



Andro Järvemets

KONTAKTVÕRGU PROJEKTEERIMINE ÜLEMISTE JAAMA REKONSTRUEERIMISE NÄITEL

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Elektritehnika õppekava

Juhendaja: Jaanus Ojangu

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon

Mina, Andro Järvemets, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Jaanus Ojangu /allkirjastatud digitaalselt/

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Andro Järvemets, sünnikuupäev: 01.03.1996, annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Kontaktvõrgu projekteerimine Ülemiste jaama rekonstrueerimise näitel“:

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

/kuupäev digiallkirjas/

/allkirjastatud digitaalselt/

SISUKORD

SISUKORD	3
SISSEJUHATUS	5
1. RAUDTEE KIRJELDUS	7
1.1. Erinevad pingeklassid elektriraudteedel	7
1.2. Eesti raudtee elektrifitseerimine	8
1.3. Rail Baltica tutvustus	10
2. PROJEKTI NÕUDED JA TEHNILISED TINGIMUSED	13
2.1. Rail Baltica poolne lähteülesanne	14
2.2. Tehnilised tingimused	14
2.2.1. Rail Baltic Estonia OÜ tehnilised tingimused	14
2.2.2. Eesti Raudtee AS tehnilised tingimused	15
2.3. Kasutatavad standardid ja Euroopa direktiivid	16
2.4. Ohutusvahemikud	16
3. EELPROJEKTI KOOSTAMINE	18
3.1. Kontaktvõrgu skeemi koostamine 3 kV DC ja 25 kV AC kontaktliinidele	18
3.2. Asendiplaani koostamine	20
3.3. Mahutabeli koostamine	26
3.4. 3 kV DC ja 25 kV AC kontaktvõrgu vastastikmõju	27
3.5. Kooskõlastamine	27
4. PÕHIPROJEKTI KOOSTAMINE	28
4.1. Kontaktvõrgu skeemi koostamine	28
4.2. Asendiplaani koostamine	28
4.3. Kontaktvõrgu portaalide koormusarvutused	29
4.4. Konstruktsioonide valik	31
4.4.1. Mastide valik vastavalt liinidele	31
4.4.2. Konsoolide valik	32

4.5. Vundamendid.....	33
4.6. Mahutabelid	35
4.7. BIM-strateegia	36
4.8. Tööde planeerimine	38
4.9. Kooskõlastamine	40
KOKKUVÕTE.....	41
SUMMARY	42
VIIDATUD ALLIKAD.....	43
LISAD	45
Lisa 1. Väljavõtted Eesti Raudtee AS tehnilistest tingimustest	46
Lisa 2. Väljavõtted Rail Baltic Estonia OÜ tehnilistest tingimustest	50
Lisa 3. Raudtee kontaktvõrgu projekteerimise tegevusjuhend.....	54
Lisa 4. Kontaktvõrku selgitav asendiplaani 1. leht	58
Lisa 5. Eelprojekti staadiumis 1520 mm kontaktvõrgu asendiplaani 1. leht.....	59
Lisa 6. Eskiisstaadiumis 1435 mm kontaktvõrgu asendiplaani 1. leht.....	60

SISSEJUHATUS

Inimtegevuse mõju hindamine keskkonnale on oluline, sest tegevustega võivad kaasnedä pöördumatud muutused. Ületades mõjuala keskkonna taluvust, seame ohtu looduse, inimese tervise kui ka kultuuri pärandi. Keskkonna säilimiseks töötatakse välja tegevuskavasid ning meetmeid, mille järgimine aitab kaasa säästlikumate ning puhtamate tehnoloogiate kasutuselevõtule.

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium on väljastanud dokumendi „Avaliku raudteeinfrastruktuuri arendamist suunav tegevuskava aastateks 2021-2028“ [1]. See on osa pikaajalisest arengustrateegiast „Eesti 2035“, mille eesmärk on transpordisektoris kasvuhoonegaaside vähendamine. Lisaks ka transpordiühenduste loomine, mis vähendavad ajakulu vahemaade läbimisel ning rongiühenduse loomine ülejäänud Euroopaga [2].

Rail Baltica raudteetranspordi projekti eesmärk on liita kolm Balti riiki Euroopa standardi 1435 mm rööpmelaiusega raudteevõrku, mille tulemusena luuakse toimiv ühendus ülejäänud Euroopaga. Raudteele on planeeritud reisijate- ja kaubavedu. Rail Baltica on ühtlasi keskkonnaprojekt, millega vähendatakse transpordisektori keskkonnajälge. Suuremas pildis proovitakse selle projekti raames tuua kaubatransport maanteelt raudteele. Hinnanguliselt liigub 5% kuni 8% praegusest maantee- ja laevakaubaliiklusest raudteele. [3]

Lõputöö eesmärk on koostada raudtee kontaktvõrgu eel- ja põhiprojekti dokumentatsioon Ülemiste jaama rekonstrueerimise näitel, kus jaama alale tuleb mahutada olemasolev Eesti Raudtee 1520 mm ja Rail Baltica 1435 mm rööpmelaiusega raudteetaristu, säilitades ehituse ajal liiklus kahel peateel. Töö lisatulemiks on raudtee kontaktvõrgu projekteerimise tegevusjuhend ettevõttesiseseks kasutamiseks järgmiste kontaktvõrgutööde teostamisel.

Lõputöö esimeses peatükis käsitletakse lühidalt Euroopa ja Eesti elektrifitseeritud raudtee infrastruktuuri ajalugu ja kirjeldust. Lisaks tutvustatakse Eesti raudteeinfrastruktuuri arengusuundi, Rail Baltica projekti ning selle eesmärki keskkonna õhusaaste vähendamisel.

Teises peatükis kirjeldatakse „Ülemiste raudteeinfrastruktuuri rekonstrueerimise projekteerimise“ eel- ja põhiprojekti tellijate Eesti Raudtee AS (Lisa 1) ja Rail Baltic Estonia (Lisa 2) nõudeid ning tehnilisi tingimusi tööde teostamiseks. Tuuakse välja kasutatavad raudteeliiklust reguleerivad standardid ja Euroopa Liidu direktiivid.

Kolmandas peatükis käsitletakse eelprojekti „Ülemiste raudteeinfrastruktuuri rekonstrueerimise projekteerimine“ koostamist Rail Baltica 1435 mm ja Eesti Raudtee 1520 mm rööpmelaiusega raudteetaristul. Peatüki alguses on toodud antud töö raames koostatud elektriraudtee kontaktvõrgu projekteerimise tegevusjuhend (Lisa 3), kuidas alustada projekteerimist ning mis on järgnevad punktid õige lahenduse koostamisel. Peale seda kirjeldatakse raudtee kontaktvõrgu elektriskeemi, asendiplaani ja mahutabeli koostamise protsessi.

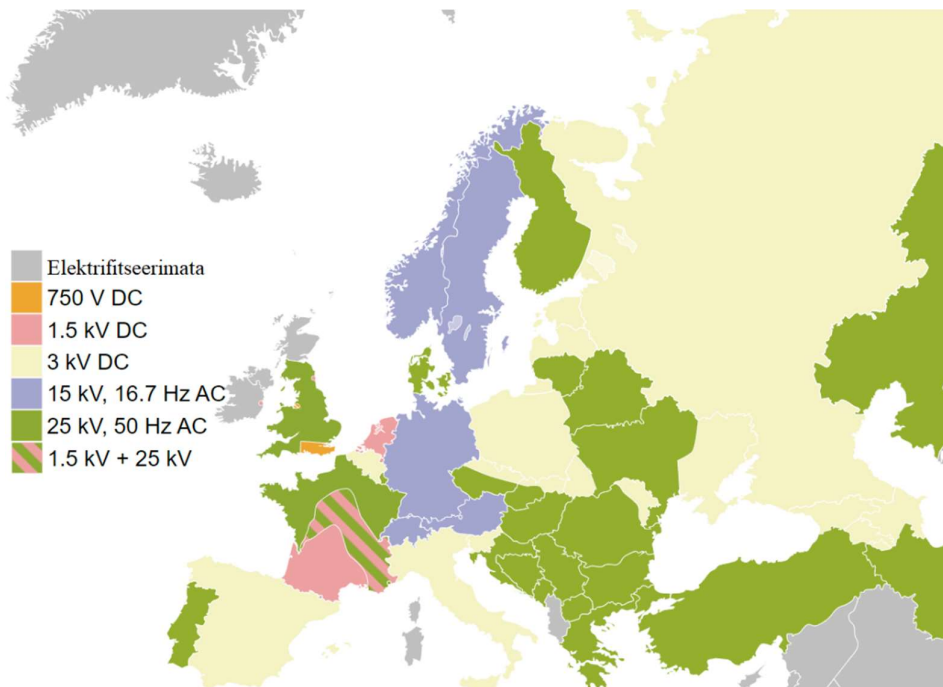
Neljandas peatükis antakse ülevaade Eesti Raudtee 1520 mm kontaktvõrgu ja terminali osas Rail Baltica 1435 mm rööpmelaiusega kontaktvõrgu konstruktsioonide projekteerimise lahendusest Ülemiste jaama rekonstrueerimise näitel põhiprojekti faasis. Peatükis kirjeldatakse jooniste täiendatud lahendusi, kontaktvõrgu konstruktsioonide valikut ja nende tüüpe. Peatüki teises osas tutvustatakse BIM-strateegiat ja tööde planeerimise etappe Ülemiste jaamas.

1. RAUDTEE KIRJELDUS

1.1. Erinevad pingeklassid elektriraudteedel

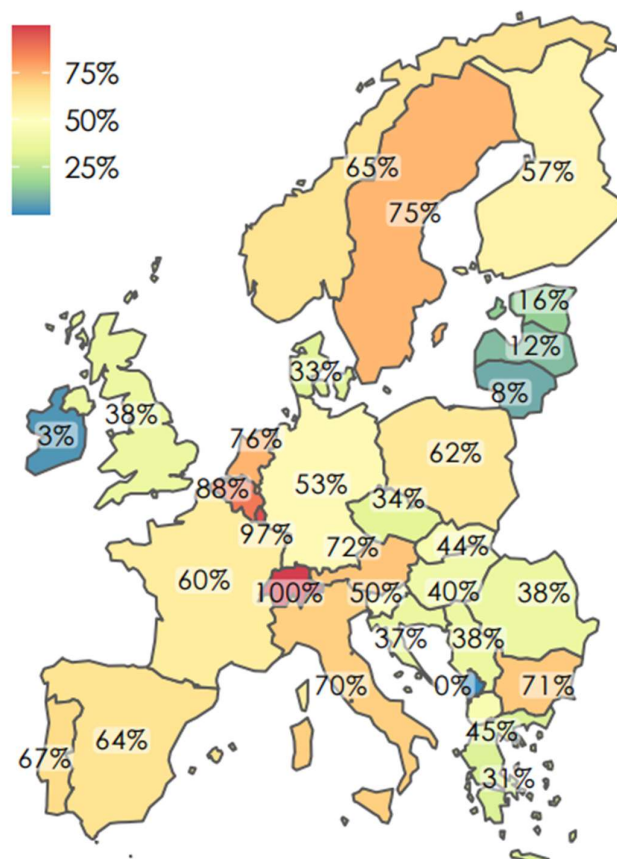
Raudteede areng Euroopas sai alguse 19. sajandi lõpus. Esimest elektriraudteed esitleti 1879. aastal Berliinis. Näidisraudtee oli 300 m pikk ning rong võimaldas transportida kuni 18 inimest. Veduri toitepinge oli 150 V DC ja võimsus oli 2,2 kW. Antud nimiaandmetega jäi rongi maksimaalseks kiiruseks 7 km/h. [4]

Tänu tehnoloogia pidevale arengule täiendati pingeklasse, pingetüüpe ja sagedust. Kuna riigid ei arendanud välja ühtset elektrifitseeritud raudteesüsteemi, siis on Euroopas laialdasemalt kasutusel viis eritüüpi kontaktvõrgu toitesüsteemi. Kõige levinum alalisvoolu toitel toimiv kontaktvõrk töötab pingel 3 kV. See on kasutusel Eestis, Lätis, Poolas, Belgias, Hispaanias, Venemaal osaliselt ja Itaalias. Laialdasemalt levinud vahelduvvoolu pingel töötavad kontaktvõrgusüsteemid on 15 kV, 16,7 Hz ja 25 kV, 50 Hz. Esimene on töös Norras, Rootsis, Saksamaal, Šveitsis ja Austrias. 25 kV, 50 Hz on levinud ülejäänud Euroopa riikides. Mõned riigis on kasutusel ka mitu erinevat raudtee kontaktvõrgusüsteemi. Joonisel (Joonis 1) on kuvatud Euroopa riikide elektriraudteede eripingelised kontaktvõrgusüsteemid. [5]



Joonis 1. Elektriraudteede eripingelised kontaktvõrgusüsteemid Euroopas [5]

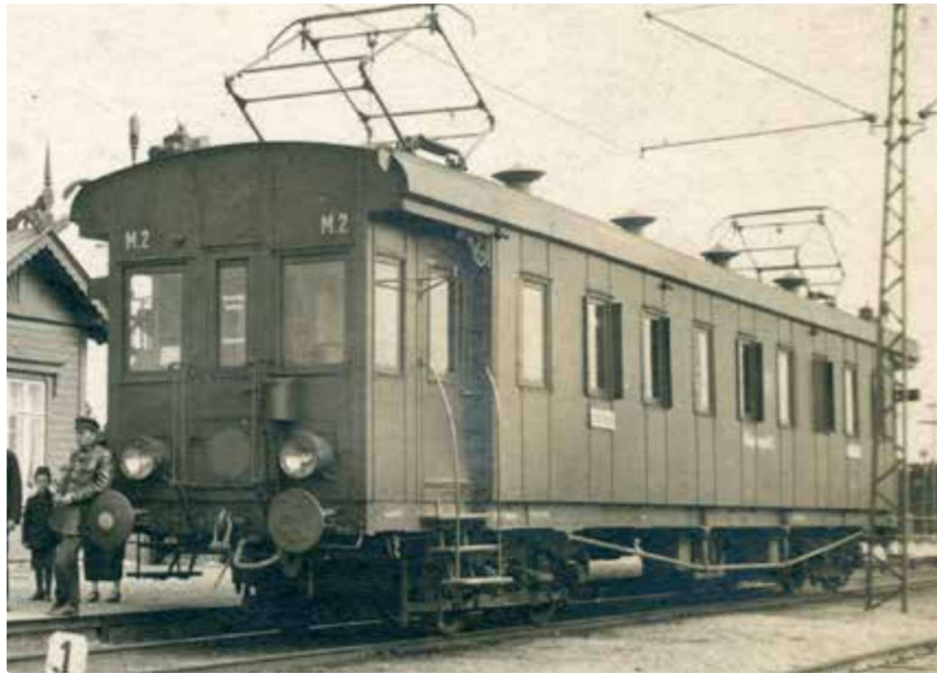
Euroopas on kasutusel 2020. aasta seisuga 234 045 km raudteid, millest 55 % on elektrifitseeritud [6]. Raudteede elektrifitseeritus protsentides Euroopas on toodud alljärgneval joonisel (Joonis 2).



Joonis 2. Raudteede elektrifitseeritus Euroopas 2020. aastal. [6]

1.2. Eesti raudtee elektrifitseerimine

Elektriraudtee areng Eestis sai alguse 1924. aastal, mil avati 11,2 km pikkune Tallinn-Pääsküla liin. Reisijad sõidutati kolme elektrimootorvaguniga, mis kohandati elektriraudteele sobivaks vanadest reisivagunitest. Kontaktvõrk ehitati pingele 1200 V DC [7]. Joonisel (Joonis 3) on näidatud elektrimootorvagun M2 aastast 1935, mis moderniseeriti mudelist M1.

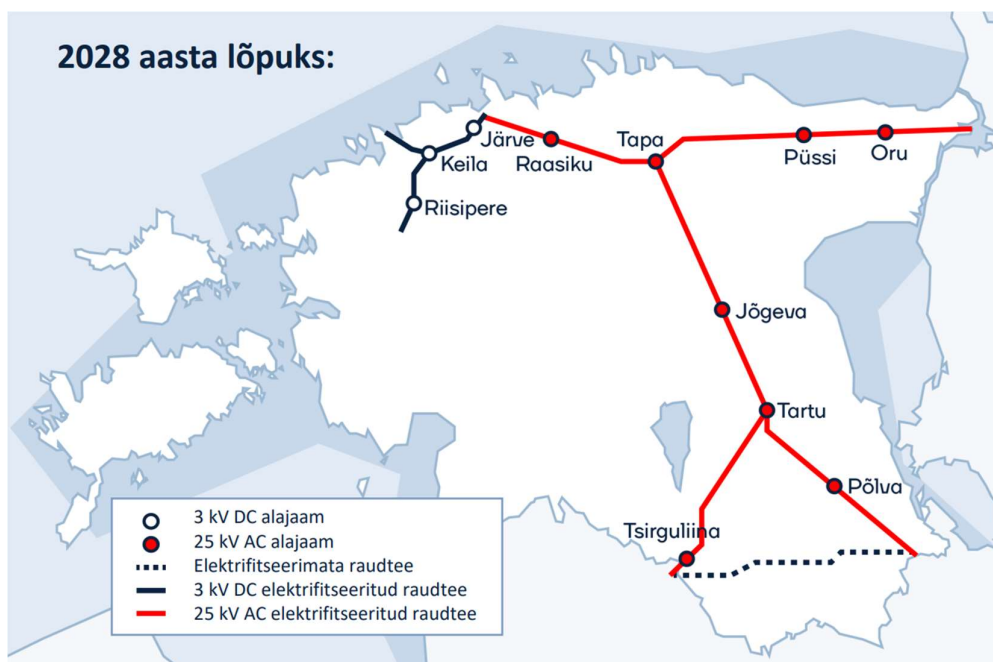


Joonis 3. Elektrimootorvagun M2 [8]

1958. aasta suvel avati 15,7 km pikkune Pääsküla-Keila elektrifitseeritud raudteeliin ning kogu lõik Tallinnast Pääskülani hakkas töötama ühtsel 3,3 kV DC pingel. 1960. aastal elektrifitseeriti Klooga-Kloogarand liin (3 km) ning 1961. aastal Klooga-Paldiski liin (11,6 km). Neli aastat hiljem, 1965. aastal sai elektrirongide liiklus alguse Keila-Vasalemma liinil (10,6 km). 1974. aastal avati Tallinn-Kehra liin (39 km) ning selleks ajaks oli Eestil kasutusel kokku 101 km elektriraudteid. 1978. aastal elektrifitseeriti Kehra-Aegviidu liin (17 km) ja 1981. aastal Vasalemma-Riisipere elektriraudtee (14 km). Riisipere-Turba elektrifitseeritud 6,1 km pikkune raudtee sai kasutusloa 2019. aasta lõpus. [7] [9]

Plaanitav Rail Baltica raudtee kontaktvõrk ehitatakse pingele 25 kV AC. Samuti soovitakse uued eestisesed raudteeliinid viia 25 kV AC pingesüsteemile. Kasvuhoonegaaside ja välisõhu saasteainete heite vähendamiseks transpordisektoris on raudteeinfrastruktuuri tegevuskavas ette nähtud hulk töid raudtee elektrifitseerimiseks. Kui 2021. aasta seisuga on Eesti Raudtee AS-il rööbasteid kokku 1219 km, millest 225 km on elektrifitseeritud, siis 2028. aasta lõpuks saavad elektrifitseeritud ka raudteelõigud Tallinn-Narva (2027. aastal), Tapa-Tartu (2025. aastal), Tartu-Valga ja Tartu-Koidula maksumusega 274,2 miljonit. Aastaks 2028 saab kava järgi elektrifitseeritud 899 km raudteed Eestis [1]. Joonisel (Joonis 4) on kuvatud olemasolevad 3 kV DC ja uued 25 kV AC elektrifitseeritud raudteeliinid. 2022. aasta septembris teatas valitsus otsusest raudteede elektrifitseerimise projektist välja jätta nii Tartu-Koidula kui ka Tartu-Valga liini [10].

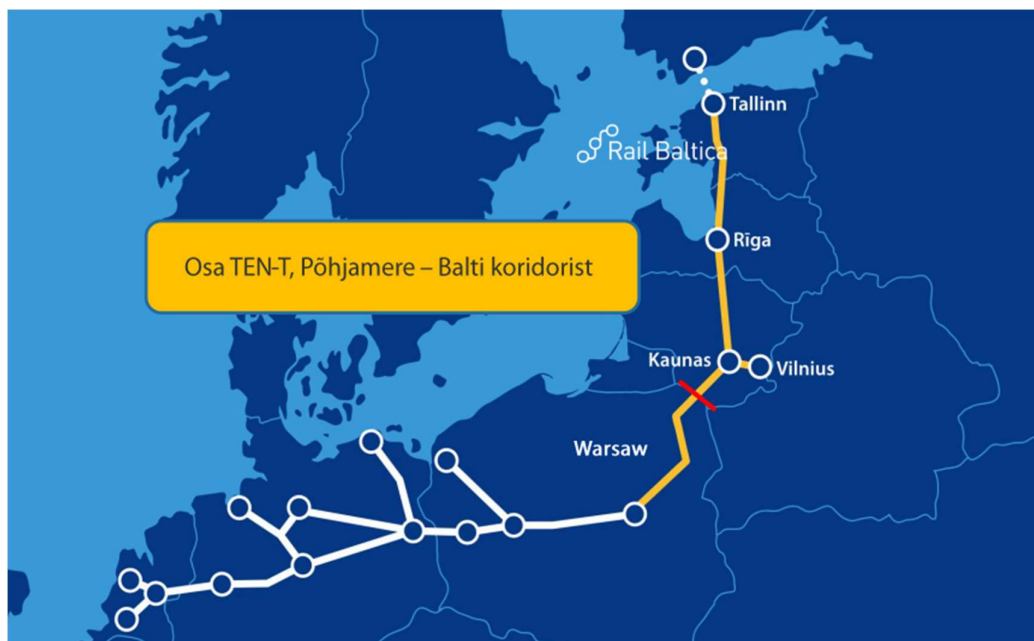
Elektrifitseeritud raudtee mahu kasvuga tuleb juurde soetada elektriveerem, mille heaks näiteks on juba Škodaga sõlmitud tarnelepingud uute kaheüsteemsete elektrirongide saamiseks [11] või olemasolev diiselveerem ümber ehitada elektriveeremiks. Lahtine on Edelaraudtee AS-i piirkonnas olev Tallinn-Viljandi raudteelõigu elektrifitseerimine, mille otsus tehti Vabariigi Valitsuse poolt 2019. aastal, kuid mida ei ole tegevuskavasse lisatud vahendite puudumise tõttu [1].



Joonis 4. Raudtee elektrifitseerimine Eestis vastavalt tegevuskavale aastaks 2028 kaart [12]

1.3. Rail Baltica tutvustus

Rail Baltica raudteetranspordi projekt liidab kolm Balti riiki Euroopa standardi 1435 mm rööpalaiusega raudteevõrku. Elektrifitseeritud raudteeühendus luuakse Tallinast läbi Riia kuni Leedu-Poola piirini. Trassi kogupikkuseks on 870 km, millest 213 km rajatakse Eestisse. Rail Baltica raudteetrass on kuvatud joonisel (Joonis 5). Uuel raudteel ulatub reisirongide piirkiirus 249 km/h ja kaubarongidel kuni 120 km/h. See tõstab transpordi liikumiskiirust praegu Eestis levinud 1520 mm laiarööpmelise raudteega võrreldes kolmandiku võrra. Elektrifitseeritud kahe rööpa paariga raudtee hakkab töötama pingega 2x25 kV AC. [13]



Joonis 5. Rail Baltica elektrifitseeritud raudteetrass [13]

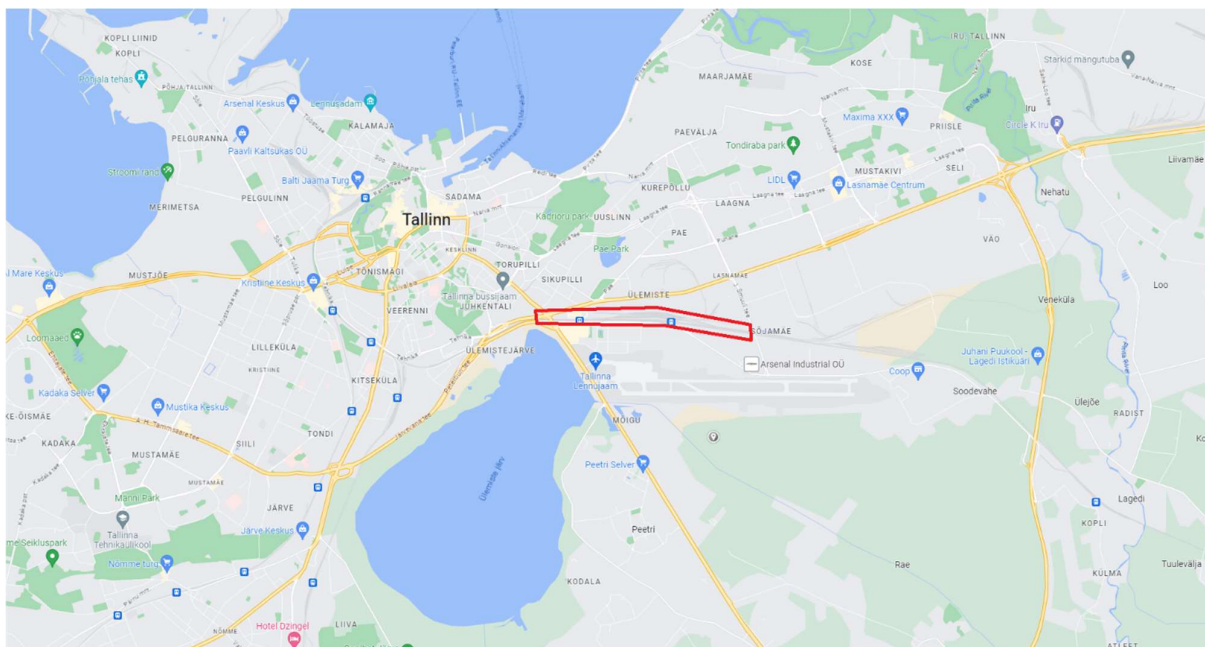
Esimesed koostöö sammud Rail Baltica projektiks tehti 2006. aastal, mil Soome, Eesti, Läti, Leedu ja Poola ministrid allkirjastasid ühiste kavatsuste protokolli. 2010. aastal kinnitati projekti vajadust taaskord ning 2011. aastal valmis EL 1435 mm standardil põhineva raudtee teostatavuse uuring. 2014. aastal asutati Rail Baltic Estonia OÜ, mis sai 1/3 suuruse osaluse ühissetevõtte RB Rail AS-s. 2015. aasta novembris rahastati kolme riigi ühissetevõtet 540 miljoni euroga. Rail Baltica projekti eeldatav investeeringu maksumus on ca 5,8 miljardit eurot. Euroopa Liit finantseerib kuni 85%. Eesti maaalale jääva raudtee ehitus maksab hinnanguliselt 1,6 miljardit eurot, millest kohustuslik omaosalus on ca 318 miljonit eurot [3]. Rail Balticu prognoositav maksumus on 2022. aasta detsembrikuu seisuga tõusnud 1,8 miljardi euroni [14]. Projekti valmimise aeg planeeriti esialgu 2026. aastasse, kuid erinevatel põhjustel on tähtaeg nihutatud käesoleva kümnendi lõppu. Euroopa transpordivõrk TENT-T peab olema valmis aastaks 2030 [15].

Rail Baltica transpordiprojekti keskkonnavaline eesmärk on vähendada transpordisektori keskkonnajälge, suunates osa maantee- ja laevakaubaliiklusest elektrifitseeritud raudteele. Nimelt on raudteetranspordi süsinikdioksiidi heitekogus reisijakilomeetri kohta 35 g. Maanteetranspordi CO₂ jalajalg on keskmiselt 4,5 korda suurem kui elektrifitseeritud transport raudteel. Õhusaaste miinimumini viimiseks elektrifitseeritakse kogu raudtee. Rail Baltica trassikoridoride väljatöötamisel on läbi viidud loodusväärtusteuring. Tartu Ülikooli teadlaste juhendamisel kaardistati võimalikud konfliktalad ning vastavalt tulemustele valiti kõige optimaalsem teekond. Uuritud on kaitsealuste

liikide ning muude liikide elamiskeskkonda ja nende liikumisteid. Trassi ületamiseks on projekteeritud mitmeid ökodukte ja väiksematele liikidele teealuseid truubilahendusi. Samuti on arvestatud müra ning vibratsiooni mõju keskkonnale kui ka elamualade suhtes. Elamu ja raudtee puhver saab olema vähemalt 500 m. Müra piiramiseks kasutatakse kõrghaljastust ning madalama mürataseme tagab ka uuem ja kvaliteetsem taristu. See tähendab, et raudtee on rajatud kogupikkuses kokkukeevitatud rööbastega ning rongid nende peal on varasematest kergemad. Lisaks on põhja- ja pinnavee veerežiimi säilimiseks läbi viidud mitmeid täpsustavad geoloogiliseid uuringuid. [3]

2. PROJEKTI NÕUDED JA TEHNILISED TINGIMUSED

„Ülemiste raudteeinfrastruktuuri rekonstrueerimise projekteerimine“ projekti töömaa asub Tallinna linnas Tartu maantee viaduktist kuni Smuuli tee viaduktini (Joonis 6). See lõik on ühtlasi Rail Baltica projekti lõppharu, mis lõpeb reisijate ühisterminaliga. Projekt koosneb kuuest etapist – uuringud, eel-, põhi- ja tööprojekt, ehitusload ning visualiseering.



Joonis 6. „Ülemiste raudteeinfrastruktuuri rekonstrueerimise projekteerimise“ projekti töömaa

Esimeses etapis teostati ehitusobjekti uuringud, s.h geodeetilised-, topograafilised-, ehitusgeoloogilised-, müra-, keskkonna- ja muud vajalikud uuringud. Teises etapis projekteeriti kõik ehitised eelprojekti tasemel. Eelprojekti töötati välja lõpptulemusele lähedane tulemus, mis välistaks järgnevates etappides suured muudatused ning võimaldaks analüüsida ehituseelarvet. Ülemiste jaama rekonstrueerimise eelprojekt tellijate hulka kuulusid Rail Baltic Estonia infrastruktuuri osas, kes oli üldine tellija, ja Rail Baltic Rail AS reisterterminali osas. Projekti teostajateks olid kolm ettevõtet; Reaalprojekt OÜ, AllSpark OÜ ja Zaha Hadid Architects, kelle esindajaks Eestis oli Esplan OÜ. ReaalProjekt OÜ projekteeris rööbasteed, hooldusteed, sõiduautode pealelaadimisjaama ala ja -hoone, jalakäijate tunneli ja -viadukti ja muud seotud tehnovõrgud. Zaha Hadid Architects koos Esplan OÜ-ga projekteeris ühisterminali osa. AllSpark OÜ projekteeris raudteede kontaktvõrgud, liiklusjuhtimise ning side- ja elektrivõrgud. Eelprojekt kestis kevad 2020 kuni juuni 2021. Kolmas etapp sisaldas põhiprojekti koostamist. Sama koosseisuga töötati välja põhiprojekti tasemel nõutud

projekt, kus materjale kirjeldati tehniliste omaduste kaudu, koostati töökorralduse kava ning projekteeriti täpne 3D- ja BIM-mudel. Põhiprojekt kestis juuni 2021 kuni aprill 2022. Põhiprojekt on alus ehitusloa taotlemiseks ja ehitushanke korraldamiseks.

Ehitus on jagatud seitsmeks etapiks, sest kontaktvõrgu ümberehituse ajal peab olema tagatud elektriraudtee töö kahel peateel. Koostatud tööprojekt hõlmab kontaktvõrgu ajutist lahendust, mis on vajalik 1435 mm ja 1520 mm rööpmelaiusega teede ehituseks vajaliku territooriumi vabastamiseks. Projekteerimise algas aprill 2022 ja kinnitati november 2022.

Käesolev lõputöö kirjeldab eel- ja põhiprojekti etappe Ülemiste raudteefrastruktuuri rekonstrueerimise projekteerimist kontaktvõrgu eriosas.

2.1. Rail Baltica poolne lähteülesanne

Käesoleva lõputöös käsitletava projekti eesmärgiks on Ülemiste jaamas kontaktvõrgu projektlahenduse koostamine vastavalt Eesti Raudtee AS poolt väljastatud tehnilistele tingimustele (Lisa 1) ja Rail Baltic Estonia OÜ väljastatud tehnilistele tingimustele (Lisa 2) ning muudele hanke dokumentatsiooni lisades toodud nõuetele. Lisaks tuli projekteerida Ülemiste Ühisterminali rajamiseks vajalike ümberehitustööde ajaks projekteerida Olemasoleva kontaktvõrgu rekonstrueerimine vastavalt Ülemiste Ühisterminali rajamiseks vajalike ümberehitustööde käigus muudetavate jaama rööbastee paiknemisega. Kontaktvõrgu eriosas tuleb töötada välja Ülemiste jaama kontaktvõrgu lõplik toiteskeem. Projekteerida lahkliitite asukohad, kontaktliinid ning uued ja olemasolevad konstruktsioonid vastavalt uuele projektlahendusele. Tehnilisele lahendusele kõrval tuleb esitada tüüpjoonised ja ristlõiked, tööde- ning materjalide kululoend ning 3D- ja BIM-mudel.

Projekteerimise teeb keerukaks lisanõue elektrirongiliikluse pidevuse tagamisest kogu ehitusaja jooksul. Projekti ehitus on jagatud seitsmeks suuremaks ehitusetapiks. Lubatud on ainult lühiajalised katkestused rongide töös.

2.2. Tehnilised tingimused

2.2.1. Rail Baltic Estonia OÜ tehnilised tingimused

Rail Baltica tehniline lahendus tuleb teostada 1435 mm rööbasteele ning kontaktvõrgu toide pingele 2x25 kV 50 Hz AC. Kontaktvõrgu nimikiirus põhirajal on 249 km/h, reisijate ja väikeste kaubaveo osadel 160 km/h ja depooaladel 40 km/h. Kontaktvõrgu iga rööbastee toitevõrk peab olema

elektrivõrgust eraldi lahutatav ja olema elektriliselt sõltumatu külgnevatest radadest. Kontaktröögu paigalduskõrgus on 5-6,2 m.

Töö tegi keeruliseks asjaolu, et lõplikud nõuded töötati välja projekteerimisega samaaegselt. Sellest tulenevalt tuli osa tööd ümber teha, et projektlahendus oleks kooskõlas pidevalt uuenevate tehniliste tingimustega.

2.2.2. Eesti Raudtee AS tehnilised tingimused

Tehnilises kirjelduses on kirjeldatud nõuded Ülemiste jaama taristu projekteerimise töödele ning oodatavatele tulemustele. Samuti on sõnastatud projekteerimise eesmärgid kontaktröögu osale, mille väljavõte on toodud lisas (Lisa 1). Dokumendis on suunatud järgima kehtivat Eesti Vabariigi seadusandlust ning AS Eesti Raudtee infrastruktuuril kehtivaid norme, sh AS Eesti Raudtee tegevuseeskirjas ja selle lisades toodud nõudeid.

Nõuded kontaktröögule sisaldavad üldnõudeid. Need kirjeldavad kliimaatiliste tingimuste piirväärtusi, mille alusel teha materjalide valik. Kriitilistes kohtades tuleb täpsustada valik arvutustega. Piirväärtustena on esitatud välisõhu temperatuuri absoluutne maksimum ja – miinimum, maksimaalne tuulekiirus, päikesekiiruse ekvivalent ja suhteline niiskus.

Projekteerimisel ja ehitamisel tuleb arvestada tehnilisi nõudeid elektrivarustuse seadmetele, kontaktriputusele, gabariitidele, kontaktröögu juhtmetele ja trossidele ning nende pingutus ja läbivajumisriipele, vooluvõtule. Lisaks on toodud ülejäänud kontaktrööguiga seotud elementide nõuded. Need on juhtmete asetus tasapinnas ja visangute pikkus, ankurlõikude vahemikud, õhupöörangud, isolaatorid, lahkliitid, seksioneerimine ning muud elektriühendused. Täpsustatud on maandamise, kaitse lühisvoolude ja liigpingete osa.

Tehnilistes nõuete lisades on kirjeldatud ka antud projekti erinõudeid, näiteks kontaktröögu lahkliitite asukohad peavad tagama võimaluse, et jaama ühe peatee kontaktröögu välja lülitamisel on samaaegselt võimalik tagada kõrvalasuvalt peateelt elektrirongide liikumisvõimalus ooteplatvormide juurest Ülemiste jaamaga piirnevate jaamavahede mõlemale peateele. Kontaktröögu projekti lahenduses kasutada isolaatoreid pingele 25 kV. 3 kV DC ja Rail Baltica 1435 mm 25 kV AC kontaktröögu konstruktsioonide elemendid peavad olema teineteisest eraldatud.

Eesti Raudtee AS poolsed nõuded täienesid töö käigu. Praegused ja tulevased raudtee omanikud samuti õppisid töö käigus ja muutsid tehnilised tingimused selgemaks ja üheselt mõistetavaks.

2.3. Kasutatavad standardid ja Euroopa direktiivid

Kontaktvõrgu ehituse kontseptsiooni väljatöötamisel arvestati olemasoleva olukorra ning TSI, EN ja UIC nõuetega ning siseriiklikust regulatsioonist tuleneva seadusandluse ja normidega.

Kontaktvõrgu projekteerimisel lähtutakse põhinormidest, mis on toodud järgmistes standardites:

- EVS EN 50119:2020; Raudteealased rakendused. Püsipaigaldised. Elekterveo kontaktõhuliinid;
- EVS-EN 50122-1:2022; Raudteealased rakendused. Kohtkindlad paigaldised. Elektriohutus, maandamine ja tagasivooluahel. Osa 1: Kaitsemeetmed elektrilöögi eest;
- EVS-EN 50122-2:2022; Raudteealased rakendused. Kohtkindlad paigaldised. Elektriohutus, maandamine ja tagasivooluahel. Osa 2: Ettevaatusabinõud alalisvooluveosüsteemide põhjustatud uitvoolude mõjude vastu;
- EVS-EN IEC 61936:2021; Tugevvoolupaigaldised nimivahelduvpingega üle 1 kV;
- EVS-HD 60364-1:2008/A11:2017; Madalpingelised elektripaigaldised;
- EVS-EN 206:2014+A2:2021; Betoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus.

Projekteerimistöödel ja dokumentatsiooni koostamisel on lähtutud ka:

- Raudteeseadus (RT I, 30.10.2020, 1);
- Ehitusseadustikust (RT I, 05.03.2015, 1);
- EVS 932:2017, Ehitusprojekt sätetest;
- MKM määrus 17.07.2015 nr 97 „Nõuded ehitusprojektile“.

Külgneval alal olevate 1435 osas on arvestatud Rail Baltic Estonia tehniliste nõuetega.

KV projekteerimisel ja hilisemal ehitusel peab täitma veel täiendavate normdokumentide nõudeid:

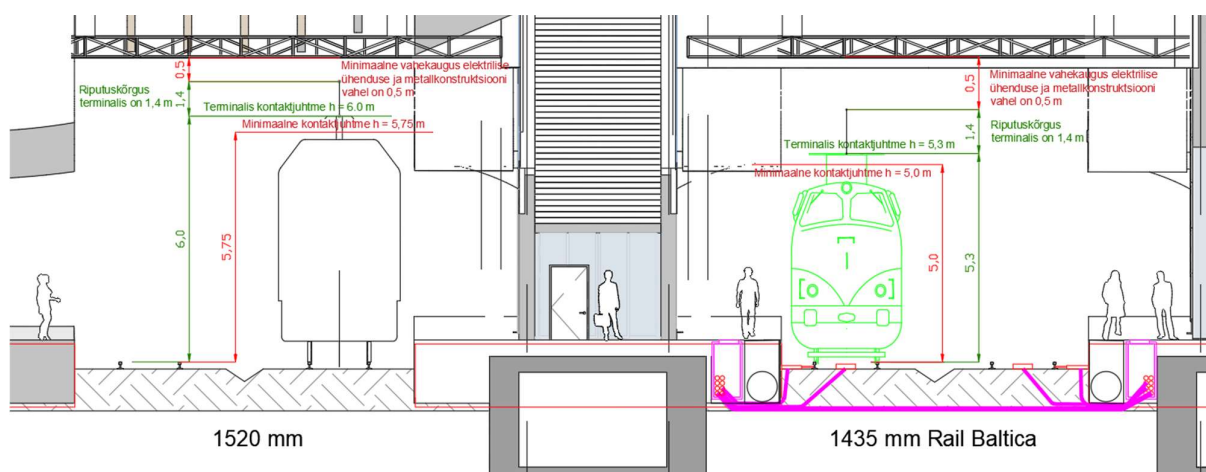
- Euroopa Liidu direktiivilt (COMMISSION REGULATION (EU) No 1301/2014 of 18 November 2014).
- AS Eesti Raudtee tegevuseeskiri (www.evr.ee) ja selle lisad, sh:
 - Elektripaigaldise käidu ohutusjuhend;
 - Raudtee elektrifitseeritud liinidel töötavate töötajate ohutuseeskiri;
 - Elektrifitseeritud raudteede kontaktvõrgu ehituse ja tehnokasutuseeskirja nõuetest.

2.4. Ohutusvahemikud

1520 mm rööpmelaiusega raudtee kontaktjuhtme paigalduskõrgus on 6,3 m rööpapeast nimipingutuse puhul, aga mitte vähem kui 5,75 m ja rohkem kui 6,8 m (Joonis 7). Kontaktvõrgu riputuse

konstruktiivne kõrgus on 1,3-1,5 m, millele tehakse erandeid kitsamates oludes. Kontaktvõrgu pingestatud osade minimaalne vahekaugus maandatud osadest peab olema 0,5 m. Samuti on kontaktvõrgu erinevate sektsioonide ankurdusjuhtmete, konsoolide ja fiksaatorite minimaalne vahemaa 0,8 m. Pinge all olevate juhtmete või kandekonstruktsioonide vahe reisiplatvormi tasapinna vahel on liiklusvahendite läbisõidu puudumisel vähemalt 4,5 m. Äärmise raudtee telje ja vundamendi või masti sisemise külje vaheline kaugus peab olema vähemalt 3,3 m ning lummetuiskuvates süvendites 100 m ulatuses vähemalt 5,7 m. Rööbasteede vaheline mast peab asetsema minimaalselt 2,7 m kaugusel teetelgedest. Kontaktvõrgu ohutusvahemikud on toodud lisas (Lisa 1).

1435 mm rööpmelaiusega raudtee kontaktjuhtme paigalduskõrgus normaalingimustes on 5,3 m rööpapeast. Minimaalne paigalduskõrgus on 5 m ja maksimaalne 6,2 m. Paigalduskõrgused on selgitatud lisas (Lisa 2).



Joonis 7. Kontaktjuhtme ohutusvahemikud Rail Baltica „Linda“ ühisterminalis

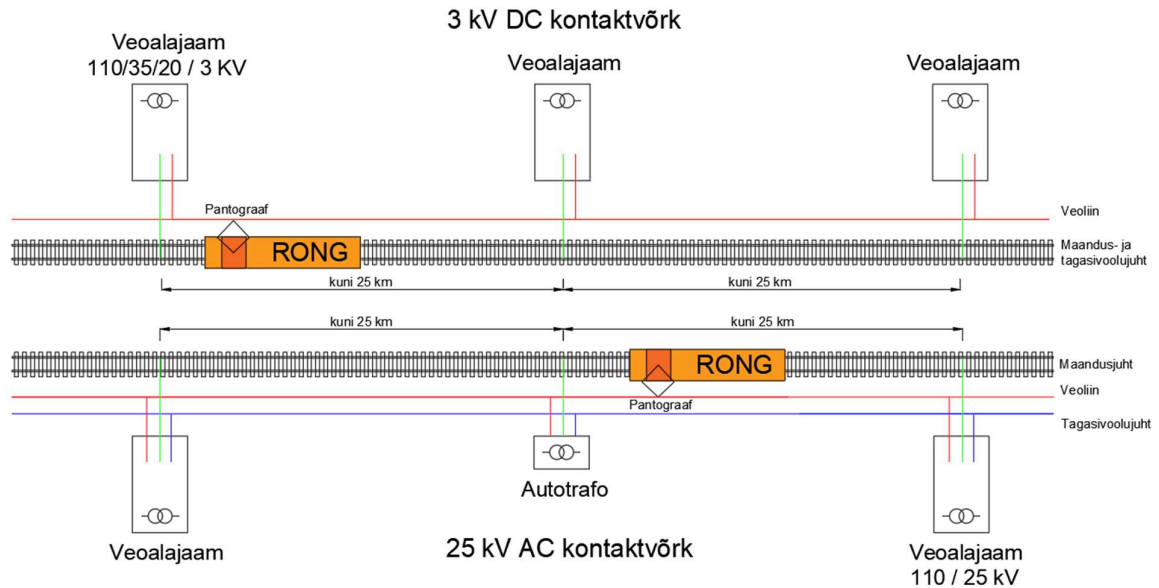
3. EELPROJEKTI KOOSTAMINE

„Ülemiste raudteeinfrastruktuuri rekonstrueerimise projekteerimise“ eelprojektis tutvustatakse Rail Baltica 1435 mm ja Eesti Raudtee AS 1520 mm rööpmelaiusega raudteetaristu kontaktvõrgu dokumentatsiooni tehniliste tingimuste alusel. 1435 mm raudtee kontaktvõrgu projekti teostati eskiisprojekti mahus. Keerulisemateks tellija põhinõueteks olid kahe eripingelise kontaktvõrgu mahutamine olemasoleva Ülemiste jaama territooriumile ning ehituse ajal peab liiklus säilima kahel peateel.

3.1. Kontaktvõrgu skeemi koostamine 3 kV DC ja 25 kV AC kontaktliinidele

Raudtee kontaktvõrgu projekt algas lähteandmete kogumisega. Peamisteks lähteandmeteks olid olemasoleva raudtee täpne mõõdistus ja uute teede projekt. Kontaktvõrgu projekteerimine lähtub raudtee teljest, mis koosneb sirgetest ja kurvidest. Teiseks tuli läbi töötada tellija tehnilised tingimused projekti koostamiseks. Lõputöö osana koostatud dokument „Raudtee kontaktvõrgu projekteerimise tegevusjuhend“ on toodud lisas (Lisa 3). Kontaktvõrgu skeemi koostamise aluseks võeti lõplike rööbasteede projekt koos pöörangutega, mille töötas välja ReaalProjekt OÜ.

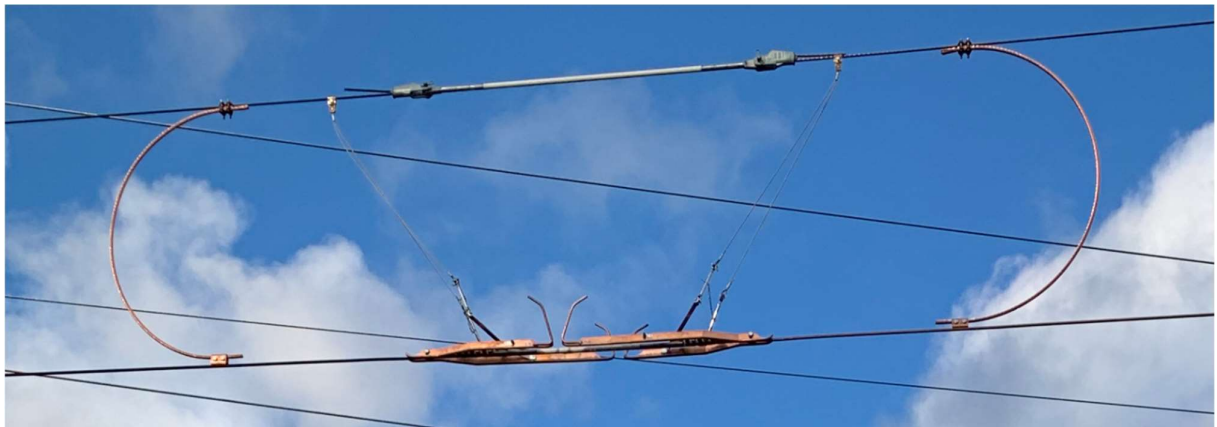
Elektriraudtee kontaktvõrgu toiteskeem on jagatud sektsioonideks, mida toidavad elektrienergiaga antud toitepiirkonna vealajaama vastavad toitefidrid. Erinevad sektsioonid on omavahel isoleeritud, neid eraldab üksteisest õhkvahe, lahtlüliti või sektsioonidevaheline isolaator. Joonisel (Joonis 8) on näidatud elektriraudtee kontaktvõrgusüsteemi põhimõtteskeem. Kontaktliini ühe toitesektsiooni kasulik pikkus on umbes pool vealajaamade vahelisest kaugusest. Vealajaamade vaheliseks optimaalseks kauguseks vahelduvvoolu 25 kV süsteemi korral on 50 km, mille teeb võimalikuks nende vahele paigaldatud autotrafo. 3 kV DC süsteemis on alajaamade optimaalne vahekaugus 25 km [4].



Joonis 8. Elektriraudtee eripingeliste kontaktvõrgusüsteemide põhimõtteskeemid

3 kV DC toitepingega elektrifitseeritud raudteed Ülemiste terminali ala hakkavad koosnema kahest sõltumatust toiteliinist. Elektritoide edastatakse Järve- ja/või Raasiku veolajajaamast. Põhitoide jääb Järve veolajajaama reserveerimisvõimalusega Raasiku veolajajaamast. Kuna lõplik 3 kV DC kontaktvõrk jääb sarnase võimsustarbimisega, siis olemasolevatest veolajajaamadest piisab ning seadmeid muutma ei pea. Toiteliinid moodustavad kaks sektsiooni.

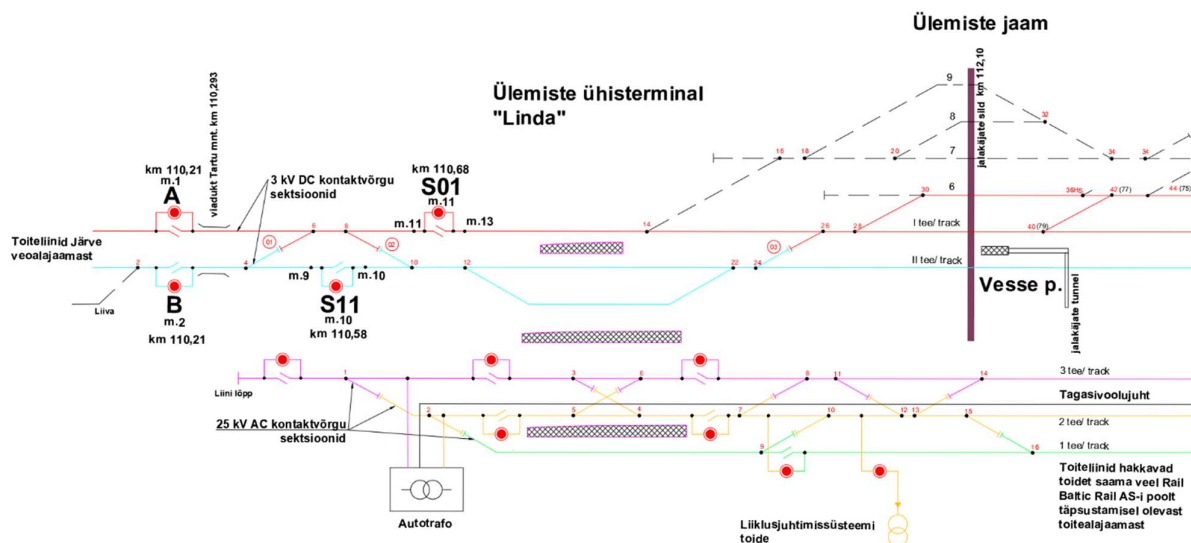
Isoleeritud üleminekuvahemikes vajaliku vooluühenduse tekitamiseks kasutatakse lahkklüliteid [16]. Lisaks tagab sektsioneerimine kontaktvõrgule töökindluse ja rikete lokaliseerimise võimaluse releekaitse rakendamisel. Sektsioneeriv isoleervahemik on kuvatud joonisel (Joonis 9).



Joonis 9. Sektsioonide vaheline isolaator

Lahklülitid A ja B (Joonis 10) on jaamavahelise ja terminali alal oleva raudtee kontaktvõrgu eraldamiseks. Uute mastide asukohtade tõttu, tuleb need uued monteerida. Lahklülitid S01 ja S11 on uued Eesti Raudtee AS-i poolt soovitud seadmed, mis aitavad tulevikus terminali alal ühe tee kontaktvõrgu pingevabaks teha remonttööde jaoks. Skeemil on kuvatud Eesti Raudtee AS-ga kooskõlastatud pöörangu- ja sektsioonide vaheliste isolaatorite numbrid.

Rail Baltica 25 kV AC kontaktvõrk hakkab toidet saama veel Rail Baltic Rail AS-i poolt täpsustamisel olevast toitealajaamast. Eeldatavasti planeeritakse see Rapla- või Pärnu maakonda. Kui 3 kV DC kontaktvõrgus jagatakse kolmandale teele esimese või teise sektsiooni toidet, siis 25 kV AC süsteemis tehakse igale teele eraldatud sektsioon. Elektrifitseerida tuli kõik reisirongidega seotud teed. Joonisel (Joonis 10) on näidatud 3 kV DC ja 25 kV AC kontaktliinide ühenduste ja sektsioneerimise skeem Ülemiste jaama alal. Rail Baltica kontaktvõrgu liinidele tulevad samuti lahklülitid terminali ala ja jaamavahelise tee eraldamiseks ning jaamasiseste hooldustööde jaoks. Jaama territooriumile on planeeritud 25 kV AC toitepinge autotrafo .



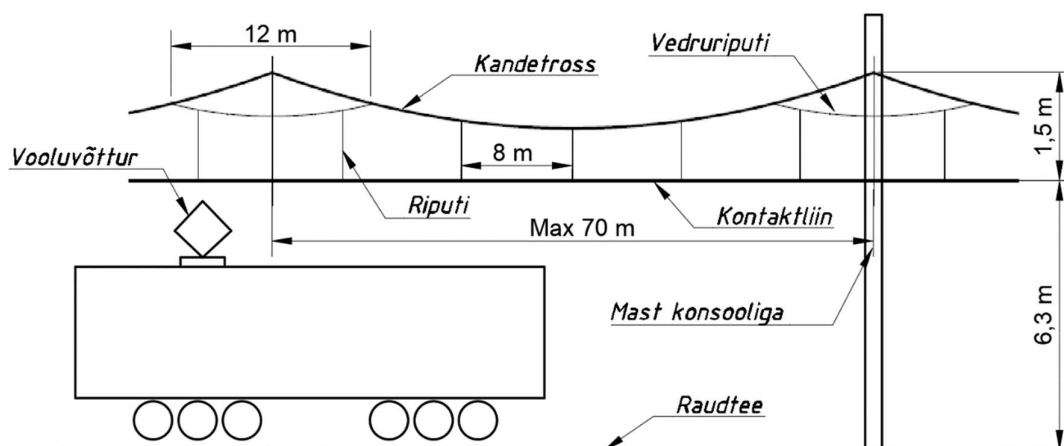
Joonis 10. 3 kV DC ja 25 kV AC kontaktvõrgu sektsioneerimise skeem

3.2. Asendiplaani koostamine

Asendiplaani koostamise aluseks on rööbasteede plaan alusel koostatud kontaktvõrgu sektsioneerimise skeem. Plaan luuakse kehtivast geaalusesele ning olemasolevatest 1520 mm ning planeeritavatest 1435 ja 1520 mm rööbasteedest lähtuvalt. Terminali, viadukti, tunnelite ja teede detailplaneeringud on samuti lisatud asendiplaani alusele. Kontaktvõrgu eriosa tuleb projekteerida arvestades eelnevalt nimetatud lähtematerjale. Raudtee kommunikatsioonide eriosade

projekteerimise seisukohalt on oluline reserveerida õigeaegselt kontaktvõrgu konstruktsioonide asukohad. Teised eriosad, sealhulgas elekter, välisvalgustus, telekommunikatsioon ja liiklusjuhtimine projekteeritakse vastavalt neile eraldatud asukohtadele. Eskiis- ja eelprojekti ülesanne ongi kokkuleppida erinevate taristute omavaheline paiknemine. Erijuhtudel saab liigutada kontaktvõrgu konstruktsioonide asukohtasid ka hilisemates staadiumites.

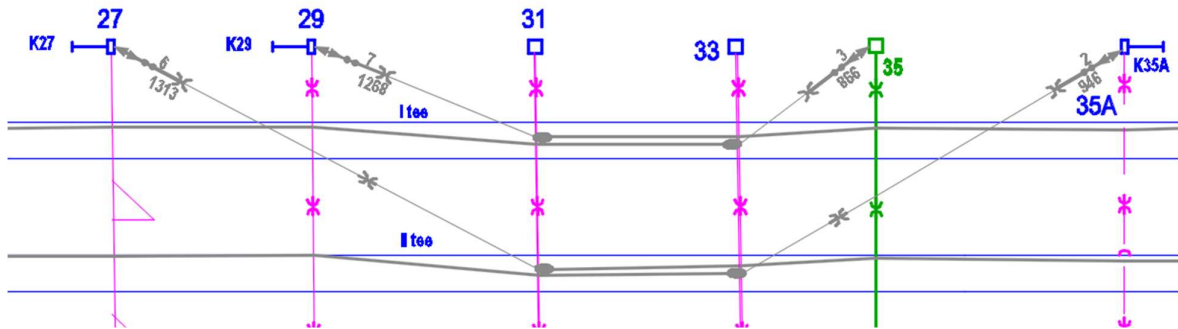
Terminali alale on planeeritud kolm 1520 mm rööpalaiusega pingel 3 kV DC elektrifitseeritud raudteed ja kolm 1435 mm rööpalaiusega pingel 25 kV AC elektrifitseeritud raudteed. Asendiplaanile lisasin eripingelised kontaktliinid uute teede plaani järgi. Joonisel (Joonis 16) on kuvatud 3 kV DC liinid põhjapoolsel alal rohelise „CAT1“ joonetüübiga, Rail Baltica 25 kV AC liinid lõunapoolsel alal punase „CAT2“ joonetüübiga. Tänapäevane kontaktliin koosneb kontaktjuhtmest, kandetrossist, nendevahelistest riputitest, tugevdusliinidest, isolaatoritest ning kontaktjuhtme fiksaatoritest, pingutitest, lülititest, samuti ka neid kandvatest konstruktsioonidest; mastid, portaalid, nende vundamendid ja muud tarindid (Joonis 11).



Joonis 11. 1520 mm elektriraudtee kontaktvõrgu pikiprofiili põhimõtteskeem

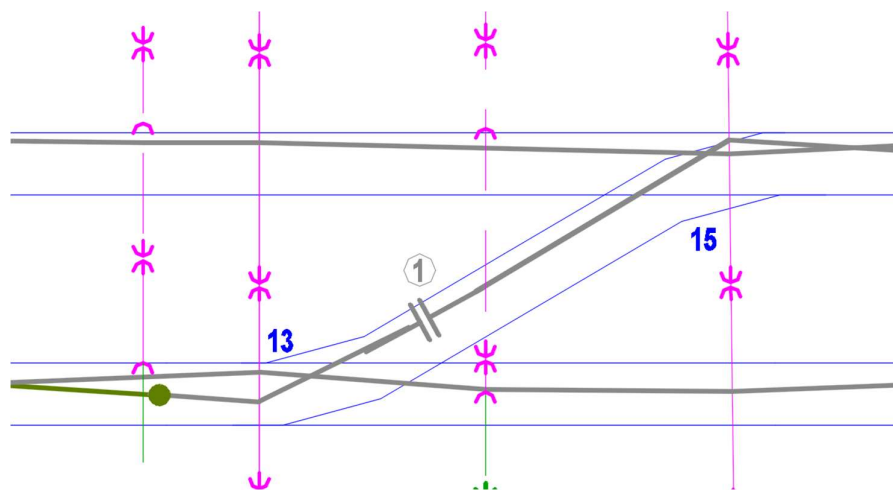
Kontaktliin on jagatud ankrusanguteks, mille pikkus vastavalt standardile sõltub tee kujust, kiirusest ja võib ulatuda kuni 1200-1600 meetrini.

Ankrusangute üleminekuid nimetatakse üleminekuvisanguteks, mis on teostatud ülekattuvusega, et tagada vooluvõtturi sujuv üleminek ühelt ankrusangult teisele. Elektriliselt võivad ülemikud olla nii isoleeritud, kui ka jäigalt ühendatud, sõltuvalt paiknemisest üldises toiteskeemis (Joonis 12).



Joonis 12. Kontaktvõrgu visangute üleminekute näide

Ankruvisang omakorda jaguneb kuni 70 m õhuvisanguteks, millede vahel kontaktjuhe muudab pidevalt oma asukohta tee telje suhtes, mastidel vaheldumisi kinnituses tee teljest +/-300 mm kaugusele, tagamaks vooluvõtturi ühtlast kulumist. Raudteedel jaamades pöörangud ja siirded. Kui tee hargneb uuele suunale, siis nimetatakse seda pööranguks, kui raudtee suundub kõrvalteele läbi kahe pöörangu, siis nimetatakse seda siirdeks (Joonis 13). Samad terminid on kasutusel ka kontaktvõrgu puhul. Rööbastee kohal olevaid kontaktvõrgu hargnemisi ja üleminekuid nimetatakse vastavalt õhupööranguteks ja -siireteks.

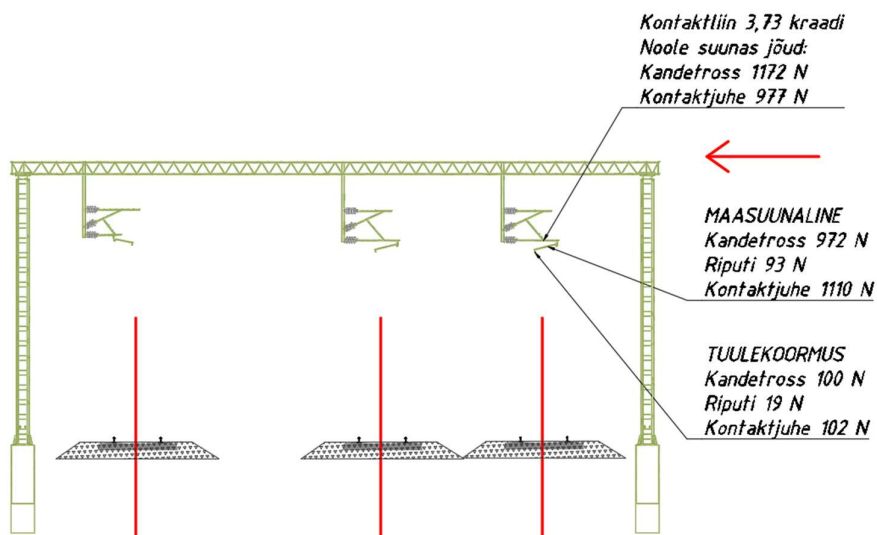


Joonis 13. Kontaktliini õhusiirde näide

Õhupöörangute ja -siirete projekteerimisel tuleb jälgida, et kontaktjuhe jääks rongi vooluvõtturi haardeulatusse, vastasel korral sõidab rong kontaktjuhtmest välja, mis esiteks jätab elektrirongi ilma vajaliku toiteta ning mis veelgi hullem, vooluvõttur võib takerduda juhtmetesse ja esile kutsuda suurema kontaktvõrgu purunemise ning elektriohu keskkonnale ja inimestele.

Asendiplaanil tuli teha esmane raudteelõikude määratleme erinevate konstruktsioonitüüpide valimiseks. Jaamavahelisel alal kasutatakse reeglina mõlemal pool teed seisvaid sõltumatuid kontaktvõrgu maste, mis on kerget tüüpi. Jaamas võib olla palju hargnemisi ja kõrvalteid, seega tuleb igale konkreetsele kohale läheneda individuaalselt. Kõrvalteed elektrifitseerimiseks võidakse kasutada portaalitüüpi metall-konstruktsioone, millised ulatuvad üle kõigi elektrifitseeritavate teede ja kuhu kinnituvad kõikide teede kontaktliinid. Pöörangute jaoks on vaja tugevamaid maste, mis suudaks kanda mitut kontaktliini samaaegselt. Siirded vajavad erilist tähelepanu, kuna nende toiteliinid võivad sattuda erinevate toitesektsioonide vahele, mille tõttu sinna võidakse paigaldada sektsioonide vahelised isolaatorid. Olemasoleva raudteetaristu korral on suur probleem kontaktvõrgu konstruktsioonidele vabade koridoride leidmine, uue raudtee korral tuleb see lahendada kohe projekteerimise algaasis koostöös rööbastee projekteerijaga, mis tähendab eskiisristlõigete koostamist.

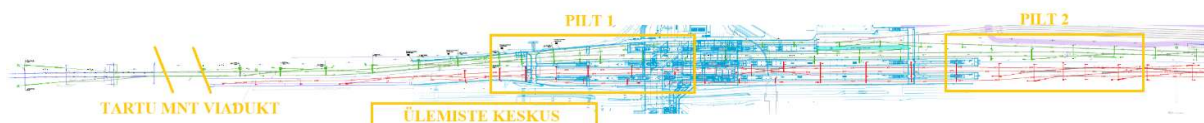
Kui asendiplaanile sai kantud täpse asukohaga kontaktvõrgu vundamendid, -mastid ja -portaalid, siis tegin kõikide mastide kohta tugevusanalüüsi nende sobivuse kohta. Võrdluse aluseks võtsin sama tüüpi konstruktsioonide ja vundamentide kontrollarvutused projektist „Tallinn-Balti kontaktvõrgu projekteerimine ja ehitamine“. Joonisel (Joonis 14) on toodud analoogse ristlõike konstruktori arvutuslahendus piirjätekoormuse ja 10 m/s tuulega. Ülemiste jaama 1520 mm rööpmelaiuse kontaktvõrgu konstruktsioonide kontrollarvutuste jaoks andsime lähteandmed ettevõttele Skeleton OÜ põhiprojekti faasis.



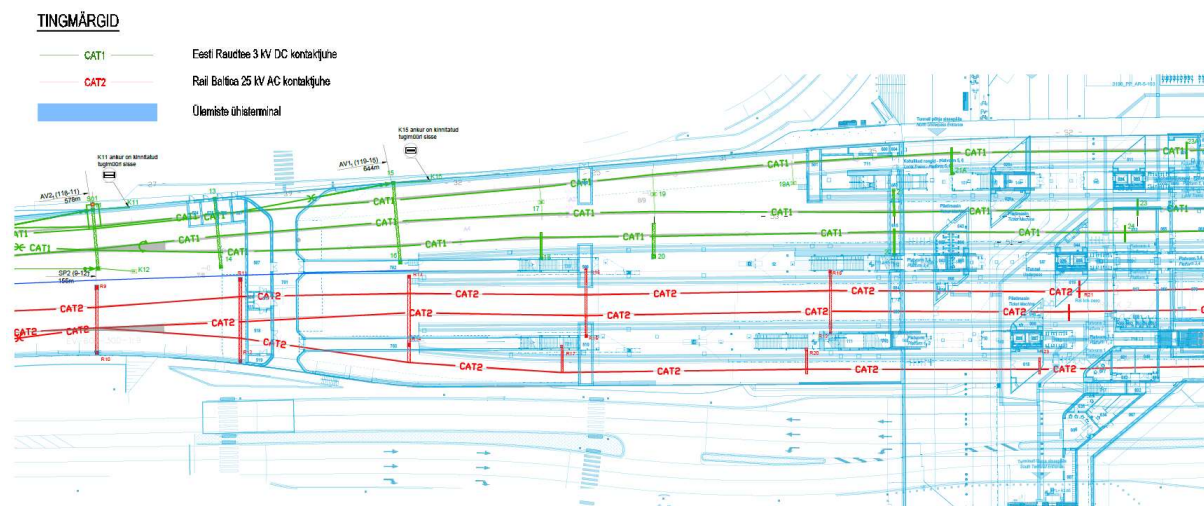
Joonis 14. Risttalale mõjuva ühe liini koormuste skeemi näide

Kontaktliini- ja konstruktsioonide asukohad tuli kooskõlastada tellijaga. Ühisterminali osas paiknevad konstruktsioonide asukohad pidi heaks kiidetud olema Ühisterminali tööprojekti koostaja poolt. Kontaktliinile on tingmärkidega näidatud esmatähtsad kontaktvõrgu detailid sõltuvalt vajadusest. Sarnaselt kontaktvõrgu skeemile on kuvatud lahkliitite asukohad. Täiendavalt on visangu alguses ja lõpus näidatud kompensaatori asukoht, isolaatorid ja sektsioonide vahelised isolaatorid.

Järgneval joonisel (Joonis 15) on näidatud asendiplaani esimene väljatükk, kuhu lisatud orientiirid nagu Tartu maantee viadukt ja Ülemiste keskus. Pilt 1 märgib esimest asendiplaani väljavõtet terminali ala alguses (Joonis 16) ja pilt 2 kuvab erinevate kontaktvõrkude asetust terminali ala lõpus lahtisel alal (Joonis 17).



Joonis 15. Terminali ala asendiplaan



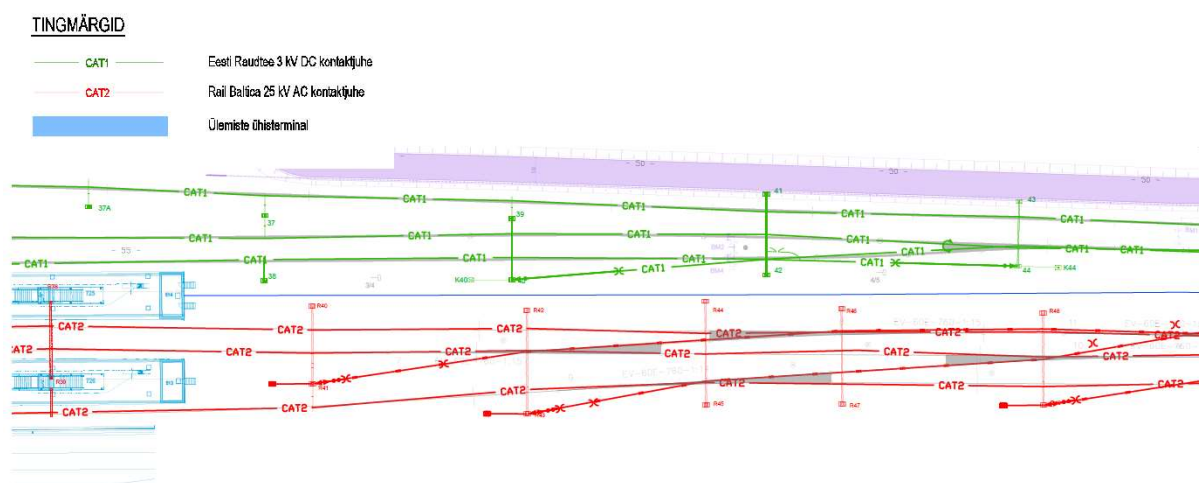
Joonis 16. Kontaktvõrgu asendiplaan terminali ala alguses

Projekti kasutatakse terminalialal ja sellest Tartu maantee viadukti poole jääval alal enamjaolt sõrestikkonsoolmaste, mis ulatuvad üle mitme tee. Sõrestikmastid on projekti valitud nende tugevuse põhjal. See välistab kahe mastiga portaali paigaldamise, millele läheb vaja rohkem maa-ala ning tööaega. Mõne koha peal ei olegi võimalik mitut masti paigaldada ruumipuuduse tõttu. Sõrestikmast vajab suurte koormuste puhul suure taldmikuga vundamenti. Terminali alas on sõrestikmastid kinnitatud hoone konstruktsiooni külge. Mastide asukohad on kooskõlastatud ühisterminali

tööprojekti projekteerijaga, kes arvestab lisakoormusega hoone konstruktsioonile. Ühisterminalis, kus masti jaoks ruumi polnud, kinnitati sõrestikkonsool terminali lakke. Joonisel (Joonis 16) on kuvatud terminali lakke kinnitatav R23 sõrestikkonsool.

Terminalist Smuuli tee viadukti poole jääval avamaal on projekteeritud ühe tee kontaktliini jaoks mast koos vertikaalkonsooliga või teede vahel paiknedes kahe vertikaalkonsooliga. Kuna sellel alal on raudteede omavaheline vahemaa suurem ning piisab ruumi vundamentide paigaldamiseks, siis on projekteeritud kahe mastiga portaalid üle kahe või kolme tee. Portaalid koosnevad kahest sõrestikmastist ja sõrestikriiglist, mille külge on kinnitatud kontaktliini kandurid ehk konsoolid. Joonisel (Joonis 17) on projekteeritud üle kolme raudtee paiknev portaal R44-R45.

Ülemiste rekonstrueerimise projektis vajavad visangu lõpumastid koormuste kompenseerimiseks lisatõmmet. Selleks paigaldatakse tõmmitsatega ankruvundament maasse või ankur terminali hoone konstruktsiooni sõltumata masti tüübist. Erand tehakse sel juhul, kui tõmbekoormused on masti suhtes vastakuti kahe visangu lõpu puhul.



Joonis 17. Kontaktvõrgu asendiplaan lahtisel alal

Kontaktvõrku selgitavat asendiplaani esimest lehte näeb täismahus lisas (Lisa 4). Eelprojekti staadiumis projekteeritud 1520 mm kontaktvõrgu asendiplaani esimest lehte näeb täismahus lisas (Lisa 5). Eskiisstaadiumis 1435 mm kontaktvõrgu asendiplaani esimest lehte näeb täismahus lisas (Lisa 6).

3.3. Mahutabeli koostamine

Mahutabelisse on koondatud eelprojekti ainult 1520 mm rööpmelaiusega tee materjalid. 1435 mm raudtee kontaktvõrk telliti eskiislahendusena, s.t et kontaktvõrk ja selle konstruktsioonid on joonestatud plaanile, kuid materjalide spetsifikatsioon ja tehtavad tööd ei kuulunud töö hulka. Tabelisse on märgitud peamised kontaktvõrgu elemendid nende üldise kirjeldusega ehk mastid on eristatud teede ulatuse kaupa ja vundamendid nende suuruse erinevusega. Täpsed elementide tüübid selgusid põhiprojekti etapis. Erand tehti kontaktjuhtme, kandetrossi ja lahkliitide parameetritele, sest need nõuded olid esitatud tehnilistes tingimustes. Tellija soovis kontaktjuhtmena kasutada Cu150 mm² juhet ja kandetrossina Cu120 mm² juhet. Kontaktvõrgu kinnituste komplektid eritüübi konsoolide näol jäid eelprojekti samuti eristamata. Kontaktvõrgu kontaktjuhtme ja kandetrossi mahuks lugesin Autodeski programmiga „AutoCad“ 8600 m. Erinevate vundamentide kogus jäi 103 tükki ja mastide ning riiglite kogus 94 tükki. Kontaktliini kinnituskomplekte tuleb 150 ja õhuvisangu kompensatorite kogus on 22 tükki. Eelprojekti mahutabeli info on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 1).

Artikli nr./ Article No	Makseartikli nimetus/ Payment article	Parameetrid / Parametres	Mootühik / Unit	Maht / Volume
1	2	3	4	5
EC001	Kontaktjuhe/contact wire	Cu150 mm ²	m	8600
EC002	Kandetross/catenary wire	Cu120 mm ²	m	8600
EC003	Pingutustross/tension wire	Bz	m	1000
EC004	Kontaktvõrgu kinnituste komplektid mastile ja riigile/catenary mounting kits for mast and beam		kpl	150
EC005	Riputid/hangers		tk	1720
EC006	Konsoolmastid kahele teele/console masts for two tracks		tk	9
EC007	Konsoolmastid ühele teele/console masts for one track		tk	26
EC008	Konsoolmastid kahele teele teede vahel/console masts between two tracks		tk	3
EC009	Portaalid kahele teele/portals for two tracks		tk	20
EC010	Portaalid, pikad/portals large		tk	10
EC011	Vundamendid suured/foundations large		tk	10
EC012	Vundamendid keskmised/foundations medium		tk	57
EC013	Vundamendid ankrutele/foundations for anchors		tk	12
EC014	Kompensatorid ja kinnitused/compensators and fasteners		tk	22
EC015	Muud kontaktvõrgu tarvikud/other catenary accessories		kpl	3
EC016	Ajutised vundamendid/temporary foundations		tk	24
EC017	Ajutised mastid/temporary masts		tk	26
EC018	Lahkliitid koos paigaldusega/disconnectors with installation	25 kV, 3000A	tk	5
EC019	Kontaktvõrgu montaaž/catenary assembly		jm	8600
EC020	Vundamentide paigaldus/foundation installation		tk	103
EC021	Ajutiste mastide paigaldus/installation of temporary masts		tk	26
EC022	Maandused/earthings		tk	120
EC023	Mastide ja riiglite paigaldus/installation of masts and states		tk	68

Tabel 1. Eelprojekti mahutabel

3.4. 3 kV DC ja 25 kV AC kontaktvõrgu vastastikmõju

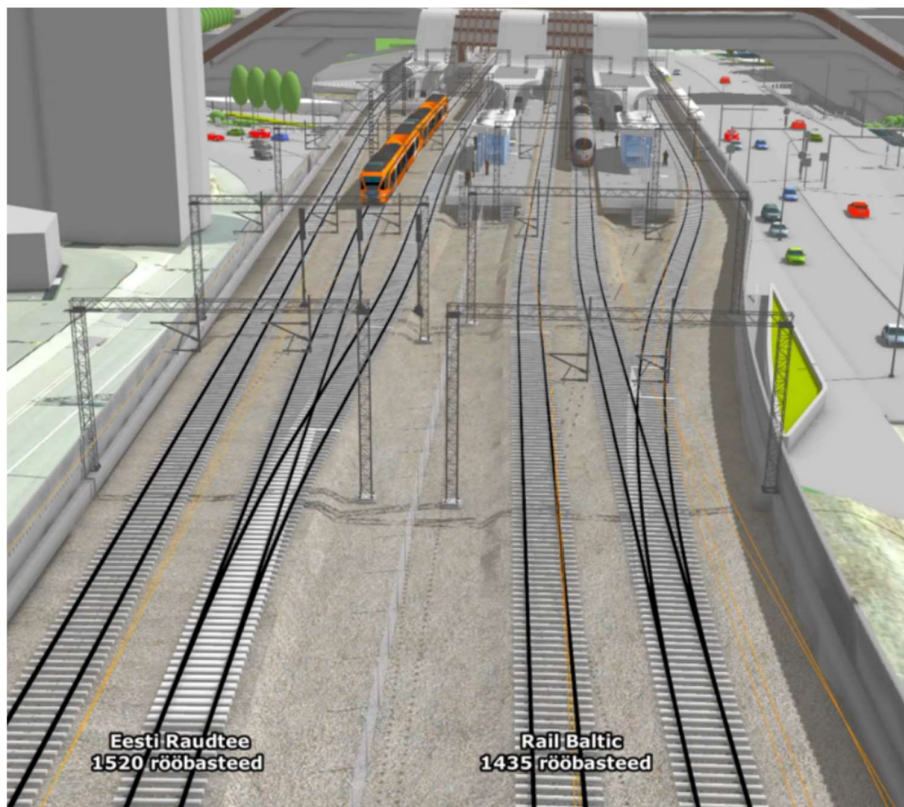
Elektriraudtee on keeruline elektritarbija, sest koormuste asukoht ja tarbimismaht on pidevas muutumises. Uus elektriraudtee toitesüsteem 25 kV AC mõjutab teisi elektrisüsteeme, k.a olemasolevat 3 kV DC võrku, kandes üle võimalikud probleemid. Rail Balticu kontaktvõrgusüsteem pingega 25 kV AC rajatakse Ülemiste jaama piirkonnas paralleelselt kulgema olemasoleva 3 kV DC liiniga. TalTech-i „Elektriraudtee AC/DC vastastikmõjude analüüs“-is on uuritud veeremi koormust maksimaalsel juhul Ülemiste jaama kontekstis – reisivedudega seotud veerem kiirendab samal ajahetkel kahel paralleelsel raudteel. Kõige rohkem põhjustavad mõjutusi elektriraudtee koormuse asümmeetriast tingitud pingeasümmeetria ja elektrirongide poolt tekitatud kõrgemad harmoonikud. Uuringust võib järeldada, et ~4 m rööbasteede ja maandatud konstruktsioonide vahekaugus erinevate pingeklassidega süsteemi vahel tagab probleemide mitte ilmnemise 3 kV DC kontaktvõrgus.

3.5. Kooskõlastamine

Kooskõlastamise käigus toimus suuremahuline infovahetus, mille käigus tekkis vajadus muuta lähtetingimusi ja tehti palju muudatusi projektlahenduste eriosades, s.h kontaktvõrgu osas. See kõik oli väga ajamahukas, kuid tuli kasuks parima lõpplahenduse saamiseks. Projekti kooskõlastasid Eesti Raudtee AS, Rail Baltic Rail AS, Rail Baltic Estonia OÜ, KOV ja teised taristu ettevõtted, kelle kommunikatsioonidega toimusid ristumised.

4. PÕHIPROJEKTI KOOSTAMINE

„Ülemiste raudteeinfrastruktuuri rekonstrueerimise projekteerimise“ põhiprojekt hõlmab erinevalt eelprojektist ainult Eesti Raudtee AS-i 1520 mm rööpmelaiusega raudtee kontaktvõrgu projekteerimist täiendatud detailsusastmes. Tehnilised tingimused jäid samaks. Põhiprojekti etapis rakendati BIM-strateegiat ja töötati välja ehitusetapid. Alltoodud joonisel (Joonis 18) on visualiseeritud Ülemiste ühisterminali algust.



Joonis 18. Ülemiste terminali visualiseering [17]

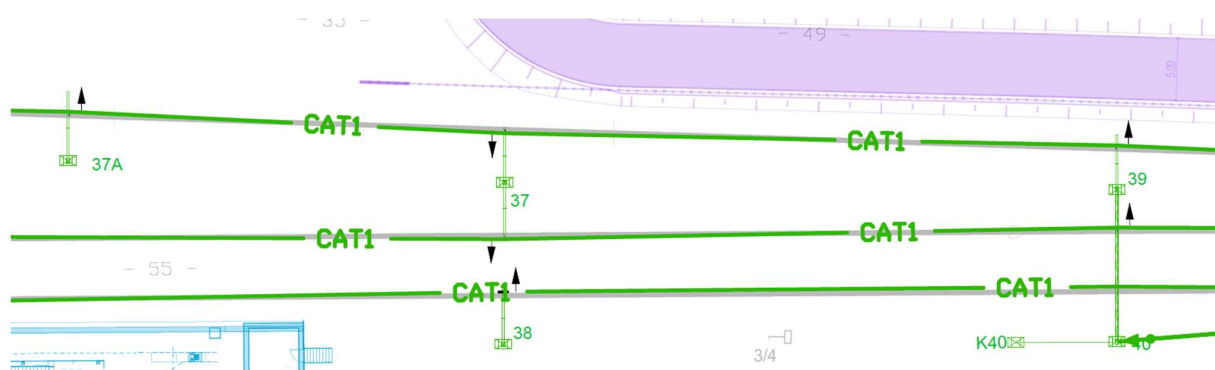
4.1. Kontaktvõrgu skeemi koostamine

1520 mm kontaktvõrgu sektioneerimise skeem sai koostatud eelprojekti faasis ning põhiprojektis põhimõttelisi muudatusi ega täiendusi ei tehtud. Skeemile lisati piketaažid täpsustamaks lahkliitite asukohtasid. 3 kV DC kontaktvõrgu sektioneerimise skeem on näidatud joonisel (Joonis 10).

4.2. Asendiplaani koostamine

Eelprojekti asendiplaani struktuur jäi põhiprojektis samaks, kuid sellele kanti juurde täiendusi. Plaanil on kujutatud iga kontaktliini looklemine raudtee telje suhtes (Joonis 19). Siksak tekitatakse

kontaktjuhtme ja kandetrossi kanduriga, mis kinnitatakse risttala või masti külge. Konsooli küljes on reguleeritav saabel kontaktjuhtme fikseerimiseks ja reguleeritav rullik kandetrossi jaoks. Saabel töötab, kas surve- või tõmbejõuga, lükates kontaktjuhtme raudtee teljest eemale. Tee trajektoori suurest raadiusest tingitud siksaki eripära selles projektis puudub, mis eeldab kurvis saablite seadistamist ainult tee telje ühele poole. Siksak lookleb iga konsooliga üle tee telje. Erand tehakse kontaktjuhtme tööst välja viimise korral, kus mõnel juhul võib juhe olla telje suhtes samal pool, ent siis on juhe kõrgemale tõstetud ning veeremi pantograafi ei puutu. Looklemise suuna alusel täpsustati vajaminevate kontaktliini konsoolide tüübid. Põhiprojekti faasis kinnitati ankruvisangute täpne paiknemine. Nendele anti nimetused ja lisati visangu pikkused meetrites.



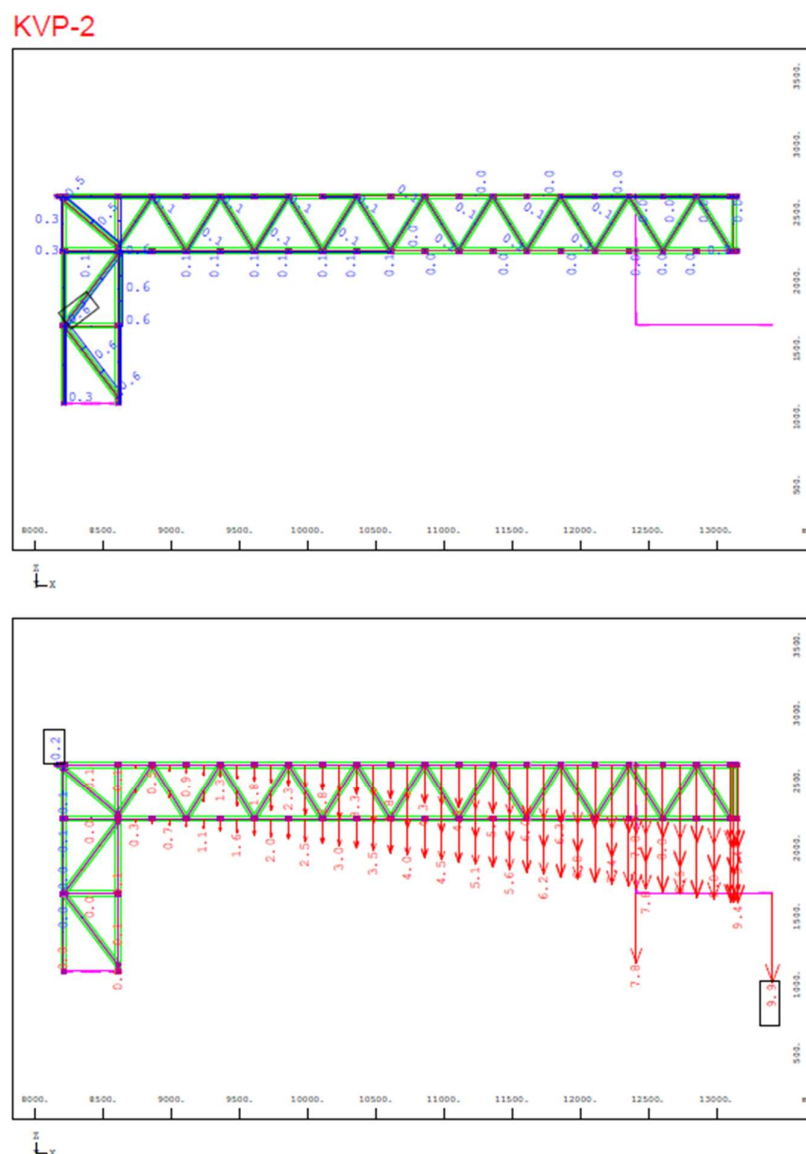
Joonis 19. Kontaktliini siksak

4.3. Kontaktvõrgu portaalide koormusarvutused

Erinevate konstruktsioonide õigete valikute tegemiseks peab leidma rakenduvad koormused. Selleks arvutab konstruktor kriitilisemad portaalide või mastide igale liinile mõjuvad koormused. Liini kandetrossiks on 150 mm² vasest (Cu) juhe. Kontaktliin on 120 mm² vasest (Cu) juhe. Kontaktvõrgu kõrgus rööpa peast on 6,3 m. Kontaktliin kompenseeritakse 2x15 kN mõlemast otsast. Külgsuunalised jõud sõltuvad otseselt liini raadiusest, mis määrati iga masti jaoks eraldi. Lisaks omakaalust tingitud maasuunalisele jõule tuleb arvestada ekstreemsete ilmastiku oludega. Eesti Raudtee AS nõuete kohaselt peavad konstruktsioonid vastu pidama ka olukorra, kus maksimaalne tuule kiirus üks kord 10 aasta jooksul on sisemaal kuni 25 m/s ja rannikul kuni 32 m/s. Arvutamisel tuleb lisada ka jäitekihi mõju. Maksimaalne jäitekihi paksus üks kord 10 aasta jooksul on 10 mm. Maksimaalse jäitepaksuse puhul esinevaks arvutuslikuks temperatuuriks on võetud 0°C tuule kiiruseks 5 m/s, mis tekitab survet 17 N/m². Tehnilised tingimused on toodud lisa (Lisa 1). Konstruktorile sai antud lisaks tehnilistele tingimustele ka asendiplaan, kus on määratud AllSpark OÜ poolt kontaktvõrgu mastide ja vundamentide täpsed asukohad. Terminali kontaktvõrgu

portaalide kandekonstruktsioonide arvutused tegi põhiprojektis inseneribüroo Skeleton. Ülejäänud konstruktsioonide arvutused teostati tööprojekti faasis.

Konstruktor edastas meile arvutuste tulemused iga masti kohta terminalis, kus olid näidatud kasutusmäär kandepiirseisundis (1,0 = kandevõimest on kasutatud 100 %) ja vertikaalsed deformatsioonid maksimaalsete koormustega millimeetrites. Joonisel (Joonis 20) esitletud violetse värviga joon tähistab kontaktliini konsooli koormuse rakendumise punkti. Arvutustulemusena selgus, et masti läbivajumine jäi lubatavasse kontaktliini kõrgusliku paiknemise vahemikku ja kontaktvõrgusüsteemi ohtu ei seata.



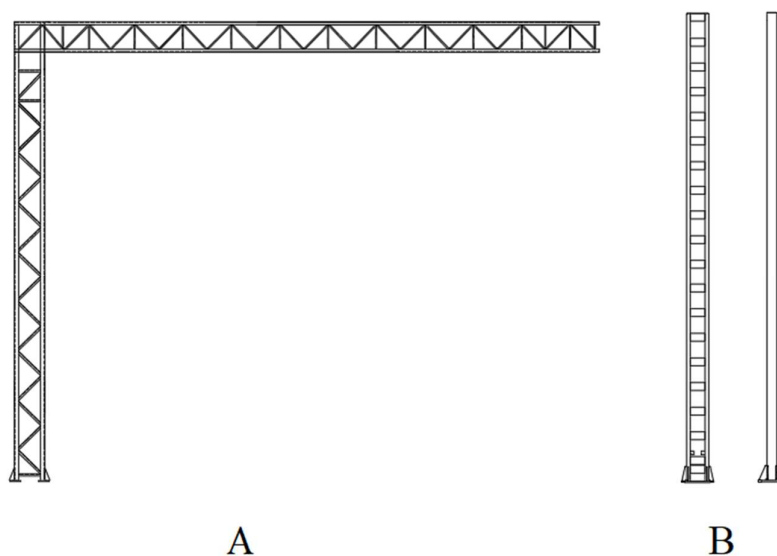
Joonis 20. Terminali ala kontaktvõrgu kandekonstruktsiooni KVP-2 koormusarvutus

4.4. Konstruksioonide valik

4.4.1. Mastide valik vastavalt liinidele

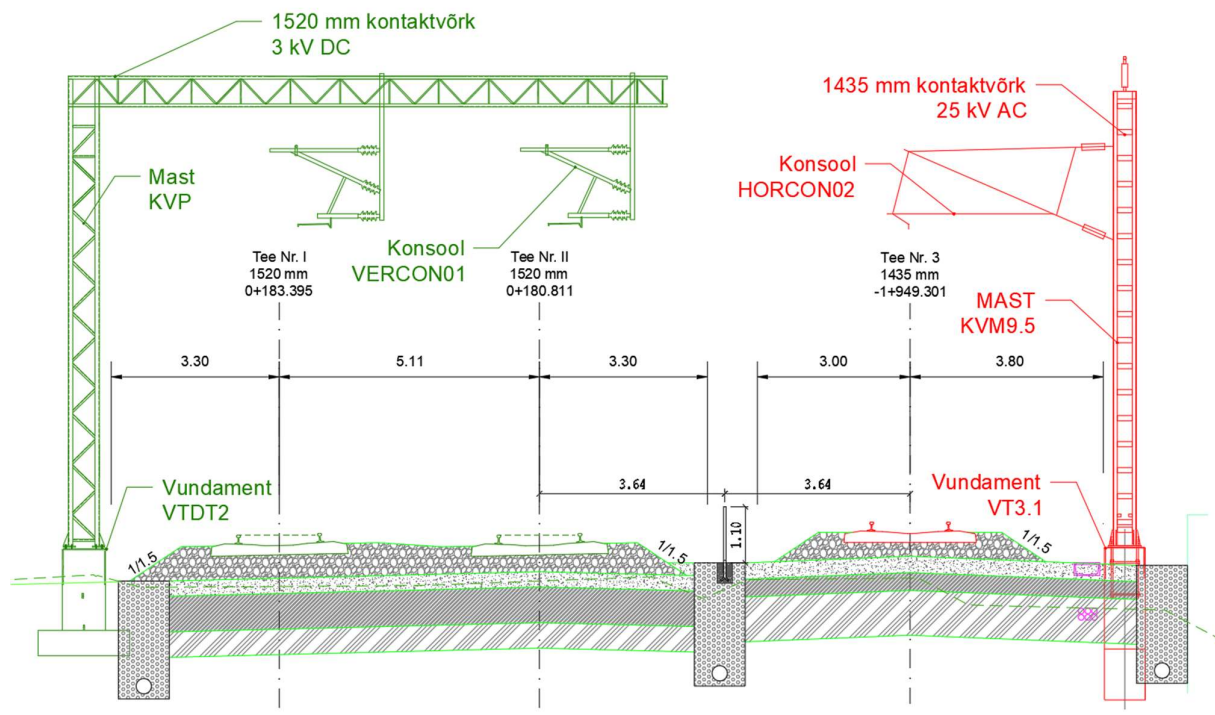
Konkreetsed valikud määravad koormusarvutused ja mastide funktsioonid. Mast KVP (Joonis 21) on erilahendusega ühe- või kahe tee sõrestikkonsoolmast, mille konsoolse osa mõõdud erinevad sõltuvalt raudteede kaugusest. Masti kõrgus on kuni 9300 mm ning konsooli osa pikkus kuni 12000 mm. Masti laius on 600x600 mm. Taldmik kinnitatakse 12 poldiga vundamendi külge. Terminali alas monteeritakse mast hoone külge rajatud kandekonstruktsioonide külge. Mastide projekteeritud eluiga on 50 aastat. Terasstruktuurid kuumtsingitakse keskkonnaklassile C3. Teras klass on S355J2.

Kontaktvõrgu projektis kasutatakse veel tüüpstruktuuriga maste KVM9.5 (Joonis 21), millel on nelja kinnitatavaga (400x500 mm) taldmikud ja kahest U-kujulisest profiilist koosnevad tugiseinad. Masti pikkus on 9500 mm, laiem külg 450 mm ja kitsam külg 200 mm. Mast KVM9.5 kaalub 708 kg.



Joonis 21. Kontaktvõrgu mastid: *a* – KVP; *b* – KVM9.5

Joonisel (Joonis 22) on kuvatud Ülemiste jaama alguses tehtud ristlõige, millel näidatakse projekteeritavaid kontaktvõrgu maste, kontaktliini konsoole ja mastivundamente. Kahe eripingelise raudteetaristu vahel asetseb aed, mis eristab territooriumid kaheks ning mis suurendab ohutust.

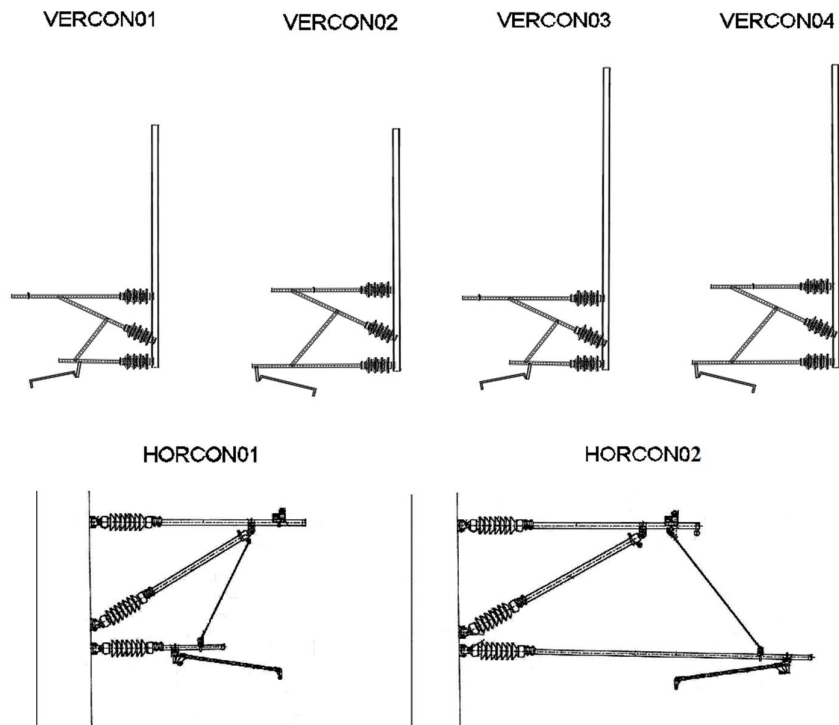


Joonis 22. Ristlõige projekteeritavate elementidega

4.4.2. Konsoolide valik

Kontaktjuhe fikseeritakse tee telje suhtes kindlale asukohale ehk pannakse üle tee looklema kontaktjuhtme fiksaatoriga, mis omakorda kinnitub mastile konsoolse kinnitusega. Konsooli kuju ja suurus sõltub masti kaugusest tee teljest, masti tüübist ja antud mastil vajalikust kontaktjuhtme kõrvalekalde suunast tee telje suhtes. Konsoolsed fiksaatorid jagunevad kaheks - tee telje suhtes masti poole tõmbavaks ja tee telje suhtes mastist eemale suruvaks. Konsoole eristatakse veel nende kinnitusmeetodi kaudu, kas vertikaalkonsooliks, mille kinnitus on risttala küljes või horisontaalkonsooliks, kus konsool kinnitatakse klambritega masti külge. Ülemiste jaama raudtee projektis kasutatakse mõlema tüübi konsoole. Konsoolsetel mastidel või uutel portaalidel, kuhu paigaldatakse kitsam risttala, kasutatakse VERCON01 ja VERCON02 konsoole (Joonis 23). Laiema sõrestiktala korral on kasutusel VERCON03 ja VERCON04 elemendid. Sõltumatu masti külge monteeritakse HORCON01 või HORCON02 konsool.

Konsoolide tüüpe on mitmeid erinevaid nagu kontaktjuhet tõstvad- ja pöörangute konsoolid, kus võivad samaaegselt olla kasutusel nii tõmbavad kui ka tõukavad fiksaatorid. Konsoolidele kinnitatakse samuti tööst väljas olevaid kontaktjuhtmeid.



Joonis 23. Projektis kasutatavad vertikaalsed ja horisontaalsed konsoolid

4.5. Vundamendid

Vundamentide valikul tuleb lähtuda neile mõjuvatest jõududest. Samas on oluline, et vundamendi ja paigaldamise tehnoloogia valik ei rikuks olemasolevat raudtee muldkeha. Mastide vundamentide ülaserv tuleb paigaldada projektis näidatud kõrgusele. Üldjuhul on vundamendi ülemine serv rööpapeast 25 cm madalamal. Vundamendi ülemine osa on maapinnast 10 cm kõrgemal ja nähtav. Vajadusel tuleb rajada nõuete täitmiseks kupits ümber vundamendi.

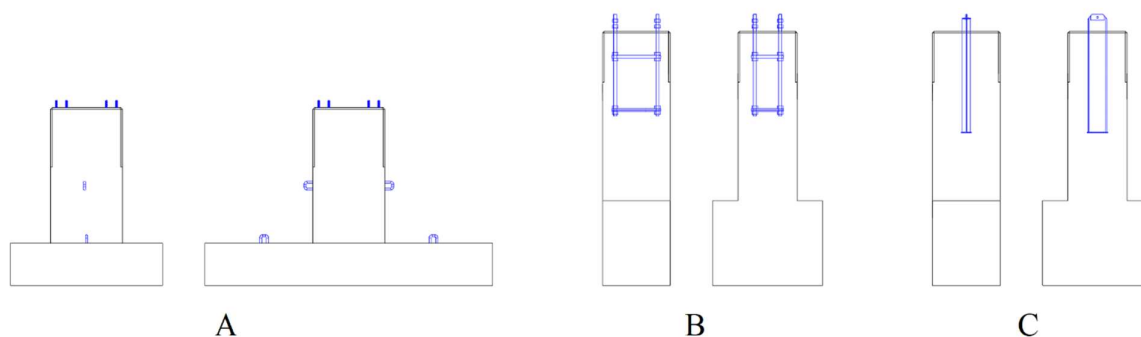
Projektis kasutatakse masti- ja ankruvundamente, mis on tehases tüüplahendusena või analoogina valmistatud betoonelemendid (Joonis 24).

Tehases valmistatavad mastivundamendid:

- Vundament VT3.1;
- Vundament VTDT2.

Tehases valmistatav ankruvundament:

- Vundament VT3K.



Joonis 24. Kontaktvõrgu vundamendid: *a* – VDTD2; *b* – VT3.1; *c* – VT3K

Vundament VTDT2 on projekteeritud kahe tee konsoolse masti kinnitamiseks. Kuna mastile ei lisata lisatõmmitsaid ega tugesid, siis mõjuvad vundamendile suured koormused. Selle jaoks kasutatakse laia taldmikuga, mille mõõtudega 1800x3400 mm, vundamenti. Üldine kõrgus on 2100 mm. Vundamendile lisatakse tehases masti kinnitamiseks 12 keermevarrast ning selle liigutamiseks tõsteaasad.

Tüüpvundament VT3.1 käib kokku mastiga KVM9.5 ja ühe tee konsoolse mastiga. Kontaktvõrgu mastid ühendatakse nelja keermevarda külge, mis on 400x500 mm asetusega. Vundamendi taldmik on mõõtudega 800x1300 mm ning kogukõrgus 3000 mm. Vundamendi kaal on 4985 kg, millest 184 kg on sarruse kaal. Betoonelemendi maht on 2,16 m³ ning paigalduseks vajalik kaevemaht on 6,18 m³.

Ankruvundament VT3K kasutatakse koos tõmmitsaga ankruvisangu lõpumasti koormuste ühtlustamiseks. Vundament on mõõtudel identne mastivundamendiga VT3.1, kuid keermevarraste asemel lisatakse auguga raudtala.

Vundamentide kasutuseaks arvestatakse 50 aastat ning valmistatakse betoonist C30/37 XC4+XD1+XF3, mis on vastava vee- ja külmakindlusega ning vastupidavad agressiivsetele keskkonnamõjudele. Betooni sarrusteras B500B kaitsekihi minimaalne paksus on vähemalt 50 mm. Ankrupoltide väljaulatuv ja 100 mm betoonis olev osa kuumtsinkida vastavalt EVS-EN ISO 1461 kategooria B. Minimaalne tsingikihi paksus 70±5µm, vastavalt keskkonnaklassile C3. Kõik nähtavad osad faasitakse 20x20 mm. Vundamentidele seatud tootmistingimused on toodud samuti ka tööjoonistel koos standarditega.

4.6. Mahutabelid

Projekti koosseisu kuulub mahutabel, kus on tehtud nimekiri projektis kasutatavatest materjalidest ja töödest. Iga artikli kohta tuleb sisestada artikli number, -Uniclass 2015 kood, -nimetus, -mõõtühik ja -kogus. Uniclass kood on rahvusvaheline klassifikatsioonisüsteem, mis annab igale elemendile ainulaadse loogiliselt tuletatud koodi [18]. Materjalide kogused loetakse asendiplaani pealt erinevate projekterimistarkvara käskudega. Tööd jagunevad kaheks: paigaldus- ja demonteermistööd. Paigaldustööd hõlmavad endas kontaktvõrgu materjalide montaaži vastavalt projektdokumentatsioonile. Samuti kirjeldatakse demonteeritavate materjalide kogust ja tööd. Metallist materjalid nagu näiteks kontaktjuhe, mastid, risttalad tagastatakse tellijale, see tähendab Eesti Raudtee AS-le. Ülejäänud mittetaaskasutatavad materjalid nagu betoonmastid ja -vundamendid utiliseeritakse. 1520 mm raudtee põhiprojekti mahus paigaldatakse 8600 m kontaktjuhet Cu150 mm² ja samas koguses kandetrossi Cu120 mm². Projektijärgseid vundamente paigaldatakse kokku 107, millest 24 on ajutised. Projektis on plaanitud installeerida erinevaid metallmaste 64, millest 26 on ajutised. Ajutised elemendid tähistavad tööprojekti etapis paigaldatavaid konstruktsioone, et säilitada rongiliiklus kahel peateel. 1520 mm raudtee kontaktvõrgu materjalide ja tööde eelarve 2023. aastaks on AllSpark OÜ hinnangul üle 5,2 miljoni euro. Tabelis (Tabel 2) on välja toodud 1520 mm kontaktvõrgu materjalid koos maksumusega. Terminali ala konstruktsioonid jäid AllSpark OÜ mahust välja, sest kokkuleppeliselt esitas need Esplan OÜ koos terminali projektiga.

Artikli nr./ Article No	UNICLASS 2015	Makseartikli nimetus/ Payment article	Mõõtühik / Unit	Maht / Volume	Summad	Summad
					EUR	EUR
1	2	3	4	5	6	7
		Materjalid / Materials				
EC001	Pr 65 72 60 56	Kontaktjuhe Cu150 mm2 / Contact wire Cu150 mm2	m	8600	17	146,200
EC002	Pr 65 72 60 56	Kandetross Cu120 mm2 / Catenary wire Cu120 mm2	m	8600	15	129,000
EC003		Pingutustross Fe50 mm2 / Tension wire Fe50 mm2	m	1000	9	9,000
EC004		Kontaktvõrgu kinnituste komplektid mastile ja riigile / Catenary mounting kits for mast and beam	kpl	150	2,500	375,000
EC005		Riputid Bz10 mm2 / Hangers Bz10 mm2	tk	1720	25	43,000
EC006	Pr_20_85_50	Konsoolsed metallmastid kahele teele kuumtsingitud / Console masts for two tracks hot-dip galvanized	tk	9	3,500	31,500
EC007	Pr_20_85_50	Konsoolsed metallmastid ühele teele kuumtsingitud / Console masts for one track hot-dip galvanized	tk	26	2,500	65,000
EC008	Pr_20_85_50	Konsoolsed metallmastid kahele teele teede vahel kuumtsingitud / Console masts between two tracks hot- dip galvanized	tk	3	3,000	9,000
EC009	Ss_20_20_75_80	Portaalid kahele teele kuumtsingitud / Portals for two tracks hot-dip galvanized	tk	20	6,900	138,000
EC010	Ss_20_20_75_80	Portaalid, pikad, kuumtsingitud / Portals, large, hot-dip galvanized	tk	10	13,000	130,000
EC011	Pr 20 85 13	Vundamendid, suured / Foundations, large	tk	10	5,000	50,000
EC012	Pr 20 85 13	Vundamendid, keskmised / Foundations, medium	tk	57	2,500	142,500
EC013	Pr 20 85 13	Vundamendid ankruitele / Foundations for anchors	tk	16	1,500	24,000
EC014	Pr_20_85_13	Kompensaatorid ja kinnitused 2x15kN, 1x20 kN / Compensators and fasteners 2x15kN, 1x20 kN	tk	22	4,750	104,500

Tabel 2. Põhiprojekti osaline mahutabel

4.7. BIM-strateegia

Rail Baltica projekt nõudis põhiprojekti mahus üksikasjaliku BIM-i strateegia kasutamist, mille nõuded tellija samuti meile edastas. BIM ehk *Building Information Modeling* on protsess, mis aitab projekteerida hoonet või muud rajatist andmesiltidega seotud 3D-mudelina. BIM-mudeli komponendid on geomeetrilised ning nendele lisatakse juurde vajalikud andmed [19]. Lisatavad andmed on näiteks elemendi kirjeldus, -Uniclass kood, -kogus ja -paigalduskõrgus. 3D-mudelist, millele on lisatud täidetud andmeväljad, on võimalik kiiresti genereerida kaevete mahud ja materjalide mahutabelid. Lisaks on võimalik tuvastada kokkupõrkeid teiste eriosade projektidega.

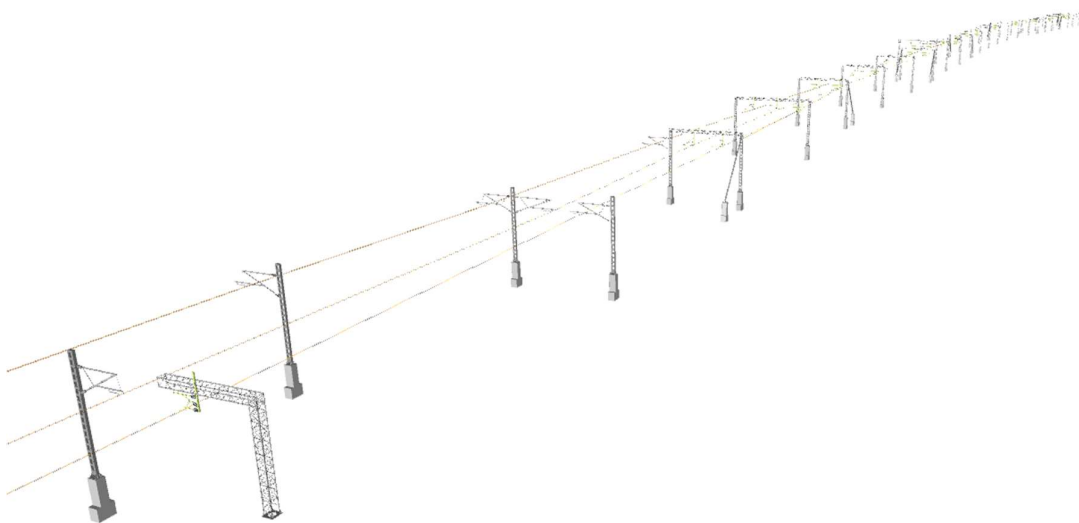
Kontaktvõrgu joonised ja mudelid on koostatud Autodeski „Civil 3D“ inseneri tarkvaraga. 3D-modelleerimine algas geomeetriliste elementide loomisega. Alustasin vundamendi plokkide joonistamisega ning järgnes tüüp masti KVM9.5 modelleerimine. Sõrestikmastid ja -risttalad tuli individuaalselt üle käia ning moodulitest kokku sobitada nende eripikkuste tõttu. Kontaktliini kandureid tuli joonistada neli erinevat tüüpi. Peale elementide loomist alustasin tühjale alusele lähtejooniste viimisega. Lähteandmeina kasutasin kontaktvõrgu 2D asendiplaani, et uues failis geomeetrilised vundamendid saaksid õigete xy-koordinaatide peale asetatud. Kõrguse määramiseks pidi alusfailile lisama veel kolmemõõtmelise maastikumudeli koos uute teedega. Üldjuhul kehtis nõue paigaldada vundamendi ülemine serv raudtee rööpapeast 25 cm alla poole. Kui vundament oli paigas, sai selle peale asetada ülejäänud mastide ja risttalade valmis plokid. Kontaktvõrgu modelleerimisel tuli arvesse võtta teiste eriosade asetust. Näiteks pidi kontaktvõrgu kandekonstruktsioonide objektid kinnitama juba Esplan OÜ poolt modelleeritud ühisterminali hoone külge. Kontaktjuhtme modelleerimiseks võtsin abiks juba 2D asendiplaanil projekteeritud täpse liini, mille tõstsin relsist 6,3 m kõrgusele. Kui kontaktjuhe oli paigas, sai õige konsooli plokk masti külge lisatud ning kanduri ja liini puutepunkt ühtlustatud.

Igale elemendile tuli külge lisada andmesisu, mis sisaldas Ülemiste terminali projekti andmeid ja täpsustatud spetsifikatsiooni. Programm genereeris automaatselt ainulaadse objekti koodi, kuid teised andmekoodid tuli ise sisestada. Enamus koodid olid tellija poolt meile väljastatud ning omasid haldamisüsteemis kindlat tähendust. Tellija soovis projekti ka 3D-mudelist tuletatud spetsifikatsioonitabeleid. QEX-tabel ehk BIM-andmesisu tabel iga elemendi kohta (Tabel 3). 1520 mm kontaktvõrgu osas tuli artikleid kokku 374. QEX-tabelist tuli omakorda vormistada QTO-tabel, kus on sama toote mahud kokku liidetud. See dubleerib 2D-mudeli mahutabelit.

BIM MODEL OBJECTS							SPECIFICATION		COSTING					
Native ID	MEMBER MARK					OBJECT LOD		Spec Code	RBR-OCC	QUANTITIES				
	Discipline (Code)	VolSysZone	Location	Function	Object ID	LoG	LoI			UNICLASS 2015		Product Description	Unit	Qty
										Product Code(Pr_Code)	Type number			
OCS-02-TOW-0157	OT	OS02134ZZ	ZZZZ	EL-OT-CATE-00	OCS-02-TOW-0157	300	300	N/A	2155	Pr_20_85_50	02-0503	Console mast	pcs	1

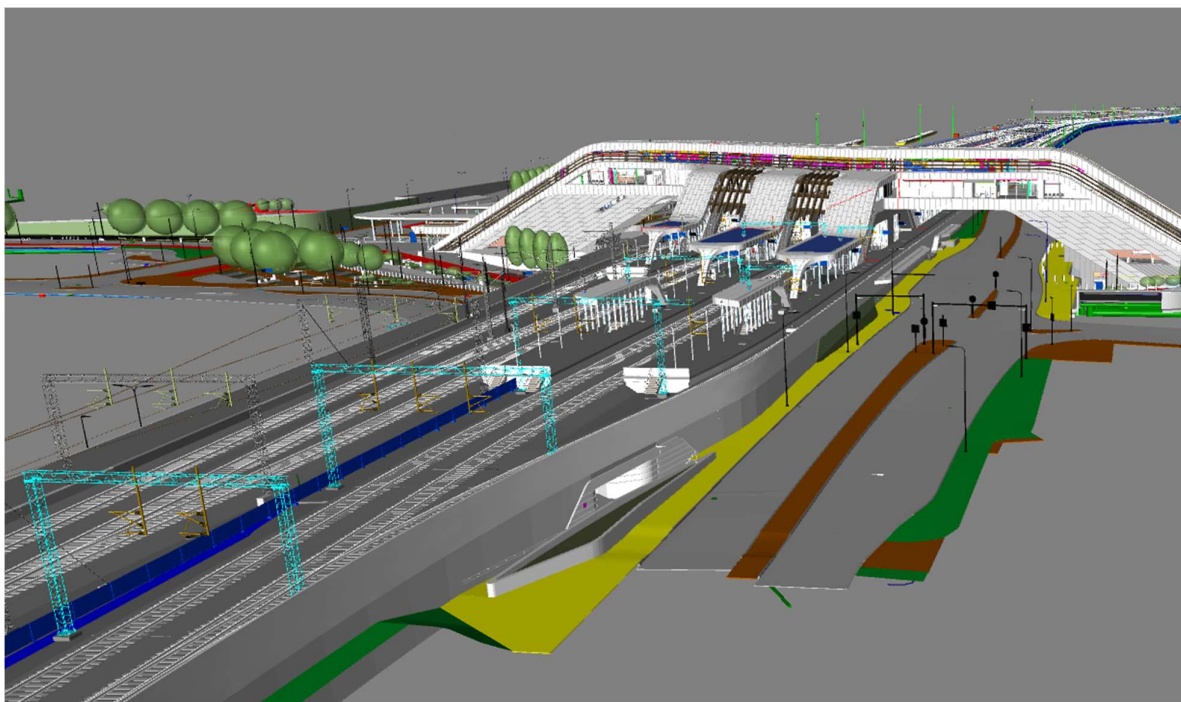
Tabel 3. BIM-andmesisu tabel iga elemendi kohta (QEX)

Kontrollülevaatused toimusid Autodeski Navisworksi programmis, mis on sobilik 3D-mudeli analüüsimiseks. Joonisel (Joonis 25) on kuvatud minu poolt modelleeritud 3D-mudel 1520 mm raudtee kontaktvõrgu komponentidest.



Joonis 25. 3D-mudel 1520 mm raudtee kontaktvõrgu komponentidest

Joonisel (Joonis 26) on näidatud Ülemiste terminali 3D-tervikmudel, mille peal on kõikide projektide eriosad. Mudeli väljavõttest on näha raudteid koos muldega, terminalihoonet, perroone, ümbritsevaid teid, tunnelit, raudtee kontaktvõrkusid, välisvalgustust. Samuti on mudelis olemas jooniselt mittenähtavad osad nagu telekommunikatsiooni-, elektri-, liiklusjuhtimise- ja muude taristute projekteeritud elemendid.

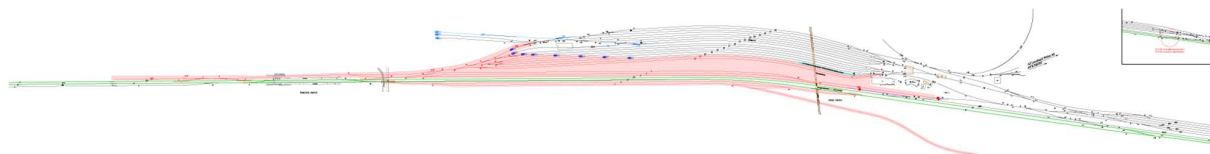


Joonis 26. Ülemiste terminali 3D-tervikmudel

4.8. Tööde planeerimine

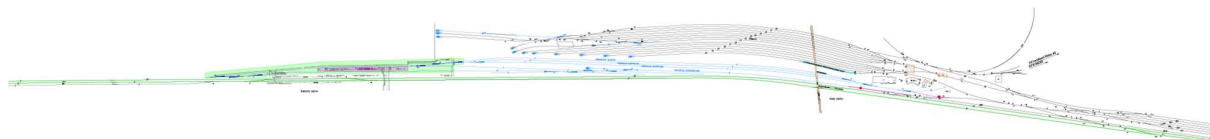
„Ülemiste raudteefrastruktuuri rekonstrueerimise projekteerimine ja projekteerija järelevalveteenused“ projekti üks nõue on, et ehituse ajal peab säilima kahe elektrifitseeritud raudtee toimimine. Tööde efektiivsemaks planeerimiseks ja kirjeldamiseks on koostatud üheskoos ReaalProjekt OÜ-ga 1520 rööbasteede liikluskorralduse ja ehituse etapilisuse aruanne. Kokku tehti seitse tööetappi, millest mõni etapp jaguneb veel alaetappideks.

Kontaktvõrgu tööd algavad teises ehitusetapis, mil 2a etapis (Joonis 27) vabastatakse territoorium 1435 mm ja 1520 mm rööpmelaiusega raudteede ehitamiseks. See toob kaasa mõningatel kohtadel ajutise kontaktvõrgu ümberehituse. Rohelisega on tähistatud töös olevad kaks elektrifitseeritud 1520 mm rööbasteed. Punasega tähistatakse likvideeritavat 1520 mm rööbasteed.



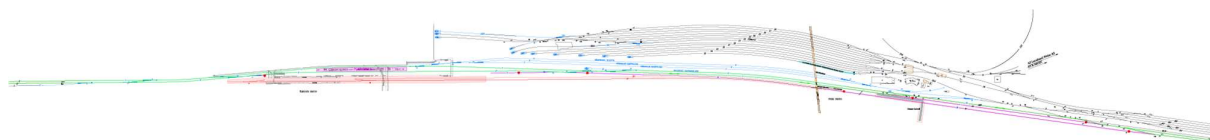
Joonis 27. Ehitusetapp 2a

Ehitusetapis 2b (Joonis 28) rajatakse mõned uued 1520 raudteed, kuhu ehitatakse kohe välja ka kontaktvõrk. Etapis 2c algab 1520 mm rööbasteede kontaktvõrgu rajamine valminud ühisterminali ehituse I etapi (Joonis 30) alale. Rohelisega on tähistatud töös olevad kaks elektrifitseeritud 1520 mm rööbasteed. Punasega tähistatakse likvideeritavat 1520 mm rööbasteed. Helesinise värviga näidatakse varasemas etapis rajatud uut 1520 mm rööbasteed.



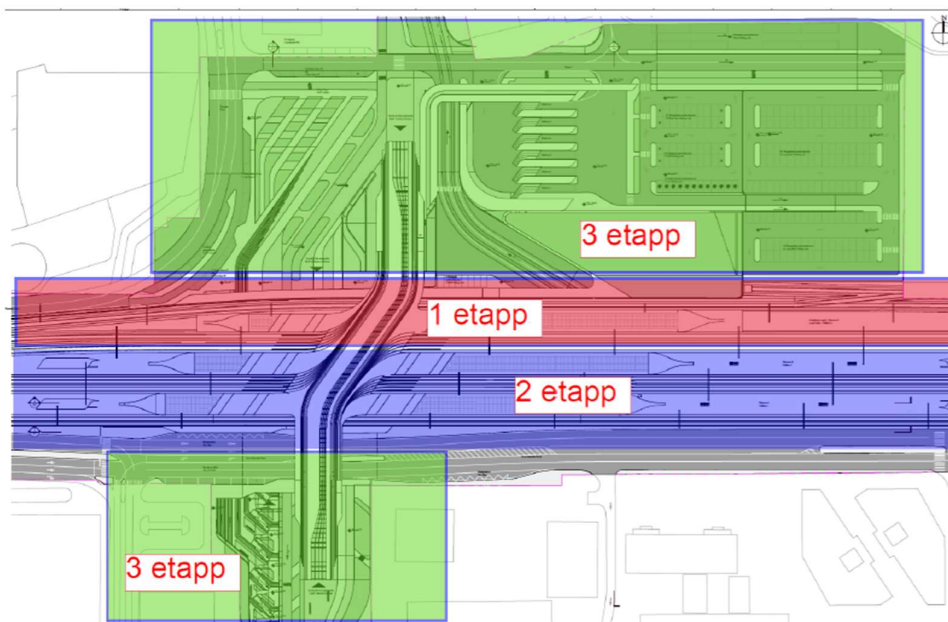
Joonis 28. Ehitusetapp 2c

Etapis 5 (Joonis 29) algab töömaa vabastamine 1435 mm raudtee ja terminali II etapi (Joonis 30) ehituseks. Rohelisega on tähistatud töös olevad kaks elektrifitseeritud 1520 mm rööbasteed. Punasega tähistatakse likvideeritavat 1520 mm rööbasteed. Helesinise värviga näidatakse varasemas etapis rajatud uut 1520 mm rööbasteed. Violetsed teed on olemasolevad liiklusele suletud 1520 mm raudteed.



Joonis 29. Ehitusetapp 5

Ühisterminali ehitus jaguneb kolmeks etapiks (Joonis 30). I etapis toimub terminali osa ehitus 1520 mm raudtee alal. II etapis ehitatakse terminali 1435 mm raudtee alal. III etapis ehitatakse välja terminali ülejäänud konstruktsioonid. 1520 rööbasteede liikluskorralduse ja ehituse etapid 1-5 teostatakse terminali I etapis. Terminali II ja III etapp ei kuulunud AllSpark OÜ projekti mahtu.



Joonis 30. Ühisterminali ehituse etapid

Kõik tööd peavad olema planeeritud enne tööde teostamist tagamaks ohutust. Töö teostajad peavad olema juhendatud ja pädevad. Tööde planeerimise plaanid peavad olema koostatud vastavalt kehtivatele õigusaktidele, kus on muuhulgas ära näidatud töö tehnoloogia, kasutatav tehnika, ohutuse- ja keskkonnakaitselised aspektid. Tööde teostamisel tuleb arvestada, et töid teostatakse toimiva raudteerajatises või vahetus läheduses. Seetõttu tuleb kõik tööd enne nende algust kooskõlastada raudteetaristu haldajaga, rongiliikluse muudatuse soovidest tuleb vähemalt 90 päeva ette teada anda.

Tööde teostamisel järgida järgmisi tööohutusalaseid norme:

- raudtee elektrifitseeritud liinidel töötavate töötajate ohutuseeskiri;
- elektripaigaldise käidu ohutusjuhend.

KV ehitustööd tuleb muus osas teha vastavuses üldistele ehitust käsitlevatele tööohutusalastele normidele

4.9. Kooskõlastamine

Samuti tuli põhiprojekti staadiumis tellijapoolseid täpsustusi, mille alusel pidime muudatusi tegema. Põhiprojekti kooskõlastuse tulemusena väljastati ehitusluba.

KOKKUVÕTE

Rail Baltica projekt loodi ühendamaks Eesti, Läti ja Leedu ühise 1435 mm rööpmelaiusega raudteetaristuga. Projekti kliimaeesmärk on süsinikdioksiidi vähendamine transpordisektoris, tuues maantee- ja laevaliiklust elektrifitseeritud raudteele. Ülemiste jaama kontaktvõrgu projekt on suure osatähtsusega sõlmpunkt Rail Baltica projektis.

Töö eesmärgiks oli käsitleda raudtee kontaktvõrgu eel- ja põhiprojekti koostamist Ülemiste jaama rekonstrueerimise näitel. Olemasoleva jaama territooriumile tuli mahutada Eesti Raudtee 1520 mm ja Rail Baltica 1435 mm rööpmelaiusega raudteetaristu, säilitades ehituse ajal liiklus kahel peateel. Töö lisatulemiks on raudtee kontaktvõrgu projekteerimise tegevusjuhend ettevõttesiseseks kasutamiseks järgmiste kontaktvõrgutööde teostamisel.

Töös lahendati eelprojekti mahus kahe eripingelise, s.t 3 kV DC ja 25 kV AC raudtee kontaktvõrgu toite sektioneerimise skeem, asendiplaan ja koostati materjalide hinnanguline mahutabel 1520 mm osas. Autor teostas projektlahenduse vastavalt tellijapoolsetele nõuetele ja tehnilistele tingimustele. Lahenduse kirjeldamisel on järgitud lõputöö osana koostatud raudtee kontaktvõrgu projekteerimise tegevusjuhendit.

Põhiprojekti etapis kirjeldati Eesti Raudtee 1520 mm raudtee asendiplaani ning projekteeritud konstruktsioonide valikut koos selgitustega. Asendiplaanil määrati kontaktliini looklemine ja mahutabeli spetsifikatsiooni lisati juurde erinevaid kontaktvõrgu elemente. Suurt rõhku pandi 3D-modelleerimisele ja BIM-strateegia rakendamisele, sest taoline projekt oli esmakordne nii ettevõttes kui ka terves valdkonnas Eestis.

Lõputöös koostatud kontaktvõrgu eel- ja põhiprojektis toodi lahenduskäigule juurde teoreetiline selgitav osa koos piltide ja skeemidega.

Lõputöö autor omandas töö käigus suurel määral eripingeliste kontaktvõrkude projekteerimise teadmisi ning andis kogemuse suuremahulise projektlahenduse läbitöötamisel eskiisist põhiprojektini. Antud projektid kooskõlastati tellija poolt ning nende põhjal kuulutati välja ehitushanked.

SUMMARY

The Rail Baltica project was created to connect Estonia, Latvia and Lithuania with a common 1435 mm gauge railway infrastructure. The climate objective of the project is to reduce carbon dioxide in the transport sector by bringing road and ship traffic to electrified railways. The Ülemiste station catenary design is a major hub in the Rail Baltica project.

The aim of the thesis was to discuss the preparation of the preliminary and master design of the railway catenary using the example of the reconstruction of the Ülemiste station. The territory of the existing station had to accommodate the railway infrastructure of Estonian Railways 1520 mm and Rail Baltica 1435 mm gauge, maintaining traffic on two main roads during construction. An additional result of the work is a railway catenary design code of practice for internal use in the following catenary works.

In the scope of the preliminary design, the catenary sectioning scheme of the two special voltage 3 kV DC and 25 kV AC, railway 1520 mm catenary layout plan, and the bill of quantities table were prepared. The author implemented the project solution according to the client's requirements and technical conditions. When describing the solution, the operating manual for railway catenary design prepared as part of the thesis has been followed.

At the stage of the master design, the layout plan of the Estonian Railways 1520 mm railway and the selection of designed constructions were described with explanations. Catenary meandering was specified on the layout plan and various catenary elements were added to the bill of quantities table. Great emphasis was placed on 3D modeling and the implementation of the BIM strategy, because such a project was the first of its kind in the company and in the entire field in Estonia.

In the preliminary and master design of the catenary prepared in the final thesis, a part explaining the theoretical side with pictures and diagrams was added to the solution process.

The author of the thesis gained a great deal of knowledge of special voltage catenary design during the work and gave experience in the development of a large-scale project solution from a sketch to the main project. The given projects were coordinated by the customer and construction tenders were announced based on them.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, "Avaliku raudteeinfrastruktuuri arendamist suunav tegevuskava aastateks 2021-2028," 2022. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/329012022003>. [Accessed 27. veebruar, 2023].
- [2] Vabariigi Valitsus, "Eesti 2035 tegevuskava," 2022. [Online]. Available: <https://valitsus.ee/strateegia-eeesti-2035-arengukavad-ja-planeering/strateegia/materjalid>. [Accessed 27. veebruar, 2023].
- [3] Rail Baltic Estonia OÜ, "Rail Baltic Estonia koduleht," [Online]. Available: <https://www.rbestonia.ee/>. [Accessed 15 märts, 2023].
- [4] S. Östlund, Electric Railway Traction, Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2012.
- [5] Wikimedia Commons, "Europe rail electrification," 2022. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe_rail_electrification.png. [Accessed 15 märts, 2023].
- [6] Independent Regulators Group - Rail, "Tenth Annual Market Monitoring Report," 2022. [Online]. Available: <https://www.irg-rail.eu/irg/documents/market-monitoring/363,2022.html>. [Accessed 16. märts, 2023].
- [7] Eesti Liinirongid AS, "Eesti raudtee elektrifitseerimise ajalugu," [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20160702165844/http://elron.ee/elron/ajalugu/>. [Accessed 6 aprill, 2023].
- [8] Ühinenud Ajakirjad OÜ, "Elektrimotoorvagun M2," Tehnikamaailm, 2016. [Online]. Available: https://tehnikamaailm.ee/sites/default/files/088-091_elektrirongid.pdf. [Accessed 21 märts 2023].
- [9] Eesti Raudteelaste Liit MTÜ, "Raudteed Eestis," [Online]. Available: https://raudteelasteliit.ee/evr_areng_est.html. [Accessed 22 märts, 2023].
- [10] Postimees Grupp AS, "Valga ja Koidula rongiliinide elektrifitseerimise tühistamine," Postimees, [Online]. Available: <https://majandus.postimees.ee/7600493/valitsus-loobus-valga-ja-koidula-rongiliinide-elektrifitseerimisest>. [Accessed 5 mai, 2023].
- [11] Eesti Liinirongid AS, "Uute elektrirongide hanke tulemus," [Online]. Available: <https://elron.ee/elronist/uudised/uued-rongid-ehitab-skoda>. [Accessed 9. mai, 2023].

- [12] Eesti Raudtee AS, "Electrification of Estonian Railways 2020-2028," 2020. [Online]. Available: <https://www.evr.ee/files/Electrification-of-Estonian-Railways-2020-2028.pdf>. [Accessed 3. mai, 2023].
- [13] Rail Baltic Rail AS, "Rail Baltica projekti tutvustus," [Online]. Available: <https://pol.parnumaa.ee/content/editor/files/Aivar%20Jaeski,%20Rail%20Baltic.pdf>. [Accessed 19 aprill, 2023].
- [14] Eesti Rahvusringhääling, "Rail Baltica eeldatav maksumus 2022," [Online]. Available: <https://www.err.ee/1608832531/rail-balticu-eeldatav-maksumus-on-tousnud-1-8-miljardi-euroni>. [Accessed 3 mai, 2023].
- [15] Postimees Grupp AS, "Rail Baltica valmimine lõkkub aastaks 2030," Postimees, [Online]. Available: <https://majandus.postimees.ee/7347160/rail-balticu-valmimine-lukkub-kumnendiloppu>. [Accessed 3 mai, 2023].
- [16] Railsystem, "Kontaktvõrgu sektsioonide vaheline isolaator," [Online]. Available: <https://railsystem.net/catenary-section-insulators/>. [Accessed 11 märts, 2023].
- [17] Reaalprojekt OÜ, "Ülemiste jaama visualiseering," [Online]. Available: <https://www.reaalprojekt.ee/blog/ulemiste-raudteefrastruktuuri-rekonstrueerimise-projekteerimine/>. [Accessed 18 märts, 2023].
- [18] NBS, "Uniclass tähendus," [Online]. Available: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-uniclass>. [Accessed 17 aprill 2023].
- [19] Trimble Construction, "BIM tähendus," [Online]. Available: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-bim-building-information-modeling>. [Accessed 19 märts, 2023].

LISAD

Lisa 1. Väljavõtted Eesti Raudtee AS tehnilistest tingimustest

Lisa 2. Väljavõtted Rail Baltic Estonia OÜ tehnilistest tingimustest

Lisa 3. Raudtee kontaktvõrgu projekteerimise tegevusjuhend

Lisa 4. Kontaktvõrku selgitav asendiplaani 1. leht

Lisa 5. Eelprojekti staadiumis 1520 mm kontaktvõrgu asendiplaani 1. leht

Lisa 6. Eskiisstaadiumis 1435 mm kontaktvõrgu asendiplaani 1. leht

Lisa 1. Väljavõtted Eesti Raudtee AS tehnilistest tingimustest

Rail Baltica Ülemiste infrastruktuuri projekteerimine

4. Kontaktvõrk

- 4.1 Kontaktvõrgu lõplik lahendus tuleb projekteerida vastavuses EVR-iga kooskõlastatud põhiprojekti detailsuses rööbasteede lahendusega.
- 4.2 Rööbasteede põhiplaani on 1520 rööbastee ümberehituse põhiprojekti kajastuvad kontaktvõrguga 1520 rööbasteed tähistatud punasena. Seoses rööbasteede lahenduse olulise muutmisega ühisterminali piirkonnas on vajalik rajada kontaktvõrk ka rööbasteede ehitusmahtudest väljajäävale alale: siire 131/133.
- 4.3 Kontaktvõrgu tugiosad kogu põhiprojekti ala ulatuses tuleb projekteerida sellistesse asukohtadesse, et projekteeritavate tugiosade asukohti ei ole vaja muuta, kui pärast RB-ga seotud Ülemiste 1520 taristu ümberehitust EVR poolt teostatakse Rööbasteede põhiplaani punase punktiirjoonega näidatud suundade elektrifitseerimine.
- 4.4 Kontaktvõrgu tehniline lahendus peab olema sarnane (või ühine) Ülemiste terminali piirkonnas ja 1520 Ülemiste-Lagedi lõigul.
- 4.5 Projektlahendus (eelkõige väljaspool rööbasteid jäävate alade kasutus) peab võimaldama edaspidi Ülemiste raudteejaama kõikide 1520 rööbasteede elektrifitseerimist (eelkõige kandekonstruktsioonide paigutamist).
- 4.6 Projektlahendus peab ehitusperioodi erinevatel etappidel võimaldama kontaktvõrgu kasutamise kahel läbival, ooteplatvormidega rööbasteel kogu Ülemiste raudteejaama ulatuses. Kui uue lahenduse kontaktvõrgu lõplikke tugiosi ei ole mistahes ehitusetapil kasutusel olevate rööbasteede tõttu võimalik koheselt rajada, peab põhiprojekt sisaldama kontaktvõrgu ajutisi kandekonstruktsioonide lahendusi, mis rajatakse enne praeguste konstruktsioonide demonteerimist ja mis on kasutusel kuni kontaktvõrgu kandekonstruktsioonide lõplike lahenduste valmimiseni. Ka kontaktvõrgu ajutistes lahendustes peavad olema vajalikud lahkülitid ja isoleerpiirkonnad, et kogu ehitusperioodil tagada Tallinn-Ülemiste ja Ülemiste-Lagedi jaamavahede mõlemal peateel elektrirongide liikumine.
- 4.7 Kontaktvõrgu lahkülitite asukohad peavad tagama võimaluse, et jaama ühe peatee kontaktvõrgu välja lülitamisel on samaaegselt võimalik tagada elektrirongide liikumisvõimalus ooteplatvormide juurest Ülemiste jaamaga piirnevate jaamavahede mõlemale peatele. Rööbasteede põhiplaani on vajalike lahkülitite ja katkestuskohtade orienteeruvad asukohad tähistatud.
- 4.8 Kontaktvõrgu lahkülitid peavad olema kaugjuhitavad.

- 4.9 Arvestada standardi EVS-EN 50119 ja Euroopa Liidu Komisjoni määruse (EL) nr 1301/2014 (COMMISSION REGULATION (EU) No 1301/2014 of 18 November 2014) nõuetega.
- 4.10 Kontaktvõrgu ümberehitamise põhiprojekti lahenduses kasutada kontaktvõrgu isolaatoreid pingele 25kV AC.
- 4.11 3kV kontaktvõrgu ümberprojekteeritavate konstruktsioonide elemendid (nii kandekonstruktsioonid kui ka pingelused osad) peavad olema eraldatud tulevikus projekteeritava Rail Baltic 1435 kontaktvõrgu konstruktsioonidest (arvestada 1435 tulevaste vajadustega). Arvestada standardist EVS-EN 50122-3:2010 tulenevate nõuetega (Raudteelased rakendused. Kohtkindlad paigaldised. Elektriõhus, maandamine ja tagasivooluahel. Osa 3: Alalis- ja vahelduvvoolu veosüsteemide vastastikune mõjutus). Põhiprojekti mahtudes peab olema alalis- ja vahelduvvoolu veosüsteemide vastastikuse mõjutuse (sh liiklusjuhtimissüsteemile) analüüs.
- 4.12 Kontaktvõrgu seadmete kaitse- ja töömaanduselektrijuhtmed ühendada veovoolu juhtiva rööpaga vastavalt kehtivatele normidele ja sõltuvalt voolu tüübist (vahelduvvool või alalisvool).
- 4.13 Ülejäänud tingimused kontaktvõrgu projekteerimiseks on toodud Lisas 2 „Nõuded kontaktvõrgu projekteerimisele“.

Lisa 2 „Nõuded kontaktvõrgule“

1.1 Üldnõuded

Kontaktvõrgu projekteerimisel arvestada kliimaatiliste tingimustega:

- välisõhu temperatuuri absoluutne maksimum : + 40°C;
- välisõhu temperatuuri absoluutne miinimum : - 40°C;
- maksimaalne tuule kiirus võimalik üks kord 10 aasta jooksul on sisemaal kuni 25 m/s, rannikul (5–15 km merest) kuni 32 m/s;
- maksimaalne arvutuslik jäitekihi paksus üks kord 10 aasta jooksul on 10 mm;
- maksimaalse jäitepaksuse puhul esinevaks arvutuslikuks temperatuuriks on võetud 0°C ja tuule kiiruseks 5 m/s (surve 17 N/m²). Läänerannikul kontrollida mastid jäitega tuule kiirusele 10 m/s (surve ~70 N/m²);
- päikesekiirguse ekvivalent 600W/m²;
- suhteline niiskus kuni 85%.

1.2 Tehnilised nõuded

Kontaktvõrgu projekteerimist ja ehitamist tuleb teostada arvestades kehtestatud nõudeid, mis esitatakse elektrifitseeritud raudteede järgnevatele elektrivarustuse seadmetele:

- 1) kuni 160 km/h liikluskiiirusega raudteeliinide alalisvooluga kontaktvõrguseadmed;
- 2) rööpmelaius 1520 (1524) mm;
- 3) alalisvoolu kontaktvõrgu nimipinge 3000 V;
- 4) kontaktvõrgu riputussüsteem: täiskompenseeritud;
- 5) kandetross vasest ristlõikega 120mm² (M-120);
- 6) kontaktvõrgu juhtmete kõrgus: 6300 mm rööpapeast nimipingutuse puhul;
- 7) kontaktvõrgu vundamentide paigalduskõrgus: 250 mm alla rööpapeast (v.a. erijuhtumid);
- 8) kontaktvõrgu riputuse konstruktiivne kõrgus: 1,3-1,5 m;
- 9) maksimaalne visangu pikkus: määratakse arvutusega, kuid mitte rohkem kui 70 m;
- 10) ankrulõigu maksimaalne pikkus: 1600 m;
- 11) kontaktvõrgu mastid: metallsõrestikmastid;
- 12) kontaktvõrgu metalltoed vastavalt projekteeritud koormusele, tsingitud;
- 13) sõrestikpõiktalad: kuumtsingitud, fiksaatori toega, mitte alumise fikseeriva trossiga juhul kui see ei ole põhjendatud ja kooskõlastatud tellijaga;
- 14) maandus: individuaalne, sädevahemikuga (pingepiirikuga), tsingitud traadiga (diam. 10-12mm), traat peab olema isoleeritud pinnasest polümeertoruga;
- 15) kontaktliini piksekaitseks kasutada pingepiirikud või sarvlahendid kahekordse vahemikuga;
- 16) kontaktvõrgu mastidele numeratsiooni, ohumärkude ja muu märkide paigaldamine (nt isoleerankruvahemiku puhul).

Kontaktvõrgu osade tootmine peab toimuma vastavalt tootja kvaliteedikontrollile, mis tagab usalduse valmistoote nõuetekohasuse suhtes.

Kvaliteedi kontrollisüsteem peab tagama kontaktvõrgu vastavuse käesolevas tehnilises kirjelduses esitatud nõuetele.

1.3 Kontaktriputus

Vooluvõtturiga koos toimiv kontaktriputussüsteem peab tagama katkematu vooluvõtu rongide liikumisel kehtestatud kiirustel, kaalunormidega, liiklussagedustega ja piirkonna arvestuslikes kliimatingimustes kontaktjuhtmete ja vooluvõtturi jalase kontaktplaatide optimaalse kulumismäära juures.

Kontaktriputuse tüüp ja ristlõige jaamades ning jaamavahedes valitakse sõltuvalt rongide liikluskiiirusest, koormusvooludest (voolukoormusest), ilmastiku ja teistest kohalikest tingimustest. Seejuures võetakse arvesse perspektiivset võimaliku rongide liikluskiiiruse ja liiklussageduse kasvu.

Kontaktvõrk peab kindlustama tõrgeteta töö punktis 1.1 toodud kliimatilistes tingimustes.

Kontaktriputussüsteem ei tohi võimaldada kontaktjuhtmete ülessurumist vooluvõtturite poolt enam kui 250 mm tuule ja temperatuuri maksimaalse arvutusliku suuruse juures, samuti elektriveeremi vooluvõtturite summaarse surve puhul.

Kontaktriputussüsteemi juhtmete arv ja ristlõige määratakse arvutustega. Mitmekiuliste juhtmete mark (materjal) valitakse sõltuvalt keskkonna saastatusest, kus on kavas nimetatud juhtmeid kasutada.

Kontaktvõrgu ehitamisel ei ole terastrosside kasutamine lubatud, välja arvatud kompensaatorite kaalutrossid. Terastrassid peavad olema roostevabaterasest.

1.4 Gabariidid

Kontaktjuhtme minimaalne riputuskõrgus peab jaamavahedes ja jaamades olema vähemalt 5750 mm ja ülesõidukohtades vähemalt 6000 mm arvestades rööpapea ülemise osa tasapinnast.

Erandjuhtudel võib nimetatud kõrgust vähendada kuni 5550 mm raudteeinfrastruktuuriettevõtja loal jaamateedel paiknevate tehnoehitiste piirides, kus pole ette nähtud veeremi seisukohta, ning samuti jaamavahedes.

Kontaktjuhtme riputuskõrgus ei tohi ületada 6800 mm.

Kontaktjuhtme riputuskõrgus peab olema 6300 mm jaamades ja jaamavahedes.

Lisa 2. Väljavõtted Rail Baltic Estonia OÜ tehnilistest tingimustest

Töö Projekterimisteenuste osa ETAPP 2. Eelprojekt

4.2.1 Projekterija projekterib antud etapis kõik ehitised eelprojekti tasemel.

4.2.2. Projekterimisprotsessi esimene oluline tulem on eelprojekt. Eelprojekt sisaldab kõiki projekti tehnilisi osi ja koosneb tehnilisest kirjeldusest, joonistest, arvutustest ja kululoendist. Projektilahendused töötatakse välja sellisel tasemel, et Tellijal on võimalik ehituseelarvet analüüsida ja ehitustööd hankida. Eelprojekti eesmärgiks on selgitada välja ja tagada Tellijale ja Töövõtjale lõpptulemusele lähedane tulemus, et erakorraliste asjaolude mitteilmnemisel ei ole pärast eelprojekti kinnitamist põhiprojektis suuri muudatusi oodata.

4.2.3. Eelprojekti tehnilised nõuded on järgmised:

1. Koostada Ülemiste raudteeinfrastruktuuri lõigu rekonstrueerimise kohta tehnilised lahendused, kaasa arvatud tüüpjoonised raudteeliini ja asjakohaste ristlõigete osas (kaasa arvatud elektrifitseerimis-, juhtimis-, käsklus- ja signalisatsiooni (CCS) ja kommunikatsioonisüsteemide, peatuste, lumepuhastussüsteemide) jaamade ja tsiviilehitiste – teede ülesõidukohad, truubid, jalakäijate ülekäigukohad, hooldusteede jne ülesõidukohad, maastikukujundus, müraleevendusmeetmed, piirded jne – kohta.
2. Kõik vajalikud uuringud peavad olema lõpetatud ja vastu võetud Tellija poolt.
3. Kõik olemasolevad tehnovõrgud ja nende ühendused tuleb märkida projekti koos iga konkreetse kommunaalteenuse/tehnovõrgu omanikuga.
4. Koostada eelprojektile vastava detailsusega üksikasjalikud tehnilised joonised – üldised, kuid piisavalt täpsed, et põhidetailid ja põhinõuded oleksid edasises projekterimistööde protsessis täpse detailsuse tagamiseks selged.
5. Projekterida väljapakutud ülesõidu-/ülekäigukohtade plaanid ja pikiprofiilid detailsusega, mis tagab projektide ja tööde kalkuleerimiseks piisavad sisendandmed.
6. Näidata Tellija sisendteabe põhjal ära toitealajaamade asukohad.
7. Koostada nõutava töömahtude loetelu põhjal infrastruktuurielementide, tööliikide ja raudteelõikude üksikasjaliku jaotusega kululoend.

8. Koostada raudtee ja seotud ehitiste jaoks vajaliku kinnisvara ja maatükkide lõplik nimekiri koos piiridega. Iga maatüki kohta tuleb koostada joonis, mis näitab ära maatüki praegused piirid, vajaliku maa omandamise osa ja pindala, mis vastab kohaliku omavalituse maa jagamise ja maatüki ülejäänud osadele ligipääsu tagamise reeglitele. Krundijaotuskava joonised peavad 1435 mm ja 1520 mm puhul olema eraldi. Tehnovõrkude puhul servituudid.

9. Koostada raudteejaama tehnilised lahendused, kaasa arvatud:

- raudteejaama rööbastee skemaatiline asendiplaan koos põhi- ja külgrööbasteede, jaamaalade, möödaskõigustite, ülesõitudega jne;
- raudteejaama asendiplaan (horisontaalne joondamine) (mõõtkava 1:1000) kaasajastatud geoalusel koos seotud kraavide, teede, kommunaalteenuste ja muude ehitiste/hoonete asukohtade ja planeeritud rööbasteedega;
- raudteejaama pikisuunalised profiilid (vertikaalne joondamine) (vertikaalne mõõtkava 1:200, horisontaalne mõõtkava 1:5000) koos raudteejaama asendiplaaniga (mõõtkava 1:5000) ortofotol ja kaasajastatud geoalusel, kraavide ning geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste andmetega;
- ristlõiked (mõõtkava 1:100), sealhulgas pealisehitus, aluskonstruksioon, maatüki piirid, drenaažikonstruktsioonid, kraavid, kaablid, torud jne ning geoloogilised ja hüdrogeoloogilised andmed;
- lubatud arvestusliku kiiruse skeem vastavalt joondamisparameetritele;
- raudtee tsiviilehituse osa: sillad õhuliinimastide ja kaablikanalite, ülesõidu-/ülekaigukohtadega, millel on toodud ülevaateplaan, ristlõiked ja kõrgus ning tähistatud vahemike pikkus, kasutatavad materjalid ja kandekonstruktsioonide mõõtmed;
- truupide, põhjavee, drenaaži- ja sademeevee juhtimissüsteemid;
- reisiplatvormid;
- teede ja jalakäijate eraldatud klassi ülesõidu-/ülekaigukohad;
- müra tõkked ja muud müra ja vibratsiooni vähendamiseks mõeldud tehnilised lahendused;
- kaabeldus raudteejaamas;
- juurdepääsu- ja hooldusteed raudteejaamas;
- side- ja kommunaalteenuste võrgud, sealhulgas ülesõidukohad, kohalikud teed, riigimaanteed ja muu mõjutatav infrastruktuur;
- ajutised lahendused ehitustööde läbiviimiseks sh. raudtee side ja turvangersüsteemide lahendamine ja kontakvõrgu lahendamine 1520 osas arvestades 1435 rööpmelaiusega infrastruktuuri hilisemat rajamist.
- Ülemiste autode pealelaadimisjaama ühendus 1435 mm raudteedega;
- mistahes muud täiendavad joonised ja dokumendid kooskõlas riigis kehtiva seadusandlusega.

10. Töövõtja esitab nimekirja tekstilistest ja graafilistest dokumentidest nagu joonised, kavandid, plaanid, skeemid, diagrammid jne ning pakub välja alusprojekti tarbeks nende täpse vormingu, et määratleda graafiliste dokumentide ulatus ja minimaalne detailsus. Välja võib pakkuda alternatiivsed

mõõtkavad. Töövõtja korrigeerib/parandab/täiendab nimekirja ja/või minimaalset detailsust ja hangib sellele Tellija heakskiidu. Töövõtja esitab mistahes täiendavad graafilised materjalid/dokumendid või muu teabe, kui see on heakskiitu andvate ametiasutuste mõistlike nõuete kohaselt vajalik.

11. Sisaldab kogumit kõikidest saadud tehnilistest tingimustest ja neid väljastanud mõjutatavate poolte antud esialgsetest kooskõlastustest.

12. Eelprojekti BIM ja TA on kirjeldatud BIMi tööandja teabenõuetes.

13. Kõikide elektri-, õhuliini-, signalisatsiooni- ERTMS-mastide ja -kaablite asendiplaan projekteeritakse eskiisi ehk põhimõtteliste lahenduste tasemel kooskõlas üksikasjaliku BIMi strateegia ja projekteerimisjuhistega. 1435 mm ja 1520 mm lahendused peavad olema eraldi. Projekt ei sisalda tegelike süsteemide projekteerimist. Kõik õhuliinisüsteemi koormused arvutatakse ja integreeritakse mulde, sildade, tunnelite, viaduktide ja platvormide koormusarvutustesse.

14. Kõik kondensaatorikohtade ning kontakt- ja signaalkaablite paigutused koos reisijate infosüsteemi võimalustega (ilma süsteemideta) kohalike reisijate peatuste, lumepuhastussüsteemidega peavad olema projekteeritud eskiisi ehk põhimõtteliste lahenduste tasemel (määratakse maatükkide piirid) vastavalt üksikasjalikule BIM-strateegiale.

15. Ehitusmaksuste kalkulatsioon (tööde maksumuste kalkulatsioon/kululoend) peab olema toodud 90% täpsuses põhiprojekti kalukulatsioonist.

16. Eelprojekti etapis tuleb esitada krundijaotuskavad, mis täpsustuvad põhiprojekti käigus.

17. Töövõtja kasutab töömahtude loetelu esitamiseks kõikide elementide ja varade klassifitseerimissüsteemi. Klassifitseerimissüsteemi nõudeid kirjeldatakse projekteerimisjuhistes „Ehitusinfo haldamise (BIM) tööandja teabenõuded“.

18. Töömahtude loetelu tuleb esitada ÜAKle nõutud failivormingutes. Täiendavalt esitatakse kõik failid ka Exceli, Wordi ja PDFi vormingus.

19. Töövõtja väljastab töömahtude loetelu vastavalt iga riigi õigusaktide, seaduste, reeglite ja standardite nõuetele. Tellija saab teha töömahtude loetelu struktuurile jne ettepanekuid, et üldised põhimõtted läheksid kokku teiste Rail Baltic projekteeritavate lõikude töömahtude loeteludega.

4.3. Töö Projekteerimisteenuste osa ETAPP 3. Põhiprojekt

4.3.1. Projekteerija projekteerib antud etapis kõik ehitised põhiprojekti tasemel.

4.3.2. Projekteerija projekteerib põhiprojekti tööd kooskõlas ülalkirjeldatud Eesti seadusandlusel põhinevate tehniliste nõuetega ja üksikasjalikus BIMi strateegias kirjeldatud BIMi nõuete tasemel.

4.3.3. Töövõtja koostab põhiprojekti osana kõikidele projektiobjektidele hooldusjuhendid.

4.3.4. Kõiki materjale ja tooteid kirjeldatakse tehniliste nõuete ja tehniliste omaduste kaudu.

4.3.5. Töövõtja koostab ehitustehnoloogia, logistika ja töökorralduse kava.

Lisa 3. Raudtee kontaktvõrgu projekteerimise tegevusjuhend

Eestis on hetkel vastava ala inseneridest suur nappus ja otsest koolitust sel teemal ei viida läbi. Seetõttu käesoleva töö üheks eesmärgiks on koostada ülevaade raudteede elektrifitseerimise metoodikast, mida saaks kasutada uute spetsialistidele koolitusmaterjali sissejuhatava osana.

1. Lähteandmed

Lähteandmed jagunevad:

- elektrifitseeritava raudtee täpne mõõdistus või uue raudtee korral selle projekt. Kontaktvõrgu projekteerimine lähtub raudtee teljest, mis koosneb sirgetest ja kurvidest;
- elektrilised parameetrid;
- kliimaatilised tingimused;
- rongide sõidugraafikud ja kiirused;
- planeeritavate rongide võimsused.

2. Toiteskeemi koostamine

Toiteskeemi koostamine jaguneb:

- toitealajaamade puudumisel nende asukohtade määramine;
- olemasolevate veoalajaamade korral sealse toite piisavuse kontroll ja seadmete ning pingeklasside vastavuse kontroll lähteülesande suhtes;
- kontaktvõrgu elektrilise skeemi koostamine;
- elektrilised arvutused, juhtme ristlõike ja tugevdusliinide valik;
- lahutuskohdade määramine, seksioneerimine;
- maanduste ja tagasisivoolu projekteerimine.

3. Konstruktsioonilise osa koostamine asendiplaanile

3.1 Raudteelõikude määratlemine

Erinevate raudteelõikude määratleme erinevate konstruktsioonitüüpide määramiseks:

- jaamavahe - reeglina kasutatakse mõlemal pool teed seisvaid sõltumatuid kontaktvõrgu maste, mis on kerget tüüpi;
- jaam - võib olla palju hargnemisi ja kõrvalteid, kus igale konkreetsele kohale tuleb läheneda individuaalselt;
- kõrvalteed - elektrifitseerimiseks võidakse kasutada portaalitüüpi metallkonstruktsioone, millised ulatuvad üle kõigi elektrifitseeritavate teede ja kuhu kinnituvad kõikide teede kontaktliinid;

- pöörangud - mille jaoks on vaja tugevamaid maste, mis suudaks kanda mitut kontaktliini samaaegselt;
- siirded, mis vajavad erilist tähelepanu, kuna nende toiteliinid võivad sattuda erinevate toitesektsioonide vahele, mille tõttu sinna võidakse paigaldada sektsioonide vahelised isolaatorid.

Olemasoleva raudteetaristu korral on suur probleem kontaktvõrgu konstruktsioonidele vabade koridoride leidmine, uue raudtee korral tuleb see lahendada kohe projekteerimise algfaasis koostöös rööbastee projekteerijaga, mis tähendab eskiisristlõigete koostamist.

3.2 Ankrulõigud ja nende üleminekud

Ankrulõigud saavad olla maksimaalselt 1600 m pikkused, sõltuvalt kiirusest ja teeoludest ka lühemad. Üleminekud ühelt ankrulõigult teisele realiseeritakse üleminekuvisangus kahe paralleelse kontaktliiniga, kusjuures lahkuv liin tõuseb üles ja järgnevas visangutes suundub tee kõrvale ankrumasti ankrukinnitusse. Algav liin tuleb ankrukinnitusest üleminekuvisangusse ja laskub sel ajal töökõrgusele. Ankruviseangud võivad olla elektriliselt jäigalt kokku ühendatud, ehk šunteeritud või isoleeritud läbi lahklüliti. See sõltub väljatöötatud kontaktvõrgu piirkondlikust skeemist. Ankrulõikude lõppu kuuluvad pingutid/kompensaatoreid, mis hoiavad kontaktliini õigel pingsusel ja kõrgusel. Ankruviseangu lõppudesse kuuluvad vastavad lõpuankrumastid koos ankrute ja kompensaatoritega. Ankruviseangu keskele tuleb projekteerida keskkinnituspunkt, mis tagaks kontaktliini paigalpüsivuse rongi poolt tekitava tõukejõu suhtes. Ka keskpunkt tuleb mõlemas suuna ankrutega fikseerida.

3.3 Kontaktliinide arvu leidmine ühe ristlõike/konstruktsiooni kohta

Kontaktliinide eskiisplaani koostamine, leidmaks kontaktliinide arvu. Igal teel on alati oma kontaktliin.

Kontaktliin jaguneb:

- sirged lõigud;
- õhupöörangud;
- õhusiirded.

3.4 Mastide asukohtade määramine

Asukohtade määramine jaguneb:

- maksimaalne visangu pikkus sõltub tee tüübist ja kasutatavast kiirusest, kuid mitte üle 70 m;
- kurvides sõltub visangu pikkus kurvi raadiusest, peareegel on, et kontaktjuhe ei tohi tee teljest eemalduda rohkem kui 400 mm;
- 1520 mm rööpavahega (vene laiusega) teedel kehtival reeglil tohib kõrvalekalde teljest ulatuda 0-400 mm kurvi väliskülje poole.

3.5 Kontaktliini poolt tekitatavate jõudude määramine

Jõudude määramine jaguneb:

- eelnevalt peab olema määratud kontaktjuhtme, tugevdusjuhtme ja kandetrossi ristlõiked, millest oleneb otseselt juhtmete kaalust tingitud jõud;
- kontaktjuhtme koormus koosneb; raskusjõud, tuulekoormus, tee raadiusest tingitud suunamuudu jõud;
- kandetrossi poolt tekitatav jõud; raskusjõud, tuulekoormus, tee raadiusest tingitud suunamuudu jõud;
- kontaktjuhtmete ja kandetrossi pingutitest/kompensaatoritest lähtuv lisajõud;
- kliimatingimustest lähtuvalt tuleb arvestada ka jääte poolt tekkida võiva lisakoormusega.

3.6 Mastide valik

Vastavalt rööbasteede tüüpidele ja kontaktliinide arvule ja paiknemisele mastide valik:

- tavalised kandemastid ühe fiksaatorikonsooliga – ühele kontaktliinile;
- õhupöörangute mastid eri kontaktliinide konsoolidega (suuremad jõud) – kahele kontaktliinile;
- üle mitme tee ulatuvate portaalmastid, mis kannavad kõiki antud teede kohal olevaid kontaktliine.

4. Kontaktliini riputus- ja fiksaatorikonsoolide määramine

Kontaktjuhe fikseeritakse tee telje suhtes kindlale asukohale kontaktjuhtme fiksaatoriga, mis omakorda kinnitub mastile konsoolse kinnitusega. Konsooli kuju ja suurus sõltub masti kaugusest tee teljest, masti tüübist ja antud mastil vajalikust kontaktjuhtme kõrvalekalde suunast tee telje suhtes.

Põhimõtteliselt jagunevad konsoolsed fiksaatorid kaheks suuremaks tüübiks:

- tee telje suhtes masti poole tõmbavaks;
- tee telje suhtes mastist eemale suruvaks.

Siis lisanduvad alamjuhud nagu kontaktjuhet tõstvad, pöörangute konsoolid, kus võivad samaaegselt olla kasutusel nii tõmbavad, kui tõukavad fiksaatorid, tööst väljas oleva kontaktjuhtme lõigu kinnitused.

4.1 Kontaktliini siksak

Kontkliini siksakiks nimetatakse kontaktjuhtme pidevat asukoha vahetust tee telje suhtes, millega tagatakse vooluvõtturi ühtlane kulumine kontaktjuhtme pideva külgsuunalise liikumisega viimase suhtes. Selle teostamiseks fikseeritakse igas järgnevas mastis kontaktjuhe ± 300 mm tee telje suhtes, tekitades kontaktjuhtme nihkumise vooluvõtturi suhtes 600 mm visangu kohta. Keerulisemates üleminekuvisangutes võib nihe väheneda kuni 300 mm-ni, kuid kindlalt tuleb jälgida, et nihe oleks olemas.

4.2 Õhupöörangud

Kõige suuremat tähelepanu vajavad kontaktvõrgu osad on õhupöörangud, millede algne ebatäpne määramine võib viia kallite ümberehitusteni hilisemas ehituse faasis. Õhupöörangud peavad tagama vooluvõtturi sujuvat (löökideta ja sädemeteta) ülesõitu ühe tee kontaktjuhtmetelt teise tee kontaktjuhtmetele. Lihtpöörmel peab vahemaa õhupöörangut moodustavate kontaktjuhtmete ristumiskoha ja sirge või harutee telgede vahel olema 360–400 mm ja ristumine peab toimuma punktis, kus vahemaa riströöpa ühendusrööbaste peade sisekülgede vahel on 730–800 mm. Kõrval- ja ristuvate teede kontaktjuhtmetega kokkupuute tsoon elektriveeremi vooluvõtturi jalasega peab asuma 630–1100 mm kaugusel tee teljest.

4.3 Armatuur

Erinevad armatuurid:

- riputid - kontaktriputussüsteemi riputid peavad kinnitama kontaktjuhtmed kindlalt ja elastselt kandetrossi külge ja tagama kontaktjuhtmete pikisuunalise liikumise arvestuslike temperatuuri-muutuste korral;
- armatuur – kinnitused ja ühendused kontaktjuhtmete ja elektrivarustusliinide riputamiseks, fikseerimiseks, jätkuühenduste tegemiseks, ankurkinnituseks, juhtmete mehaaniliseks ja elektriliseks ühenduseks.

Lisa 4. Kontaktvõrku selgitav asendiplaani 1. leht

Kontaktvorgu_asendiplaan.pdf

Lisa 5. Eelprojekti staadiumis 1520 mm kontaktvõrgu asendiplaani 1. leht

RBDTD-EE-DS2-DPS1_ALL_OS02134-ZZ_ZZZZ_D1_OT-EL_PD_04100_Cat_Plan2.pdf

Lisa 6. Eskiisstaadiumis 1435 mm kontaktvõrgu asendiplaani 1. leht

RBDTD-EE-DS2-DPS1_ALL_OS02144-ZZ_ZZZZ_D1_OT-EL_CD_004100_CatPlan.pdf