



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**TRAMMITEE PEALISEHITISE KOMPONENTIDE
UURING JA NENDE KASUTATAVUS
ROHERÖÖBASTEEL**

**STUDIES ON TRAM TRACK SUPERSTRUCTURE
COMPONENTS WITH APPLICATIONS TO GREEN TRACK**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Armis Henk

Üliõpilaskood 970440EATI

Juhendaja: Arto Lille

Tallinn 2021

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

..... mai 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Armis Henk, sünd. 14.03.1979

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Trammitee pealisehitise komponentide uuring ja nende kasutatavus roherööbasteel, mille juhendaja on Arto Lille,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Armis Henk, 970440EATI

Õppekava, peeriala: EATI02/09, Teedehitus ja geodeesia

Juhendaja(d): Arto Lille, õppejõud, +372 5154421

Konsultandid:

Lõputöö teema:

„Trammitee pealisehitise komponentide uuring ja nende kasutatavus roherööbasteel“

Studies on tram track superstructure components with applications to green track

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida Eestis kehtivaid trammitee pealisehitist käsitlevaid normdokumente
2. Anda ülevaade trammitee pealisehitise elementidest
2. Uurida roherööbasteega seonduvat

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse otsimine ja läbitöötamine	31.01
2.	Lõputöö sisu kirjutamine ja täiendus	15.04
3.	Lõputöö vormistamine, sisu viimistlemine ja kontroll	09.05

Üliõpilane: ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

SISUKORD

Sisukord	
EESSÕNA.....	7
SISSEJUHATUS	8
1. TRAMMITEEDEST EESTIS	10
2. TRAMMITEE JA MÕISTED.....	12
2.1 Trammiteede projekteerimise normdokumendid	12
2.2 Trammiteevöönd linnaruumis.....	13
2.3 Mõisted aluspind, alusehitus ja pealisehitis	14
3. TRAMMITEE PEALISEHITIS	15
3.1 Rööbastee pealisehitis	15
3.2 Rööbastee pealisehitise ülesanne	15
3.3 Pealisehitise konstruktsiooni elastsus	16
4. TRAMMITEE PEALISEHITISE ELEMENDID	18
4.1 Rööpad.....	18
4.1.1 Rööbaste valmistamise viisid.....	20
4.1.2 Rööbaste valik trammitee konstruktsiooni.....	22
4.1 Rööpa vaheraud.....	23
4.2 Rööbaste kinnitused	24
4.1.3 Rööbaste kinnituste lahendused.....	26
4.2 Trammitee katendid	29
4.3 Elastsed elemendid ja isolatsioonimaterjalid	30
4.3.1 Rööpa uitvoolude isoleerimine	30
4.3.2 Müra ja vibratsiooni teke pealisehitises.....	31
4.3.3 Müra ja vibratsiooni vähendamise meetmed.....	32
4.3.4 Müra ja vibratsiooni vähendamine pealisehitises	33
4.4 Sadeveesüsteemid	35
4.5 Liiprid.....	35
4.6 Kandvad aluskihid	39

4.6.1	Betoonist kandekiht.....	40
4.6.2	Asfaldist kandekiht.....	41
4.6.3	Killustikust ballastikiht.....	42
5.	PEALISEHITISE LAHENDUSTE JAGUNEMINE	44
5.1	Pealisehitiste lahenduste kategooriad	44
5.1.1	Pealisehitise kategooriate kombinatsioonid	44
5.1.2	Plaatrööbasteede klassifitseerimine	45
5.2	Pealisehitise konstruktsiooni tüübid.....	47
6.	ROHERÖÖBASTEE.....	49
6.1	Roherööbasteede ökoloogiline kasu.....	49
6.2	Plaatrööbasteede roherööbasteena.....	50
6.3	Roherööbasteede lahendused	52
6.3.1	Freiburgi roherööbasteede	53
6.3.2	Bremeni roherööbasteede.....	54
6.3.3	Roherööbasteede betoonelementidest.....	55
6.3.4	Rheda City Grün.....	56
6.3.5	Lund roherööbasteede.....	58
6.4	Roherööbasteede pealisehitise valik	58
6.5	Rohetrammiteede alternatiivsed lahendused.....	59
6.6	Roherööbasteede indikatiivsed ehitusmaksumused	64
	KOKKUVÕTE.....	65
	SUMMARY.....	67
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	69
	LISAD.....	75
	Lisa 1. Roherööbasteede indikatiivsed hinnapakumised ettevõttelt Skinest Ehitus AS.....	76

EESSÕNA

Lõputöö teostus juhendaja ja autori koostöö tulemusel. Autoril on pikaaegne kogemus trammiteede ja raudteede ehituse valdkonnas.

Magistritöö teema ajendiks oli hankelepingu „Kopli suunalise trammiliini taristu projekteerimine ja rekonstrueerimine“ täitmisel saadud kogemus. Magistritöö teema vajadus ilmnes trammitee pealisehitise projekteerimise faasis, kus oli soov lahendada muust liiklusest eraldi paikneva trammitee pealisehitis, kogu ristlõikes haljastusega – muruga.

Autori kogemusele tuginedes selgus, et Eesti projekteerijatel ja ka Tallinna Linnatranspordi AS-i trammiteenistusel puudub info uuematest trammitee pealisehitise konstruktsiooni komponentidest ja pealisehitise lahendustest. Samuti puudub erinevate lahenduste analüüs. Täitmaks seda puudujääki trammiteede projekteerimise ja ehitamise valdkonnas, tekkis autoril isiklik huvi teemat lähemalt uurida.

Autor uurib magistritöös trammitee pealisehitise komponente ja roherööbastee pealisehitise lahendusi. Lõpptulemusena võrdleb autor magistritöö käigus leitud infot ja pakub välja oma kontseptsioonid roherööbastee pealisehitisele.

Lisaks juhendajale olid abiks erinevad raudtee materjalide pakkujad ja Tallinna Linnatranspordi AS trammiteenistuse spetsialistid.

Võtmesõnad: trammitee, rööbastee, pealisehitis, roherööbastee, rohetramm, magistritöö

SISSEJUHATUS

Eesti trammiteede võrgustik on väga väike ning ehitustöid teostatakse selles valdkonnas harva. Tellimuste mahu väiksuse ja uute liinide harva rajamise tõttu on kogemus trammiteede pealisehitise projekteerimisel samuti tagasihoidlik. Autori kogemuse kohaselt puudub Eesti projekteerijatel, kui ka Tallinna Linnatranspordi trammiteenistusel info innovaatilistest trammitee pealisehitise konstruktiivsetest lahendustest. Samuti puudub analüüs uute lahenduste kohta. Uute lahenduste puhul on sageli kaks eelarvamust:

- kogemuste puudumise tõttu ei osata tulemuslikkust hinnata;
- uuendused toovad kaasa suuremad kulutused.

Täitmaks eelnimetatud puudujääki trammiteede projekteerimise ja ehitamise valdkonnas, tekkis autoril isiklik huvi uurida trammiteede pealisehitisega seonduvat.

Kergrööbasteede ehitust käsitlevat eestikeelset materjali õnnestus autoril leida väga vähe. Suurem osa infost on kogutud saksa- ja inglisekeelsest rööbasteede erialasest kirjandusest, antud valdkonnaga seotud uuringutest ja materjali tootjate kataloogidest.

Trammiteede ehitamisel Euroopas on valdav suund plaatrööbaste (ingl *Slab Track*, sks *Feste Fahrbahn*) konstruktsioonide kasutus, mida rakendatakse ka Tallinna linnas. Plaatrööbaste puhul on ehitusmaksumus kõrgem, kuid tee hooldekulud on väiksemad. Samas näitavad raudteedel tehtud uuringud, et killustikust ballastalusel rööbaste on teatud tingimuste juures majanduslikkus mõttes väga mõistlik valik.

Magistritöös tutvustatakse erinevaid trammitee pealisehitise elemente ja pealisehitise lahendusi roherööbaste kontekstis, tuues välja nende positiivsed ja negatiivsed aspektid. Roherööbaste väärtus on erinevate uuringute tulemusel aja jooksul kasvanud ja roherööbaste lahendused urbanistlikes tingimustest leiavad oma ökoloogilise väärtuse tõttu aina suuremat kasutust.

Magistritöö sisu koosneb kuuest osast. Töö esimeses osas antakse ülevaade Tallinna trammiteedel tehtust ja edasistest tegevusplaanidest. Teises osas uuritakse, millistest Eesti standarditest ja normdokumentidest saab lähtuda kergrööbasteede projekteerimisel.

Töö kolmas ja neljas osa käsitleb pealisehitise konstruktsiooni põhimõtet ja pealisehitise konstruktsioonelemente, mille eesmärk oli leida alternatiivseid rööpaprofiile ja rööpa kinnitussüsteeme Tallinna trammiteede pealisehitise lahenduste jaoks. Uute trammiliinide projekteerimisel või olemasolevate renoveerimisel on oluline, et taristu

valdaja seaks tingimused lähtuvalt mitmekülgsetest eesmärkidest, mida antud töö samuti käsitleb.

Töö lõpuosas antakse ülevaade pealisehitise konstruktsiooni tüüpidest ja keskendutakse roherööbastee pealisehitise lahendustele ning nende mõju uurimisele urbanistlikes tingimustes. Lõpptulemusena pakub autor välja kolm uut kontseptsiooni roherööbastee pealisehitise lahenduseks.

Kirjutatud magistritöö võiks huvi pakkuda kergrööbastransporti arendavatele ühistranspordi ettevõtetele, rööbasteid projekteerivatele ja ehitavatele ettevõtetele ning laiemas plaanis linna planeerimisega tegelevatele ametitele.

1. TRAMMITEEDEST EESTIS

Trammiteede arendamise kasulikkusest on pikalt räägitud, kuid on puudunud järjepidev poliitiline koostöö nende arendamiseks. Aegade jooksul on tehtud mitmeid kergrööbastranspordi teostatavus- ja tasuvusanalüüse, mis kinnitavad, et trammitee arendamine ja uute liinide avamine on soovitav ja tasuv. [1], [2] Hetkel on Tallinn Eesti ainus linn, kuhu on rajatud kergrööbastranspordi süsteem. Viimasel aastakümnel on Tallinnas suudetud Euroopa Liidu toetusmeetmetega rekonstrueerida enamik Tallinna linna trammitee taristust ning rajada uusi liine.

Säästva transpordi arendamise eesmärgil toetati perioodil 2007–2013 Tallinna trammitaristu arendamist ja uute trammide soetamist, et suurendada välisõhu kaitstust. Trammiliini nr 4 taristu rekonstrueerimiseks ning trammiliinide nr 2 ja 4 projekteerimiseks ja ehituseks lõigul Pae tn – Ülemiste peatus tehti väljamakseid 31,2 miljoni euro ulatuses. Projektide tulemusena rekonstrueeriti 7,677 km trammiteed, sh rajati 0,869 km uut trammiteed, rekonstrueeritud depoteed ja depoo sissesõidu teed 2,934 km, rekonstrueeriti 6 vealajaama, parandati ligipääsu ja ohutust 8 peatuses ning asendati 24 km ulatuses kontaktvõrgu kaablit. Projekti tulemused võimaldasid võtta trammiliinil nr 4 kasutusele uued trammid. Uute trammide kasutuselevõtt 2015. aasta alguses on vähendanud projektaruannete põhjal energiakulu ning CO₂ emissiooni kolm korda, kuid täpseid mõõtmisi ei ole CO₂ emissiooni ega mürataseme kohta tehtud. [3]

2014.-2015. aastal rekonstrueeriti 3. ja 4. trammiliini taristu. Taristu uuendamise eesmärgiks oli viia infrastruktuur seisukorda, mis võimaldab 3. ja 4. trammiliinil kasutusele võtta uued kuni 70 tonnise registrimassiga CAF Urbos tüüpi trammid. [4]

2016.-2017. aastal rajati uus trammiliin, pikkusega 1,4 km Tallinna Lennujaama suunal [5] ja rekonstrueeriti 1. ja 2. trammiliin Kopli suunal. 2017. aasta lõpuks oli trammi rööbasteede ja kontaktvõrgu kogupikkus 42,8 km ning kasutuses 93 pöörangut. [6]

2017. aastaks on kogu Tallinna trammitee rekonstrueeritud betoonalusele. Kiire renoveerimise vajadus tekkis CAF Urbos trammide soetamisega, mille koormust poleks renoveerimata trammitee lõigud vastu võtnud.

Tallinna Linnatranspordi AS trammiteenistusest saadud info kohaselt rekonstrueeriti aastatel 1998-1999 esimene trammitee lõik betoonalusele Pärnu mnt-l lõigus Kaarli pst – Viru Ring, kus pealisehitised on tänaseni töös.

Pealinnal on välja töötamisel eskiislahendused Kadrioru trammiliini pikendamiseks Tallinna haiglani, sealhulgas alternatiivsed eskiislahendused lauluväljaku Mäe värava

lõigule. Lisaks on Tallinnal töös ruumianalüüs Vanasadama trammi pikendamiseks Noblessneri linnakuni piki Kalaranna tänavat. Koostatakse analüüsid trammiliiniide vajaduse hindamiseks: kas, kuhu ja millal oleks uusi trammiliine vaja. Uue trammiliini ehitus Vanasadamasse on planeeritud aastasse 2022. [7]

Arvestades viimase 10 aasta tegevust ja edasisi plaane, siis tundub, et poliitiline koostöö kergrööbastranspordi arendamisel on tugevasti paranenud. Rae vallale on eraldatud toetus trammitee eelprojekti koostamiseks, mis loodetakse valmis saada käesoleva aasta jaanipäevaks, kuid investeringute rahastamine uute trammiliinide rajamiseks sõltub suurel määral siiski riigist.

2. TRAMMITEE JA MÕISTED

2.1 Trammiteede projekteerimise normdokumendid

Trammiteede projekteerimiseks vajalikke juhiseid käsitleb standard EVS 843:2016 Linnatänavad. Standard käsitleb põhjalikult trammitee horisontaalse ja vertikaalse projekteerimisega seotud nõudeid, kuid ei käsitle trammitee pealisehitisega seotud mõisteid ja konstruktsiooni elemente, mida tutvustab peatükk 4. Puuduvad ka viited teistele seotud normidele ja standarditele. Linnatänavate standardis on defineeritud mõisted nagu sõidutee ja sõidurada, kuid puudub definitsioon trammitee kohta. Raudteeseadus defineerib termini raudtee ja Raudtee tehnikasutuseeskiri defineerib termini rööbastee.

Raudtee on maatükiga püsivalt ühendatud funktsionaalselt terviklik rajatis, mille olulised osad on muldkeha ja sellele toetuv tee pealisehitis, mis koosneb rööbastest, pöörmetest, liipritest ja ballastist. [8]

Rööbastee on pealisehitisest, muldkehast koos veeviimaritega ja muudest rajatistest koosnev ehitise, mida mööda liigub raudteeveerem. [9]

Trammitee on avalikult kasutatava maaga (enamasti tänavaruumiga) seotud rööbastee, mida mööda sõidavad trammid (autori definitsioon).

Rööbastee rööpa kinnitustega seonduvat käsitleb standard EVS-EN 13481-1 kuni 7:2012 Raudtee alased rakendused. Rööbastee. Nõuded kinnitussüsteemide töömudustele.

Kergrööbastranspordi pealisehitise elementide ja lahenduste süsteemide kohta standardid praktiliselt puuduvad. Samas valdkond on kiirelt arenev ja vajaks ühtset standardit, millest lähtuda. Saksamaa Transpordiettevõtete Liidul (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen VDV) on mitmeid kergrööbasteedega seotud eeskirju, mille baasil oleks võimalik luua kergrööbastranspordi jaoks vajalik standardite süsteem, kuhu on võimalik integreerida ka raudteede ehitusega seotud standardeid.

CAF Urbos tüüpi trammide tarnega esitati Tallinna Linnatranspordi AS trammiteenistusele CAF poolt koostatud dokument Q.44.93.451 Line defect limitation, milles toodud parameetreid on soovituslik arvestada trammiteede ehitamisel ja renoveerimisel. [10] Antud dokumendis on muuhulgas analüüsitud TLT trammiteenistuse poolt väljastatud trammiteede ehituse norme. Materjalidega põhjalikult tutvudes, selgus et standardis EVS 843:2016, tabelis 6.20 – „Trammiteede rööpmelaiused“ esitatud väärtused ei ole CAF analüüsi kohaselt normaalseks trammi

ekspluatatsiooniks aktsepteeritavad. CAF soovitus on ehitada nii sirgetel kui kõveratel lõikudel rööpmelaius 1067 mm ja ekspluatatsioonis lubatav minimaalne rööpmelaius 1062 mm ja maksimaalne 1070 mm. Ehitamisel ja rekonstrueerimisel on rööpmele soovitatav tolerants 0 ja -2 mm. Samuti pole aktsepteeritav EVS 843:2016 toodud välisrööpakõrgenduse üleminekukalle kurvides [10], mis ei tohi olla üle 0,5% ja erijuhtudel üle 0,7%. [11] CAF-i poolt on soovituslik välisrööpakõrgendus 2,5 mm/m. [10] Miks on dokumentides sellised vastuolud vajab täiendavat uurimist.

2.2 Trammiteevöönd linnaruumis

Trammiteed on seotud tänavaliiklusega. Tänav ja trammitee omavahelises seoses on oluline osa trammi rööbastee konstruktiivsel lahendusel. Rööbastee ehituse konstruktsioon koosneb pealisehitistest ja teda kandvast alusehitusest [12]. Trammi rööbastee võib paikneda [11]:

- tänavasõiduteel;
- sõiduteest eraldatuna omaette trammirajal;
- tänavavälisena iseseisval muldkehal, estakaadil, süvendis või tunnelis;
- jalgtänaval.

Tänavasõiduteel paiknev trammitee on ehitatud tänavakattega ühte tasapinda. Sel juhul on trammiteevöönd vähemalt osaliselt või täielikult ühiskasutuses muu tänavaliiklusega.

Sõiduteest eraldatud trammitee on suuremas osas avalikus tänavaruumis erinevate tehniliste lahendustega (kõrgendatud äärekivi, haljastus, liiprid, ...) muust liiklusest eraldatud, kuid on seotud tänavaliiklusega ülekäikude ja ristmike kaudu. Trammitee on sõiduteest eraldatud ka trammitee pöörangute puhul.

Tänavavälisena iseseisval muldkehal, estakaadil, süvendis või tunnelis paiknev trammitee on muust liiklusest täielikult eraldatud ja võimaldab seetõttu muust liiklusest sõltumatud kasutamist.

Jalgtänaval on trammitee ühiskasutuses kergliiklusega.

EVS 843:2016 Linnatänavad kohaselt tuleks eelistada trammideede kavandamist koos bussidega ühisele ühissõidukirajale (sõiduteel või trammirajal), kuid muust tänavaliiklusest eraldatuna. Trammirada või trammiliiklusega ühissõidukirada võib

paikneda koos ooteplatvormidega ka sõidusuundade vahelisel eraldusribal või ka ebasümmeetriliselt tänava ristlõikes autoliikluse sõiduradadest ühel pool. [11]

2.3 Mõisted aluspind, alusehitus ja pealisehitis

Rööbastee konstruktsioon koosneb aluspinnast, alusehitusest ja pealisehitisest. [13]

Aluspind on rikkumata, looduslik, rajatist kandev pind, mille kandevõimet on geotehniliste meetmetega võimalik parendada. [13]

Alusehitus (sks *das Unterbau*) koosneb mullatöödest, kindlustöödest (näiteks kaeviku kindlustus), insener-tehnilistest töödest. [14] Eesti keeles oleks sobiv termin muldkeha. Muldkeha on pinnasest rajatis, millele toetub tee pealisehitis [9]. Muldkeha moodustavad täidendid, süvendid, veeviimarid jm [12].

Pealisehitis - tee või raja ülemine, perioodiliselt uuendatav osa, mis koosneb rööbastest ja pöörmetest koos sideosadega, liipritest (prussidest) ja ballastist ning mis annab veeremi rataste koormuse edasi muldkehale või rajatisele. [9]

Rööbastee üldist ülesehitust kirjeldab tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rööbastee konstruktsiooni kihtide järjestus [14]

Mõiste		Kõrgused	Kihid/elementid
Pealisehitis	Rööbastee	△ Rööpapea veerepind	Rööpad, pöörmed, risted, kinnistuselementid, liiprid, pöörmeprussid
	Kandekihtid	△ Rööbast kandev kiht	Ülemine kandekiht sõltuvalt konstruktsioonist: killustikust ballastikiht liipri all või betoonist kandekiht või asfaldist kandekiht
Alusehitus		△ Alusehituse pealmine kandekiht	Dreenikiht ja muldkeha
Aluspind		△ Kaeviku põhi	Tihendatud ja tasandatud kaeviku põhi

3. TRAMMITEE PEALISEHITIS

3.1 Rööbastee pealisehitis

Rööbastee pealisehitise moodustavad rööpad, rööpa kinnitused, liiprid, ballastikiht või betoonist aluskiht või asfaldist aluskiht. Põhimõtteliselt eristatakse elastset, killustikust ballastalusega pealisehitist ehk ballastiga rööbastee ja plaatrööbasteed (sks *Feste Fahrbahn*; ingl *slab track*). Ballastiga pealisehitise puhul paigaldatakse tee sõrestik killustikust aluskihile. Plaatrööbastee puhul asendatakse killustikust ballastikiht vähesema hooldusvajadusega ja deformatsioonikindlama betoonist kandekihi või asfaldist kandekihi vastu. Plaatrööbasteed nimetatakse ka ballastivabaks pealisehitiseks. [14]

Rööbastee pealisehitist on võimalik rajada avatuna (sks *offen*), kinnisena (sks *geschlossen*) või ka nn roherööbasteenä. Lahtise pealisehitise konstruktsioone iseloomustab katmata teesõrestik, kus rööbastee võõndis ei saa osaleda rööbastranspordi välised osapooled (nt jalakäijad, jalgratturid, bussid, autod). Kinnistes ehk kaetud pealisehitistes on katvaks kihiks asfalt, betoon, tänavakivid või muud eelvalmistatud tooted (nt kummist või betoonist ülekäigu elemendid). Kaetud pealisehitis on vajalik eelkõige linnaruumi kitsastes tingimustes ja piirkondades, kus liiklejatele on vaja tagada ühine, ohutu liiklusruum. [13]

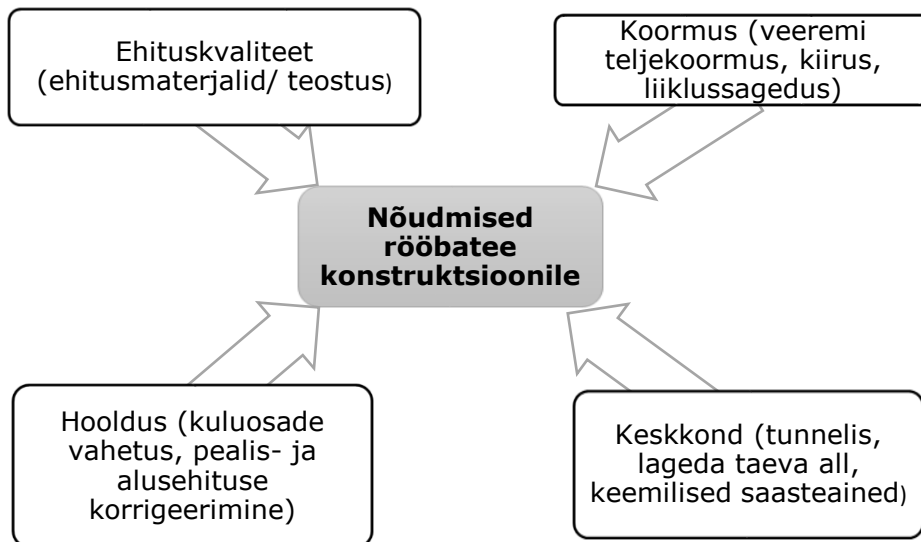
Roherööbastee pealisehitise all mõistetakse konstruktsiooni, kus konstruktsiooni ülemises kihis kasutatakse taimkatet või taimkatete süsteemi ja seetõttu pole antud konstruktsioon ei lahtine ega ka kinnine konstruktsioon. [15]

3.2 Rööbastee pealisehitise ülesanne

Rööbastee pealisehitist mõjuvad veeremi raskusjõud, veeremi kõikumisest põhjustatud vertikaal- ja horisontaalsuunalised jõud, pidurdamisel ja kiirendamisel tekkivad pikisuunalised jõud, kõverikes veeremi pöördumisest põhjustatud jõud ja temperatuuri kõikumisest tulenevad rööpa sisepinged. [12] Rööbastee PE ülesanne on juhtida üksikute konstruktsioonelementide kaudu veeremi alusvankri ratastelt rööbastele ülekantavad staatilised ja dünaamilised jõud konstruktsiooni aluspinda seejuures konstruktsiooni kahjustamata. Rööbastee pealisehitise valikul saab lähtuda järgmistest tingimustest [14]:

- PE majanduslikult kasulik eluiga;
- kulutused hooldusele;
- konstruktsiooni kvaliteedi püsivus;
- keskkonnaga seotud aspektid.

Pealisehitise ehituskvaliteedi, koormuse, keskkonna ja hooldustööde vahelisi seoseid on kujutatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1 Nõuded rööbatee konstruktsioonile [14]

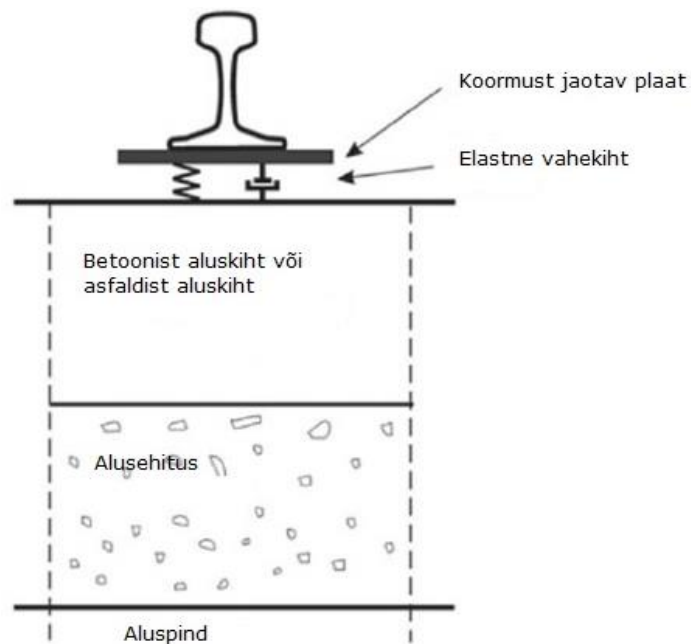
Lisaks joonisel 3.1 välja toodud nõuetele kehtivad muu liiklusega koormatud rööbasteede konstruktsioonidele veel järgmised täiendavad kriteeriumid [14]:

- keemiline koormus (happed, kloriidid, õlid, bensiin);
- koormus tänavaliiklusest;
- Veevarustuse ja jäätmekäitluse tagamine;
- energiavarustus ja drenaaž;
- müra ja vibratsiooni vähendamine.

3.3 Pealisehitise konstruktsiooni elastsus

Nagu alapeatükis 3.1 mainitud on ballastiga rööbatee pealisehitis elastne konstruktsioon. Hooldamata ballastiga rööbasteel muutuvad eksploatatsiooni käigus

elastsed deformatsiooni plastseteks deformatsioonideks. Rööbastee esialgse teegeomeetria taastamiseks teostatakse tee toppimis- ja rihtimistöid. Plaatrööbastee säilitab oma horisontaalsed ja vertikaalsed parameetrid muutumatuna erinevate uuringute järgi 40-50 aastat. [17] Plaatrööbastee konstruktsiooni korral saavutatakse konstruktsiooni nõutud elastsus kindlaks määratud elastsusega materjali kasutamisel rööpa talle all või liiprite all (joonis 3.2). Plaatrööbasteel on võimalik määrata konstruktsiooni kihtide elastsuse matemaatilised väärtused, mis pikaajase dünaamilise koormuse korral suhteliselt muutumatuks jäävad. [14]



Joonis 3.2 Plaatrööbastee konstruktsiooni elastsus rööpa all [13]

Plaatrööbastee konstruktsiooni printsiip seisneb üksikutes aluskihtides, mille jäikus kahaneb suunaga ülevalt alla järgmise valemi alusel:

$$E_1 > E_2 > E_3 > E_4 \quad [13]$$

Selle nõude kohaselt on aluspinnal asuva rööbastee konstruktsiooni kihtide järjestus suunaga ülevalt alla järgmine [13]:

- rööbas,
- rööpakinnitus,
- liiper,
- betoonist kandekiht või asfaldist kandekiht või killustikust aluskiht,
- drenikiht,
- aluspind.

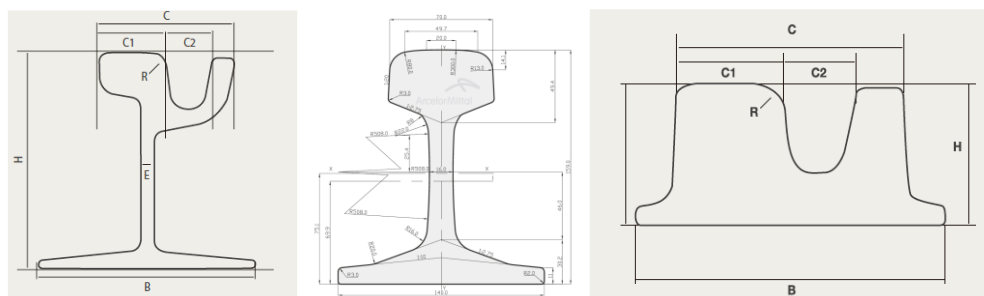
4. TRAMMITEE PEALISEHITISE ELEMENTID

Trammitee pealisehituse elementideks on rööpad, rööpa vaheraud, rööpakinnitused, müra ja vibratsiooni vähendavad materjalid, liiprid (ka pöörme- ja sillaprussid), pöörmeh, ristmed, killustikust ballastikiht või betoonist kandekiht või asfaldist kandekiht, veeviimarid, signaalsüsteemid ja trammitee katend. Rööbaste, rööpakinnituste ja ka liiprite valik on Euroopa turul üsna suur. Antud peatüki raames uuritakse erinevaid pealisehitise elemente ja nende kasutatavust Tallinna trammiteedel. Pealisehitise konstruktsiooni elementide valik määrab ka konstruktsiooni tüübi. Konstruktsiooni tüüpe on käsitletud alapeatükis 5.2. Konstruktsiooni tüübi valik sõltub taristu valdaja tehnilistest tingimustest ja püstitatud eesmärkidest. Eesmärkideks võivad olla näiteks rööbaste hoolduskulude vähendamine, kiiret rööbaste vahetamist võimaldavad lahendused, veeremi põhjustatud müra ja vibratsiooni levimise vähendamine väliskeskkonda, rööpa geomeetria parendamise või rööpme reguleerimise võimalus ning konstruktsiooni sobivus keskkonda.

4.1 Rööpad

Rööpad annavad veeremi koormuse edasi liipritele või tugipunktidele või betoonist alusplaadile, sõltuvalt pealisehitise konstruktsiooni lahendusest (vt alapeatükk 5.1.2). Rööpad suunavad veeremi rataste liikumist ja neis liigub ka veovool. [13]

Koplisuunalise trammitee rekonstrueerimisel selgus, et Tallinna Linnatranspordi AS trammiteenistus tunnistab trammirööbastena vaid rennrööpaid (joonis 4.1). Mujal maailmas kasutatakse kergrööbaste valdkonnas rennrööpaid koos vignole (loe: vinjool) rööbastega.



Joonis 4.1 Rennrööpa profiil, vignole rööpaprofiil (keskel) ja plokkrööbas (paremal).

Kasutatav rööpaprofiil määratakse kindlaks veeremi teljekoormuse kaudu, sõltuvalt rööbastee pinnakattest ja ka asjaolust, kas trammitee rajatakse muu liiklusega koormatud alale. Mõju võib avaldada ka rööpmelaius - standardne, lai või kitsas rööpmevahe. [13] Standardrööpmelise (normaalrööpmelise) raudtee rööbaste vahekaugus on 1435 mm. Alla 1435 mm rööpmelaiusega raudteed nimetatakse kitsarööpmeliseks, sellest laiemat aga laiarööpmeliseks. [12] Tallinna trammitee on kitsarööpmeline, mille rööpmelaius on 1067 mm.

Rööpad on tee pealisehitise vastutusrikas element, mille kvaliteedist, massist ja seisukorrast olenevad suurel määral rongiliikluse ohutus, veeremi liikumise sujuvus (sõidumugavus) kui ka lubatavad telje koormused ja sõidukiirused. [13]

Kasutuses olevat rööbast mõjutavad järgmised koormused [13]:

- Rattakoormus;
- veeremis suunamisega seotud koormus;
- veeremi ratta mitteümarusest ja tee geomeetria vigadest tulenevad koormused;
- keskkonnast tulenev koormus (rooste);
- pikisuunalised jõud temperatuuri kõikumistest;
- pikisuunalised jõud kiirendamisest ja pidurdamisest;
- rööpa tootmisel valtsimise ja rihtimisega seotud sisepinged.

Rekonstrueeritud Tallinna trammiteedel on kasutatud rööpaid 60R1 ja 62R2. Konsulterides raudtee projekteerijaga, kes koostas põhiprojekti Türi - Viljandi raudteelõigu rekonstrueerimiseks, selgus, et antud lõigul kasutati rööbast 49E1. Reisirongi teljekoormuseks arvestati 22,5t ja maksimaalseks kiiruseks arvestati 120 km/h. CAF Urbos trammide teljekoormus on 10,7t. [17]

Alternatiivselt on võimalik kasutada rööpaprofiile, mille rööpapea geomeetria ühtib eelnevalt kasutatud rööbastega. Nii on tagatud veeremi ratta profiili sobivus rööpapea profiiliga. Suurem rööpa ja veeremi ratta kontaktpind vähendab eksploatatsioonil tekkivaid rööpapea defekte ja rööpapea kulumist. [18]

Tulenevalt saadud infost koostas autor võrdlustabeli (tabel 4.1) alternatiivsetest rööpa profiilidest, mis on kasutatavad Tallinna trammiteede ehitusprojektides. Sellisteks rööbasteks on Arcelor Mittal kataloogist näiteks rennrööpad 55R1, 59R1 või vignole rööpad 49E1 ja 54E1. Number rööpa tähises näitab rööpa kaalu ühe jooksva meetri kohta.

Tabel 4.1 Trammitee rööbaste profiilid [19]

Rööpa profiil	Kaal (kg/m)	rööpapea raadius, R (mm)	Rööpapea laius, C1 (mm)	Renni laius, C2 (mm)	Kõrgus, H (mm)	Talla laius, B (mm)	Kaela paksus, E (mm)
Tallinna Trammiteedel kasutuses olevad rööpad							
60R1	60,59	10/225	55	36	180	180	12
62R1	61,91	10/225	56,86	36,98	180	180	12
Alternatiivselt kasutatavad rööpad							
55R1	55,45	13/80/300	56	36	150	150	12
59R1	58,97	10/225	56	42	180	180	12
49E1	49,39	13/80/300	67		140	125	14
54E1	54,77	13/80/300	70		159	140	16

Autori hinnangul tuleks ka Tallinna trammiteedel vignole rööpaid kasutada muu liiklusega koormamata aladel. Üleminek ühelt rööpaprofiililt teisele teostatakse üleminekurööpaga. Vignole rööpa kasutamisel on täiendav eelis rööpa väliskülje kasutus kui rööpa siseserv on eksploatatsiooni käigus lubatud määral kulunud. Rennrööbaste korral on vajalik puhastada rööparenne ja rennidest vee ärajuhtimiseks tuleb ehitada veeärastussüsteemid. Vignole rööbastega trammiteedel jäävad need kulutused tegemata. Kokkuvõtvalt vähenevad kulud teehooldele ja ehitusmaksumusele.

4.1.1 Rööbaste valmistamise viisid

Eelnevas alapeatükis on ära nimetatud trammiteede ehituses levinumad rööpaprofiilid. Rööpad jagunevad tüüpideks ka valmistamise viisi järgi. Valmistamise viisist sõltub rööpa kõvadus. Sõltuvalt tootmise tehnoloogiast eristatakse rööpaid kõvaduse järgi järgmiselt [13]:

- loomuliku kõvadusega rööpad;
- karastatud rööpad;
- kõrgleegeritud rööpad;
- bainiitsed rööpad (sks *bainitische Schienen*).

Loomuliku kõvadusega rööbaste puhul on teraseklass R260. [13]

Rööpatehastes kasutatakse kolme liiki karastust [12]:

- kogu rööpa pealispinna kuumkarastus õlis;

- rööpapea pinnakarastus suruõhu ja vee seguga pärast rööpapea kuumutamist kõrgsagedusvooluga;
- rööpapea pinnakarastus veega pärast kuumutamist ahjus.

Konsulterides rööbaste keevitamisele spetsialiseerunud ettevõttega selgus, et karastatud rööpapeaga rööbastel on rööpadefektide parandamine keevitamisega komplitseeritum kui loomuliku pinnakõvadusega teraste puhul.

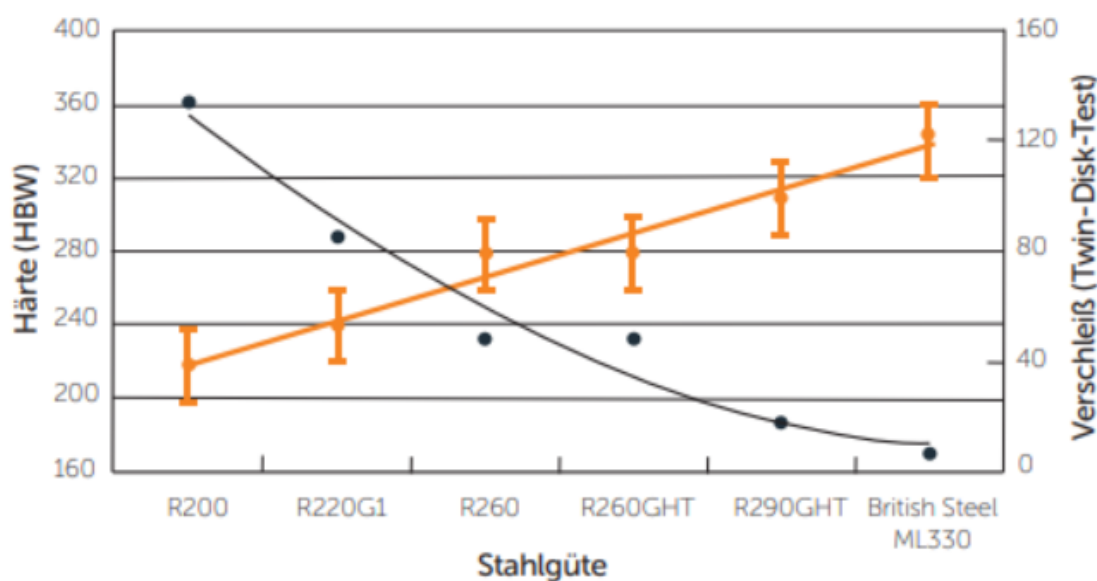
Kõrgleegeritud rööbaste puuduseks on nende tundlikkus keevitamise suhtes, kuna keevitamisel väheneb rööpa purunemiskindlus. Et rööpa keevitamisel ei tekiks metalli struktuuris soovimatuid muutusi, tuleb keevise jahtumise kiirust kontrollida. Kroom-Mangaan teraste puhul peab keevituse jahtumiskiirus jääma 220-200 sekundi vahele, arvestades rööpa temperatuuri langusvahemikuks 800-500 °C vahetult peale keevitamist. [13]

Bainiitsete rööbaste tootmine on kulukam [13], kuid rööbaste kulumiskindlus on terase klass ML330 puhul ca 8 korda suurem võrreldes standard teraseklassiga R260 (vt joonis 4.2).

Erinevate linna ühistranspordi rööbasteede valdajate kogemused näitavad, et linna ühistranspordi rööbasteedel on ennast kõige paremini õigustanud madala süsiniku ja vanaadiumiga rööpad, mille pinnakõvadus on 260 HBW (hardness Brinell). 260 HBW rööbaste puhul on võimalik rööpapea lokaalsete kulumiste puhul taastada rööpapea pealekeevitamise teel, mis annab rööpale pikema kasutusaja ja puudub vajadus kulukaks rööpavahetuseks. [14]

Autori hinnangul võiks TLT trammiteenistus bainiitsete rööbaste kasutamist katsetada trammitee väikese raadiusega kõverates, kus rööbaste kulumine on märgatavalt intensiivsem võrreldes suurema plaaniraadiusega kõveratel.

Joonisel 4.2 on esitatud rööpa kulumiskindluse sõltuvus rööpa tugevusest.



Joonis 4.2 Seos rööpa tugevuse ja rööpa kulumiskindluse vahel [20]

● rööpa tugevus; ● rööpa kulum

4.1.2 Rööbaste valik trammitee konstruktsiooni

Rööbaste valikul pealisehitise konstruktsiooni saab lisaks teljekoormusele ja rööpale mõjuvatele pingetele lähtuda veel järgnevast:

Keskkond - muu liiklusega koormatud ala või eraldi trammirajal või muldel. On valiku võimalus, kas kasutada rennrööbast või vignole rööbast. Roherööbaste puhul on kindlasti otstarbekam kasutada vignole rööpaid. Konsulteerides TLT trammiteenistuse hooldusmeistriga, selgus, et trammidel on trammi ratta ja rööpa veerepinna kontakti hõõrdeteguri suurendamiseks automaatne liiva etteande süsteem, mis pritsib kuiva liiva veerepinnale ja suurendab rööpa veerepinnal hõõrdetegurit. Rennrööbaste puhul koguneb liiv rööparenni, mida trammitee hooldemeeskond peab haljastusega kaetud alal 2 korda nädalas käsitsi puhastama. Vignole rööpa puhul poleks see vajalik, kuna rööpal puudub renn. Samuti on vajalik rennide puhastamine puulehtedest ja -okstest, mis takistavad vihmavee äravoolu rööparennist. Puhastamata rööparennid võivad põhjustada trammi mahasõitu rööbastelt nagu juhtus aastal 2015 Viru ringil [21].

Rööpa materjali tugevusest - väikse raadiusega kõverates on kulumiskindlamad suurema tugevusega rööpad ja seega kestavad raskemates tingimustes kauem kui

tavatugevusega rööpad.

Rööpa kaal – kus, arvutuslikult on mõistlik kasutada kergemaid rööpaid tuleks seda rakenda.

Rööpa kõrgus – madalam rööpakõrgus võimaldab õhemat pealisehitise lahendust.

Veeremi ratta profiili sobivus rööpapea profiiliga on samuti oluline. Suurem rööpa ja veeremi ratta kontaktpind vähendab eksploatatsioonis tekkivaid rööpapea defekte ja rööpapea kulumist. [18]

Rööbaste pikkus – trammitee rööpa pikkusi toodetakse vastavalt Tellija soovile. Üldjuhul on pikkusteks 12 m, 15 m ja 18 m. Soovi korral saab ka 25 m rööpaid. Rööpa pikkus sõltub transpordi viisist. Linnatänavate puhul on kitsaid tingimusi arvestades 18 m pikkune rööbas optimaalne. Pikemaid rööpaid on võimalik transportida mööda raudteed või laevaga. Pikem rööbas vähendab keevituste arvu tee ehitamisel.

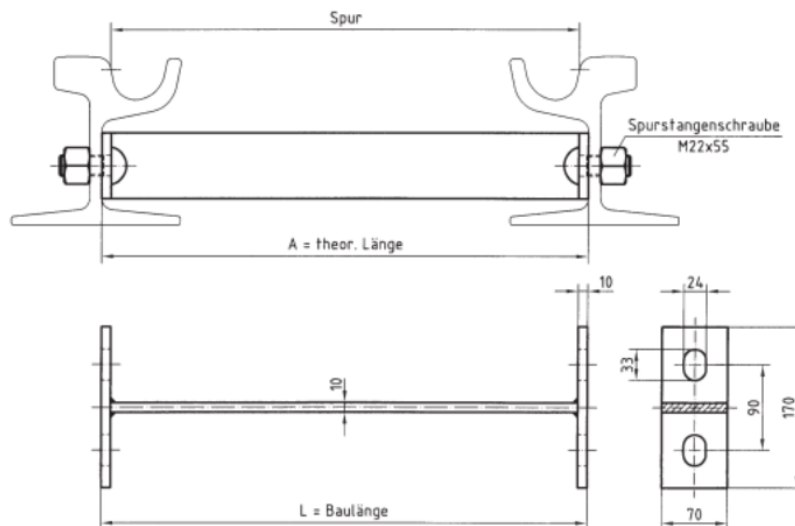
Voestalpine Railway Systems GmbH tehas Austrias on võimeline tootma kuni 120 m pikkuseid valtsitud rööpaid. [22]

4.1 Rööpa vaheraud

Rööpa vaheraud (joonis 4.3) tagavad püsiva rööpmevahe ja neid kasutatakse sõltuvalt pealisehitise konstruktsiooni tüübist koos rennrööbastega. Kui rööpad on paigaldatud spetsiaalsete kinnitussüsteemidega, mis tagavad püsiva rööpmevahe, ei pea vaheraudasid kasutama. [14] Autori hinnangul tuleks selliste rööpakinnituste puhul väikese raadiusega kõverates tee stabiilsust arvutuslikult kontrollida.

Elektrijamiga pöörmetel tuleb pöörmete automaatika projektis kindlaks määratud asukohtades rööpa vaheraud isoleerida, et pöörme rööpad üksteisest elektriliselt isoleerida. See on vajalik pöörmete automaatika toimimiseks.

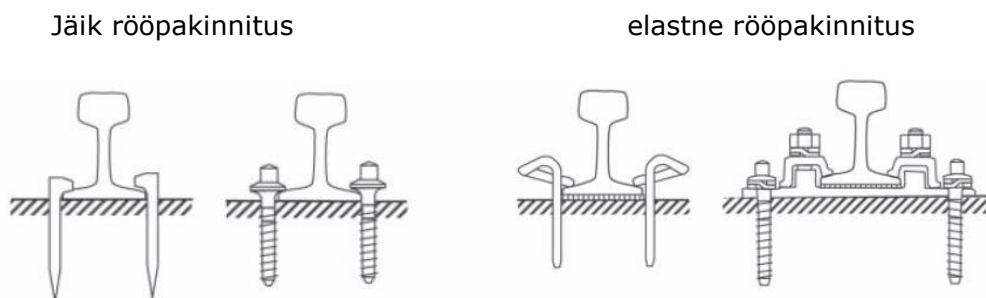
Lähtuvalt TLT trammiteenistuse nõuetest paigaldatakse Tallinna trammiteedel vaheraud sirgetel lõikudel 3 m sammuga ja kõveratel 1,5 m sammuga. [17]



Joonis 4.3 Rööpa vaheraud [23]

4.2 Rööbaste kinnitused

Rööbaste kinnitamiseks aluse (liiprid, prussid, plaadid) külge kasutatakse rööpakinnitusi. [12] Rööpakinnituse ülesandeks on rööpmevahe hoidmine, rööpale mõjuvate välisjõudude ja rööpa sisepingete kandmine aluskonstruktsiooni. [17] Rööpkinnitused jagunevad jäikadeks kinnitusteks ja elastseteks kinnitusteks (joonis 4.4). Elektrifitseeritud rööbaste puhul peab kinnitussüsteemil olema ka hea elektriisolatsioon, et tagada uitvoolude isoleerimine. [13]



Joonis 4.4 Jäik rööpakinnitus ja elastne rööpakinnitus [13]

Elastse rööpakinnituse puhul töötab kinnitusklamber või -vedru rööpa vertikaalse elastse deformatsiooni puhul rööpa deformatsiooniga kaasa ja tema kinnitusjõud ei

vähene. Jäiga rööpa kinnituse korral kisuivad rööpa elastsed deformatsioonid pikema ajajooksul kinnituse liipri küljest lahti ja jooksvalt hooldust tegemata kaotab rööbas stabiilsuse ning tekib tõsine oht veeremi mahajooksuks rööbastelt. [13]

Kaasaegsete kinnitussüsteemide kasutamisega pole vaja kasutada rööpa vaheraudasid. Kinnitussüsteemide paigaldamise sammul lähtutakse liipripüürist (liiprite arv 1 km kohta) kinnistel lõikudel 1680 tk/km ja lahtistel lõikudel 1520 tk/km. [24]

Rööpad on võimalik kinnitada otse liipritele või asfaldist/betoonist kandekihile ja teise võimalusena saab rööpad kinnitada rööpa aluslappide abil. Üldjuhul kuulub rööpa kinnituskomplekti vedruklemmid, seibid, kruvid (tüüblitega). [25]

Plaatrööbastee ehitamisele esitatavad nõuded eeldavad väga täpset ja hoolsat ehitamist, millega kaasnevad suhteliselt suuremahulised ja kulukad mõõdistus- ja rihtimistööd. Autori ehituskogemusele tuginedes on TLT trammiteenistuse väljastatud rööbastee vertikaalsete ja horisontaalsete ehitustolerantside saavutamine hilisema teegeomeetria reguleerimisvõimaluseta väga ajamahukas ja nõutud täpsus jääb siiski kuni 5 mm piiresse. Puitkiilude või rihtimispoltide abil projektsetele parameetritele rihtitud teesõrestik nihkub rööpa temperatuuri kõikumiste tõttu. Tabelis 4.2 on esitatud TLT AS trammiteenistuse nõuded rööpmelaiusele trammiteede ehitamisel. Esitatud nõuded ei ole kooskõlas CAF Urbos trammide nõuetega (vt alapeatükk 2.1).

Tabel 4.2 Trammitee rööpmelaiused ja lubatud hälbed [17]

Rööpmelaiuse koht	Rööpmelaius	Hälbed, mm
Sirgel	1067 mm	+1; -2
Kõverikul $R < 20\text{m}$	1067 - 1069mm	+1; -2
Kõverikul $20 \leq R \leq 25$	1071 mm	+1; -2
Kõverikul $26 \leq R \leq 75$	1072 mm	+1; -2
Kõverikul $76 \leq R \leq 200$	1070 mm	+1; -2
Kõverikul $R > 200\text{m}$	1067 mm	+1; -2
Pöörangutel ja ristkohtades	1067 mm	+1; -2

4.1.3 Rööbaste kinnituste lahendused

Olenevalt seatud eesmärkidest saab kasutada erinevaid rööpakinnitussüsteeme. Turul pakutakse reguleeritava kõrguse ja laiusega rööpakinnitussüsteeme. Nende kasutamine võiks olla eelistatud konstruktsioonis, kus hilisem reguleerimine on vajalik. Näiteks ballastiga teelõikudel, kus tuleb arvestada võimalike vajumistega või ballaströöbastee ja plaatrööbastee üleminekukohtadega lõikudel, samuti ülesõidukohtadel ja väikese raadiusega kõveratel, kus rööpa kulumine on intensiivsem. Reguleeritavad kinnitussüsteemid on hinnalt küll kallimad, kuid võimaldavad teha rööpavahetust aluskonstruktsiooni kahjustamata ja vähendavad oluliselt rööpavahetusele kuluvat aega. Horisontaalset ja vertikaalset reguleerimist võimaldavate kinnitussüsteemidega on võimalik tagada ehitusjärgne peenreguleerimine ning seeläbi ka kõrgema ehituskvaliteedi tagamine.

Mõned alljärgnevalt nimetatud rööpa kinnitussüsteemid, mille kohta autoril õnnestus rohkem infot leida, võimaldavad ehitusjärgset vertikaalset ja horisontaalset reguleerimist. Ehitusjärgne horisontaalne reguleerimine on võimalik vaid rööpa punkttoestuse korral. Rööpa punkttoestus koosneb rööpa aluslapist ja rööpa kinnitusest. [14]

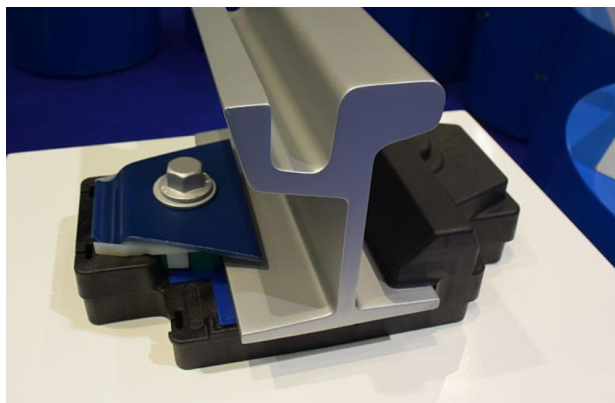
W-Tram (joonis 4.5) rööpa kinnitussüsteem võimaldab eksploatatsioonis rööpaaluste vahelappide kasutamise, rööpa kõrguse reguleerimist kuni + 20 mm ja horisontaalset reguleerimist kuni +/- 10 mm. Kinnitussüsteemi lahendus tagab rööpas oleva uitvoolu isoleerimise aluskonstruktsioonist. Kinnitus on kasutatav nii ülevalt-alla (ingl *top-down*) kui alt-üles (ingl *bottom-up*) ehitustehnoloogia puhul. [26]

Teostatud uuringus selgus, et kui kinnituskruvid pole korrektselt kinnitatud või kinnitamisel on kasutatud lubatust suuremat kinnitusemomenti või rööpaalune elastne vahekiht on eksploatatsiooni käigus väsimuspurunenud, siis nõrgimaks kohaks on HDPE tüübel. Polüamiidist tüüblid on vastupidavamad. [27]



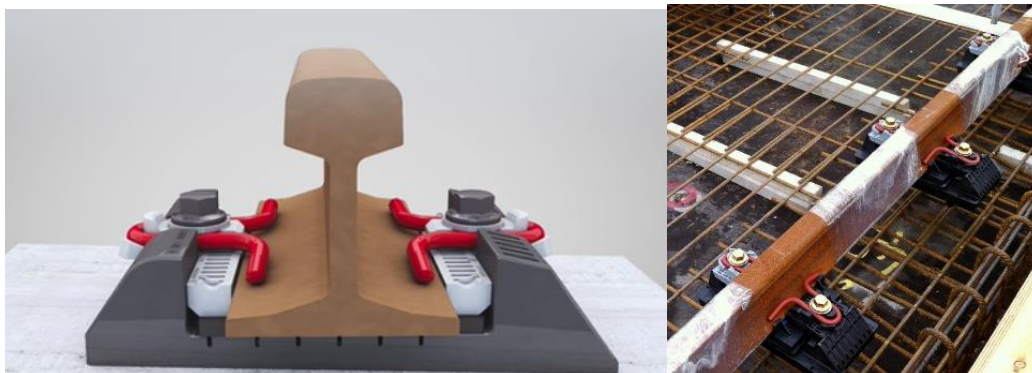
Joonis 4.5 rööpa kinnitussüsteem W-Tram [26]

NABLA kinnitussüsteem (vt joonis 4.6) võimaldab rööpa kõrguse reguleerimist kuni +/- 4 mm ja horisontaalset reguleerimist kuni +/- 7,5 mm . Väga hea elektriisolatsioon. Kinnitus on plastikkattega kaetav kaetud PE konstruktsiooni jaoks. Kinnitus on kasutatav nii top-down kui ka bottom-up ehitustehnoloogia puhul. [27]



Joonis 4.6 Rööpa kinnitussüsteem NABLA [27]

SEE-SD kinnitussüsteem (vt joonis 4.7) võimaldab rööpa kõrguse reguleerimist kuni +20 mm ja horisontaalset reguleerimist +/- 5 mm. Vähendab müra ja vibratsiooni levikut keskkonda. Tarnitakse komplekteerituna. Kinnitus on kasutatav nii top-down kui alt-üles ehitustehnoloogia puhul. [28]



Joonis 4.7 Rööpa kinnitussüsteem SEE-SD [28]

Tabel 4.3 Ehitusjärgset reguleerimist võimaldavate kinnitussüsteemide erinevused

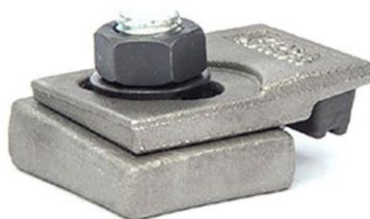
Kinnitusüsteem	Veeremitelje koormus, kN	Reguleerimine vertikaalsuunas, mm	Reguleerimine horisontaalsuunas, mm	Sobivus rööpatüübiga	Elektriisoleerivus, kΩ
W-Tram	130	+ 20	+/- 10	Kasutatav erinevate rööpatalla laiustega	≥10
NABLA	130	+/- 4	+/- 7	50E6, 54E1, 41GP13, 41GPU, 54G2	≥22
SEE-SD	130	+ 20	+/- 5	Kasutatav erinevate rööpatalla laiustega	≥10

Olenevalt pealisehitise konstruktsiooni lahendusest kasutatakse rööpa kinnitamiseks ka erinevaid kinnitusklambreid. Top-down tehnoloogia puhul on kinnitusklambri fikseerimiseks vajalik ka täiendav alusplaat (joonis 4.8).



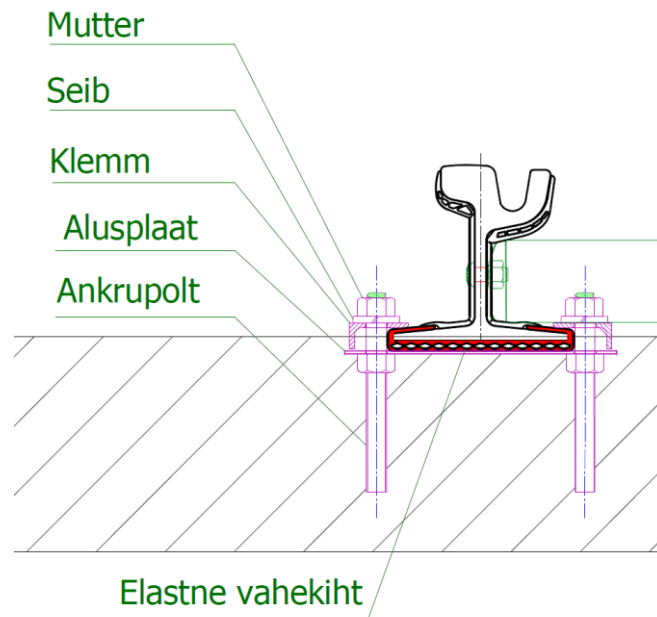
Joonis 4.8 Strailastic rööpa kinnituskomplekt [29]

AGICO spetsiaalne rööpakinnitusklamber (vt joonis 4.9) võimaldab vertikaalset horisontaalset reguleerimist kuni 15 mm. Vertikaalsuunaliseks reguleerimiseks kasutatakse samuti rööpaalust vahelappi. Klambrit saab kasutada eelnevalt valatud betoonplaadi puhul liim- või kiilankruga või top-down meetodi puhul eelpaigaldatud poldiga. [30]



Joonis 4.9 AGICO rööpakinnitusklamber [30]

TLT trammiteenistusest saadud info kohaselt oli aastatel 2001-2013 trammiteede rekonstrueerimisel kasutusel nurkrauast toodetud klamber 25x60x5 ja kinnitusankruks kiilankur M16x160. Nurkrauast klambrid toodeti kohalikus metallitöötlus ettevõttes. Sellise kinnituse puhul oli rööpmevahe täidetud betooniga, mis tagas rööpale vajaliku vertikaalse ja horisontaalse stabiilsuse.



Joonis 4.10 Tallinna trammitee kinnituse lahendus (autori taasesitus) [31]

4.2 Trammitee katendid

Trammiteed, mis jagavad liiklusruumi ka teiste liiklejatega, on kaetud kuni rööpapeani katendiga, mis tagab rööpapea kõrguses tasase pinna ja võimaldab trammitee ala kasutada ka muuks liikluseks. Katendiga trammitee puhul on tegemist kaetud (suletud) rööbasteega. Urbanistlikest tingimustest lähtuvalt moodustab kaetud trammitee olulise osa kogu trammiteede võrgust. Trammitee katendi eesmärk on võimaldada mugavat ja ohutut liiklemist kõikidel liikluses osalejatel, juhtida sadevesi eemale trammiteest ja pakkuda linnaruumi esteetilist väärtust.

Trammitee katendiks kasutatakse asfaltkatet, betoonkatet, killustikkatet või tänavakivi. Asfaltkatte, betoonkatte ja tänavakivi katte jaoks on vajalik vastupidavat ja tugevat aluskihti, mida võimaldab plaatrööbaste konstruktsioon betoonist kandekihiga või

asfaldist kandekihiga. Plaatrööbaste pealisehitise kandvaid kihte käsitleb alapeatükk 4.8.

Trammitee katendi erilahenduseks on haljastus. [15]

4.3 Elastsed elemendid ja isolatsioonimaterjalid

Pealisehitise elastsete elementide rakendamise eesmärk on müraemissioonide vähendamine, läbi pealisehitise maapinda leviva vibratsiooni vähendamine ja ka teesõrestiku isoleerimine uitvoolude vähendamiseks. Isoleerimata teesõrestiku puhul põhjustavad uitvoolud rööpast allapoole jäävates konstruktsioonides korrodeerumist

Elastsed elemendid võivad olla paigaldatud rööpa talle alla, rööpa kinnitussüsteemi alla, liipri alla või pealisehitise alla alusehituse peale. Elastsete materjalidena kasutatakse ülekaalukalt elastseid plastmaterjale, kummimaterjale või kummibituumenist valumasse.

Plaatrööbastee puhul paigaldatakse rööpad kandvale kihile (betoonist või asfaldist) elastse punkttoestusega või pideva elastse toestusega. Rööpa punkttoetus on võimalik aluslapi ja rööpakinnituse kasutamisel. Pideva elastse toestuse korral on rööbas kuni rööpapeani paigaldatud elastsesse materjali. [14]

Trammitee rööpast peegelduva veeremüra vähendamiseks ja rööpa uitvoolude isoleerimiseks pakutakse turul palju erinevaid lahendusi, millest mõningase ülevaate saab peatükist 5. Antud valdkonna tuntumad lahenduste pakkujad on: Strailastik, Pandrol, Polycorp, Eltecpur, EdilonSedra, Trelleborg, Protrack, Ortec, SealAble Solution, Sika, Bornit

4.3.1 Rööpa uitvoolude isoleerimine

Suurimad uitvoolude allikad on alalisvoolu veosüsteemid nagu raudteed ja trammiteed, mis kasutavad voolu tagasijuhina rööpaid. Rööpa otsekontakti aluskonstruktsiooniga ei liigu kogu vool tagasi veoalajaama mööda rööpaid, vaid kasutab selleks ka muid teid, näiteks maa alla paigaldatud metallist tehnovõrke (torujuhtmed, silla armatuur).

Uitvoolu esinemine pinnases või aluskonstruktsioonides põhjustab läheduses olevates metallist materjalides elektrokeemilist korrodeerumist (joonis 4.11). [32]



Joonis 4.11 Uitvoolu põhjustatud korrodeerumine [32]

4.3.2 Mära ja vibratsiooni teke pealisehitises

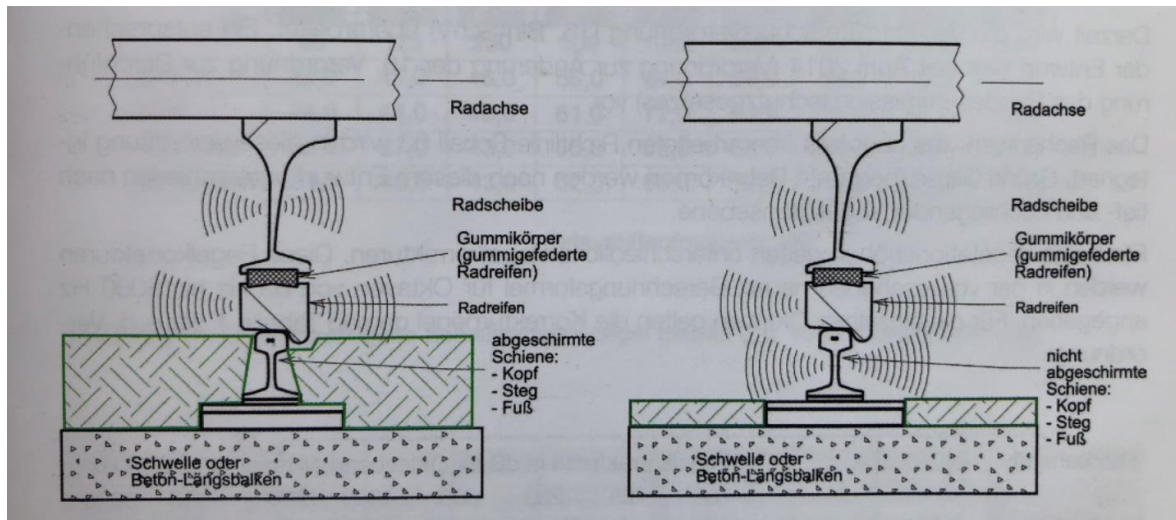
Rööbasteedel tekib peamine müra ja vibratsioon rongiliiklusel ratta ja rööpa kontaktist (veeremüra), kuna ratta ja rööpa veerepinnad pole ideaalselt siledad ja ratas ei ole ideaalse ringikontuuriga [33]. Rööbastranspordis eristatavad sagedused [13]:

- mitte kuuldav, kuid tuntav vibratsioon (0- 80 Hz);
- Konstruktsiooni kaudu leviv müra (16-16 000 Hz);
- Müraemissioon.

Trammiteedel on kiirused väikesed ja aerodünaamikast põhjustatud müra ei arvestata. Trammi sõitmine rööbastel põhjustab veerepinna ebatasasuse tõttu ebakorrapäraseid võnkeid, mis põhjustab vibratsiooni trammile ja kogu aluskonstruktsioonile. Kõrgema sagedusega vibratsiooni (100-5000 Hz) energia levib läbi õhu heli kujul. Madalama sagedusega vibratsioon (0-100 Hz) kandub rööbastelt üle konstruktsiooni alumistesse kihtidesse. Peamiseks rööbastee müra mõjutavaks teguriks on müra sumbumise väärtus (ingl *decay rate*) rööpas ja mõõtühikuks on dB/m. Mida pikem osa rööpast vibreerib, seda suurem müra keskkonda levib. Vibratsiooni kiire sumbumisega piki rööbast saavutatakse kõrge mürasumbumise väärtus ja tekitab vähem müra. [33]

Joonisel 4.12 on skemaatiline ülevaade rööpa ja ratta veerekontaktist, mis põhjustab nii müra- kui vibratsiooniemissiooni. Müra peegeldub ülekaalukalt külgedele ja

vibratsioon levib läbi konstruktsiooni (rööpad, kinnitused, kandvad vahekihid) maapinda [15].



Joonis 4.12 Müraemissiooni teke kaetud rööpaga (vasakul) ja katmata rööpaga (paremal) [15]

4.3.3 Müra ja vibratsiooni vähendamise meetmed

Veeremi ratta ja rööpa veerekontaktist põhjustatud müra ja vibratsiooni vähendamise meetmed: [34]

- pealisehitise elastsuse suurendamine;
- rööpalukkude elimineerimine (rööbaste kokku keevitamine);
- regulaarne rööpa veerepinna hooldamine (rööpa hoolduslihvimine);
- regulaarne veeremi rataste reprofileerimine;
- sobiva trammi valik (nt. trammi vedrustuse tehnilised lahendused lahendused);
- trammi kiiruste vähendamine.

Täiendavateks meetmeteks on:

- Veeremiratta lahenduse optimeerimine. Veeremi rattale paigaldatakse müra summutavad elemendid. [33]
- Projekteerimine - lubatud elastsuse arvutamine rööpa talla all [13]. Mitmed raudteel tehtud uuringud on tõestanud, et liiga elastne materjal raudteeliikluses rööpa talla all põhjustab suuremat müra [33]. Autori hinnangul on antud asjaolu seotud siiski raudteeliikluse suuremate kiirustega ja teljekoormustega.

Mürasummutus lahenduste projekteerimine pealisehitise konstruktsioonidesse. [33]

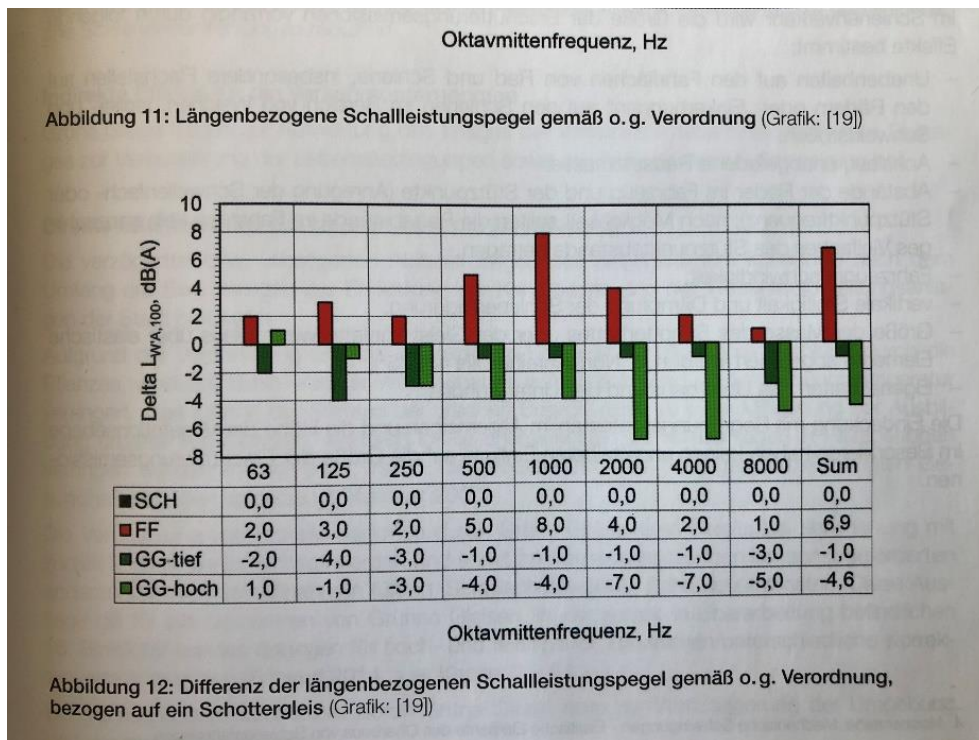
- Teegeomeetria ehituskvaliteet. [34]
- Väikese raadiusega kõverates rööpa määrimine. [34]

4.3.4 Mära ja vibratsiooni vähendamine pealisehitises

Mära vähendamine trammitee pealisehitises on oluline teema. Märaemissioon mõjutab inimese tervist. [36] Mära ja vibratsiooni vähendamisega trammitee pealisehitises loome tervislikumat ja mugavamat linnaruumi ehk suurendame elukvaliteeti linnas.

Mitmed uuringud on tõestanud, et ballastil raudtee tekitab kõige vähem müra ja vibratsiooni võrreldes plaatrööbastee lahendustega [36]. Ballastil raudtee on elastsem kui plaatrööbastee [33]. Erinevate pealisehitiste lahenduste mürauuringus selgus, et rohetrammi pealisehitise lahendus on müra ja vibratsiooni summutamise osas samaväärne ja kohati ka parem võrreldes ballastalusel rööbasteelega (vt joonis 4.13) [15].

Rohetrammi pealisehitise lahendusega on võimalik saavutada rööpast peegelduva veeremüra vähendamine võrreldes ballaströöbasteelega kuni -4 dB heli sagedusvahemikus 500-1000 Hz. Kõige suurem heli summutamise efekt, kuni -7 dB, on sagedusvahemikus 2000-4000 Hz (vt joonis 4.13).



Joonis 4.13 Veeremüra võimsus rohetrammi lahendusel võrreldes ballaströöbasteega
 ■ Plaströöbaste; ■ madal haljastus; ■ kõrge haljastus
 Kõrge ja madala haljastuse tähendus on selgitatud alapeatükis 6.2

Trammitee veeremüra ja vibratsiooni summutamiseks pealisehitises isoleeritakse rööbas kogu perimeetris kuni rööpapeani ja vaheraud muust konstruktsioonist, kasutades selleks erinevaid turul pakutavaid tooteid. Levinumad tooted on müra ja vibratsiooni summutavad plokid, kummist mantelprofiilid ja kummibituumenist valumassid. Kõigi nimetatud materjalide puhul on võimalik kasutada top-down ja bottom-up tehnoloogiat. Joonisel 4.13 on näha, et müraemissiooni vähendavad kõige paremini haljastusega pealisehitise lahendused.

Rööpa talla all kasutatakse kindlaks määratud elastsusega isolatsioonimaterjali, mille elastne deformatsioon veeremi teljekoormuse juures on kuni 1,5 mm. [14]

Väga rangete müra ja vibratsiooni vähendamise tingimuste korral võidakse täiendavalt kasutada mass-vedru süsteemi (ingl *mass-spring system*), mille korral eraldatakse elastse vahekihiga ülemine kandekiht alumisest kandekihist ja ülemise kandekihi konstruktsiooni servad eraldatakse külgmistest konstruktsioonidest. Ka raudtee viaduktidel, kus sildelement on renni kujuga ja teesõrestik ballastikihil, kasutatakse ballastikihi alla paigaldatud vibratsiooni summutusmatti. [14] Põhimõtteliselt on tegu elastsest materjalist matiga, kus massina töötab rööpaid toetav betoonist alusplaat ja vedruna toimib plaadi alune elastne vahekiht. [34]

Vibratsioonisummutus matte kasutati näiteks Praha Trammiliini Lazarská - Vodičkova – Jindřišská rekonstrueerimisel 2014. aastal (vt joonis 4.14), mis läbib Praha vanalinna muinsuskaitse alal. Projektis pöörati suurt tähelepanu trammiliiklusest tekkiva müra ja vibratsiooni mõju vähendamisele ümbritsevatele hoonetele. Rööbas isoleeriti taastöödeldud kummimaterjalist rööpa talla mantelprofiiliga ja rööpa kael isoleeriti müra-vibratsiooni summutusplokkidega. [37]



Joonis 4.14 Trammitee pealisehitise alune vibratsioonimatt Prahas [37]

4.4 Sadeveesüsteemid

Trammiteede projekteerimisel tuleb arvestada lisaks tänava sadevee ärajuhtimisele ka sadevee ärajuhtimisega rööparennidest. Selleks puuritakse trammitee nõgusate vertikaalkõverike madalamates kohtades rööparenni põhja avad ja paigaldatakse rööbastete vahele sadevee äravoolurennid, mis on ühendatud tänava sadeveekanalatsiooniga. Eriti oluline on sadevee ära juhtimine elektrisoojendusega pöörangute juures, kus talvel pöörme toimimiseks soojendatakse raamrööpa plokki, millel asub rajavahetust suunav ja ümberseatav sulgrööbas.

4.5 Liiprid

Liiprite otstarve on anda rööbastelt tulev koormus edasi ballastile või betoonist/asfaldist kandekihile, hoida rööpmelaiust ja koostöös kandekihiga tagada rööbastee stabiilsus.

Liiprid paigaldatakse põiki rööpastee teljega. [13]

Trammitee liiprite pikkus sõltub rööpmevahest. Rööpme 1000 mm korral on liipri pikkuseks 1800 mm, mis oleks sobilik pikkus ka rööpme 1067 mm puhul. [38]

Liipreid valmistatakse puidust, betoonist, metallist ja plastist ja polümeerist. Liiprite eluiga sõltub veeremi teljekoormusest, kliimatilistest tingimustest ja tee hooldusest. [13]

Autori hinnangul võiks ballast-liiper konstruktsiooni trammitee ehitusel kaaluda trammiteede laiendamisel Tallinna naaberasulatesse, kus asulaid ühendaval lõigul on peatuste vahemaad pikemad ja trammitee asub muust liiklusest eraldatult omaette vööndis. Eeliseks on soodsam alginvesteering, kuid eelduseks on rihtimis-
toppimisemasina olemasolu kohalikul turul, et tagada teehooldete kvaliteet. Turul pakutakse ka ekskavaatori noole külge paigaldatavaid rööbastee toppimise agregate, kuid need on mõeldud siiski lokaalsete vajumite likvideerimiseks. Tee vertikaal- ja horisontaalsuunaline rihtimine toimub sel juhul käsitsi.

Puitliiprid on tavapäraselt kasutuses ballastiga rööbastee konstruktsioonides ja neid toodetakse impregneeritud kõvapuidust nagu tamm ja pöök. Väiksemate koormustega rööbasteede puhul nagu trammitee toodetakse liipreid ka pehmemast puidust nagu lehis ja mänd. Puitliipreid tuleb impregneerimise tõttu käidelda kui ohtlikku jäädet. [39]

Puitliiprite kasutus trammitee pealisehitises eeldab, et teehooldete teostaval ettevõttel on kaasaegne tehnoloogia tee geomeetriliste parameetrite tagamiseks (näiteks mehhaniseeritud tee toppimine). Ballastiga rööbastee geomeetriat saab tagada ka käsitsi, aga on väga tööjõumahukas ja ajakulukas.

Betoonliiprid toodetakse raudbetoonist kaksikplokk-liiprina (joonis 4.15) või pingbetoonist monoliiprina (joonis 4.16). Kaksikplokk-liipri puhul on rööbast toetavad raudbetoonist plokid omavahel ühendatud L-terasprofiiliga või armatuuriga. Betoonliiprite eluiga on erinevate allikate ja tootjate puhul 40-50 aastat.

Eestis on betoonliiprid hinnalt soodsamad kui puitliiprid. [40]



Joonis 4.15 Kaksikplokk-liiper [41]



Joonis 4.16 Monoliiper [38]

Betoonliipri eelised [40]:

- kõrge eluiga,
- materjali taaskasutus,
- elemendi raske kaal suurendab tee stabiilsust,
- mitmekülgne valik rööpa kinnitussüsteemidele,
- liiprite tootmise võimalus Eestis,
- suur survepinge taluvus.

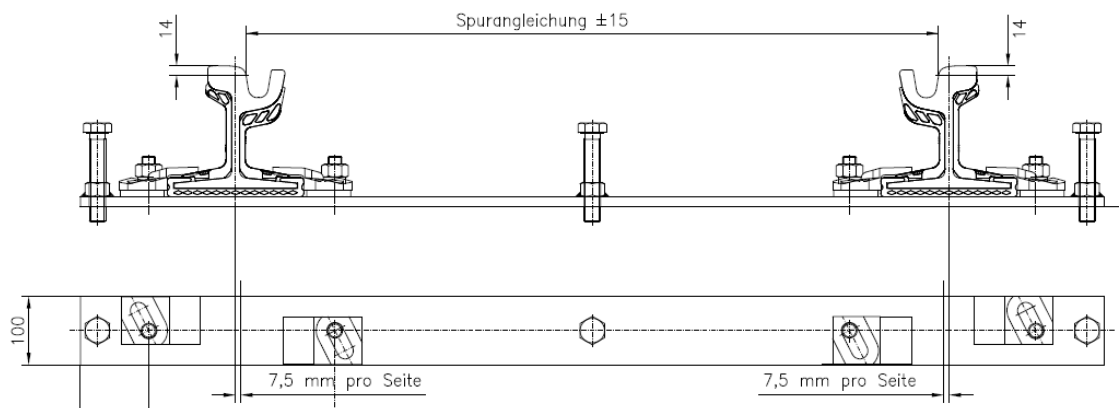
Betoonliiprite miinused [40]:

- ebahütlase ballastialuse tõttu suur purunemisoht;
- raske kaalu tõttu teesõrestiku koostamine ja liiprivahetus vaid mehhaniseeritult;
- kõrge elektrijuhtivus.

Terasliipreid kasutatakse raudteedel, kuid nende kasutus trammiteedel pole laialdast kasutust leidnud. Terasliiprid hoiavad koos kinnitusega hästi rööpmelaiust. Liiprite kasutusiga on 40 kuni 60 aastat [14]

Terasliiper on kergem kui betoonliiper või tammepuidust liiper, mis teeb tema montaaži lihtsamaks. Miinuseks on materjali kõrge hind ja korrodeerumine, mistõttu vajab järjepidevat hooldust. Üheks miinuseks on ka ajajooksul kinnitusavadesse tekkivad väsimuspraod. Täiendav eelis on materjali taaskasutatavus. [14]

Innovaatiline lahendus kergrööbastranspordi pealisehitises on latt-terasliiper. Lattliiprile on integreeritud klemmkinnitus ja horisontaalset reguleerimist võimaldav lahendus (vt joonis 4.17) ja (joonis 4.18). Lahendust nimetatakse „Ruhrklemme“ ja toodet pakub Künstler Bahntechnik GmbH.



Joonis 4.17 Latt-terasliiper [42]

Süsteem „Ruhrklemme“ on väljatöötatud kinnise (kaetud) plaatrööbastee jaoks, kus rööpmevahe betoneeritakse. Kinnitus võimaldab rööpme reguleerimist +/- 7,5 mm. Teesõrestik rihitakse ca 3-5 cm projektsest pinnast madalamalt valatud betoonalusel paika ja seejärel toimub rööpmevahe betoneerimine hästi valguga betooniga. Süsteem on kasutatav ka mitme rööpmelaiuse tagamiseks. [44]



Joonis 4.18 Latt-terasliiper kahe rööpmega [43]

Plast- ja polümeerliiprid pakuvad alternatiivi eelnevalt tutvustatud liipritele, millel on pikem kasutusajalugu. Polümeerliiprid on uuema aja innovatsioon ja nende kasutuskogemus on suhteliselt lühike. [45]

Polümeerliiprite eelistena toob tootja Kreiburg Strail välja: [45]

- Keskkonnasõbralik (100% taaskasutatav),
- Kasutusiga enam kui 50 aastat,
- Kergesti töödeldav tavapäraste tööriistadega,
- madala CO₂ sisaldusega jalajälg,
- parem kruvi väljatõmbe kindlus kui puit- või betoonliipril,
- kasutatav pöörme- ja sillaprussidena,
- vastupidav niiskusele ja kemikaalidele.

4.6 Kandvad aluskihid

Kandvad aluskihid on pealisehitise konstruktsiooni osad (vt. alapeatükk 1.1, tabel 1.1) ja nad jaotatakse järgnevalt: [14]

- pealmised seotud aluskihid, milleks on betoonis aluskiht või asfaldist aluskiht;
- pealmised sidumata aluskihid, milleks on ballaströöbastee puhul killustikust aluskiht ehk ballast;
- alumised seotud aluskihid, milleks on hüdrauiliselt seotud aluskihid;

- alumised sidumata kandvad aluskihid, milleks on drenikiht või külmakaitsekiht.

Plaatrööbasteed kandvate aluskihtide ehitamisel järgitakse põhimõtet, mille kohaselt kahaneb üksikute kihtide jäikus suunaga ülevalt alla. [14]

4.6.1 Betoonist kandekiht

Betoonist kandekiht valmistatakse monoliitsena kohapeal või kasutatakse eelvalmistatud plaate või raame ja paigaldatakse valmisdetailidena. Kohapeal valatav kandekiht betoneeritakse deformatsioonivuukidega. Konstruksioonide arvutuslik paksus sõltub sellest, kas rööbastee projekteeritakse muldel, tunnelis või sillal ja mõju avaldab ka ehitusviis. Kandekihi võib valmistada täisnurkse ristlõikega või ka trapetsina. [14]

Kuna sellised jätkuvad ja vuukideta valmistatud betoonikihid kipuvad kivinemisprotsessi käigus mahukahanemise tõttu ja temperatuuri mõjude tagajärjel pragunema, peab betoonaluse sarruse osakaal pragude tekke piiramiseks olema 0,8% kuni 0,9% betoonplaadi ristlõikepindala suhtes. Armeerimisel tuleb arvestada sarrusele ettenähtud ülekatetega. Armeerimise korral peaks pragu tekkima iga 2–3 m tagant ja prao laius betoonaluse pealmisel küljel on piiratud väärtusega $< 0,5$ mm. Prao laiuspiiranguga välditakse üldjuhul sarruse korrosiooni ja lisaks kompenseerib sarrus prao korral põiksuunalisi jõude. Betoonis täiendava teraskiu kasutamine vähendab pragude tekkimist ja selle tulemusel on tekkivate pragude laius väiksem. [14]

Lisaks kehtib liipriteta plaatrööbastee konstruksioonide puhul nõue, et betoonist kandekihis olevad praod ei tohi läbida rööpakinnituse tüüblite või poltide avasid. Kirjeldatud nõude täitmiseks püüeldakse selle poole, et pragude teke toimuks juhitult. Sel eesmärgil lõigatakse enne betooni lõplikku kivistumist iga kolmanda tugipunkti (aluslapi) järel betooni pealispinda umbes 5 cm sügavused 2 kuni 3 cm laiused sälgud, mille tulemusel peaksid praod moodustuma juhitult. Logistika eesmärgil võib betoonalusele sõita alates betooni survetugevusest > 12 N/mm². Alternatiivina kohapeal valatavale alusplaadile kaustatakse eelvalmisatud raudbetonelemente plaatide või raamide kujul. [14]

Traditsioonilise terassarruse asemel on tänapäeval võimalik armeerimiseks kasutada ka ainult fiiberkiudu. Rööbastes kulgeb uitvool, mis põhjustab betoonis oleva terassarruse korrodeerumist (vaata alapeatüki punkt 4.5.1) ja see omakorda betooni lagunemist.

Automaatpöörmete betoonalus ei tohi sisaldada terasarmatuuri, kuna mõjutab pöörmete automaatika tööd. Fiiberkiu kasutuselevõttuga on efektiivsemaks muutunud ka plaatrööbastee rajamine. Näiteks kasutati 2016.-2017. aastatel Kopli suunalise trammiliini rekonstrueerimisel trammitee betoonaluse rajamisel fiiberkiudbetooni terassarrust kasutamata.

4.6.2 Asfaldist kandekiht

Asfaldist kandekihti (joonis 4.19) kasutamine on alternatiiv betoonist aluskihile. Konstruktsioonis arvatud kihipaksused tuleb üldjuhul ehitada mitmekihilisena, kusjuures ühe kihi paigalduspaksus peab olema vähemalt 2,5 korda suurem kui segumaterjali tera suurim läbimõõt. Kattekihi jaoks on ette nähtud polümeerbituumen. Kandekihi pealispinna valmistamistäpsusele kehtib aluskihipealsete konstruktsioonide korral (näiteks liiprid) nõue ± 2 mm. Täpsus on üldjuhul võimalik saavutada üksnes mitmekihilise paigaldusega. Üksikud kihid paigaldatakse kuumpaigalduse meetodil. Pealmisele kihile kehtib võrreldes selle all asuvate kihtidega nõue väiksem poorsus ja suurem tihedus. Eesmärk on vältida asfaldi vananemisprotsessi mõjutava hapniku juurdepääsu ja vee sissetungimist asfaldist kandekihti. Liikluskoormusest tulenevate pingete vastuvõtmiseks peavad kandva aluskihi eri kihid olema omavahel stabiilselt ühendatud. Selle saavutamiseks peab pealispind olema enne järgmise kihi pealekandmist kuiv ja puhas. Lisaks tuleb pealispinda töödelda liimainega. Temperatuuril alla 0 °C tuleb pinda soojendada. Logistika eesmärgil võib kihile sõita alates asfaldi temperatuurist < 50 °C. [14]

Asfaldist kandekihi kasutamine võimaldab autori hinnangul ehitusprotsessi rohkem mehhaniseerida ja kiirendada. Asfaldist kandekihi eemaldamine freesiga on oluliselt lihtsam ja kiirem protsess võrreldes betoonist kandekihi lammutamisega. Kuidas käitub meie kliimas asfaldist kandekihiga pealisehituslahendus vajab täiendavat uurimist ja võimalusel katselõiku.



Joonis 4.19 Asfaldist kandekiht [Erakogud], [47]

4.6.3 Killustikust ballastikiht

Teesõrestik asetseb killustikust ballastis ujuvalt (sks *schwimmend*), kuid see põhjustab aja jooksul dünaamiliste jõudude mõjul tee seisundi halvenemist. Positiivne pool on, et tee seisundit on võimalik kaasaegsete mehhanismidega ja tehnoloogiaga suhteliselt soodsalt parandada. [13]

Killustikust ballastikiht on liiprite ja pöörmeprusside alus, mille ülesanne on [12]:

- võtta vastu liiprite surve ja anda see võimalikult ühtlaselt edasi muldkeha pealmikule;
- takistada liiprite põik- ja pikinihkumist veeremi koormuse toimel;
- juhtida pinnavett eemale teesõrestikust ja takistada kapillaarniiskuse tõusu muldkehast;
- amortiseerida teatud määral veeremi ja tee vastasmõjul tekkivaid lööke ehk vähendada teesõrestikus tekkivate dünaamiliste jõudude mõju;
- võimaldada teesõrestiku asendi parandamist vertikaal- ja horisontaaltasapinnas.

Lähtudes eeltoodust, peab ballasti materjal vastama järgmistele nõuetele: see peab olema piisavalt tugev ja elastne, peab hästi vett läbi laskma, ei tohi kaotada oma omadusi märgudes ega korduvalt külmudes ja üles sulades, peab võimalikult vähe purunema tööriistade ja mehhanismide toimel, ei tohi tolmeta ja seda ei tohi vesi ära uhtuda. [12]

Ballastikihi paksuseks on killustiku paksus liipri talla ja muldkeha pealmiku vahel ja sõltub liipriepüürist, liipri talla laiusel ja killustiku hõõrdenurgast. [13] Ballastikihi

paksus liipri all peab olema küllaldane, et vähendada ja ühtlustada veeremi poolt liiprite kaudu muldkehale mõjuvat koormust. [12]

Eesti Raudtee peateedel kasutatakse ballasti killustikuna graniitkillustikku, kuid väiksema kiirusega ja koormusega haruteedel kasutatakse ka paekillustikku.

5. PEALISEHITISE LAHENDUSTE JAGUNEMINE

Alljärgnevates alapeatükkides tutvustab autor kergrööbastee pealisehitise lahenduste jagunemist ja tüüpe. Pealisehitise lahendused on oma nimetused saanud enamasti lähtuvalt linnast, kus neid on trammitaristu jaoks esmakordselt katsetatud ja kasutusse võetud. Pealisehitiste stabiilsust kontrollitakse rööpa stabiilsusarvutusega. [13]

5.1 Pealisehitiste lahenduste kategooriad

Pealisehitise lahendusi saab jagada kategooriatesse oma erinevate tingimuste või kriteeriumite järgi. Kirjanduses eristatakse järgmisi pealisehitise kategooriaid:

- ballaströöbastee ja plaatrööbastee,
- lahtine (katmata) ja kinnine (kaetud) pealisehitis,
- konstruktsioonid liipritega või liipriteta ja liiprid sängitatult või sängituseta.

Ballaströöbastee on kõige levinum ja kõige pikema ajalooga pealisehitise lahendus raudteedel. Plaatrööbastee arendati algselt välja kiirraudteede jaoks, kus suurenenud teljekoormuste ja kiiruste tõttu oli see innovatsioon ballaströöbastee kõrval hädavajalik. [13]

Ballaströöbastee ja plaatrööbastee erinevust on täpsustatud alapeatükis 3.1. Lahtist ja kinnist pealisehitist on kirjeldatud samuti alapunktis 3.1.

5.1.1 Pealisehitise kategooriate kombinatsioonid

Kombineeritult saab trammitee pealisehitise kategooriad grupeerida järgmiselt [25]:

Ballaströöbastee

- Avatud (katmata) ballaströöbastee,
- ballaströöbastee kui roherööbastee (kaetud haljastusega, erand),
- kaetud ballaströöbastee (kaetud asfaldiga või betoonplaatidega või muu kandva kihiga).

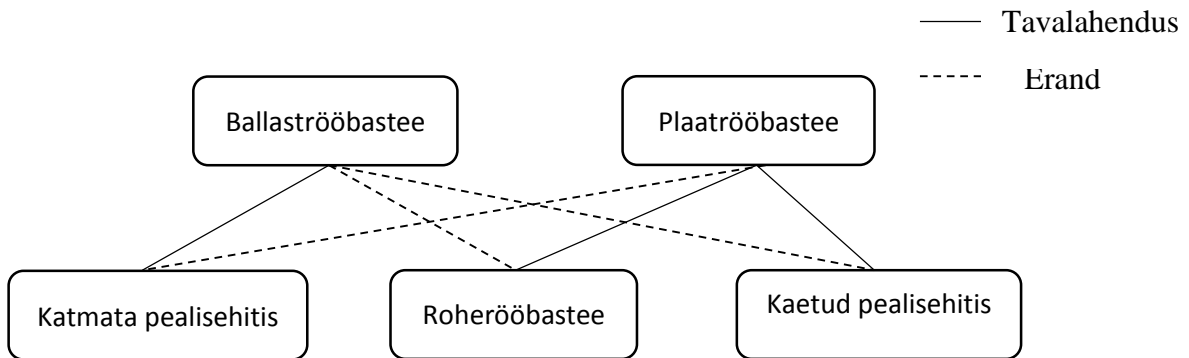
Plaatrööbastee

- katmata plaatrööbastee (erand),
- Plaatrööbastee kui roherööbastee,
- kaetud plaatrööbastee.

Joonisel 5.1 on esitatud pealisehitise kombinatsioonid.

Kaetud ballaströöbastee on tänapäeval siiski erand, kuna see raskendab tee hoolet. Eestis on kaetud ballaströöbastee kasutuses näiteks raudtee ülesõitudel. Autor soovib alternatiivina kaaluda ka kestvamat ja hooldusvabamat plaatrööbastee varianti.

Katmata plaatrööbasteed kasutatakse erandina tunnelites [25].



Joonis 5.1 Pealisehitise kombinatsioonid

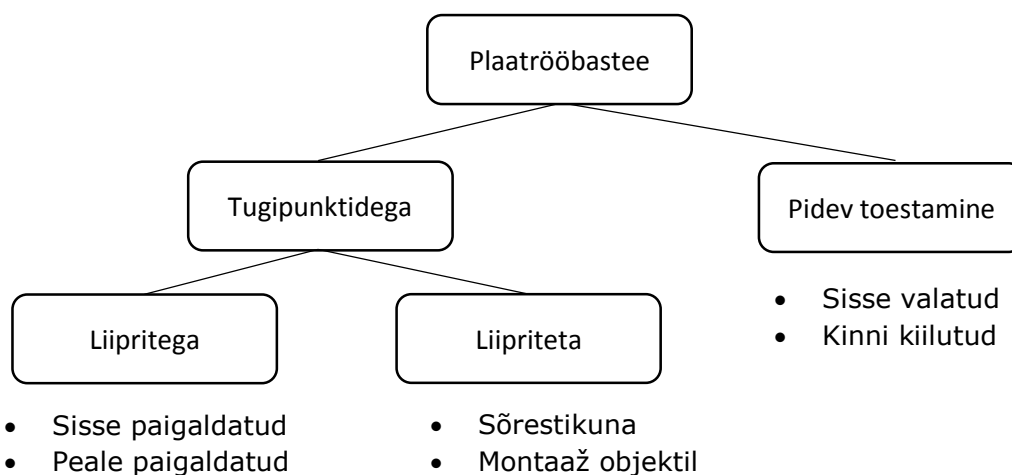
Autori hinnangul saab katmata plaatrööbasteed rakendada ka sildadel või viaduktidel, kus trammiteele on ettenähtud omaette võõnd. See võimaldab lihtsat ja kiiret rööpa vahetust aluskonstruktsiooni kahjustamata.

5.1.2 Plaatrööbasteede klassifitseerimine

Plaatrööbastee konstruktsioonid saab klassifitseerida lähtuvalt konstruktsiooni tüübile. Eristatakse tugipunktidega paigaldust (sks *Stützpunktlagerung*) ja pidevalt toetatud

paigaldust (sks *kontinuierliche Lagerung*). Tugipunktidega paigaldust saab teha liipritega või ka ilma. [14]

Plaatrööbaste klassifitseerimine on esitatud joonisel 5.2



Joonis 5.2 Plaatrööbaste klassifitseerimine [14]

Sisse paigaldamise meetodi korral ühendatakse liipritega teesõrestik kindlalt ja stabiilselt aluskonstruktsiooniga nt liiprite alusplaati betoneerimine. Kui liipritega teesõrestikku ei seota kandva aluskihiga on tegemist peale paigaldamise meetodiga.

Liipriteta konstruktsiooni puhul kinnitatakse rööpad otse kandvale aluskihile aluslapiga kinnitussüsteemi abil. Teesõrestik koostatakse objektil või on eelnevalt koostatud ja transporditakse objektile.

Pideva toestamisega konstruktsiooni korral isoleeritakse kogu rööpa perimeeter elastse materjaliga ja valatakse betooni. Eelvalmistatud betoonist kandeplaatide puhul jäetakse kandeplaati rööpa paigaldamiseks renn (joonis 5.3), mille ruumala on arvutatud lähtuvalt rööpa profiilist. Rööbas rihitakse rennis paika ja renn täidetakse elastse kummibituumenmastiksiga, mis täidab ka rööpa kinnituse funktsiooni. Pideva toestamisega konstruktsioon eeldab väga täpset teesõrestiku rihtimist ja fikseerimist, kuna peale rööbaste betooni valamist pole tee geomeetria korrigeerimine enam võimalik. [14]



Joonis 5.3 Pideva toetusega elastselt sängitatud rööbas **edilon)(sedra** ERS-LS [48]

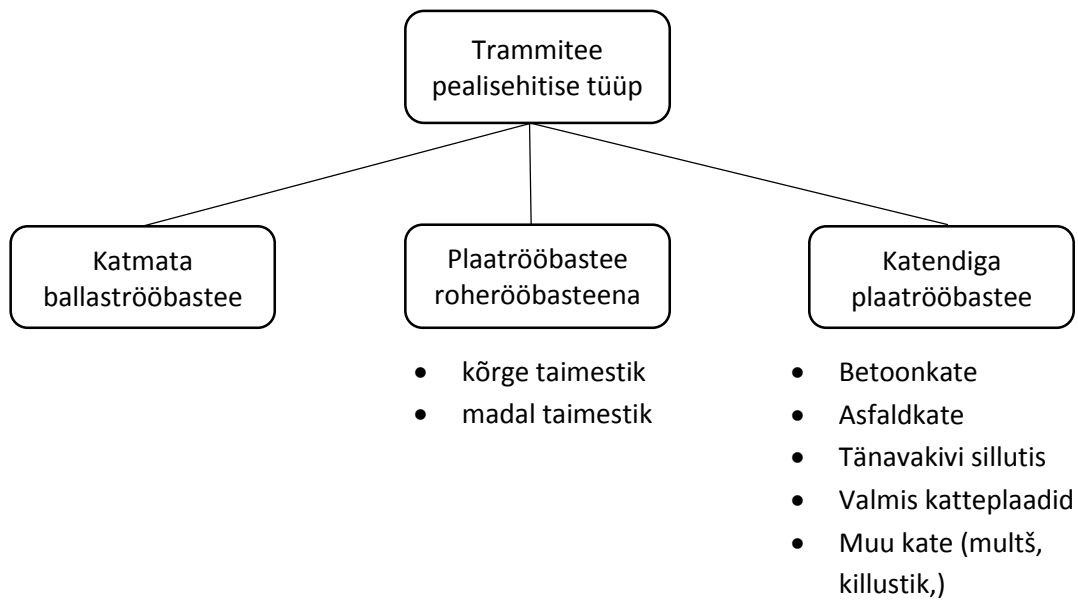


Joonis 5.4 Pideva toetusega konstruktsioon SDS (Sound Damping System) [49]

Joonisel 5.4 näidatud konstruktsiooni kohta on väga palju erinevaid lahendusi, mille erinevus seisneb üldjuhul mürasummutus plokkide disainis ja välistes gabariitides.

5.2 Pealisehitise konstruktsiooni tüübid

Levinumad trammitee pealisehituse lahenduste tüübid koosnevad peatüki 3 alapeatükkides kirjeldatud elementidest ja on esitatud skeemina joonisel 5.6.



Joonis 5.6 Pealisehtise konstruktsiooni tüübid

6. ROHERÖÖBASTEE

Roherööbaste pealisehitise all mõistetakse konstruktsiooni, kus konstruktsiooni ülemises kihis kasutatakse taimkatet või taimkatete süsteemi ja seetõttu pole antud konstruktsioon ei lahtine ega ka kinnine konstruktsioon. [15]

Kopli suunalise trammitee taristu renoveerimisel oli Tallinna Linnatranspordi AS soov katta betoonist kandekihiga pealisehitis rööpme külgedel haljastusega. Kopli suunaline trammitee kulgeb valdavalt osas sõiduteest eraldatuna omaette trammirajal ja võimaldab seetõttu haljastatud trammitee visiooni teostamist.

6.1 Roherööbaste ökoloogiline kasu

Rohetrammiteega kaasneb mitmeid positiivseid ökoloogilisi efekte, mida autori hinnangul on oluline teada trammiteede kavandamisel linnaruumi või trammiteede rekonstrueerimise projektide koostamisel.

Kuumasaarte ja tulvavihmade leevendamine linnades. Trammivõrgu laiendamisel on võimalik panustada kuumasaarte ja tulvavihmade probleemide leevendamisele läbi kahe erineva aspekti [1]:

- Trammivõrgu rajamisega kaasnevad ulatuslikud ehitustööd ning ümberkorraldused trammitee lähistel, mis loob head võimalused lähiruumi parendamiseks – nt olemasoleva tänavaruumi parendamine ja uue kõrghaljastuse rajamine.
- Trammitee ise on võimalik rajada haljastatuna (nn „roherööpad“). Roherööpad on võimelised kinni hoidma kuni 90% suvistest sademetest (ca 220 l m² kohta Berliini kliimaatilistest tingimustes). Roherööbaste jahutusefekt avaldub läbi kahe peamise mehhanismi – madalam soojuskiirguse hulk võrreldes muude kõvakattega pindadega ning pinnases sisalduva vee aurustumise jahutav toime. Roherööbaste pinnatemperatuur ei ületa üldjuhul 25-30 °C, erinevalt kõvakattega pindadest, mis võivad kuumeneda üle 50 °C. Ühes m² roherööbastes sisalduva vee (ca 220 liitrit) aurustumisel jahutatakse 44 000 m³ õhku 10 K võrra.

Õhusaaste vähendamine urbanistlikus ruumis. Suurlinnade üheks mureks on suurenev õhusaaste peentolmust ja saasteainetest, mis võib kahjustada linnaelanike tervist ja ka hooneid.

Trammitee haljatus seob taimede karedate pindade abil peentolmu ja osaliselt ka saasteaineid. Osa saastest taimed lagundavad ja mingi osa ladestub pinnasesse. Roherööbasteel asub taimkate saasteallika vahetus läheduses, kuna ka kergrööbas-transport põhjustab peentolmu. Trammitee põhiliseks saateemissiooni allikateks on pidurite, rataste, rööbaste ja kontakivõrgu kulumine. Taimede võime siduda peentolmu takistatud trammiteedel peentolmu taaslendumist õhku [15].

Müraemissioonide vähendamine. Roherööbaste mõju müraemissioonide vähenemisele võrreldes teiste trammitee pealisehtise konstruktsiooni tüüpidega kirjeldab alapunkt 4.5.4

Lisaks ökoloogilisele efektile tooks autor välja veel mõned roherööbaste positiivsed argumendid:

- visuaalne väärtus linnaruumis;
- uue trammitee rajamisel või trammitee rekonstrueerimisel on linnarahval taristut kergem aktsepteerida;
- linna ettevõtete ja linna enda imidži paranemine läbi linnlaste rahulolu.

Autori vestlustes Kopli tn trammitee äärsete elanikega selgus, et elanike rahulolu Kopli suunalise trammitee rekonstrueerimisjärgse tulemusega on kõrge.

6.2 Plaatrööbaste roherööbasteena

Haljastusega plaatrööbasteed nimetatakse kirjanduses roherööbasteeks (sks *Grünleis*, ingl *Green Track*). Roherööbaste konstruktsiooni ülemises kihis kasutatakse taimkatet või taimkatete süsteemi ning eristatakse kõrget ja madalat taimkatet (vt joonis 6.1).

Kõrge taimkatte korral on taimkattekiht rajatud rööpa peast maksimaalselt 5 cm madalam ja madala taimkatte puhul on haljastuse kiht rajatud rööpa kinnitusteni. Kombineeritud variandis on rööpmevahes madal taimkate ja rööbaste välisservades kõrge taimkate. [15]



Joonis 6.1 Vasakul roheröobastee madala taimkattega [5], paremal kõrge taimkattega [Erakogu]

Roheröobastee haljastusena on kõige levinum murukate, kuid kasutatakse ka taimkatete süsteemi. Murukate võib vajada kastmist, aga kindlasti vajab hooldamist näiteks niitmist. Taimkatete süsteemiga, kus kasutatakse vähem niiskust vajavaid ja madalama kasvuga taimi, on võimalik haljastuse hoolduskulusid vähendada. [15]

Autor toob välja asjaolu, et tavalahenduse juures pole haljastusega konstruktsioon mõeldud ühisesse liiklusruumi teiste liiklejatega. Erilahenduste korral, nagu murukivi kasutamine või killustikuga tugevdatud haljastus, on võimalik tagada tugevama kandevõimega kattepinde. Tugevdatud murukate võimaldab juurdepääsu trammiteele hädaolukordadel või tee hooldusmasinatel, mis ei saa rööbastel sõita.

Madala taimkate eeliseks on rööpa kinnitustele mugav juurdepääs, mis võimaldab rööbaste lihtsat vahetust. Rööbastee on kindlalt eristatav ja annab märku ohutsoonist. Lume ja jää jaoks on rohkem ruumi, mis vähendab talihooldust. Teed pole väljaspool ülekäigurada mugav ületada ja suurendab ohutust. Tänavasõidukiga pole rööbastee ületatav.

Negatiivse aspektina nimetaks autor rööpa kaela isoleerimata jätmise, mis põhjustab suuremat müra võrreldes kõrge taimkattega. Selgelt eristuvad rööpad ja rööpakinnitused rikuvad haljastuse ühtluse ning linnaruumi kontekstis visuaalne väärtus on väiksem. Katma rööpa puhul on suurem soojust salvestav pind ja rööpakinnitused vajavad hooldust, puhastamist kinnikasvamise eest. Isoleerimata rööpa korral on uitvoolude tekke oht (vt alapeatükk 4.5.1).

Kõrge taimkatte eeliseks võiks pidada suuremat mõju müraemissioonide vähendamisel. Konstruktsiooni haljastus moodustab ühtlase, laia rohepinna, mille integreerimine linnaruumi annab kõrgemat lisaväärtust. Rööbastest ülesõitmise võimalikkus lihtsustab haljasala hooldamist.

Puudusena võiks välja tuua ohutunde vähenemise, kuna trammitee pole nii selgelt eristuv. Kõrge taimkate võimaldab inimestel mugavat trammitee ületust väljaspool ülekäigurada, mida üldjuhul kiputakse tegema (joonis 6.2). Sellistes kohtades tuleks kasutada ohuala tähistavaid hoiatusmärke või võimalusel rajada kõnnitee ja kergliiklustee vahele hekk. Rööbaste vahetus ja juurdepääs rööpa kinnitustele pole nii lihtne kui madala taimkatte korral. Lumerohkete talvede korral on oht lumekoristusega kahjustada haljastust.



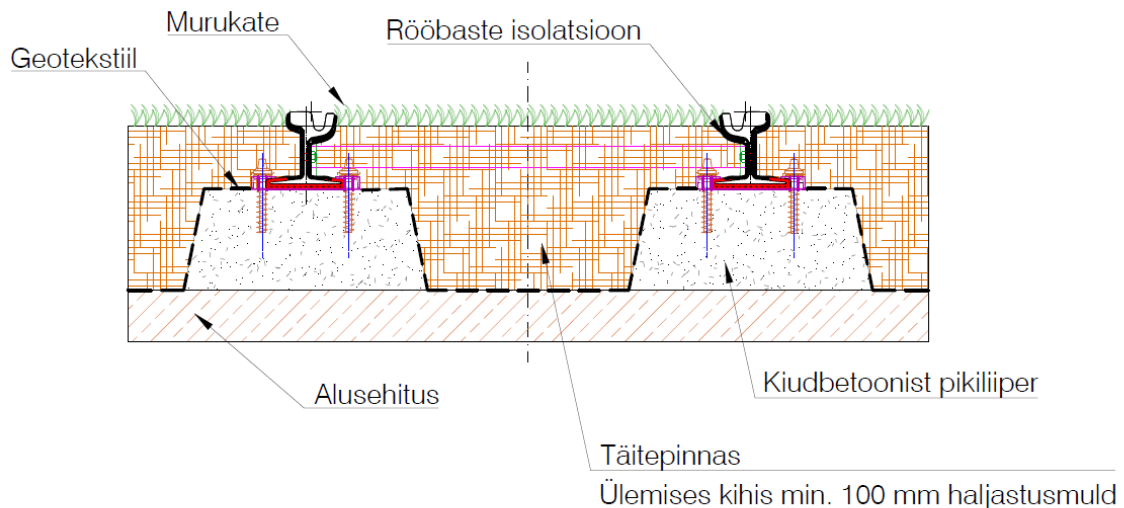
Joonis 6.2 Isetekkeline ülekäigukoht Tallinnas, Kopli Angerja peatuse läheduses [Erakogu]

6.3 Roherööbastee lahendused

Tüüpilised roherööbastee konstruktsioonid on lahendatud kohapeal valatud betoonist raamidena, eelvalmistatud betoonist raamidena ja rööbaste pikiliipritega (sks *Langschwellen*), mis samuti on võimalik kohapeal valada või valmisdetailidest monteerida. Alljärgnevates punktides on esitatud põhimõttelised illustratsioonid roherööbastee lahenduste variantidest.

6.3.1 Freiburgi roherööaste

Freiburgi konstruktsiooni (joonis 6.3) eripäraks on teesõrestikku kandvad, fiiberbetoonist kohapealt valatud pikiliiprid. Teesõrestik koostatakse vaheraudadega ja on isoleeritud kummist mantelprofiilidega. Rööpakinnitusena kasutatakse tüübliga liiprikruvi ja kinnitusklemmi. Freiburg on Saksmaa linn.



Joonis 6.3 Freiburgi roherööaste kontseptsioon, autori taasesitus [15]

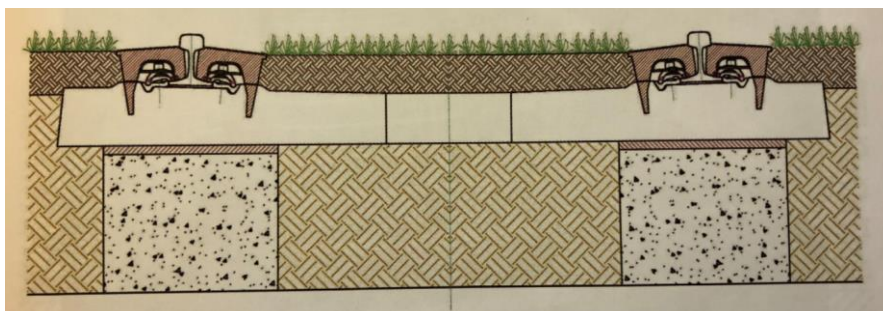
Top-down tehnoloogia puhul asetatakse teesõrestik kiviplokkidele, mis on valatavast betoonalusest maksimaalselt 20 mm madalam. Monteeritakse rööpa kinnitused (tüüblitega liiprikruvid ja kinnitusklemmid). Tee plaanigeomeetria rihitakse käsitsi geodeediga või paigaldatud reeperite alusel paika. Vajadusel korrigeeritakse tee horisontaalgeomeetria plastikiilude abil. Vahetult enne pikiliiprite valamist kontrollitakse täiendavalt teegeomeetria vastavust projektile ja tehakse betoonivalu.

Konstruktsiooni eeliseks on selle lihtsus, materjali vähesus ja soodne rööpakinnituse lahendus. Tähelepanu tuleb pöörata asjaolule, et rööpmevahel puudub täitebetoon, mis vähendab tee stabiilsust. Tallinna trammiteedel on kinnituste samm seotud vaheraudade sammuga ja täiendava stabiilsuse tagab rööpmevahe täitebetoon. Seega antud konstruktsiooni puhul tuleb kontrollida arvutuslikult rööbaste stabiilsust ja määrata ära kinnituste samm. Kinnituste sammuks võiks võtta ka Eesti Raudteel kehtivad liipriepüürid, kuid need on seotud raudtee koormustega ja võivad olla liialt suure tagavaraga. Rööbaste stabiilsusarvutus annab optimaalseima lahenduse.

Liipriepüür on liirprite arv 1 kilomeetri kohta. Põhilisi liipriepüüre on kolm ja need vastavad liirprite arvule 1600, 1840, 2000 tükki 1 kilomeetri kohta. [2]

6.3.2 Bremeni roherööbastee

Konstruksiooni (joonisel 6.4 ja joonis 6.5) iseloomustab betoonliipritega teesõrestik, mis on toetatud kahele eraldi valatud lintvundamendile. Lintvundamendid võivad olla paigaldatud ka elementidena. Betoonliiprite ja lintvundamendi vahele paigaldatakse elastne vahetükk. Konstruksioon toetub tihendatud killustikalusele. Liiprite vahe ja lintvundamentide vahe täidetakse täitepinnasega, mis eraldatakse killustikalusest geotekstiiliga. Haljastuskihi paksus on 100 -150 mm. Konstruksiooni on võimalik rajada nii kõrge kui madala taimkattega. Kõrge taimkatte korral on vajalik rööbaste isoleerimine. [15]



Joonis 6.4 Bremeni roherööbastee pealisehitise [15]



Joonis 6.5 Bremeni trammitee konstruktsioon [Erakogu]

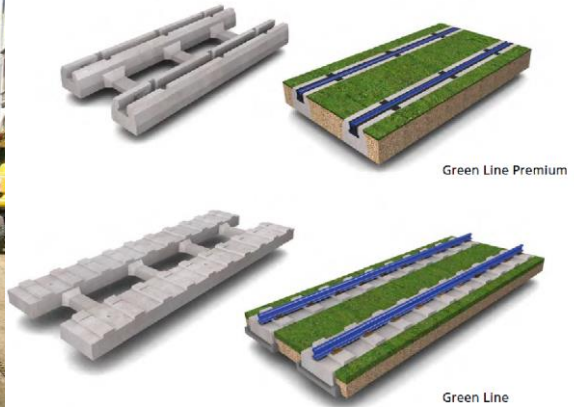
Konstruksiooni eeliseks on lihtne lahendus ja raudtee ehituses kasutatavate traditsiooniliste pealisehitiselementide (liiprid, rööpakinnitussüsteemid) kasutamine. Konstruksiooni sobivad rennrööpaprofiilid ja ka vignole rööpad. Rööbaste keevitamine termiitkeevitusega on mugav, kuna rööbaste stabiilsus on keevitamise ajal liiprite abil tagatud. Puuduseks võib pidada tee rihtimise ebamugavust teesõrestiku raske kaalu tõttu. Tungraudadega käsitsi rihtimine on ajamahukas. Jälgima peab, et elastne vahekiht liipri ja lintvundamendi vahel omalt kohalt ära ei nihkuks. Samas rihtimismasinaga läheks tee rihtimine väga kiiresti. Tee projektse vertikaalgeomeetria saavutamiseks võib liiprite aluspindade ebaühtluse korral ajakulukaks osutada. Vertikaalgeomeetria korrigeerimiseks kasutatakse erinevate paksustega, kõrguse reguleerimiseks mõeldud vahetükke, mis paigaldatakse aluslapi peale. Vahetükke kõrguse reguleerimiseks pakuvad raudteematerjalide tarnijad. Horisontaalgeomeetria reguleerimise võimalus on tagatud ka eksploatatsiooni aja jooksul, mis on taas konstruksiooni eeliseks. Projektne horisontaalgeomeetria tagab rööbaste tasasuse. Rööpa tasasus mõjutab sõidumugavust ja müraemissiooni (vt alapunkt 4.5.3).

Täiendavalt mõjutab rööbaste tasasus ka tee stabiilsust. [13].

Visuaalseks probleemiks võib osutada muru kuivamine liipri kohal, kus pinnas on õhem ja kuumemal suvel võib liigselt ära kuivada.

6.3.3 Roherööbaste betonelementidest

Trammitee betonelemente (joonis 6.6) toodetakse vastavalt rööpmevahele. Raame toodetakse sirgele tee osale ja ka väikese raadiusega kõveratele. Valmisraamid paigaldatakse kraanaga ettevalmistatud killustikalusele ja joondatakse projektsele teljele. Killustikaluse täpsuseks soovitatakse +/- 10 mm. Raamide kõrgus reguleeritakse paika raami sees olevate keermestatud spindlite abil või väljastpoolt tungraudadega. Peale raamide kõrguse reguleerimist täidetakse tekkinud raamide alune tühimik jootebetooniga. Jootebetooni valamiseks on raamidesse jäetud tehnoloogilised avad. Aluse kivinemisel alustatakse rööbaste paigaldamisega. Rööbaste kinnistus süsteem W-Tram on eelnevalt raami betoneeritud. [14]



Joonis 6.6 Rööbastee betoonelemendid [51], [52]

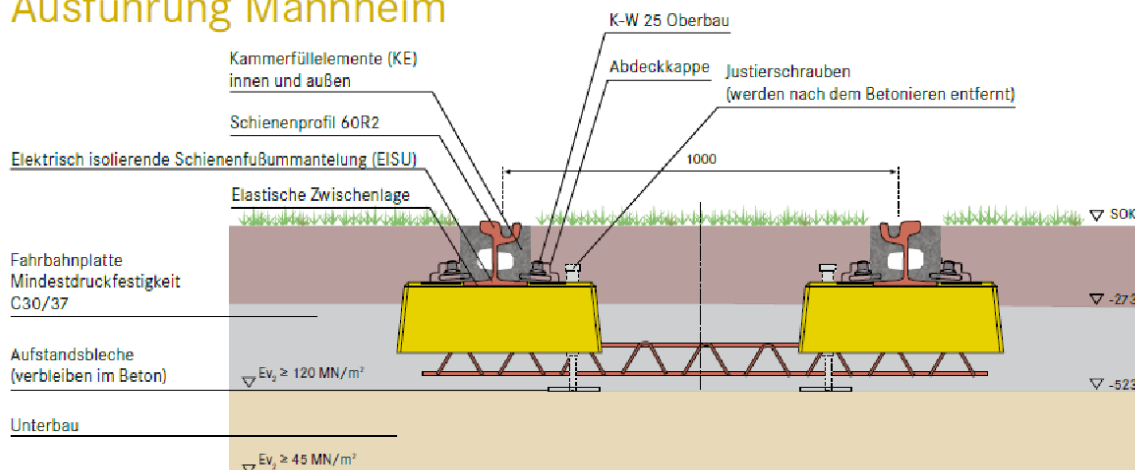
Autor hinnangul on konstruktsiooni eelis eelnev komplekteeritus, mis vähendab ehitusaega objektil. Rööbastee kõrguse reguleerimisega ei pea tegelema, kuna raamid on eelnevalt projektsele kõrgusele rihtitud. Rööbastee paigaldus on kiire ja lihtne.

Suuremat vaeva peab nägema killustikaluse ettevalmistamisel, mille tasetas ja kõrgus peab olema ühtlane, et jootebetooni kulu poleks liialt suur. Kitsastes oludes ei pruugi massiivsete elementide montaaž võimalik olla. Elementide joondamine projektsele teljele võib samuti ajamahukaks osutuda. Pikema trammiliini ehitamisel või rekonstrueerimisel on vajalik toota suur hulk elemente, mille ladustamisega ja logistikaga kaasnevad lisakulud. Elementide montaažiaega lühendaks raamide alune tööbetoonikiht, mis samas on täiendav tööoperatsioon ja samuti kulu.

6.3.4 Rheda City Grün

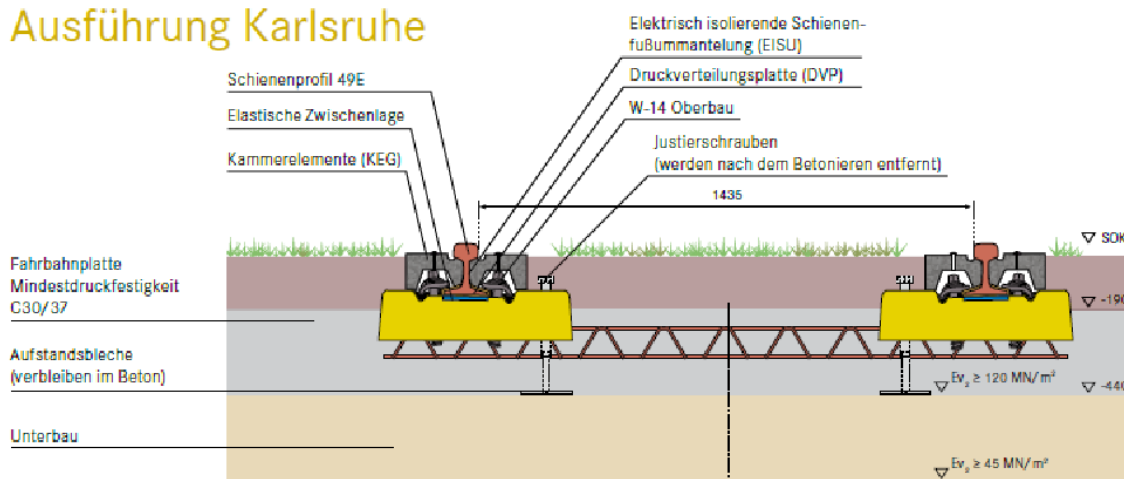
Lühendatult Rheda City-G (joonis 6.7) kuulub Saksamaa ettevõtte PCM Rail.One AG kergrööbastranspordi lahenduste sarja Rheda City. Kogu lahenduste sarja iseloomustab kaksikplokki-liiper. Liipritest ja rööbastest moodustatakse teesõrestik, mis valatakse peale tee rihtimistöid betoonist kandekihti (vt peatükk 4.8.1). Liipril on kõrguse reguleerimiseks keermetatud avad, mis võimaldavad pikkade poltide abil teesõrestiku horisontaalset reguleerimist. Betooni kivinemisel reguleeripoldid eemaldatakse. Liipreid toodetakse vastavalt rööpmevahele ja tellijale sobiliku rööpa kinnistuslahendusega.

Ausführung Mannheim



Joonis 6.7 Rehda City -G rennrööbastega [54]

Ausführung Karlsruhe



Joonis 6.8 Rehda City -G vignole rööbastega [54]

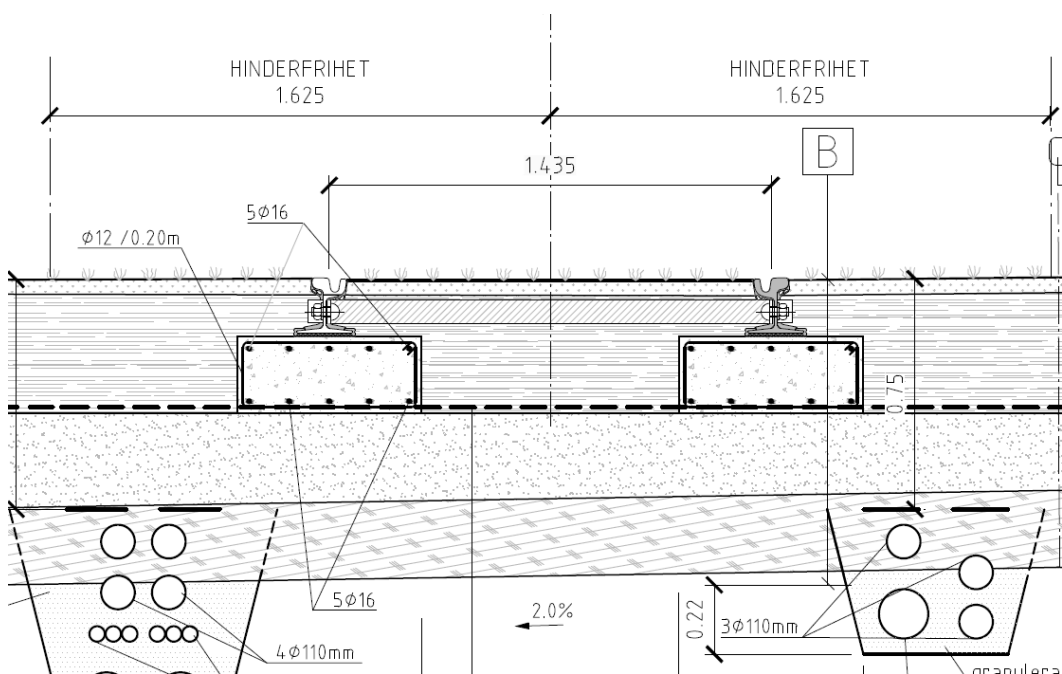
Lahenduse eeliseks on samuti eelnev komplekteeritus, rööpme tagamiseks ei pea kasutama vaheraudasid ja teesõrestik on kergem kui Bremeni või raamidega lahendusel. Konstruktsioon võimaldab teesõrestiku horisontaalgeomeetria mugavalt reguleerida. Tagatud on rööbaste vahetuse võimalus aluskonstruktsiooni kahjustamata. Oluline on ka teesõrestiku montaaži ergonoomilisus. Võimalus on kasutada nii rennrööpaid kui ka vignole rööpaid. Liiprite kergema kaalu tõttu on transpordikulu väiksem.

Ainsa negatiivse aspektina on Autori jaoks sajuvee kogunemise risk rööpmevahelisele alale. Pinnasevesi saab plaadi pealsest pinnasest nõrguda vaid külgedele, mis ei pruugi

Eesti kliimas olla piisav. Tagajärjeks võib plaadil olev pinnas veega küllastuda ja rööbastee kohale tekkivad lombid.

6.3.5 Lund roherööbastee

Rootsi linna Lund roherööbaste lahendus (joonis 6.9) sarnaneb Freiburgi lahendusele. Erinevus seisneb armeeritud pikiliiprites. Saksamaa ettevõttelt, kes nõustas Lund lahenduse projekteerimist, saadud info kohaselt ehitati lahendus Lund linnas 2015. aastal. Trammitree on kasutuses 6 aastat ja selle aja jooksul on tee horisontaalsed ja vertikaalsed geomeetriselised hälbed jäänud lubatud tolerantsidesse.



Joonis 6.9 Lund rohetrammitee lahendus [55]

6.4 Roherööbastee pealisehitise valik

Roherööbastee konstruktsiooni valik sõltub trammitee valdaja ja hooldaja nõuetest. Nõuded võivad olla peatükis 4 nimetatud eesmärgid ja alapeatükis 6.1 käsitletud ökoloogiline kasu. Oluline komponent valiku tegemisel on ka konstruktsiooni elutsükli maksumus, mis vajab eraldi uurimist.

TLT trammiteenistuselt saadud info kohaselt on väikeste raadiustega ($R < 200$ m) kõverates rööbaste eluiga 12-15 aastat. Rööbaste vahetus on väga ajamahukas ja kulukas. Sirge trammitee ja suuremate raadiustega kõverate puhul on rööbaste kestvus ca 30 aastat. Suhteliselt sirgel trammiteelõigul Estonia pst – Viru ring on rööpad püsinud tees aastast 1998.

Kopli suunalise trammitee fiiberkiudbetoonist kandekihi dimensioneerinud projekteerija sõnul on alusplaadi eluiga 100 aastat.

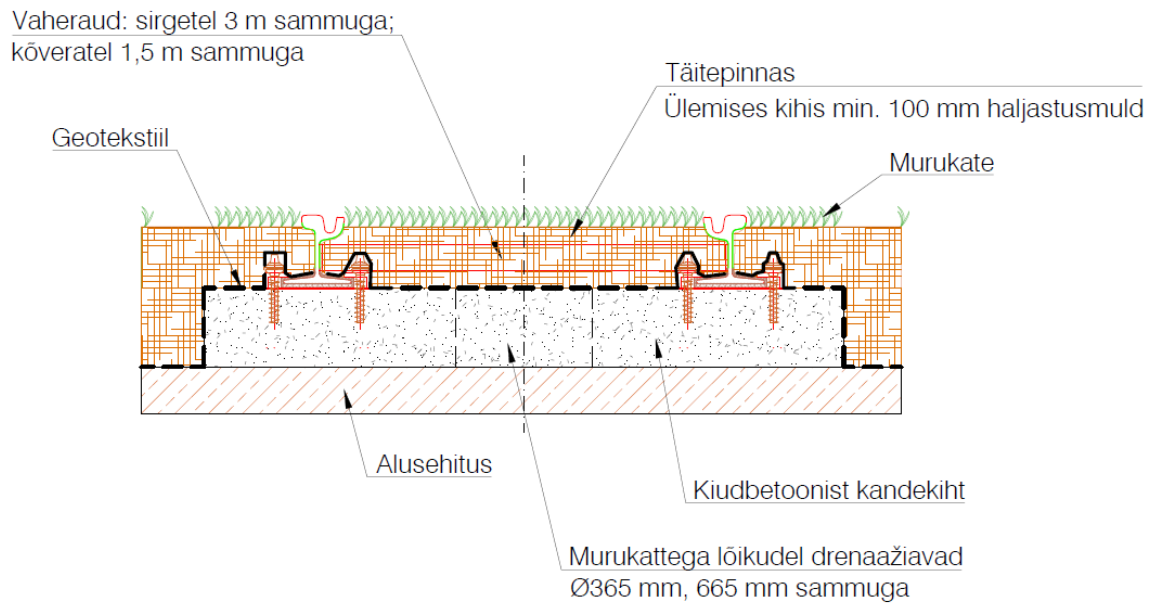
Kahjuks puuduvad erinevate konstruktsioonid puhul kasutuskogemusi analüüsivad uuringud. Autori hinnangul on kõige säästlikum lahendus Freiburgi lahendus, kuna kasutatud on minimaalselt erinevaid elemente. Autor soovib enne Freiburgi lahenduse kasutamist uurida kasutuskogemust Freiburgi trammitee taristu valdajalt.

Ehitamiseks väga mugav lahendus on Rheda City Grün. Teesõrestiku koostamine on teemontöörile ergonomilisem ja kiirem, kuna ei pea vaheraudade kinnitamisel olema kummargil sundasendis. Aluslapiga lahendatud konstruktsioon võimaldab lihtsat rööpa vahetust.

Rohetrammitee projekteerimisel betoonist kandekihiga tuleb arvestada asjaolu, et betoonplaat takistab vee imbumist aluspinnasesse. Õhukese pinnasekihi tõttu betoonplaadil, mis vastab umbes rööpa kõrgusele, on sajuvee sidumine väike. Hoovihmad ja sajuperioodid põhjustavad pinnase liigmärgumise, millega võib kaasned a haljastuse kahjustumine ja veelompide teke.

6.5 Rohetrammitee alternatiivsed lahendused

Autori kontseptsioon Kopli suunalise rohetrammitee pealisehituse lahendusele on esitatud joonisel 6.10, mille puhul tellija kahtles, kas rööpmevahel muru kasvama jääb. Pinnase liigmärgumise riski lahendas autor betoonplaati läbivate avadega rööpmevahe keskel. Avade läbimõõt on 365 mm ja avade samm on 665 mm. Avad täidetakse killustikuga ja kaetakse geotekstiiliga ning järgneb haljastuskihi ehitus.



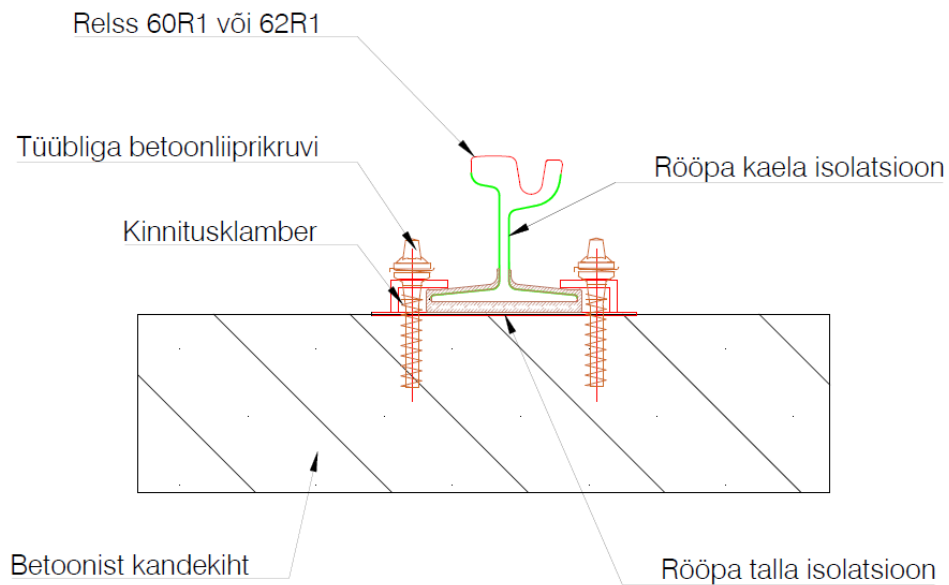
Joonis 6.10 Kopli roherööbastee pealisehitise kontseptsioon [Erakogu]



Joonis 6.11 Kopli rohetrammitee aastal 2021 [Erakogu]

Autori soov oli trammiteel rööpa kinnitus lahendada viisil, et rööbastee demonteerimisel ei peaks rööpa kinnitust läbi lõikama nagu seda tuleb teha ankrupoltide puhul (vt joonis 4.10). Autor lahendas probleemi tüüblitega liiprikruvide kasutamisega (joonis 6.12).

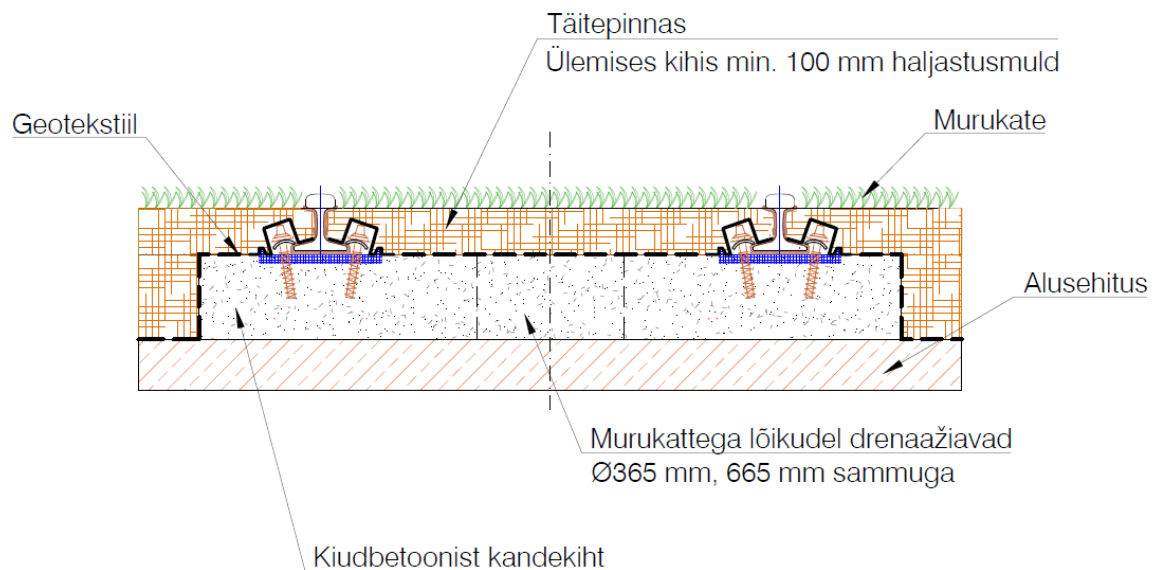
Kinnituse lahendus on taaskasutatav ehk kinnitus on avatav ja taassuletav. Eeldatavasti on võimalik ka rööpa vahetus samal rööpa teljel. Lahendus on töös aastast 2017 ja ehitusgarantii on antud 5. aastale. Siiani on lahendus ennast tõestanud stabiilsena. Esialgne kahtlus, et muru rööpmevahel kuivab ära, osutus asjatuks (vt joonis 6.11).



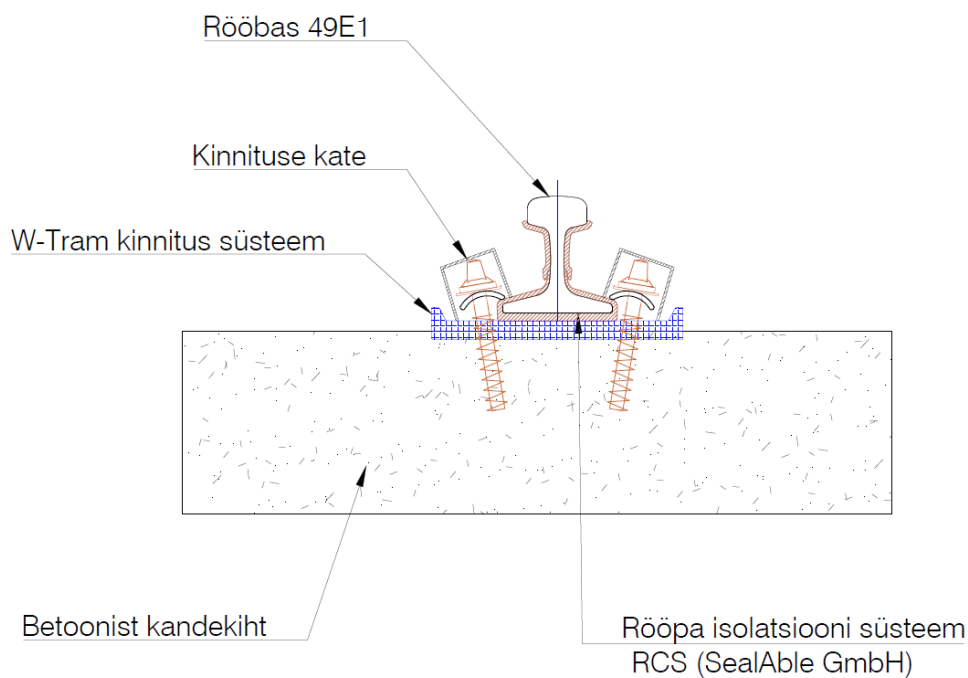
Joonis 6.12 Kopli roherööbastee kinnituse kontseptsioon [Erakogu]

Roherööbastee pealisehituse uue kontseptsioonina (joonis 6.13) pakub Autor välja Fossloh W-Tram kinnitussüsteemi kasutamise avadega alusplaadil ja rööpaprofiiliga 49E1. Betoonaluse eluiga on 100 aastat ja rööbastel lähtuvalt raadiusest 15-30 aastat. Arvestades nimetatud asjaolu, tuleks konstruktsioonis eelistada rööpa kinnitussüsteemi, mis võimaldab lihtsat rööpa vahetust aluskonstruktsiooni kahjustamata. W-Tram kinnitusega on võimalik rööbaste korduv vahetus ja TLT trammiteenistuse nõutud teegeomeetria täpsuse tagamine. Lahendus võimaldab arvestatavat kokkuvõidu peale rööbaste kulumist. Vignole rööpa täiendav eelis on rööpapea väliserva kasutamine veerepinnana kui rööpapea siseserv on lubatud määral kulunud. 49E1 rööpaprofiili kasutamisega jääb ära rööparenni hooldus nagu kirjeldatud alapunktis 4.1.2.

Kinnituse lahendus on esitatud joonisel 6.14.



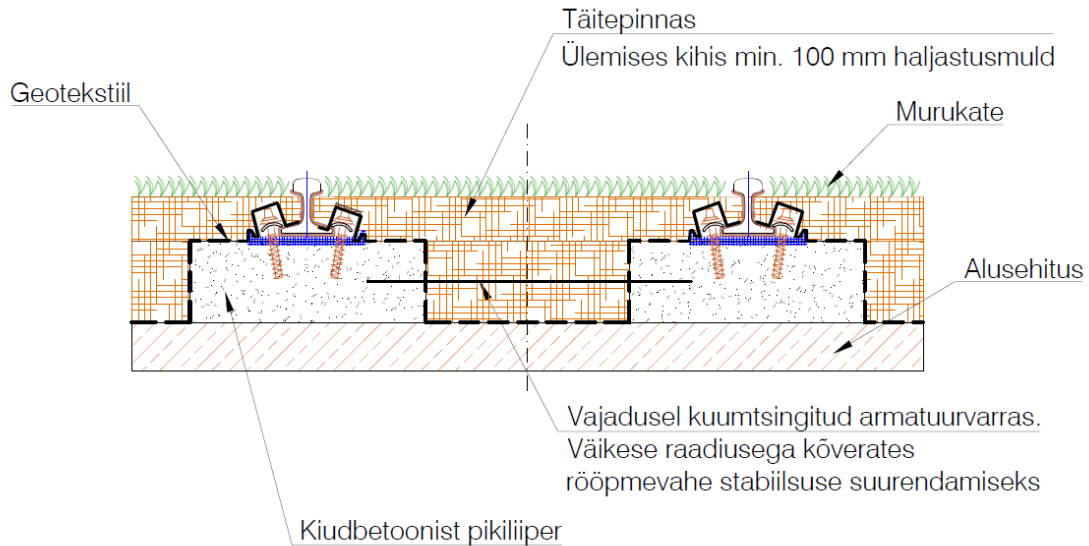
Joonis 6.13 Alternatiivne rohetrampi pealisehitise lahendus W-tram kinnitussüsteemiga [Erakogu]



Joonis 6.14 W-Tram kinnitus betoonist kandekihil [Erakogu]

Joonisel 6.15 on Freiburgi lahendusest inspireeritud alternatiiv rohetrammiteele. Võrreldes joonisega 6.12 on betoonitöö lihtsam, kuna ära jäävad avade rajamisega seotud tööetapid, mis on aeganõudvamad kui armatuurvarda paigaldamine kahe

pikiliipri vahele. Eeldatavasti on mõnevõrra väiksem ka betooni kulu, mida tuleb kontrollida konstruktsiooni tugevus- ja stabiilsusarvutustega.



Joonis 6.15 Alternatiivne rohetrammi pealisehitise lahendus kinnitussüsteemiga W-Tram [Erakogu]

Mõlemad alternatiivsed lahendused on teostatavad ka rennrööpaga. Autor eelistab roherööbastee lahendusena varianti joonisel 6.13, kuna suurema tõenäosusega on tagatud pealisehitise ühtlasem vertikaalne deformatsioon ja seeläbi parem tee stabiilsus. Atraktiivne on ka lahendus joonisel 6.15 oma väiksema betoonikulu tõttu.

Autor peab oluliseks rööpa vahetamise võimalust aluskonstruktsiooni kahjustamata, mis pikendab konstruktsiooni elutsüklit ja mõjutab konstruktsiooni tasuvusanalüüsi, mida tuleks eraldi uurida. Lahendused võimaldavad rööpa keevituste purunemisel lihtsamat tee taastamist. Avadeta alusplaadi korral on lahendus rakendatav ka muu liiklusega koormatud tänavaruumis.

6.6 Roherööbastee indikatiivsed ehitusmaksumused

Antud uuringu raames küsis autor töös käsitletud trammitee pealisehitise lahenduste ehitusmaksumusi raudtee ehitusega tegelevalt ettevõtelt. Indikatiivsed ehitusmaksumused on esitatud tabelis 6.1. Ehitusettevõtte hinnakalkulatsioonid on esitatud lisas 1.

Tabel 6.1 Roherööbastee indikatiivsed ehitusmaksumused

Nr	Konstruksiooni nimi	Ühik	Maksumus
1.	Roherööbastee Bremen rööpaga 60R1	€/km	1 255 780,00
2.	Roherööbastee Freiburg rööpaga 60R1	€/km	1 164 357,00
3.	Roherööbastee raamidega rööpaga 60R1	€/km	1 433 945,00
4.	Roherööbastee Rheda City-G rööpaga 60R1	€/km	1 310 955,00
5.	Roherööbastee alternatiiv (joonis 6.12) rööpaga 60R1	€/km	1 172 472,00
6.	Roherööbastee alternatiiv (joonis 6.13) rööpaga 49E1	€/km	1 156 380,00
7.	Roherööbastee alternatiiv (joonis 6.14) rööpaga 49E1	€/km	1 122 665,00

Esitatud pakkumuse järgi on ehitusmaksumuselt kõige soodsam alternatiiv joonisel 6.14. Rööpa kaalude erinevus mõjutab kaheosalise trammitee 1 km maksumust 56 000,00 € võrra. W-Tram kinnitussüsteemi kasutamine tõstab 1 km hinda 51 200,00 € võrra võrreldes alternatiiviga joonisel 6.12. Parema sisendi optimaalseima konstruktsiooni valikuks annab uuritud lahenduste elutsükli maksumuste analüüs.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida erinevaid trammitee pealisehitise komponente, nende otstarvet ja sobivust roherööbaste lahendustes. Samuti uuriti, millised oleksid alternatiivsed rööpprofiilid Tallinna trammiteedel ja võrreldi roherööbasteede konstruktsioone. Töö eesmärgi saavutamiseks uuriti erinevate materjalide tootjate pakutavaid tooteid ning lahendusi, rööbasteede valdkonna käsiraamatuid ja ka antud teema kohta tehtud uuringuid.

Töö esimeses peatükis uuriti trammiteede projekteerimisega ja ehitamisega seotud normdokumente. Selgus, et kergrööbastranspordi pealisehitise elementide ja lahenduste süsteemide kohta standardid praktiliselt puuduvad. Samas valdkond on kiirelt arenev ja vajaks ühtset standardit, millest lähtuda. Saksamaa Transpordiettevõtete Liidul (*Verband Deutscher Verkehrsunternehmen - VDV*) on mitmeid kergööbasteedega seotud eeskirju, mille baasil oleks võimalik luua kergrööbastranspordi jaoks vajalik standardite süsteem.

Pealisehitise konstruktsiooni elemente uurides selgus, et turul pakutakse trammitee konstruktsioonide jaoks kinnitussüsteeme, mis võimaldavad enne teekatte ehitamist rööbaste ehitusjärgset reguleerimist ja hilisemat rööpavahetust aluskonstruktsioone kahjustamata. Autori hinnangul pikendab eelkirjeldatud võimalus konstruktsiooni elutsükli ja mõjutab konstruktsiooni tasuvusanalüüsi, kuid neid tuleks eraldi uurida.

Tallinna Linnatranspordi AS trammiteenistus kasutab hetkel vaid rennrööpprofiile 60R1 ja 62R1. Rööpprofiilide võrdluse tulemusena selgus, et Tallinna trammiteedel on alternatiivselt kasutatavad rennrööpad 55R1, 59R1 ja vignole rööpad 49E1, 54E1. Vignole rööpaid kasutatakse muu liiklusega koormamata aladel ja rööpapea välisserv on taaskasutatav peale töötava siseserva kulumist lubatud määral. Vignole rööpa rakendamine vähendab teehoolde kulutusi (ei pea puhastama rööparenne). Kergemate rööbaste kasutamine vähendab ka trammitee ehitusmaksumust. Autor soovib kasutada vignole rööpaid muu liiklusega koormamata aladel.

Autori jaoks osutus uueks pealisehitise elemendiks asfaldist kandekiht trammi teesõrestiku all. Asfaldist kandekihi kasutamine võimaldab autori hinnangul ehitusprotsessi rohkem mehhaniseerida ja kiirendada. Kuidas käitub meie kliimas asfaldist kandekihiga pealisehituslahendus vajab täiendavat uurimist ja võimalusel katselõiku.

Uueks elemendiks osutus ka latt-metalliiper, millele on integreeritud rööpa kinnitus ja teesõrestiku reguleerimine nii *top-down* kui ka *bottom-up* ehitustehnoloogiate puhul. Latt-metalliipri korral ei pea kasutama vaheraudasid.

Töö viimases osa uuritud roherööbasteega kaasneb mitmeid positiivseid ökoloogilisi efekte, mida autori hinnangul on oluline teada trammiteede kavandamisel linnaruumi või trammiteede rekonstrueerimise projektide koostamisel. Ökoloogiliseks kasuks on kuumasaartest ja tulvavihmadest tulenevate probleemide leevendamine ning õhusaaste ja müraemissioonide vähendamine urbanistlikus ruumis. Roherööbaste pealisehitise lahendusega on võimalik saavutada rööpast peegelduva veeremüra vähendamist võrreldes ballaströöbasteega kuni -4 dB heli sagedusvahemikus 500-1000 Hz. Kõige suurem heli summutamise efekt, kuni -7 dB, on sagedusvahemikus 2000-4000 Hz. Ballaströöbaste on võrreldes tänaval paikneva plaatrööbasteega oluliselt vaiksem.

Autori hinnangul tuleks uute liinide planeerimisel eelistada roherööbasteed. Lisaks eelnevatele positiivsetele argumentidele on roherööbaste soodsaim konstruktsioon, kuna kasutatav materjalide maht on väiksem. Antud väite kinnitamiseks tuleks teha jooksva meetri ehitusmaksumuse võrdlus ballaströöbasteega. Selle jaoks tuleks teha eraldi analüüs.

SUMMARY

The aim of this thesis was to study several tramway superstructure components, their purpose and suitability for green track solutions. Also, it was undertaken to find out possible alternative track profiles for Tallinn tramways and compare several green track constructions. For this purpose, a number of products and solutions offered by the producers of various materials were analysed in addition to light rail handbooks and topical studies.

The first chapter deals with normative documents pertaining to tram track design and construction. It appeared that standards on elements and solution systems of light rail transportation superstructures is practically non-existent. At the same time, this field is undergoing fast development and needs a uniform standard to rely upon. The Association of German Transport Companies (*Verband Deutscher Verkehrsunternehmen* – VDV) has several rules and regulations pertaining to light rail tracks that could provide a good basis for light rail transportation standards.

The study of superstructure components revealed that the market offers fastening systems that enable post-construction adjustment of tracks before the application of surface course and also track replacement at a later stage without damaging underlying structures. The author finds that this prolongs the life cycle of such structures and impacts their cost-effectiveness, but these should be analysed in another study.

The Tram Service of Tallinn City Transport AS (Tallinna Linnatranspordi AS) currently uses only grooved rails 60R1 and 62R1. An analysis of superstructure elements was conducted, and rail profiles were compared. It turned out that grooved rails 55R1, 59R1 and vignole rails 49E1, 54E1 could be used in Tallinn. Vignole rails are installed exclusive in tram corridors- The field side of rail can be reused after the gauge side of it has been worn out to a maximum extent allowed.

Using Vignole rails decreases rail maintenance costs (no need to clean grooves). The use of lighter rails also lowers tramway construction costs. The author recommends Vignole rails in exclusive tram corridors.

A new superstructure element for the author was asphalt sub-base under tramrails. The author finds that using asphalt sub-base under tramrails enables to accelerate and mechanize construction processes. However, the impact of climatical conditions on

superstructure solutions using such a sub-base need additional analysis combined with tests on a test track if possible.

Another novel element for the author was steel flat bar sleepers that have been integrated with rail fastenings and as such enable to adjust rails when both top-down and bottom-up construction technologies are exploited. There is no need for gauge bars when steel flat bar sleepers are installed.

In the latter part of the thesis the so-called green rails were studied. It should be pointed out that green rails bring about a few positive ecological effects. The author finds that these effects are of vital importance when planning tramways in cities or initiating tramway reconstruction projects.

Among other ecological benefits there are the mitigation of urban heat island (UHI) effect and flooding issues, also the reduction of air pollution and noise emissions in urban areas. Green rail superstructure solutions enable to dampen rail traffic noise by -4dB compared to ballasted tracks within the frequency range of 500-1000 Hz.

The highest noise damping effect up to -7dB remains within the frequency range of 2000-4000 Hz. Ballasted tracks are considerably quieter in comparison to slab tracks in streets. The author considers that green rails should be given preference when planning new tramlines.

In addition to the positive arguments already mentioned, green rail construction costs are lower since the need for materials is not as high. To confirm this claim, a comparison of construction of a running meter of both green rail and ballasted track should be executed. However, this requires a separate analysis.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Kergrööbastranspordi teostatavus- ja tasuvusanalüüs. Lõppraport 2019“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hol.ee/docs/file/KRT%20L%C3%B5ppraport.pdf> [Kasutatud 04.05.2021]
- [2] „Tartu linna kergrööbastranspordi teede määramine ning teostatavus- ja tasuvusanalüüs, 2020“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tartu.ee/et/uurimused/tartu-linna-kergroobastranspordi-teede-maaramine-ning-teostatavus-ja-tasuvusanaluus> [Kasutatud 04.05.2021]
- [3] „Transpordi ja liikuvuse arengukava aastateks 2021-2030,“ Majandus- ja Kommunikatsiooni ministeerium, 2019 [Võrgumaterjal]. Available: <https://eelnoud.valitsus.ee/main#Pp3mopTI> [Kasutatud 05.05.2021]
- [4] „Tallinna 3. ja 4. trammiliini rekonstrueerimise projekt sai valmis“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kik.ee/et/artikkel/tallinna-3-ja-4-trammiliini-rekonstrueerimise-projekt-sai-valmis> [Kasutatud 05.05.2021]
- [5] „Keerukaim ehitus Tallinnas“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://ehitusest.ee/uudis/2018/04/02/keerukaim-ehitus-tallinnas> [Kasutatud 05.05.2021]
- [6] „Tallinna Linnatranspordi AS 2017 majandusaasta aruanne“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tlt.ee/wp-content/uploads/2020/10/TLT-2017-majandusaasta-aruanne.pdf> [Kasutatud 05.05.2021]
- [7] ERR, 2021 „Tallinn töötab välja tulevase suurhaiglani viivat trammiliini“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.err.ee/1608198658/tallinn-tootab-valja-tulevase-suurhaiglani-viivat-trammiliini> [Kasutatud 05.05.2021]
- [8] „Raudteeseadus“, Riigi Teataja, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130102020001?leiaKehtiv> [Kasutatud 05.03.2021]

- [9] „Raudtee tehnikasutuseeskiri“, Riigi Teataja [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/111112020008?leiaKehtiv> [Kasutatud 05.03.2021]
- [10] „Tallinn tramway line defect limitation“ CAF 2013
- [11] „EVS 843:2016“ Linnatänavad
- [12] M. Randlane, Teebrigadiri õpperaamat, Esimene osa, Tallinn: EVR Koehne AS, 2000
- [13] B. Lichtberger, Handbuch Gleis, 2010 Eurailpress
- [14] E. Darr, Werner Fiebig, Feste Fahrbahn, 2006 Eurailpress
- [15] C. Kappis, H. Schreiter, Handbuch Gleisbegünung, 2014 Eurailpress
- [16] P. Pingoud; H. Brändli, Vergleich Schotterloser Oberbau / Schotteroberbau Messungen im Fuchsenwinkeltunnel der RhB, im Furka-Basistunnel der FO sowie im Schwamendingertunnel der VBZ, 1997 Zürich
- [17] Tallinna Linntranspordi AS „Kopli suunalise trammiliini taristu projekteerimine ja rekonstrueerimine. Tellija tingimused“, 2016 Tallinn
- [18] P. Allen, A. Bevan, Determination of Tramway Wheel and Rail Profilest o Minimise Derailment, 2008 Manchester
- [19] ArcelorMittal, Grooved rails for Tramways. Technical manual, 2018 Luxembourg [Võrgumaterjal]. Available: <https://rails.arcelormittal.com/products/tram-rails> [Kasutatud 10.03.2021]
- [20] BritishSteel, Grooved rail brochure, 2017, [Võrgumaterjal]. Available: <https://britishsteel.co.uk/media/40451/grooved-rail-brochure.pdf> [Kasutatud 09.04.2021]
- [21] Delfi „Viru ringil sõitis tramm rööbastelt maha, 1. ja 2. liini trammid sõidavad Vana-Lõunasse“ 2015, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.delfi.ee/artikkel/70582013/fotod-viru-ringil-soitis-tramm->

- roobastelt-maha-1-ja-2-liini-trammid-soidavad-vana-lounasse [Kasutatud 05.05.2021]
- [22] Voestalpine Railway Systems GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.voestalpine.com/railway-systems/de/produkte/schienen/schienenproduktion/> [Kasutatud 14.03.2021]
- [23] Heinrich Krug GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.heinrich-krug.de/oberbau/spurstangen/> [Kasutatud 18.03.2021]
- [24] K. Kokk, Trammide ekspluatatsiooni eeskiri, 1986 Tallinn
- [25] VDV. 2007. Fahrwege der Bahnen im Nah- und Regionalverkehr in Deutschland. Düsseldorf, 2007. ISBN 978-3-87094-674-6.
- [26] Vossloh, System W-Tram, 2015 [Võrgumaterjal]. Available: https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product_11014.php [Kasutatud 21.03.2021]
- [27] F. Auer, Zur Verschleißreduktion von Gleisen in engen Bögen, 2010 Wien doktoritöö
- [28] Pandrol, Nabla Tram, 2019 [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.pandrol.com/?product_type=6074&post_type=resource&s=&search_type=product_type&resource_type\[\]=technical-specification](https://www.pandrol.com/?product_type=6074&post_type=resource&s=&search_type=product_type&resource_type[]=technical-specification) [Kasutatud 21.03.2021]
- [29] Pandrol, SEE SD rail fastenings, 2020 [Võrgumaterjal]. Available: https://www.pandrol.com/?product_type=4566&post_type=resource&resource_type=technical-specification&s=&search_type=resource_type [Kasutatud 21.03.2021]
- [30] AGICO rail clamp [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.rail-fastener.com/adjustable-rail-clamp.html> [Kasutatud 21.03.2021]
- [31] OÜ Geogrupp, Pae tn – Peterburi mnt rekonstrueerimine. Põhiprojekt, 2015 Tallinn

- [32] M. Siranec, M. Regula, A. Otcenasova, J. Altus, "Measurement and Analysis of Stray Currents", Zilina 2019
- [33] Thompson, D., & Jones, C. Noise and vibration from the wheel–rail interface. Wheel–Rail Interface Handbook, 2009 Southampton
- [34] S. Lakušić, M. Ahac, „Rail Traffic noise and vibration mitigation measures in urban areas“, 2012 Zagreb [Võrgumaterjal]. Available: https://www.researchgate.net/publication/260368553_Rail_traffic_noise_and_vibration_mitigation_measures_in_urban_areas [Kasutatud 30.03.2021]
- [35] S. Lakušić, I. Haladin, M. Ahac „ The Effect of Rail Fastening System Modification on Tram Traffic Noise and Vibration, Zagreb 2015
- [36] S. Byrne, „ Euronoise 2018- An assessment of the effectiveness of noise reduction systems on Dublin’s light rail System (Lucas)“, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.euronoise2018.eu/docs/papers/224_Euronoise2018.pdf [Kasutatud 12.04.2021]
- [37] J. Pitin, „Rekonstrukce tramvajové trati Lazarská – Vodičkova – Jindřišská“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/rekonstrukce-tramvajove-trati-lazarska-vodickova-jindrisska/> [Kasutatud 18.04.2021]
- [38] Vigier Rail AG, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.vigier-rail.ch/sites/default/files/2020-04/7.1_B_00_M_Deutsch_08.2016.pdf [Kasutatud 24.03.2021]
- [39] Menius, Reinhard und Matthews, Volker, Bahnbau und Bahninfrastruktur. Wiesbaden, Springer Vieweg, 2020. ISBN 978-3-658-27732-1
- [40] I. Sonberg, Raudtee pealisehituse stabiilsuse tagamine ja rööpmelaius 1435 vs 1520 Euroopas, 2020 Tallinn (magistritöö), [Võrgumaterjal]. Available: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/609f5166-ffbe-4c1e-8841-22f018832c7a> [Kasutatud 25.03.2021]
- [41] Vigier Rail AG, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.vigier-rail.ch/sites/default/files/2020-04/7.2_System_Rheda_City_Deutsch_08.2016.pdf [Kasutatud 25.03.2021]

- [42] Künstler Bahntechnik GmbH, „Flachstalschwelle System Künstler Ruhrklemme“, 2016 Holzwickede
- [43] [Vörgumaterjal]. Available: <https://imhd.sk/ba/galeria-media/2571/V%C3%BDstavba-elektri%C4%8Dkovej-trate-na-petr%C5%BEalskej-strane/137956/Detail-dvojrozchodovej-trate?ref=ba%2Fgaleria%2F2571%2FV%25C3%25BDstavba-elektri%25C4%258Dkovej-trate-na-petr%25C5%25BEalskej-strane%3F%26> [Kasutatud 26.04.2021]
- [44] Künstler Bahntechnik GmbH, Einbauleitung Ruhrklemme auf SBS 180, 2021 Holzwickede
- [45] Kreiburg Strail GmbH & Co. KG, „Strailway the polymer sleeper, 2019 Tittmoning“, [Vörgumaterjal]. Available: https://www.strail.de/wp-content/uploads/2020/01/STRAILway_Brochure_gb.pdf [Kasutatud 27.04.2021]
- [46] [Vörgumaterjal]. Available: <https://blog.ruhrbahn.de/evag-gleiswechselung-millimeterarbeit-fuer-tonnenweise-stahl-teil-2/>
- [48] Edilonsedra, ERS Embedded Rail System (ERS-LR) Rail Fastening for tram, LRT and metoo, 2015, [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.edilonsedra.com/ts-download/edilonsedra-corkelast-ers-lr-embedded-rail-system-light-rail/?download-registration=1> [Kasutatud 29.04.2021]
- [49] Edilonsedra, Sound Damping System SDS, 2015, [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.edilonsedra.com/ts-download/edilonsedra-sds-sound-damping-system/?download-registration=1> [Kasutatud 29.04.2021]
- [50] [Vörgumaterjal]. Available: <https://wien.orf.at/v2/news/stories/2962446/> [Kasutatud 30.05.2021]
- [51] [Vörgumaterjal]. Available: http://www.meyer-strassenbahn.de/vorbild/vorbild_gleisbau.html [Kasutatud 28.04.2021]

- [52] Max Bögle Grop, Ligt Rail Bögl, [Vörgumaterjal]. Available:
<https://pdf.archiexpo.com/pdf/max-boegl/light-rail-boegl/59913-263857.html>
[Kasutatud 28.04.2021]
- [54] RAIL.ONE GmbH, „ATD-G und Rheda City Grün. Die grüne Gleise für den Nahverkehr“, [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.railone.de/produkte-loesungen/nahverkehr/feste-fahrbahn/strassen-stadtbahn/rheda-city-gruen>
- [55] Sweco, Sparvåg Lund, Sparsystem sektsioon B-B, 2014 Malmö

LISAD

Lisa 1. Roherööbasteede indikatiivsed hinnapakkumised ettevõttelt Skinest Ehitus AS



HINNAPAKKUMINE

Täname hinnapäringu eest. Esitame Teile indikatiivse hinnapakumise lähtuvalt Teile hinnapäringust alljärgnevalt:

1. Roherööbaste Bremen - 1255 780,00 €
2. Roherööbaste Freiburg - 1 164 357,00 €
3. Roherööbaste raamidega - 1 433 945,00 €
4. Roherööbaste Rheda City-G - 1 310 955,00 €
5. Alternatiiv (joonis 6.13) - 1 156 380,00 €
6. Alternatiiv (joonis 6.14) - 1 122 665,00 €

Lisad:

Lisa 1 – hinnakalkulatsioon

Märkused:

1. Maksumused on esitatud kahe rajalise tee 1 km kohta;
2. Summadele lisandub käibemaks 20%.

Meeldivale koostööle lootma jäädes.

Lugupidamisega

Andrei Solovjov
Ehitusdirektor
Mob:+372 5300 4267
Tel: +372 621 1944
Faks:+372 621 3194
andrei.solovjov@skinest.ee

AS Skinest Technology
Reg.nr/Reg.code: 10048284
MKMR/VAT: EE100052563
Betooni 30, Tallinn, 13816 Estonia
Telefon: +372 621 1944 | Fax: +372 621 3194
technology@skinest.ee | technology.skinest.ee

Swedbank konto
EE662200001120033367
SWIFT HABAE2X
Luminor Bank konto
EE181700017004538671
SWIFT RIKOEE22

ISO 9001
ISO 14001
ISO 45001
BUREAU VERITAS
Certification



Roherööbaste Bremen hinnaindikatsioon					
Nr.	Nimetus	1 km 2 rajalist trammiteed. Vööndi laius 7,5m.			
		Ühik	maht	Ühikhind	Summa
1	Rööbas 49E1	m	4000	54,00	216 000,00
2	Liiper	tk	3200	66,00	211 200,00
3	Rööpa isolatsioon Strail	jm	4000	47,00	188 000,00
4	Liiprialune vahekumm	tk	6400	7,40	47 360,00
5	Pikiliiprite h=250 betoonitööd	m3	600	220,00	132 000,00
6	Haljastuse rajamine	m2	7500	4,90	36 750,00
7	Geotekstiil	m2	7500	1,40	10 500,00
8	Täitmine ol. oleva materjaliga	m3	2746,56	8,80	24 169,73
9	Killustikalus, 250 mm	m3	1800	34,00	61 200,00
10	Dreenikihi ehitus, 200 mm	m3	1500	19,00	28 500,00
11	Kaeve	m3	6900	9,00	62 100,00
12	Teesõrestiku koostamine ja rihtimine	jm/teed	2000	119,00	238 000,00

Kokku: 1 255 779,73

KM 20%: 251 155,95

Hind km-ga: 1 506 935,67

Roherööbastee Freiburg hinnaindikatsioon					
Nr.	Nimetus	1 km 2 rajalist trammiteed. Vööndi laius 7,5m.			
		Ühik	maht	Ühikhind	Summa
1	Rööbas 60R1	m	4000	67,65	270 600,00
2	kinnitussüsteem	kompl	6400	16,40	104 960,00
3	Vahrauad	kompl	668	19,00	12 692,00
4	Rööpa isolatsioon RCS	jm	4000	38,00	152 000,00
5	Pikiliiprite h=250 betoonitööd	m3	600	220,00	132 000,00
6	Haljastuse rajamine	m2	7500	4,90	36 750,00
7	Geotekstiil	m2	7500	1,40	10 500,00
8	Täitmine ol. oleva materjaliga	m3	2475	8,80	21 780,00
9	Killustikalus, 250 mm	m3	1800	34,00	61 200,00
10	Dreenkihi ehitus, 200 mm	m3	1500	19,00	28 500,00
11	Kaeve	m3	6375	9,00	57 375,00
12	Teesõrestiku koostamine ja rihtimine	jm/teed	2000	138,00	276 000,00

Kokku: 1 164 357,00

KM 20%: 232 871,40

Hind km-ga: 1 397 228,40

Roherööbastee raamidega hinnaindikatsioon					
Nr.	Nimetus	1 km 2 rajalist trammiteed. Vööndi laius 7,5m.			
		Ühik	maht	Ühikhind	Summa
1	Rööbas 60R1	m	4000	67,65	270 600,00
2	Raamid maksumus koos montaažiga (rööpa kinnitus raamil), elemendi pikkus 5m	kompl	400	1366,00	546 400,00
3	Rööpa isolatsioon RCS	jm	4000	38,00	152 000,00
4	Haljastuse rajamine	m2	7500	4,90	36 750,00
5	Geotekstiil	m2	7500	1,40	10 500,00
6	Täitmine ol. oleva materjaliga	m3	2275	8,80	20 020,00
7	Killustikalus, 250 mm	m3	1800	41,00	73 800,00
8	Dreenkihi ehitus, 200 mm	m3	1500	19,00	28 500,00
9	Kaeve	m3	6375	9,00	57 375,00
10	Teesõrestiku koostamine ja ehitusjärgne reguleerimine	jm/teed	2000	119,00	238 000,00

Kokku: 1 433 945,00

KM 20%: 286 789,00

Hind km-ga: 1 720 734,00

Roherööbastee Rheda City-G hinnaindikatsioon					
Nr.	Nimetus	1 km 2 rajalist trammiteed. Vööndi laius 7,5m.			
		Ühik	maht	Ühikhind	Summa
1	Rööbas 60R1	m	4000	67,65	270 600,00
2	Liiper kinitusega	tk	3200	75,00	240 000,00
3	Rööpa isolatsioon RCS	jm	4000	38,00	152 000,00
4	Liiprite betoneerimine	m3	1000	200,00	200 000,00
5	Haljastuse rajamine	m2	7500	4,90	36 750,00
6	Geotekstiil	m2	7500	1,40	10 500,00
7	Täitmine ol. oleva materjaliga	m3	1821,56	8,80	16 029,73
8	Killustikalus, 250 mm	m3	1800	34,00	61 200,00
9	Dreenkihi ehitus, 200 mm	m3	1500	19,00	28 500,00
10	Kaeve	m3	6375	9,00	57 375,00
11	Teesõrestiku koostamine ja rihtimine	jm/teed	2000	119,00	238 000,00

Kokku: 1 310 954,73

KM 20%: 262 190,95

Hind km-ga: 1 573 145,67

Roherööbastee alternatiiv (joonis 6.12) hinnaindikatsioon					
Nr.	Nimetus	1 km 2 rajalist trammiteed. Vööndi laius 7,5m.			
		Ühik	maht	Ühikhind	Summa
1	Rööbas 60R1	m	4000	67,65	270 600,00
2	kinnitussüsteem W-Tram	kompl	6400	16,40	104 960,00
3	Vaheraud	kompl	668	19,00	12 692,00
4	Rööpa isolatsioon RCS	jm	4000	38,00	152 000,00
5	Pikiliiprite h=250 betoonitööd	m3	771	220,00	169 620,00
6	Haljastuse rajamine	m2	7500	4,90	36 750,00
7	Geotekstiil	m2	7500	1,40	10 500,00
8	Täitmine ol. oleva materjaliga	m3	2304	8,80	20 275,20
9	Killustikalus, 250 mm	m3	1800	34,00	61 200,00
10	Dreenkihi ehitus, 200 mm	m3	1500	19,00	28 500,00
11	Kaeve	m3	6375	9,00	57 375,00
12	Teesõrestiku koostamine ja rihtimine	jm/teed	2000	124,00	248 000,00

Kokku: 1 172 472,20

KM 20%: 234 494,44

Hind km-ga: 1 406 966,64

Roherööbastee alternatiiv (joonis 6.13) hinnaindikatsioon					
Nr.	Nimetus	1 km 2 rajalist trammiteed. Vööndi laius 7,5m.			
		Ühik	maht	Ühikhind	Summa
1	Rööbas 49E1	m	4000	54,00	216 000,00
2	kinnitussüsteem W-Tram	kompl	6400	24,40	156 160,00
3	Rööpa isolatsioon RCS	jm	4000	38,00	152 000,00
4	Pikiliiprite h=250 betoonitööd	m3	771	220,00	169 620,00
5	Haljastuse rajamine	m2	7500	4,90	36 750,00
6	Geotekstiil	m2	7500	1,40	10 500,00
7	Täitmine ol. oleva materjaliga	m3	2304	8,80	20 275,20
8	Killustikalus, 250 mm	m3	1800	34,00	61 200,00
9	Dreenikihi ehitus, 200 mm	m3	1500	19,00	28 500,00
10	Kaeve	m3	6375	9,00	57 375,00
11	Teesõrestiku koostamine ja rihtimine	jm/teed	2000	124,00	248 000,00

Kokku: 1 156 380,20

KM 20%: 231 276,04

Hind km-ga: 1 387 656,24

Roherööbastee alternatiiv (joonis 6.14) hinnaindikatsioon					
Nr.	Nimetus	1 km 2 rajalist trammiteed. Vööndi laius 7,5m.			
		Ühik	maht	Ühikhind	Summa
1	Rööbas 49E1	m	4000	54,00	216 000,00
2	kinnitussüsteem W-Tram	kompl	6400	24,40	156 160,00
3	Rööpa isolatsioon RCS	jm	4000	38,00	152 000,00
4	Pikiliiprite h=250 betoonitööd	m3	600	224,00	134 400,00
5	Haljastuse rajamine	m2	7500	4,90	36 750,00
6	Geotekstiil	m2	7500	1,40	10 500,00
7	Täitmine ol. oleva materjaliga	m3	2475	8,80	21 780,00
8	Killustikalus, 250 mm	m3	1800	34,00	61 200,00
9	Dreenikihi ehitus, 200 mm	m3	1500	19,00	28 500,00
10	Kaeve	m3	6375	9,00	57 375,00
11	Teesõrestiku koostamine ja rihtimine	jm/teed	2000	124,00	248 000,00

Kokku: 1 122 665,00

KM 20%: 224 533,00

Hind km-ga: 1 347 198,00