



Betoonteede tüübid sarrustamata katendist rulltihendatud betoonini

Eestis on viimastel aastatel räägitud betoonteede teemal pikalt ja kulutatud palju aega, veenmaks ümber kohalikke eksperte, kes väidavad, et betoonteid on kallid ehitada ja need ei sobi põhjamaa kliimasse. Nüüd, mil Tallinna linnavalitsuse spetsialisti **Priit Willbachi** eestvedamisel valminud esimene betoonte katelõik Paldiski maanteel on "üle elanud" kaks talve ja näeb endiselt välja nagu uus, on aeg lähemalt vaadelda, milliseid betoonteede tüüpe on olemas.

ARVO TINNI
Austraalia teedeinsener
ehitaja@aripaev.ee

FOTOD: ARVO TINNI,
BETOONTEEDE
TÜÜBID

Põhimõtteliselt on olemas kahte tüüpi teekatteid: jäigad ja elastsed. Kõik betoonteid on jäigad. Elastsete teekatete hulka kuuluvad peale asfaldi ka kõik kruusateed.

Korduvad dünaamilised koormused tekitavad asfaltkatendis deformatsioone, mis kahjustavad asfaldikihti. Lühiajalised koormused põhjustatud deformatsioonid taastuvad asfaltbetoonis ruttu. Üle 0,4 mm deformatsioonide puhul tekivad juba sõltuvalt temperatuurist jääkdeformatsioonid pragude ja vajumite näol.

Betoonkattes ei teki koormuse all jääkdeformatsioone, kui ei esine projekteerimisvigu või erilisi koormusi, millega ei osatud arvestada.

Enne kui loetleda erinevaid betoonkatendi tüüpe, tuleb rõhutada ühte betoonisegu omadust. Betooni kivinemine on eksotermiline protsess, mille käigus eraldub soojust. Selle tõttu betoonkeha paisub, jahtudes kahaneb – betoonkatendi konstruktsioon hakkab pragunema.

Betooni segamisel ja paigaldamisel tekitab tsemendi hüdratsioon betoonis märkimisväärse

temperatuuritõusu. See on hinnanguliselt 7 °C / 50 kg tsemendi kohta.

- Seega tõuseb segu, milles on 340 kg tsemendi kuupmeetri kohta (näiteks 35 MPa), temperatuur kivistumise ajal umbes 50 °C võrra.
- Betonkatendi rajamisel võetakse ehitustee pikkuseks maksimaalselt 140 meetrit, hõõrdeteguri 1,5 juures.
- Paekivist täitematerjali termilise paisumise koefitsient on $9,8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Lõplik kogupaisumine 140meetrisel teelõigul on $70^\circ\text{C} \times 9,8 \times 10^{-6} \times 140 \text{ m} = 96 \text{ mm}$, seega on keskmine paisumine 48 mm ning keskmine kahanemine 34 mm, 50kraadise jahtumise korral.
- Maksimaalne kokkutõmbumine meetri kohta on $m = 34 / 140 = 0,24 \text{ mm}$. Seega 4meetrise plaadi puhul on see $0,24 \times 4 = 0,96 \text{ mm}$. See on 1,0 mm piiri lähedal, mille juures säilib vuukides täitematerjali blokeerimine, mis tagab

koormuse ülekandumise.

- Mahukahanemisest tingitud deformatsioonid tekivad kivinemisprotsessil, hiljem kaovad need mahukahanemise vuukides. Temperatuurimuutustest tingitud pinged võtavad vastu betooni enda tõmbetugevus või lisatud sarrused ja kokkutõmbumine, mis leiavad aset betooni paigaldamise ajal ja pärast seda – summeeruvad maksimaalse deformatsioonina. Hilisemad temperatuurimuutused ei mõjuta betoonkatendi käitumist. Välistemperatuuri muutustest põhjustatud sisepinged võtavad vastu kivistunud betoon.
- Kui vuugi kohal on deformatsioon suurem kui 1 mm, peab vuuk olema armeeritud või vuuke löikama tihedamalt. Üldjuhul kasutatakse kuni 12 mm perioodilist sarrust pikkusega kuni 1 m ja tõmbetugevusega vähemalt 500 MPa.

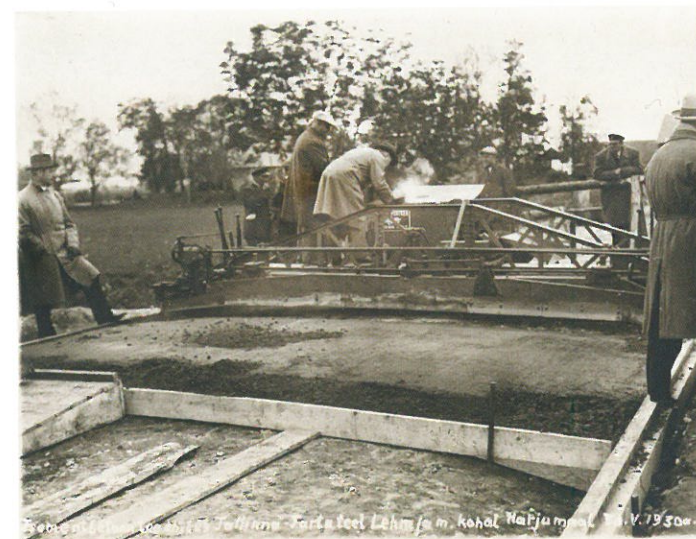
Betonkatendite enim kasutatud tüübid

Ükski betoonkatend pole algusest lõpuni monoliitne, sest alates betooni paigaldamise hetkest hakkab betoon soojenema ja paisuma, seejärel see

jahtub ning tõmbub kokku. Kui spetsiaalseid ettevaatusabinõusid pole kasutusele võetud, võib esineda betooni ebakorrapärasest pragunemist.

Seda saab vältida põikisuunaliste vuukide sisselõigetega, et juhtida pragu vuugikohta. Vuugid saetakse kuni ¼ sügavusele plaadi paksusest. Selline töötlemine sobib kõikidele ilma pideva sarruseta betoonkatendite tüüpidele, välja arvatud jätkuvalt sarrustatud vuukideta betoonkatendid.

Kõige levinumad on neli tüüpi betoonkatted, mis erinevad katenditele esitatud nõuete ja kogupaksuse poolest. Kõigil neljal tüübil on ka erinevaid variatsioone, mis tulenevad katendile esitatud nõuetest.



Vuukidega sarrustamata betoonkatendi näiteid:

ÜLEVAL
Tartu mnt
Lehmja mõisa
kohal, 1930.
FOTO: EMM F 75-12

VASAKUL
Narva mnt
betoonteelõik,
1967.
ARHIIVIFOTO



Peterburi tee betoonteelõik, 2014. Näidisplaadi väljasaagimine Maanteemuuseumile.
FOTO: MAREK TRUU



pavement) paksus on täpselt sama mis vuukidega sarrustamata betoonkatendil, kuid paneel on kergelt armeeritud terasest keevitatud võrguga (200 × 200 × 8 mm traat). Võrgu võib asetada kas paneelide mõõtmetes või jätkuvalt läbi vuukide.

- Betooni tugevus on 32–35 MPa.
- Keskmine plaadi paksus on 230–250 mm.
- Plaadi pikkust võib suurendada kuni 10 meetrini või kui testid lubavad, siis ka rohkem. Pikad plaadid kaarduvad plaadi ülemise ja alumise pinna temperatuuri erinevusest tingituna ning võivad suure koormuse all keskel puruneda.
- Seda tüüpi kasutatakse enamasti käsitsi valatud plaatide jaoks.
- Vajab kolme ankrut plaadivalu lõpus.

lel betoonkatendil on jääkväärtus kõige suurem - 50% või rohkem.

Ülemaailmselt ei ole ühist seisukohta, milline peaks olema armeerimisprotsent. See on USAs 0,65%, Austraalias 0,67%, Belgias 0,8%.

- Betooni tugevus on 32–35 MPa.
- Keskmine paksus on 230 mm.
- Ei moodustata plaate. Jätkuv pikkus.
- Ei tehta vuuke.
- Loomulik põikisuunaline pragunemine on lubatud. Ideaalne pragude vahekaugus on 0,5–3,0 m.
- Pikisuunaline sarrus, 16 mm diameetriga profiiliga vardad, on pidev üle kogu valu pikkuse. Eelistada tuleks 16 mm vardaid, mitte 24 mm, kuna esimestel on parem nakketugevus pindalaühiku kohta.
- Vajab kolme ankrut plaadivalu lõpus.

Jätkuva sarrusega betoonkatendi kahanemine

- Kumulatiivne pragude laius 140 m plaadil on sama, mis eelmainitud taustainfo valikus, ehk 96 mm.
- Lubatud prao laius jätkuvalt sarrustatud betoonkatendil on 0,5 mm. Seega peaks 140 meetri kohta olema 192 pragu ($96 / 0,5 = 192$).
- See tähendab, et teoreetiliselt peab iga 0,7 m järel olema



pragu, mille laius on 0,5 mm (lubatud vahekaugus on 0,5 kuni 3 m).

- Kui betooni tugevust suurendatakse, näiteks 50 MPa-ni, on temperatuuri kasv hüdratsioonist umbes 63 °C. Kui välistemperatuur betoonivalu ajal on 20 °C, siis plaadisise maksimumtemperatuur on 83 °C.
- Selle tulemuseks on maksimaalne paisumine $83 \text{ °C} \times 9,8 \times 140 \times 10^{-6} = 110 \text{ mm}$. See on $110 / 140 = 0,78 \text{ mm / m}$. Seetõttu ei ole kokkutõmbumine probleem. Pragude tegeliku vahekauguse saab välja arvutada.

Teraskiudbetoon

Betooni lisatakse teraskiude, mille pikkus on 40–50 mm. Teraskiudbetoon (*steel fibre reinforced concrete*) on peamiselt kasutusel ringristmikel, mõnes riigis ka ülemises 50 mm paksuses kulumiskihis või

Võimalik kokkuhoid hooldamisel

Austraalia Uus-Lõuna Walesi osarigi maantee- ja liiklusamet alustas mõni aasta tagasi üksikasjalikku hoolduskulude uuringut, milles jälgitakse Sydney ja Melbourne'i vahelisi saja kilomeetri pikkuseid raskeveokitele mõeldud asfalt- ja betooniteid. Praegu on võimalik tutvuda esimese 20 aasta andmetega. Uuringu tulemused on:

- Hea kvaliteediga betoonkatendi hoolduskulu on 2 €/m².
- Keskmise kvaliteediga betoonkatendi hoolduskulu on 20 €/m².
- Asfaltkatendi hoolduskulu jääb vahemikku 37–50 €/m².

ülekatetes, et suurendada kulumiskindlust pindmises kihis.

- Betooni tugevus on 40–45 MPa.
- Keskmine plaadi paksus on 190–230 mm.
- Segu sisaldab 70 kg kiude kuupmeetri kohta.
- Sobib ideaalselt erikujuliste plaatide tegemiseks, näiteks ringristmikel.
- Maksimaalne plaadi pikkus on 6 m.
- See katendi tüüp on kallim.
- Kiudbetoon võib jätta määratud mulje, kuna teraskiud kipuvad pinnal roostetama.

Teised vähem kasutatavad betoonkatendite tüübid Eelpingestatud betoonkatendid (*prestressed concrete pavements*)

Seda tüüpi betoonkatendit tavaliselt teedeehituses ei kasutata. Akadeemikud ja mõned konsultandid on selle mõttega küll "mänginud".

FOTO ÜLAL: Jätkuva sarrusega betoonkatendi ehitamine Austraalias.

FOTO VASAKUL: Eelpingestatud betoonkatendi kasutamine tänavaehtituses New Yorgis. ALLIKAS: ARVO TINNI



Vuukidega sarrustamata betoonkatend

Kõige odavam ja levinum betoonkatendi tüüp on sarrustamata betoonkatend (*jointed plain concrete pavement*): kas valatud betoon või tsemendiga stabiliseeritud kiviaines, mis koosneb sarrustamata betoonist. Sõltuvalt koormusest (raskeveokid, lennukid, autoteedel liikluskoormus) võivad esilekutsutud vuugid toetuda kas killustiku blokeeringule või on omavahel seotud sobilike sidevarrastega.

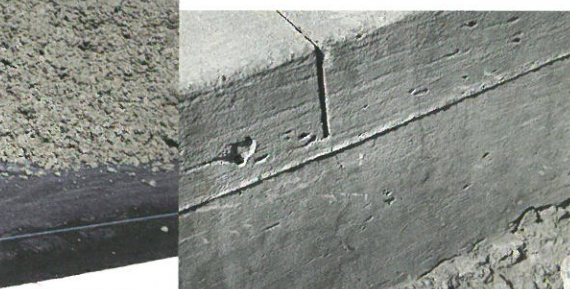
- Betooni tugevus on 32–35 MPa.
- Vuugivahed ehk paneeli pikkus on 4 kuni 4,5 m.
- Sisselõigete abil juhitakse mahukahanemise pragusid.
- Koormuse ülekandmine

killustiku blokeeringu abil. Vajadusel kasutatakse sidevardaid, mis hoiavad pragu koos. Sidevardad on kuni 1 m pikkused ja 12 mm läbimõõduga profiilterasest. Tüübleid ei kasutata, kuna nende abil ei ole võimalik tagada ühtlase laiusega vuuke.

- Keskmine plaadi paksus on 250–280 mm.
- Paksud raudbetoonplaadid vajavad eraldi ankurdamist külmakerkeline aluspinnase või kõrge pinnavee taseme puhul. Vajab ühte ankrut jätkuvalt valatud plaadi mõlemas otsas.

Vuukidega sarrustatud betoonkatend

Vuukidega sarrustatud betoonkatendi (*jointed reinforced concrete*



Vuukidega sarrustatud betoonkatendi paigaldamine Oismäe betoonkatendite katselõigul, 2016.

FOTOD: RAIVO TIIKMAA

Jätkuva sarrusega betoonkatend

Jätkuva sarrusega betoonkatend (*continuously reinforced concrete pavement*) on kõige kallim katenditüüp, betooniteede Rolls Royce. Betoon on pidev ja pikisuunas sarrustatud. Oma 40aastase eluea jooksul nõuab see väga vähe hooldust. Sel-



Ameerika Ühendriikides on katkiste teeplaatide asendamisel kasutatud eelpingestatud elemente.

- Ei ole praktiline kasutada standardpaneeli, kuna teeremondi korral erinevad vajalikud mõõdud alati nii pikkuses, laiuses kui ka paksuses.
- Ei saa kohapeal vastavalt vajadusele mõõtu lõigata.
- Asendusplaadid peab olemasolevate plaatidega ühendama. Eelpingestatud paneelid pole selleks sobilikud. Paigalvalatud plaadid sobivad parandustöödeks palju paremini.

Kahekihiline betoonkatend

Kahekihilise betoonkatendi (*two layer concrete*) puhul kasutatakse alumise 200 mm betoonikihi tegemiseks madalama kvaliteediga või kulumisaltist killustikku (näiteks lubjakivi), mille peale paigaldatakse 50 mm paksune kiht kvaliteetse kulumiskindla killustikuga segu. Seda meeto-

dit nimetatakse ka märg-märjale tehnoloogiaks.

- Muutub üha populaarsemaks.
- See meetod on ideaalne lahendus alumises kihis madalama kvaliteediga killustiku kasutamiseks.
- Vajab spetsiaalset tehnoloogiat ja paigaldusmasinaid.
- Kasutatakse ainult mehhaniseeritud paigaldusviisi.

Whitetopping ehk valgekate

Termin on kasutusel eelkõige Ameerika Ühendriikides, mis tähendab kas betoon- või asfaltkatte katmist betoonikihiga. Paljud



Elastsusmoodulite võrdlus

Informatsioon, mis illustreerib erinevate teematerjalide "tugevusi":

- Tihendatud killustikalus – 500 MPa
- 2% tsemendiga modifitseeritud killustikalus – 2000 MPa
- 5% tsemendiga stabiliseeritud killustikalus – 5000 MPa
- Tihe asfaltbetoon – keskmine 3500 MPa
- 5 MPa vähese sideainesisaldusega betoon – 10 000 MPa
- 35 MPa betoon – 30 000 MPa

Asfaltbetooni survetugevus (elastsusmoodul) sõltub üsna palju temperatuurist – kõrgetel temperatuuridel muutub see hästi väikeseks, samas betoonkatendi elastsusmoodul temperatuuri muutustest ei sõltu.

Kahekihilise betoonkatendi paigaldamise näiteid:

ÜLAL
Saksa betoon-
teede ehitus,
2016.

VASAKUL
Poola S8 ehi-
tus, 2017.

FOTOD: ARVO TINNI,
ENNO REBANE

USA konsultandid on väitnud, et see pealiskihit võib olla kõigest 50 mm paksune. Nii õhukeste kihide puhul peaks nõutav vuukide samm olema 1 × 1 m. Kihid, mis on 150 mm ja paksemad, on palju praktilisemad. Austraalias oleme seda meetodit kasutanud ainult mõningatel vanadel asfaltteedel. Kommentaarid on olnud positiivsed.

Sõltumata olemasoleva teekatte karedusest, vajab see vahekihina õhukest asfaldikihti, et uue struktuurse betoonikihi paigaldamiseks

ÄRIKINNISVARASSE INVESTIIMINE 2018

22.05.2018

ORIGINAL SOKOS
HOTEL VIRU



09.00 HOMMIKUKOHV JA VÄRSKE ÄRIPÄEV

09.50 Moderaatori avasõnad

10.00 Eesti panga vaade majanduse ja kinnisvarasektori hetkeolukorrale
KASPAR OJA

Eesti Panga ökonomist

10.30 Pankade laenuportfellide struktuurid ja ühisrahastuse reguleerimine

KILVAR KESSLER

Finantsinspektsiooni juhatuse liige

11.00 Investeeringustrateegiad ja instrumendid raha paigutamisel hüpoteegiga tagatud euroopa kinnisvaralaenuadesse, nii jae- kui professionaalsele investorile

MAREK PÄRTEL

Estateguru partner

11.30 Rahavoo kasvatamise võimalused kinnisvarasektoris pankuri pilgu läbi
PETER S. TREIALT

Luminori suurklientide osakonna juht

12.00 LÕUNA

13.00 Kinnisvarainvestori keelel kipitavad küsimused

MARGUS TINNO

Colliers International, MRICS partner

13.30 KOGEMUSLUGU: Ülemiste City arendaja Mainor Ülemiste toob turule üle 10 miljoni väärtuses võlakirju

MARGUS NÕLVAK

Mainor Ülemiste tegevjuht

14.00 KOGEMUSLUGU: Kinnisvarategu 2017. Nõuanded edukalt investeerimisfondilt

TARMO KAROTAM

Baltic Horizon Fund tegevjuht

14.30 KOHVIPAUS

15.00 Erainvestorite edulood ärikinnisvaras Esineja kinnitamisel

15.30 Riigiasutused ei pea enam ainult RKASi kasutama

VERONIKA ILSJAN rahandus-

ministeeriumi riigivara osakonna nõunik

16.00 KONVERENTSI LÕPP

Lisainfo programmi kohta:

programmijuht Lisandra Treimann,
lisandra.treimann@aripaev.ee, tel 5695 6161

299 €

(km-ga 358,80 €)

2 või enama osalejat
ühe registreerimise kohta

219 €/osaleja

(km-ga 262,80 €)

oleks alus ühtlane, tasane ning täpne.

See meetod on loomulikult tunduvalt odavam kui olemasoleva kulunud katendi asendamine.

Ei ole sobilik linnapiirkondades, kus teede kõrgused on omavahel seotud.

Rulltihendatud betoon

Stabiliseeritud pinnasest betoon (või: rulltihendatud betoon/teerulibetoon, *roller compacted concrete*) on üsna vaba termin, kuna sel on kolm kasutusotstarvet. Erinevates olukordades on kasutusel erinev segu ja tootmismetoodika. Teetöödel kasutatakse peamiselt kolmandat varianti.

Kasutatakse:

1. Tammide ja muude vettpeivate rajatiste ehitamisel alternatiivse materjalina savi asemel. See on sügavstabiliseerimine ja näiteks Soomes kasutatakse sideainena lupja.

- Sellel on madal sideainesisaldus, seetõttu ka madal tugevus.
- Tavaliselt <10 MPa.
- Võib kasutada erinevaid täitematerjale ja terastikulist koostist.

2. Kandva katendikihina.

- Kõrge sideainesisaldus ja kõrge survetugevus.
- Tavaliselt >30 MPa.
- Terastikuline koostis on määratud söelkõvera lubatud piiridega.
- Täpne koostise projekteerimine on vajalik.
- Moodustab kandva kihi.

3. Betoonkatendi aluskihina.

- Seda peaks kutsuma "stabiliseerimiseks".
- 5 päeva pärast on tugevus 5 MPa.
- 28 päeva pärast on tugevus mitte rohkem kui 15 MPa.
- See ei ole struktuurne kiht.
- Maksimaalne killustiku suurus on kuni 40 mm.
- 180–200 kg tsementi kuupmeetri kohta.
- Vajalikud piki- ja põikivõrgid.
- Vuukide kauguse väljaarvutamisel tuleb arvestada 0,3 mm prao lausega.



Rulltihendatud betoonist tee ehitus Lätis, 2015.
ALLIKAS: CEMEX KUMAS



Betoonteede hinnad Poolas – asfalttee on kolmandik kallim

Arvestusliku 10 km kiirteelõigu ehituse ja hoolduse hinnad 30 aasta jooksul:

	Betoontee, 30 aastat eksploatatsiooni	Asfalttee, 30 aastat eksploatatsiooni
Ehitushind, miljonites zlottidest	16,562	21,607
Hoolduse hind, miljonites zlottidest	4,229	6,025
Kulud kokku*	20,791	27,632
%	100%	132,9%

* Asfalttee kulud moodustavad 133% sarnase betoontee 30 eluaasta kuludest.

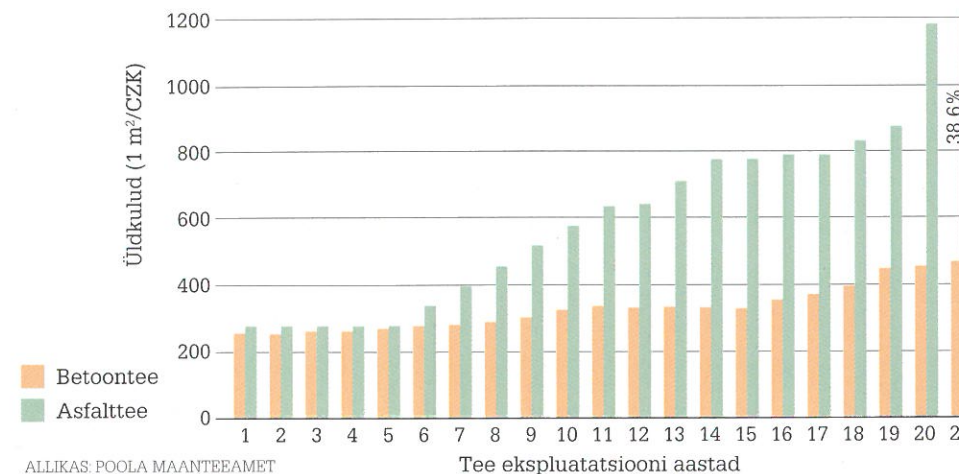
ALLIKAS: VARSSAVI TEEDE JA SILDADE UURIMISINSTITUUT



Rulltihendatud betoonist tee A1 ehitus Poolas, 2017.

FOTO: ENNO REBANE

Betoonteede hinnad – Tšehhi kogemus



ALLIKAS: POOLA MAANTEEAMET

	Betoontee, 1972–2000	Asfalttee, 1976–2000
Ehitushind (1 m ² /CZK)	256,04	277,48
Teehooldus ja remont (1 m ² /CZK)	213,82	939,86
Kokku kulud (1 m²/CZK)	469,86 (38,6%)	1217,34

- Kui ei ole arvestatud servakoormuse varu, tuleb aluskihi paksust suurendada 40–60 mm.
- Vajab nakkevaba kihti, et pind tuleks sile ja täpsete kõrgusmärkidega.
- Segistiga veokid on ebapraktilised, kuna vajavad tühjendamiseks palju aega.
- Ei kasutata sarrust.
- 250 mm paksune kiht on maksimaalne, mille saab piisavalt tihendatuks.
- Kahekihiline süsteem ei ole lubatud.
- Ei saa tasandada ega viimistleda.
- 200 mm rulltihendatud betoon on võrdne 150 mm vähesese sideainesisaldusega betooniga. E

Raudbetoon trepid

VMT BETOON
KAUBABETOON JA ELEMENDID

AS VMT Betoon betoon@vmt.ee
Kaubabetoon: tel 5331 4792
Betoon elemendid: tel 5331 4751

www.vmt.ee