



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT

MANDRI JA HIIUMAA PÜSIÜHENDUSE RAJAMISE VÕIMALUSED

POSSIBILITIES OF ESTABLISHING A PERMANENT CONNECTION WITH THE MAINLAND AND HIIUMAA

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jelena Šaton

Üliõpilaskood: 211758EAXM

Juhendaja: Juhan Idnurm

Tallinn, 2023

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.

19.05.2023

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

**Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele
kättesaadavakstegemiseks**

Mina, Jelena Šaton, (sünnikuupäev: 14.12.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Mandri ja Hiiumaa püsiühenduse rajamise võimalused

mille juhendaja on Juhan Idnurm,

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.

19.05.2023

TalTech
Ehituse ja arhitektuuri instituut
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Jelena Šaton, 211758EAXM

Õppekava, peeriala: EAXM15/18 - Hooned ja rajatised, teede- ja sillaehitus

Juhendaja: Professor, Juhan Idnurm

Lõputöö teema:

Mandri ja Hiiumaa püsiühenduse rajamise võimalused

Possibilities of establishing a permanent connection with the mainland
and Hiiumaa

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hiiumaa püsiühenduse põhiparameetrite valik
2. Trassilahenduse valik ja ettepanekud konstruktsiooniks
3. Valitud lahenduse põhimahtude leidmine ja eeldatava maksumuse määramine.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Informatsiooni kogumine.	30.01.2023
2.	Hiiumaa püsiühenduse trassi valik.	10.02.2023
3.	Silla konstruktsiooni lähtekriteeriumite valik.	21.03.2023
4.	Põhikonstruktsioonide arvutus.	27.04.2023
5.	Materjalide ja maksumuse mahtude arvutamine.	18.05.2023

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 19.05.2023

Üliõpilane: Jelena Šaton19.05.2023
/allkiri/

Juhendaja: Juhan Idnurm.....22.05.2023
/allkiri/

Programmijuht: Mihkel Kask.....22.05.2023
/allkiri/

SISUKORD

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE.....	4
SISUKORD	5
1. SISSEJUHATUS	7
1.1. Töö eesmärk.....	7
1.2. Mandri ja Hiiumaa püsiühenduse lühikirjeldus	8
1.3. Teetrassi valik.....	8
2. HIIUMAA SAAR ÜLDINE INFO	11
2.1. Ajalugu	12
2.2. Majanduslik olukord.....	13
2.3. Hiiumaa saar, kui Eesti strateegiline objekt.....	17
2.4. Hiiumaa arenguvõimalused	17
3. MAAILMA JA EUROOPA PIKIMAD MERESILLAD.....	18
3.1. Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge	18
3.2. Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah Causeway	18
3.3. Hangzhou Bay Bridge.....	20
3.4. Donghai Bridge	21
3.5. Second Penang Bridge	22
3.6. Lake Pontchartrain Causeway Bridge.....	23
3.7. Vasco da Gama Bridge – Euroopa Liidu pikim sild	24
3.8. Öresund Bridge	25
3.9. Great Belt Bridge.....	26
4. HIIUMAA SILLA PÕHIPARAMEETRITE VALIK	28
4.1. Lähtekriteeriumid	28
4.2. Tee ristprofiil sillal	28
5. Trassi põhilahendus	31
5.1. Sõidutee koormused sillal.....	31
5.2. Raudtee koormused sillal.....	38

5.3.	Põiktalad sõrestike vahel	43
5.3.1.	Ülemine põiktala	43
5.3.2.	Alumine põiktala	45
5.3.3.	Põiktalade arvutustulemuste kokkuvõte.....	47
5.4.	Teetrassi sõrestiku tüüplahendus.....	47
5.5.	Sõrestiksilla põhisamba lahendus	49
5.6.	Laevatatava ava sildamine.....	49
6.	Materjalide mahtude kokkuvõte	51
	KOKKUVÕTE	53
	SUMMARY.....	54
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	55

1. SISSEJUHATUS

1.1. Töö eesmärk

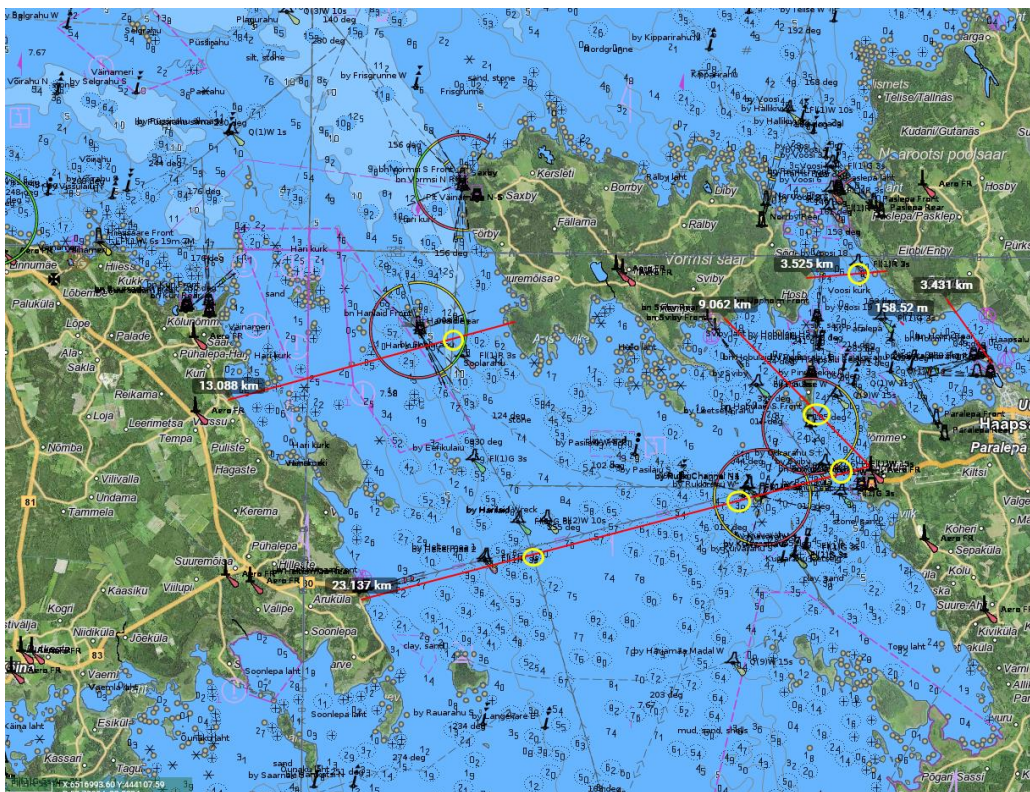
Käesoleva lõputöö eesmärgiks on uurida püsiühenduse rajamise võimalust Mandri-Eesti ja Hiiumaa vahel, kasutades selleks erinevaid sillalahendusi. Hiiumaa on suuruselt teine Eesti saar ja püsiühenduse loomine sellega oleks majanduslikult ning turismi seisukohast atraktiivne. Eestil pole püsiühendust mandri ja suuremate saarte vahel, käesolevaks ajaks on uuritud ühenduse rajamise võimalust mandri ja Muhu saare vahel. Hiiumaa ühendus oleks aga ka perspektiivne. Hetkel toimub liiklus parvlaevadega, mis käivad ainult iga 1,5 – 6 tundi tagant sõltuvalt kella ja aastaajast. Vahemaa mida tuleb läbida, et Hiiumaale pääseda on umbes 23-24 km. Hiiumaal elab 9557 inimest (1. mai 2021a seisuga). [1]

Saarel asub palju erinevaid tööstusettevõtteid, mille paremaks teenindamiseks oleks vaja tagada stabiilne ühendus mandri-Eestiga. Transporti on vaja nii tootmiseks, kui ka valmiskaupade vedamiseks, tulevikus võib transpordimaht olla nii suur, et oleks vajalik ka raudteeühendus. Kiire raudteeühendus arendaks ka turismi, sest Hiiumaa on looduslikult kaunis ja atraktiivne saar. Praegu parvlaevadega liikumine toob palju miinuseid nagu probleem ajagraafikuga, ei jõuta saarele või mandrile õigeaegselt ja jäädakse saarele, sest parvlaevad lõpetavad sõitmise umbes kell 22.00. Parvlaevad on suvel ülekoormatud ja talve perioodil tühjad. Parvlaevad nõuavad tehnilist remondi ja kasutavad kütust, mis põhjustab ökoloogilist keskkonnakahju ning kahjustab ookeani ja mere mikrofloorat. Kuna Hiiumaal puudub sünnitusmaja, siis ootamatute tervisemurede korral on neid keerulisem lahendada, kui mandril. Hiiumaa püsiühendus oleks üks maailma pikimatest omalaadsetest lahendustest. Hetkel on kõige pikem sild Ida-Hiinas, Nanjingi ja Shanghai vahel - kiirrongi raudtee sild. Selle pikkus on ~165 km, lühemad ühendused üle mere on tavapärased. Hiiumaa ühenduse rajamiseks on ka soodsad ehitustingimused, sest piirkonnas ei ole meri väga sügav. Selliseid riigi infrastruktuuri parandused toovad ka riigile uute turistide ja inseneride käimist selles riigis, kus asub oluline konstruktsioon maailma vaates. Võimalik on luua Eestis midagi uut ja maailmamutuivat. Lisaks on tänapäeval Eesti sisekaitse strateegiline infrastruktuur tähtis teema, mida peab arendama ja selleks on vaja kaasata uusi ideid. Ühendus annab võimaluse vabalt pääseda Hiiumaale, kuna trass on kogu aeg avatud liiklejale võrreldes parvlaeva ühendusega. Praeguse lahenduse juures on tulnud ette ka olukordi, kus Hiiumaad teenindavad laevad viiakse Saaremaa liinile, kui viimane on olnud ülekoormatud. Käesoleva lõputöö raames on välja toodud ka Hiiumaa saare ajalugu, arenguvõimalused, majanduslik olukord, uue teetrassi variandid, valitud trassi põhilahendus koos põhilise konstruktsiooni esmaste arvutusega ja ka sellise variandi mahtude ja maksumuse esialgne kalkulatsioon.

1.2. Mandri ja Hiiumaa püsiühenduse lühikirjeldus

Mandri ja Hiiumaa püsiühenduse rajamiseks on mitu erinevat trassi lahendust. Plaanitav konstruktsioon mere kohal võiks koosneda tala või sõrestiklahendusega ~ 100 m sildavaga sildadest ning laevatatavas osas vant- ripp-, kaar- või konsoolsillast. Haapsalust, Rohuküla sadamast parvlaevaga peab läbima 23 km, et jõuda Heltermaa sadamasse, Hiiumaa saarele, mille läbimiseks kulub 1 tund ja 15 minutit. Püsiühenduse korral läbitaks see 23 km 15 kuni 20 minutiga. Mandri ja Hiiumaa vahel võib rajada püsiühendust ka läbi Vormsi saare, mis võimaldab püsiühendust juba kahele Eesti saarele. 23 km on pikk maa aga tänased tehnoloogilised võimalused lubavad rajada suurte sildeavadega silla konstruktsioone. Lisaks sellele võib tulevikus rajada püsiühenduse ka Hiiumaa ja Saaremaa vahele Soela Väinas pikkusega umbes kuus km. Püsiühendus tuleb projekteerida merepinnast piisavalt kõrgele, et oleks tagatud ka mõistlik laevatatav gabariit veesõidukitele. Sellise pika konstruktsiooni rajamine nõuab erilist tähelepanu ohutuse mõttes nii autotranspordile, kui ka merel liikujatele.

1.3. Teetrassi valik



Kaart 1 - Eesti kaart

Lõputöö käigus valiti välja 3 alternatiivset teetrassi, millest esimene oli sarnane praegusele parvlaeva ühendusele, ühendades Rohuküla ja Heltermaa; teine trass koosnes kahest lõigust, millest esimene ühendas Rohuküla Vormsi saarega ja teine ühendas Vormsi ja Hiiumaa Heltermaa küla juures; kolmas trass koosnes kolmest lõigust, millest esimene ühendas Haapsalu linna Noarootsi poolsaarega, teine lõik

ühendas Noarootsi Vormsi saarega ning kolmas lõik Vormsilt Hiiumaale.

Esimese lõigu korral on teetrass üle vee kõige pikem, ca 23-24 km. Praeguste laevatatavate kanalite puhul tuleks sillale rajada 3 kõrgemat osa, mille alt toimuks meretransport. Silla saaks rajada põhiosas jätkuvtalastikuna, laevatatavate kanalite osas tuleb kasutada pikemaid sildeavasid, mis on lahendatavad, kas ripp-, vant- või kaarsillana. Teetrassi eeliseks on see, et kuna planeeritakse rongiühendust kuni Rohuküla sadamani, sellisel juhul saab silla rajada nii auto, kui ka rongi liikluseks, ilma mandril täiendavaid raudteetrasse ehitamata. Teise variandi korral oleks eeliseks, et transpordiga ühendatakse ka Vormsi saar. Sellisel juhul jääb trassile 2 laevatatavat kanalit. Mere peal oleva lõigu kogupikkuseks tuleks ca 22 km. Antud lahenduse korral võiks kaaluda ka mujal maailmas kasutatud lahendusi, kus osa trassi rajatakse sillana ja üle jäänud osa tunnelina. Osaliselt tunnelina rajamise põhjenduseks oleks see, et kõrgete sillaosade arvu saaks vähendada suunates liikluse laevatatavate kanalite alt läbi. Tunnelit saaks kasutada ka esimese variandi korral, kuid siis tuleks mere keskel rajada tehissaar. Lahenduse puuduseks on see, et Vormsil oleks vaja ehitada maismaa trass ja ühenduse kogupikkus oleks suurem, kui esimese variandi puhul.

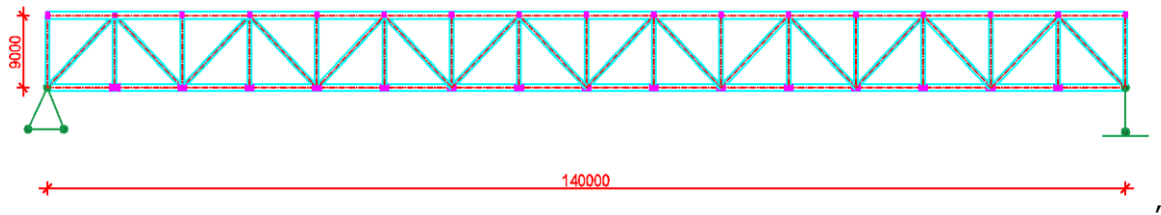
Kolmanda variandi korral oleks transpordi seiskohalt eeliseks see, et tagatakse ka oluliselt vajalik ühendus Haapsalu ja Noarootsi vahel, kuid samas oleks autoliiklus sarnaselt teisele variandile pikem. Merepealsete osade kogupikkuseks oleks sel juhul ca 20 km. Kolmanda variandi korral võiks olla sarnaselt teisele variandile osa ühendusest rajatud tunnelina, näiteks Noarootsi ja Vormsi saare vahele. Ka kolmanda variandi korral on vajalik ehitada täiendavaid teetrasse nii Noarootsisse, kuid ka Vormsi saarele, lisaks tuleb teha muudatusi Haapsalu liikluskorralduses.

Autor valis esimese variandi, otseühenduse Rohukülalt Heltermaa sadama piirkonda. Valik on põhjustatud sellest, et püsiühenduse kogupikkus on kõige lühem. Sillal on võimalik rajada nii raudtee, kui ka autotee mandrilt ja Hiiumaa saarele. Laevatatav gabariit tuleb veesõidukitele tagada kohtades, mis on kaardi peal tähistatud kollase ringiga. Võimalikud variandid oleks kõik need piirkonnad lahendada pikema avaga sillaga või siis esimese kahe ristumise korral viia liiklus tunnelisse ja viimane riste teha sillana. Kõige olulisem ristumine on üle Vormsi ja Hiiumaa vahelise laevatee, kus tuleks tagada piisav laius. Teiste ristumiste korral peaks olema tagatud kõrgus, et silla alt pääseksid läbi kõrged laevad nagu purjejahid, kuid ava laius ei ole väga oluline.

Konstruksioonilahendusena on silla puhul on valitud variant, kus konstruktsioon rajatakse kahetasandilisena, millest ülemisel sillatekil oleks autotransport ja alumisel sillatekil oleks raudteetransport. Praegu planeeritakse juba raudteeühendust Rohukülla, Hiiumaa ühendus oleks selle edasiarendus. Sellise pika ühenduse peale oleks kindlasti vaja planeerida hooldusalad ja sillal võiks olla ka puhke ja vaateplatvormid.

Kahetasandilise lahenduse jaoks, oleks vastavalt välja kujunenud praktikale parimaks

lahenduseks sõrestik. Käesolevas töös on kasutatud just seda lahendust. Sõrestiku kõrguseks on valitud 9 meetrit ja ühe sillaava pikkuseks on valitud 140 m.



Joonis 1 - Planeeritav põhikonstruktsioon

Töös on optimistlikult valitud lahendus, kus silla sõiduteel on 2+2 liiklus ja all raudtee 1+1 variant. Silla puhul saaks kaaluda ka 1+1 autoteed ja sillal üht rööpmepaari, selline lahendus oleks materjali kulu poolest palju väiksem, kuid pole kindlust, kas selline lahendus katab tulevikuvajadused.

2. HIIUMAA SAAR ÜLDINE INFO

Eestis on palju eri suurusega meresaari, millest Hiiumaa saar on üks uhkemaid. Hiiumaast suurem on vaid Saaremaa saar. Hiiumaa saarel on kaunis loodus, vaikus ning saab nautida looduses erilist puhkust. [2]

Transport saarele toimub parvlaevaga (Tiiu, Leiger, Soela) või lennukiga. Hiiumaa saarel on võimalik kasutada ühistransporti (bussid – kohalikud liinid, kaugliinid, turistibussid), väikelaevu, taksot ja rendiautot. Parvlaeva ühendus toimub mandrilt Rohuküla sadama ja Hiiumaal Heltermaa sadama vahel. Täispileti inimesele maksab 4,85 eurot (üks suund) ja sõiduautoga lisandub veel 14,30 eurot. Lisaks on võimalik juurdepääs ka Saaremaa Triigi sadamast Hiiumaa Sõru sadamasse, kus täispilet maksab 3 eurot ning sõiduauto hind oleks 8,40 eurot, veoauto korral 20 eurot (üks suund). [3]

Parvlaev käib Rohuküla (Eesti mandrilt) – Heltermaa (Hiiumaa saarele) iga 1,5-6 tundi tagant, sõltuvalt sõidugraafikust. Talvel on parvlaevagraafik hõredam aga suvel muutub tihedamaks. Suvel tekib tihti ka ülekoormus, mille tagajärjel peab Transpordiamet korraldama lisareise. Lennureis Tallinnast Kärdlasse Hiiumaa saarele kestab 30 minutit, millele lisandub ooteaeg eelnevalt lennujaamas kuni 1,5 tundi. Lisaks on võimalus Hiiumaale sõita väikelaevadega aga see on ajakulukam ning võib sisaldada ohtlikke olukordi inimeste tervisele. Lisaks Heltermaa ja Sõru sadamale on Hiiumaal mitmeid väikesadamaid nagu Kärdla, Orjaku, Kalana, Roograhu sadam ja suurematest sadamatest veel Lehtma sadam. Lisaks on Hiiumaal mitmeid matkaautode puhkealasi, näiteks Kärdla sadamas, Sõru sadamas ja Orjaku sadamas. [3]



Foto 1 – Hiiumaa saar [30]

2.1. Ajalugu

Hiiumaad nimetatakse skandinaavia keeles „Dagö“. Dagö tähendab päeva saart. Hiiumaa tekkis 455 miljoni aasta eest, kui praeguse Kärkla linna juures tekkis meteoriidiplahvatus, mille tagajärjeks oli 10 km läbimõõduga rõngassaarestik. Selle järgi võib Hiiumaad lugeda üheks maailma vanimaks saareks. Inimesed jõudsid Hiiumaale alles 7000 aastat tagasi. Muinasajal käisid inimesed Hiiumaa saarel ainult olude sunnil vaid hooajaliselt. Hülgekütid olid esimesed põlluasunikud, kes asusid püsivalt saarele elama. Põllupidamise ajalugu algab 11.-12. sajandist. 1228. aastal ühendati Hiiumaa saare piiskopkonnaga, mida juhtis piiskop Gottfried. Piiskopkond presenteeris Hiiumaad selle läänini osisena, kui tühja saart ehk Dageida. 14 sajandil tekkis Hiiumaa põhjaossa Rootsi asustus. 1628. aastal rajati Hütile Eesti esimene klaasikoda. Põhja sõjakäigus Hiiumaa saar läks Rootsilt Vene impeeriumi koosseisu. [4] [36]

1782. aastal rajatakse Reigi karjamõisa aastas 200 000 tellist põletav tellisetehas. 1793. aastal hakkas tööle mütsivabrik nimega „Hutfabrik“. 1829. aastal rajati Hiiumaal Kärkla kalevivabrik, mis oli saare olulisim tööstusettevõtte Teise maailmasõjani. Peeter Suure merekindluse eelpositsiooni hakati rajama Esimese maailmasõja eelsel ajal. 1848. aastal Suursadamas ehitati purjelaev „Hioma“, mis esimese Eesti laevana ületas ekvaatori ning sõitis ümber „Hoorni neeme“. 1911. aastal kerkis Kõrgessaarde Eesti esimene kunstiindivabrik („Viscosa“). 1913. aastal jõudis elekter Hiiumaale ning Kärklas näidati kino. 1924. aastal oli avatud esimene bussiliin. 1937. aastal alustas tegevust turbatööstus. 1939. aastal algas nõukogude sõjabaaside ehitus. 1961. aastal Kõrgessaares alustas tööd kalatehas. [4] [36]

1917-1918. aastatel oli saksa okupatsioon. Peale saksa okupatsiooni vägede lahkumist 1918. aastal sügisel läks võim saarel Eesti Vabariigi kätte. 1939. aastal hakati Hiiumaale rajama NSVL sõjaväebaase, mis muutis saare riigi sisekaitse strateegiliseks objektiks. Teise maailmasõja tulemusena läks Hiiumaa NSVL koosseisu, kuhu jäi Eesti taasiseseisvumiseni 1991. aastal. 1993. aastal lahkusid Hiiumaa saarelt viimased nõukogude väeosad. [4] [36]

Tähtis on ka rääkida Hiiumaa kalalaevastiku kohta. Olemas on Hiiu Kaluri lugu, mis on seotud Eesti kalatööstusettevõttega. Hiiu Kalur oli kõige aegade suurim ettevõtte Hiiumaa saarel, mille töötajate arv 1980. aastal oli 1394 inimest. Neil olid omad sadamaid, automajandit, kalakombinaat, kapitaalehituse osakond, samas ka oma kultuuri- ja spordiosakond. Talvisel ajal olid halvad jääolud aga Moskva ülemust see ei huvitanud, seetõttu rajati toodangu ja tarnimiseks jäätee. Puulaiu puhkebaas oli tuntum koht nõukogulike äritehingute sõlmimiseks. Hiiu Kaluri ookeanipüügi sissetulek võiks olla mitu korda kõrgem, kui hiidlastel. Kalurikolhoos Hiiu Kalur oli seotud nõukogude repressiivmajandusega. 1949. aasta märtsiküüditamisel tekkisid Hiiumaal kuus esimest

kalurikolhoosi. ENSV ajastu lõpuks Hiiu Kalurist moodustus 14 äriühinguga kontsern. Nüüdseks aga on AS Hiiu Kaluri laevastik on optimeerinud viie aluseni, jätkab tegevust vaid Suusadama remondibaas aga kohalikud rannapüügid läksid varade jagamise käigus eraettevõttele. [29]

1996. aastal registreeriti Hiiu maakonna lipp ja vapp Riigikantseleis. 2017. aastal toimus Eestis omavalitsuste haldusreform, mille käigus ühinesid 4 Hiiumaa valda, moodustades Hiiumaa valla. [4] [36]

2.2. Majanduslik olukord

Hiiumaa saare majandusliku olukorra kohta võib välja tuua, et suvisel perioodil tööd ja liikumist saarel on rohkem ja talvel vähem.

Allpool on toodud väljavõtted aruandest „Hiiumaa majandusliku potentsiaali uuring“, mis on loodud Tartu Ülikoolis, 2022 aastal. Uuringu käigus oli leitud erinevaid Hiiumaa (loodus)ressursse, maakonna ettevõtluskeskkonda ja tehti ettepanekuid majandusvaldkondade ja regiooni arendamiseks. Uuringus oli käsitletud tootmine ja eksport (tööstus- ja teenindusvaldkondade võimalused ja takistused), investeringud (soodustamine ja arendamine läbi kohaliku omavalitsuse ja tugistruktuure), ettevõtlust toetavad tugistruktuurid ja ettevõtluskeskkond (ettevõtluse tugisüsteemi jätkusuutlikkus ja majanduse struktuuri ning leitud millised on edukamad majandusharud, tööturгу muutus. Tähtsam osa sellest on uuritud, kuidas arenevad ühendused mandriga ja Hiiumaa saarega ning kauba transportimise võimalused. [5]

Hiiu maakonna SKP turuhindades oli 2020. aastal 75,62 miljonit eurot, mis moodustab riigi SKP-st 3%. Elaniku kohta oli Hiiu maakonnas SKP 8 072 eurot, mis moodustas Eesti keskmisest 40%. [5]

Uuringus on ka toodud Hiiumaa valla arengukava 2035+, kus on kirjas, et 2020. aastast Hiiumaa rahvaarv on pidevalt vähenenud. 2035. aastaks arengukavas on öeldud, et Hiiumaal elanike arv langeb alla 8600 elaniku. 2045. aastaks prognoositud Hiiumaal umbes 7700 elanikku ehk võrreldes 2020. aasta väheneb rahvaarv 2045. aastaks 17,8% võrra. Sellest tuleneb ka ülevaatus tarbijate ja töötajate vähesuse kohta. Rahvastikuproгноosi vanuserühmade järgi on näha, et 2035. aastaks on kõige rohkem vähenenud 25-29, 30-34 ja 35-39 aastaste osakaal. Nooremad töötajad sõidavad ära Hiiumaalt. Aga vanemaliste (70+) osakaal suureneb, mis kaasa toob kaasa rohkem probleeme mitte arenguvõimalusi ja lisab kohaliku omavalitsusele tööd. Hiiumaa töötajad moodustasid Eesti hõivatutest 2021. aastal 0,8% ehk Hiiumaa töötajad moodustavad kogu Eesti tööjõust väga väikese osa, mis ei aita kaasa arengule. Kõrghariduse, magistri- ja doktorikraadi Hiiumaa elanikest moodustasid ainult 30%, mis tähendab, et Hiiumaa saarel on vähem kõrgharidusega tööjõudu võrreldes kogu Eestiga. Sellest tuleneb, et Hiiumaa keskmine brutokuupalk olnud väiksem, kui Eestis tervikuna. Hiiumaa valla pindala on 102 353 hektarit. Hiiumaa maast moodustab 89%

maatulundusmaa ehk põllumajandussaaduste tootmiseks või metsakasvatuseks, millel on metsa- või põllumajanduslik potentsiaal. Kaitsealune maa moodustab 6% ja elamumaa 3% ning transpordimaa 1%. Ülejäänud Hiiumaa saare maa moodustab 1% sihtotstarvete järgi jagunenud maaks. Maatulundusmaa ja põllumaa on väga piiratud ressursid aga Hiiumaal aastate jooksul on hästi hoitud. Kaks kolmandikku Hiiumaast moodustab metsmaa ja haritav maa on 14% ning muu maa on 11%. Eestis metsmaa pindala osakaal maakonna pindalast on kõige suurem Hiiumaal 68,5%. Põllumajandusmaa müügihind on kogu Eesti hinnatasemest 800-1600 eurot madalam Hiiumaal ning vähenesid korteriomandite ostu-müügi tehingud Hiiuma maakonnas. Kui rääkida põllumajanduse kohta Hiiumaal aastatel 2016-2021, siis munatoodang on langenud 84%, aga samas teraviljasaak on suurenenud 2,8 korda, piimatoodang 2,6 korda ja kartulisaak 2,5 korda, peaaegu kaks korda võrra on kasvanud ka lihatoodang. Hiiumaa arengukavas on toodud, et põllumajandusmaast kasvab aastaks 2022 mahemaa osakaal 10% võrra suuremaks. Aga võrreldes 2021. a andmeid 2020. a andmetega, siis on Hiiumaa mahemaa osakaal kasvanud 13%, mis tähendab positiivset tulemust arengu mõttes. Mahemaa pindalast moodustab püsirohumaat, mille pindalast omakorda üle kahe kolmandiku moodustavad rohttaimed. Suurema osakaaluga on Hiiumaal veel mahedad viljapuu- ja astelpajuaiad ning karjatamine väljaspool põllumajandusmaad. Hiiumaal kasvatatavate loomade hulka kuulub üle kolmveerandi maheveised ning nad moodustavad loomarühmi nagu noorveised (6-24 kuud) 24%, ammlehmade osakaal on 23%, vasikad (0-6 kuud) 21% ja noorveised üle kahe aasta moodustavad 18%. Hiiumaa sigade arv on langenud peale Hiiumaa sigala sulgemist 2009 aastal ja see on püsinud tänaseni. Kui rääkida mesilasperede arvust kohta, siis see on Hiiumaal perioodil 2005-2021 aastal stabiilselt kasvanud. 2021. aastal Hiiumaal oli 832 mesilaperet. Kõige enam on Hiiumaal veiseid, mille arv oli ajavahemikul 2005-2021 aastal kahekordistunud ja stabiilselt kasvanud. [5]

Uuringus oli välja toodud, et Hiiumaa meremuda on teaduslikult enim uuritud maavara ja kaevandatud väga vähesel määral. Kui rääkida ehitusmaterjalidest, siis 2021. aastal kaevandati Hiiumaal 22 300 m³ ehitusliiva ja 110 900 m³ ja ehituskruusa. Muid maavarasid ei kaevandatud. Tänapäeval on võimalus Hiiumaa maavarade varud kohapeal vääridada. [5]

Rääkides transpordiühendustest, siis Hiiumaa liinil on ainult kaks laeva ja vajadusel on võimalik kasutada asenduslaeva aga see on vana ja sellel puuduvad tänapäevased mugavused klientide jaoks. Tihti liigub asenduslaev Saaremaa liinil, et teenindada sealseid kliente. Laevaliiklust Hiiumaa liinil takistab kitsas Rukki kanal, mis ei võimalda kahel laeval kõrvuti sõita. Aastal 2018-2021 mandrilt Hiiumaale sõitis parvlaevaga 450 000-650 000 inimest. Koroonaviiruse ajal 2020. aastal sõideti vähem aga 2021.aastal kõige rohkem umbes 650 000 inimest. Standardolukorras väljub parvlaev mandrilt

Hiiumaale 11 korda. Tavaliselt kestab parvlaevade hooldus 2-3 nädalat, sel ajal Eesti riigil puudub laevade asendamiseks korralik tagavara variant. Parvlaevade väljumise aeg on määratud erinevate sihtgruppide järgi nagu Tarbijate Ühistu kaubatransport, postiauto, kiirbussid. Arengukavas on öeldud, et Hiiumaa maakond tahab eraldada reisijate- ja kaubakai ning teha täiendusi ka sadama ümbruse liiklusskeemis (Kärdla poolt sissesõidul). Riigil on valmimisel ka veeteede hoiukava, milles on Rukki kanali hooldus- ja süvendustööd, et mitte lasta tekkida kanalis ülemäära madalat veetaset, mis võib takistada laevaliiklust. Selleks, et planeerida lisalaevade liikumist mandrilt Hiiumaale on vajalik kaevata Rukki kanal laiemaks või teha lisakanal Kuivarahu kaudu. Täna on sadamates tehtud avariirambid, mis võimaldab avarii korral laeval silduda mõne teise kai äärde. [5]

Hiiumaa ja Saaremaa vaheline parvlaeva liiklus, mis toimub Sõru- ja Triigi sadamas on kitsaskohaks talvise perioodil septembrist aprillini, mil parvlaevad väljuvad mõlemast sadamast ainult ühe korra päevas. Saaremaa ja Hiiumaa vaheline laevaliikluse aktiivsus on kõige kõrgem aprillist septembrini. [5]

Hiiumaa maismaatranspordi arendamiseks on rohkem kasutusele võetud jalgrattaid. Selleks oli parandatud mitu kergliiklusteed. Tänapäeval on Kõrgessaare ja Kärdla vahel hea kergliiklustee aga Suuremõisa-Käina vahel vajab tee uuendamist. Uuringus on välja toodud ka arutelud rongide kohta, mis võiks olla üks parimatest transpordivahenditest aga selleks on mitmeid piiranguid nagu kaubakonteinerite transport rongi pealt parvlaeva peale. [5]

Hiiumaa lennuühendus on alternatiivne variant, kuidas pääseda saarele, selleks on loodud lennuliin Tallinn-Kärdla-Tallinn. Lennuühendust mandri ja Hiiumaaga kasutavad tihti turistid, inimesed tööl käimiseks ja teiste ametikohtade esindajad, samuti ka koolitusreisidel osalejad. Suvekuudel on lennuki täituvus kõige maksimaalne võrreldes talve perioodiga. Oluline täituvus toimus 2021. aastal juunis ja juulis. Kärdla lennuväljal 2018. aastal loodi GNSS maandumissüsteem ehk täpsusmaandumise süsteem, mis võimaldab lennukit maandada madalama pilvisusega, mille järgi kindlustatakse turvalisust lennuki kasutamisel. Lennuühendus on mugav aga reispilet on kallim võrreldes silla kasutamisega. Hiiumaa saare arengukavas on väljatoodud, et on plaanis tulevikuvaateest teha regulaarne lennuühendus mõne strateegiliselt oluliselt sihtkohaga nagu Helsingi, Stockholm, Riia, millel on head jätkuühendused ülejäänud maailma sihtkohtadega. [5]

Hiiumaa ettevõtete arv oli 2020. aastaks võrreldes 2016. aastaga 21% võrra kasvanud. aruannete põhjal 2020. aastal oli 739 ettevõtet aga 2016. aastal oli 613 ettevõtet. Kõige rohkem on ettevõtteid, mis tegutsevad kutse-, teadus- ja tehnikaalase valdkondades 111 ettevõtet, hulgi- ja jaekaubanduses 103 ettevõtet ning ehituse valdkonnas 90 ettevõtet, põllumajanduse kokku (taime- ja loomakasvatus, metsamajandus ja

metsavarumine ning kalapüük) oli 2020. aastal 77 ettevõtet. Võrreldes 2016. aastaga on ettevõtete arv kasvanud enim hulgi- ja jaekaubanduse, taime- ja loomakasvatuse ning ehituses. Hiiumaal kõige suuremad ettevõtted, töötajate arvu poolest kuuluvad töötleva tööstuse valdkonda nagu elektriseadmete tootmine, plastplaatide, -lehtede, -torude ja profiilide tootmine, valmis tekstiiltoodete tootmine, hoonete üldpuhastus ja elektriliste valguseadmete tootmine. Peab mainima, et mäetööstuse ettevõtteid Eestis on üldiselt väga vähe. Statistikaameti andmetel 2020. aastal mäetööstuse valdkonnas oli 154 ettevõtet. Kogu Hiiumaa ettevõtetes 2020. aastal oli 1743 töötajat ja võrreldes 2016. aastaga on töötajate arv kasvanud 4% võrra. Enim on töötajate arv kasvanud haldus- ja abitegevuses, kus töötajate arv võrreldes 2016. aastaga on kahekordistunud. Taime- ja loomakasvatuse töötajate arv kasvanud 62%. Hiiumaal töötab 39,5% kõikidest töötajatest töötleva tööstuse ning Eesti tervikuna 24% töötajatest. Hiiumaal töötab põllumajanduse, metsanduse ja kalanduse valdkonnas keskmiselt rohkem inimesi, kui teistes Eestimaa piirkondades. Hiiumaa on suurima mahemaa osakaaluga maakond Eestimaal. Keskmine müügitulu on mitmekordistunud kalapüügi ja vesiviljeluses (veeorganismide kasvatus). 2020. aastal moodustasid Hiiumaal 37% kogu ettevõtluse müügitulust viis suuremat ettevõtet. Nad tegelevad plastplaatide, -lehtede, -torude ja profiilide tootmisega (15,8 miljonit eurot), muude elektriseadete tootmisega (14,5 miljonit eurot), jaemüük spetsialiseerimata kauplustes, kus on ülekaalus toidukaubad, joogid ja tubakatooted (13 miljonit eurot), metsavarumisega (11,7 miljonit eurot), muude tekstiiltoodetega (9 miljonit eurot). Hiiumaa on eksportinud oma kaupu või teenuseid umbes 8% kogu mahust. Hiiumaa arengumootoriks on töötlev tööstus, peamiselt plasti-, elektroonika- ja metsatööstus. Kõige perspektiivikamaks kasvualdkonnaks valiti põllumajandus, toiduainete tootmine, kalapüük ja vesiviljelus, meremajanduse arendus ja loodusturism sh. spaaturism. Turismi elavdamiseks tuleb lahendada kitsaskohad, nagu parvlaevadega seonduvad piirangud sh. suveperioodil. 2021. aastal kõige suurema osa kogu ekspordi mahust moodustab töötleva tööstuse valdkond 45%, hulgi- ja jaekaubandus 22% võrra ning veondus ja laondus 11% võrra. Aastal 2020 oli põhiliseks ekspordi turuks Soome, mis moodustas 22% kogu ekspordimahust, sellele järgnes Rootsi 17%, Saksamaa 14%, Norra 12% ja lisaks müük Euroopa Liidu riikidele 13% ning kõik ülejäänud sihtriikidele eksporditi 23% võrra kogu mahust. Suurimad investeeringud Hiiumaal moodustavad seadmete, masinate ja inventari soetamine. Palju investeeringuid tehakse ka ehitus ja transpordi sektoritesse – soetamine, ehitamine ja rekonstrueerimine. Hiiumaa ühendusteel, sideühendused, koolid ja haiglad on infrastruktuuri komponendid, mis hoiavad piirkonnas vajalikku tööjõudu ning soodustavad seega ettevõtluse arengut. Potentsiaalne areng Hiiumaal on avamere kalakasvatus. Üheks eriliseks loodusressursiks Hiiumaal on ravimuda. Hiiumaa on tuntud ka oma väga kvaliteetse piima pärast. Veepargi loomine Hiiumaale tõestaks

selle kandi väärtust ja pööraks tähelepanu Hiiumaale, kui saarele, mis on ümbritsetud merega. Hiiumaa kuulub maailma UNESCO biosfööri kaitsealade hulka. [5]

2.3. Hiiumaa saar, kui Eesti strateegiline objekt

Aastal 2023 on Hiiumaa oluline strateegiline objekt. Vene impeeriumi päevil asus Hiiumaal sõjaliselt tähtis strateegiline baas. Pärast Eesti iseseisvumist viidi sõjatehnika minema. Praegusel ebasoodsal ajal, mil Venemaa on agressor riik, peab Eesti territooriumi kaitsma. Eestis on asustamata territooriumi suhteliselt vähe, mistõttu on keeruline sõjaväe väljaõppeks leida sobivaid piirkondi. Üks võimalik lahendus on tulevikus rajada sõjaväebaase Hiiumaale.

2.4. Hiiumaa arenguvõimalused

Hiiumaal on eelsoodumus turismiobjektiks. Leidub investoreid, kes sellesse valdkonda investeeriksid, näiteks tervisekeskuse, puhkemajad jms. Investeeringute kaasneks ka Eesti majanduse tõus. Meelelahutus, lõbustuspark, spaa, matkamine looduses, erinevad hotellid võivad tõsta riigi sissetulekut. Ruumi on palju ja saar on hõredalt asustatud. Investeeringu tulemusena rajatud infrastruktuurile oleks paremini ligipääs Hiiumaale, kuna transport ja logistika on lihtsam. Vajalik arendada Eesti majandust, et inimesed tuleksid Eestisse ja teaksid, et meil on ka Hiiumaa saar ja see on külastamist väärt koht. Nii annaksime oma panuse riigi majandusele, kui ka tõstaksime meie tuntust turismisihtkohana. Räägitakse, et oli üks Prantsuse investor, kes tahtis Hiiumaa arendada, aga ei teinud seda, sest silda polnud. Mandril pole öösel saarega püsiühendust. Inimesed ei lähe sinna elama.

Arendamiseks ettevõtteid, saame meelitada investoreid läbi turismi. Selleks aga vajame püsiühendust mandri ja Hiiumaa vahel.

3. MAAILMA JA EUROOPA PIKIMAD MERESILLAD

3.1. Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge



Foto 2 - Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge [17]

Hong Kong-Zhuhai-Macau sild on üks pikim meresild maailmas. Silla pikkus on 41,6 km. Sild oli ehitatud Hiinas. Selle keskel tunnel ja see rajati püsiühenduseks Hong Kong-i, Guangdong Zhuhai provintsi ja Macau linnade vahel Lingdingi ookeani piirkonnas. Silla ehitus algas 15. detsembril 2009 aastal. Põhiline osa lahendusest valmis 7. juulil 2017. Autoliikluseks avati sild 2018. aastal. Selle projekti ehitusaeg oli 8 aastat. Silla ja tunneli kogupikkus on 55 km, millest sildade kogupikkus on 41,6 km, pikim sild on 29,6 km. Silla laius on 33,1 m. Navigeeritavate avade ületamiseks kasutatakse mitmeavalisi vantsildu, pikima sildeavaga 458 m. Sillatekil paikneb kahe-suunaline 6-realine maantee, millele on ette nähtud projektikiirus 100 km/h. Projekti kogusumma 126,9 miljardit jüaani (18,8 miljardit USA dollarit). Silla elueaks on ette nähtud 120 aastat. [14] [17]

3.2. Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah Causeway

Pikkuselt teine ühendus üle mere on Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah Causeway. Projekti kogupikkus on 48,5 km, millest silla osa üle vee on 34,9 km. Silla põhikonstruktsiooniks on jätkuv karptala ja pikim ava on lahendatud vantsillaga, millel on üks püloon kõrgusega 151 m ja vantsilla sildeava on 177 m. Sild koosneb kahest

paralleelselt tekist, mille mõlema laius on 17 m. Laevatatav gabariit on kõrgusega 23 m. [14] [18]

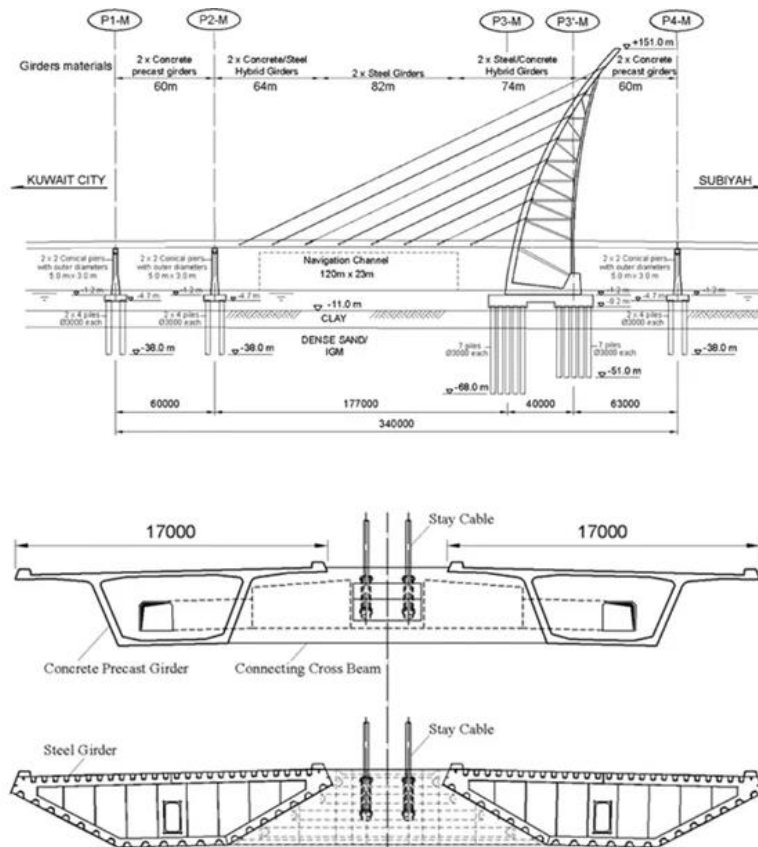


Foto 3 - Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah Causeway [18]

Sild oli ehitatud Kuveidis Lähis-Ida piirkonnas Iraagi, Iraani ja Saudi Araabia vahel. Sild oli ehitatud Kuveidi lahte, mis ühendab Kuveidi ja Madinat al-Hareeri linnad. Projekteerimine algas 3. novembril 2013 aastal ja sild avati autoliiklusele 1. mail 2019 aastal. Ehitusperiood oli ca 4 aastat. Ehitusmaksumus 903 miljonit Kuveidi dinaari (3 miljardit USA dollarit). Silla elueaks on ette nähtud 100 aastat. [14] [18]



Foto 4 - Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah Causeway (Karptalade ehitus) [11]



Joonis 2 - Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah Causeway [6]

3.3. Hangzhou Bay Bridge

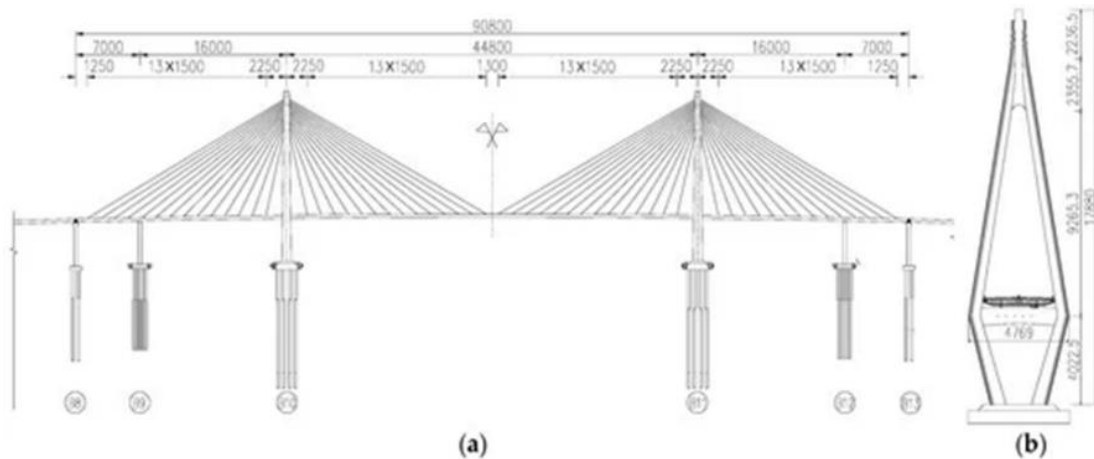


Foto 5 - Hangzhou Bay Bridge [8]

Hangzhou lahe maantee-sild on üks maailma pikimaid merd ületav vantsilde. Sild ulatub üle Hangzhou lahe ja on üks silmapaistvamaid silde maailmas. Silla pikkus on 36 km ja laius on 33 meetrit. Silla pikim sillaava on 448 meetrit ja on lahendatud vantsillana. Silla plaaniline kuju meenutab „S” – tähte, ühendades üle mere mitut linna põhja- ja lõuna Hiinas. Vantsillal on palju suurepäraseid pildistamisvõimalusi. Öösel näeb ta välja nagu „vikerkaar”. Silla keskele on ehitatud platvorm, kus on võimalik läbi viia autode avariihooldust. Seal on ka vaateplatvorm, kus saab pildistada vaatamisväärsusi.

Tee peal peatumine ei ole lubatud. Platvormil asub 145-meetrine kõrgune torn, kus võib näha „vikerkaart“ üle mere ja merelinde. Sild ehitati alates 2003. aastast kuni 2007. aastani. Sild avati autoliiklusele 1. mail 2008 aastal. Sillal on kiiruspiirangud 80km/h - 100 km/h. [9] [14]

Selle ehitamine vähendas maismaatranspordi kaugust Ningbost Shanghaisse 120 km võrra ja transpordiks kulunud aeg neljalt tunnilt kahele. Sillal on kahe suunaga maantee, millel on 6 sõidurada. Silla elueaks on planeeritud 100 aastat, mis pikeneb korraliku silla hoolduse korral. Kogu projekt läks maksma 2,1 miljardit eurot. Ligikaudu 35% sellest summast koguti eraettevõtetelt, 59% oli tagatud laenuna Hiina kesk- ja piirkondlikelt pankadelt, 17,3% moodustasid investeeringud valitsusvälise aktsionäri poolt. Investorid arvavad, et uue merd ületava Hangzhou lahe silla ehitamine on märk Hiina kasvavast majandusjõust ning oluliselt kiirendanud majandusarengut. Kõik silla elemendid valmistati maapinnal ning seejärel transporditi valmis komponendid kohale monteerimiseks. [10]

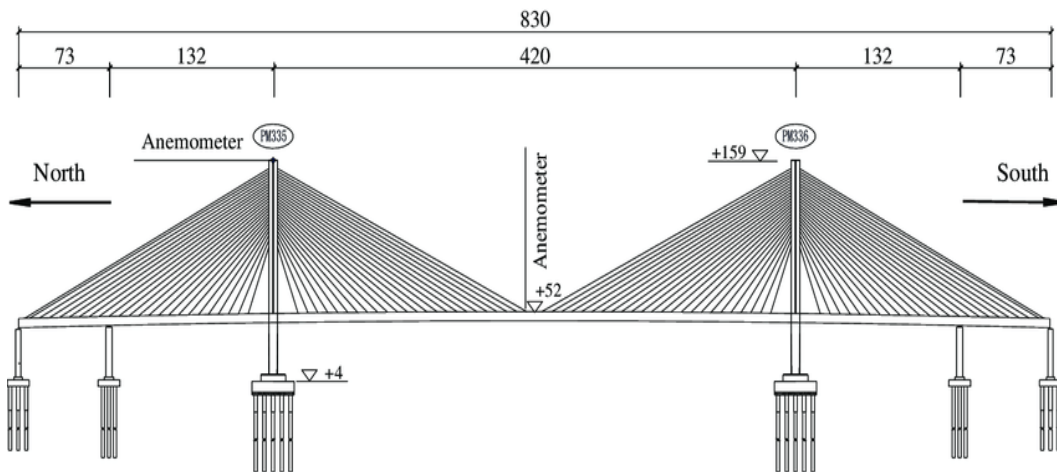


Joonis 3 - Hangzhou lahe silla paigutus (ühik: cm). (a) Tala sildevahe, (b) Pylon [31]

3.4. Donghai Bridge



Foto 6 - Donghai Bridge [19]



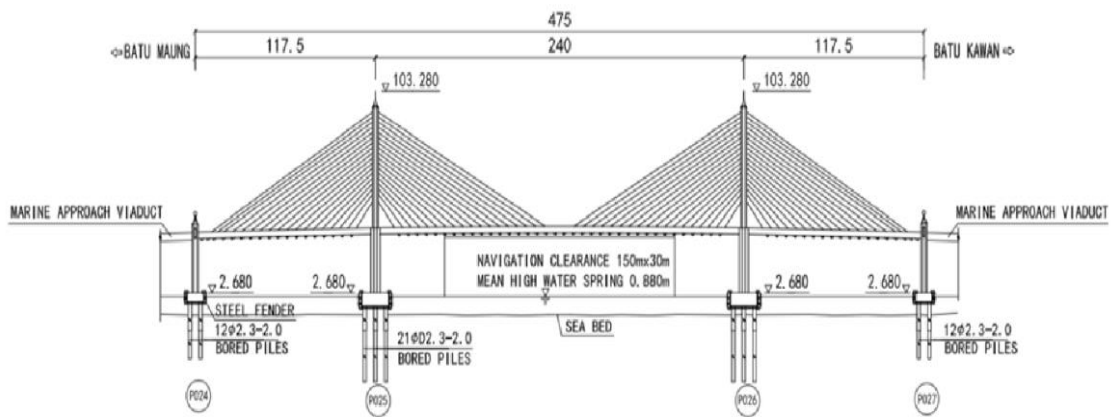
Joonis 4 - Donghai Bridge – Side view of the Donghai Bridge and arrangement of anemometers (unit: m). [26]

Sild asub Hiinas, Zhejiangi provintsis ja Hangzhou lahes, ühendades Shanghai ja Yangshani sadamat. Donghai silla ehitamist alustati 26. juunil 2002 aastal ja avati autoliiklusele 25. detsembril 2005. aastal. Ühenduse kogupikkus on 32,5 kilomeetrit, millest põhiline sild moodustab 25,3 kilomeetrit. Sild on rajatud mitme erineva lahendusega osast sisaldes mitu vantsilda, konsoolsilda ja jätkuv talasildu. Vantsildade ja konsoolsillaga on lahendatud laevatatavad avad. Põhilist veetrassi ületab vantsild avadega 73 + 132 + 420 + 132 + 73 meetrit. Tekiplaadil paikneb kahesuunaline (3+3) maantee, millele on ette nähtud projekteerimiskiirus 80 km/h. Ehitusmaksumus oli 7,11 miljardit jüaani (umbes 1,1 miljardit USA dollarit). [14] [19]

3.5. Second Penang Bridge



Foto 7 - Second Penang Bridge [20]



Joonis 5 - Second Penang Bridge [27]

Sild on rajatud Malaisia saare ja mandri vahele. Ühenduse kogupikkus on 24 km, sellest silla pikkus on 16,9 km. Silla laius on 30 m. Silla tekiplaadil paikneb 6 sõidurada, millest 4 on ette nähtud autodele ja 2 mootorratastele. Laevatatav gabariit on 30 m. Sild on rajatud jätkuva karptalastikuna ja laevatatava osa ületab vantsild, mille pikim sildeava on 250 m. Silla ehitus alustati 8.novembril 2008. aastal ja ehitust lõpetati 20. aprillis 2013. aastal. Avati autoliiklusele 2.märtsil 2014.aastal. 2015. aastal Second Penang sild sai ICE Bruneli medali auhinna. Ehitismaksumus oli umbes miljard USA dollarit. Projektikiiruseks on ette nähtud 80 km/h. [14] [20]

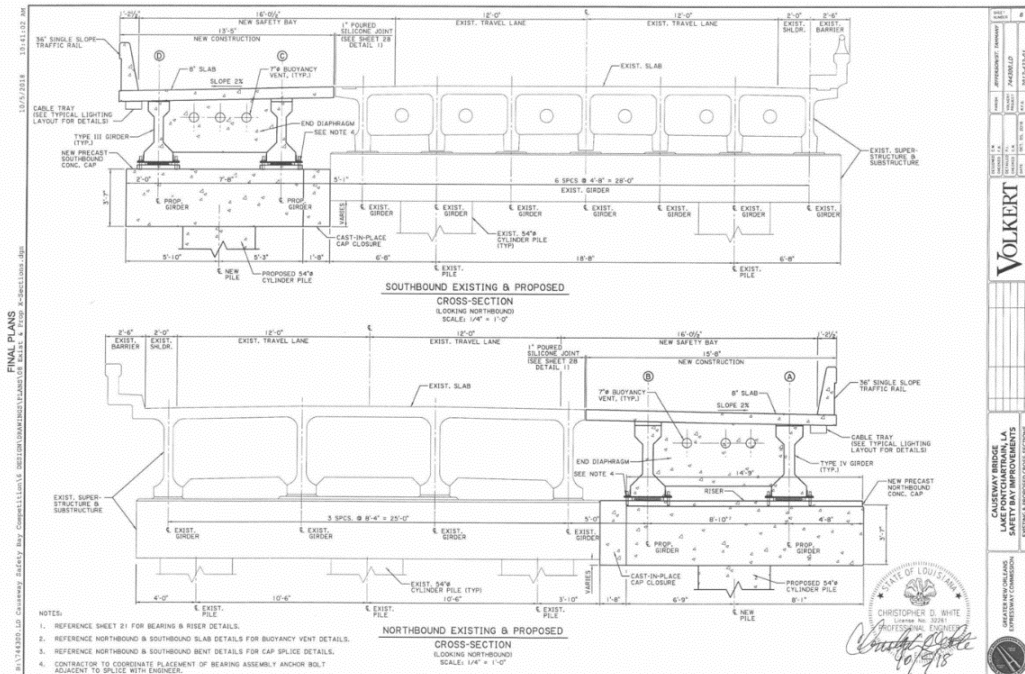
3.6. Lake Pontchartrain Causeway Bridge



Foto 8 - Lake Pontchartrain Causeway Bridge [7]

„Lake Pontchartrain Causeway Bridge“ sisaldavad kaks paralleelselt asuvat silda ja sellel on umbes 9500 betoonist tugisammast. Sild ületab Pontchartraini järve Ameerika Ühendriikide Kaguosas, Louisianas. Pikem sild on 38,35 km. Mõlemal sillal on avatav

osa ehk tõstesild, mis võimaldab kõrgematel laevadel kanalit läbida. Esimese silla tee avati 1956. aastal ja see oli kaherealine sõidutee, 1969. aastal avati paralleelne teine sild. Suurte ehituskulude tõttu (kokku ca 500 miljonit dollarit) oli sillal tasuline tee mõlemas suunas. [7]



Joonis 6 - Lake Pontchartrain Causeway Bridge [32]

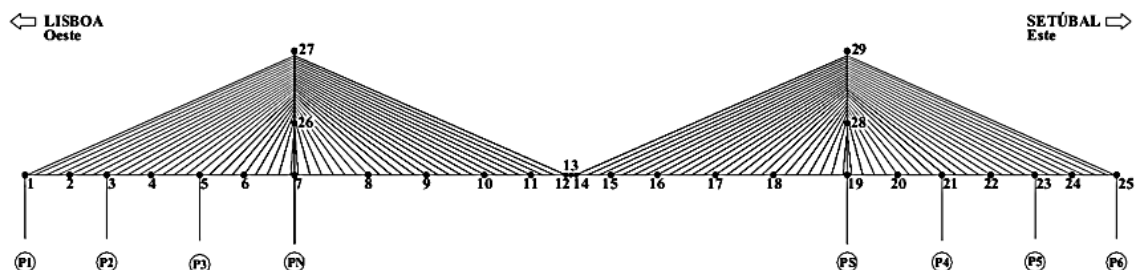
3.7. Vasco da Gama Bridge – Euroopa Liidu pikim sild



Foto 9 - Vasco da Gama Bridge [15]

Vasco da Gama Bridge oli ehitatud Portugali, Lissaboni. Sild on paljuavaline jätkuvtala sild. Silla laevatataav osa on lahendatud vantsillaga. Silla pikkus on 17,2 km, vantsilla keskosa ava pikkus on 420 meetrit, külgmiste avade pikkusteks on 203 meetrit. Silla

püloonid on H-kujulised, kõrgusega 150 meetrit. Silla laevatatav gabariit on 47 m. Silla ehitamist alustati 1995. aastal ja avati autoliiklusele 1998. aastal. Sillal on 6 sõidurada, mis võimaldavad liiklust suunata kesklinnast mööda vähendades liikluskoormust „25. aprilli“ rippisillal. Ülejäänud osa koosneb neljast lähenemisviaduktist. Vantsilla püloonid on ehitatud kahele painduvale sambale, mille vundamendid ulatuvad 95 meetrit allapoole merepinda ja on mõeldud vastu pidama kokkupõrkele laevaga. Sillatekk ei ole kinnitatud püloonide külge, võimaldades sellel liikuda nii külgsuunas kui ka pikisuunas, et kohaneda tuule ja seismilise aktiivsusega. [15]



Joonis 7 – Vasco da Gama-cable-stayed-bridge [38]

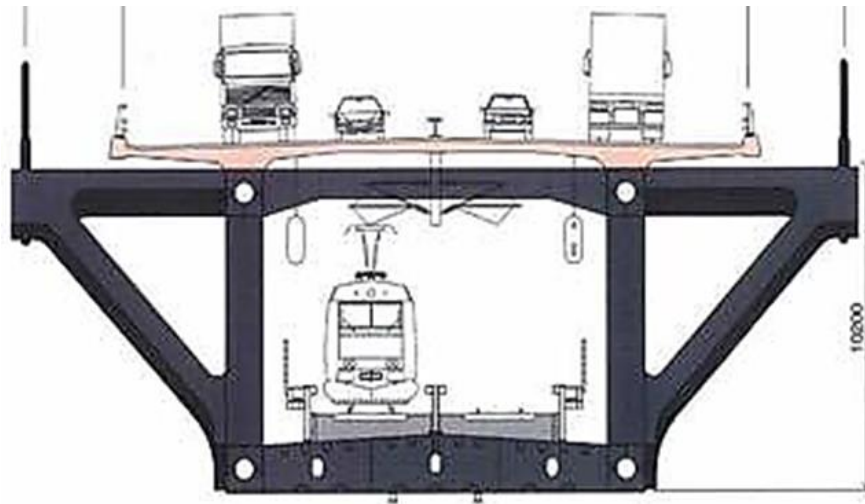
3.8. Öresund Bridge



Foto 10 - Öresund Bridge [13]

Püsiühendus, kogupikkusega 16 km on rajatud Taani ja Rootsi vahel ning koosneb raudtee- ja maantee sillast kogupikkusega ca 8 km ja ülejäänud osa koosneb tehissaarest ja tunnelist. **Sild on rajatud jätkuvtalastikuna, mille peakanduriks on terrassõrestik, sildeavadega 140 meetrit.** Laevatatav osa on lahendatud 3-avalise vantsillana, mille keskmise ava pikkus 490 m ja pülooni kõrguseks on 204 m. [28] Laevatatav gabariit on 57 m. **Silla peakanduril paikneb 2 tekki, millest ülemine on mõeldud 2+2 autoliiklusele ja alumine kahe rööpmepaariliseks raudtee transpordiks.** Sild sai valmis 2000. aastal. Rajatis võimaldab püsiühendust Mandri-

Euroopa ja ülejäänud Skandinaavia poolsaare vahel ning kujund piiriülestest suhetest. 2010. aastal liikles sillal oli 18000 autot/ööpäevas. Silla rajamine on hea näide, sellega kaasnevates uutes võimalustest, näiteks 2005. aastal kolisid paljud taanlased Rootsi, et pääseda Taani hüppeliselt tõusvatest kinnisvarahindadest ja kasutasid silda igapäevaselt tööl käimiseks. [16] [21]



Joonis 8 - Öresund Bridge [33]

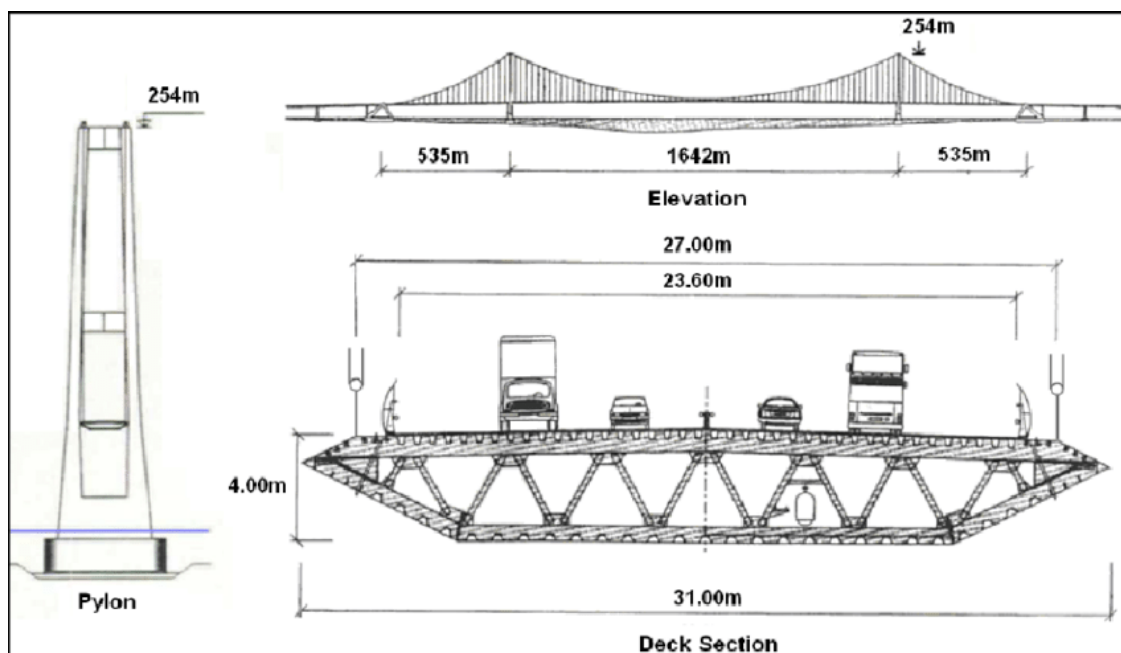
3.9. Great Belt Bridge



Foto 11 - Great Belt Bridge [12]

Great Belt sild asub Taanis, võimaldades püsiühendust Zealandi ja Funeni saarte vahel, kogupikkusega 18 km. Püsiühendus koosneb idapoolsest osast, kus autoliiklus on suunatud ripsillale ja raudteeliiklus merealusse tunnelisse ja läänepoolsest osast, kus nii autotee, kui ka raudtee paiknevad jätkuvalt karptala sillal. Enne silla rajamist toimus saarte vahel alates 1883. aastast püsiv ühendus parvlaevadega. Sild avati liiklusele 1998. aastal. Great Belt silla püsiühenduse idee oli ühendada neljarajalise kiirtee ja

kaherajalise raudteega, kasutades keskel väikest Sprogo saart. Ühenduse kogupikkus on 6,79 km. Silla laius on 31 m ja ripp silla osa keskmine sildeava on 1624 meetrit. Mõlema pülooni kõrgus on 254 m. Laevatatava gabariit on 65 meetrit. Enne silla ehitamist oli võimalik ületada Suur-Belti parvlaevaga 90 minutiga aga nüüd saab autoga sõita 10-15 minutiga. Enne silla avamist kasutati mereliiklust parvlaevaga ca 8000 autot/ööpäevas aga nüüd olemasoleva püsiühendusega kasutavad ca 30200 autot/ööpäevas. [12] [22]



Joonis 9 - Great Belt Bridge [34]

4. HIIUMAA SILLA PÕHIPARAMEETRITE VALIK

4.1. Lähtekriteeriumid

Sild rajatakse kahetasandilisena. Ülemine sillatekk on mõeldud 2+2 autoliiklusele ning sellele on planeeritud projektikiiruseks 100 km/h. Alumine sillatekk on mõeldud raudteeliikluseks ning tuleb 2 rööpmepaari. Raudteeliikluse kõrgusgabariit peab vastama elektrifitseeritud raudtee nõuetele. Sillal ei tule kõnni- ega kergliiklusteid. Liikluskoormuste osas võetakse aluseks EVS-EN 1991-2:2004+NA:2007 „Osa 2: Sildade liikluskoormused“. Liikluskoormuste paranduste tegurite valimiseks on kasutatud Transpordiameti juhendit „Riigiteedel asuvate sildade, viaduktide, truupide, tunnelite ja ökoduktide konstruktsioonidele mõjuvate liikluskoormuste täpsustamise juhise MA 2018 001“. Sõidutee ristlõike valimiseks kasutatakse Majandus- ja taristuministri 5. augusti 2015. a määrust nr 106 „Tee projekteerimise normid“ ning Transpordiameti juhendit „Riigiteede ristlõike valimise juhend“, KT_025_j13_r1, 27.07.2022 nr 1.1-7/22/119.

Vastavalt liikluskoormuste täpsustavale juhendile kasutatakse põhimaanteedele mõeldud täpsustavaid tegureid. Koormusmudelil 1 (KM1) põhimaanteedel on $a_{qi} = a_{qri} = 1,0$; kogumass 3600kN, teljekoormuseks 200kN ja 240kN.

Raudteeliikluseks on arvestatud koormusmudeliga SW/0. Rongi- ja autoliikluse koosmõju arvestamiseks kasutatakse kombinatsioonitegureid vastavalt EVS-EN 1990:2002/A1:2006+NA:2009 „Lisa A2: Rakendamine sildade puhul“.

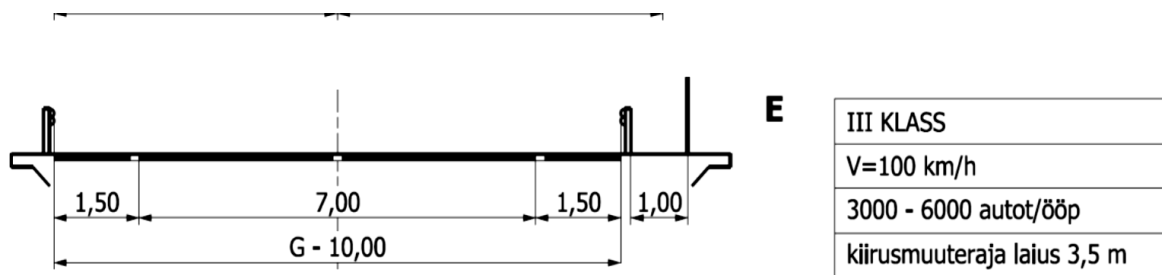
Laevatatava gabariidi nõuded võetakse „Suure väina püsiühenduse eskiisprojekti lähteülesanne“, töö nr 2021_0032, kuupäev 16.03.2022, koostaja Skepast&Puhkim OÜ.

Vastavalt kavale: „Projekteerimise seisukohast on kriitilised järgmised navigatsiooniaspektid:

- *sillaalune gabariit 35 meetrit on optimaalne, garanteerides turvalise süvisega ligipääsu kõikidele silla alt läbi sõitvatele alustele kõrgeima veetaseme puhul (jättes ka mõistliku ohutusvaru) nii praegu kui ka tulevikus, mis garanteerib ka enamiku piirkonnas kasutatavate purjekate läbipääsu.*
- *Minimaalne turvaline navigeeritav sillaava peaks olema 280 meetrit. Selline ava on konsoolsilla puhul maksimum. Navigeerimise turvalisusest lähtudes soovitatakse laiemat ava, kuni 390 m, kuid see on võimalik vantsilla puhul.*
- *Tunnel meresõidutingimusi ei mõjuta.*

4.2. Tee ristprofiil sillal

Teetrass on planeeritud 2+2 maanteeks, projektikiiruseks 100 km/h. 100 km/h vastab III maantee klassile Transpordiameti maantee projekteeerimisnormide järgi. Vastavalt normidele on III klassi maantee ette nähtud 1+1 teena ja silla ristprofiil on toodud Joonisel 10.



Joonis 10 - Silla ristprofiil III maantee klassi korral

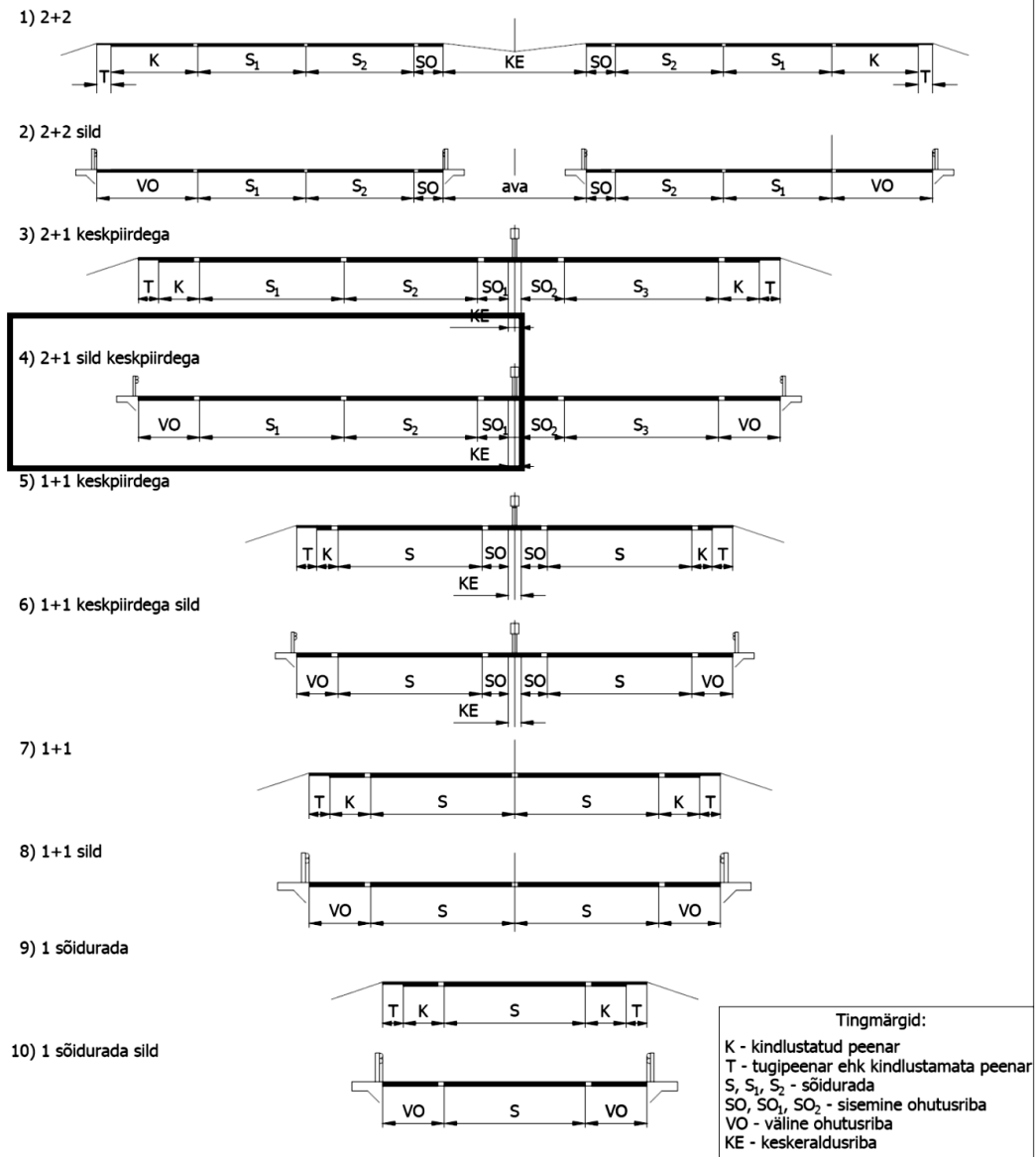
Vastavalt juhisele „Riigiteede ristlõike valimise juhend“, KT_025_J13_r1, 27.07.2022 nr 1.1-7/22/119, teede ja sildade ristlõiked on toodud joonisel 11. Joonis 11 ei käsitle konkreetset 2+2 silda, mis asetsevad ühiselt tekil. Antud töös planeeritakse 2+2 sild vastavalt joonisel 11 punkt 4 kohaselt vastavalt vasakosa (2 sõidurada) lahendusena mõlemas suunas. Joonisel 11 toodud parameetrite suurused:

Tabel 1 Keskeraldusribaga 2+1 sõidutee ristlõike elementide vähimad laiused meetrites

Projektkiirus km/h	S ₁	S ₂	S ₃	KE	SO ₁	SO ₂	K	T	VO
100 ja 110	3,50	3,25	3,75	0,30	0,45	0,75	1,00	0,50	K+T

Selle kohaselt tuleks kaherealise sõidusuuna piirite vahelise osa laiuks $VO + S_1 + S_2 + SO_1 = 1,5 + 3,5 + 3,25 + 0,45 = 8,7$ meetrit. Keskeraldusriba laius on 0,30 m ja teises suunas samamoodi piirite vahelise laiuks on 8,7 m. Silla välispiirite vaheliseks laiusgabariidiks on vajalik võtta minimaalselt kokku 17,7 m. Välispiirite sisepinnast peab jääma piisavalt ohutusvaru silla tekiehitusest kandvate rippuriteni või vanditeni. Seda antud juhend ei käsitle, kuid III maantee klassi korral on tee projekteerimise normide kohaselt tabelist 2.4. kaitseriba laiuks on 1,25 meetrit. [35]

Seega oleks minimaalseks vantide sisepindade vahelisest kauguseks $17,7 \text{ m} + 1,25 * 2 = 20,2$ meetrit. Kuna arvestada tuleb kõiksugu konstruktiivsete detailidega, näiteks vantide kinnitused sõrestiku külge, siis käesolevas töös on arvestatud vantide tsentrite vahekauguseks 21 m. Arvestades, et vantide kinnitamiseks peaks olema sild konstruktiivselt veel laiem, siis silla kogulaiuseks põhiosas on 20,2 m ja vantsilla osas koos vantide kinnituse konsoolidega on 22 meetrit. [35]



Joonis 11 - Tüüpriistlõiked [35]

5. Trassi põhilahendus

5.1. Sõidutee koormused sillal

Lähtudes standardi „EVS-EN-1991-2:2004+NA:2007 eurokoodeks 1: ehituskonstruksioonide koormused, Osa 2: Sildade liikluskoormused“, koormusmudel 1 (LM1), mis koosneb kahest alamsüsteemist:

a) **Kaheteljeline koondatud koormus** (tandemsüsteem: TS), mille mõlema telje koormus on

$\alpha_Q Q_k$, kus α_Q on täpsustavad tegurid.

- Ühele lepperajale tuleks paigutada ainult üks tandemsüsteem (TS);
- Arvestada tuleks üksnes täielikke tandemsüsteeme;
- Üldisel kontrollarvutusel tuleks eeldada, et tandemid liiguvad piki lepperadade telgjoont;
- Iga tandemi teljel tuleks arvestada kahe identse rattaga, seega rattakoormus võrdub $0,5 \alpha_Q Q_k$;
- Iga ratta kontaktpinda tuleks käsitleda ruuduna, mille küljepikkus on 0,40 m. [24]

(b) **Hajukoormus (ühtlaselt jaotatud koormus, UDL süsteem)**, mille intensiivsus lepperaja ühe ruutmeetri kohta on:

$\alpha_q q_k$,

α_q on täpsustavad tegurid. [24]

Hajukoormusi tuleks rakendada üksnes mõjupiirkonna ebasoodsamatel aladel nii piki, kui ka põiki suunas. LM1 on mõeldud katma vabalt kulgevat, takistatud või ummikutega liikluses esinevaid olukordi, millele on iseloomulik raskeveokite suur osakaal. Koos põhiväärtustega kasutamisel hõlmab see reeglina erisõiduki mõju 600 kN. [24]

Järgnevas tabelis on näidatud koormusmudeli 1 (LM1) normväärtused:

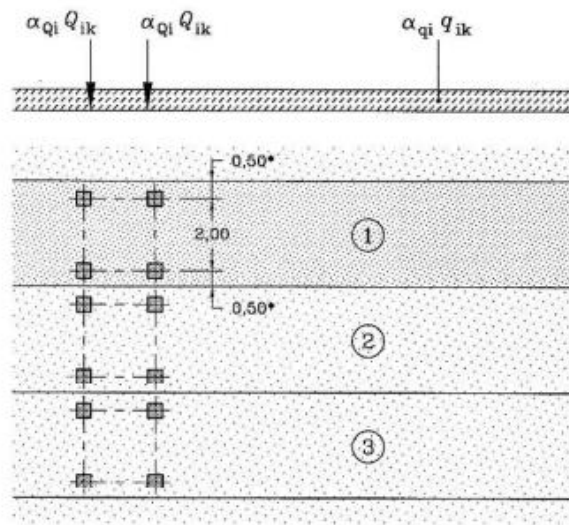
Tabel 2 Koormusmudel 1 - Teljekoormused [24]

Asukoht	Tandem TS	UDL süsteem
	Teljekoormused Q_{ik} (kN)	q_{ik} (või q_{rk}) (kN/m ²)
Esimene rada	300	9
Teine rada	200	2,5
Kolmas rada	100	2,5
Teised rajad	0	2,5
Jääkala (q_{rk})	0	2,5

Allolevas tabelis on näidatud autori poolt koormusmudeli 1 kasutamist põiktalade arvutamise jaoks silla tee osas.

Tabel 3 Koormusmudel 1 - Silla tee osa - Põiktalade arvutamine

Koormusmudel 1 - põiktalade arvutamise jaoks (Tee osa)						
	Koon datud koor mus, rattat elg kN	Mõjujoo nte ordinaati de summa	Koonda tud koorm us põiktal ale kN	Põiktala de samm	Haju koor mus, kN/ m ²	Hajukoormus põiktalale kN/m
Lepperada 1	150	1,862	279,3	8,75	9	78,75
Lepperada 2	100	1,862	186,2	8,75	2,5	21,875
Lepperada 3	50	1,862	93,1	8,75	2,5	21,875
Jääkala				8,75	2,5	21,875



Selgitus

(1) Rada nr 1: $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$; $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$

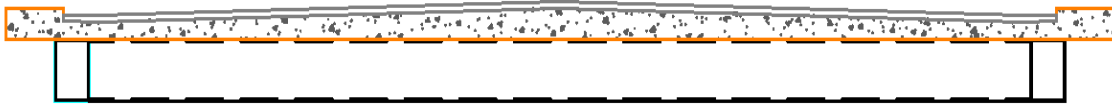
(2) Rada nr 2: $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$; $q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

(3) Rada nr 3: $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$; $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

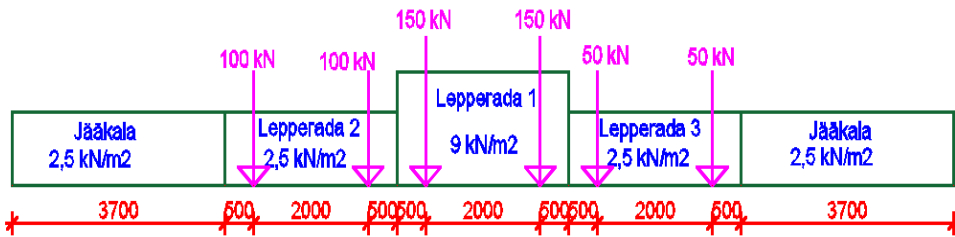
Tandemi telgede vahe = 1,2 m

* $w_l = 3,00 \text{ m}$

Joonis 11 - Koormusmudeli 1 (LM) rakendamine [24]



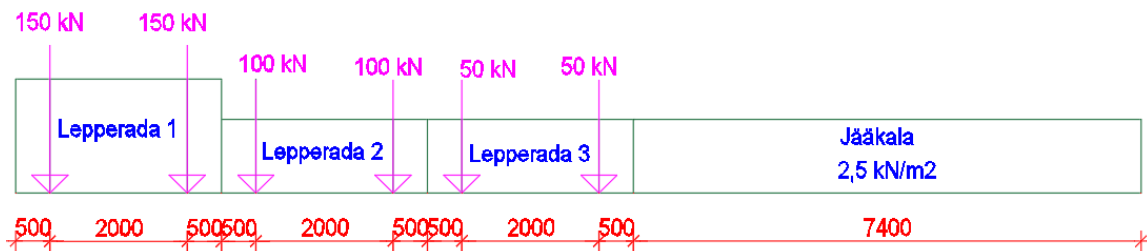
KOORMUSMUDEL 1 Paindemomentide arvutamise jaoks



Joonis 13 - Koormusmudel 1 – Paindemomentide arvutamine

Joonisel 13. on rakendatud koormusmudel 1, kus põiktalade paindemomendid on maksimaalsed. Lepperajal 1 teljekoormus on 300 kN, mis on jaotud kahele rattale koondatud koormusena 150 kN ja hajukoormuseks 9 Kn/m2. Lepperajal 2 teljekoormus on 200 kN, mis on jaotud kahele rattale koondatud koormusena 100 kN ja hajukoormuseks on 2,5 kN/m2. Lepperajal 3 teljekoormus on 100 kN, mis on jaotud kahe rattale koondatud koormusena 50 kN ja hajukoormuseks on 2,5 kN/m2 ning kahel pool on jääkala, millele teljekoormused puuduvad ja hajukoormused on 2,5 kN/m2. Põiktala pikkuseks on 16,4 meetrit.

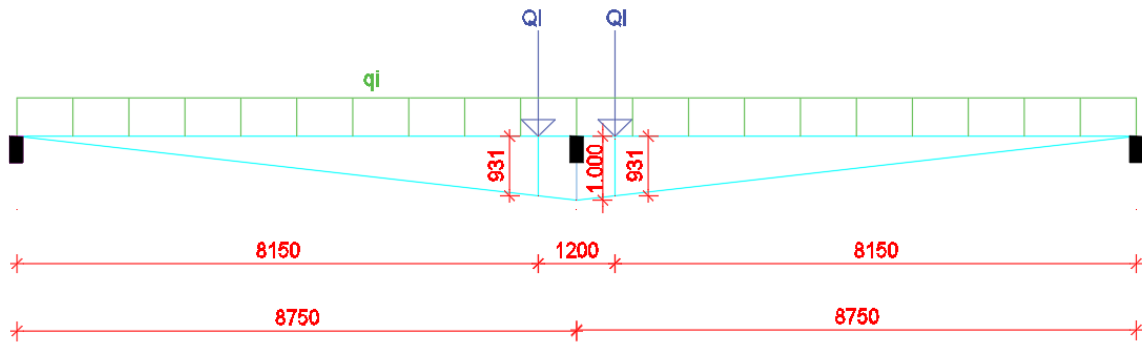
Põikjõu arvutamise jaoks



Joonis 14 - Koormusmudel 1 - Põikjõu arvutamine

Joonisel 14. rakendatud lepperajad vasakult paremale vastavalt koormuste suurusele, et tekitada maksimaalne põikjõud.

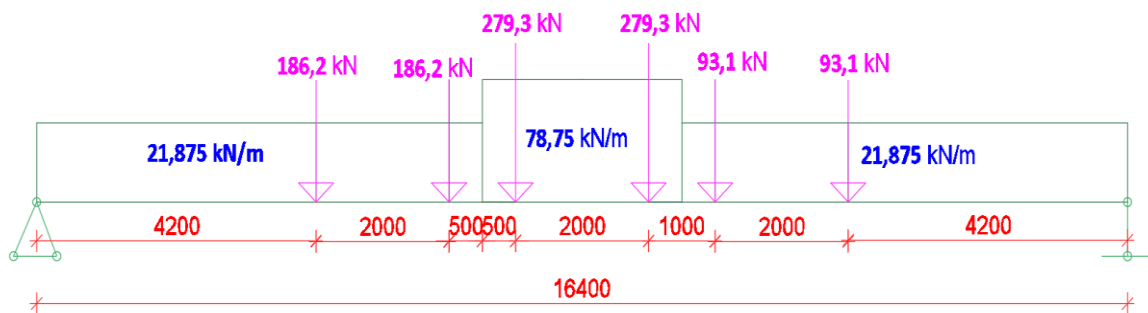
KOORMUSMUDEL 1 asetus põiktalade vahel



Joonis 15 – Koormusmodel 1 asetus põiktalade vahel

Joonisel 15. on näidatud, kuidas koormusmodel 1 on rakendatud ühele põiktalale selliselt, et seal tekiks kõige suuremad sisejõud.

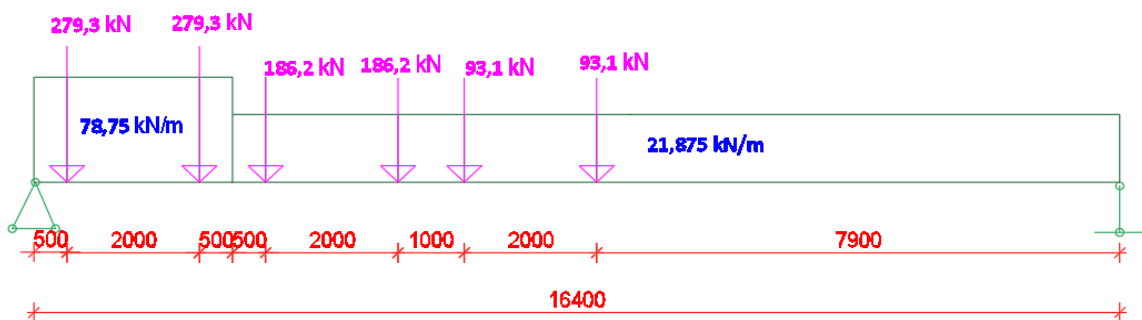
Põiktala paindemomendi (M) arvutuskeem koormusmodeli 1 jaoks



Joonis 16 - Koormusmodel 1 - põiktala paindemomendi arvutuskeem

Joonisel 16. on toodud liikluskoormuste normväärtused põiktalale paindemomendi arvutamiseks vastavalt joonisel 15. olevale telje- ja hajukoormuste asetusele.

Põiktala põikjõu (Q) arvutuskeem koormusmodeli 1 jaoks



Joonis 17 – Koormusmodel 1 - põiktala põikjõu arvutuskeem

Joonisel 17. on toodud liikluskoormuste normväärtused põiktalale põikjõu arvutamiseks vastavalt joonisel 15. olevale telje- ja hajukoormuste asetusele.

Allolevas tabelis 4. on näidatud autori poolt koormusmudeli 3 kasutamist eriveokite jaoks silla tee osas. Seoses sellega, et autosillal 2+2 on plaanitud eriveokide sõidurajad peab arvesse võtma ka koormusmudelid 3 ehk LM3 (eriveokid).

Tabel 4 LM3 - Põiktalade arvutamine (tee osa)

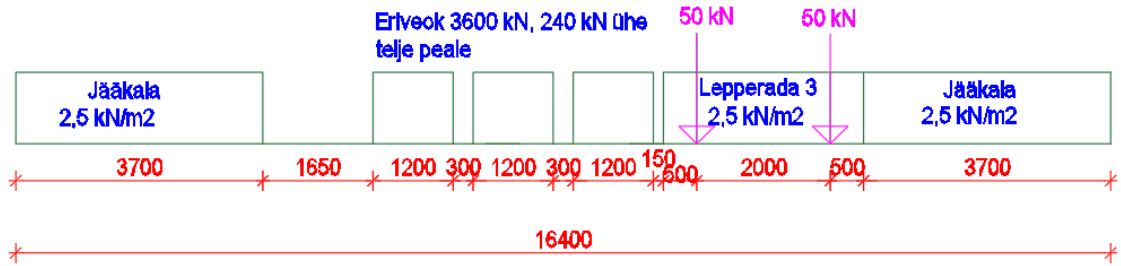
Koormusmudel 3 - põiktalade arvutamise jaoks (Tee osa)						
	Koondatud koormus, kN	Mõjujoonte ordinaatide summa	Koondatud koormus põiktalale kN	Põiktalade samm	Haju koormus, kN/m ²	Hajukoormus põiktalale, kN/m
Eriveok 3600 kN, 240 kN ühe telje peale	80	5,86	468,64			
Leppera da 3	50	1,862	93,1	8,75	2,5	21,875
Jääkala				8,75	2,5	21,875

Allolevas tabelis 5. on arvutatud materjalide koormused sõiduteel, silla ülemise põiktalal. Betooni ja asfaldi maht on 209,78 Kn/m². Autori uuringu raames on põiktala arvutuslikuks pikkuseks 16,4 meetrit ja sellest tuleneb, et koormus põiktala ühikpikkuse kohta on 209,78/16,4=12,79 Kn/m².

Tabel 5 Sõidutee koormused sillal ülemise põiktalale

Koormused ülemise põiktalale			
Materjalid	Pindala, m ²	Omakaal, Kn/m ²	KOKKU, Kn/m²
Betoon (tee osa)	6,83	25	170,85
Asfalt	1,56	25	38,93
KOKKU materjalide maht, Kn			209,78
Põiktala arvutuslik pikkus, meetrides			16,4
Koormus põiktala ühikpikkuse peale, Kn/m			12,79

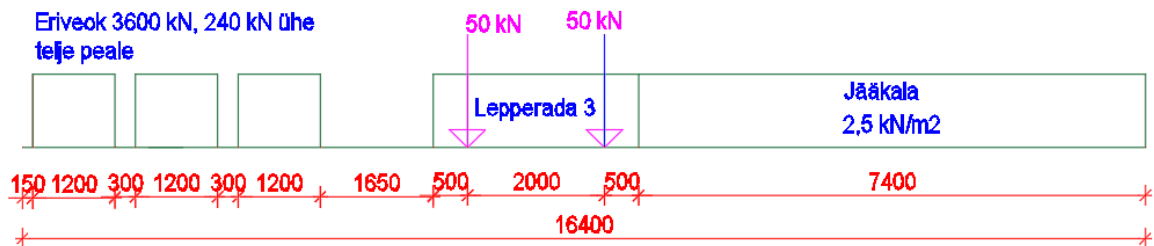
KOORMUSMUDEL 3 - Paindemomendi arvutamise jaoks



Joonis 18 - Koormusmodel 3 - Paindemomendi arvutamine

Joonisel 18. on rakendatud koormusmodel 3 koos koormusmodeliga 1 paindemomendi arvutamise jaoks.

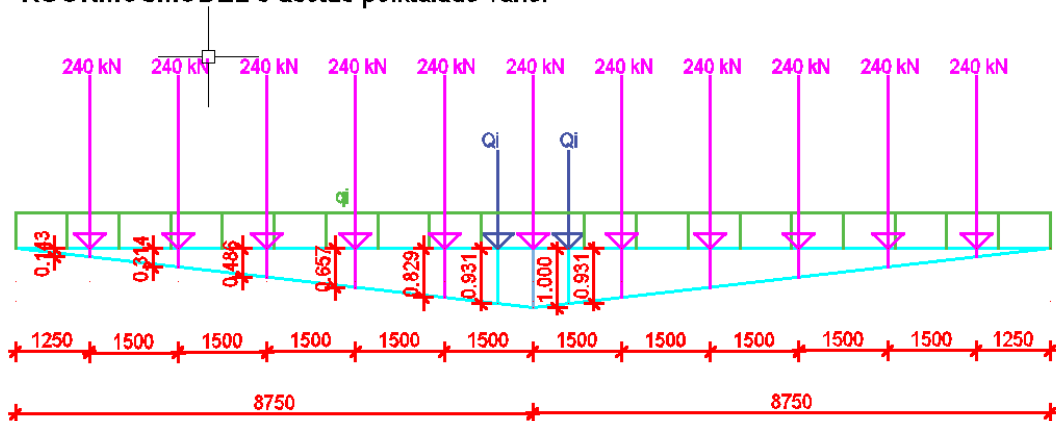
Põikjõu arvutamise jaoks



Joonis 19 – Koormusmodel 3 – Põikjõu arvutamine

Joonisel 19. on rakendatud koormusmodel 3 koos koormusmodeliga 1 põikjõu arvutamise jaoks.

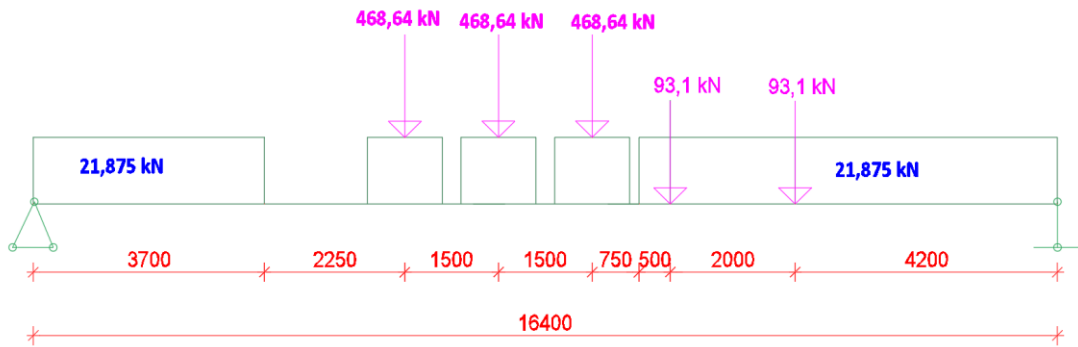
KOORMUSMUDEL 3 asetus põiktalade vahel



Joonis 20 - Koormusmodel 3 - Asetus põiktalade vahel

Joonisel 20. on näidatud, kuidas koormusmodel 3 koos koormusmodeliga 1 on rakendatud ühele põiktalale selliselt, et seal tekiks kõige suuremad sisejõud.

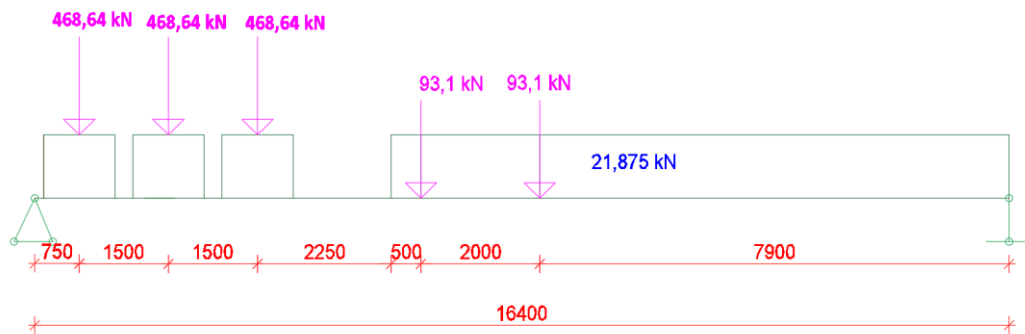
Põiktala paindemomendi (M) arvutuskeem koormusmudeli 3 jaoks



Joonis 21 - Koormusmudel 3 – Põiktala paindemomendi arvutamine

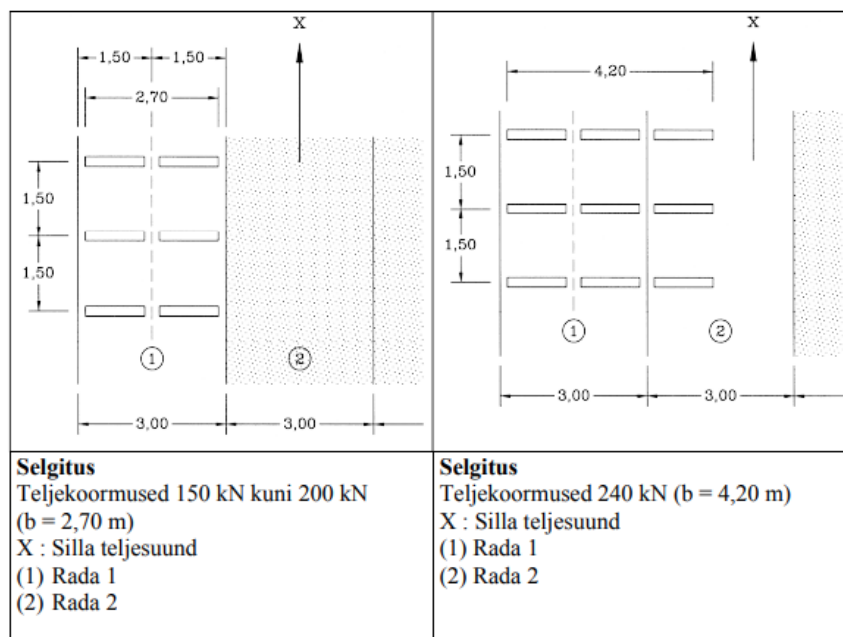
Joonisel 21. on toodud liikluskoormuste normväärtused põiktalale paindemomendi arvutamiseks vastavalt joonisel 20. olevale telje- ja hajukoormuste asetusele.

Põiktala põikjõu (Q) arvutuskeem koormusmudeli 3 jaoks



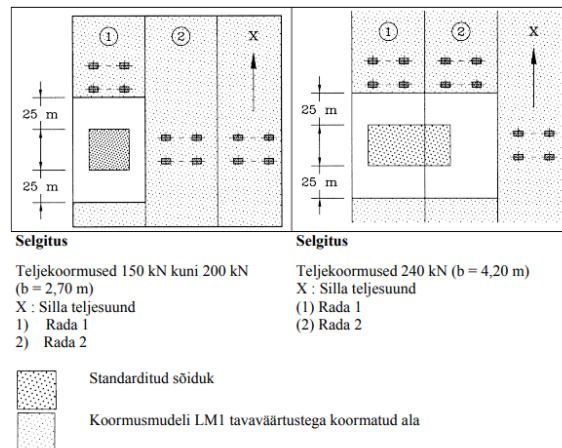
Joonis 22 – Koormusmudel 3 – Põiktala põikjõu arvutuskeem

Joonisel 22. on toodud liikluskoormuste normväärtused põiktalale põikjõu arvutamiseks vastavalt joonisel 20. olevale telje- ja hajukoormuste asetusele.



Joonis 23 - Erisõidukite rakendamine lepperadadele [24]

Alloleva joonise on näidatud koormusmudeli 1 ja erisõidukite samaaegne rakendamine lepperadadel:

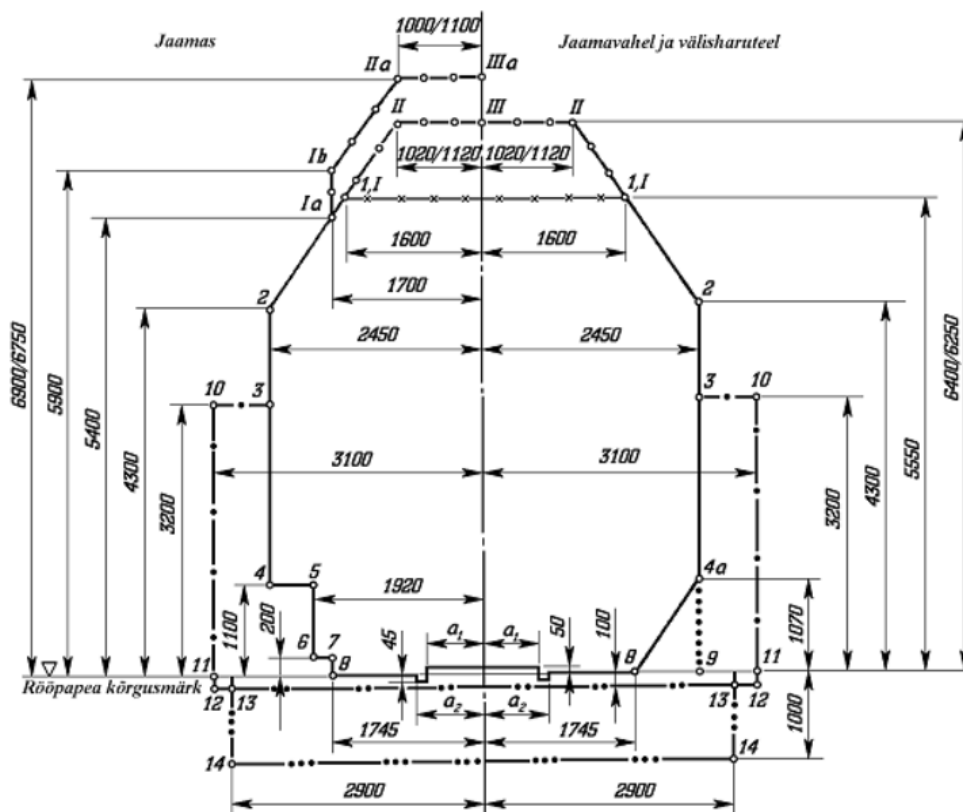


Märkus. Konkreetsete eriprojektide jaoks on võimalik teatud erisõidukite soodsama põiki-asendi määratlemine ning tavalikuse kohalolu samaaegne piiramine.

Joonis 24 - Koormusmudeli 1 ja erisõidukite samaaegne rakendamine lepperadadel [24]

5.2. Raudtee koormused sillal

Sõidutee all asetseva raudtee jaoks on vajalik ühe rongi suuna jaoks tagada minimaalsed gabariidid vastavalt joonisele 25. Lisaks tuleks jätta kummalegi poole täiendav ohutusruum, inimeste liikumiseks. Käesolevas töös on planeeritud rongi kõrguse gabariidiks minimaalselt 7,0 meetrit rööpa pealt ja kandva sõrestiku sisepindade vahelise laiuks on $2 + 6,2 + 6,2 + 2 = 16,4$ m. [23]



Joonis 25 - Rongi gabariit [23]

See teeb konstruktsiooni arvutuslikuks kõrguseks 9 meetrit ja kandva sõrestiku arvutuslikuks laiuseks ca 18 meetrit.

Kuna töötava sõrestiku arvestuslikuks kõrguseks on 9 meetrit, siis jätkuva sõrestiku korral, võttes sõrestiku kõrguse ja ava H/L suhteks 1/16, mis on optimaalsuse piiri peal, saame sõrestiku kandvate sammaste vahekauguseks $9 \cdot 16 = 144$ meetrit. Sellele toetudes valime sillasammaste telgede vaheliseks kauguseks 140 meetrit.

Alloleva tabelis on arvatatud materjalide koormused raudteel silla alumisele põiktalale. Betooni ja asfaldi maht on 209,78 Kn/m². Autori uuringu raames on põikjala arvutuslikuks pikkuseks 16,4 meetrit ja sellest tuleneb, et koormus põikjala ühikpikkuse peale $209,78/16,4=12,79$ Kn/m².

Tabel 6 Silla raudtee osa koormuste arvutamine alumise põiktalale

Koormused alumise põiktalale			
Materjalid	Pindala, m²	Omakaal, Kn/m²	KOKKU, Kn/m²
Betoon (raudtee osa)	6.09	25	152.30
Killustik	4.19	20	83.70
KOKKU materjalide maht, Kn			236
Põikjala arvutuslik pikkus, meetrides			16.4
Koormus põikjala ühikpikkuse peale, kN/m			14.39

Lähtudes standardi „EVS-EN-1991-2:2004+NA:2007 eurokoodeks 1: ehituskonstruktsioonide koormused, Osa 2: Sildade liikluskoormused“, sildade raudtee liikluskoormuse olemus sätestab kaasnevalt dünaamikamõjude, tsentrifugaaljõudude, löökjõudude, veo- ja pidurdusjõudude ning mööduvast raudteeliiklusest põhjustatud aerodünaamiliste koormuste arvutamise kohta. [24]

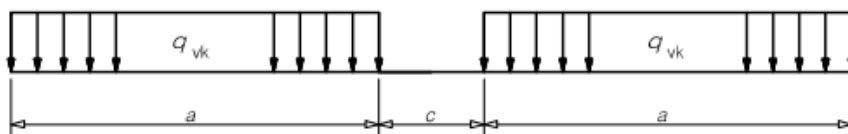
Raudteeliikluse koormuste määratlemiseks kasutatakse koormusmudeleid, mis on jagatud kategooriasse:

- koormusmudel 71 (ja koormusmudel SW/0 jätkuvsildadele) esindavad tavapäraselt raudteeliiklust põhivõrgu raudteedel;
- koormusmudel SW/2 esindab raskevedusid;
- koormusmudel HSLM esindab reisiringide poolt põhjustatud koormusi kiirustel, mis on suuremad kui 200 km/h;
- koormusmudel „tühiring“ esindab laadungit mitte kandva rongiga kaasnevaid mõjusid. [24]

Antud töö raames kasutatakse koormusmudelit SW/0 ehk jätkuvsildadele aga SW/2 ehk raskevedusid, mida käesolevas töös ei arvestata. Koormusmudel SW/0 esindab jätkuvtaladel kulgeva tavapärase raudteeliikluse vertikaalkoormuse staatilist mõju. Koormusmudel SW/2 esindab raskest raudteeliiklusest põhjustatud vertikaalkoormuse staatilist mõju. [24]

Allpool oleval joonisel on näidatud koormusmudelid SW/0 ja SW/2:

EVS-EN 1991-2:2004+NA:2007



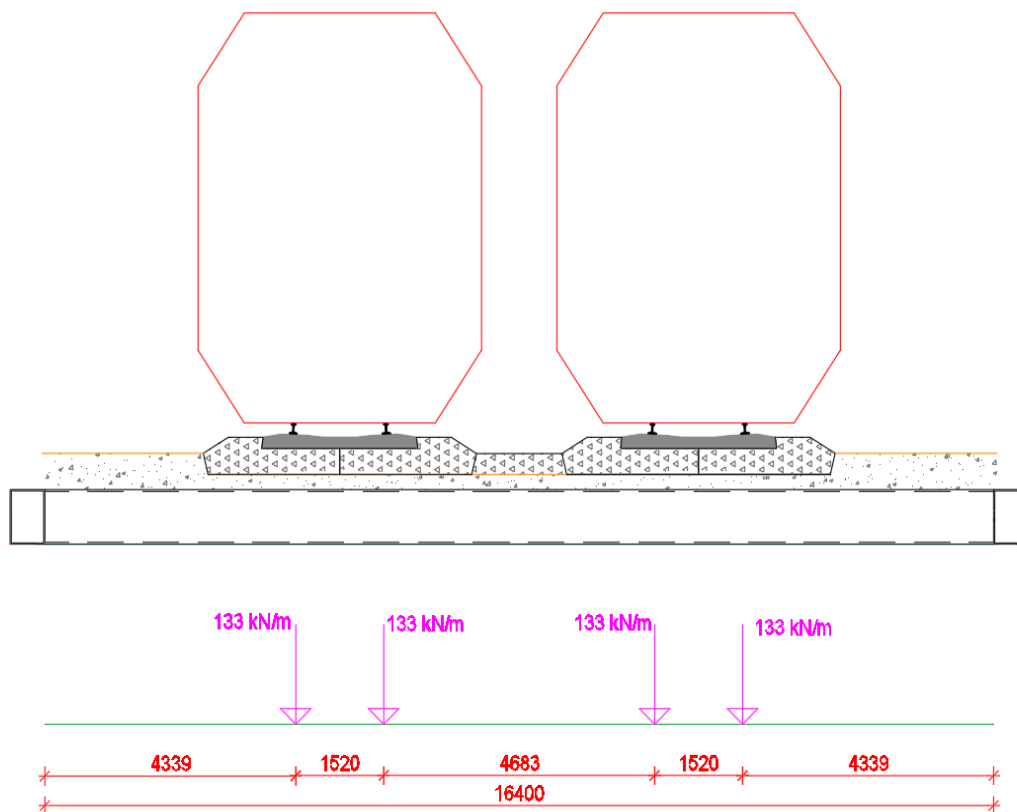
Joonis 26 - Koormusmudelid SW/0 ja SW/2 [24]

Järgnevas tabelis nädatakse koormusmudelite SW/0 ja SW/2 vertikaalkoormuste normväärtuseid:

Tabel 7 SW/0 ja SW/2 vertikaalkoormuste normväärtused [24]

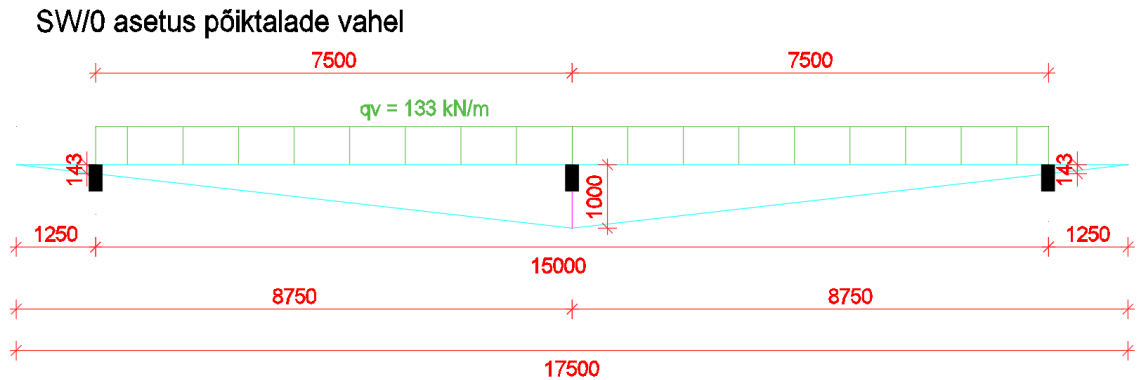
Koormus- mudel	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Määratakse kindlaks liinid või liinide osad, mida võib kasutada raskeraudteeliikluse korraldamises, mille puhul tuleb arvesse võtta koormusmudelit SW/2. [24]



Joonis 27 - Vertikaalkoormused raudtee osas

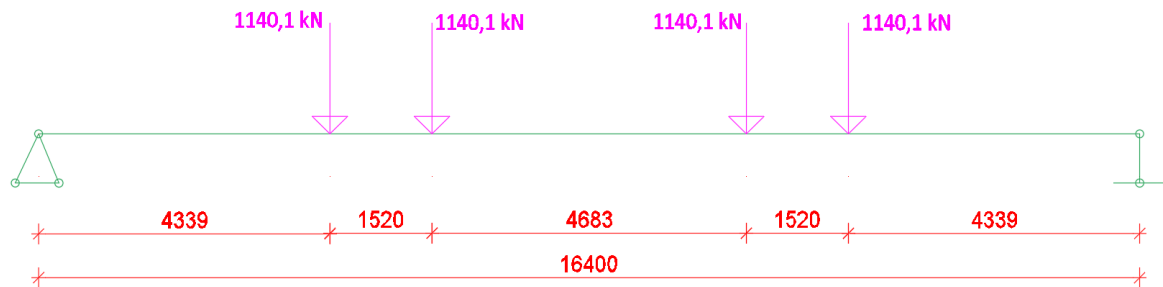
Joonisel 27. on rakendatud alumisele põiktalale vertikaalkoormused raudtee koormusmudelist SW/0.



Joonis 28 - Raudtee koormused - SW/0 asetus põiktalade vahel

Joonisel 28. on näidatud SW/0 asetus põiktalade vahel, et põiktalast tekiks maksimaalne sisejõud.

Põiktala paindemomendi ja põikjõu arvutuskeem SW/0 koormustest



Joonis 29 – Põiktala paindemomendi ja põikjõu arvutuskeem SW/0 koormustest

Joonisel 29. on toodud arvutusmudel põiktala paindemomendi ja põikjõu normatiivsetest koormusest SW/0 raudteel.

Tabel 8 Silla raudtee osa SW/0 koormus põiktalale

Raudtee SW/0 koormus põiktalale	
Koormuse normväärtus, kN/m	133
Mõjujoone pindala	8,57
Koormuse suurus põiktalale, kN	1140,1

Raudteeliinide puhul, kus rongiliiklus on tavapärasest raskem või kergem, tuleb esitatud normväärtused korrutada teguriga. Teguriga korrutatud koormusi nimetatakse klassifitseeritud vertikaalkoormusteks. Nimetatud teguri α väärtus peab olema võrdne ühega alljärgnevatest arvudest:

0,75 - 0,83 - 0,91 - 1,00 - 1,10 - 1,21 - 1,33 - 1,46

Kõikide sildade puhul, mille ületamisel on antud piirkonnas lubatud rongiliini

maksimaalne kiirus suurem kui 200 km/h või mille puhul osutub vajalikuks dünaamiline analüüs, tuleksid projekteerida koormusmudeli 71 (ja vajadusel koormusmudeli SW/0) normväärtustega või klassifitseeritud vertikaalsete koormustega teguriga 1 kooskõlas koormusmudeliga 71. Koormusmudel 71 esindab tavapärasest raudteeliiklusest põhjustatud vertikaalkoormuse staatilisi mõjusid. Põhilised tegurid, mis mõjutavad konstruktsiooni dünaamilist käitumist:

- i) liikluse kiirus;
 - ii) elemendi L sille ning vaadeldava elemendi läbipainde mõjujoone pikkus;
 - iii) konstruktsiooni mass;
 - iv) kogu konstruktsiooni ja vastavate konstruktsiooni elementide omavõnkesagedus ning omavõnkekujud piki rööbasteed;
 - v) telgede arv, teljekoormused ja telgede vahekaugus;
 - vi) konstruktsiooni võngete sumbuvus;
 - vii) rööbaste vertikaalne ebatasasus;
 - viii) sõiduki vedrustatud/vedrustamata mass ja vedrustusparameetrid;
 - ix) tekiplaadi ja/või rööbaste tuge (põiktalad, liiprid, jne) regulaarne vahekaugus;
 - x) sõiduki defektid (rataste tahud, kumeruse kaotanud rattad, vedrustuse defektid);
 - xi) rööbaste dünaamilised omadused (ballast, liiprid, rööbaste komponendid)
- [24]

Dünaamikategur Φ , mis võimendab koormusmudelite 71, SW/0 ja SW/2 staatilise koormuse mõju, tuleb võtta kas Φ_2 või Φ_3 . Üldjuhul dünaamikategur sõltub rööbasteede hooldamise kvaliteedist:

- a) Hästi hooldatud rööbasteede puhul:

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82$$

$$\text{kus: } 1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$$

[24]

- b) Standardse hooldusega rööbasteede puhul:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73$$

$$\text{kus: } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,0$$

[24]

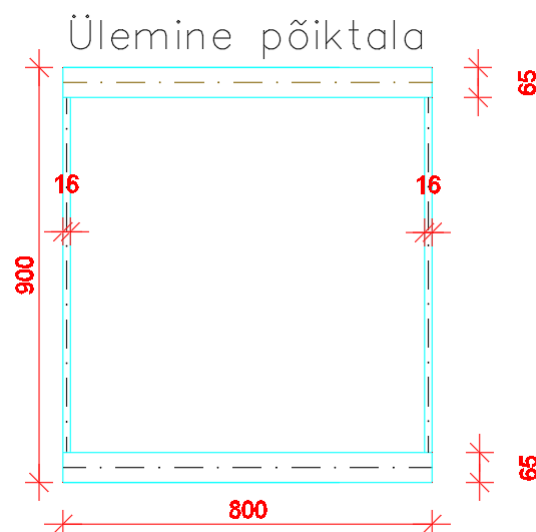
Koormusmudeli SW/0 kohaldamisel avalduvate kõige ebasoodsamate koormusmõjude määramiseks tuleb koormust üks kord rakendada rööbasteele, kahte rööbasteed kandvale konstruktsioonile tuleb koormusmudelit SW/0 rakendada ühele või mõlemale

rööbasteele. Koormusmudeli SW/2 kohaldamisel avalduvate kõige ebasoodsamate koormusmõjude tuleb üks kord rakendada rööbasteele; enam kui ühte rööbasteed kandvale konstruktsioonile tuleb ühele rööbasteele koormusmudelit SW/2 rakendada ainult koos mõnele teisele rööbasteele rakendatud koormusmudeli 71 või koormusmudel SW/0-ga. Lähtudes „Elektrifitseeritud raudteede kontaktvõrgu ehituse ja tehnokasutuseeskiri“, AS EVR Infra tegevuseeskirja (kinnitatud AS EVR Infra juhatuse 10.02.2009 otsusega nr 8/5.1) lisa loetelus nimetatud dokument nr 4. Eeskiri kehtib alalis- ja vahelduvvooluga raudteeliinide kontaktvõrguseadmetele, kus liikumiskiiruseks on kuni 160 km/h. Jaamades olev ja jaamade vaheline kontaktriputussüsteem valitakse vastavalt liiklus kiirusele, voolukoormusele, ilmastikule ja teistele kohalikele oludele. Antud töös valitud kontaktriputussüsteemiks „Kompenseeritud resoorriputusüsteem ühe või kahe kontaktjuhtmega.“ Selle kontaktriputussüsteemi kasutuspiirkond on jaamadevahede peateedel, välja arvatud väikese koormusega peateedel, sõltumata rongiliikluse kiirusest. Jaamade peateedel, kui rongiliikluse kiirus on 120 km/h või ületab selle. Kontaktjuhtme riputuskõrgus peab jaamavahedes ja jaamades olema vähemalt 5750 mm ja ülesõidukohtades vähemalt 6000 mm arvestades rööpapea ülemise osa tasapinnast. Kontaktjuhtme riputuskõrgus ei tohi ületada 6800 mm. [24] [25]

5.3. Põiktalad sõrestike vahel

Ülemise ja alumise põiktala sisejõud on arvatatud kasutades programmi STAAD. Talad on dimensioneeritud lähtuvalt kasutus ja kandepiirteisundist ja on proovitud kasutada lahendust, kus talad toetuvad põhisõrestiku sõlmedesse. Talade tihedama asetusega saaks kasutada kergemaid konstruktsioone, kuid materjalikulu jääks sarnaseks.

5.3.1. Ülemine põiktala



Joonis 30 – Ülemine põiktala

Ülemise põiktala pindalaks on:

$$1) ((800*65)*2) + ((770*16)*2) = 128640 \text{ mm}^2 = 0,129 \text{ m}^2.$$

Terase mahukaal on 7,85 tonni/m². Sellest tuleneb:

$$2) 0,129 * 7,85 = 1,01 \text{ tonni/m}$$

Põiktala kogukaal on vastavalt:

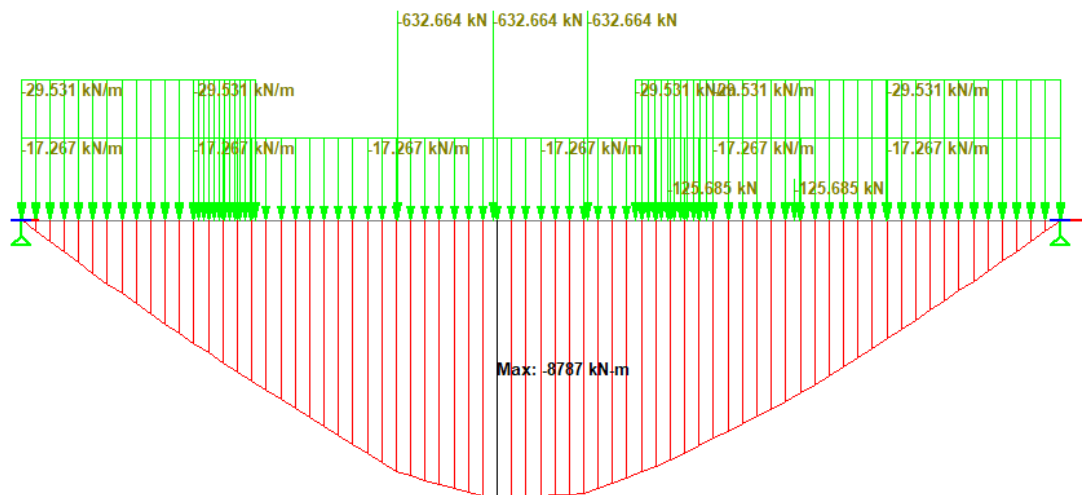
$$3) 1,01 * 16,4 = 16,56 \text{ tonni.}$$

Allpool tabelis on maksimaalsed siirded ülemises põiktalas. Siirded on maksimaalsed eriveoki koormusskeemist suurusega 39 mm, mis on väiksem, kui 1/400 16,4 meetri pikkusest sildeavast.

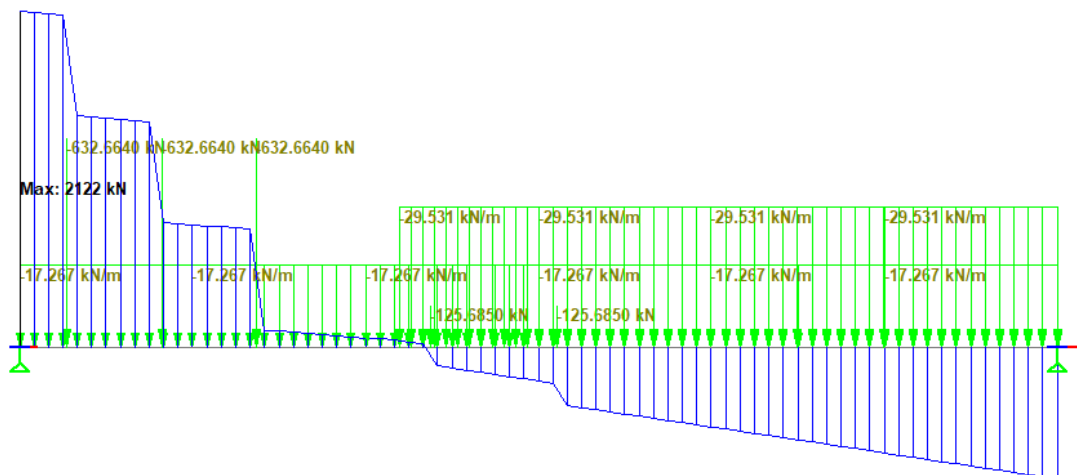
			Horizontal	Vertical	Horizontal	Resultant	Rotational		
	Node	L/C	X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
Max X	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Min X	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Max Y	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Min Y	5	4 LM 3 - MAX	0.000	-39.609	0.000	39.609	0.000	0.000	0.000
Max Z	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Min Z	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Max rX	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Min rX	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Max rY	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Min rY	1	2 LM 1 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
Max rZ	2	4 LM 3 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
Min rZ	1	4 LM 3 - MAX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.007
Max Rst	5	4 LM 3 - MAX	0.000	-39.609	0.000	39.609	0.000	0.000	0.000

Allpool tabelis on näidatud maksimaalsed sisejõud koormuskombinatsioonidest LM1 ja LM3 koos omakaaluga. Kõige suurem paindemoment on koormusskeemil, kus LM3 on tala keskel. Suurim põikjõud on koormusskeemil, kus LM3 on tala servas. Maksimaalne pinge on 204 MPa, mis on väiksem, kui terase lubatud 355 MPa. Antud puhul sai määravaks tala paindejäikus ja läbivajumine. Joonisel 31 ja 32 on toodud ka vastavad sisejõudude epüürid.

				Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	Beam	L/C	Node	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Max Fx	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Min Fx	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Fy	1	24 ARVUTUS	1	0.000	2122.372	0.000	0.000	0.000	0.000
Min Fy	6	23 ARVUTUS	2	-0.000	-1454.612	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Max Fz	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Min Fz	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Mx	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Min Mx	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Max My	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Min My	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Mz	1	21 ARVUTUS	1	0.000	1412.766	0.000	0.000	0.000	0.000
Min Mz	3	23 ARVUTUS	5	-0.000	-121.740	-0.000	-0.000	-0.000	-8710.587



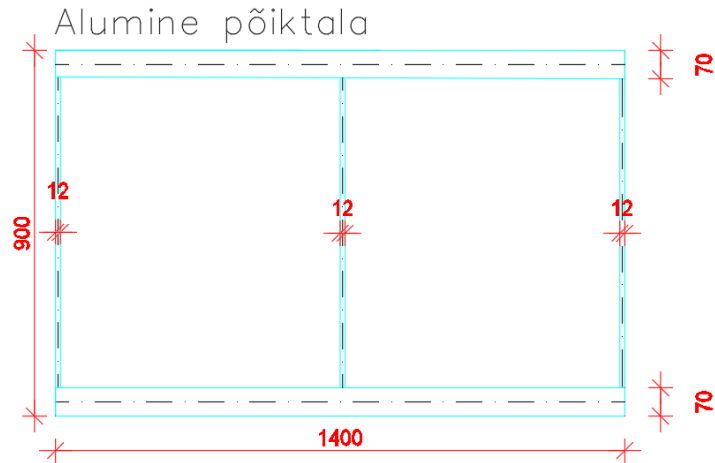
Joonis 21 - Paindemomendi epüür LM3



Joonis 32 - Põikjõu epüür LM 3

5.3.2. Alumine põiktala

Alumise põiktala koormused on tänu valitud rongi koormusele oluliselt suuremad. Tuleks kaaluda võimalusi ära jätta raudtee kõrvale planeeritud ohutusala, mis võimaldaks tuua sõrestikud lähemale ja saaks materjali kokku hoida.



Joonis 33 - Alumine põiktala

Alumise põiktala pindalaks on:

$$1) ((1400 \cdot 70) \cdot 2) + ((760 \cdot 12) \cdot 2) = 214240 \text{ mm}^2 = 0,214 \text{ m}^2.$$

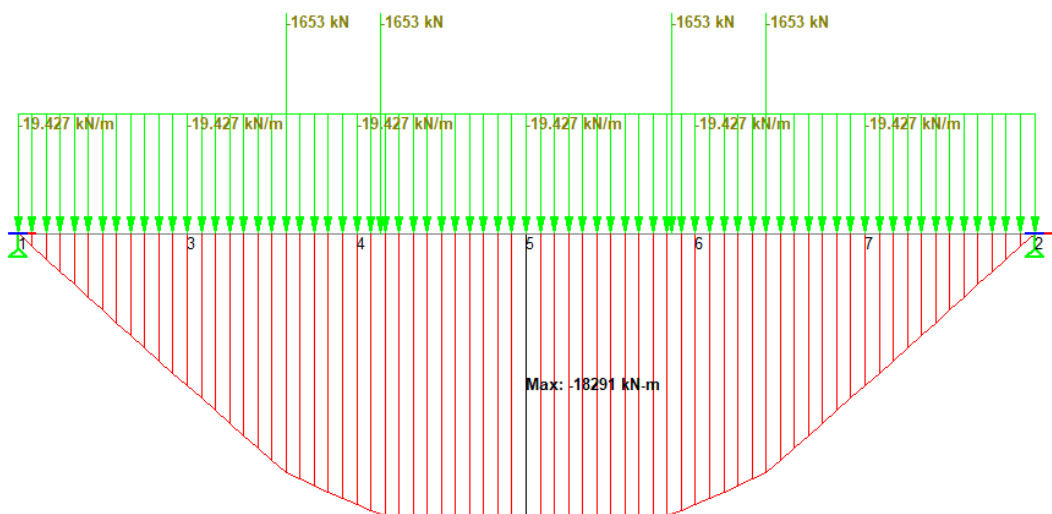
Terase mahukaal on 7,85 tonni/m². Sellest tuleneb:

$$2) 0,214 \cdot 7,85 = 1,68 \text{ tonni/m}.$$

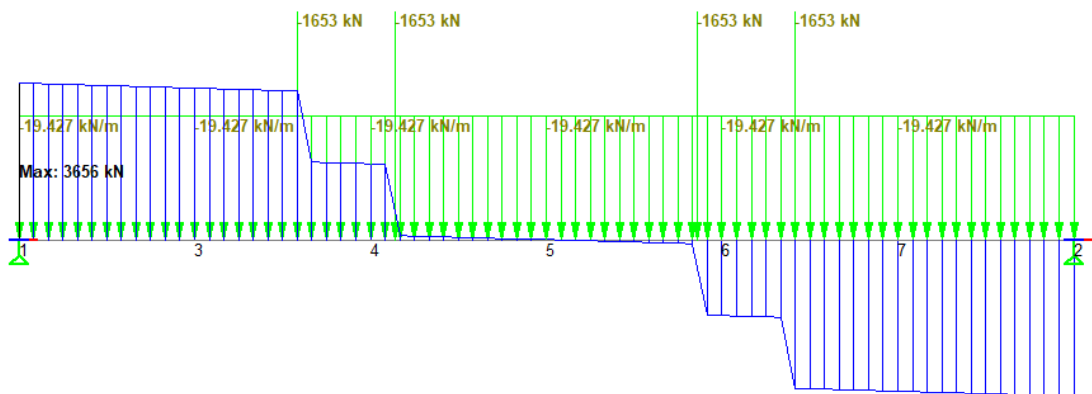
Põiktala kogukaal on vastavalt:

$$3) 1,68 \cdot 16,4 = 27,55 \text{ tonni}.$$

Pinged põiktalas ei ületanud 234 MPa, kuid maksimaalne siire on 51 mm, mis on suurem, kui lubatav 27 mm (raudtee korral L/600). Alumised põiktalad tuleb selle lahenduse korral panna tihedama sammuga, 4375 mm, mitte toetades nad sõrestiku sõlmedesse vaid ühtlase sammuga sõlmede vahelisse ossa. Joonisel 34 ja 35 on vastava tala sisejõudude epüürid.



Joonis 34 - Pindemomendi põiktalas rongikoormusest



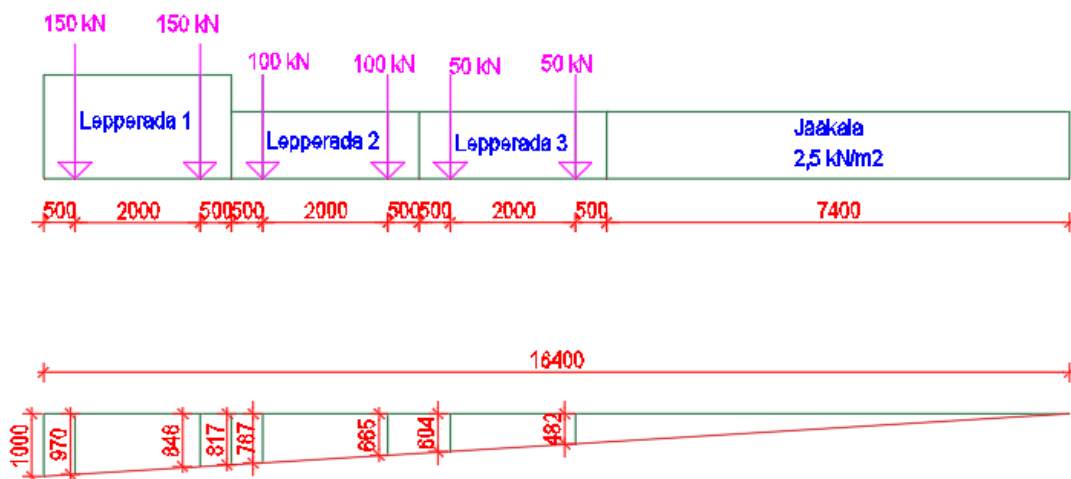
Joonis 35 - Põikjõu epüür rongikoormusest

5.3.3. Põiktalade arvutustulemuste kokkuvõte

Nii ülemise, kui alumise põiktala puhul on määravaks kasutuspiirseisund ehk läbivajumised. Talade paindejäikuse suurendamiseks tuleks kasutada kas kõrgemaid talasid või arvutada koosmõjus betoonplaadiga komposiitlana. Praeguseid arvutustulemusi mõjutab ka see, et talad arvutati lihttaladena, kuid tegelikult tuleks kogu süsteem arvutada 3D mudelis, siis võetaks arvesse ka jäik ühendus põiktala ja sõrestiku vahel. Sisejõudude poolest saaks kasutada oluliselt väiksemaid ristlõikeid.

5.4. Teetrassi sõrestiku tüüplahendus

Sõrestiku arvutamisel kasutati olukorda, kus liikluskoormus mõjus sõrestiku sildeava keskel. Korraga oli sõrestikule rakendatud maksimaalne liikluskoormus nii auto, kui raudteeliiklusest. Kuna sõrestik on pikk, siis sellises olukorras on LM1 mõju suurem, kui LM3 oma. Liikluskoormuste koosmõju arvestamiseks kasutati kombinatsioonitegureid vastavalt EVS-EN 1990:2002/A1. Koormused rakendati sõrestiku ülemisele ja alumisele vööle, arvestades koormuse põikjagunemist sõrestike vahel kangimeetodil.

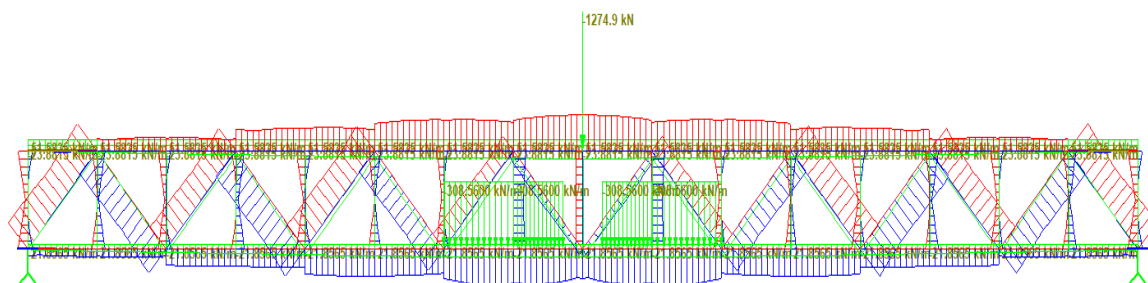


Joonis 36 - LM1 põikjagunemine

SW/0 koormus on tala keskel ja jaguneb võrdselt sõrestikule.

Sõrestiku dimensioneerimisel arvestati nelikant ristlõikega ja suurendati varraste seinapaksusi, selliselt, et nii kande, kui ka kasutuspiirseisund oleks tagatud. Arvutused tehti programmiga STAAD.Pro.

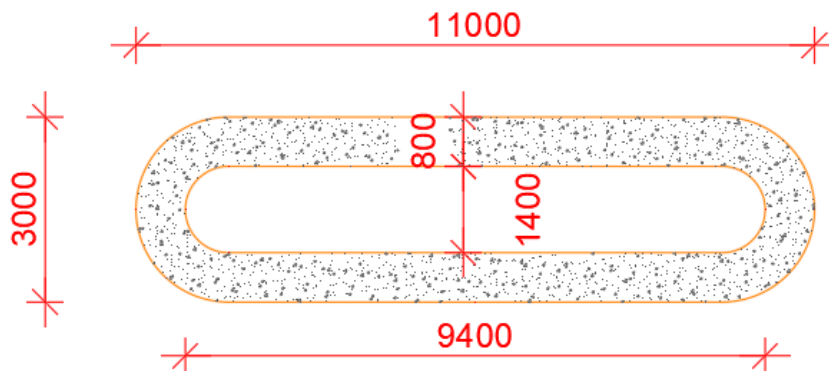
Läbivajumine koormusmudelist SW/0 tuli 228 mm, mis on 1/614 140 meetri pikkuse sõrestiku jaoks lubatav. Läbivajumine liikluskoormusest LM1 on 126 mm.



Joonis 37 - Koormusasetused ja pinged kõige raskemas olukorras

Määravaks sai olukord, kus liikluskoormus LM1 mõjus maksimaalselt ja SW/0 kombinatsioonitegur oli 0.9. Sõrestiku terase kaal arvutati programmi poolt ja see on 7763,9 kN (776,4 tonni).

5.5. Sõrestiksilla põhisamba lahendus



Joonis 38 - Silla põhisamba ristlõige

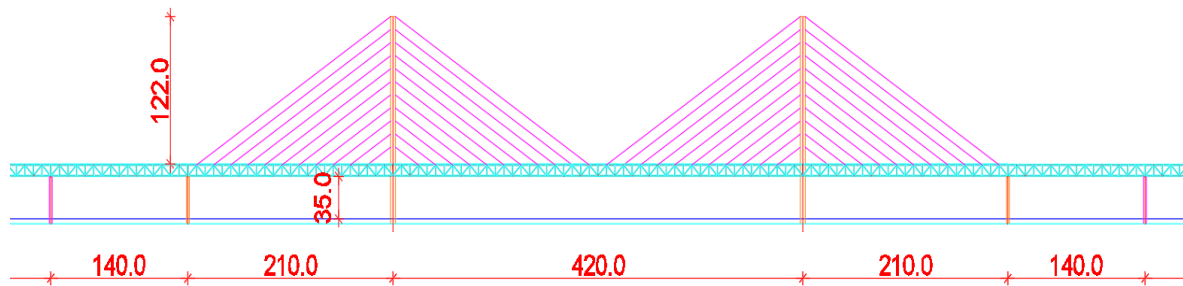
Sõrestiksilla põhisammas on plaanitud monoliitbetoonist seest õõnsa sambana, mis toetub, kas kessonile või vaivundamendile, sõltuvalt geoloogilistest tingimustest. Samba ülaossa rajatakse riigel, millele hakkavad toetuma sõrestiku tugiosad. Sammaste kõrgus varieerub veepinnast kuue kuni 35 meetrini. Kogu trassi peale on arvestatud betooni mahtude arvutamiseks sammaste keskmiseks kõrguseks 30 meetrit, mis sisaldab ka veealust osa ja vundamente. Sambad saab rajada kaldal valatud monteeritavatest seksioonidest, mis tuuakse kohale laevaga. Sammaste projekteerimisel tuleb arvestada lisaks silla koormustele ka tuule ja jää koormusega. Alternatiivselt saaks kummagi sõrestiku alla teha eraldi sambad, millele rajatakse ühine riigel, sellisel juhul võiks postide läbimõõt olla 4 meetrit ja need tuleks valada seest täis ning kogu materjali kulu oleks sarnane ühe suure seest tühja sambaga. Täpsem lahendus selgub tegeliku projekteerimise käigus. Tugiosad oleksid sfäärilised, mille eluiga peaks olema vähemalt 100 aastat.

Raudteed kandval tekil on sillavuugid lahendatud terasplaatidega, millele toetub ballast. Sõidutee vuugid tuleks rajada elastse täidega vuukidena, et asfaldipind oleks ühtlane.

5.6. Laevatatava ava sildamine

Teetrassile oleks vaja rajada vähemalt üks sild, millel laevatatav gabariit on 35 meetrit ja laius 390 meetrit. Kõige sobivam lahendus selleks oleks vantsild. Keskmine sildeava võiks olla pikkusega 420 meetrit ja laiusega 22 meetrit. Vantsilla külgmised avad on

210 meetrit. Pülooni kõrgus tekiplaadi pealt võiks olla 122 meetrit. Püloonid on planeeritud rajada eraldi seisvatena analoogselt Oresund-i silla püloonidele (Foto 10). Vantide süsteem võiks olla harfi või modifitseeritud harfi kujuline. Vantide samm on 17,5 m ja vandid kinnituvad sõrestiku sõlmede juures asuvatele teraskonsoolidele. Jäikurtala lahenduseks on samasuguse ristlõikega sõrestik nagu ülejäänud teetrassil.



Joonis 39 – Võimalik vantsilla lahendus

Vantsilla eelisteks on võimalus rajada see iseankurduvana, kandes kõik vantides olevaid jõud üle sõrestikule nii, et otsasammastes ei teki tõmbejõude. Alternatiiviks võiks olla ka teraskaar, ripp silla rajamiseks tuleks merre ehitada massiivsed ankurplokid.

6. Materjalide mahtude kokkuvõte

Teetrassi ligikaudseks pikkuseks on 23 km ja üks sillaava on 140 meetrit. Sillaavade arv kokku on: $23000/140 = 164$. Põhimaterjalide kulud on tabelis 9.

Tabel 9 Silla põhimaterjalide kulud

Teras mahtude kokkuvõte								
Materjal	Element/ Asukoht	Kaal, t	Elemen tide arv	Kokku, t	Sillaav ade arv	Kulu sillale,t	Ühiku hind €/t	Kokku milj €
Teras, S355	Ülemine põiktala	16.56	16	264.96	164	43453. 4	6000	€ 260.72
	Alumine põiktala	27.55	32	881.6	164	144582	6000	€ 867.49
	Sõrestik	776.4	2	1552.8	164	254659	6000	€ 1,527. 9
Betooni mahtude kokkuvõte								
Materjal	Element / Asukoht	Rum ala, m3	Pikkus , m	Ruum ala, m3	Sillaav ade arv	Kulu sillale, m3	Ühik u hind, €/tonni	Kokku , milj €
Betoon	Raudtee osa	6.09	140	852.88	164	139874	750	€ 104.91
Betoon	Tee osa	6.83	140	956.77	164	156910	750	€ 117.68
Betoon	Sammas	18.33	30	549.9	164	90183. 6	750	€ 67.64
Killustik	Raudtee osa	4.19	140	585.90	164	96088	56	€ 5.38
						KÕIK KOKKU, milj €	€ 2,951.78	

Allolevas tabelis 10 on arvestatud asfaldi ja hüdroisolatsiooni maksumusega.

Tabel 10 Asfaldi ja hüdroisolatsiooni kokkuvõte

Asfaldi ja hüdroisolatsiooni kokkuvõte					
Materjal	Laius, m	Silla pikkus, m	Pindala, m²	Ühiku hind €/m²	Kokku, milj €
Tihedast asfaltbetoonist AC8bin, h= 4 cm	17.3	23000	397900	18	7.162
Killustikmastiksfalt AC16 surf, h= 5 cm	17.3	23000	397900	20	7.958
Alumise tekiplaadi hüdroisolatsioon (süsteem 2)	16.4	23000	377200	30	11.316
Ülemise tekiplaadi hüdroisolatsioon (süsteem 2)	17.3	23000	397900	30	11.937
			KÕIK KOKKU		38.373

Tabel 11. Täiendavate materjalide kokkuvõte

Täiendavate materjalide kokkuvõte					
Materjal	Pikkus, m	Arv	Pikkus kokku, m	Ühiku hind €/m²	Kokku, milj €
Alumise tekiplaadi deformatsioonivuuk	16.4	164	2689.6	10	0.0269
Ülemise tekiplaadi deformatsioonivuuk	17.3	164	2837.2	150	0.4256
Silla piire	23000	2	46000	200	9.2000
Tugiosad	-	656	-	1000	0.6560
			KÕIK KOKKU		10.3085

Silla kogumaksumus on ca € 3 miljardit. Silla ülemise teki ja alumise teki kogulaius 36,6 meetrit. Silla kogu pindala 821 100 m². Silla 1 m² maksumus tuleks 3563 €, mis on Eesti statistikat arvestades, sarnases suurusjärgus teiste samasuguse konstruktsiooniga sildadel.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli uurida püsiühenduse rajamise võimalust Mandri-Eesti ja Hiiumaa vahel, kasutades selleks erinevaid sillalahendusi. Hiiumaa püsiühenduse loomine on atraktiivne arvestades nii majandust, kui ka turismi. Selleks oli valitud teetrass 23 km lõiguna Rohukülast Heltermaani, mille põhiosa on sõrestiksild ja kohas, kus vajalik tagada lai laevatav gabariit sillatakse ava vantsillaga.

Planeeritud Hiiumaa püsiühendus oleks üheks pikematest rajatistest maailmas. Sellised taristud toovad riiki juurde nii tava turiste, kui ka spetsialiste, insenere, kes tulevad uudistama maailmas ainulaadset ja olulist konstruktsiooni. Sild ja tee annavad võimaluse vabalt pääseda Hiiumaale, sest nad on kogu aeg avatud liiklejale, võrreldes parvlaevaga, mis käib graafiku alusel. Hiiumaad külastatavate turistide arv kasvaks ja sellel oleks positiivne efekt saare majandusele. Selle lõputöö raames on toodud välja Hiiumaa ajalugu, arenguvõimalused, majanduslik olukord, uue teetrassi variandid, joonised, projektide-sildade kirjeldused, konstruktsiooni valikud sh elemendid, materjalid ja koormuse liigid, konstruktiivsed skeemid ja asetused, koormused ja arvutusskeemid, näidatud sõrestiksilla sisejõud ning dimensioneeritud põhielemendid. Saadud lahenduse jaoks on arvatud mahud ja maksumused.

Sild rajatakse kahetasandilisena. Ülemine sillatekk on mõeldud 2+2 autoliiklusele ning sellele on planeeritud projektikiiruseks 100 km/h. Alumine sillatekk on mõeldud raudteeliikluseks ning on kahe rööpmepaariline. Sõrestiku kõrguseks on valitud 9 meetrit ja ühe sildeava pikkuseks on valitud 140 m. Arvestades, et vantide kinnitamiseks peaks olema sild konstruktiivselt veel laiem, siis sillateki kogulaiuseks planeeriti 20,2 meetrit. Arvutusskeemidel kasutati maanteel koormusmudelit 1 (LM1), koormusmudelit 3 (LM 3) ja raudtee osas koormusmudelit SW/0.

Laevatavale avale, gabariidiga 35x390 meetrit planeeriti vantsild. Keskmine sildeava on planeeritud 420 meetrit ja laieusega 22 meetrit. Vantsilla külgmised avad on 210 meetrit. Pülooni kõrgus tekiplaadi pealt on 122 meetrit. Vantide samm on 17,5 meetrit. Jäikurtala lahenduseks on samasuguse ristlõikega sõrestik nagu ülejäänud teetrassil. Hiiumaa saare projekti maksumuseks tuleb ca 3 miljardit €, silla tekiplaatide 1m2 maksumuseks tuleks 3563 €. Sarnase m2 maksumusega tuleks ka arvestada, kui sild tuleks kitsam ja ühe raudteeliiniga või ühetasandilisena.

SUMMARY

The aim of this thesis was to investigate the possibility of establishing a permanent connection between mainland Estonia and Hiiumaa, using different bridge solutions. The establishment of a permanent connection to the island of Hiiumaa is attractive from the point of view of economy and tourism. For this purpose, the road route was chosen as a 23 km section from Rohuküla to Heltermaan, the main part of which is a truss bridge, and where it is necessary to ensure a wide navigable gauge, the opening is bridged with a cable-stayed bridge.

The planned Hiiumaa permanent connection would be one of the longest facilities in the world. Such improvements in the country's infrastructure also bring new tourists and engineers to the country where an important structure in the world's view is located. The bridge and the road provide the opportunity to freely access the island of Hiiumaa because the bridge and the road are open to traffic at all times compared to the ferry. Hiiumaa island is a good place for tourists to visit, and the economic situation of Hiiumaa island also improves accordingly. In the framework of this thesis, the history of Hiiumaa island, development possibilities, economic situation, variants of the new road route, drawings, descriptions of projects-bridges, construction options, incl. elements, materials and types of load, constructive schemes and placements, loads and calculation schemes, internal forces of the truss bridge shown and dimensioned main elements. Volumes and costs of the resulting solution.

The bridge was built on two levels. The upper bridge deck is designed for 2+2 car traffic and has a planned design speed of 100 km/h. The lower bridge deck is designed for railway traffic and has 2 sets of rails. The height of the truss has been chosen to be 9 meters and the length of one span has been chosen to be 140 m. Considering that the bridge should be structurally wider to attach the shrouds, the total width of the bridge deck was planned to be 20.2 meters. In the calculation schemes, load model 1 (LM1), load model 3 (LM 3) and railway load model SW/0 were used in the calculation schemes. A cable-stayed bridge with a navigable opening of 35x390 meters was planned. The average span is planned to be 420 meters and 22 meters wide. The lateral openings of the cable-stayed bridge are 210 meters. The height of the pylon above the deck is 122 meters. The pitch of the shrouds is 17.5 meters. The solution for the rigid beam is a truss with the same cross-section as the rest of the road. The cost of the Hiiumaa island project will be approx. €3 billion, the cost of 1 m² of bridge deck slabs will be €3,563. A similar m² cost should also be taken into account if the bridge would be narrower and with 1 railway line or single-level.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] https://vald.hiiumaa.ee/et/uudised-ja-teated/-/asset_publisher/yiqiEs81xelQ/content/hiiumaa-elanike-arv-taas-tousulainel?redirect=http%3A%2F%2Fvald.hiiumaa.ee%2Fet%2Fuudised-ja-teated%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_yiqiEs81xelQ%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_s_tate%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1 (02.05.2023)
- [2] <https://hiiumaa.ee/> (02.05.2023)
- [3] <https://hiiumaa.ee/transport/> (02.05.2023)
- [4] <https://hiiumaa.ee/ajalugu/> (02.05.2023)
- [5] https://hiiumaaarenduskeskus.ee/wp-content/uploads/2022/08/Hiiumaa-majandusliku-potentsiaali-uuring_2022.pdf (02.05.2023)
- [6] <https://www.worldhighways.com/wh10/feature/kuwait-sheikh-jaber-al-ahmad-al-sabah-causeway-opens> (02.05.2023)
- [7] <https://www.worldatlas.com/places/lake-pontchartrain-causeway.html> (02.05.2023)
- [8] http://triumpher.com/en_m.php?m=page&a=news_show&id=3494&cate_id=77&pid=74&p=3&f=img_list (02.05.2023)
- [9] <https://www.dangerousroads.org/asia/china/6100-hangzhou-bay-bridge.html> (02.05.2023)
- [10] <https://lifeglobe.net/entry/1152> (02.05.2023)
- [11] <https://www.dar.com/work/project/sheikh-jaber-al-ahmad-al-sabah-causeway-project> (02.05.2023)
- [12] <http://www.bridgesdb.com/bridge-list/great-belt-bridge/> (02.05.2023)
- [13] <https://www.reduper.com/industry/traffic/bridge/sea-bridge/oresund-bridge/> (02.05.2023)
- [14] <https://www.reduper.com/leaderboard/top-10-longest-sea-bridges-bridge-section-only/?fbclid=IwAR3GqMt3ddVwuHQY3a4Hvk9nqZQErMM7KLk7WGjey86fxlh8bChwd-QGwpc> (02.05.2023)
- [15] <https://www.britannica.com/topic/Vasco-da-Gama-Bridge> (02.05.2023)
- [16] <https://nordics.info/show/artikel/a-short-history-of-the-oresund-bridge> (02.05.2023)
- [17] <https://www.reduper.com/industry/traffic/bridge/sea-bridge/hong-kong-zhuhai-macau-bridge/?fbclid=IwAR1oEENvt5HSZiaeZGUanBY3nOKBBWQQ6o08sHI06jHukv0q1ioQpWgMi6M> (02.05.2023)
- [18] <https://www.reduper.com/industry/traffic/bridge/sea-bridge/sheikh-jaber-al->

- [ahmad-al-sabah-causeway/?fbclid=IwAR0G9vHEyhDDpYQnm4YF3v2lQiaX-0ej0uM-Ve6D13PJdVEGsWTdd8UczNI](#) (02.05.2023)
- [19] https://www.reduper.com/industry/traffic/bridge/sea-bridge/donghai-bridge/?fbclid=IwAR3tyTLP6GpL8A4h37l2Q4NhXZJMV6w1Z9jvbTAq5NvJkqiYgGsrnKEJ_uJc (02.05.2023)
- [20] https://www.reduper.com/industry/traffic/bridge/sea-bridge/second-penang-bridge/?fbclid=IwAR0yI4HfMHmb4RLqkQoXRfdPcF49U4qdxhmudPE14Znb6SbaOLjsaCji_1hA (02.05.2023)
- [21] https://www.reduper.com/industry/traffic/bridge/sea-bridge/oresund-bridge/?fbclid=IwAR1rU1hhUohWy4i7w1cZRQzXYyuT_uPKuEnxecHOb9M1g5K-YqM8Btjwhwc (02.05.2023)
- [22] https://www.reduper.com/industry/traffic/bridge/sea-bridge/great-belt-bridge/?fbclid=IwAR1as8lufhyzMuhJ3tHLc71bumPngb8O0izcjtaHb8qDEEzXK_yHdr-ruRc (02.05.2023)
- [23] <https://www.riigiteataja.ee/akt/86639?fbclid=IwAR0n1KOW-orEL1WPDo5rvaqO01Zo4AhkCD0A6SvzPNvRzMJKB50mEHfWxI> (02.05.2023)
- [24] EVS-EN-1991-2:2004+NA:2007 EUROKOODEKS 1: EHITUSKONSTRUKTSIOONIDE KOORMUSED, Osa 2: Sildade liikluskoormused.
- [25] „Elektrifitseeritud raudteede kontaktvõrgu ehituse ja tehnikasutuseeskiri“, AS EVR Infra tegevuseeskirja (kinnitatud AS EVR Infra juhatuse 10.02.2009 otsusega nr 8/5.1) lisa loetelus nimetatud dokument nr 4.
- [26] https://www.researchgate.net/figure/Side-view-of-the-Donghai-Bridge-and-arrangement-of-anemometers-unit-m_fig2_323941815 (02.05.2023)
- [27] <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-of-Main-Bridge-of-Second-Penang-Bridge-in-Man-Bo/f24364a3fc370a7347865309759a3d9e1e0a210f/figure/0> (02.05.2023)
- [28] Book. „Cable Supported Bridges, Concept and Design, Third Edition“. Niels J.Gimsing, Christos T.Georgakis. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark.
- [29] <https://teejuht.halulaev.ee/kalandus/hiiu-kaluri-luqu/> (02.05.2023)
- [30] <https://baltictrails.eu/et/forest/route/day/62/photo> (02.05.2023)
- [31] <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/5/121> (02.05.2023)
- [32] <https://www.pciqulfsouth.org/lake-pontchartrain-causeway> (02.05.2023)
- [33] <https://www.mageba-group.com/tr/tr/1023/Avrupa/%C4%B0sve%C3%A7/19554/%C3%98resund-Bridge.htm> (02.05.2023)
- [34] https://www.researchgate.net/figure/Elevation-and-cross-section-of-the-Great-Belt-East-Bridge-Source-WEIGHT-2009_fig4_329706044 (02.05.2023)

- [35] Juhis. „Riigiteede ristlõike valimise juhend“, KT_025_J13_r1, 27.07.2022 nr 1.1-7/22/119.
- [36] <https://et.wikipedia.org/wiki/Hiiumaa> (02.05.2023)
- [37] https://digi.lib.ttu.ee/opik_eme/slaidid/raam.EST4.pdf (02.05.2023)
- [38] https://www.researchgate.net/figure/Measurement-locations-on-the-Vasco-da-Gama-cable-stayed-bridge_fig1_228751479 (17.05.2023)