



# **2+2 maantee asfalt- ja betoonkatendi konstruktsiooni hinnavõrdlus tee 40-aastase elukaare jooksul**

Betoonteede võimalik rakendus Eestis –  
võrdlev hinnang saksa tüüpkatendilahenduste baasil

Töö vastutav täitja: volitatud teedeinsener Ain Kendra

veebruar 2020



## SISUKORD

Sissejuhatus.....	5
1. Betoonkate.....	7
2. Siirdetegurid, prognoos ja mõju. ....	11
3. Saksa tüüpkatendid. ....	13
4. Saksa tüüpkatendite koormused ja nende võrreldavus.....	15
5. Taani MMOPP2017.....	19
6. Eesti teed ja 2+2.....	21
7. Konstruksiooni valik .....	27
Tehnoloogilised alternatiivid asfaltkatte hooldusel.....	28
8. Kulude võrdlus.....	29
Saksa standardlahenduste võrdlus (killustikalusel) .....	30
Betoonkatendi võrdlus Saksa asfalt- ja Eesti asfaltkatendiga.....	32
Järeldused.....	36
9. KOKKUVÕTE.....	37
10. Kasutatud kirjandus.....	38
LISAD .....	40



## SISSEJUHATUS

Tunnistades, et tänase teedehituse oluliseks materjaliks on imporditav naftabituumen, tuleb rahvamajanduslikes huvides aktiivselt otsida võimalusi kohalike materjalide, lubjakivikillustiku ja tsemendi, paremaks ärakasutamiseks.

Selleks, et asfaltbetoon- ja tsementbetoonkatendite hinnad oleksid võrreldavad, tuleb aluseks võtta suuremat/võrdset kandevõimet nõudev teekonstruktsioon ning kuna erinevate katendite eluiga on erinev, siis uurimistöös tuleb võrrelda ehitusmaksumust, remondi- ja hoolduskulusid tee 40-aastase elukaare jooksul.

Konstruktsioonikihtide ehitamise ühikhindade juures võtsime aluseks eeldatava 2+2 maantee ehituse pikkusega 20 km ning asfaltbetooni- või tsementbetooni tehase paiknemise objekti lähipiirkonnas (teisaldatavad tehased). Töös kasutame suuremate teedehitusettevõtete poolt pakutavate ühikhindade väärtusi, millised võiksid olla realistlikud eeltoodud objekti asukoha puhul.

Uuringus võrreldakse mitte tee-ehituse kogumaksumusi vaid teekatendi konstruktsiooni ehituse hindu, kaasa arvatud hoolduse ja remondi kulusid 40 aasta jooksul. Käesolevad hinnavõrdlused ei sisalda tee muldkeha ja rajatiste rajamise hindu, samuti makse (sh käibemaks) – need on võrreldavas suurusjärgus mõlema teekatendi tüübi korral.

Kokkuvõtte lähteülesandest:

1. Tsementbetoon- ja asfaltbetoonkatendite hinnavõrdlus 40-aastase elukaare jooksul Saksamaa tüüpkatendite baasil, diskonteerituna tänasesse päeva.
2. Koormussageduse prognoos ja betoonkatendile sobilike teelõikude valik.
3. Naastrehvide kasutamise mõju katendi kulumisele ja naastrehvide kasutuse piiramine.



## 1. BETOONKATE

- **Kasutusaeg.** Betoonkatte kasutusaeg on pikem, kuna betoon, võrreldes asfaldiga, ei vanane vaid järelkivineb. Asfaldi vananemine seondub bituumeni omaduste muutusega mis tuleneb päikesekiirguse mõjust, tulemusena materjal läheb rabedamaks. MKM määruse (106) [9] järgi on püsikatendi tööiga vähemalt 15 aastat. Maanteeameti juhise (MA 2017-003) [3] järgi tuleb tööiga valida vähemalt 20 aastat. Kuna katendi dimensioneerimisel on määravaks summaarne koormus, siis käesolevas töös eeldatakse lisaks koormuse mõjule vaid asfaldikihtide vananemist ja sedagi ainult ülakihtide osas. Saksa tüüpkatenditel [6] on vaikimisi tööeaks loetud 30 aastat, käesolevas töös oleme selle tõstnud kõigi katendiliikide jaoks 40 aastani – Eesti asfaltkattel (vastavalt juhisele) 20 aastat. Samuti on sellega ühtlustatud olukord vaatlusperioodi lõpuks (jääkväärtuse käsitus).

- **Teekatte omadused muutuvad ajas.** Asfaltkattel kaasneb suurema koormusega ka roobaste teke. See protsess seondub nii raskeliiklusega (plastne deformatsioon, asfaldi voolavus koormuse all eriti aladel, kus esineb staatiline koormus) kui naastrehvide põhjustatud kulumisega. Hüdraulilise sideainega kihtidel (nii tsemendiga stabiliseeritud materjalid kui ka betoon) praktiliselt puudub plastne deformatsioon ja siit tulenevalt on betoontee eriti hästi sobilik suurema raskeliikluse koormusega (mitte raskeliikluse osakaalu vaid just absoluutväärtuse alusel) teedele [1]. Roobaste tekke ala on reeglina asfaldi ülakihtides – varasemate teadustööde järgi on suurimad nihkepinged kuni 10 cm sügavusel asfaldikihtides, seega kriitiliseks positsiooniks on AC bin ja selle kihi nihkekindluse saavutamiseks tuleb kasutada jämedamaterjalist asfaltbetooni (AC 20) ning võimalusel ka polümeerbituumenit.

- **Roopa arengu jaotus.** Asfaltkatete roopasügavuse mõõtmistulemuste järgi on järeldatud, et ca 1/3 roopasügavusest formeerub järeltihenemise protsessis paari kuu jooksul liiklusele avamisest (järeltihenemise protsess võib ajas jätkuda, seda just kuumade ilmadega, kuid hilisema järeltihenemise ulatus on marginaalne), keskmiselt 1/3 tuleneb valdavalt naastrehvide mõjust (kulumine) ja 1/3 raskeliikluse mõjust (deformatsioon nihkepingete mõjul ja konstruktsioonikihtide läbivajumine) – sisuliselt on need protsessid ajaliselt piiramata (igavesed) kuid antud juhul piirdume ajaliselt lubatud maksimaalse roopasügavuse formeerumise ajaga sest reeglina peaks meil puuduma võimalus lubatust juba suuremaks moodustunud roopa edasiseks jälgimiseks. Seda keskmist jaotust ei saa aga üheselt konkreetsele lõigule rakendada nii liikluse/koormuse

jagunemise erisuse tõttu kui ka seetõttu, et kulumisjälgede vahekaugus (sõiduauto rattavahe ca 150 cm) on väiksem kui raskeliiklusest tulenevate vajumisjälgede keskme vahekaugus (paarisratastel 170-180 cm, üksikratastel 200-205 cm) ja seetõttu konkreetsetes ristlõigetes on tegurid erinevad [4]. Laiema sõiduraja (3,75) korral jälg hajub sest sõidukid ei liigu päris jälg-jäljes; kitsendatud sõiduradadel (3,00-3,25) ja äärekividega või piiretega piiratud alal on koormus teravalt kontsentreeritud [8], jälg võib olla kitsam ja sügavam. Ka Rootsi 2+1 lahenduste tutvustusel (2012) hinnati võimalikuks kulumise kiirenemise ulatuseks 30-40% tulenevalt kitsamast sõidurajast ja piirde lähedusest. Katendiarvutuses võidakse arvestada raja laiust (Rootsi, Taani) või raja laiust koos peenraga arvestades ka mulde nõlva kallet (Soome).

• **Naastrehvid.** Betoonkatted on enam levinud aladel, kus naastrehvi kasutus on minimaalne või puudub – naastrehvide põhjustatud kulumist (ehk kulumisest tingitud remondivõtete rakendamise vajadust) võib kahandada:

o betooni omaduste valikuga (pesubetoon, suurema terasuurusega kivimaterjal) kuid vältida ei ole võimalik, seega soodustaks betooni kasutust ka naastrehvide osakaalu kahandamine.

o asfaltkattel, bituumeni (parem nake) ja kivimaterjali (raskem ja kulumiskindlam kivi) valikuga

o Võttes aluseks põhimõtte „saastaja maksab“ võib seda laiendada ka naastukasutusele ning maksustamisega saavutada naastrehvide kasutuse kahanemine tasemele, mis kahandab oluliselt katte kulutamist, kuid tagab teekatte pinna karestamise talveperioodiga. Betoonkatte haardeteguri mõõtmised on näidanud nii Soomes kui Rootsis, et suveperioodil lihvitakse teekatte pind siledamaks (libedamaks) ja naastrehvidega see talvel karestatakse. Ka Eesti asfaltkatete haardeteguri ja mikrotekstuuri mõõtmised näitavad, et naastrehvid karestavad katte ja suvesoojaga haardetegur kahaneb. Riikides, kus naastrehvide kasutus on keelatud, tuleb haardeteguri taastamiseks kasutada teekatte karestamiseks näiteks teemantfreesimist. Hinnanguliselt piisaks karestamiseks naastrehvide kasutuse osakaalust sõiduautodel 10...25% (täna 75-90% asemel). Naastrehvikasutuse maksustamiseks on mitmeid võimalusi alates ajapõhisest (analoogne liikluskindlustusega), rehvi hinnale lisatavast aktsiisist kuni läbisõidupõhise lähenemiseni koos teekasutustasu skeemi laiendamisega kõigile sõidukitele.



o Teekatte markeeringu nihutamise (võimalus kulutada katet ühtlasemalt, sest markeeringut uuendatakse sagedamini, kui tuleks roopaid kõrvaldada) on võimalik edasi lükata roobaste tasandamise protsessi. Paraku eeldab markeeringu nihutamine ka normidest laiemat katendit, et säilitada vajalikud turvavahed nii kesk- kui äärepiretega.

o Betooni vajalik tugevusnäitaja võib olla seotud naastrehvide kasutuse intensiivsusega, kuid tõenäoliselt on optimaalne C30/37. Soome katselõigul on survetugevus olnud 55 MPa kuid ka see ei taga kaitset naastrehvidest tuleneva kulumise vastu. Kindlasti tuleb eristada otsene ülakiht (kulumiskiht) ning märgmärjal tehnoloogiaga alakihid võivad olla väiksema survetugevusega materjalist (seda näitab ka Taani võrdlus). Kaaluda tuleb asfaltbetoonist kulumiskihi kasutamist mis võimaldab betoonaluses kasutada madalamate parameetritega materjali.

Naastrehvide kasutusega kaasneb igal juhul saastekoormus, betooni puhul on see koormus väiksem ja saaste struktuur keskkonna suhtes soodsam, konkreetne kulutatud materjali võrdlus vajaks laborikatseid (betoon vs asfalt).

Kui protsessis on naastrehvide mõju alahinnatud, on alati võimalik Soome eeskujul lisada asfaldist kulumiskiht. Sellise lisatud kihi edasine asendamine toimub vastavuses kulumisega, kuid asfaldist kulumiskihi roobas formeerub ainult naastrehvide mõjust erinevalt asfaltkatte roopa arengust.

- **Dimensioneerimise alus.** Teekatendi konstrueerimisel tuleb arvestada nii maksimaalset teljekoormust (eriti staatilise koormusega aladel) kui korduvkoormuste arvu (miljonit normtelge katendi tööea jooksul). Reaalsed liiklusloenduse tulemused on taandatud aastakeskmiseks ning nende baasil koostatakse liiklusprognoos, korduvkoormuste mõju arvutuseks taandatakse liiklussagedused koormussageduseks siirdeteguritega (igale sõidukitüübile vastab keskmiselt konkreetne 10-tonniste paarisratastega normtelgede arv)<sup>1</sup>.

- **Kasutusaeg.** Nii Soome kui Rootsi katendiprojekteerimise puhul on tööea vaikeväärtuseks 20 aastat, kuid määravaks ei osutu otsene aeg vaid pigem katendi tööea jooksul läbiv telgede arv ja olulist vahet pole, kas see koormus ületab katendit 20 või 40 aastaga (vananev katendi ülakiht asendatakse vastavalt kulumisele, suurema liiklussageduse puhul ka mitu korda). Saksa tüüpkatendid tuginevad 30-aastaselt tööeal,

---

<sup>1</sup> Betoonte kontekstist töötab seega koormussagedus betooni kasuks kuni naastrehvi kasutus ei kahane, liiklussagedus betooni kahjuks kuna naastrehvidega on varustatud sõidua autod

Taanis ja Rootsis on vaikeväärtuseks samuti 20 aastat kuid kasutajal on valikuvõimalused mõlemas suunas. Lihtsustatud lähenemisega võib öelda, et iga järgmine (sügavam) katendikiht peab vastu kaks ülakihti. Siit tulenevalt valitakse asfaltkatte hooldusmeetmed ja -sagedused.

**Järeldus: betoonkate sobib suurema raskeliikluse sagedusega teedele ja tõenäoliselt võime eeldada roopa arengut võrreldes asfaltkattega kuni kolm korda aeglasemas tempos.**

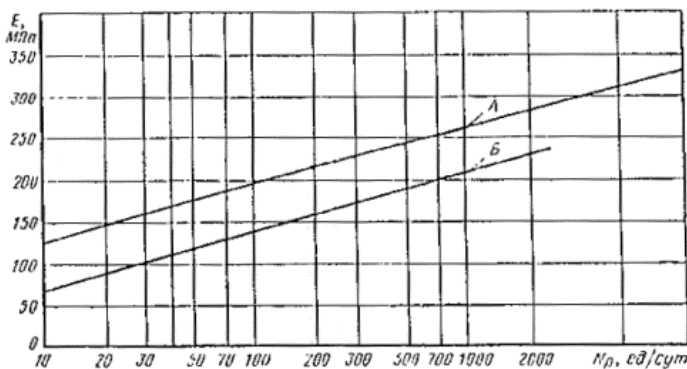
## 2. SIIRDETEGURID, PROGNOOS JA MÕJU

2013 Maanteeameti tellimisel teostatud betoonteede uuring [1] võrdles pakutud betoonkatte lahendust sel hetkel kehtinud reeglite kohase Eesti asfaltkattega – hilisemate uuringutega on selgunud, et võrdlusalus oli tõsiselt aladimensioneeritud vastavuses hetkel kehtinud reglemendile ja seetõttu ei olnud võrdlus korrektne. Siinjuures on oluline arvestada nii projekteerimise aluseks võetavat koormust kui ka kogu katendiarvutusloogikat (KAP) [5] . Koormus leitakse tuginevalt liiklusloendusest ja prognoosist, rakendades reaalselt loetud sõidukite struktuurile siirdetegurid, mis taandavad loetud koosluse 10-tonnisteks paarisratastega normtelgedeks.

Siirdetegurid on ajas muutuvad seetõttu, et muutuvad nii sõidukid (täismass, telgede arv, rehvitüüp ja rehvirõhk) kui reaalsed koormused (kandevõime kasutustase). Kuna teekatendite projekteerimisel püütakse prognoosida olukorda ette 20...40 aastat, tuleb ennustada ka neid muutusi. Eestis oleme paremal juhul suutnud ajalise nihkega arengule järgi joosta, veel mitte prognoosida.

- Kuni 2016 kehtisid pikemat aega ühtsed siirdetegurid, mis on tänaseni ka projekteerimismõõnides (MKM määrus 106 tabel 4.2) fikseeritud (keskmine autorong 2,0).
- 2016-ndast kasutatakse riigiteedel uuendatud tegureid (autorongide keskmine 3,76) ehk arvestuslik koormus on peaaegu kahekordne [2].
- Kuna siirdetegurite uuendus (2015) tugines tõenäoliselt rehvitüübi valikul ja varasemalt kasutuses olnud kandevõime kasutustasemel, siis lähiaastatel tuleks tegureid korrigeerida, võttes arvesse reaalselt määratavat rehvitüübi jaotust (super-single rehvi kasutuse ulatus) ja tegelikke teljekoormusi (see võiks olla võimalik Ääsmäe-Kernu teelõigule uuetüübilise kaalupunkti rajamise järel). Orientiiriks võib valida ka Vene uusima standardi (2018), kus autorongide siirdetegurid jäävad vahemikku 2,98...9,94 ja enamlevinud koosluse (2+3 – kaheteljeline sadulveok kolmeteljelise poolhaagisega) järgi valdavaks teguriks kujuneks 7,42 mis on praktiliselt kahekordne meil seni kasutatavaga võrreldes.
- 2013 uuringus kasutati sel hetkel kehtinud siirdetegureid, seega reaalselt tuleks võrdluseks kasutada 2 (tänapäevase kehtiva järgi) kuni 4 korda suuremaid koormusi.

Eesti juhise [5] järgi koormussagedusest vajaliku kandevõime arvutamise valem on võetud 1983-nda aasta NL juhisest (VSN 46-83) ja ilmselt oleme koormussagedustega jõudnud algse juhendi kontrollitud määramispiirkonnast väljapoole – kuna tegemist on logaritmilise seosega, siis koormussageduse lisamisel muutuvad nõuded katendile minimaalselt. VSN normi graafiku analüüs näitab, et kaks viimast vertikaaljoont on vastavalt 5000 ja 10,000 normtelge ööpäevas ning nendele vastavad kandevõime väärtused 308 ja 329 MPa. Tegemist on KAP kasutatavate väärtustega, mis ei ole otseselt mõõdetavad ühegi teadaoleva tehnilise vahendiga. Analoogse koormusega Soome normides [7] ületab nõutav elastsusmoodul taseme 500 MPa, mistõttu asfaltkatte paksus KAP-rehkenduse 18-20 cm asemel kujuneb Odemarki valemiga Soome normide alusel arvatult 25-26 cm. Katendiarvutuse aluseks on Boussinesq teooria, mida on edasi arendanud Odemark – sarnasel alusel on ka Vene süsteem (VSN nomogrammide) kuigi selle alused ei ole adekvaatselt dokumenteeritud.



Joonis 1. Vajaliku kandevõime seos arvutusliku koormusega (VSN 46-83)

Käesoleva töö koormustega kontrollides selgus näiteks, et vaid üks sentimeeter AC base paksuses suurendab KAP algoritmides katte ressursi (maksimaalse koormussageduse) kahekordseks – see ei ole realistlik – ehk, kui see peakski õige olema, osutuvad määravaks teised tegurid, millest tulenevalt peaks kate olema oluliselt tusedam. Näiteks, prof. Rothenburgi [3] soovitus, rakendada I ja II klassi teede projekteerimisel normkoormusena mitte paaris- vaid üksikratast (super single).

**Järelikult ei ole võimalik kehtivat süsteemi sisuliselt parandada ainult arvestusliku koormuse suurendamisega (siirdetegurite tõstmisega). Seetõttu on käesolevas uuringus lisatud võrdluse ka Saksa tüüpne asfaltkatend, mis peaks andma parema pildi betooni ja asfaldi võrdlusest.**

### 3. SAKSA TÜÜPKATENDID

Tüüplahendused asfaldile ja betoonile maksimaalselt võrreldavate alustega. Saksa normides eeldatakse mõlemal juhul katte tööiga 30 aastat. Asfaltkattel on seejuures vajalik ülakihi asendamine vastavuses kihi tehnilise vananemisega (päikesekiirguse mõjul eeldatakse ülakihi asendamist mitte enam kui 10-aastase intervalliga, kuid tõenäoliselt seda ei pruugi teha madalamate liiklussageduste korral kui tee roll üldises liiklussüsteemis seda ei nõua – lubatud defektide osakaal on suurem) või raskeliiklusest tuleneva roopa likvideerimise vajadusega.

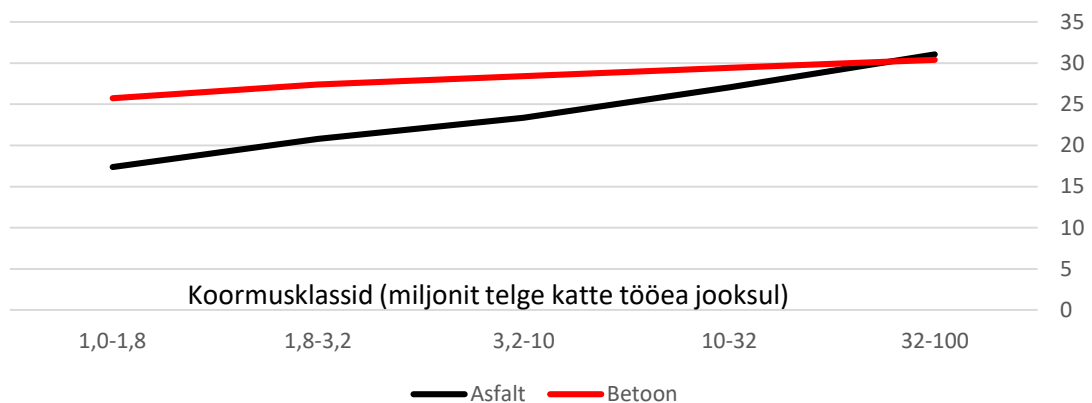
Võrreldud on Saksa juhises (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen RStO 12) [6] seotud kihtide paksust. Saksa katendinormis (asfalt- ja betoonkatendi tüüplahendused on esitatud lisades 1 ja 2) esineb 7 asfaltkatte lahendust ja 7 betoonkatte lahendust, võrreldavaks loeme neist mõlemal juhul 5. Tsementstabiliseeritud kihi loeme võrdluses 50% ulatuses seotud kihiks võrreldes betooni ja asfaldiga – sama reegel on ka Eesti normides.

Lisatud graafikut iseloomustav loogika:

- Betoonkattel esineb tehnoloogiline miinimumpaksus mistõttu esimesed kaks koormusgruppi on sama katendikonstruktsiooniga (betoon 20 cm). Kuna tegemist on madala liiklus- ja koormussagedusega, ei ole siin arvestatud katte hilisema freesimisega sest haardetegur ei lange alla lubatud piiri ning seetõttu täiendavat varu lisada vaja ei ole. Suuremates koormusklassides on tegemist varuga, mis on hinnanguliselt kokku 5 cm ja võimaldab seetõttu pinna freesimist ca 10 aastase intervalliga (haardeteguri taastamiseks freesitakse ülakiht ca 8 mm). On tõenäoline, et selles paksuses sisaldub ka teatud varutegur, mis arvestab tee rolli liiklussüsteemis (remondiga seotud katkestuste kaudne maksumus kasutajatele). Kihi paksuse kasv koormussageduse kasvuga omab antud graafikus pigem kahanevat trendi (lähedane logaritmilisele seosele).
- Asfaltkatte tehnoloogilised miinimumpaksused on oluliselt väiksemad, mistõttu madalama koormusega on võimalik kasutada oluliselt õhemaid kattekonstruktsioone (reaalselt kasutatakse peeneteralisemat kivimaterjali, millel on madalam müratase - kuna naastrehve ei kasutata, on reaalne katte kulumine oluliselt aeglasem). Koormuse tõusuga kihi paksuse kasv omab graafikus pigem tõusvat trendi (seos on rangelt võttes samuti logaritmiline, kuid võrreldes betoonkattega tõusva iseloomuga)

- Et graafiku jooned kokku jõuavad maksimaalse koormusklassi juures (32...100 miljonit normtelge 30 aastaga), ei tähenda praegu veel seda, et see punkt oleks ka tasuvuse jaoks pöördepunktiks – selles osas tulevad mängu nii kihipaksusele taandatud ehituskulu kui teehoolduse kuluerisused (asfaltkattel kulumiskihi asendamine).
- Betoonkattel koormuse tõustes tõuseb paksus tagasihoidlikult, asfaltkattel kiiremini, see peegeldub ka hindades. Siit tuleneb ka katteliigi vähene tundlikkus tegeliku koormuse variatsiooni suhtes – kavandades betoonkatte väikese kulumisvaruga (mis arvestab muuhulgas freesimiseks vajalikuga), annab see tugevusnäitajates oluliselt suurema varu kui asfaltkatte kulumisvaru. Samas on asfaltkatte remondi/hoolduse käigus võimalik kulumiskihi paksuse suurendamisega tõsta ka kogu katendi ressursi (vajalik kui tegelik koormus on osutunud projektsest suuremaks), betoonist kulumiskihi puhul seda võimalust pole.

Seotud kihtide taandatud paksus koormusklassides  
(stabiliseeritud alus arvestatakse 50%)



Joonis 2. Seotud kihtide paksused erinevates koormusklassides (keskmised)

**Järeldus. Betoonkattel on tehnoloogiline miinimumpaksus ja koormuse tõusuga kasvab katte paksus tagasihoidlikult, asfaltkattel on koormuse lisandumisest tulenev kihipaksuste kasv kiire.**

## 4. SAKSA TÜÜPKATENDITE KOORMUSED JA NENDE VÕRRELDAVUS

Saksa juhises [6] ei käsitleta konkreetseid siirdetegureid konkreetsetele sõidukitüüpidele. Koormussageduse (normteljed katendi 30-aastase tööea jooksul) arvestusel kasutatakse komplitseeritud koefitsientide süsteemi.

- Telgede arv  $f_A$  – raskesõidukil on keskmiselt 3,3...4,5 telge, kusjuures suurem on see kiirteedel (bundesautobahn) ja ka kohalikel teedel kus raskeliikluse osa on üle 6% ning väiksemat väärtust võib kasutada kohalikel teedel, kus raskeliikluse osakaal ei ületa 3%
- Kandevõime kasutustegur  $q_{Bm}$  (0,23...0,33) analoogilise jaotusega, samuti suurem kiirteedel ja suurema raskeliikluse osakaalu korral
- Rajategur  $f_1$  (analoogne Eestis kasutatavaga – 1+1 – 0,50; 2+2 – 0,45; 3+3 – 0,40)
- Sõiduraja laiuse tegur  $f_2$  (3,75 ja enam – 1,0; 3,5 m sõidurajal 1,1; kitsama sõiduraja korral kuni 2,0)
- Pikikalde parandustegur  $f_3$  (kuni 2% - 1,0; üle 10% - 1,45)
- Iga-aastane liikluse kasvutegur – kiirteedel (bundesautobahn) 3% aastas, teistel riigiteedel (bundesstrasse) 2% ja kohalikel teedel 1% aastas.

Normiteksti arvutusnäidetes on 30 aastaseks koormuseks saadud: näide 1 - kiirtee (3+3, sõidurada 3,75; pikikalle 4%) 1900 raskesõiduki (ööpäevas mõlemas suunas kokku) tasemelt kasv 4221 raskesõidukini - kokku 20 miljonit normtelge;

näide 2 - riigitee 1100 raskesõiduki (2+2, muutuv koormus – koormused tõusevad 20ndast aastast, sõidurada 3,5 ja pikikalle 2%) tasemelt 8551 raskesõidukini - kokku 29,8 miljonit telge ning

näide 3 - kohalikul teel 200 raskesõidukiga (1+1, sõidurada 3,5 ja pikikalle 2%) kokku 0,69 miljonit telge.

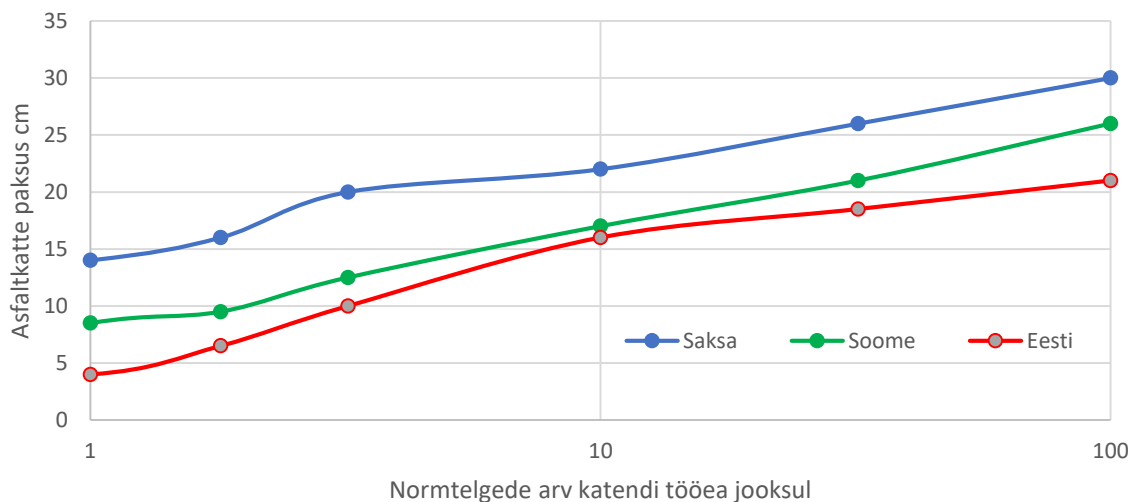
Siit loogikast tulenevalt on koostatud alljärgnev võrdlustabel. Valitud konstruktsioonid on dimensioneeritud summaarse koormuse alusel, kuid eeldame nende tööeaks võrdselt 40 aastat.

Koormusklass (milj.telge)	0,3	1,0	1,8	3,2	10	32	100
Saksa asfalt (cm, tüüpkatend)	12	14	16	20	22	26	30
Eesti tee klass	VI	V	IV	III	II	I	I
Normkoormus (telge ööp, KAP)	60	200	360	640	2000	6400	20000
Asfaldikihid (cm, KAP)	3	3	5,5	4-5	4-4-7	4-5-8,5	4-5-11
Asf.kogupaksus (cm, KAP, sh varu)	4	4	6,5	10	16	18,5	21
Arv.kandevõime (MPa, KAP)	173	185	216	240	292	333	373
Soome asfalt (cm, Odemark)	4	8,5	9,5	12,5	17	21	26
Arv.kandevõime (MPa, Odemark)	170	240	280	325	415	490	570
Taani asfalt (cm, MMOPP2017)		14,6			18,2		26,1

**Tabel 1. Võrreldavad konstruktsioonid eri riikide järgi samale koormusele**

Tabelis on Soome normi [7] kohased näitajad interpoleeritud kuna lävendid ei lange Saksa tüüpkatendi lävenditega samasse kohta (1,0; 1,8; 3,2; 32 ja 100). Taani [8] katend arvatud külmakindlal aluspinnasel (mis on võrdluse kontekstis saavutatud katendi alakihtidega liivast ja kruusast, mis Taani arvutuste jaoks loetakse võrdseks 100 MPa aluspinnasega). Tähelepanu tuleb juhtida ka asjaolule, et KAP arvutatavad kandevõime väärtused (MPa) ei ole otseselt võrreldavad Odemarki valemiga arvutatud tulemustega kuigi ühikud on samad.

### Asfaldikihtide paksused võrreldavatel koormustel



*Joonis 3. Asfaltkatte kogupaksus erinevatel koormustel (Saksa, Soome, Eesti)*



Võrdluses peaks arvestama, et Soome katendid on tusedal killustikalusel (160 MPa); Saksa katenditel eeldame EV2 150 MPa 15-cm killustikalusel, mis paikneb 120 MPa külmakaitsekihil. Eesti aluste minimaalselt vajalik kandevõime ei ole selles kontekstis normeeritud – käesoleval juhtumil on siiski konstrueeritud võrreldav aluskonstruksioon, mistõttu on võimalik ka õhem asfaltkate. „Jõnksud“ graafikutes tulenevad asjaolust, et katendi konstrueerimisel jätsime aluskonstruksiooni konstantse ja reeglina muutus vaid alakihhi asfaldi paksus, sedagi 0,5 cm sammuga.

**Paraku saab siit teha ühe üldise järelduse – võrreldes nii Soome kui Taani katendiga, on meie KAP variant suurtel koormustel ikka vähemalt 5 cm liiga õhuke, seda just alakihhi asfaldis – Saksa lahendusega on erisus veelgi suurem (graafiku tõusunurkerineb).**

Siit tulenevalt ei ole võimalik eeldada, et samadele koormustingimustele KAP algoritmiga dimensioneeritud killustikalusel katte alakihhi tööiga ulatuks 40 aastani. Seetõttu oleme ka võrdluses eeldanud, et 20-ndal aastal asendatakse kõik asfaldikihid ja killustikust drenkiht asfaldi all. Alternatiivina võib käsitleda stabiliseeritud alusega asfaltkatet, millisel juhul võime eeldada, et 20-ndal aastal tuleb asendada ainult asfaldikihid (detailne võrdlus jääb siiski käesoleva töö mahust välja, üldiselt on teema käsitletud Lisas 5).



## 5. TAANI MMOPP2017

Taani süsteem on kirjeldatud juhises „Guidance – MMOPP design programm for road pavements, september 2017“ [8]. Valime koormusnäidiseks käesolevas töös mitmes kohas valitud Mäo-Imavere lõigu, kus 2018 koormuseks oli 2197 normtelge enamkoormatud sõidurajale. See vastab tänasele aastasele koormusele 802500 telge.

Et tagada kogu konstruktsiooni piisav paksus ja seeläbi ka külmakindluse kontekstis võrreldav olukord, loeme Taani lahenduse järgi aluspinnaseks liivpinnase E-100, kuid konstruktiivselt eeldame sellel tasemel vähemalt 50 cm liivakihti (Eesti kontekstis uMSa, E-105). Valides aastaseks kasvutempoks 2,5% ja 40-aastase tööea, võrdleme MMOPP2017 tarkvaraga erinevaid variante (võrdluseks on toodud üks puhtakujuline asfaltkate ja erinevad variandid nõrgemate või tugevamate betooni- või tsementstabiliseeritud segudega) ning lisaks ka asfaltkatted madalamatele koormustele:

Koormus 40 aastaga (miljonit telge)	100					10	1
Kate (kihi paksus mm)	261	336	235	300	355	182	146
- SMA	35	35	35			35	35
- ABB mod (AC bin PMB)	50	50	50		35	50	50
- GAB II 40/60 (kruusasfalt)	176					97	61
- C40/50 (betoon)				150			
- HBB-B C6/8 (korebetoon)		251		150			
- HBB-B C21/28 (betoon)			150		150		
- HBB-B under beton (E-2000) TS					170		
Kruus SG II (E-300)	390	100	170	100		310	230
Aluspinnas – külmakindel E-100							

Tabel 2. Taani süsteemi järgi erinevad lahendused samale koormusele (100 miljonit telge katendi tööea jooksul)

**Tabel näitab, et võrreldavad konstruktsioonid samale koormusele võivad ka hüdraulilise sideaine (tsemendi) kasutusel olla erinevad – erineva betooni tugevuse või tsementstabiliseerimisega.**

Välja on toodud lisaks traditsioonilisele asfaltkatele erinevad konstruktiivsed alternatiivid – korebetooni analoog C6/8, mis peaks olema võimalik ka ilma vuukideta, betoonkatend (C40/50) või ka ühekihiline asfaldist kulumiskihit nõrgemast betoonist (C21/28) põhikihil.



## 6. EESTI TEED JA 2+2

Liiklus- ja koormussagedused ning sellest tulenevalt katendi valikud - liiklussagedusest tuleneb vajalik ristlõige, koormussagedusest katendi konstruktsioon. EV Valitsus on võtnud vastu otsuse 2+2 ristlõikes teede väljaehitamiseks kolmel põhisuunal Tallinnast – Narva, Tartu ja Pärnu, milleks otsitakse võimalikku finantseerimislahendust PPP-projektide näol. Nimetatud kolme tee kohta on tehtud erinevaid analüüse ja jõutud järeldustele, et:

- Narva suund vajab liiklussageduse alusel 2+2 ristlõiget Jõhvi-Narva lõigus, kuid mitte Haljala-Kukruse lõigus.
- Tartu suund vajab 2+2 ristlõiget lisaks juba ehitatavale (Kose-Mäo) esmajärjekorras Mäo-Imavere osas (kavandamisel on Mäeküla möödasõit), kuid kindlasti ka täies ulatuses Tartuni ning veidi ka edasi (Reola).
- Pärnu suund vajab 2+2 ristlõiget kuni Uuluni (ristumine maanteega nr 6), edasi liiklussagedus langeb kuid koormus jääb endiselt kõrgeks.

Saksa normides [6] kasutatakse magistraalteedele (autobahn) katendiarvutuse kontekstis 3% iga-aastast koormuse (NB! - see ei ole liiklussageduse kasvutempo) kasvuprognossi, mis vastab 30-aastasele kasvule 2,35 korda (20 aastat – 1,75 korda) ning teistele riigiteedele 2% aastas (1,78 korda 30 aastaga ehk 1,46 korda 20 aastaga).

Eesti põhimaanteed kogupikkus on 1609 km ja 2018 kaalutud keskmine raskeliikluse sagedus oli 726 raskesõidukit ööpäevas ([www.mnt.ee](http://www.mnt.ee)). Sama number 2017 oli 710; 2016 – 683; 2015 – 660; 2014 – 647. Seega on koormus tõusnud viimaste aastatega keskmiselt 2,9% aastas. Piirates valimi mitte põhimaanteedega, vaid konkreetselt ainult kõnealuse kolme maanteega (1, 2, 4) saame oluliselt suuremad koormuse tasemed: 2018 – 1204; 2017 – 1186; 2016 – 1143; 2015 – 1104; 2014 – 1083 kuid veidi väiksema kasvu – keskmiselt 2,7% aastas.

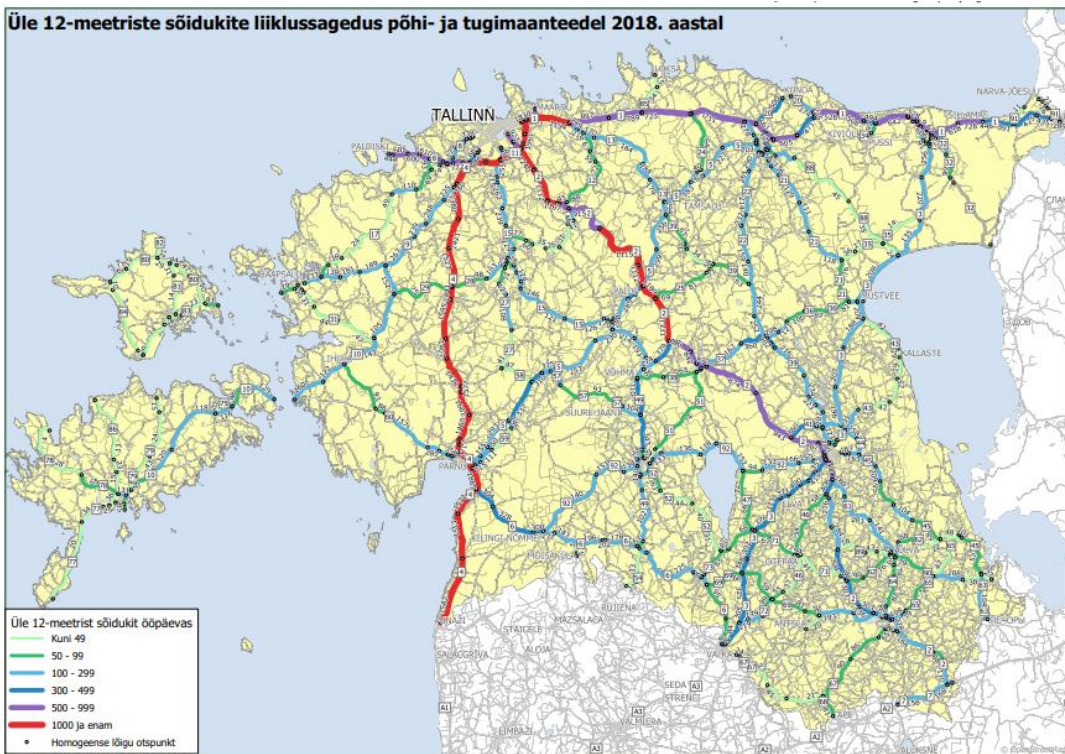
2018 liiklusloenduste tulemused on kuvatud järgneval kaardil:



Joonis 4. Liiklussagedused Eesti põhi- ja tugimaanteedel (Maanteeamet)

Kaardil punasega kuvatud teelõikudes on liiklussagedused juba täna üle 10,000 auto ööpäevas ning lilla tooniga teedel üle 6000 auto ööpäevas. Tänapäevase projekteerimismõõdu (MKM määrus 106) järgi peaks 2+2 jaoks olema 20-nda aasta liiklussagedus vähemalt 14500 autot ööpäevas, Soome normide järgi piisaks 9000 auto prognoosist (Eestis kuni 2012 kehtinud normides – 8000).

Käesolevas töös on analüüsitud 40-aastast katendi tööiga ja seetõttu saab järeldada, et ka tänapäevase 6000 autot ööpäevas tasemest kasvab liiklus katendi tööea jooksul kindlalt üle normis piirväärtusena ettenähtud taseme. Teede Tehnokeskuse koostatud kaardil on näha raskeliikluse sagedused, punasega oli see üle 1000 sõiduki (mõlemas suunas kokku) mis näitab selgelt ka prioriteetsed suunad.



Joonis 5. Raskesõidukite (pikkus üle 12 m) liiklussagedused Eesti riigimaanteedel (Maanteeamet)

Liiklus- ja koormussageduste prognoosimisel on Eestis seni eeldatud, et tegemist on kahaneva kasvuga ja uurimisperioodi lõpuks saavutatakse minimaalne (nullilähedane) kasvutase (baasprognoos aastani 2040, koostatud 2007), prognoosimethodika uuendamist alustatakse lähiajal. Kehtiva süsteemi järgi kasvaks Eesti põhimaanteedel liiklus 20 aastaga (2020-2040) 27,2% ehk keskmiselt 1,2% aastas, sealhulgas raskeliiklus 21% ehk keskmiselt 0,96% aastas.

Käesolevas uuringus on aluseks võetud Saksa methodika ning valitud fikseeritud 2,7% aastakasvuga stsenaarium, mis peegeldab Saksa autobahni kasvutrendist aeglasemat, kuid teistest maanteedest kiiremat arengut. Selle korral on koormuse (NB! mitte liiklussageduse) kasv 30 aastaga 2,165 korda ja 20 aastaga 1,659 korda. Tänaused koormused vaadeldud kolmel teel (käsitledes ainult alasid, kus 2+2 lahendus ei ole veel välja ehitatud või töös) on:

- Narva suunal – 866 (Haljala) – 672-694 (Sämi-Purtse) – 1065 (Kukruse) - 662 (Narva)
- Tartu suunal – 1467-1363 (Mäeküla-Imavere) – 1037-1279 (Adavere...Tiksoja)
- Pärnu suunal – 1660-1849 (Ääsmäe-Märjamaa) – 2042-2236 (Are...Uulu) - 1759 (Ikla).

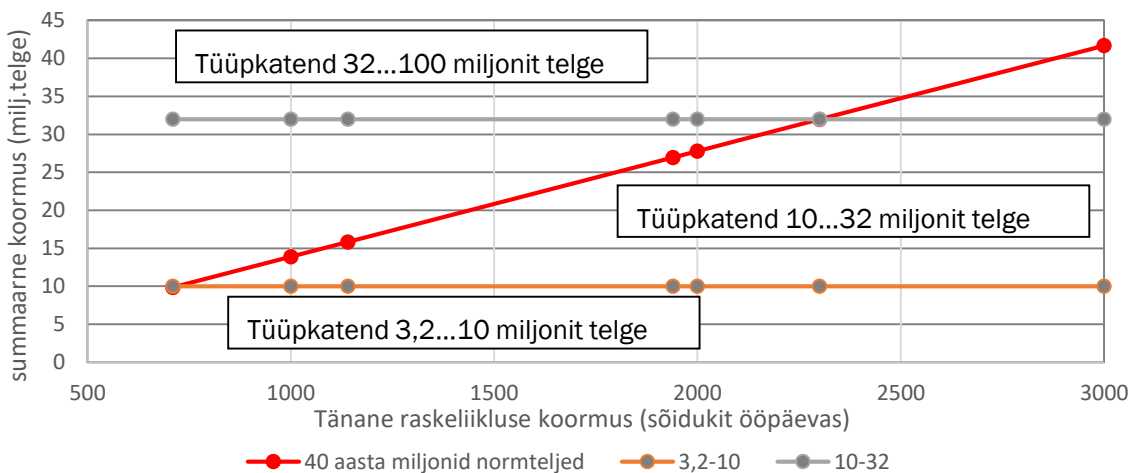
Sõltumatult prognoosimetoodika arengutest, võib väita, et:

**Eesti veel 2+2 väljaehitamata põhimaanteelõikudest on koormuse tõttu betoonkatendi kasutamiseks sobilikud Pärnu maantee kogu ulatuses ja Tartu maantee Imavereni.**

Võttes aluseks Saksa normide meetoodika, leiame betoonkatendi tüübi erinevatele tänastele koormustele:

Valides parameetrid madalamad kui Saksa autobahnidele –  $f_A = 4,0$ ;  $q_{Bm} = 0,30$  – saame Saksa koormusklassides koormuste (miljonit Saksa normtelge) piirid tüüpkatendi variandi valikuks vastavuses tänastele koormustele – 710 raskesõidukile ööpäevas vastab summaarne koormus 9,86 miljonit telge; 2300 raskesõidukile vastab summaarselt 31,98 miljonit telge.

Tüüpkatendi valik sõltuvalt tänasest raskeliikluse tasemest



Joonis 6. Raskeliikluse sagedus (üle 6 m pikkused sõidukid) ja sellele vastavad tüüplahendused

Joonis kajastab katendi tüübi valikut sõltuvalt tänasest koormusest (raskesõidukit ööpäevas) – 10...32 miljonit (saksa) normtelge 40 aastaga katab praktiliselt kogu kõnealuse spektri. Siit tulenevalt on edasises töös valitud võrdluseks just see tüüpkatendi koormusvahemik. 720...2300 raskesõidukit täna, realselt on ainult Väo sõlmes ja Tallinna ringteel (Väo-Kanama) suurem koormus, lähedane esineb Pärnu maanteel Kanama-Ääsmäe ja Pärnu linnalõikudel.



Siit saab järeldada, et valituks osutuvad tüüplahendused Saksa normide järgi alljärgnevalt:

- **Betoonkatte tüüplahendus** (kuni 32 miljonit Saksa normtelge 40 aastaga);
  - o 26 cm betooni 15 cm tsementstabiliseeritud alusel
  - o (28 cm betooni 20 cm killustikul)
- **Asfaltkatte tüüplahendus** (kuni 32 miljonit Saksa normtelge 40 aastaga)
  - o 12 cm ülakihi ja 10 cm kandevkihi asfaldi 15 cm tsementstabiliseeritud alusel
  - o (12 cm ülakihi ja 14 cm kandevkihi asfaldi killustikul).

Liites kokku vastava koormussagedusega teelõikude pikkused (maha on arvatud olemasolevad 2+2 lõigud ja Kose-Mäo teelõik), jagunevad kolme põhimaantee mahud järgnevalt:

Ulatus km / koormus	10...32 miljonit telge	kuni 10 miljonit telge
Narva (Haljala-Narva)	61,8	55,0
Tartu (Mäo-Reola)	99,0	
Pärnu (Ääsmäe-Ikla)	160,1	
KOKKU	320,9	55,0

Tabel 3. Põhiteede väljaehitamise koormusjaotus

Asfaltkatte ülakihi asendamise sagedus sõltub liiklussagedusest. Madalama raskeliikluse koormusega Haljala-Kukuruse lõigus betoonkatendi kasutamine ei pruugi olla otstarbekas.

**Lõplikuks võrdluseks on Saksa normide järgi valitud katte 40-aastane tööiga nii asfaldil kui betoonil koormusklassist 10...32 miljonit saksa normtelge.**



## 7. KONSTRUKTSIOONIVALIK

Arvutustes eeldame seega hüpoteetilist teelõiku, millel katendid vastavad Saksa tüüplahendusele kuni 32 miljoni normtelje koormusele [6], seda nii asfaldi kui betooni puhul – see koormusgrupp vastab nii Pärnu maanteele (kogu ulatuses) kui ka Tartu maantee esimese prioriteedi (Mäo-Imavere) löigu parameetritele. Saksa normides eeldatakse nii asfalt- kui betoonkatte tööiga 30 aastat, kuid see on arvutuslik näitaja, reaalne tööiga on piiratud kindlasti korduvkoormuste arvuga (miljonit normtelge) ja arvutuslik tööiga peab konstruktsiooni kihtide vananemise kontekstis olema võimalik. Siit tulenevalt on võimalikud mitmed strateegiad, mis tuginevad kattekonstruktsiooni arvutusliku ressursi maksimaalsele ärakasutamisele.

Eeldades, et asfaltkatte arvutuslik tugevus on tagatud kogu 40 kasutusaasta jooksul (dimensioneerimisel sellega arvestatud), on ilmselt võimalik sõltuvalt roopa arengu kiirusest rajada kohe katend 32 miljonile (saksa) teljele, asendades aja jooksul ülakihte. Kuumtaastamise meetodit on võimalik rakendada kindlasti kaks korda kuid ainult AC surf segu puhul, kolmandal ringil tuleb kiht asendada ja ette võtta järgmine kiht.

• **0 – ehitus;** 7 – surf/kuum; 14 – surf/kuum; 20 – surf/bin; 27 – surf/kuum; 34 – surf/kuum.

• **Tagasihoidlikum strateegia** – iga järgmine kiht kestab kaks selle peal paiknevat kihti. Siit tulenevalt – 0 – ehitus; 10 – frees/SMA; 20 – frees/SMA; 30 – frees/SMA; 40 REK.

• **Prantsuse pikaealise katendi strateegia** – 0-ehitus; 10 – frees/asendus; 20 – frees 1,5 kihti/asendus 2 kihti; 30 – frees/asendus; 40 – frees 1,5 kihti/asendus 2 kihti. Selle puhul kogu konstruktsiooni kihipaksus pidevalt kasvab.

**Konkreetsel juhul Eesti reeglite järgi katendi valikul** võtame näiteks Tartu maantee Mäo-Imavere teelõigu, kus 2018 loendati 232 veoautot/autobussi ja 1131 autorongi ööpäevas ehk 4872 normtelge (tänaaste siirdeteguritega) ehk 2192,4 normtelge enamkoormatud rajale (rajateguriga 0,45 – 2+2 ristlõige). Saksa liiklusprognoside järgi valime stabiilseks kasvatempoks 2,5% aastas. 40 aastaga on koormus kokku 53,97 miljonit normtelge, sellest esimese 20 aastaga 20,455 miljonit (arvutuslik koormus 4091 telge) ja järgneva 20 aastaga 33,519 miljonit normtelge (arvutuslik koormus 6704 telge). Juhime veelkord tähelepanu asjaolule, et eespool toodud Saksa normteljed ei ole samad, mis KAP arvutustes kasutatavad normteljed.

Saksa normide järgi peaks muldkehal olema kandevõime 120 MPa. See eeldab muldkeha põhilise materjalina kruusa (killustik on katte materjal, liivaga ei ole selline kandevõime ka teoreetiliselt võimalik). Siit tulenevalt konstrueerime ka Eesti normide järgi võrreldavale katendile konstruktsiooni Soome normidest tuleneval alusel (Odemarki valem, juhend 2018-038 – ka pinnaste ja materjalide määratlused tuginevad Soome normil) valdavalt kruusast, eesmärgiga saavutada 120 MPa enne aluskihti – eeldusel, et Soome normide järgi arvatav kandevõime on ehitusprotsessis sidumata kihtide osas plaatkoormuskatsega mõõdetav.

- Arvutuslik aluspinnas – 35 MPa (16-30% peenosiseid) – Eesti võrreldav „jäme kerge saviliiv; E-65“
- 51 cm liiva (H1; E-70; kuni 7% alla 0,063 mm osiseid) – Eesti võrreldav – uMSa; E-105; ülesanne – kapillaartõusu takistamine ja külmakaitse; kandevõime 60,8 MPa, KAP 90 MPa
- 30 cm kvaliteetkruusa (E-200) – Eesti võrreldav – Gr; E-200 (tuginedes VSN kruusa-liiva-killustiku segude nomogrammidele); kandevõime 120 MPa, KAP 140 MPa.

## **Tehnoloogilised alternatiivid asfaltkatte hooldusel**

- Ülakihi freesimine ja asendamine – võimalik nii SMA kui AC surf ülakihi puhul, **baasvariant arvutustes**
- Remix täislaiuses – võimalik variant, kuid ainult AC surf ülakihi puhul, saab kasutada kaks korda, kolmandal korral tuleb kiht asendada. Käesoleva töö mahus ei käsitleta
- Rooparemix – võimalik AC surf ülakihi puhul, kuid tulemuseks on esiteks tee ristlõikes ebaühtlane haardetegur ning teiseks, riskid vuugi kiirema lagunemise osas kuna ühele sõidurajale tekib taastamisega neli pikivuuki. Seega loobume rooparemixi edasisest käsitlest – meetod ei ole kasutusel ka Saksamaal.
- Kihtide mittetäielik asendamine – eelkirjeldatud Prantsuse pikaajalise katendi strateegia, mille korral asendatakse vaheldumisi ainult ülakiht (surf) või ülakiht koos osaliselt järgmise kihiga (bin). Tulemusena saame küll ajas pakseneva katendikonstruktsiooni, kuid sel teel suureneb just vahekihi (bin) paksus ja just sellel kihil on eriline roll nihkepingete vastuvõtmises. Võrreldes teiste riikide katenditega, tuleks pigem eelistada algselt түsedamat kandevkihi asfaldi (base) kui aja jooksul түsenevat vahekihti (bin) ning seetõttu varianti edasises ei käsitleta.

**Seega on valitud saksa lahendused 40 aastase tööeaga, eesti asfaltkate 20 aastase tööeaga ning asfaltkatete taastusmeetodiks on valitud ülakihi freesimine ja asendus.**

## 8. KULUDEVÖRDLUS

Kulude võrdlemisel on tuginetud ühikhindade andmestikule (Maanteeamet) [12;11] ja analüüsitud reaalseid ühikhindu koostöös ehitusettevõtjatega. Asfaltkatete kulumiskiirus (roopa arengu kiirus) ja hooldus-remondi kulud on võrreldavad Tehnokeskuse uuringus [13] esitatutega. Võrdlused teiste riikidega on näidanud, et käesolevas uuringus kasutatud betoontee ühiku maksumused on lähedased.

Analüüsis on eeldatud teelõigu pikkuseks 20 km (arvutuslik pindala 460,000 m<sup>2</sup>), kaalutud on betoonkatte puhul ka laiemat ristlõiget (pindala 500,000 m<sup>2</sup>) mis võimaldaks markeeringuga sõidurada nihutada et tagada katte ühtlasem kulutamine ja pikendada remontidevahelist perioodi. Vaikimisi lubatud roopa sügavus alla 20 mm ja IRI arv väiksem kui 3 ning haardeteguri väärtus on tee põiklõikes ühtlane (erisus alla 0,1).

EUPAVE juhend tasuvusarvutusteks [14] soovib valida vaatlusperiood selline, et see katab vähemalt ühe rekonstrueerimise. FHWA (1996) juhendi järgi peaks periood olema vähemalt 35 aastat, ACPA soovitus on 45-50 aastat et alternatiivid oleksid võrreldavates tingimustes. Samas on sobilik valida võrdlusperioodika täistsükkel, kui see võimaldab erinevad alternatiivid kujundada võrdsetesse tingimustesse et ei oleks vajalik arvestada jääkväärtuste erisusi.

USA kogemuste järgi on pikaajalise statistika alusel sobilik realdiskontomäär 4% (3...5%). Samas alates 2012 on pangaintressid olnud madalad ja ka Euroopas sobib käesoleval ajal kasutada eriti madalat määra (Euroopa Keskpanga soovitus) 1...3%. Siit tulenevalt oleme hinnanud diskontomäära lähedaseks eeldatava inflatsiooniga, mis tähendab, et võrdlus teostatakse tänastes hindades ilma inflatsiooni ja diskonteerimist kasutamata.

### **Betoonkatendil on arvestatud järgnevate hooldus-remondi töödega:**

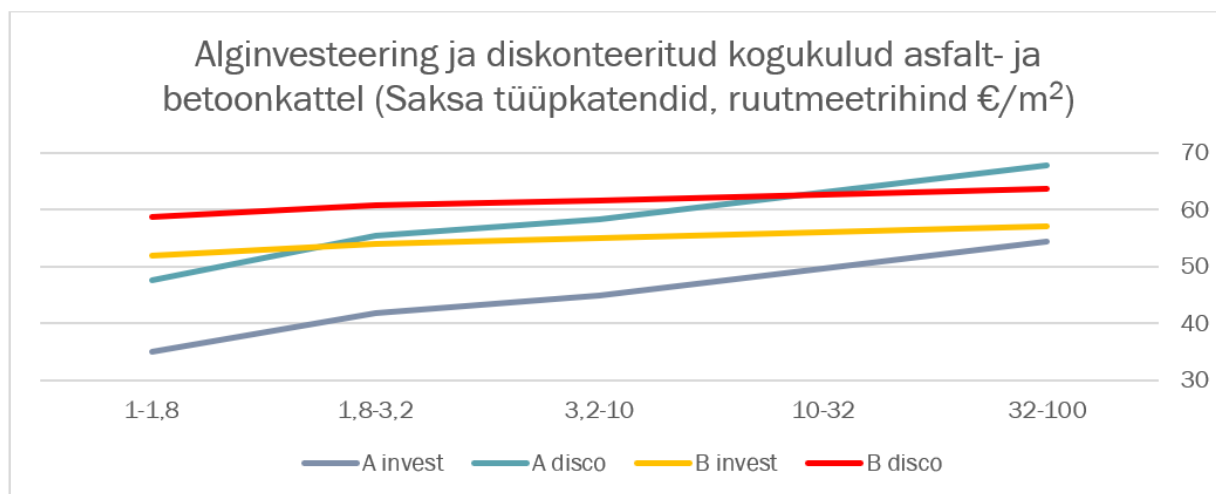
- 10ndal aastal – vuukide korrastamine (puhastamine, tihendite asendamine) ja jooksev remont (1,66 €/m<sup>2</sup>)
- 20ndal aastal – teemantfreesimine, vuukide korrastamine ja katte jooksev remont (9,78 €/m<sup>2</sup>)
- 30ndal aastal – vuukide korrastamine ja katte jooksev remont (2,66 €/m<sup>2</sup>).

## **Asfaltkatendil on arvestatud järgmiste hooldus-remondi töödega:**

- 5ndal aastal – pisiremont (0,5 €/m<sup>2</sup>)
- 10ndal aastal – ülakihi asendamine (freesimine, uus asfalt) (7,17 €/m<sup>2</sup>)
- 15ndal aastal – jooksev remont (0,7 €/m<sup>2</sup>)
- 20ndal aastal – kattekonstruktsiooni (asfaldid ja killustik) asendamine (36,53 €/m<sup>2</sup>) Eesti asfaltkattel; kahe ülakihi asendamine (13,55 €/m<sup>2</sup>) saksa asfaltkattel
- 25ndal aastal – jooksev remont (1,0 €/m<sup>2</sup>)
- 30ndal aastal – ülakihi asendamine (freesimine, uus asfalt) (7,17 €/m<sup>2</sup>)
- 35ndal aastal – jooksev remont (1,0 €/m<sup>2</sup>).

Ehitustööde ühikhinnad on toodud konstruktsioonitabelis kihtide kaupa, taandatuna kihipaksuse ühikule (cm). Betoonkatendi ühikhinnad võrreldes varasema tööga [1] on mõnevõrra erinevad, seal sisaldusid kõik betoonkatendi ehituskulud betooni ühikhinnas arvestades ka nii ehitustehnika kui kogemustega paigaldusmeeskonna värbamist (allhange), käesolevas töös on lahutatud otsene betooni maksumus paigaldusest ja eeldatud, et juba teise objekti puhul õnnestub kasutada kohalikku paigaldusmeeskonda. Erinev on ka konstruktsiooni käsitluse ulatus – käesolevas töös piirduakse nõutud külmakindla konstruktsiooni paksusega Saksamaaga võrreldaval aluspinnasel, varasemas arvestati kogu muldkeha paksusega Eestis tavalise aluspinnase korral.

## **Saksa standardlahenduste võrdlus (killustikalusel)**



Joonis 7. Betoon- ja asfaltkatte hinnavõrdlus (Saksa tüüplahendused)

Graafikul on toodud alginvesteeringud (invest) ja 40 aasta kulud diskonteerituna (disco) 4% määraga. Betoonkate on kõigil juhtudel suurema alginvesteeringuga, kuid diskonteeritult on juba 10-32 miljoni normtelje koormuse puhul betoonkate soodsam, samuti inflatsiooni mõju arvestades.

Koormusklass (miljonit normtelge)	32-100	10-32	3,2-10	1,8-3,2	1-1,8
AC surf-bin cm	12	12	12	10	4
AC base cm	18	14	10	10	12
Killustik cm	15	15	15	15	15
A invest €/m <sup>2</sup>	54,3	49,6	44,9	41,9	35,1
A discount €/m <sup>2</sup>	67,8	63,1	58,4	55,4	47,5
Betoon cm	29	28	27	26	24
killustik cm	20	20	20	20	20
B invest €/m <sup>2</sup>	57,0	56,0	55,0	54,0	52,0
B discount €/m <sup>2</sup>	63,7	62,7	61,7	60,7	58,7

Tabel 4. Võrreldud Saksa tüüplahendused (betoon vs asfalt killustikalusel)

NB! Tabelis 5 ja joonisel 7 on võrreldud betooni killustikalusel. Saksa tüüpkatendite puhul võib üldistada, et samal koormusel on tsementstabiliseeritud alusel betoonkate 2 cm õhem kui killustikalusel. Eesti arvutused on näidanud, et 25 cm betoonkihi paksus on piisav, kuid sellele tuleb lisada kulumisvaru seetõttu, et Saksa lahend sisaldab ainult haardeteguri taastamiseks mõeldud freesimise, mis on oluliselt väiksema ulatusega, kui naastrehvide kulumise – seega võiks betooni paksuseks jääda 26 cm.

Saksa tüüplahendused asfalt- ja betoonkattele on esitatud lisas (Lisa 1 ja Lisa 2).

## Betoonkatendi võrdlus Saksa asfalt- ja Eesti asfaltkatendiga

Võrdluseks valitud variandid (betoon ja saksa tüüplahendus on valitud tsementstabiliseeritud alusel, Eesti katend sidumata killustikalusel):

**- Betoonkatend kuni 32 miljonile teljele 40 aastaga (Bet/TS):**

- o 26 cm betoon (sisaldab freesimise varu)
- o vildist vahekiht
- o 15 cm TS32 (tsementstabiliseeritud alus)

**- Saksa asfaltkatend kuni 32 miljonile teljele 40 aastaga (Saksa AC/TS):**

- o 12 cm surf/bin (5+7)
- o 10 cm base
- o 15 cm TS32 (tsementstabiliseeritud alus)

**- Eesti asfaltkatend kahes etapis** (ca 20 miljonit KAP-telge 1...20 aastal ja 34 miljonit 20...40). Eeldame, et kuna asfaldi alakiht on oluliselt õhem kui Saksa (ja teiste riikide) katenditel, amortiseerub ka see tegelikult 20 aastaga.

**- Esimene katend (E AC1):**

- 4+1 cm surf
- 5 cm bin
- 8 cm base
- 15 cm killustik (E-280)

**- Teine katend (E AC2):**

- 4+1 cm surf
- 5 cm bin
- 9 cm base (asendatakse 20ndal aastal)
- 15 cm killustik (E-280); (asendatakse 20ndal aastal, kuna eksperthinnangu alusel eelmise asfaltkatte paksus ei kaitse killustikalust piisavalt)

Valitud ristlõiked on skeemina (joonisena) esitatud lisas (Lisa 3).



## Konstruksioonid ja tulemused võrdlustabeli kujul:

	Bet/TS	Saksa AC/TS	E AC1	E AC2	
	Kihipaksused (cm)				€/cm
Betoon	26				1,00
Geotekstiil/vilt	0,5				2,00
Seotud tehnol.(slip-form, vuugid, töötlus)	1				10,00
SMA		5	4+1	4+1	1,93
AC bin		7	5	5	1,50
AC base		10	8	9	1,17
TS32	15	15			0,38
Killustik	0	0	15	15	0,29
Kruus (aluse alakiht)	30	30	30		0,12
Liiv (muldkeha ülakiht, külmakaitsekiht)	51	51	51		0,13
Ühikhind (m2 kohta) kokku	53,93	47,78	41,09		

Tabel 5. Võrdluse kihipaksused ja ühikhinnad

Betoonkatendi ehitusmaksumuse arvestuses on eristatud kaubabetooni hind ja paigalduse maksumus, viimane (hinnanguliselt 10€/m<sup>2</sup>) sisaldab tehnika (laoturid ja abimehhanismid), materjalid (kaitsevaha, tüüblid, ankrud, tihendid ja mastiksid) ning tööraha, aga ka tavapärased üldkulud ja kasumimäär.

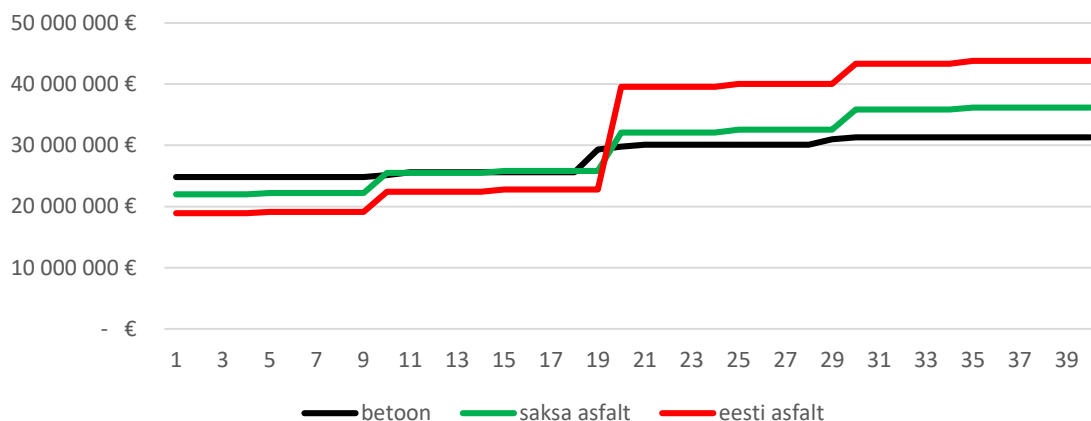
Betoonilaoturi amortisatsioon (Wirtgen, maaletooja andmed) on max 300,000 € taandatuna 20 km objektile. Siit tulenevalt on amortisatsioonikulu ruutmeetrile 0,65 €. Sellele lisanduvad kütused, tööjõud ja muud kulumaterjalid, mis tervikuna mahuvad 10 €/m<sup>2</sup> sisse – ühikhind on sõltuvuses objekti suuruselt.

Hooldus- ja remondikulude arvestuses on juhitud Kanada kogemusest [15].

	Bet/TS	Saksa AC/TS	E AC1	E AC2	Betoon versus Eesti AC
	Ruutmeetri maksumus				
Ehitusmaksumus - alginvesteering EUR/m <sup>2</sup>	53,93	47,78	41,09		31% kallim
Rekonstrueerimine (20ndal aastal)				32,03	
Hooldus- ja remondikulud	14,10	30,86	54,08		
Elukaare kulud €/m <sup>2</sup> (40 a tänased hinnad)	68,03	78,58	95,17		
KULUD 40 a ('000 €) tänastes hindades tuh.EUR	31 294	36 174	43 777		Sääst 40%

Tabel 6. Võrdluse maksumustabel - ühikhinnad ja 20 km objekti katendi maksumus

## Investeering tänastes hindades



Joonis 8. Investeeringu maht ajateljel

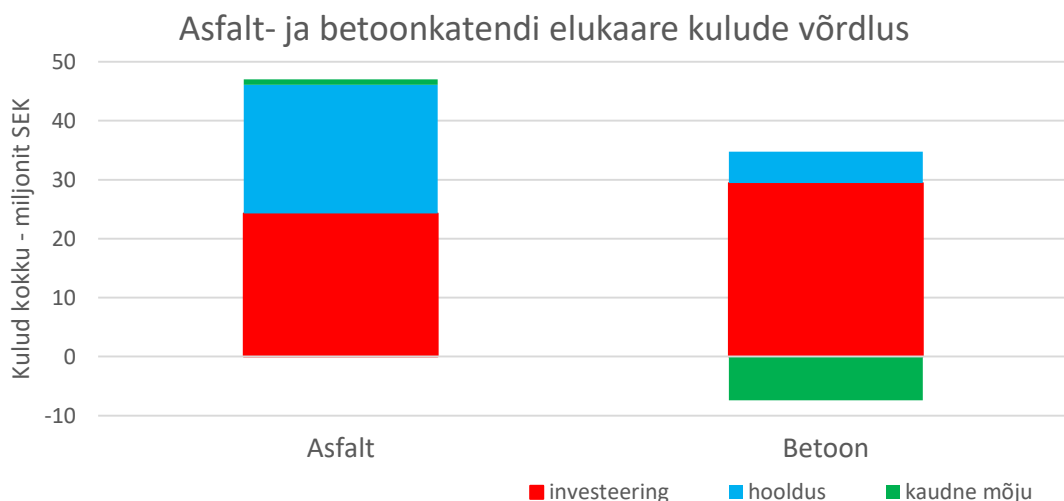
Analüüs on käsitletud diskonteerimist, kuid kui diskontomäär on võrdne inflatsiooniga, siis reaaldiskontomäär on null, mistõttu lõpptabelites diskonteerimist ei kasutata. Arvestused katavad ainult katendikonstruktsiooni, ei sisalda muldkeha, rajatise ega makse (sh käibemaks).

Kahtlemata on võimalik eelpool võrreldud katendikonstruktsioone optimeerida, kuid samadel alustel dimensioneeritud konstruktsioonid (Saksa asfaltkate ja betoon) on teehoiukulude kontekstis väga lähedased. Erinevate allikate järgi on võimalik betooni ühikmaksumuses ka ca 15% säästu valitud tasemest lähtuvalt (kõrged kvaliteedinõuded vaid ülakihi betoonil), asfaltkate puhul tasub kaaluda kuumtaastamist – kuid sellise detailse variantide võrdluse ja optimeerimise tulemuseks kipuks tervikpildist ülevaate saamine olema raskem.

Täpsustada võiks ka asfaltkate tegelikke hooldus- ja taastusremondi kulusid, kuid paraku puudub täna adekvaatne võrdlusbaas betoonkatetele, saame juhendada vaid kirjanduses esitatud võrdlustest teistest riikidest, kus on erinevad kliimatilised tingimused, kogemused ja hinnatasemed. Lisas 4 on analüüsitud Saksa asfaltkatele lähedast alternatiivset konstruktsiooni Eesti reeglite alusel, mis kinnitab seniseid järeldusi.

Rootsis (Göteborg, Chalmersi Tehnikakõrgkool) on 2007 kaitstud magistritöö nr 2007:122 (Hilda Dahlin & Åsa Eliasson) [10] milles on võrreldud asfalt- ja betoonkatendeid elukaare kuludes Rootsi 2Ö mudelis, mis arvestab nii otsesed investeeringud, hoolduskulud kui ka sotsiaalmajandusliku tulu. Lisatud graafik näitab sisuliselt sama mida käesolev töö, et investeeringukulud on selgelt suuremad, hoolduskulud väiksemad ning see vahe kompenseerib täielikult kallima investeeringu, lisanduv sotsiaalmajanduslik tulu on täiendav boonus. Tabelis on toodud tingliku 3 km teelõigu kulud (2+2, laius 23 meetrit) - miljonit rootsi krooni.

Kuluartikkel	Asfalt	Betoon
investeering	24,288	29,418
hooldus	21,804	5,328
kaudne mõju	0,940	-7,417
... sealhulgas:		
sõiduaja kasv	0,898	0,847
liiklusõnnetuste kulu	0,042	0,040
kütusekulu	0	-4,628
CO-saaste	0	-3,676



Joonis 9. Asfaltkatendi ja betoonkatendi hinnavõrdlus (lisatud ka sotsiaalmajanduslik sääst) – Chalmersi magistritööst

**Järeldus: 20 km teelõigu elukaare kulud on betoonkatendil 31 miljonit (68 €/m<sup>2</sup>), saksa asfaltkatendil 36 miljonit (78 €/m<sup>2</sup>) ja eesti asfaltkatendil 44 miljonit eurot (95 €/m<sup>2</sup>). Antud võrreldava koormuse ja valitud ühikhindade juures on elukaare kogukulude alusel betoonkatend 40% odavam Eesti asfaltkatendist kuigi betoonkatendil alginvesteering on suurem.**

## Järeldused

1. Betoonkate sobib paremini suure raskeliikluse sagedusega teedele ja tõenäoliselt võime eeldada roopa arengut betoonkattel kolm korda aeglasemas tempos võrreldes asfaltkattega.
2. Tänapäevaste katendi projekteerimise süsteemi ei ole võimalik sisuliselt tugevdada (parandada) ainult arvestusliku koormuse suurendamisega (siirdetegurite tõstmisega). Vajalik on kohandada sobilik samas kliimavööndis paikneva riigi süsteem.
3. Betoonkattel on tehnoloogiline miinimumpaksus ja koormuse tõus tõstab katte paksust tagasihoidlikult, asfaltkattel on koormusest tulenev kihipaksuste tõus kiire ja sellega kaasneb oht kiiremaks roobaste arenguks.
4. Võrreldes Soome ja Taani katenditega suurtel koormustel, on Eesti KAP arvatavalt vähemalt 5 cm õhem, Saksa tüüpkatenditega on vahe kuni 10 cm.
5. Taani katendite projekteerimistarkvara MMOPP2017 võimaldab lisaks asfaltkatendile arvutada ka mitmeid erinevaid hüdraulilise sideainega katendeid, mis laiendab võimalusi lisaks betoonkatendile ka korebetooni ja tsementstabiliseeritud kihtide kasutamiseks asfaldist ülakihi või ülakihtidega.
6. Eesti põhimaanteedest on koormuse tõttu betoonkatendi kasutamiseks sobilikumad Pärnu maantee kogu ulatuses ja Tartu maantee Imavereni.
7. Lõplikuks võrdluseks on Saksa normide järgi valitud katendi koormusklass 10...32 miljonit normtelge 40 aastaga, sellele vastavad betoon ja asfaltkatend ning Eesti 20-aastase tööeaga asfaltkatend, mis rekonstrueeritakse 20-ndal aastal.
8. Betoonkatendi ehitusmaksumus on 31% kallim Eesti asfaltkattest. Betoonkatendi elukaare kulud (arvestamata inflatsiooni või diskonteerimist) on 40% odavamad Eesti asfaltkatendist. Eesti asfaltkatendi remondi- ja hoolduskulud on 40-aastase tee elukaare puhul ligi neli korda suuremad kui betoonkatendil.

## 9. KOKKUVÖTE

**Betoonkatend on majanduslikult mõistlikum katendi pikema tööea tõttu. Sääst elukaare kogukuludes ulatub 40 %-ni (tänaastes hindades) võrreldes Eesti asfaltkatendiga. Asfaltkattest suurema alginvesteeringu tõttu on betoonkatend hästi sobiv ka PPP-hankeskeemiga, sest sisuliste kulutuste põhirõhk ehitusajalt kantakse ühtlaselt eksploatatsiooniperioodile.**

Olukorras, kus kolme põhimaantee (Tallinn-Pärnu, Tallinn-Narva, Tallinn-Tartu) tempokaks neljarealisteks väljaehitamiseks kaalutakse laenu- ja PPP-variante, on betoonteede kaalumise alla võtmiseks soodne aeg. Tellijat ja rahastajat ei peaks huvitama mitte tee hind valmimise hetkel, vaid 15-20, loodetavasti 40 aasta horisondil. Ehk tee elukaare hind, koos kõigi hooldus-, remondi- ja teekasutaja kuludega. Teoreetiliselt ei oma rahastaja jaoks tähtsust – kas tee katendi sideaineks on bituumen või tsement. Seetõttu tuleks ettevalmistusprotsessis piirduda eelprojektiga, mis on maade eraldamiseks piisav ja põhiprojekt koostada partneri poolt PPP-lepingu raames.

Eesti katendarvutuse võrdlus näitab tõsiselt aladimensioneerimist ja seda vahet ei ole võimalik tasandada ainult siirdetegurite muutmisega. Käsitatud koormustel soovivad võrreldud meetodikad igal juhul kasutada tsementi kas aluses, kattes või mõlemas.

Betooni kasutuse eeliseks on kohalik sideaine erinevalt asfaldile vajalikust kvaliteetsest bituumenist, mida tuleb igal juhul importida ja mille kvaliteedi tagamisega on olnud probleeme. Nagu nähtub ka Saksa tüüpkatendite analüüsist, on asfaltkatte dimensioneerimine liiklussageduse/koormuse suhtes tundlik, betoonkatend suhteliselt vähem ja seetõttu on betoonkatte projekteerimine oluliselt vähem tundlik prognoosi ebatäpsustele.

## 10. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Eesti tingimustele vastava betoonkatendi projekteerimine ja selle tasuvusanalüüs. Ramboll Eesti AS. MA 2013-7 / 2013-0048  
[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/2013\\_0048\\_betoontee.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/2013_0048_betoontee.pdf)
2. Elastsete teekatendite projekteerimisjuhendi 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas. Ain Kendra. MA 2015-8  
[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/elastsete\\_katendite\\_juhendi\\_taiendamine\\_siirdeteguritega\\_2015\\_8.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/elastsete_katendite_juhendi_taiendamine_siirdeteguritega_2015_8.pdf)
3. Ristmikel nihkekindlate katendite väljatöötamine. ERC Konsultatsiooni OÜ. MA 2015-45  
[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/teadus\\_ja\\_arendustoo\\_ristmikel\\_nihkekindlate\\_katendite\\_valjatootamine\\_2015-14\\_erc\\_1.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/teadus_ja_arendustoo_ristmikel_nihkekindlate_katendite_valjatootamine_2015-14_erc_1.pdf)
4. Elastsete teekatendite arvutusmetoodika arendamine. TTÜ Teedeinstituut. MA 2016-45  
[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/2016-45\\_kap\\_arenduse\\_lopparuanne.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/2016-45_kap_arenduse_lopparuanne.pdf)
5. Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. TTÜ Teedeinstituut. MA 2017-003.  
[https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/projekteerimine/elastsete\\_teekatete\\_projekteerimise\\_juhend\\_2\\_9\\_03\\_17.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/projekteerimine/elastsete_teekatete_projekteerimise_juhend_2_9_03_17.pdf)
6. Saksa tüüpkatendid. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. RStO 12.
7. Tierakenteen suunnittelu. 28.11.2018. Liikenneviraston ohjeita 38/2018.  
[https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2018-38\\_tierakenteen\\_suunnittelu\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_web.pdf)
8. Guidance – MMOPP Design Program for Road Pavements. Construction and planning. September 2017, Vejregler. Vejdirektoratet.dk  
<https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/2019-05/MMOPP%20Guidance.pdf>
9. Maanteede projekteerimisnormid. MKM määrus 106 lisa  
[https://www.riigiteataja.ee/akti/1070/8201/5014/MKM\\_m106\\_lisa.pdf](https://www.riigiteataja.ee/akti/1070/8201/5014/MKM_m106_lisa.pdf)
10. Jämförelse mellan asfalt- och betongbeläggningar. Uppdatering av kalkylmodellen 2Ö. Hilda Dahlin & Asa Eliasson. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 2007. Examensarbete 2007:122  
<http://documents.vsect.chalmers.se/CPL/exjobb2007/ex2007-122.pdf>
11. Maanteeameti teetööde ühikhindade prognoos aastani 2027. ERC Konsultatsiooni OÜ 2018  
[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/teetoode\\_yhikhinnad\\_erc-19-2018.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/teetoode_yhikhinnad_erc-19-2018.pdf)
12. Teetööde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022. Tallinna Tehnikaülikool 2013  
[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/teetoode\\_uhikhinnad\\_ja\\_nende\\_prognoos\\_aastani\\_2022.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/teetoode_uhikhinnad_ja_nende_prognoos_aastani_2022.pdf)
13. Taastusremondi objektide ja liigi valikumetoodika analüüs ja täiendamine, AS Teede Tehnokeskus. MA 2016-4  
[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/160410\\_taaustusremondimetoodika\\_uuring\\_2016-4\\_f160803.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/160410_taaustusremondimetoodika_uuring_2016-4_f160803.pdf)

14. EUPAVE – A guide on the basic principles of Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) of pavements. 2018

<https://www.eupave.eu/eupave-publication-a-guide-on-the-basic-principles-of-life-cycle-cost-analysis-lcca-of-pavements/>

15. LCCA considerations in Pavement Type selection. B.Czarnecki et al, 2017

[https://www.tac-atc.ca/sites/default/files/conf\\_papers/bozenac-life\\_cycle\\_cost\\_analysis\\_considerations\\_in\\_pavement\\_type\\_selection.pdf](https://www.tac-atc.ca/sites/default/files/conf_papers/bozenac-life_cycle_cost_analysis_considerations_in_pavement_type_selection.pdf)

Käesolev uuring on teostatud Eesti Betooniühingu tellimusel.

**Ain Kendra**

Volitatud teedeinsener (tase 8), kutsetunnistus nr 144222

Tallinnas, 5.02.2020

# LISAD

## Lisa 1: Saksu tüüpkonstruktsioonid asfaltkattele

(Dickenangaben in cm;  $\nabla$   $E_{v2}$ -Mindestwerte in MN/m<sup>2</sup>)

Zeile	Bauklasse	Bk <sub>100</sub>				Bk <sub>32</sub>				Bk <sub>10</sub>				Bk <sub>3,2</sub>				Bk <sub>1,8</sub>				Bk <sub>1,0</sub>				Bk <sub>0,3</sub>																																					
		B [Mio]								> 32								> 10 - 32								> 3,2 - 10								> 1,8 - 3,2								> 1,0 - 1,8								> 0,3 - 1,0								≤ 0,3					
Dicke des frostsich. Oberbaues <sup>1)</sup>		55	65	75	85	55	65	75	85	55	65	75	85	45	55	65	75	45	55	65	75	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65																														
<b>Asphalttragschicht auf Frostschutzschicht</b>																																																															
1	Asphaltdecke	12		12		12		10		16		4		4		4		4		4		4																																									
	Asphalttragschicht	22		18		14		12		Σ20		Σ18		Σ14		Σ10		Σ10		Σ10		Σ10																																									
	Frostschutzschicht	45		45		45		45		45		45		45		45		45		45		45																																									
Dicke der Frostschutzschicht		31	41	51	51	25	35	45	55	29	39	49	59	33	43	53	53	25	35	45	55	17	27	37	47	21	31	41	51																																		
<b>Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel auf Frostschutzschicht bzw. Schicht aus frostunempfindlichem Material</b>																																																															
2.1	Asphaltdecke	12		12		12		8																																																							
	Asphalttragschicht	14		10		15		Σ35																																																							
	Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)	15		15		15		Σ37																																																							
Dicke der Frostschutzschicht		34	44	44	44	28	38	48	48	30	40	50	50	31	41	51	51	25	35	45	55	27	37	47	57	21	31	41	51																																		
2.2	Asphaltdecke	12		12		12		10		4		4		4		4		4		4		4																																									
	Asphalttragschicht	18		14		10		15		Σ31		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29																																									
	Verfestigung	15		15		15		Σ41		Σ35		Σ31		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29																																									
Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material		10	20	30	40	14	24	34	44	18	28	38	48	10	20	30	40	14	24	34	44	6	16	26	36	6	16	26	36																																		
2.3	Asphaltdecke	12		12		12		10		4		4		4		4		4		4		4																																									
	Asphalttragschicht	18		14		10		15		Σ31		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29																																									
	Verfestigung	20		20		20		Σ42		Σ40		Σ31		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29																																									
Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material		5	15	25	35	9	19	29	39	13	23	33	43	5	15	25	35	14	24	34	44	6	16	26	36	6	16	26	36																																		
<b>Asphalttragschicht und Schottertragschicht auf Frostschutzschicht</b>																																																															
3	Asphaltdecke	12		12		12		10		4		4		4		4		4		4		4																																									
	Asphalttragschicht	18		14		15		15		Σ31		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29																																									
	Schottertragschicht <sup>7)</sup> $E_{v2} \geq 150(120)$	15		15		15		Σ37		Σ35		Σ31		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29		Σ29																																									
Dicke der Frostschutzschicht		30	40	40	40	34	44	44	44	28	38	48	48	30	40	40	40	24	34	44	44	26	36	46	46	18	28	38	38																																		
<b>Asphalttragschicht und Kiestragschicht auf Frostschutzschicht</b>																																																															
4	Asphaltdecke	12		12		12		10		4		4		4		4		4		4		4																																									
	Asphalttragschicht	18		14		10		15		Σ36		Σ34		Σ34		Σ34		Σ34		Σ34		Σ34																																									
	Kiestragschicht $E_{v2} \geq 150(120)$	20		20		20		Σ42		Σ40		Σ36		Σ34		Σ34		Σ34		Σ34		Σ34																																									
Dicke der Frostschutzschicht		25	35	35	35	29	39	39	39	33	43	43	43	25	35	35	35	29	39	39	39	31	41	41	41	23	33	33	33																																		
<b>Asphalttragschicht und Schotter- oder Kiestragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material</b>																																																															
5	Asphaltdecke	12		12		12		10		4		4		4		4		4		4		4																																									
	Asphalttragschicht	18		14		10		15		Σ46		Σ44		Σ44		Σ44		Σ44		Σ44		Σ44																																									
	Schotter- oder Kiestragschicht	30 <sup>8)</sup>		30 <sup>8)</sup>		30 <sup>8)</sup>		30 <sup>8)</sup>		Σ50		Σ46		Σ44		Σ44		Σ44		Σ44		Σ44																																									
Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material		Ab 12 cm aus frostunempfindlichem Material, geringere Restdicke ist mit dem darüber liegenden Material auszugleichen																																																													

1) Bei abweichenden Werten sind die Dicken der Frostschutzschicht bzw. des frostunempfindlichen Materials durch Differenzbildung zu bestimmen, siehe auch Tabelle 6

2) Mit rundkörnigen Gesteinskörnungen nur bei örtlicher Bewehrung anwendbar

3) Nur mit gebrochenen Gesteinskörnungen und bei örtlicher Bewehrung anwendbar

4) Nur auszuführen, wenn das frostunempfindliche Material und das zu verfestigende Material als eine Schicht eingebaut werden

5) Bei Kiestragschicht in Bauklassen Bk<sub>100</sub> bis Bk<sub>10</sub> in 40 cm Dicke, in Bauklassen Bk<sub>3,2</sub> und Bk<sub>1,8</sub> in 30 cm Dicke

6) Tragschicht, siehe auch Abschnitt 3.3.3

7) alternativ: Abminderung der Asphalttragschicht um 2 cm bei 20 cm dicker Schottertragschicht und

$E_{v2} \geq 180 \text{ MN/m}^2$  (in Bauklassen Bk<sub>100</sub> bis Bk<sub>10</sub>) bzw.  $E_{v2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$



# Lisa 2: Saksa tüüpkonstruktsioonid betoonkattele

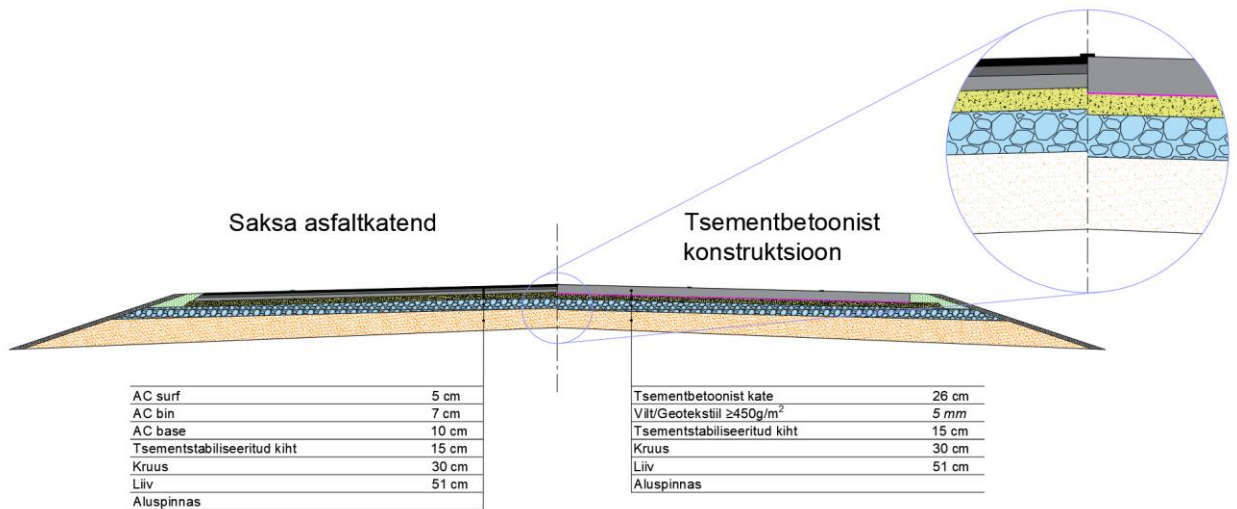
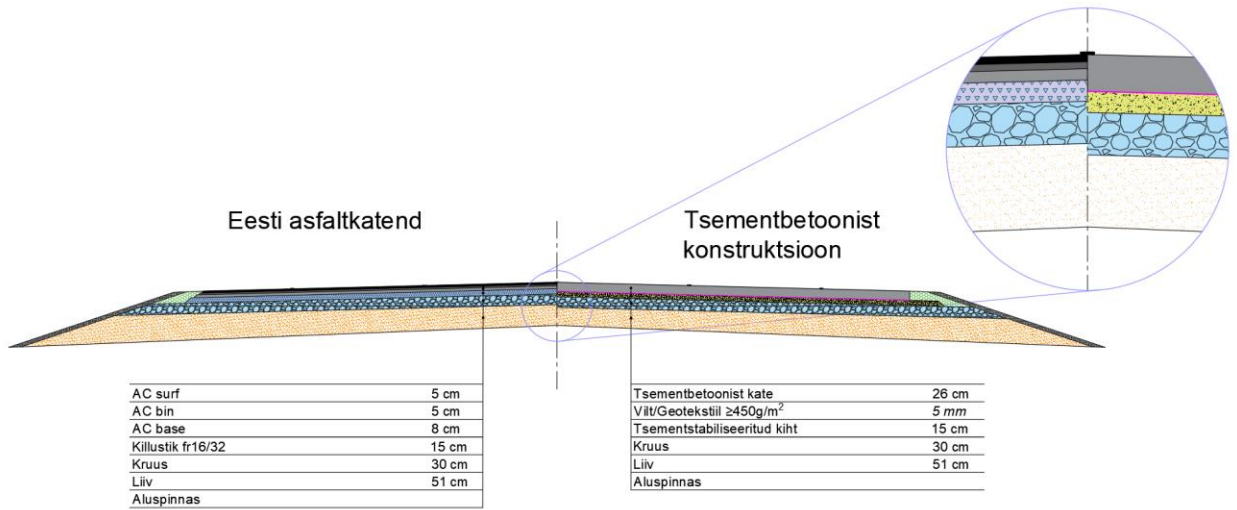
(Dickenangaben in cm; ▼ E<sub>v2</sub>-Mindestwerte in MN/m<sup>2</sup>)

Zeile	Bauklasse	Bk <sub>100</sub>	Bk <sub>32</sub>	Bk <sub>10</sub>	Bk <sub>3,2</sub>	Bk <sub>1,8</sub>	Bk <sub>0,8</sub>	Bk <sub>0,3</sub>	
	B [Mio]	> 32	> 10 - 32	> 3,2 - 10	> 1,8 - 3,2	> 1,0 - 1,8	> 0,3 - 1,0	≤ 0,3	
	Dicke des frostsich. Oberbaues <sup>1)</sup>	55   65   75   85	55   65   75   85	55   65   75   85	45   55   65   75	45   55   65   75	35   45   55   65	35   45   55   65	
1.1	<b>Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel auf Frostschuttschicht bzw. Schicht aus frostunempfindlichem Material</b>								
	Betondecke Vliesstoff <sup>2)</sup> Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) Frostschuttschicht								
	Dicke der Frostschuttschicht	-   -   33 <sup>3)</sup>   43	-   24 <sup>3)</sup>   34   44	-   25 <sup>3)</sup>   35   45	-   -   26 <sup>3)</sup>   36	-   -   27 <sup>3)</sup>   37			
1.2	<b>Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht</b>								
	Betondecke Vliesstoff <sup>2)</sup> Verfestigung Schicht aus frostunempfindlichem Material -weit- oder intermittierend gestuft gemäß DIN 18196-								
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material	8 <sup>4)</sup>   18 <sup>4)</sup>   28   38	14 <sup>4)</sup>   24   34   44	15 <sup>4)</sup>   25   35   45	6 <sup>4)</sup>   16   26   36	-   -   27 <sup>4)</sup>   37			
1.3	<b>Schottertragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material</b>								
	Betondecke Vliesstoff <sup>2)</sup> Verfestigung Schicht aus frostunempfindlichem Material -enggestuft- gemäß DIN 18196-								
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material	3 <sup>4)</sup>   13 <sup>4)</sup>   23   33	9 <sup>4)</sup>   19   29   39	10 <sup>4)</sup>   20   30   40	1 <sup>4)</sup>   11 <sup>4)</sup>   21   31	2 <sup>4)</sup>   12 <sup>4)</sup>   22   32	10 <sup>4)</sup>   20   30   40	-   10 <sup>4)</sup>   20   30	
2	<b>Schottertragschicht auf Frostschuttschicht</b>								
	Betondecke Asphalttragschicht Frostschuttschicht								
	Dicke der Frostschuttschicht	-   29 <sup>3)</sup>   39   49	-   30 <sup>3)</sup>   40   50	-   31 <sup>3)</sup>   41   51	-   -   32 <sup>3)</sup>   42	-   25 <sup>3)</sup>   35   45			
3.1	<b>Schottertragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material</b>								
	Betondecke Schottertragschicht Schicht aus frostunempfindlichem Material								
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material	Ab 12 cm aus frostunempfindlichem Material, geringere Restdicke ist mit dem darüber liegenden Material auszugleichen							
3.2	<b>Schottertragschicht auf Frostschuttschicht</b>								
	Betondecke Schottertragschicht Frostschuttschicht								
	Dicke der Frostschuttschicht	-   -   26 <sup>3)</sup>   36	-   -   27 <sup>3)</sup>   37	-   -   28 <sup>3)</sup>   38	-   -   19 <sup>3)</sup>   29	-   -   21 <sup>3)</sup>   31			
4	<b>Frostschuttschicht</b>								
	Betondecke Frostschuttschicht								
	Dicke der Frostschuttschicht					24 <sup>3)</sup>   34   44   54	14 <sup>3)</sup>   24   34   44		

1) Bei abweichenden Werten sind die Dicken der Frostschuttschicht bzw. des frostunempfindlichen Materials durch Differenzbildung zu bestimmen, siehe auch Tabelle 8  
 2) Mit rundkörnigen Gesteinskörnungen nur bei örtlicher Bewehrung anwendbar  
 3) Nur mit gebrochenen Gesteinskörnungen und bei örtlicher Bewehrung anwendbar

4) Nur auszuführen, wenn das frostunempfindliche Material und das zu verfestigende Material als eine Schicht eingebaut werden  
 8) Anstelle des Vliesstoffes kann eine Asphaltzwischenlage gewählt werden

### Lisa 3: Võrreldud konstruktsioonide ristlõikeskeemid



#### Lisa 4: Alternatiiv Eesti katendile stabiliseeritud alusel

Võrdluses on lisatud kompleksstabiliseeritud alus, katend arvatud eeldusel, et koormuseks on üksikrattaga telg (tavaliselt eeldatakse paarisratas, kuid prof. Rothenburg soovitas I ja II klassi teedel võtta aluseks üksikratas), mistõttu katendi konstruktsioon on lähedasem Saksa normikohasele. Konstruktsioon: SMA - 4+1; AC bin – 4; AC base – 9; KS32 – 15. SMA paigaldus 7-ndal aastal, 20-ndal aastal asendatakse asfaldikihid.

	Bet/TS	Saksa AC/TS	E AC1/2	E KS	Saksa AC/TS vs Eesti AC/KS
Ruutmeetri maksumus					
Ehitusmaksumus-alginvest. EUR/m <sup>2</sup>	53,93	47,78	41,09	36,41	
SMA hiljem				9,65	
Rek. (20.a AC: asf+ kill. ehk KS: 2 asfalti)			32,03	11,87	
Hooldus- ja remondikulud	14,10	30,86	54,08	43,28	
Elukaare kulu €/m <sup>2</sup> (40 a tänane hind)	68,03	78,58	95,17	79,67	Lähedane
Maksumus 20 km 2+2 ('000 €)					
KULUD 40 a ('000 €) tänane hind tuh.EUR	31 294	36 174	43 777	36 646	

Tabel 7. Maksumuse võrdlus koos lisatud Eesti asfaltkattega KS alusel

Alternatiivi kogumaksumus on analoogne saksa asfaltkatte maksumusega, mõlemal juhul on ehitusmaksumus asfaldil soodsam, kuid summaarne elukaare kulu betoonist kallim.

Edasine kulude optimeerimine on samuti võimalik, asfaltkattel eeldades SMA asemel AC surf kasutust ja kuumtaastamist freesimise / ülakihi asendamise asemel. Sel teel saame asfaltkatte maksumuse madalamaks. Paraku tuleks siis samas ka betoonkatet optimeerida, ilmselt konstruktsiooni erinevates sügavustes erinevate betooni nõuetega. See toob kaasa samas lisakulud ehituse käigus ning täpsem võrdlus eeldaks katsetöid või vähemalt põhjalikumaid mõttevahetusi inseneridega, kes igapäevaselt betooniteedega tegelevad et võrreldav oleks tehniliselt ja majanduslikult realistlik.

## Lisa 5. Eesti kolme põhimaantee 2+2 ristlõikega katendite 40-aastase elukaare hinnavõrdlus

	Tallinn-Pärnu-Ikla 160 km		Tallinn-Tartu 99 km		Tallinn-Narva 62 km		Kokku kolm põhimaanteed		Ühikhind €/m <sup>2</sup>	
	Betoon 40	Asfalt 2*20	Betoon 40	Asfalt 2*20	Betoon 40	Asfalt 2*20	Betoon 40	Asfalt 2*20	Betoon	Asfalt
<b>Ehitus</b>	198 586 439	151 305 707	122 798 610	93 561 930	76 656 102	58 405 326	398 041 151	303 272 963	53,93	41,09
<b>1..10 aasta H&amp;R</b>	6 112 618	28 243 241	3 779 820	17 464 590	2 359 524	10 902 138	12 251 962	56 609 969	1,66	7,67
<b>11..20 aasta H&amp;R</b>	36 012 894	137 092 029	22 269 060	84 772 710	13 901 292	52 918 722	72 183 246	274 783 461	9,78	37,23
<b>21..30 aasta H&amp;R</b>	9 794 918	30 084 391	6 056 820	18 603 090	3 780 924	11 612 838	19 632 662	60 300 319	2,66	8,17
<b>31..40 aasta H&amp;R</b>	0	3 682 300	0	2 277 000	0	1 421 400	0	7 380 700	0,00	1,00
<b>KOKKU</b>	250 506 869	350 407 668	154 904 310	216 679 320	96 697 842	135 260 424	502 109 021	702 347 412	68,03	95,16

Tabel 8. Elukaare kulude võrdlus Eesti magistraalidel ajalise jaotusega (teekatendi osa)

	E67 - 160 km		E263 - 99 km		E20 - 62 km		Kokku		Ühikhind €/m <sup>2</sup>	
	Bet.	Asf.	Bet.	Asf.	Bet.	Asf.	Bet.	Asf.	Bet.	Asf.
<b>Ehitus</b>	199	151	123	94	77	58	398	303	53,93	41,09
<b>1..10 aasta H&amp;R</b>	6	28	4	17	2	11	12	57	1,66	7,67
<b>11..20 aasta H&amp;R</b>	36	137	22	85	14	53	72	275	9,78	37,23
<b>21..30 aasta H&amp;R</b>	10	30	6	19	4	12	20	60	2,66	8,17
<b>31..40 aasta H&amp;R</b>	0	4	0	2	0	1	0	7	0,00	1,00
<b>KOKKU</b>	251	350	155	217	97	135	502	702	68,03	95,16

Tabel 9. Elukaare kulude võrdlus Eesti magistraalidel ajalise jaotusega (miljonit eurot teekatendile)

Märkused:

- 1) Iga maantee puhul on arvestatud nende kilomeetritega, mis on veel 2+2 välja ehitamata (v.a. Kose-Mäo Tartu maanteel mis jääb igal juhul analüüsist välja)
- 2) Võrreldud on valitud betoonkatendit tsementstabiliseeritud alusel (tööiga 40 aastat) Eesti reeglite kohase killustikalusel ehitatud katendiga (tööiga 20 aastat, seejärel asendatakse asfaldikihid ja killustik)