsiidi tõttu järeleandmisi.

Aastatel 2000-2002 AS Teede Tehnokeskus laboris teostatud erinevate karjääride tardsivikillustike katsetusi 67 korral, katsetuste tulemused olid järgmised:

Los Angeles tulemus	<25	25..30	>30
Proovide arv	45	14	8

Keskmine purunemiskindlus oli 22,09. Lihtsa lähendusega võib öelda, et graniitkillustiku purunemiskindlus on 1,48 korda parem ja vastab suures osas I klassi kivimaterjalide omadustele. Kui lähtuda purunemiskindluse suhtarvust, võiks aluskihi kasulikuks elueaks ainult selle näitaja baasil võtta 30 aastat.

AS Teede Tehnokeskus on vähesel määral teostanud ka paekivikillustiku ja graniitkillustiku kulumiskindluse katseid vastavalt katsenormile EVS-EN 1097-9 (kulumiskindlus Nordic katsel), mis peaks näitama transpordi intensiivsusest tingitud vibratsioonist vahekihi kulumist. Tardsivikillustikul on need näitajad 4,9...24,5; keskmine 12,19. Paekivikillustikul on need näitajad vastavalt 27,0...34,1; keskmine 30,0. Suhteliselt on graniitkillustiku kulumiskindlus 2,33 korda suurem.

Maantee ehitamisel kasutatavale killustikule, aga seega ka lubja- ja dolokivile, millest killustikku tehakse, on esitatud nõuded maantee klassi järgi. Hea kvaliteediga killustikku on võimalik suuremates kogustes toota Lasnamäe lademe lubjakivist, samuti Nabala ja Oandu lademe lubjakivist ning Jaagarahu lademe dolokivist. Seega paikneb kõrgema kvaliteediga maavara Harku, Vão, Nabala, Vasalemma ja Anelema maardlas ning teistes analoogse geoloogilise ehitusega maardlates (peamiselt Põhja-Eestis).

Madalakvaliteedilist IV klassi killustikku on võimalik toota ka aherainest või põlevkivi selektiivsel väljamisel kaksikpaest. Kui killustik vastab kõigest IV klassi nõuetele, seab see piirangud selle kasutamisele – selline killustik on kõlblik peamiselt täitematerjalina teede alumiste kihtide ja tammide ehitamisel, kus kõrge kvaliteediga killustiku kasutamine oleks maavara raiskamine. Ehitiste rajamiseks nõutavat kõrge kvaliteediga lubjakivist (nagu eespool märgitud, parim on Lasnamäe lademe lubjakivi) valmistatud killustikku ei ole võimalik täies mahus aheraine killustikuga asendada.

Põlevkivi aherainet ja sellest valmistatud killustikku juba turustavad Põlevkivi Kaevandamise AS ettevõtted, OÜ Ahtme killustik, AS Floccosa ja Kiviõli

Keemiatööstuse OÜ, kuid näitajate poolest ei konkureeri antud killustik graniitkillustikuga.

Arvestades eeltoodud ja Tallinna Tehnikaülikooli Teedeinstituudis valminud Maantee Projektteerimisnormide eelnõu tabel 4.11 nõudeid, kus kiir- ja I klassi teedel on aluseks kasutataval killustikul nõutud purunemiskindlus LA <25, siis seda rahuldab ainult graniitkillustik.

2005.a. koostas AS Teede Tehnokeskus Maanteeameti tellimusel „Riigimaanteede põhivarana ümberhindamise meetodikad”. Selles töös oli lähtutud kehtivatest projektteerimisnormidest ja eeldatud, et katend amortiseerub täielikult ettenähtud aja jooksul.

Tabel 7. Katendite taastamiskulude arvutamise võrdlushinnad

Tee klass	Katendiliik	Konstruksioon	m ² maksumus	Katte laius (m)	1km maksumus
I KLASS	asfalt-betoon	KMA 16, h=4cm	98		
		PAB 32, h=7cm	90		
		MUK 16/32, h=8cm + killustik, h=24cm	137		
		dreenkiht, h=20cm	20		
		Kokku	345	22	7 590 000
II KLASS	asfalt-betoon	KMA 16, h=4cm	98		
		PAB 32, h=7cm	90		
		MUK 16/32, h=8cm + killustik, h=22cm	132		
		dreenkiht, h=20cm	20		
		Kokku	340	11	3 740 000
III KLASS	1) asfalt-betoon	TAB 16, h=5cm	80		
		PAB 32, h=7cm	90		
		kergimmutus, h=4cm + killustik, h=16cm	75		
		dreenkiht, h=20cm	20		
		Kokku	265	9	2 385 000
	2) mustkate	MSE 20, h=8cm	75		
		killustik, h=20cm	52		
		dreenkiht, h=20cm	20		
		Kokku	147	9	1 323 000
	3) tuhkbetoon	TAB 16, h=5cm	80		
		PAB 32, h=7cm	90		
		tuhkbetoon, h=20cm	45		
		dreenkiht, h=20cm	20		
		Kokku	235	9	2 115 000

IV KLASS	1) mustkate	KAB 16, h=8cm	80		
		killustik, h=20cm	52		
		dreenkiht, h=20cm	20		
		Kokku	152	8	1 216 000
	2) tuhkbetoon	KAB 16, h=8cm	80		
		tuhkbetoon, h=20cm	45		
		dreenkiht, h=20cm	20		
		Kokku	145	8	1 160 000
V KLASS	1) pinnatud kruus	kruus, h=20cm + 2 x pindamine	60	7	420 000
	2) purustatud kruus	purustatud kruus, h=20cm	40	7	280 000

Vaadates I klassi maantee 1 m² hinda ja kui arvestada 1 tonni paekivikillustiku jaehinda 120 EEK/tonn, siis paekivikillustiku hind moodustab 1 m² katendi hinnast 17,36 %, kuid samas võib selle asendus oluliselt pikendada tee kasulikku eluiga ja tõstab seeläbi ka graniitkillustiku asendusväärtust.

Lubjakivikillustiku graniitkillustikuga asendamisel asendusväärtuse katendi aluskihis leidmise eelduseks on graniitkillustiku keskmestatud hind 250 EEK/tonn ja 200 EEK/tonn laoplatsil Muuga sadamas või tööstusplatsil Jõelähtme vallas endises fosforiidikarjääris, laetuna autole või raudteevagunisse

Asendades paekivikillustiku graniitkillustikuga on I klassi katendi maksumus 409,90 EEK/m² (graniitkillustikku 30,45%).

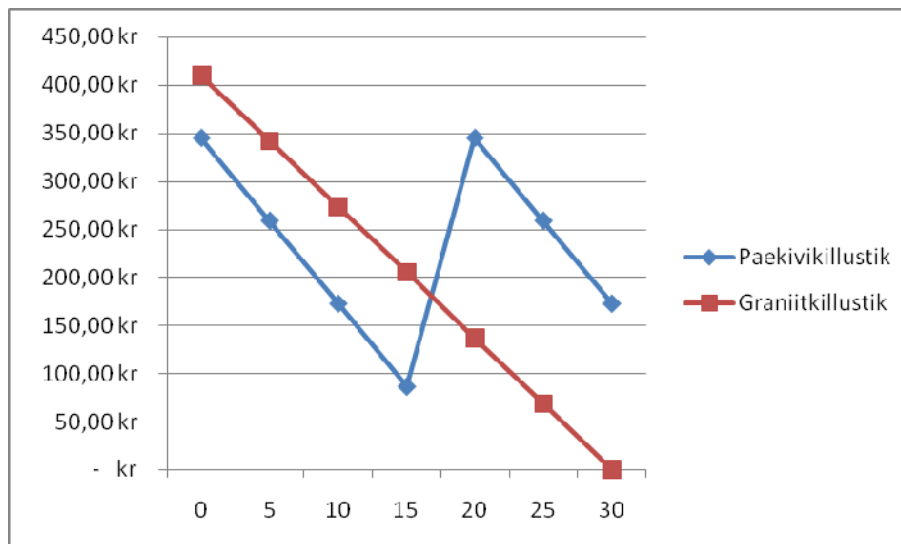
Kui graniitkillustikust aluskihi puhul tee eluiga (amortisatsiooni perioodi) ei pikendata, siis katte kapitaalremondi puhul 20-ndal aastal tuleb kuludesse kanda 1 m² hinnast 136,63 EEK. Omaniku amortiseerimiskulutused on siis 20 aastases perioodis paekivikillustikust aluskihi puhul 345 EEK/m², graniitkillustiku puhul 409,90 EEK/m² ehk 18,8 % suuremad.

Kui aga graniitkillustiku puhul periood pikeneb 30 aastani, on omaniku kulutused 30 aasta jooksul vastavalt 615,50 EE/m² ja 605,9 EEK/m² ehk 1,6 % väiksemad. Kulutuste hulka on arvestatud KMA uuendamine kord 10 aasta jooksul.

Sellise arvestuse puhul oleks graniitkillustiku asendusväärtus (juhul kui muudetakse ainult seda ja muud kuluartiklid ei suurene) **269,23 EEK/tonn** (omanikul on kulud samaväärse objekti sama perioodi vältel siis 615,50 EEK/m²).

Antud hinnang on ilmselt keskmine asendusväärtus, reaalne asendusväärtus on määratav piisava andmebaasi olemasolul.

Järgneval graafikul on näha katendi jääkväärtuse muutumine arvestades paekivikillustikust aluskihi puhul katendi elueaks 20 aastat, graniitkillustiku puhul 30 aastat.



Graafikul ei arvesta katte kulumiskihi uuendamisi amortisatsiooni perioodi puhul.

Nagu eespool mainitud, on Eestis kiirtee ja I klassi tee nõuetele vastavat paekivikillustikku vähe. Juhul kui tee-ehituse tellija ja ehitusjärelvalve on kindla nõudmisega kasutada ainult vastava purunemiskindlusega paekivikillustikku, siis on reaalne, et defitsiidi tõttu võib killustiku hind tõusta ca 25-50 % ehk kuni 180 EEK/tonn.

Sellisel juhul on sama arvutuskäiku jälgides graniitkillustiku asendusväärtus **359,23 EEK/tonn**. See võib olla hinnanguline maksimaalne asendusväärtus.

Tegelik asendusväärtus sõltub lisaks graniitkillustiku kasutusomadustele veel turusituatsioonist, turu konkurentsist ja ka kasutuskõlblike paekivivarude olemasolust. Antud arvestustes on aluseks paekivikillustiku jaehind, hulgihind on kindlasti madalam ja seetõttu alaneb ka graniitkillustiku asendusväärtus.

Samuti on oluline tulevikus teedehituses graniitkillustiku suuremal kasutamisel läbi uuringute koguda andmebaas, kuidas graniitkillustik mõjub tee elueale ja missugune on katendi konstruktsiooni muutus sõltuvalt niiskusrežiimist, ilmastikust ja liikluskoormusest.

Lubjakivikillustiku asendusväärtuse eeldatavate miinimum suuruste leidmisel on aluseks võetud järgmine:

Paekivikillustiku jaehinnad Eesti suurematelt tootjatelt, EEK/tonn, ilma KM:

Hankija	Karjäär	Fraktsioon 4/16	Fraktsioon 16/32	Fraktsioon 32/40	Fraktsioon 32/64
Eesti Põlevkivi	Aidu	40	50	40	50
Eesti Põlevkivi	Estonia	75	80	75	80
Kiirkandur	Tarva	120	120		120
Kiirkandur	Kalda	140	120		120
Väo Paas	Väo	140	125		139
Harku karjäär		130	120		120

Paekivikillustiku hind on graniitkillustiku keskmestatud hinnast keskmiselt 2,08...1,79 korda madalam, samas on paekivikillustiku tugevusomadused väga kõikumad ja teedehituses kasutatav paekivikillustik vastab Asfaldinormides AL ST 1-02 toodud III ja IV killustiku klassi nõuetele. Eesti Põlevkivi väga soodsa hinnaga paekivikillustik on tegelikkuses aherainekillustik ja tugevusnäitajatelt maksimaalselt IV tugevusklassi killustik väikese külmumiskindlusega.

Materjalide ja tööjõu kulude hinnatõus on viimastel aastatel vähendanud teeremondi ja ehitustööde mahtusid. Sellises olukorras, kus üritatakse ehitada võimalikult madala hinnaga võimalikult palju, siis pole oluline paekivikillustiku ja graniitkillustiku vee- ja külmakindluse erinevus ning purunemiskindlus, vaid hind. Sellest väitest tulenevalt on graniitkillustiku minimaalne asendusväärtus võrdne hetkel kehtiva paekivikillustiku hulgihinnaga.

Eestis valitses kuni 2008.aastani killustiku puudus, mis tingis senisest suurema vajaduse kasutada põlevkivi rikastusjääke (rakendada fraktsioneerimist, s.o purustamist-sõelumist).

Seisuga 31. detsember 2006 oli lubjakivimaardlate mäeeraldistes arvel 54,6 mln m³ varu ning sealt kaevandati aastas ligi 2,8 mln m³. Sellise kaevandamismahu juures jätkub mäeeraldiste lubjakivivaru veel ligi 20 aastaks. Dolokivimaardlate

mäeeraldistes oli seisuga 31. detsember 2006 arvel 7,1 mln m³ varu ning seal kaevandati aastas ligi 0,5 mln m³. Järelikult jätkub praeguste mäeeraldiste dolokivivaru veel ligi 14 aastaks. Kuigi nimetatud varude mahu järgi ei tundu olukord väga kriitilisena, tuleb siiski arvesse võtta mäeeraldiste paiknemist ja maavara kasutuskoha kaugust kaevandamispiirkonnast, samuti lähitulevikku kavandatud suuri teedehituse projekte ning teisi kavandatavaid ehitisi.

Ehitusmaavarade kasutamisel võib olukord kriitiliseks muutuda 5–10 aasta pärast. Esimesed raskused ehitusmaavaradega varustamisel võivad aga ilmnedagi varem, kui Tallinna ümbruses käivituvad mahukad teetööd, milleks läheb vaja suuri killustikukoguseid. Harju maakonnas moodustab Tallinna lähiümbruse (umbes 50 km raadiuses) ehituslubjakivi ja ehitusliiva varu üle 50% kogu Eesti aktiivsest varust. Seega mõjutab Harjumaa ehitus-lubjakivi varu kasutamine kõige enam nende maavaravarude bilanssi kogu Eesti kohta.

Tallinna linnalähedased lubjakivikarjäärid asuvad Lasnamäel paiknevas Vao maardlas, Õismäe külje all asuvas Harku maardlas ning Tallinnast veidi kaugemal asetsevas Maardu maardlas. Kõige piiratumad on Vao maardla varud. Lahendus oleks maardla laiendamine naaberaladele, aga see ei ole linnalähise tiheda asustuse tõttu mõeldav.

Piiratud koguste tõttu vajab reguleerimist kvaliteetse lubja- ja dolokivi ning aherainekillustiku kasutamise otstarbekas suunamine, mis lähtub ehitusmaavara nõutavast kvaliteedist ning arvestab seejuures tarbimiskoha optimaalset veokaugust (lahendamist vajavad eelkõige logistikaprobleemid). Ilmselgelt ei ole kogu paekivikillustiku asendamine (kuigi looduspildi ja keskkonna säilumise poolelt on see väga oluline) graniitkillustikuga majanduslikult põhjendatud. Paekivivarude säästlikum kasutamine ja pikemaks perioodiks varude säilitamine on täiendav argument graniitkillustiku kasutamise põhjendamiseks.

Kokkuvõtteks:

1. Kristallinne ehituskivi – graniit, on tugevusomaduste ja külmakindluse poolest lubja- ja dolokivist tunduvalt kvaliteetsem. Maardu maardla avamisega väheneks graniitkillustiku importimise vajadus ning sõltuvalt väljamüügihinnast, korvab graniitkillustik kindlasti ka kõrge kvaliteediga lubjakivi defitsiidi.
2. Kuna aluskihis pole seni graniitkillustikku Eesti tingimustes kasutatud, puuduvad võrdlusandmed graniitkillustikust aluskihiga erinevate teekonstruktsioonide eluea kohta erinevates niiskus- ja kliimaatilistes tingimustes ning liikluskoormusega piirkondades.
3. Seisuga 31. detsember 2006 oli lubjakivimaardlate mäeeraldistes arvel 54,6 mln m³ varu ning seal kaevandati aastas ligi 2,8 mln m³. Sellise kaevandamismahu juures jätkub mäeeraldiste lubjakivivaru veel ligi 20 aastaks. Dolokivimaardlate mäeeraldistes oli seisuga 31. detsember 2006 arvel 7,1 mln m³ varu ning seal kaevandati aastas ligi 0,5 mln m³. Järelikult jätkub praeguste mäeeraldiste dolokivivaru veel ligi 14 aastaks. Varude lõppemisel on ilmselgelt parimaks alternatiiviks kohalik graniit. Paekivivarude lõppemisel konkureerib kodumaine graniit ainult välismaise graniidi hinnaga ning see võimaldab tõsta kodumaise graniidi hinna välismaisega võrdsele tasemele (konkurentsi eeliseks jääb transpordikulude kokkuhoid).
4. Graniitkillustiku ja paekivikillustiku tee-ehituses nõutavatest omadustest ei saa võrrelda aluskihi eluea pikenemist graniitkillustiku paremast külmakindlusest tingituna, sest need tulemused pole omavahel võrreldavad (graniitkillustik on praktiliselt vee ja soolakindel). See omadus peaks olema ilmselt määrav graniitkillustiku aluskihis eelistamisel ja tee kasutusea pikendamisel.
5. Graniitkillustiku purunemiskindlus on 1,48 korda parem ja kulumiskindlus 2,33 korda suurem ning materjal vastab suures osas I klassi kivimaterjalide nõuetele, mida tuleks kindlasti kasutada kiirteede ja I klassi teede ehituses.
6. Sellises olukorras, kus üritatakse teedehituse kvaliteet hoida minimaalsel võimalikul tasemel ja ehitada võimalikult madala hinnaga võimalikult palju, siis pole oluline paekivikillustiku ja graniitkillustiku vee- ja külmakindluse erinevus ning purunemiskindlus, vaid hind. Sellest väitest tulenevalt on graniitkillustiku

minimaalne asendusväärtus võrdne hetkel kehtiva paekivikillustiku hulgihinnaga. Kui tänu graniitkivi killustikule on võimalik pikendada I klassi teede kasutusiga 30 aastani (see eeldab uuringuid, katseliste või realselt ehitatud uue konstruktsiooniga teelõike ja piisavat kogemuslikku andmebaasi) on sõltuvalt paekivihinnast graniitkillustiku asendusväärtus **269,23 kuni 359,23 EEK/tonn.**

7. Asendusväärtuse hinnang võib osutuda valeks, kui uue toote soodushinnaga turuletulekul tekib terav konkurents killustikmaterjalide tootjate vahel.
8. Asendusväärtus on prognoosne. Selle tegeliku suuruse määramiseks puuduvad piisavad võrdlusandmed. Perioodi, mille kohta prognoose tehakse, võib pikendada üle 20 aasta tingimusel, et prognoosid säilitavad usaldusväärsuse. Soovitavalt ei tohiks analüüsiperioodid olla siiski pikemad kui 30 aastat (tavaliselt tehakse analüüse 20 aasta kohta), kuigi teatud teedehituslikud lahendused võivad olla suunatud pikaajalistele projektlahendustele, mille kasutusiga on oluliselt pikem kui 30 aastat. Riski ja ebakindluste tõttu tuleviku suhtes on kõik ennustused ja prognoosid, mis puudutavad kahekümnest aastast pikemat ajajärku, äärmiselt spekulatiivsed, sest väga raske on näiteks ette ennustada liiklussagedust, milliseid liiklusvahendeid kõige enam kasutatakse, nende jagunemist, muutusi tehnoloogias, maakasutuses, demograafilistes näitajates.
9. Eesti maastikupildi ja looduskeskkonna säilumise poolelt on keskkonna teadliku suhtumise alusel eelistatud graniitkillustiku kasutuselevõtt.

12. Kasutatud kirjandus

1. 1995-200 aastal ehitatud katete seisukorra analüüs. AS Teede Tehnokeskus, 2001.
2. Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52. Maanteeamet, 2001
3. Riigimaanteede põhivarana ümberhindamise meetodikad. AS Teede Tehnokeskus, 2005.
4. Riigimaanteede ja rajatiste amortisatsiooninormide analüüs ja ettepanekud nende muutmiseks. AS Teede Tehnokeskus, 2006.
5. Teekasutaja kulude sõltuvus teekatte seisukorra näitajatest. AS Teede Tehnokeskus, 2005
6. Teekatendite tugevuse hindamine dünaamilise koormusseadmega. TTÜ, Teedeinstituut, 2006.
7. Maanteede projekteerimismõõdud ja sellega seotud määruste korrektuur. TTÜ, Teedeinstituut, 2005
8. Teekatendi üksikute kihtide elastsusmoodulite mõõtmine ja nende alusel kandevõime parameetrite välja töötamine. Lõpparuanne. AS Teede Tehnokeskus, TTÜ Teedeinstituut, 2008.
9. Karbonaatse killustiku määramine destilleeritud vee ja NaCl lahuses. TTÜ, Mäeinstituut, 2008.
10. EPMS analüüs 2008.a. kevad. Maanteeamet, 2008.
11. Aastaraamat 2008. Maanteeamet, 2009.
12. Tietilasto 2007. Tiehallinto, 2008.
13. Life cycle assessment of road construction. Tielaitos, 2000.
14. Infrakenteiden kunnoosapito- ja uusimisjaksot. 2003.
15. Väylän alusrakenteen elinkaarikustannusmalli. Teknillinen Korkeakoulu, 2005.
16. Elinkaarikustannukset ja painumariskit tien perustamistavan valinnassa. Tiehallinto, 2004.
17. Päällysrakenteen elinkaarikustannusanlyysi. Tiehallinto, 2001.
18. Kestopäällysteiden kunnon piilorakennemalli. Tielaitos, 1992.
19. Tienrakenteen käyttöiän hallinta uuden teknologian avulla. Loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto, 2008.
20. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinto, 2002.