Kaasrahastanud Euroopa Liit

Eesti tuleviku heaks

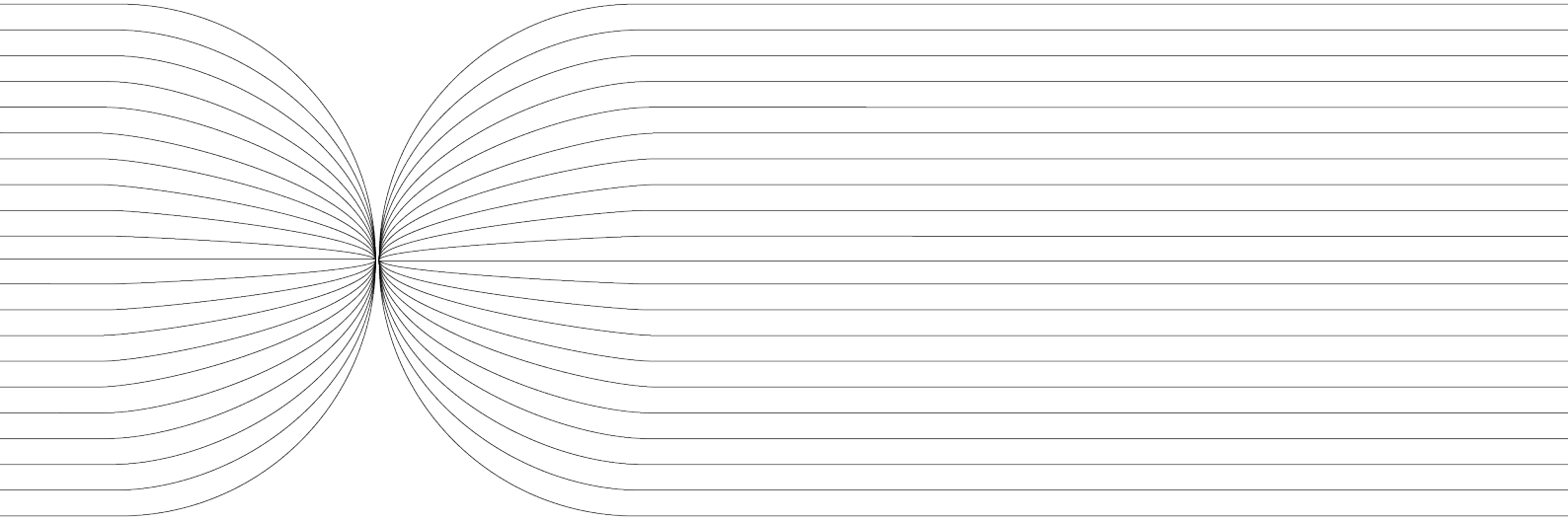
Tallinna dünaamilise liiklusjuhtimise eeluuring Vahearuanne

Tellija
Tallinna Liikuvusamet

Täitja
Civitta AS

Juuni 2026

civitta



Sisukord

Mõisted 10

Sissejuhatus 15

Hetkeolukorra kirjeldus 15

Eesmärk ja ulatus 15

Analüüsi läbiviimine ja metoodika 16

Mõisteline raamistik 17

Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide ülevaade 19

1 Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide ülevaade 20

1.1 Süsteemide kontekst ja põhinäitajad 20

1.2 Vastutus ja rollijaotused 22

Foorisüsteemi ja keskhaldusplatvormi arhitektuur 23

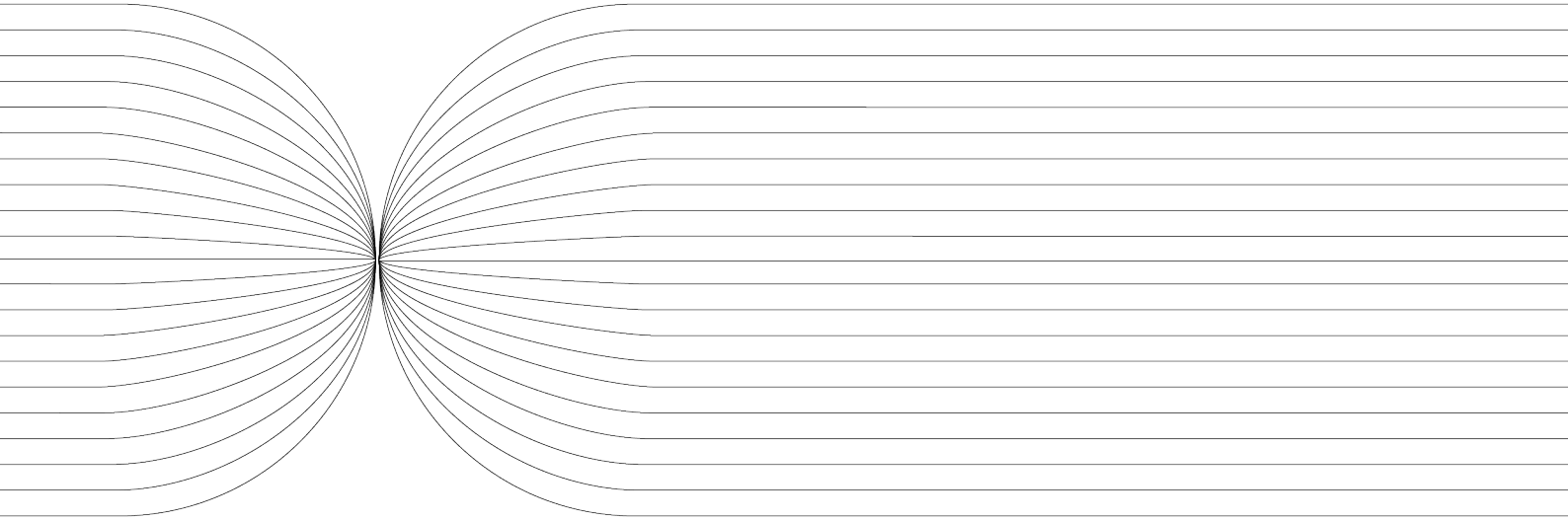
2 Foorisüsteemi ja keskhaldusplatvormi arhitektuuri analüüs 24

2.1 Foorivõrgu arhitektuur ja kasutatavad protokollid 24

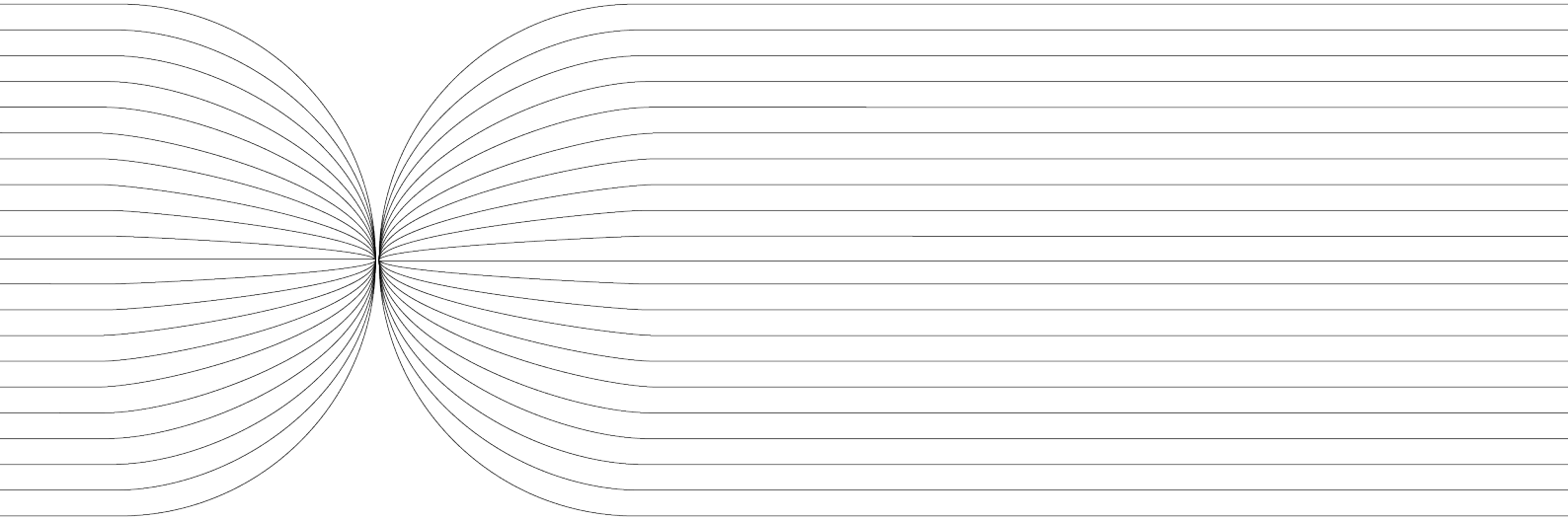
2.1.1 Foorikontrollerite koosseis ja põlvkonnad 24

2.1.2 Kontrolleri ja keskhalduse vaheline andmevoog ja protokollistik 25

2.1.3 Lokaalne I/O ja väliseadmete tasand 25



2.1.4 Side- ja võrguarhitektuur ning ajasünkroonsus 26
2.2 Keskhaldusplatvormi OMNIA roll 26
2.3 Nõudluspõhise fooriprogrammi toimimine 27
2.3.1 Ühistranspordi prioriteediahel....27
2.3.2 Teiste liiklejate nõudluse tuvastamine 28
2.3.3 Andmete vahetus, kogumine ja säilitamine....28
2.3.4 Kitsaskohad nõudluspõhise juhtimise jaoks....29
2.4 Fooriprogrammide muutmise protsess 29
2.5 Andmete tekke- ja liikumisteed foorisüsteemis....31
2.5.1 Häirete tuvastamise ja käsitlemise töövoog 31
2.6 Andmekvaliteedi hindamise metoodika ja statistika....32
2.6.1 OMNIA ja kontrollerite vigade statistika - tüüp, sagedus, maht....32
2.6.2 Vigade päritolu - kesktöötlus, kommunikatsioon, riistvara....34
2.6.3 Andmete usaldusväärsus - vigaste kirjete osakaal, puuduvad andmed, topeltkirjed 35
2.7 Foorisüsteemi ja keskhalduse kitsaskohtade koondvaade....36
Loendus- ja seiresüsteemide analüüs....40
3 Loendus- ja seiresüsteemide analüüs....41
3.1 Loendussüsteemi arhitektuur ja andmevoo katkestuskohad 41
3.1.1 ADEC-loendussüsteem....41
3.1.2 Liikluskaamerad ja kergliikluse loendus 42
3.2 Ühistranspordi andmekihi integreeritus 42



3.3 Loendussüsteemi andmekvaliteet 43
3.3.1 Loendusandurite vigade statistika - tüüp, sagedus, maht 43
3.3.2 Andmeanalüüsi metoodika ja valim 43
3.3.3 Valimi piirangud 43
3.3.4 Andmeallikate kaardistus seire.tallinn.ee süsteemis 44
3.3.5 Anduririkete ja andmelünkade tulemused 45
3.3.6 Vigade päritolu ja geograafiline katvus 46
3.3.7 Mõju liiklusanalüüsidele 46
3.3.8 Järeldused loendusandmete kasutatavuse kohta 47
3.4 Loendus- ja seiresüsteemide kitsaskohtade koondvaade 47

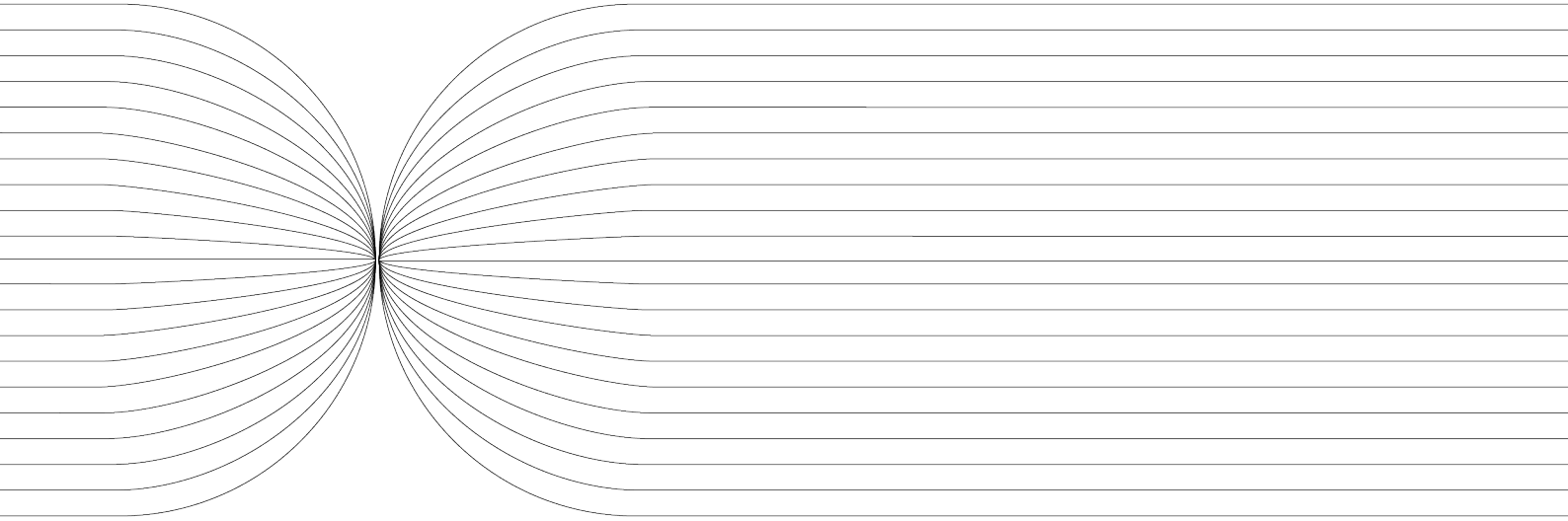
Modelleerimise integratsioon 50

4 Modelleerimissüsteemi ülesehitus 51
4.1 Andmete kvaliteedi mõju modelleerimisele 52
4.2 Liidestamisvõimalused olemasolevate modelleerimistarkvaradega 52
4.3 Integratsioonilahenduse tehnilised detailid 53
4.4 Andmevahetuse ulatus ja formaadid 53
4.5 Modelleerimise kitsaskohtade koondvaade 54

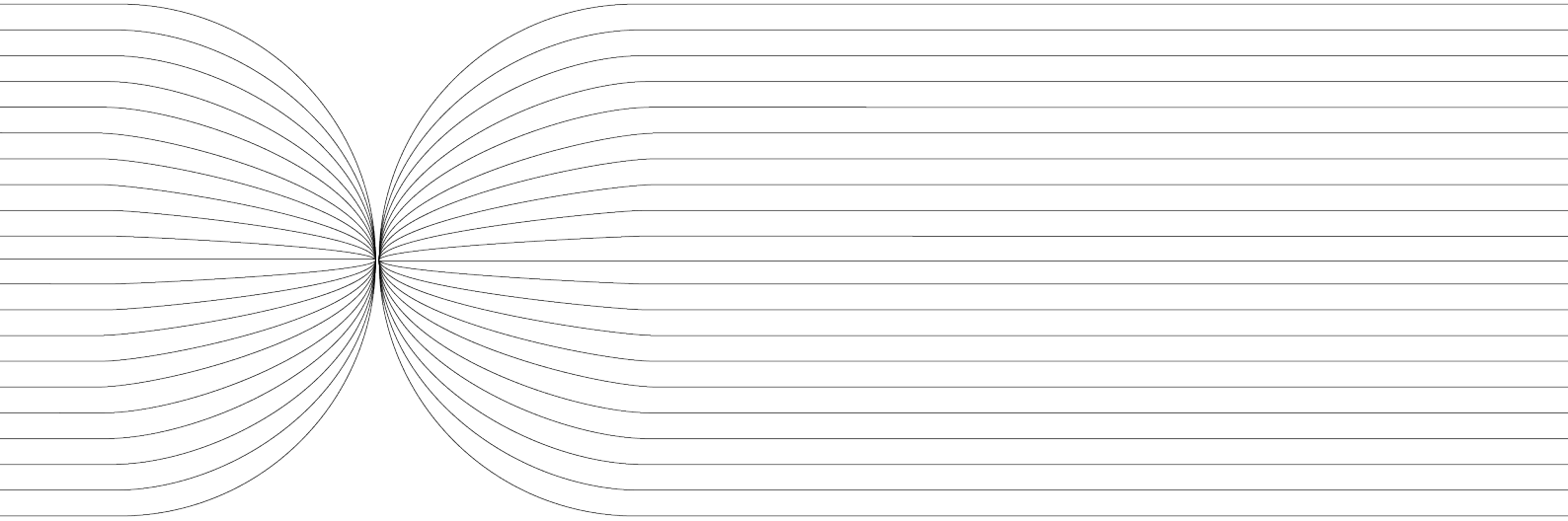
AS-IS süsteemide arhitektuur ja andmevood 56

5 Süsteemide koosmõju põhivaade 57
5.1 Andmevood ja protokollid 57
5.1.1 Foorivõrgu protokollid 57

5.1.2 Andmevoogude tabel 57
5.2 Arhitektuuri tervikskeem 63
5.3 Kitsaskohad arhitektuuril - paigutus ja kriitilisus 63
5.3.1 Puuduvad liidesed 63
5.3.2 Ajaviited 63
5.3.3 Manuaalsed sammud 63
5.3.4 Andmekvaliteedi probleemide tekkekohad 63
5.3.5 Katkestuskohad 63
Võrdluslinnade analüüs 64
6 Võrdluslinnade analüüs 65
6.1 Võrdluslinnade valik 65
6.1.1 Analüüsi ülesehitus 65
6.2 Vilnius 66
6.2.1 Linna üldandmed ja kontekst 66
6.2.2 Tarkvaralahendus ja süsteemi ülesehitus 66
6.2.3 Peamised funktsionaalsused 67
6.2.4 Protokollid, standardid ja integratsioonivõimalused 67
6.2.5 Skaleeritavus ja paindlikkus 68
6.2.6 Riistvaralahendus 68
6.2.7 Lahenduse tüüp ja hankestrateegia 69
6.2.8 Rakendamise kogemus 70



6.2.9 Saavutatud tulemused ja õppetunnid 71
6.2.10 Ühistranspordi prioriteet 71
6.2.11 Küberturvalisus ja keskkonnaseire 71
6.2.12 Peamised õppetunnid Tallinnale 72
6.3 Helsingi 72
6.3.1 Linna üldandmed ja kontekst 72
6.3.2 Tarkvaralahendus ja süsteemi ülesehitus 72
6.3.3 Juhtimisalgoritmid ja adaptiivse juhtimise tase 73
6.3.4 Riistvaralahendus 73
6.3.5 Lahenduse tüüp ja hankestrateegia 74
6.3.6 Rakendamise kogemus 75
6.3.7 Kliimatingimuste mõju ja varuolukorra loogika 75
6.3.8 Andmehaldus ja haldusmudel 75
6.3.9 Saavutatud tulemused ja õppetunnid 76
6.4 Kopenhaagen 77
6.4.1 Linna üldandmed ja kontekst 77
6.4.2 Tarkvaralahendus ja süsteemi ülesehitus 77
6.4.3 Riistvaralahendus 78
6.4.4 Lahenduse tüüp ja hankestrateegia 79
6.4.5 Rakendamise kogemus 79
6.4.6 Saavutatud tulemused ja õppetunnid 80
6.4.7 Peamised õppetunnid Tallinnale 80



6.5 Linnade koondvõrdlus....81

6.6 Järeldused ja Tallinnale ülekantavad õppetunnid....82

6.6.1 Tarnijastrateegia ja protokollivalik....82

6.6.2 Hanke ülesehitus ja lepingujuhtimine....82

6.6.3 Juurutamise tempo ja riskijuhtimine....82

6.6.4 Andmetaristu, ajasünkroonsus ja mõõdetavus....83

Kitsaskohad, takistused ning nende maandamismeetmed....84

7 Hetkeolukorra kitsaskohad ning maandamine....85

7.1 Reaalajas kohandumise takistused ja maandamismeetmed....85

7.2 Andmekvaliteedi kriitilised probleemid ja maandamismeetmed....85

7.3 Süsteemide koosvõime takistused, tehnilised lahendused ja maandamismeetmed 86

7.4 Masinloetavuse piirangud, nõutavad tehnilised täiendused ja rakendamise riskid..87

7.5 Organisatsioonilised takistused ning ettepanekud lahendamiseks....87

7.6 Takistuste prioriseerimine ja maandamisstrateegia....88

8 Projektijuhtimise ülevaade ja järgmised sammud....90

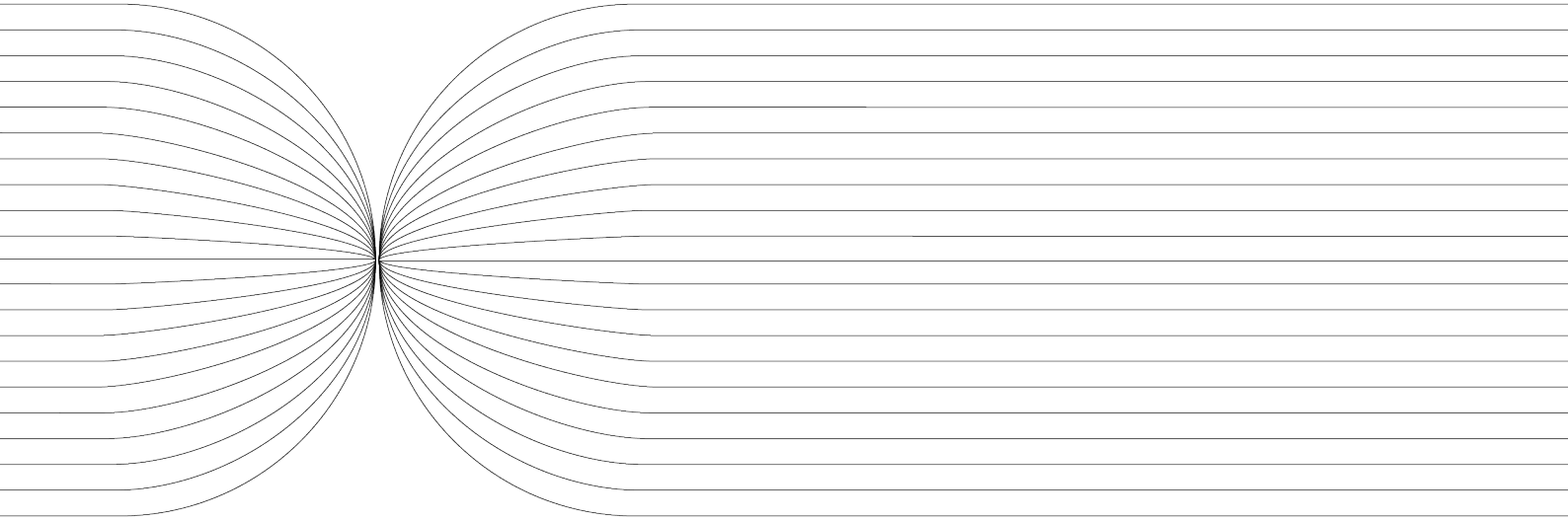
8.1 Uuringu teise etapi eesmärgid ja tegevused....90

8.2 Eeluuring II etapi ajakava....94

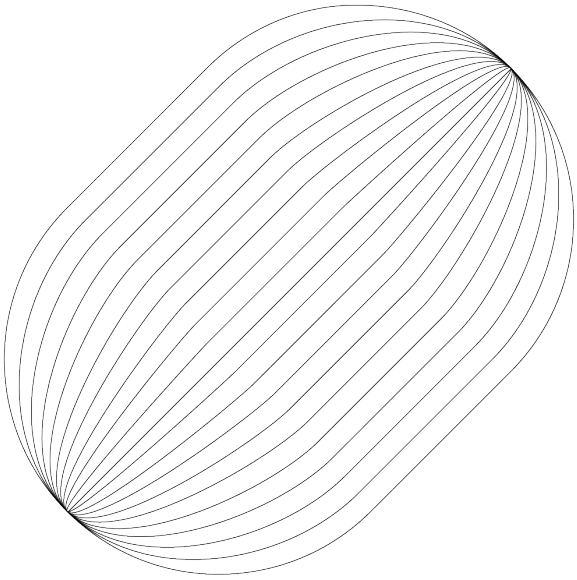
9 Lisa 1 – Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide AS-IS arhitektuuriskeem....96

10 Lisa 2 – Tallinna liiklusjuhtimise foorikontrollerite ja OMNIA vaheline tehniline suhtlus....97

11 Lisa 3 – Lihtsustatud protsessijoonised....98

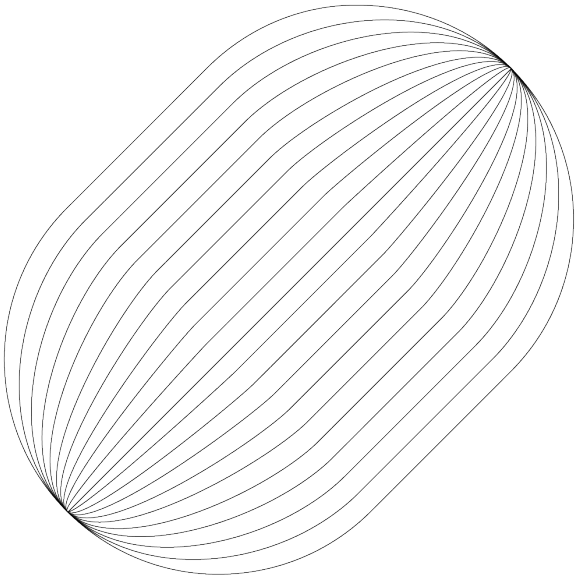


civitta



CIVITTA EESTI AS | Projekt 302874
Tallinna dünaamilise liiklusjuhtimise projekti eeluuring
AS-IS olukorra esmane kokkuvõte
Tallinna Liikuvusamet | märts–juuni 2026
Koostajad: Marti Rillo (IT-analüütik, Civitta Eesti AS), Hendrik Ploom (Projektijuht, Civitta Eesti AS), Andrei Kulik (IT spetsialist, HEISI IT OÜ), Anders Palm (Tehniline direktor, SWARCO)

Käesolev dokument koondab Tallinna dünaamilise liiklusjuhtimise (DLJ) eeluuringu raames läbi viidud hetkeolukorra (AS-IS) kaardistuse esmased tulemused. Kaardistuse käigus vaatles töövõtja platvorme ja süsteeme nii kasutaja kui süsteemiomaniku vaates, kaardistas andmevood ja tööprotsessid ning viis läbi intervjuud teenuspartneri KiirWarren.KL OÜ (KiirWarren) meeskonna ja Tallinna Liikuvusameti töötajatega. Eeluuringu I etapi peamiseks eesmärgiks oli esmalt koondada kvalitatiivne ülevaade Tallinna liiklusjuhtimise probleemkohtadest. AS-IS olukorra täpsemaks kaardistuseks viidi läbi ka detailsem andmeanalüüs, mis võimaldab tänast olukorda ning sellega kaasnevaid probleemkohti paremini tuvastada, analüüsida ning eeluuringu teises etapis lahendada.



Mõisted

Mõiste	Selgitus
ADAM-võrgurelee	võrguseade, mis edastab zir24.pl keskuse prioriteedikäsu foorikontrolleri I/O-kaardile
Adaptiivne foorijuhtimine	liiklusele reageeriv juhtimisviis, mis kohandab foorisätteid (tsükkel, rohelise faasi kestus, nihe) reaalajas anduriandmete põhjal (nt SCOOT, SCATS, UTOPIA/SPOT)
ADEC	ADEC Technologies AG loendusandurite süsteem (TDC3-5 andurid); Tallinna püsiloenduse alus alates 2011. aastast
AID (automatic incident detection)	automaatne intsidentide tuvastus; Tallinnas kasutusel Ülemiste tunnelites (FLIR CASCADE, FLUX)
AKÖL	aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus
API	rakendusliides süsteemidevaheliseks masinloetavaks andmevahetuseks
ArcGIS	kaardirakendus; võimalik tulevane andmekuvamise keskkond
AS Signaal TM	seireplatvormi specialist.signaal.ee arendaja; OMNIA kasutuslitsentsi hoidja
batch-režiim	perioodiline pakett-töötlus; loendusandmete analüüsivaates kasutatakse seireserveris genereeritavaid 15-minutilisi koondeid
CITIX-3D	Eco-Counteri jalakäijate ja jalgratturite loendusandur; avalik vaade keskkonnas https://data.eco-counter.com/ParcPublic/?id=5327
DI-sisend	foorikontrolleri digitaalsisend (nt jalakäija nõudenupu või ühistranspordi eelanduri signaal)
Dünaamiline liiklusjuhtimine (DLJ)	võrgutasandi raamistik, mis juhib liiklust reaalajas valitsevate ja prognoositavate tingimuste põhjal mitme töövahendi kaudu (foorijuhtimine, muutteabega liiklusmärgid, ühissõidukite prioriteet, sündmuste haldus)
EC1, ITC2, ITC2b, ITC2.5, ITC3	SWARCO foorikontrollerite põlvkonnad; EC1 (Mizar) on varaseim, ITC3 uusim
FIFO	andmesalvestuse põhimõte, kus mälumahu täitumisel kustuvad vanimad kirjed uute saabumisel (*first in, first out*)
FLIR CASCADE	Ülemiste autotunneli automaatse intsidendituvastuse süsteem
FLUX	Ülemiste trammitunneli intsidendituvastuse süsteem (ajutiselt demonteeritud)
FOC	fiiberoptiline kaabel (*fibre optic cable*)
GoodVision Online	drooniuuringute töötlustarkvara; väljund sisestatakse käsitsi VISSIM-i ja LISA-sse
HD2018 / HD2016	infotabloode keskhalduse süsteem
heartbeat-loogika	arendatav serveritarkvara funktsioon sidekatkestuste automaatseks tuvastamiseks puhverarvutitega kontrolleritel
HL	hooldusleping KiirWarreniga (viitenumber 261559)
ITS	intelligentsed transpordisüsteemid

Mõiste	Selgitus
KiirWarren	KiirWarren.KL OÜ; elektrooniliste ja mehaaniliste liikluskorraldusvahendite hoolduspartner (hooldusleping 261559)
LISA M (LISA+)	Schlothauer & Waueri fooriprogrammide kavandamise tarkvara; edasimüüja Tallinnas KiirWarren
Mdet	seire.tallinn.ee toortabel andurite staatuse, aktiivsuse ja viimase sündmuse ajaga
MIB	SNMP hallatavate objektide hierarhiline andmebaas (Management Information Base)
MP	seirepunkt (monitoring point) seire.tallinn.ee süsteemis
NTCIP	USA (NEMA) SNMP-põhine liiklusjuhtimise sidestandard
NTP	kellaaja sünkroniseerimise protokoll (Network Time Protocol; versioon 4 RFC 5905, versioon 3 RFC 1305)
OCIT-O / OCIT-C / OCIT-VD	avatud ODG sidestandardite perekond: keskus–kontroller (O), keskus–keskus (C) ja fooriprogrammide versioonimise liides (VD)
OMNIA	SWARCO liiklusjuhtimise keskhaldusplatvorm; Tallinnas versioon 4.4.8
Omnivue	OMNIA eelkäijaplatvorm ja esimene STCIP-keskhaldus; lülitati lõplikult välja 2026. aasta mais
Opinfo	opinfo.tallinn.ee; tellimuste ja lepingute täitmise andmekogu koos liikluskorraldusvahendite GIS-registriga (arendaja Spintek)
OSI mudel	ISO seitsmekihiline võrgusuhtluse võrdlusmudel (L1 füüsiline kiht … L7 rakenduskiht)
P1–P4	kitsaskohtade prioriteediklassid: P1 vältimatu, P2 kriitiline, P3 oluline, P4 parendus; lisaks tunnus T - DLJ-d toetav arendus
PPA	Politsei- ja Piirivalveamet
PTV VISSIM	mikromodelleerimise tarkvara üksikute ristmike ja koridoride analüüsiks
PTV VISUM	makromodelleerimise tarkvara; Tallinna mudel loodud 2021. aastal
püsiloenduspunkt	alalise loendusseadmega varustatud loenduskoht
Ridango	ühistranspordi pardaarvutiplatvorm, mis edastab sõiduki GPS-asukoha prioriteedikeskusele
ristmikud.tallinn.ee	liikluskaamerate platvorm (arendaja Vaikosta OÜ)
RTSP	kaamerapildi voogedastuse protokoll (*Real Time Streaming Protocol*)
seire.tallinn.ee / specialist.signaal.ee	loendusandmete platvorm (arendaja AS Signaal TM); avalik vaade 15-minutiliste agregaatidena
SHDSL	vaskkaablipõhine sidetehnoloogia foorivõrgus
*.sig-formaat	fooriprogrammide struktureeritud vahetusformaat VISUM-i ja VISSIM-i vahel (PTV Vissig); failistruktuur on Tallinna töövoos dokumenteerimata
Smart Corridor	SWARCO eraldi litsentsitav koridoritasandi adaptiivjuhtimise tarkvarapakett, mida Tallinn ei ole soetanud; kontrolleritel võib võimekus olemas olla
SNMP	IP-võrkude haldusprotokoll (*Simple Network Management Protocol*)
STCIP	SWARCO eraprotokoll foorikontrolleri ja keskhalduse suhtluseks (SWARCO Traffic Controller Interface Protocol); SNMP-põhine
STCIP adapter	OMNIA serveril Windowsi teenusena töötav vahenduskomponent, mis tõlgib vanemate kontrollerite (EC1, ITC2, ITC2b) suhtluse STCIP-protokolli; tekstis nimetatud proxy-lahendus
zir24.pl	ühistranspordi tsentraalse prioriteedi suunamiskeskus (Poola tarnija)
T09	seire.tallinn.ee aruanne, mis annab 15-minutilise anduri- ja suunapõhise vaate
The Dude	MikroTiku võrgumonitooringu tarkvara; jälgib IP-seadmete kättesaadavust
Thoreb	Thoreb AB ühistranspordi prioriteedisüsteemi seadmed (eelandurid, positsioneerimine)
TIC-800	foorikontrolleri detektorikaart induktiivsilmuste analoogsignaalide vastuvõtuks
Time Machine	OMNIA ajas tagasivaatamise funktsioon; töötab katkendlikult alates 2019. aastast

Mõiste	Selgitus
TO-BE	sihtolukord; eeluuringus määratletav tulevikuarhitektuur ja -korraldus
TrafiCam / TrafiOne	FLIR-i videoandur ja termoandur sõidukite tuvastuseks ristmikul
UTOPIA/SPOT	adaptiivse foorijuhtimise lahendus; Tallinnas paigaldatud Reidi tee koridorile; adaptiivne juhtimine on hetkel rakendamata
VisVap	VISSIM-i moodul, mille kaudu realiseerub adaptiivse foorijuhtimise modelleerimine
VSL / VMS	muutuva teabega kiiruspiirangu märk / muutteabega liiklusmärk
ÜT	ühistransport
X-LINE CAN	foorikontrolleri ja signaalpeade vaheline andmesiin

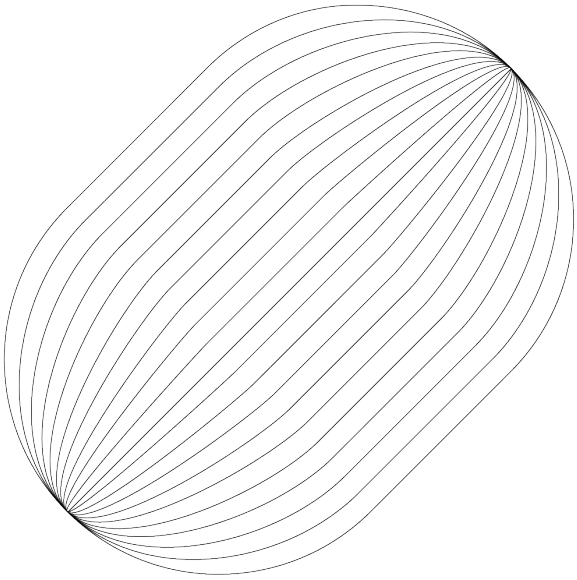
Tabelid

Tabel 1. Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide põhinäitajad seisuga mai 2026. 21
Tabel 2. Valdkondlikud ülesanded ja vastutajad....22
Tabel 3. Foorikontrollerite põlvkonnad ja STCIP-tugi. 24
Tabel 4. Kontrolleri vigade jagunemine 34
Tabel 5. Kontrollerite vigade tekkekiht....35
Tabel 6. Seire.tallinn.ee genereeritud koondaruannete sobivus andurikvaliteedi seireks 44
Tabel 7. Anduririkete ja andmelünkade tulemused ristmike kaupa (viie nädala valim). 45
Tabel 8. Tuvastatud leidude võimalik päritolu....46
Tabel 9. Leidude prioriteetsus. 47
Tabel 10. Andmevood ja nende ajasünkroonsus AS-IS olukorras....59
Tabel 11. Linnade võrdlusanalüüsi tulemuste maatriks....81
Tabel 12. Kitsaskohtade prioriseerimine. 89

Joonised

Joonis 1. Fooriprogrammide seadistamise protsessijoonis....31
Joonis 2. Analüüsi valimisse kuuluvad testala ristmikud ja foorikontrollerid....33
Joonis 3. Projekti II etapi tegevuskava....95
Joonis 4. Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide AS-IS arhitektuuriskeem....96
Joonis 5. Foorikontrollerite ja OMNIA vaheline tehniline suhtlus 97
Joonis 6. Häirete käsitluse protsessijoonis 98
Joonis 7. Ühistranspordi prioriteedi protsessijoonis....98

Joonis 8. Seireandmete salvestamise ja kasutamise protsessijoonis.....99
Joonis 9. Operatiivse seire protsessijoonis.....99



Sissejuhatus

Sissejuhatus

Käesolev vahearuanne on Tallinna dünaamilise liiklusjuhtimise projekti eeluuringu (riigihanke viitenumber 302874) esimese etapi tulem. Eeluuringut viib läbi Civitta Eesti AS Tallinna Liikuvusameti tellimusel. Projekti rahastatakse Euroopa Liidu Ühtekuuluvuspoliitika fondide rakenduskava 2021–2027 meetme „Avaliku sektori innovatsioonivõimekuse tõstmine" vahenditest.

Eeluuring on osa laiemast projektist „Dünaamiline liiklusjuhtimine Tallinnas", mis koosneb kolmest etapist: eeluuring ehk käesolev projekt (I etapp), fooride masinloetavaks muutmine ja dünaamilise liiklusjuhtimise teenuste arendamine läbi innovatsioonihanke (II etapp) ning rohekoridoride analüüs (III etapp). Eeluuringu eesmärk on luua tehniliselt, organisatsiooniliselt ja õiguslikult põhjendatud alus järgmisele etapile ning anda hankijale otsustusmaterjal innovatsioonihanke ettevalmistamiseks.

Vahearuanne koondab eeluuringu esimese kolme kuu tulemused: Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide praeguse olukorra (AS-IS) ja turuülevaate koos Euroopa Liidu riikide lahendustega. Need kaks osa loovad faktilise aluse, millele tugineb eeluuringu järgmine pool - sihtolukorra (TO-BE) arhitektuur, testpiirkonna valik, õiguslik analüüs, innovatsioonihanke strateegia ja Tallinna-ülese laienduse tegevuskava. Neid teemasid käsitleb töövõtja projekti lõpparuandes.

AS-IS peatükk kirjeldab Tallinna liiklusjuhtimise süsteeme, protsesse, andmevooge ja tööpraktikaid. Analüüs tugineb Liikuvusameti spetsialistide ja hooldusparteri KiirWarreniga tehtud intervjuudele, süsteemilogide ja konfiguratsioonide käsitlusele, olemasolevale tehnilisele dokumentatsioonile ning sihipärastele mõõtmistele.

Turu ülevaade kõrvutab Tallinna lahendusi vähemalt kolme võrreldava Euroopa linna (elanike arv 200 000–700 000) kogemusega, keskendudes lahenduste komponentidele, hankestrateegiatele ja ülekantavusele Tallinna konteksti.

Hetkeolukorra kirjeldus

Eesmärk ja ulatus

AS-IS analüüs kirjeldab Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide tegelikku toimimist. Eesmärk on luua faktiline võrdlusalus, mille põhjal saab eeluuringu lõpparuandes määratleda dünaamilise liiklusjuhtimise sihtolukorra (TO-BE) ja kujundada innovatsioonihanke lähteülesande.

Dokumendi roll projektis on olla sisend järgmisele etapile: siin fikseeritud hetkeseisu ülevaade, kitsaskohtade registrid (F, L, M) ja lahtised küsimused moodustavad aluse, millelt töövõtja ja tellija töötavad edasi sihtolukorra (TO-BE) suunal. Iga AS-IS leid on sõnastatud nii, et sellest saab tuletada TO-BE nõude, lahendusvariandi või täpsustusülesande.

Peatükk katab nelja omavahel seotud süsteemikihti: foorivõrk ja keskhaldusplatvorm OMNIA, loendus- ja seiresüsteemid, ühistranspordi prioriteedilahendus ning liiklusmodelleerimine. Töövõtja kirjeldab iga kihi arhitektuuri, andmevooge ja andmekvaliteeti ning toob välja kitsaskohad, mis takistavad üleminekut nõudluspõhisele ja reaalajas reageerivale juhtimisele.

Peatükk sisaldab ka protsesside kaardistust: fooriprogrammide halduse elutsükkel (programmeerimine, koordineerimine, muudatused, testimine, kasutuselevõtt, tagasipööramine), häirete käsitlus ning operaatori õigeaegse sekkumise tagamine.
Analüüsi piir kulgeb dünaamilise liiklusjuhtimise andmevoo järgi: mehaaniliste liikluskorraldusvahendite hooldus ja teekattemärgistus kuuluvad analüüsi ulatusse üksnes juhul, kui need on dünaamilise liiklusjuhtimise andmevoo või häirete käsitluse osa. Kuivõrd liiklusjuhtimise oma olemuselt on keeruline ning erinevatest osapooltest, andme- ja teenusekihtidest, süsteemidest, seadmetest ja protokollidest koosnev süsteem, on eeluuringu käigus ning ajaraamist tehtud kaardistus parim ülevaade Tallinna tänasest liiklusjuhtimise olukorrast. Süsteemi keerukuse kontekstis võib esineda väidetes erisusi, mida erinevad osapooled on tõlgendanud erinevalt ning leitud vigade ja puudujääkide põhjuseid võib olla mitmeid. Kuivõrd uuringu TO-BE faasis defineeritakse arhitektuuri ja süsteemi funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded, võib esineda asjaolusid, kus hilisemas faasis on vajadus teha täiendusi ja/või parandusi AS-IS esialgses kaardistuses, mis esitatakse vastaval juhul koos eeluuringu lõpparuandega. Projektis seatud eesmärkide saavutamiseks vajalike täiendavate investeeringute koondvaate esitab töövõtja sihtolukorra (TO-BE) analüüsis projekti lõpparuandes; AS-IS peatükk fikseerib investeeringuvajadust tingivad kitsaskohad ja nende prioriteedid.

Analüüsi läbiviimine ja metoodika

Töövõtja viis analüüsi läbi neljal tasandil, mis katavad süsteemide toimimise eri kihid:

1. **Protsess ja töökorraldus**. Kuidas igapäevane töö toimub - kes teeb, millises järjekorras, milliste tööriistadega ja milliste otsustuspunktidega. Sellel tasandil on fookus inimese ja süsteemi koostööl: operaatori rollil, rollide jaotusel Liikuvusameti ja hoolduspartneri vahel ning otsustusprotsessidel, mis puudutavad fooriprogrammide muutmist ja häirete lahendamist.
2. **Süsteemi- ja integratsioonikiht.** Millised komponendid süsteemis töötavad, kuidas need omavahel suhtlevad, milliseid protokolle ja liideseid kasutatakse. Sellel tasandil on fookus arhitektuuril: OMNIA roll andmete kogumisel ja edastamisel, kontrollerite ja keskhalduse vaheline kommunikatsioon, loendusandurite ja modelleerimissüsteemi liidestus, ühistranspordi andmekihi integratsioon.
3. **Andmekvaliteet ja ajasünkroonsus.** Kui usaldusväärsed on süsteemidest saadavad andmed, kui palju on vigu, kus tekivad katkestused ja kuidas on lahendatud kellade sünkroonsus. Sellel tasandil on fookus mõõdetavatel näitajatel: vigade osakaal, andmete täpsus ja katvus, ajatemplite korrektsus, andmete säilitusaeg.
4. **Kitsaskohad ja maandamisvõimalused.** Millised takistused on kõige kriitilisemad dünaamilise juhtimise käivitamiseks ja millises järjekorras tuleb need lahendada. Sellel tasandil on fookus prioriteetidel: kitsaskohad kategoriseeritakse nelja prioriteediklassi (P1–P4), mis annab hankijale ja innovatsioonihanke pakkujatele selge pildi sellest, mida tuleb lahendada enne testala käivitamist ja mida saab lahendada hiljem.

Neli tasandit on omavahel seotud: üks ja sama kitsaskoht (näiteks OMNIA olekuandmete piiratud säilitusperioodi probleem) võib avalduda mitmel tasandil - protsessi tasandil kui käsitsi tehtav ümbertöö, süsteemi tasandil kui puuduv API, andmekvaliteedi tasandil kui puuduvad ajaloolised andmed ja kitsaskohtade tasandil kui P1-prioriteediga takistus.
Metoodika

AS-IS analüüsi sisend pärineb viiest allikast, mis üksteist valideerivad: (1) poolstruktureeritud intervjuud Liikuvusameti ITS-arenduse, liikluskorraldusvahendite, foorisüsteemi, võrgu ja modelleerimise spetsialistidega ning hoolduspartneri KiirWarreni ja süsteemitootja SWARCOga; (2) OMNIA sündmuslogide, ühistranspordi prioriteedi väljakutsete ja ADEC loendusandurite andmete analüüs (OMNIA olekuandmete säilitusperiood on 2–3 kuud; ADEC loendusandmed on põhiandmebaasis kättesaadavad alates 2020.–2022. aastast); (3) hoolduspartneri hooldusLepingu tehnilise kirjelduse, sanktsioonide raamistiku, tarkvarade kasutusjuhendite ja varasemate uuringute käsitlus; (4) tehnilised mõõtmised testala ulatuses (Põhja pst – Mere pst), mis hõlmavad võrgu reageerimiskiirust, andmevoogude läbivust ja kellade sünkroonsust; (5) struktureeritud võrdlus kolme Euroopa linnaga, mis on esitatud vahearuande eraldi peatükis.
Kogutud andmete töötlemiseks rakendab töövõtja nelja tehnikat: arhitektuurikaardistus (süsteemide, liideste ja andmevoogude graafiline skeem), andmekvaliteedi statistiline analüüs (vigade osakaal, mustrid, algpõhjused) ning kitsaskohtade jaotamine nelja prioriteediklassi P1–P4, kus P1 tähistab kriitilisi takistusi, mis tuleb lahendada enne testala käivitamist.

Mõisteline raamistik

Liiklusjuhtimise strateegiaid saab teaduskirjanduse põhjal eristada fikseeritud ajagraafikupõhisteks ja liiklusele reageerivateks ehk *traffic-responsive* strateegiateks. Fikseeritud strateegiad tuginevad eelkõige ajaloolisele liiklusnõudlusele ja etteantud fooriprogrammidele. Liiklusele reageerivad strateegiad kasutavad seevastu anduritelt või muudest seireallikatest saadud ajakohaseid liiklusandmeid ning kohandavad juhtimisotsuseid vastavalt tegelikule liiklusolukorrale.
Adaptiivne foorijuhtimine on liiklusele reageeriva juhtimise alaliik. Selle eesmärk on kohandada fooride fooritsükli jaotust liiklusolukorra muutumise järgi. Adaptiivne süsteem võib muuta näiteks fooritsükli pikkust, rohelise faasi kestust, ristmikevahelist nihet ehk *offset*'i ning teatud lahendustes ka faaside järjestust. Süsteem kogub liiklusandmeid, hindab nende põhjal foorivõrgu või ristmiku toimimist, arvutab sobivamad foorisätted ja rakendab need lühikese ajasammuga (FHWA).[1] Seetõttu erineb adaptiivne foorijuhtimine fikseeritud fooriprogrammidest, kus juhtimisloogika põhineb varem koostatud ajaplaanidel ja programmivahetustel.
Dünaamiline liiklusjuhtimine on laiem võrgutasandi juhtimisraamistik. Teaduskirjandus käsitleb seda sageli aktiivse liiklusjuhtimise raames, mille keskne eesmärk on juhtida liiklusvooge reaalajas valitsevate ja prognoositavate liiklustingimuste põhjal.[2] Dünaamiline liiklusjuhtimine hõlmab mitut koostoimivat töövahendit - foorijuhtimist, muutuvteabega liiklusmärke, liiklejatele info edastamist, marsruudisoovitusi, sõiduradade juhtimist, ühissõidukite prioriteeti ning sündmuste ja häiringute haldust.
Mõistete suhe on seega hierarhiline. Dünaamiline liiklusjuhtimine on korralduslik-strateegiline tervik, mis juhib liiklusvooge võrgu või piirkonna tasandil. Adaptiivne foorijuhtimine on selle terviku üks tehniline instrument, mis keskendub foorialamsüsteemi juhtimisele. Teisisõnu moodustab

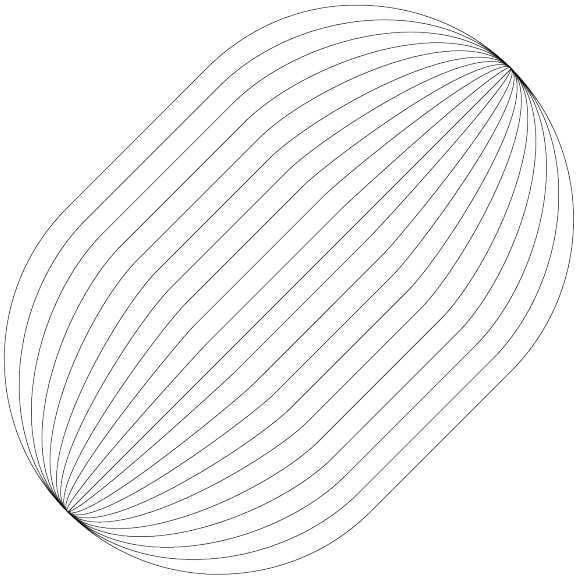
[1] FHWA (Federal Highway Administration). *Adaptive Signal Control Technology* (Every Day Counts, EDC-1). U.S. Department of Transportation.

[2] Poulopoulou, M. & Spyropoulou, I. (2019). Active traffic management in urban areas: Is it effective for professional drivers? The case of variable message signs. *Transportation Research Part A*, 130, 412–423.

adaptiivne foorijuhtimine ühe osa dünaamilisest liiklusjuhtimisest, mis hõlmab lisaks teisi töövahendeid ja võrgutasandi koordineerimist.

Selle eeluuringu kontekstis on eristus oluline, sest projekti eesmärk ulatub üksikute fooride tehnilisest optimeerimisest kaugemale: see hõlmab üleminekut reaalajas liiklusolukorda arvestavale juhtimisloogikale. AS-IS analüüs eristab seetõttu, millises ulatuses kasutab Tallinn praegu fikseeritud, ajapõhiseid või kalendripõhiseid juhtimisprogramme ning millises ulatuses on olemas eeldused liiklusele reageerivaks juhtimiseks. TO-BE vaade hindab, milline roll võiks olla adaptiivsel foorijuhtimisel ning milliseid muid dünaamilise liiklusjuhtimise komponente on vaja ohutuma, sujuvama ja keskkonnasäästlikuma liikuvuse saavutamiseks.

Tallinna kontekstis eristab adaptiivse foorijuhtimise käsitlus konkreetseid tehnoloogilisi lahendusi ja üldist juhtimispõhimõtet. SCOOT, SCATS, RHODES, OPAC ja UTOPIA/SPOT on rahvusvaheliselt tuntud lahendused või juhtimisloogikad adaptiivse või liiklusele reageeriva foorijuhtimise valdkonnas; UTOPIA/SPOT on Tallinnas paigaldatud Reidi tee koridorile; süsteem on töökorras, kuid adaptiivne foorijuhtimine on hetkel rakendamata (vt jaotis „Reaalajas kohandumise takistused ja maandamismeetmed”).



Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide ülevaade

1 Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide ülevaade

1.1 Süsteemide kontekst ja põhinäitajad

Tallinna liiklusjuhtimise aluseks on Tallinna Liikuvusameti hallatav elektrooniliste ja mehaaniliste liikluskorraldusvahendite võrgustik. Keskhaldusplatvorm on SWARCO OMNIA keskhaldustarkvara, mille kaudu Liikuvusamet haldab ja monitoorib foorikontrollerite ja muutteabega liiklusmärkide tööd; fooriprogramm on salvestatud igasse kontrollerisse ja kontroller täidab fooriprogramme iseseisvalt, keskhaldusest sõltumata. Mehaaniliste liikluskorraldusvahendite ning elektrooniliste seadmete korraline ja erakorraline hooldus on hoolduslepinguga delegeeritud hoolduspartnerile, kes võtab info vastu ja töötleb seda 24/7/365 põhimõttel, tuvastab ja lahendab rikked ning tagab vajaduse korral ajutise liikluskorralduse.

Süsteemide tööala hõlmab viit omavahel seotud alamsüsteemi: foorivõrk ja keskhaldus (OMNIA ja sellega liidestatud foorikontrollerid ning VSL/VMS märgid), loendus- ja seiresüsteemid (ADEC loendusandurid, mille andmed koonduvad keskkonda seire.tallinn.ee), ristmikukaamerate võrgustik (keskkond ristmikud.tallinn.ee), muutteabega liikluskorraldusvahendid (66 VSL/VMS seadet, mida juhitakse OMNIA kaudu; 27 kiirustablood, mis töötavad eraldiseisvalt ja mille rikkumiste info laaditakse alla kohapeal Bluetooth-ühendusega ning 55 infotablood, mille keskhaldus on HD2018, osaliselt HD2016) ning ühistranspordi prioriteedisüsteem 48 prioriteedipunktiga. Eraldi toimivad tunnelite automaatsed avariituvastus- ja juhtimissüsteemid - FLIR CASCADE Ülemiste autotunnelis ja FLUX Ülemiste trammitunnelis, teeilmajaamad (VAISALA) ning jalakäijate ja jalgratturite CITIX-3D loendurid (vt aruande Lisa 1).

Modelleerimiseks ja planeerimiseks kasutab Tallinna Liikuvusamet kolme eraldiseisvat tarkvarapaketti: PTV VISUM (makromudelid), PTV VISSIM (mikromudelid) ja Schlothauer & Wauer LISA M (fooriprogrammide kavandamine). Need keskkonnad töötavad OMNIA-st ja loendussüsteemidest eraldi ning andmevahetus nendega toimub vahearuande koostamise hetkel käsitsi.

Tabel 1 koondab Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide põhinäitajad ühte vaatesse ja fikseerib iga arvu allika. Tabel on edasise analüüsi kvantitatiivne lähtepunkt: järgnevad peatükid viitavad nendele kogustele ning DLJ testala ja II etapi mahuhinnangud tuginevad neile. Arvud kajastavad seisu allikadokumentide kuupäevadel ja muutuvad ajas - seadmeid lisandub, vahetatakse ja eemaldatakse jooksvalt. Eeluuringu eesmärgi seisukohast on oluline suurusjärk ja proportsioonid (võrgu maht, kontrolleripõlvkondade jaotus, katvuse lüngad), mitte ühiku täpsusega loend; Täpsustatud inventuur tuleb vastavalt II etapi hanke ette valmistamisel vastavalt eesmärkidele ja skoobile. Arvud pärinevad esmajärjekorras hankedokumendi tehnilisest kirjeldusest (seis 06.10.2025 ja 13.10.2025) ning AS-IS kaardistuse käigus täpsustatud andmetest; hoolduslepingu Lisa 1 (19.01.2023) andmeid kasutab töövõtja üksnes seal, kus eelnimetatud allikad vastavat näitajat ei kajasta. Kus allikate arvud erinevad, on tabelis esitatud kõik väärtused koos viidetega.

Tabel 1. Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide põhinäitajad seisuga mai 2026.

Süsteem / komponent	Näitaja	Kogus / kirjeldus	Allikas
Foorikontrollerid	SWARCO kontrollerite arv	299	HD p. 1.3 (06.10.2025)
Foorivõrk	Fooriristmike arv	414	HD p. 1.3 (06.10.2025)
Foorivõrk	Foorikontrolleri ühendatus OMNIA-ga	Keskusega ühendamine algas 31.12.2019; 100% OMNIA-s 16.10.2024	HD p. 1.3; AS-IS kaardistus (aprill 2026)
Foorivõrk	Hooldatavate fooriobjektide arv	403	HL Lisa 1, rida 14
Foorivõrk	Kõrgendatud valmisolekuga fooriobjektid	48 (nimekiri HL Lisa 3)	HL Lisa 1, rida 15
Fooriprogrammid	Juhtimisrežiim	Kalendripõhine, tsükliline koordineeritud, fikseeritud tsükliga; aktiveeritavad ristmikud nõudluse korral	HD p. 1.3
Fooriprogrammid	Tavaline tsüklipikkus	72 ja 90 s	HD p. 1.3
Adaptiivne juhtimine	Ristmikud	2 (Reidi tee - UTOPIA; Kopli-Sitsi-Tööstuse - SWARCO Smart Intersection)	HD p. 1.3
Ühistranspordi prioriteet	Prioriseerivate ristmike arv	45	HD p. 1.3 (06.10.2025)
Ühistranspordi prioriteet	Kasutatav riistvara	Thoreb AB seadmed; jaguneb lokaalseks (andur → foorikontroller) ja tsentraalseks (zir24.pl)	HD p. 1.3; AS-IS kaardistus (aprill 2026)
Keskhaldus	Platvorm ja versioon	SWARCO OMNIA v 4.4.8	AS-IS kaardistus (aprill 2026)
Keskhaldus	Eelnev platvorm (lõpetamisel)	SWARCO Omnivue v 1.11.04.134 (välja lülitatud mai 2026)	HL Lisa 1, rida 2; AS-IS kaardistus (mai 2026)
Keskhaldus	Andmete säilitusaeg	2-3 kuud (FIFO-meetod, vähemalt 1x kuus)	AS-IS kaardistus (aprill 2026)
Muutteabega seadmed	VSL / VMS komplekte	66	HL Lisa 1, rida 16
Muutteabega seadmed	Infotablood	55	HL Lisa 1, rida 17
Muutteabega seadmed	Kiirustablood	27 (asukohad HL Lisa 4)	AS-IS kaardistus (aprill 2026); HL Lisa 4 (asukohad)
Loendussüsteem	Seirepunktide arv	48 (püsiloenduspunktid)	HD p. 1.3
Loendussüsteem	Loendusandurite arv	426 (ADEC TDC3-5)	HD p. 1.3
Loendussüsteem	Hooldatavate andurite arv (lepingus)	440	HL Lisa 1, rida 11
Loendussüsteem	Keskkond	seire.tallinn.ee (AS Signaal TM)	HL Lisa 1, rida 9
Liikluskaamerad	Kaamerate arv (seis 13.10.2025)	235 liikluskaamerat, 250 koos P&R ja pollaritega	HD p. 1.3
Liikluskaamerad	Hooldatavate kaamerate arv (lepingus)	208	HL Lisa 1, rida 13
Liikluskaamerad	Keskkond	ristmikud.tallinn.ee (Vaikosta OÜ)	HL Lisa 1, rida 12
Teeilmajaamad	VAISALA DST111 (väikesed)	12	HL Lisa 1, rida 18
Teeilmajaamad	Reidi tee VAISALA (suur)	1	HL Lisa 1, rida 19
Kergliiklus	CITIX-3D SENSOR andurite arv	7 (avalik väljund data.eco-counter.com)	HL Lisa 1, rida 22
Tunnelitaristu	Ülemiste autotunneli AID (FLIR CASCADE)	FLIR CASCADE 4.6.0-b180	HD p. 1.3; AS-IS kaardistus (aprill 2026)

Süsteem / komponent	Näitaja	Kogus / kirjeldus	Allikas
Tunnelitaristu	Ülemiste trammitunneli AID (FLUX)	Flux (versioon teadmata, ajutiselt demonteeritud)	HD p. 1.3; AS-IS kaardistus (aprill 2026)
Modelleerimine	Makromodelleerimise tarkvara	PTV VISUM	HD p. 1.3
Modelleerimine	Mikromodelleerimise tarkvara	PTV VISSIM	HD p. 1.3
Modelleerimine	Fooriprogrammide kavandamise tarkvara	Schlothauer & Wauer LISA M	HD p. 1.3
Teeregistri GIS	Tarkvara	Bentley Map PowerView V8i (Liikluskorraldusvahendite programm); tootja OÜ Pente Tarkvara	HL Lisa 1, rida 4

HD = Hankedokumendi tehniline kirjeldus (302874); HL = Hooldusleping KiirWarreniga (261559).

Pollarite juhtimine on NWT Solutioni arendatud eraldi lahendus; pollarid paiknevad Viru tänava ja Vana-Kalamaja tänava alguses. (vt aruande Lisa 1).

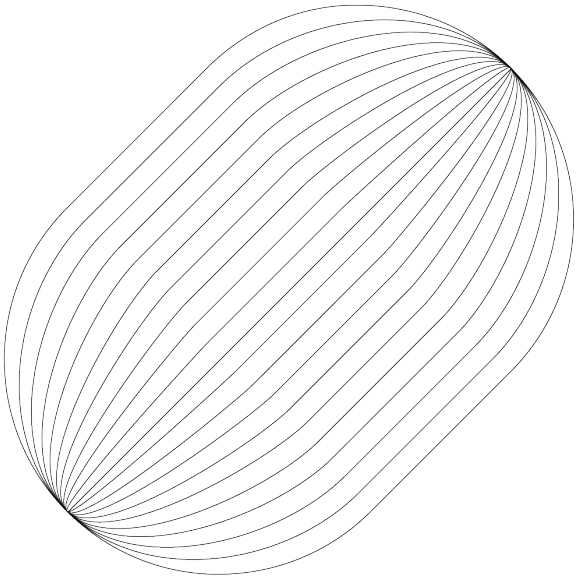
1.2 Vastutus ja rollijaotused

Tabel 2 fikseerib, milline roll vastutab iga alamsüsteemi toimimise eest ja kus jookseb piir Liikuvusameti ja hooldusPartneri vahel. See piir määrab dünaamilise liiklusjuhtimise jaoks kaks kriitilist aspekti: kui kiiresti jõuab muudatusvajadus otsuseni ja teostuseni ning millised sammud sõltuvad lepingupartneri töövoost (näiteks fooriprogrammi laadimine kontrollerisse ja häirete registri pidamine käivad hooldusPartneri kaudu). TO-BE arhitektuur ja II etapi innovatsioonihange peavad nende rollipiiridega arvestama või need teadlikult ümber kujundama. Vastutused on seotud rollidega, sest dokumenti kasutatakse mitme aasta jooksul ja täitjad võivad vahetuda.

Tabel 2. Valdkondlikud ülesanded ja vastutajad

Valdkond	Ülesanded	Vastutaja
Fooriprogrammide haldus	Programmide koostamine ja laadimine kontrollerisse	Tallinna Liikuvusamet (modelleerija) KiirWarren.KL OÜ
OMNIA keskhaldus	Võrk, OMNIA server, mis asub linna digiteenistuse haldusalas, sidearhitektuur, kellaaja sünkroonimine	Tallinna Liikuvusamet (OMNIA keskhalduse vastutaja)
Lepingu järelevalve	Häirete jälgimine, sanktsioonide arvestus KiirWarreni suhtes	Tallinna Liikuvusamet (lepingu järelevalve spetsialist)
ITS arendus	Intelligentsed transpordisüsteemid, GIS-rakendus, loendussüsteemi arendamine	Tallinna Liikuvusamet (ITS-arenduse vastutaja)
Liiklusmodelleerimine	VISUM/VISSIM/LISA M, fooriprogrammide analüüs	Tallinna Liikuvusamet (modelleerimismeeskond, 3 liiget)
Loendussüsteemid ja kaamerad	ADEC-andurid, liikluskaamerad, seireplatvorm	Tallinna Liikuvusamet (loendussüsteemide vastutaja)

Eeluuringu tehnilised mõõtmised teeb töövõtja testala ulatuses (Põhja pst – Mere pst); testala valiku põhjenduse ja kirjelduse esitab töövõtja projekti lõpparuandes.



Foorisüsteemi ja keskhaldusplatvormi arhitektuur

2 Foorisüsteemi ja keskhaldusplatvormi arhitektuuri analüüs

2.1 Foorivõrgu arhitektuur ja kasutatavad protokollid

Antud peatükk kirjeldab Tallinna foorivõrgu arhitektuuri 2026. aasta I poolaasta seisuga: milliseid andmevooge ja protokolle foorisüsteem kasutab ning kuidas süsteem on arhitektuuriliselt üles ehitatud ja igapäevaselt toimib.

Töövõtja koostas arhitektuurikirjelduse AS-IS analüüsi käigus koostöös Liikuvusametiga (vt aruande Lisa 1).

2.1.1 Foorikontrollerite koosseis ja põlvkonnad

Tallinna foorivõrk tugineb 299 SWARCO foorikontrollerile, mis juhivad 414 fooriristmikku (HD tehniline kirjeldus, seis 06.10.2025); osa kontrollereid juhib mitut ristmikku ja vanema põlvkonna alamvõrkudes täidab EC1 emakontrolleri rolli. Arhitektuur on hajutatud: fooriprogramm on salvestatud igasse kontrollerisse ja kontroller täidab seda iseseisvalt, keskhaldusest sõltumata, jätkates tööd ka keskhaldusühenduse katkemisel. Keskhaldusplatvorm OMNIA täidab programmide uuendamise, kontrollerite kaughalduse ja monitooringu ülesandeid; ristmikevaheline koordineerimine tugineb programmides fikseeritud *offsettidele* ja ühisele kellaajale.
Kontrollerid jagunevad mitme põlvkonna vahel, mille protokollivõimekus erineb oluliselt. Tabel 3 võtab põlvkonnad kokku STCIP-toe ja oluliste tehniliste omaduste lõikes.

Tabel 3. Foorikontrollerite põlvkonnad ja STCIP-tugi.

Põlvkond	STCIP-tugi	Olulised tehnilised omadused
EC1 (Mizar EC-1)	Vahendatud (STCIP adapter)	Itaalia päritolu varasem põlvkond; toimib alamvõrgus emakontrollerina ja jagab alamkontrolleritele kella- ning koordinatsiooniinfot; Potentsiaalne NTP v3 piirang
ITC2 / ITC2 mini[3]	Vahendatud (STCIP adapter)	Suhtleb STCIP-ga SWARCO proxy-mehhanismi kaudu
ITC2b / ITC2b mini	Vahendatud (STCIP adapter)	Varasem versioon; sama proxy-sõltuvus
ITC2.5 / ITC2.5 mini	Otsetugi	SNMP-agent kontrolleris
ITC3[4]	Otsetugi	Linux-põhine (ARM CPU); sisseehitatud tugi STCIP, NTCIP, SCATS, SPOT/UTOPIA ja SCOOT protokollidele; Smart Intersection / Smart Corridor adaptiivvõimekus kontrolleri sees

ITC3 põlvkonnal on kõige laiem protokollitugi ja adaptiivne võimekus juba riistvara tasandil. Koridoritasandi adaptiivse juhtimise avab SWARCO eraldi litsentsitav tarkvarapakett Smart Corridor, mille soetamine kuulub sihtolukorra (TO-BE) otsustusruumi. Iga kontrolleri liidestamine OMNIA-ga eeldab eraldi litsentsi (AS-IS kaardistus (aprill 2026)).

[3] SWARCO ITC2 ja ITC2 mini tehniline dokumentatsioon leitav järgnevatel avalikel lehtedel <link>, <link>

[4] SWARCO ITC3 tehniline dokumentatsioon leitav järgneval avalikul lehel <link>

2.1.2 Kontrolleri ja keskhalduse vaheline andmevoog ja protokollistik

Kontrolleri ja keskhalduse vahelist suhtlust kannab Swarco eraprotokoll STCIP. STCIP tugineb NTCIP printsiipidele ja on SNMP-põhine: Swarco materjali järgi paikneb see OSI mudeli kihtidel 3–5 (IP, UDP, SNMP) ning jätab kihid 1–2 transpordimeediumi valikuks (Ethernet, DSL, GPRS jm); Tallinnas täidavad seda rolli SHDSL, optika ja 4G (ITS-arhitektuurijoonis, aprill 2026). Protokolli objektid on adresseeritud Swarco ettevõtteharust IANA OID-registris ehk STCIP järgib SNMP standardpraktikat; objektide tähendust kirjeldav MIB-fail on osa litsentsitavast spetsifikatsioonist.. Avalikult on kättesaadav protokolli üldkirjeldus; täieliku sõnumispetsifikatsiooni (avaldatud 2003) väljastab Swarco litsentsi alusel (*Swarco Sverige AB „Protocols for traffic control and supervision*").
Osa kontrollereid suhtleb keskhaldusega STCIP kaudu vahendatult. Swarco loendi järgi vajavad proxy-vahendust EC1 ning ITC-1/ITC-2 vanemate versioonide kontrollerid (Tallinnas ITC2b/ITC2b mini); ITC2 uuem versioon, ITC2.5 ja ITC3 suhtlevad STCIP-ga otse (Swarco Sverige AB „Protocols for traffic control and supervision"; AS-IS kaardistus, aprill 2026). Vahendust teostab STCIP adapter, mis töötab Tallinna paigalduses OMNIA serveril Windowsi teenusena; ristmikutasandi Swarco STCIP-ruuter on Linux-põhine seade ning tegu on kahe eri komponendiga.
Kontrollerite kella sünkroniseerib NTP (UDP port 123); sünkroonimise master töötab OMNIA serveril keskhalduse alamvõrgus. Sünkroniseerimine on hierarhiline: alamvõrkudes jagab EC1-tüüpi emakontroller alamkontrolleritele kella- ja koordinatsiooniinfot.
ITC3 kontrollerid toetavad tootja spetsifikatsiooni kohaselt ka avatud liideseid: OCIT-O BTPPL (ODG standard; transport TCP, alla 4 KB paketid ka UDP kaudu) ja NTCIP (Swarco ITC-3 Technical Description, 2020). Need liidesed loovad sihtolukorra (TO-BE) tehnilise aluse; keskuste vaheline liides OCIT-C (SOAP/XML üle HTTP) muutub asjakohaseks sihtolukorras (OCIT-C Protocol V1.2 R1, ODG, 16.12.2016).
Fooriprogrammi muudatus liigub vastassuunas: LISA+ toetab OCIT-VD liidest programmi kontrollerisse kandmiseks eraldi soetatava moodulina; hoolduspartneril on moodul olemas, kuid toimiv üleslaadimine on seni saavutamata; Tallinnas edastab liikuvusameti modelleerimismeeskond fooriprogrammi PDF-failina hoolduspartnerile, kes sisestab selle kontrollerisse käsitsi.

2.1.3 Lokaalne I/O ja väliseadmete tasand

Ristmiku tasandil suhtleb kontroller andurite ja täituritega lokaalse I/O kaudu, mis toimib STCIP-st sõltumatult. Fooripead (LED-foorituled) ühenduvad 230 V signaali- ja toitekaablite kaudu; jalakäijate nõudenupud annavad vajutuse 230 V signaalina kontrolleri digitaalsisendite (DI) kaardile; induktiivsilmused jõuavad analoogsignaalina TIC-800 detektorikaardile (tuvastusaeg kuni 26 ms). Nõudluse tuvastuses osalevad lisaks FLIR videoandurid (TrafiCam), FLIR termoandurid (TrafiOne; kasutusel üle linna kergliiklejate nõudluse tuvastamiseks) ja stoppjoone radarid. Detektori sündmus jääb kontrolleri lokaalseks loogikaks - kontroller otsustab faasi pikenduse või kõrvalsuuna lubamise ise ning OMNIA-sse jõuab info agregeeritud kujul.
Loendusandurid ADEC TDC3-5 moodustavad eraldi IP-andmevoo agregeerimisarvutile. Foorikontroller osaleb selles ahelas Haabersti ja Reidi tee ristmikel, kus ADEC saadab info otse

fooriobjekti kontrollerisse; mujal kulgeb loendusandmete voog foorikontrollerist sõltumatult (AS-IS kaardistus (aprill 2026)). Ühistranspordi prioriteedisüsteem toimib kahel tasandil: lokaalne kutsung jõuab ÜT anduri (trammidel induktiivsilmus, eraldi rajas sõitval ühistranspordil enamasti videoandur) kaudu otse kontrolleri DI-sisendisse ning tsentraalne kanal kulgeb zir24.pl keskuse kaudu.

2.1.4 Side- ja võrguarhitektuur ning ajasünkroonsus

Foorivõrgu side tugineb Mikrotik-kommutaatoritele ja meediakonverteritele. Füüsilise kihi moodustavad kolm tehnoloogiat: SHDSL (vaskkaabel), fiiberoptika (FOC) ning 4G (eelkõige vähemtähtsates, peamiselt isoleeritud foorikontrollerite ühendamiseks). OMNIA ja kontrollerite suhtlus toimub privaatvõrkudes; võrk jaguneb alamvõrkudeks. Mikrotik marsruudib IP-kihti (L3); rakenduskiht jääb seadme suhtes läbipaistvaks ja seade edastab oma SNMP-agendi kaudu üksnes võrguhalduse infot.
Võrguseadmete töösolekut jälgib eraldi monitooringukanal MikroTik haldustarkvara The Dude, mis katab kõiki IP-seadmeid (foorikontrollerid, puhverarvutid, ADAM-moodulid) ja kontrollib nende IP-tasandi kättesaadavust; foorikontrolleri rakenduskihi seisund jääb sellest monitooringust väljapoole. Sidekatkestuste leevendamiseks on seiresüsteemi loenduspunktides puhverarvutid, mis salvestavad loendusandmed lokaalselt ja edastavad need seireplatvormile sidekanali taastumisel. Liikuvusamet on algatanud puhverarvutite „*heartbeat*"-arenduse, mis lisab katkestuste automaatse tuvastamise; 4G-side ebastabiilsuse tõttu vajab DLJ testala kavandamine sidelahenduse alternatiive.

2.2 Keskhaldusplatvormi OMNIA roll

OMNIA (versioon 4.4.8) on Tallinna liiklusjuhtimise keskne operatiivkeskkond ja ainus koht, kus kõigi 299 foorikontrolleri (HD tehniline kirjeldus, seis 06.10.2025) olek on koondatult nähtav. Samasse keskpunkti on koondatud muutuva teabega kiiruspiirangu märkide (VSL) stsenaariumipõhine haldus. Infotabloode keskhaldus (HD2018, osaliselt HD2016) ning seire-, kaamera- ja tunnelisüsteemide võrguühenduvuse monitooring toimuvad OMNIA-st eraldi. Keskse rolli kõrval töötavad funktsionaalselt eraldi serverites Ülemiste autotunneli FLIR CASCADE AID-süsteem, trammitunneli FLUX, AS Signaal TM loodud seireplatvorm specialist.signaal.ee ja Vaikosta OÜ arendatud ristmikud.tallinn.ee - nende süsteemide võrgutasandi seiret teeb The Dude võrgumonitooring, kuid nende sisemine sündmusloogika jääb OMNIA-st väljapoole. Selle arhitektuurivaliku tagajärg on, et OMNIA-ühendus on Liikuvusameti operatiivse nähtavuse ainus kanal: kontrollerite oleku tervikvaade sõltub OMNIA toimimisest, mistõttu OMNIA töökindlus on kogu liiklusjuhtimise süsteemi keskne sõltuvuspunkt (vt kitsaskoht F8). Kontrollerid jätkavad seadistatud fooriprogrammide täitmist iseseisvalt ka OMNIA-ühenduse katkemisel (vt eelmine alapeatükk), kuid keskhalduse vaade muutub sel hetkel pimedaks.

Andmete liikumine läbi OMNIA jaguneb kolmeks sammuks. Kogumine: kontrollerid edastavad oleku- ja sündmusteateid STCIP kaudu sündmuspõhiselt, detektoriinfo jõuab agregeeritud kujul ning muutteabe seadmete olek liigub vendor-adapterite ja STCIP kaudu. Töötlemine: OMNIA salvestab olekuandmed (säilitus 2–3 kuud FIFO-meetodil), peab sündmuslogi, käitab alarmiloogikat ja koostab eelseadistatud aruandeid; ajas tagasivaatamist toetab Time Machine. Edastamine: operaator kasutab veebiliidest, eelseadistatud aruanded on eksporditavad ning

alarmiväljund on olemas, kuid häirete töövooga sidumata (vt kitsaskoht F13); programmaatiline väljund DLJ platvormile puudub (vt kitsaskoht F7).
Tallinn soetas OMNIA algselt Reidi tee ehituse raames. Üleminek eelkäijaplatvormilt OmniVue algas 2019. aastal otsusega tõsta kõik kontrollerid kesksüsteemi: 19.01.2023 seisuga oli OMNIA-s 175 ja Omnivue-s 128 kontrollerit, 16.10.2024 olid kõik kontrollerid OMNIA-s ning Omnivue lülitati lõplikult välja 2026. aasta mais (vt aruande Lisa 1). Platvorm töötab mikroteenuste arhitektuuriga Microsoft Windows Serveri keskkonnas, andmebaasidena MS SQL Server ja PostgreSQL (OMNIA OM2004E22SG paigaldusjuhend; vt aruande Lisa 1); igal funktsioonil on eraldi teenus, mida administraator näeb eraldi aknana. Samal serveril töötavad eraldi vendor-adapterid (DMV, ChainZone) muutteabega märkide ja muutuva teabega kiiruspiirangu märkide liidestamiseks; SWARCO VSL- ja VMS-märgid suhtlevad OMNIA-ga otse STCIP kaudu (näiteks Pirita tee). Lõppkasutaja pääseb süsteemile ligi veebipõhise liidese kaudu. Programmaatiline API-juurdepääs on suletud (vt kitsaskoht F7).

Arhitektuuriga kaasnevad konkreetsed töökindluse probleemid. Esiteks käivitab Windows Update öösiti OMNIA serveri automaatse taaskäivituse, mis katkestab andmesalvestuse ja tekitab lünki ajaloolistes andmetes. Teiseks töötab ajas tagasivaatamise funktsioon (Time Machine) katkendlikult alates 2019. aastast, sest serveri arvutusvõimsus jääb 299 kontrolleri olekuandmete reaalajas salvestamiseks väikeseks. Fooriprogrammide andmeid säilitab OMNIA 2-3 kuud FIFO-meetodil, mistõttu DLJ üks alus, ajalooline andmestik, jääb piiratud usaldusväärsusega: liiklusmustrite modelleerimine ja süsteemi käitumise tagasivaade tugineb lühikesele perioodile (vt kitsaskoht F8).

OMNIA litsentsi õiguslikku seisu komplitseerib asjaolu, et tarkvara soetas linn algselt Signaali (KiirWarreni eelkäija) kaudu Reidi tee ehituse raames ning kasutuslitsents on vormistatud AS Signaal TM nimele (vt aruande Lisa 1). Otsesuhtlus SWARCOga käib praktikas hoolduspartneri vahendusel, mis piirab Liikuvusameti otsuste kiirust SWARCO arenduste tellimisel ja teeb KiirWarrenist keskse kanali ka tehnilise toe ja litsentsiarenduse küsimustes (vt kitsaskoht F9).

2.3 Nõudluspõhise fooriprogrammi toimimine

2.3.1 Ühistranspordi prioriteediahel

Ühistranspordi prioriteediahel toimib kahel tasandil (vt aruande Lisa 1). Lokaalsel tasandil annab ÜT andur (trammidel induktiivsilmus, eraldi rajas sõitval ühistranspordil enamasti videoandur) sündmuspõhise kutsungi otse foorikontrolleri DI-sisendisse; otsuse faasi pikendamise või eelistuse andmise kohta teeb kontroller kohapeal. Tsentraalsel tasandil töötleb sõiduki asukohta ühistranspordi pardaarvuti (Ridango platvorm koos Thorebi positsioneerimisega), mis edastab GPS-asukoha zir24.pl keskusele - tsentraalsele prioriteedi suunajale (Poola tarnija). Zir24.pl saadab prioriteedikäsu ADAM-võrgureleele, mis annab signaali foorikontrolleri I/O-kaardile.
Ahela operatiivseis on nõudluspõhise juhtimise seisukohast kriitiline kitsaskoht: osa prioriteediseadmeid paikneb Liikuvusameti hinnangul prioriteedi toimimise seisukohast ebasoodsates asukohtades (AS-IS kaardistus), osa on välja lülitatud ning ristuvatel bussisuundadel puudub prioriteedihierarhia (vt jaotis „Ühistranspordi andmekihi integreeritus”).
Prioriteedi kõrvalmõju illustreerib testala piirkonnas fikseeritud juhtum: trammi prioriteedi aktiveerimine Kursi tänava suunalt hoidis ristmiku teiste liiklejate suunad pikalt punasena, trammi

ületus kestis kaua ning ristmiku ette tekkinud ummik blokeeris ka sadama väljumissuuna. Kui sadama suunal süttis roheline, ei pääsenud sõidukid ummiku tõttu liikuma. Juhtum näitab, et prioriteedi andmine ilma naaberristmike koordineerimiseta kandub võrgus edasi ja võib liiklusolukorda tervikuna halvendada.
Lahendusena kavandas tellija naaberristmike koordineerimist kontrolleritevahelise ühenduse kaudu: eelnev ristmik hoitakse prioriteedi ajal punasena, et sadama väljumisvoog pääseks liikuma; koordineerimine realiseeriti ADAM-võrgureleede kaudu. Tootja dokumentatsioon pakub sama vajaduse katmiseks ka püsivarapõhise võimaluse: X-Line kuulub ITC kontrollerite püsivara süsteemiliideste hulka koos STCIP, RSMP ja NTCIP-iga ning ITC tootepere toetab kontrolleritevahelist ülem-alluv-koordineerimist, mida seadistatakse ITC-PC tööriistaga (SWARCO ITC-3 Technical Description, 2020). Kirjeldatud koordineerimislahendus on esialgne: töövõtja valideerib selle teostatavuse, seadistuse ja sobivuse koos planeeritava DLJ-lahendusega ning käsitleb seda detailsemalt sihtolukorra (TO-BE) analüüsis (vt kitsaskoht F11).

2.3.2 Teiste liiklejate nõudluse tuvastamine

Sõidukite nõudlust tuvastab kontroller ristmiku tasandil mitme anduritüübiga (vt aruande Lisa 1): induktiivsilmused jõuavad analoogsignaalina TIC-800 detektorikaardile (tuvastusaeg kuni 26 ms), FLIR videoandurid (TrafiCam) ja radarid tuvastavad sõidukeid stoppjoonel ning FLIR termoandurid (TrafiOne). Jalakäijate nõudlus jõuab kontrollerisse väljakutsenupu vajutusena digitaalsisendi kaudu ning uuemate paigalduste puhul FLIR termoandurite (TrafiOne) väljakutsena.
ADEC loendusandurid täidavad kahest rolli: Reidi tee ja Haabersti ristmikel käituvad need osaliselt ka detektorina ning UTOPIA juhtimisloogika kasutab neid liiklustuvastusanduritena. Mujal võrgus täidab ADEC-andmestik ainult loendusfunktsiooni, st reaalajas nõudlussignaali foorikontroller sellest ei saa.
Jalgratturite ja kergliikurite reaalajas tuvastus foorijuhtimise sisendina puudub: seitsme Ecocounter CITIX-3D püsiloenduspunkti andmed liiguvad otse avalikku vaatesse data.eco-counter.com ega jõua foorikontrollerini ega keskhaldusesse. Kontroller eristab seega nõudlust kahe liiklejagrupi, sõidukite ja jalakäijate tasandil; nupuvajutuse võib teha ka jalgrattur, keda süsteem jalakäijast ei erista. Teiste liiklejagruppide nõudlus jääb juhtimisloogikale nähtamatuks.

2.3.3 Andmete vahetus, kogumine ja säilitamine

Nõudlusandmete vahetus toimub kolmes eraldiseisvas ahelas. Detektorisündmused (silmused, nupud, videoandurid) jäävad kontrolleri lokaalseks loogikaks; OMNIA-sse jõuab info STCIP kaudu agregeeritud kujul ning OMNIA säilitab olekuandmeid 2-3 kuud FIFO-meetodil. Loendusandmed liiguvad ADEC andurilt loenduspunktis asuvale puhverarvutile ja sealt reaalajas specialist.signaal.ee platvormile (ZONE.ee rendiserver, platvormi lõi AS Signaal TM, haldusteenust osutab hoolduspartner). Seireplatvorm summeerib reaalajas laekuvad loendusandmed 15-minutilisteks koondandmeteks, et kiirendada aruannete koostamist ja andmeanalüüsi.
Hooldusleping järgi kontrollib ja korrastab seireplatvormi haldaja seiresüsteemi andmeid ning täiendab need mittelaekumisel fiktiivselt viie tööpäeva jooksul kalendrikuu alguses (vt aruande Lisa 1). Fiktiivne täiendamine tähendab mittelaekunud andmete asendamist arvutuslike väärtustega (agregeeritud või ajaloolise statistika põhjal), et seirestatistika püsiks katkematu;

tegemist on hooldusleping uga ette nähtud töökorraga ja andmelünkade täitmine ise on tavapärane halduspraktika. Nõudluspõhise juhtimise vaates tähendab see, et andmelünk ei pruugi andmestikus paista lüngana, vaid usutava väärtusena - DLJ otsustusmootor vajab seetõttu eraldi märgistust, millised kirjed on mõõdetud ja millised täiendatud.
Kaamerapilt liigub RTSP-vooga ristmikud.tallinn.ee platvormile (salvestus 21 päeva, sihtväärtus 30) ja kergliikluse loendusandmed data.eco-counter.com keskkonda. Kumbki voog ei ole foorijuhtimise ega OMNIA-ga liidestatud.

2.3.4 Kitsaskohad nõudluspõhise juhtimise jaoks

Nõudluspõhise juhtimise kitsaskohad on koondatud peatüki lõpu registrisse: liiklejagruppide tuvastuse lünk ja detektorisignaali kontrollerisisesus (F10) ning ühistranspordi prioriteediahela mittetoimivus ja koordineerimata prioriteedi kõrvalmõju (F11); loendusandmete 15-minutilisteks koondandmeteks summeerimist ja fiktiivset täiendamist käsitleb loendus- ja seiresüsteemide peatükk. Need tegurid on omavahel seotud: ka toimiva prioriteediahela korral vajab DLJ otsustusmootor liiklejagruppide lõikes eristatud ja usaldusväärset nõudlussisendit.

2.4 Fooriprogrammide muutmise protsess

Tallinna liiklusjuhtimise protsessid jagunevad nelja suurema töövoo vahel: fooriprogrammide haldus, häirete tuvastamine ja käsitlemine, operatiivne seire ning lepingu järelevalve. Töövoogude vaheline vastutusjaotus on kujunenud ajalooliselt ja on dokumenteeritud osaliselt. Tuumprotsesside (fooriprogrammi muudatus, häirete käsitlus, ühistranspordi prioriteediahel) ja tugiprotsesside (loendusandmete ahel, operatiivne seire) lihtsustatud protsessijoonised on esitatud aruande Lisa 3 – Lihtsustatud protsessijoonised.

Fooriprogrammide muudatused jagunevad kahele tasandile: (1) modelleerimispõhised muudatused, mille puhul valmistab uued programmid liiklusmudeli simulatsioonide alusel ette Liikuvusameti modelleerimismeeskond, ning (2) operatiivne sekkumine fooriprogrammidesse ristmiku liikluslahenduse muutumisel, mida korraldab Liikuvusameti foorisüsteemi spetsialist koostöös hooldus partneriga; ehitustöödega seotud ajutised muudatused tellib ajutise liikluskorralduse eest vastutaja otse hooldus partnerilt. Lihtsamaid otsemuudatusi olemasolevatesse programmidesse teeb Liikuvusameti modelleerija ilma täismodelleerimise vahesammuta. Fooriprogrammi uuendamises saab eristada kolme põhietappi: fooriprogrammi koostamine (näiteks modelleerimise tulemusel), foorikontrolleri seadistusfaili (konfifaili) ettevalmistamine vastavalt uuele programmile ning faili üleslaadimine kontrollerisse; kahte viimast tegevust võib lihtsustatult käsitleda ühe etapina. Kui modelleerimise tulemusel saadakse sobivad stsenaariumid mitmele ristmikule ja need otsustatakse kasutusele võtta, täiendatakse nende põhjal kontrollerite konfifaile. Uued programmid sisestatakse ja neid kontrollitakse esmalt simulatsiooniga; pärast edukat testimist laetakse failid kontrolleritesse ja süsteem pannakse reaalajas tööle. Suuremahuliste tööde tellimise hooldus partnerilt korraldab Liikuvusameti foorisüsteemi spetsialist. Meeskond seab liiklussõlmede ja koridoride prioriteedid aastaplaanis, kuid praktikas sekkub meeskond ressursipiirangu tõttu valdavalt konkreetse probleemi ilmnemisel (vt jaotis „Organisatsioonilised takistused ning ettepanekud lahendamiseks”). Töös on kasutusel kolm tarkvarapaketti: PTV VISUM makromudel (loodud 2021, mis hõlmab Tallinna linna ja

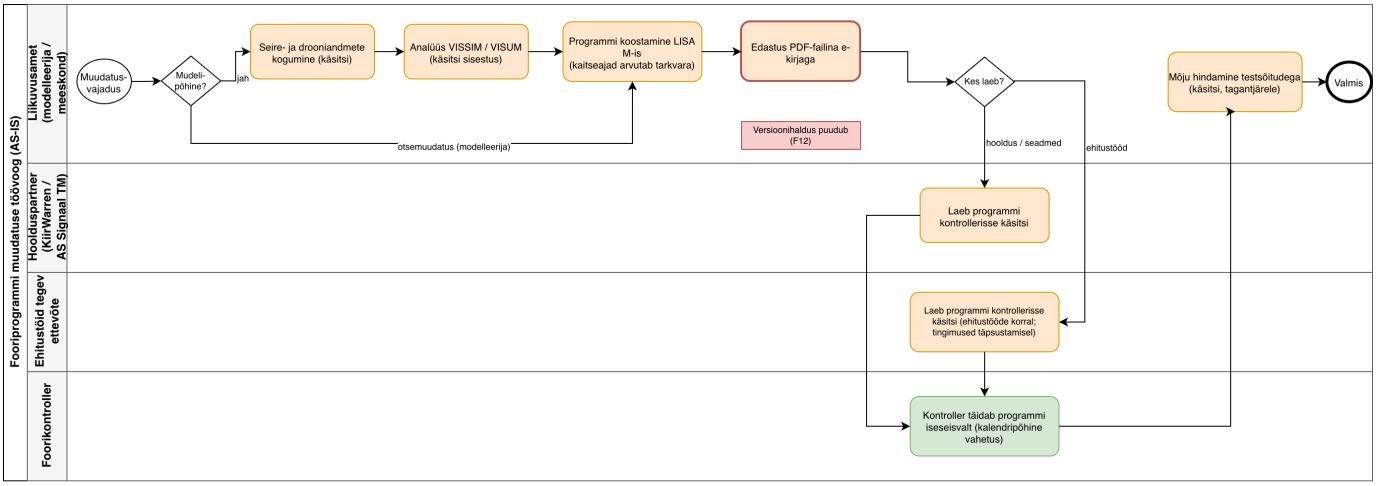
lähipiirkondi), PTV VISSIM mikromudel konkreetsete ristmike analüüsiks ning LISA M tarkvara fooriprogrammide kavandamiseks.

Liikuvusameti modelleerimismeeskond koostab fooriprogrammid LISA M-is, tuginedes Liikuvusameti enda kogutud seire- ja drooniandmetele (K-projekti ja Stratumi liiklusuuringuid modelleerimissisendina ei kasutata). Valmis programmi edastab modelleerimismeeskond PDF-failina hoolduspartnerile (KiirWarren), kes sisestab selle kontrollerisse käsitsi; ehitustööde käigus teeb programmimuudatuse ja laadimise ehitustöid tegev ettevõte (nt AS Signaal TM või Traffest) ehitushanke raames, ilma Liikuvusameti modelleerimismeeskonna sisendita. Edasine andmeedastusahel toimib samuti käsitsi (vt kitsaskoht F12).

Modelleerimismeeskond sisestab fooriprogrammi käsitsi VISSIM-i, kasutades referentsina foorisüsteemi spetsialistilt saadavaid PNG-väljavõtteid („fooritriibud”); vanemate ristmike puhul, mille programmi LISA projektifail ei kata, tuleb kehtiv programm võtta otse kontrollerist. Seireandmed laeb modelleerimismeeskond specialist.signaal.ee platvormilt alla käsitsi. *.sig-failide vahetus toimib VISUM-i ja VISSIM-i vahel; kontrollerisuunalise ekspordi kohta puudub Liikuvusametil kinnitatud tootjateave, mistõttu see ühendus on kasutusele võtmata. Sihtolukorras (TO-BE) võiks andmevahetus eelduslikult toimidakahesuunaliselt ahelas kontroller (ITC-3) - SWARCO ITC-PC - LISA+ - PTV VISSIM. VISSIM-i ja LISA M-i vaheline ühendusmoodul on testitud ja võimaldab ühesuunalist eksporti LISA-st VISSIM-i; käsitsi sisestamine püsib töövoos, sest mikromudeli koostamine on olemuslikult käsitöö ja liidese täielik kasutuselevõtt eeldab impordilahenduse väljatöötamist.

Modelleerimismeeskond hindab muudatuse mõju asukohapõhiste sõiduaegade mõõtmisega enne ja pärast muudatust ning võrdleb tulemusi ühistranspordi andmetega teisest süsteemist. Näiteks tegi meeskond Tammsaare ja Liivalaia projekti raames testsõidud, mida võrdles baasstsenaariumi kalibreerimise ja valideerimisega. Läbiv ja kirjalikult fikseeritud hindamismetoodika puudub. Testsõitudel põhinev hindamine on metodoloogiliselt korrektne, kuid ressursimahukas ja annab tagasisidet tagantjärele, mitte reaalajas.
Automatiseerituse piir jookseb protsessis selgelt: automatiseeritud on programmivahetus kontrolleris (kalendripõhine), kaitseaegade arvutus LISA M-is ja detektoripõhine faasipikendus kontrolleri lokaalses loogikas. Kõik ülejäänud sammud, sh programmide koostamine, kooskõlastamine, edastamine, kontrollerisse laadimine, testimine ja mõju hindamine toimuvad käsitsi (vt kitsaskoht F12).

Joonis 1. Fooriprogrammide seadistamise protsessijoonis



Legend: roheline = automaatne samm; oranž = käsitsi samm; punane piirjoon = probleemikoht (F/L/M viide kitsaskohtade registritele)

2.5 Andmete tekke- ja liikumisteed foorisüsteemis

Foorisüsteemi andmete tekke- ja liikumisteed jagunevad kolmeks kihiks. Andmed tekivad ristmikul: detektorid (induktiivsilmused, väljakutsenupud, video- ja termoandurid, radarid) annavad signaali kontrolleri I/O-kaardile, kontroller genereerib oleku- ja sündmusteated ning ADEC loendusandurid toodavad eraldi loendusvoo. Andmed liiguvad kolme kanalit pidi: kontrolleri olekuinfo sündmuspõhiselt STCIP kaudu OMNIA-sse, loendusandmed reaalajas seireplatvormile (15-minutilised koondandmed genereeritakse seireserveris andmetöötluse kiirendamiseks) ning kaamerapilt RTSP-vooga ristmikud.tallinn.ee keskkonda. Salvestus on hajutatud: OMNIA säilitab olekuandmeid 2–3 kuud FIFO-meetodil, seireplatvormil on kättesaadavad ka mitme aasta koondaruanded (T02–T06; andmed alates 2020.–2022. aastast), kuid dokumenteeritud säilitustähtaeg puudub, ning kaamerasalvestus on 21 päeva. Andmevoogude koondvaade kuue dimensiooni lõikes on tabelis 8 ning katkestuskohtade paigutus arhitektuuril on esitatud peatükis „Süsteemide koosmõju põhivaade” (jaotis „Katkestuskohad”).

Varundus. Varunduse korraldus on järgmine: OMNIA serveri varukoopia tehakse iga päev kell 18–20 ning Veritas NetBackup varundab kaks nädalat ühepäevase täpsusega, edasi kord nädalas . Seire.tallinn.ee rendiserveri varunduse korraldus vajab kinnitust. Kaamerasalvestiste varundamine on suure andmemahu tõttu otstarbetu ja tegu ei ole kriitiliste andmetega. Taastamist on kasutatud OMNIA installeerimise käigus ning ristmikud.tallinn.ee platvormil ühel korral.

2.5.1 Häirete tuvastamise ja käsitlemise töövoog

Häirete käsitlemine tugineb ühe spetsialisti rollile ja individuaalsele visuaalsele seirele. OMNIA alarmid on sisse lülitatud, kuid alarmiväljund on häirete käsitlemise töövooga sidumata, st automaatne teavitus hoolduspartnerile puudub. Häired avastab lisaks hoolduspartnerile Liikuvusameti järelevalvespetsialist, kelle põhiroll on KiirWarreni hoolduslepingu järelevalve ning kes jälgib selleks pidevalt OMNIA platvormi, FLIR CASCADE tunnelirakendust, infotabloode keskhaldust, kaamerate sidet ja teeilmajaamu. Töövõte pärineb ajast, mil sama spetsialist täitis operatiivjuhi rolli enne hoolduspartneri lepingut (vt kitsaskoht F13).

Häirete registrisse kannab kirjeid hooldusparter, kelle kohustusena on registripidamine hooldusleping sõnastatud; Liikuvusameti spetsialist edastab tuvastatud häired telefoni ja e-kirja teel, et säiliks kirjalik jälg. KiirWarreni hooldusleping järgi kuulub hooldusparteri töövoogu ka Opinfost tulnud muudatuste sisseviimine kontrolleritesse ning olukorra ülevaadete (pildid, tõendusmaterjalid) laadimine Opinfosse (vt aruande Lisa 1). Kuu lõpus koostab hooldusparter häirete registrist aruande, mille alusel Liikuvusamet arvestab sanktsioonid hooldusarvetelt maha.

OMNIA muudatuste logi puudub: süsteemist on tuvastamatu, milline osapool mida muutis, millal operaator sekkus ja kas hooldusparter reageeris lepingujärgselt. Foorilülituste tellimused ja regulaarhooldus liiguvad eraldiseisva Opinfo süsteemi (opinfo.tallinn.ee, arendaja Spintek) kaudu, mis on tellimuste ja lepingute täitmise andmekogu koos liikluskorraldusvahendite GIS-registriga. Liikuvusamet on tellinud häirete registri liitmise Opinfoga: aruande Lisa 1 esitatud arhitektuuriskeemi järgi sulgub senine häirete register 28.05.2026 ja häirete menetlus liigub Opinfo mooduliks. Liikuvusameti hinnangul on DLJ kontekstis esmatähtis läbipaistvus ja automaatne teavitamine; operatiivne käsijuhtimine jääb teisejärguliseks.

2.6 Andmekvaliteedi hindamise metoodika ja statistika

Foorisüsteemi andmekvaliteedi hindamise objekt on OMNIA kaudu liikuvad kontrollerite olekuandmed ja sündmusteated. Töövõtja hindab kvaliteeti kolme allika ristkasutusega: OMNIA sündmuslogid (sündmuslogi ajatemplid (fooriprogrammide vahetused, veateated) säilivad püsivalt; foori taktivahetuste detailandmed säilivad 2-3 kuud FIFO-meetodil, mis seab detailanalüüsi aknaks maksimaalselt kaks täiskuud), The Dude võrgumonitooringu logid IP-tasandi kättesaadavuse kohta ning hooldusparteri häirete registri kuuaruanded. Kolme allika võrdlus eristab võrgukihi katkestused rakenduskihi vigadest: kui kontroller on The Dude'i järgi kättesaadav, kuid OMNIA andmevoog puudub, paikneb viga rakenduskihis (näiteks STCIP adapteris).
Vigade tüpoloogia jaguneb neljaks: ühenduskatkestused (andmevoo puudumine perioodil, mil kontroller töötab), vale või puuduv andmeesitus, ajatemplivead (kontrolleri kellaaja hälve võrdluses NTP-etaloniga) ja topeltkirjed. Hindamisreegel järgib loendusanalüüsi loogikat: kontrolleri andmevoo katkestus on kahtlane, kui sama alamvõrgu naaberkontrollerid edastavad samal perioodil andmeid. Metoodika on laiendatav kogu linna foorisüsteemile, sest kõik 299 kontrollerit on ühendatud sama keskhaldusega ja logistruktuur on ühetaoline; sama päringuloogika rakendub iga kontrolleri kohta.

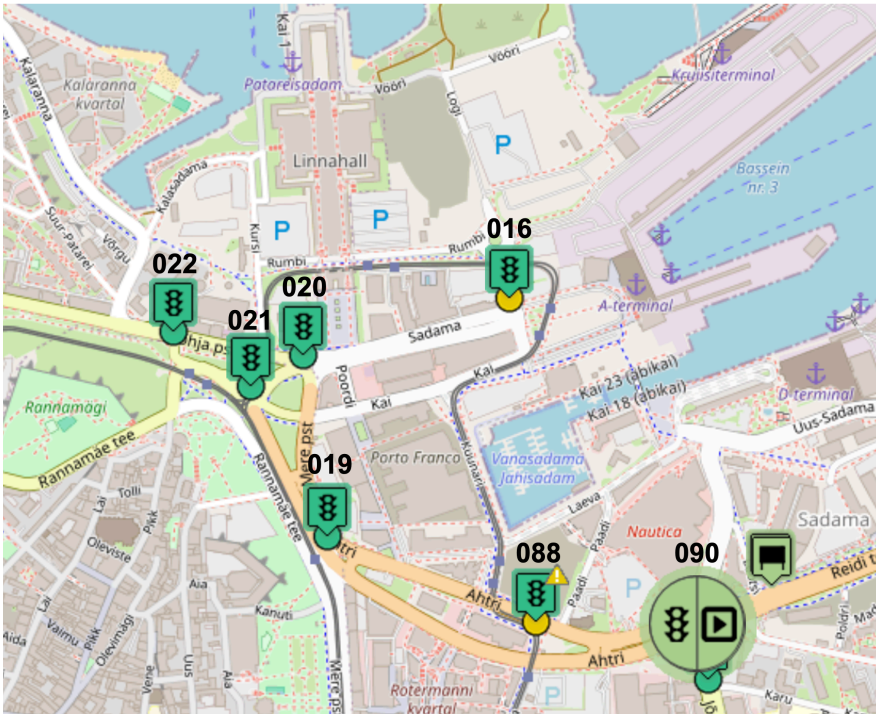
2.6.1 OMNIA ja kontrollerite vigade statistika - tüüp, sagedus, maht

Analüüsi käigus viidi läbi OMNIA ja foorikontrollerite vigade analüüs. Analüüsi fookusalaks ning kontrollerite valimiks oli sadama testala, mis hõlmab endas järgmiseid ristmike ning kontrollereid:

090 Ahtri-Lootsi-Reidi-Jõe; 088 Ahtri-Hobujaama-Paadi-Laeva; 022 Suur-Rannavärava-Kalasadama; 021 Põhja pst-Sadama-Kursi; 020 Mere-Sadama-Kai; 019 Mere-Ahtri ning 016 - Logi-Sadama-Kai (Joonis 2). Antud alal on varasemalt täheldatud ning eelpool kirjeldatud ühistranspordi prioriteedist tulenev probleem, kus kontrolleritevaheline ühendus ei ole 100%-liselt funktsionaalne. Kuigi testalal on SWARCO kontrolleritel omavahelise IP-põhise suhtluse võimekus olemas, lahendati antud ristmike 020 ja 021 vaheline suhtlus läbi sidekaabli füüsilise

elektrilise signaalina. Kontrollerikonfiguratsiooni analüüsimisel on varasemalt tuvastatud viga, mis tänaseks selgitamata põhjustel teatud tingimuste korral tingib olukorra, kus kontroller ei lülita õigele programmile. Olukorra lahendab kas uue trammiprioriteedi saatmine kontrollerile või hooldusparteneri manuaalne sekkumine ning taaskäivitamine.

Joonis 2. Analüüsi valimisse kuuluvad testala ristmikud ja foorikontrollerid



Teadaolevad veatüübid on kaardistati esmalt kvalitatiivselt. Ühenduskatkestusi põhjustavad STCIP adapteri teenusekatkestused (andmevoo kadu ka töötava võrgu ja kontrolleri korral), 4G-side ebastabiilsus ja SHDSL-liinide rikked. Salvestuslünki tekitavad Windows Update'i öised taaskäivitused ja Time Machine'i katkendlik töö alates 2019. aastast. Ajatemplivigade allikas on kontrollerite kellaaja kuni 5-sekundiline hälve.

Testala foorikontrolleritel logide analüüs hõlmas endas 1 206 veasündmust. Analüüsi tulemusel kahel kontrolleril (019, 020) vigu ei registreeritud, kuid ülejäänud viie kontrolleri logide põhjal jaotuvad vead selgelt. Ligi kaks kolmandikku vigadest on seotud kontrolleri detektorite ON/OFF-riketega ning ligi viiendik (18,7%) kontrollerite taaskäivitustega. Vigade päritolu järgi tekib valdav osa vigadest kontrolleri ja anduri tasandil (92,7%), mitte keskplatvormi töötluses ega sidekanalis, sest logide põhjal tekkinud kommunikatsioonivigade osakaal jääb alla 2%. Andmete usaldusväärsus on hea: täpseid topeltkirjeid on 1,6% ja klassifitseerimata jäi 0% kirjetest. Kontrollerite logiväljavõte täiendab seda kvalitatiivset pilti mõõdetava jaotusega. 1 206 sündmust jagunevad seitsmesse tüüpi järgmiselt.

Tabel 4. Kontrolleri vigade jagunemine

Veatüüp	Sündmusi	Osakaal	Veakood
Detektori rike (ON/OFF failure)	814	67,5%	1829 „Det Logic has an ON failure“
Kontrolleri taaskäivitus/ error reset	225	18,7%	00-002-001; 3003
Safety unit viga	66	5,5%	09-004-007;19-001-001
Signaalgrupi viivitus	65	5,4%	5030 „Logical group delayed“
Side/protokolliviga	21	1,7%	FBI/501 timeout
Toitepinge rike (Mains/PED fault)	13	1,1%	„Safety 1A: Mains fault“
Vigane plaanivahetus	2	0,2%	„Non-valid plan“

Kontrollerite tasandil domineerivad selgelt detektorite rikked. Igast kolmest sündmusest kaks on seotud detektori ON- või OFF-rikkega. Üks veakoodidest (1829 - Det Logic 5) annab üksi 655 esinemist ehk üle poole kõigist detektoririketest. Probleem ei ole hajus, vaid koondub konkreetsete detektorisilmuste külge. Olekuväljade analüüs näitab, et rikked on valdavalt vahelduvad, mitte püsivad: 426 tekkinud sündmusele vastab 387 taastust. See näitab olukorda, et viga tekib otseselt detektoris, kui see korduvalt välja langeb ja taastub.

Kontrollerite ja detektorite vigade sagedus seob vead liiklustsükliga. Detektoririketest 45% tekib hommikustel ja õhtustel tipptundidel (kella 07–09 ja 16–18), tippkellaaegadega 16:00 (88 sündmust) ja 18:00 (79 sündmust). DLJ kontekstis on see oluline tähelepanek, kus vead tihenevad just siis, kui dünaamiline juhtimine vajaks kõige usaldusväärsemat detektorisisendit.

2.6.2 Vigade päritolu - kesktöötlus, kommunikatsioon, riistvara

Tuvastatud vead jagunevad kolme tekkekihi vahel. Kesktöötluse kihis tekivad salvestuslüngad serveri taaskäivitustest ja Time Machine'i ressursipuudusest. Kommunikatsioonikihis tekivad katkestused STCIP-adapteri teenusest, 4G-sidest ja füüsilise võrgu riketest; vanemate põlvkondade kontrollerid (EC1, ITC2, ITC2b) kaotavad adapteri rikke korral keskhaldusega kontakti tervikuna, kuid jätkavad lokaalselt iseseisvat töötamist. Riistvarakihi vigade kohta keskne statistika puudub, sest detektorisündmused jäävad kontrolleri lokaalseks loogikaks ega salvestu OMNIA-sse.

Just selle viimase kihi muudab kontrollerite logiväljavõte nähtavaks. Kuna detektorisündmus OMNIA-sse ei jõua, on kontrolleri lokaalne logi ainus koht, kus riistvarakihi vead üldse mõõdetavaks muutuvad. Väljavõtte jaotus kinnitab kvalitatiivset hinnangut: valdav osa logitud vigadest pärineb kontrolleri ja anduri tasandilt, mitte sidest ega keskusest. Kõige sagedasem detektoriviga on seotud kontrolleri seadistusparameetriga: konfiguratsioonis on 1-minutiline piir ja kui sõiduk hõivab andurit sellest kauem, tekib logisse veakanne. Tegemist on seadistustasandi, mitte süsteemse veaga, ning see on lahendatav parameetri korrigeerimisega.

Tabel 5. Kontrollerite vigade tekkekiht

Tekkekiht	Sündmuseid	Osakaal	Vea olemus
Riistvara ja püsivara (kontroller ning andurid)	1 118	92,7%	Detektoririkked, taaskäivitused, toitepinge
Kontrolleri loogika ja konfiguratsioon	67	5,6%	Signaalgrupi viivitused, vigased plaanivahetused
Kommunikatsioon keskhaldusega	21	1,7%	FBI/501 timeout

Kommunikatsioonivigade madal osakaal testalal ei viita asjaolule, et sidekatkestusi oleks vähe, see annab ülevaate, et kontroller logib peamiselt enda perspektiivist salvestatud katkestusi (timeout, ühenduse avamise ebaõnnestumine). STCIP-adapteri teenusekatkestus, mis tekib OMNIA serveri poolel ja mille puhul kontroller ise töötab edasi, ei pruugi kontrolleri logisse jõuda.

2.6.3 Andmete usaldusväärsus - vigaste kirjete osakaal, puuduvad andmed, topeltkirjed

Vigaste kirjete osakaalu, puuduvate andmete mahu ja topeltkirjete esinemise mõõtmist takistab OMNIA aruandlusvõimekuse piirang: aruandemootor võimaldab eelseadistatud vormide eksporti, kuid kasutaja oma päringute koostamiseks mootor puudub, mistõttu usaldusväärsuse mõõtmine eeldab logide väljavõtet halduri kaudu. Sellise väljavõtte tegimegi ja kontrollisime selle kontrolleri lokaalse logi vastu.
Ristkontroll näitas, et katkestusteta töö korral kajastuvad kontrolleri sündmused (nt detektorivead) üksüheselt OMNIAs, ilma dubleerimiseta. See vastavus ei ole aga tingimusteta. Kvalitatiivne kirjeldus tõi välja kaks olukorda, kus see üksühene seos katkeb, ja just need kaks ongi andmete usaldusväärsuse tegelikud kitsaskohad: sidekatkestused ja veakoodide ebaühtlus.

Puuduvad andmed - sidekatkestused. See on kõige olulisem andmete usaldusväärsuse kitsaskoht ja see on oma olemuselt vältimatu: sidevõrgus tekivad katkestused normaalse töö osana. Probleem ei ole katkestus ise, vaid taastumise loogika. Sidekatkestuse ajal salvestab kontroller näiteks fooritriibud lokaalselt (ainult STCIP-protokollis), kuid kui side taastub, OMNIA ei lae OMNIA katkestusaegseid andmeid tagant järele keskhaldusesse. Tagajärjeks on OMNIA andmestikku jääv auk täpselt katkestuse kestuse ulatuses, samal ajal kui kontrolleris on osa andmeid alles. See lõhub üksühese vastavuse: katkestusperioodil on kontrolleri logi täielikum kui OMNIA andmestik.
Andmete taastatavus sõltub kontrolleri põlvkonnast. Uuemate ITC-3 kontrollerite puhul on võimalik paari nädala taguseid andmeid taastada; vanemate ITC-2 kontrollerite puhul tagantjärele taastamine ei õnnestu. See seob andmekvaliteedi otse riistvara elueaga: vananev kontrolleripark tähendab, et osa sidekatkestuse-aukudest on praegusel hetkel jäädavad.
Puuduvad andmed - FIFO-kustutus. Teine süstemaatiline mõjur on FIFO-meetod, mis kustutab 2-3 kuust vanemad andmed jäädavalt. See on väljavõttes otse nähtav: pikema vaatlusperioodiga kontrollerite varasemad kirjed on hõredad, sest vanemad kanded on kustutatud. Erinevalt sidekatkestustest mõjutab FIFO kogu süsteemi ühtlaselt ja piirab võimet hinnata DLJ otsuste kvaliteeti tagasiulatuvalt, sest pikemat ajaloolist võrdlusbaasi ei säili.
Kaduvad kirjed - veakoodide ebaühtlus. Eraldi usaldusväärsuse probleem kerkis esile uuele serverile üleminekul ja see puudutab vigaste kirjete tekkemehhanismi. Kui kontrolleri konfiguratsioonis määratud veakoodi tüüp ja OMNIA oodatav veakoodi tüüp ei langenud kokku,

kadus kontroller iga vea korral OMNIA-st (staatus „hall"), kuigi fooritriibud kontrolleris töötasid. Veakoodide edastamine on kontrollerite vahel ebaühtlaselt määratud, st osa ITC-3 kontrollereid edastas ITC-2 koodistikus veateateid, mida OMNIA uus versioon enam ei aktsepteeri. Praeguseks on uuemad seadmed ühtlustatud: kõik ITC-3 kontrollerid edastavad oma originaalset veakoodistikku. See näitab, et andmete usaldusväärsus ei ole staatiline omadus, vaid eeldab pidevat haldust ja kontrolleripargi ühtlustamist. Koodistiku lahknevus muudab veateate suure mõjuga veaks, kuna kaob nii veainfo kui ka kontrolleri nähtavus keskhaldusest.

2.7 Foorisüsteemi ja keskhalduse kitsaskohtade koondvaade

Peatükis tuvastatud kitsaskohad on koondatud siia registrisse tunnustega F1–F13; sisutekst ja 7. peatüki koondkäsitlus viitavad nendele tunnustele. Iga kirje esitab töövõtja kolmel tasandil: olukord, põhjus ning mõju sihtolukorrale. Maandamismeetmed koondab peatükk „Hetkeolukorra kitsaskohad ning maandamine".

F1. STCIP adapteri ebastabiilsus.

Olukord: STCIP adapter, mis tõlgib vanemate kontrollerite suhtlust, töötab OMNIA serveril Windowsi teenusena ja katkestab vahel suhtluse, mistõttu OMNIA kaotab andmevoo kontrolleritelt ka siis, kui võrk ja kontroller ise töötavad; taastamiseks on vaja operaatori sekkumist (AS-IS kaardistus (aprill 2026)). Teenuse mittefunktsionaalse töötamise diagnoosimist raskendab asjaolu, et katkestuse ajal ei kuva serveri teenuste nimekiri vastava aadressi pakutavat teenust.

Selgitus: adapter on serveril töötav eraldiseisev tarkvarakomponent (erinev ristmiku Linux-põhisest STCIP-ruuterist); katkestuste taust on platvormi ülesehituses - OMNIA on rajatud Windowsi keskkonda paljude aja jooksul lisandunud eraldiseisvate teenustena ja serveri protsessori ressursi nappus süvendab katkestusi. Teatud perioodidel täidavad serveri adapterid saadaoleva arvutusvõimsuse, mis avaldab otsest mõju adapterite töö stabiilsusele. Hoolduspraktika kogemuslik hinnang seob ebastabiilsuse kasvu OMNIA tarkvara ning serveri versioonide ning ka hiljutise serveri vahetusega: varasem server asus linna seadmeruumis ja Liikuvusameti haldusalas ning oli hinnanguliselt stabiilsem, kui täna kasutusel olev Tallinna Digiteenistuse haldusalas olev serverilahendus. Viimase osas on hoolduspraktika tähelepanek, et muuhulgas Windowsi viirustõrjetarkvara väljalülitamisega adapteri töö stabiliseerub; viirustõrje püsiv väljalülitamine on infoturbe kaalutlustel välistatud, mistõttu lahendus tuleb leida serveri ressursi ja konfiguratsiooni tasandil. Viimastel kuudel on vahetatud operatsioonisüsteem Win25 pealt Win19 peale (paigaldatud eelmise põlvkonna süsteem) ning seeläbi saavutatud parem stabiilsus.

Mõju: DLJ otsustusmootor eeldab katkematut masinloetavat olekuvoogu; adapteri rike tekitab pimealasid, millele tuleb sihtlahenduse väljatöötamisel lahendus leida.

F2. Vanemate kontrollerite proxy-sõltuvus.

Olukord: EC1, ITC2/ITC2 mini ja ITC2b kontrollerid sõltuvad STCIP adapterist ja kaotavad adapteri rikke korral kontakti keskhaldusega.

Selgitus: nende põlvkondade kontrollerid suhtlevad STCIP-ga vahendatult, adapteri kaudu. Hoolduspraktika hindab ITC2 põlvkonna riistvaraplatvormi liidestatavust adaptiivsete juhtprogrammidega madalaks; koos SHDSL-võrguseadmete ning selle konfiguratsiooni- ning

tootjasõltuvustega toetab see põlvkonna väljavahetamise eelistamist. Hoolduspartneri hinnangul on tootjatugi vanemate põlvkondade adapterite osas ajas vähenenud ning kõige uuemad kontrollerid (ITC-3) toetavad kõige rohkem erinevaid protokolle, sh STCIP, RSMP, OCIT

Mõju: masinloetava reaalajaliidese laiendamine kogu võrgule eeldab kas adapteri töökindluse tõstmist või vanemate kontrollerite väljavahetamist; see määrab II etapi skoobi. Väljavahetamisega kaasneks ühtlasi võimalus loobuda SHDSL-vaskkaablipõhisest sidest; sellise ülemineku mõju ja riskid vajavad hindamist II etapi ettevalmistuses.

F3. Kellaaja sünkroniseerimise hälve.

Olukord: kontrollerite kellaajad erinevad.

Selgitus: kontrollerid küsivad kellaaega eri allikatest ning sünkroniseerimisahel töötab kohati ebastabiilselt.

Mõju: 72- või 90-sekundilises tsüklis viib ajahälve koridori rohelise laine sünkroonist välja, mistõttu koordineeritud juhtimine kaotab täpsuse, mis on DLJ toimimise eeldus.

F4. 4G-side monitooringu pimeala.

Olukord: 4G-ühendusega kontrolleri sidekatkestus ei pruugi The Dude monitooringus välja paista - seade näib kättesaadavana ka katkestuse ajal, kuigi paikneb heas levipiirkonnas ja katkestusi esineb.

Selgitus: monitooring kontrollib IP-tasandi kättesaadavust; 4G puhul võib IP-tasand näida stabiilsena ka siis, kui rakenduskihi andmevoog on katkenud.

Mõju: usaldusväärne reaalajajuhtimine eeldab katkestuste automaatset tuvastamist; pimeala varjab andmelünki.

F5. STCIP spetsifikatsiooni sõltuvus tarnijast.

Olukord: STCIP täielik sõnumisisu ja Tallinna paigalduse versioon asuvad SWARCO valduses ning jäävad Liikuvusameti käsutusest väljapoole.

Selgitus: protokoll on SWARCO äriline litsentsitoode - spetsifikatsioon avaldati 2003. aastal litsentsitava materjalina ja täielikku sõnumisisu tootja avalikult ei jaga.

Mõju: masinloetava liidese ehitamine DLJ platvormile eeldab protokolli täpset tundmist; selle puudumisel sõltub integratsioon SWARCO vahendusest.

F6. Koridoritasandi adaptiivvõimekuse sõltuvus Smart Corridori paketist.

Olukord: ITC2.5 ja ITC3 kontrollerite koridoritasandi adaptiivvõimekus on riistvaras olemas ning selle kasutuselevõtt eeldab SWARCO eraldi litsentsitavat tarkvarapaketti Smart Corridor.

Selgitus: SWARCO litsentsipoliitika eraldab riistvara võimekuse ja tarkvarapaketi; Smart Corridor tarkvarapaketti Tallinn ei ole soetanud ja selle soetamine kuulub Liikuvusameti otsustusruumi.

Mõju: adaptiivse koridorijuhtimise rakendamine eeldab kas selle paketi soetamist või samaväärset DLJ-lahendust.

F7. OMNIA programmaatiline API-juurdepääs on suletud.

Olukord: API-de aktiveerimise eest küsib SWARCO eraldi tasu; veebiliides ja eelseadistatud aruannete eksport toimivad, kuid avatud API kiht on aktiveerimata.

Selgitus: avatud API on SWARCO litsentsipoliitikas eraldi tasustatav toode.

Mõju: masinloetav liidestus DLJ platvormiga on takistatud; tabel 9 paigutab takistuse P1-prioriteeti.

F8. OMNIA salvestuse ja ajaloolise andmestiku katkendlikkus.

Selgitus: server töötab Windowsi keskkonnas paljude aja jooksul lisandunud teenustega ja arvutusvõimsus jääb 299 kontrolleri olekuandmete reaalajas salvestamiseks väikeseks; FIFO kustutab vanemad andmed jäädavalt.

Mõju: DLJ-le vajalik ajalooline andmestik on lünklik ja lühike ning otsuste valideerimine ja liiklusmustrite modelleerimine tugineb piiratud perioodile.

F9. OMNIA litsentsi haldusahel käib vahendajate kaudu.
Olukord: kasutuslitsents on vormistatud AS Signaal TM nimele ja otsesuhtlus SWARCOga käib hoolduspartneri vahendusel (vt jaotis „Keskhaldusplatvormi OMNIA roll”).
Selgitus: tarkvara soetati algselt Signaali kaudu Reidi tee ehituse raames ja litsentsi haldusõigus jäi tarnijaahelasse.

Mõju: Liikuvusameti otsuste kiirus SWARCO arenduste tellimisel on piiratud; iga liidestus- ja arendusotsus läbib vahendajat.

F10. Liiklejagruppide tuvastuse lünk ja detektorisignaali kontrollerisisesus.
Olukord: kontroller eristab nõudlust kahe liiklejagrupi tasandil (sõidukid ja jalakäijad); jalgratturite ja kergliikurite reaalajas tuvastus puudub ning detektorisündmused ei salvestu keskselt.
Selgitus: detektorisignaal jääb kontrolleri lokaalseks loogikaks ja kergliikluse loendurid töötavad foorisüsteemist eraldi ahelas.

Mõju: adaptiivne juhtimine ei saa eri liiklejagruppide nõudlust tasakaalustada ning nõudlusandurite rikked jäävad mõõtmata.

F11. Ühistranspordi prioriteediahel on mittetoimiv ja koordineerimata.

Olukord: 49 seadistatud prioriteedipunktist töötab 0 (seadmete arv ja toimivus vajavad tellijaga ühtlustamist (vt jaotis „Ühistranspordi prioriteediahel”); prioriteedi aktiveerimine ilma naaberristmike koordineerimiseta on nt testala piirkonnas tekitanud ummikuid ning kontrolleritevaheline koordineerimine (AS-IS olukorras foorikontrolleri tavaline I/O-signaal, mitte X-Line liides) jäi lõpule viimata.
Selgitus: osa seadmeid on välja lülitatud või paikneb Liikuvusameti hinnangul prioriteedi toimimiseks ebasoodsates asukohtades, prioriteedihierarhia on määratlemata ja kontrolleritevaheline koordineerimine seadistamata.

Mõju: ühistranspordi eelistus (DLJ võtmemõõdik) jääb realiseerimata ning koordineerimata prioriteet võib liiklusolukorda tervikuna halvendada.

F12. Fooriprogrammide paigaldusahel on käsitsi ja versioonihalduseta.

Olukord: programm liigub PDF-failina hoolduspartnerile, kes laeb selle kontrollerisse käsitsi; keskne versiooniajalugu puudub ja vanemate ristmike kehtiv programm on loetav ainult kontrollerist. Ehitustööde käigus teeb programmimuudatuse ja laadimise teatud juhtudel ehitustöid tegev ettevõte.
Selgitus: OCIT-VD liides on tarkvaras olemas, kuid kasutusele võtmata; töökorraldus on kujunenud ajalooliselt.

Mõju: programmimuudatus võtab päevi ning DLJ stsenaariumipõhine programmivahetus eeldab masinloetavat ja logitavat ahelat.

F13. Häirete käsitlus ja muudatuste jälgitavus tuginevad käsitööle.

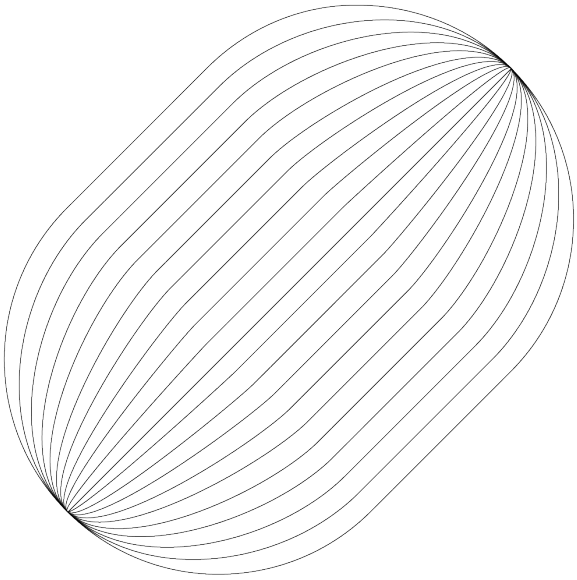
Olukord: OMNIA alarmiväljund on häirete töövooga sidumata ja häired avastab Liikuvusameti järelevalvespetsialist või hoolduspartner visuaalselt; OMNIA muudatuste logi puudub ning häirete registrisse saab kirjeid teha ainult hoolduspartner.
Selgitus: töövõte pärineb hooldusLepingu eelsest ajast ja registripidamine on lepingus hoolduspartneri kohustus; häirete registri liitmine Opinfoga on töös.

Mõju: aeg häirest sekkumiseni võib ulatuda tundideni ja sekkumiste jälgitavus puudub; DLJ eeldab automaatset teavitust ja auditeeritavat logi. Mõju leevendab hooldusLepingus kehtestatud sanktsioonide pakett: veatüüpide kaupa on määratud rikke kõrvaldamise tähtajad, mille ületamisel rakendub hoolduspartnerile rahaline sanktsioon (hooldusLeping); häire tuvastamise aeg võib haldusplatvormi tõrke korral siiski pikeneda.

F14. Staatiline kalendripõhine juhtimisrežiim ja fikseeritud roheline laine.

Olukord: valdav osa fooriprogramme töötab fikseeritud tsükliga (72 ja 90 sekundit) ning programmivahetus toimub nn kalendripõhiselt; rohelise laine koridorid (Vabaduse pst, Liivalaia–Pärnu mnt, Tammsaare tee, Tartu mnt, Merivälja tee) töötavad programmides fikseeritud offsetiga.
Selgitus: programmid on ajalooline pärand ja nende ümbervaatamine toimub reageerivalt, konkreetse probleemi ilmnemisel. Adaptiivse juhtimise katsetus Reidi teel (UTOPIA) andis mitterahuldava tulemuse: teoreetiline arvutuslik tsüklipikkus 280 sekundit läks tegeliku liiklusolukorraga vastuollu, tsüklit lühendati kasutuse käigus poole võrra 140 sekundini ning vastuseisu tekitas D-terminali sadamavoo eelistamine Reidi tee igapäevasele voole.

Mõju: reaalajas kohandumine liiklusolukorraga puudub ning see on DLJ tuumprobleem; UTOPIA õppetunnid (tsüklipikkuse realistlikkus, liiklejagruppide tasakaal) määravad TO-BE lahenduse disainipiirid.



Loendus- ja seiresüsteemide analüüs

3 Loendus- ja seiresüsteemide analüüs

Dünaamiline liiklusjuhtimine teeb otsuseid andmete põhjal: sisendandmed peavad olema usaldusväärsed, pidevad ja reaalajas kättesaadavad. Tallinna praegune loendusinfrastruktuur jääb nendest nõuetest allapoole kolmes punktis: võrk on geograafiliselt hõre, andurite tööoleku automaatne seire puudub, mistõttu anduririke selgub alles andmete käsitsi väljavõtmisel ja integratsioonivõimekus on piiratud; seadmete tehniline seisukord on nende kõrval teisejärguline tegur. DLJ kontekstis on oluline eristada loendusandureid (fikseerivad sõidukite arvu) ja seireandureid (registreerivad sõiduki kohaloleku reaalajas foorikontrolleri jaoks): DLJ otsustusmootor vajab mõlemat tüüpi sisendit.

3.1 Loendussüsteemi arhitektuur ja andmevoo katkestuskohad

3.1.1 ADEC-loendussüsteem

Tallinna loendusinfrastruktuur põhineb ADEC-süsteemil, mis on kasutusel alates 2011. aastast. Linnas on 48 püsiloenduspunkti; seire.tallinn.ee-s on registreeritud 50 seirepunkti, mille hulgas on ka asendatud ja testkirjed. Loendusandurite koguarv erineb allikati: hankedokumendi tehnilises kirjelduses (HD p. 1.3) on 426 ADEC TDC3-5 andurit, hooldusleping Lisas 1 (rida 11) on hooldatavate andurite arv 440 ning AS-IS kaardistuses nimetatud 452 sisaldab ka anduriüksusi, mille hooldus käib väljaspool hooldus partneri lepingut.

Anduri rike ilmneb alles siis, kui andmeid kasutama hakatakse ja kvaliteet ei vasta ootusele. Automaatne tööoleku seire puudub, mistõttu töötavate andurite tegelik arv on teadmata. (vt kitsaskoht L1)

ADEC-süsteem on ületanud oma algse kasutusotstarbe piirid. Süsteem valiti liikluskorralduse jaoks, kus ühelt sõidurajalt liigutakse ühte kindlasse suunda; ristmike rekonstrueerimise järel võimaldab uus liikluskorraldus samalt sõidurajalt liikuda kahes või kolmes suunas. Andur fikseerib sõiduki enne manöövrit ega erista, millisele rajale sõiduk edasi suundub. See muudab loendusandmed ebatäpseks just seal, kus täpsus on kõige olulisem. (vt kitsaskoht L2)

Erandlik näide on Haabersti ring, kus on nii sisenemis- kui ka väljumisandurid, mis võimaldab täpsemat loendusinfot liiklusgruppide lõikes. Enamikul ristmikel see võimekus puudub. Peamised rikkepõhjused on sidekatkestused (eriti Lasnamäe linnaosas, kus seadmed kasutavad eelkõige 4G-ühendust), elektrikatkestused ning füüsilised kahjustused, kus kõrged veosed andureid riivavad.

Andmevoo katkestuskohad paiknevad ahela kolmes punktis. Esimene on anduri ja puhverarvuti vaheline lõik, kus katkestusi põhjustavad sidekatkestused (eelkõige 4G-ühendusega Lasnamäel), elektrikatkestused ja füüsilised kahjustused; puhverarvuti leevendab lühikesi katkestusi, salvestades andmed lokaalselt. Teine on puhverarvuti ja keskserveri vaheline edastus, mille rike ilmneb alles andmete kasutamisel, sest automaatne seire puudub (vt kitsaskoht L1). Kolmas katkestuskoht on platvormi ja kasutaja vahel: väljundvood teistesse süsteemidesse puuduvad ning iga kasutus eeldab käsitsi allalaadimist (vt kitsaskoht L6).

Seireplatvorm specialist.signaal.ee on kasutusel alates 2012. aastast. Platvormil puuduvad integratsioonid teiste süsteemidega ja rikete automaatne teavitamine; koondaruannete genereerimise mootor puudub, mistõttu kasutaja laeb vajalikud andmed alla käsitsi. Sarnane

piirang kehtib OMNIA puhul: eelseadistatud aruandevormide eksport on toetatud, kuid kasutaja oma aruandevormide koostamiseks mootor puudub. (vt kitsaskoht L6)

3.1.2 Liikluskaamerad ja kergliikluse loendus

Tallinnas on 251 aktiivset liikluskaamerat (AS-IS kaardistus, aprill 2026). Liikluskaamerate koguarv erineb allikati: hankedokumendis on 235 liikluskaamerat (seis 13.10.2025); koos P&R-i ja pollarikaameratega on hooldatavate kaamerate arv hoolduslepingu järgi 250 (HL Lisa 1, rida 13). Salvestusperiood on 21 päeva alates 23.01.2024; 09.11.2023 seisuga oli see 18 päeva (ristmikud.tallinn.ee uudised;), sest salvestusperioodi piirab Digiteenistuselt kasutamiseks eraldatud mälumaht. Liikuvusameti sihtväärtus salvestusperioodile on minimaalselt 30 päeva.
Kaamerapargist 95% on Dahua Technology seadmed ja 5% Politsei- ja Piirivalveameti võrgus paiknevad RTSP-analoogseadmed, kusjuures jaotus on muutumas: osa kaameraid on PPA võrgust ümber tõstetud ning tänaseks on neid alles kaks (vt aruande Lisa 1). PPA võrgus paiknemine raskendab haldust ja põhjustab kaamerapildi hangumisi PPA võrgu häirete ajal. Kaamerapõhine loendus on katsetamisel: testis on Axis-kaamera koos automaatse näohägustusega isikuandmete kaitseks ning Data from Sky lahendus. (vt kitsaskoht L7)

Jalgratturite loendus toimub kord aastas käsitsi kuni 15 ristmikul. Tallinn on teinud regulaarseid jalgratturite loendusi alates 2021. aastast; metoodika ja tulemused on koondatud kokkuvõttes „Tallinna rattaloendused 2021–2023“ (uuringud.tallinn.ee). Linnas on seitse Ecocounter püsiloenduspunkti (data.eco-counter.com), mille andmed on statistilise otstarbega, st. liiklusjuhtimise otsuseid nende põhjal ei tehta. Kergliikurite (tõukerattad, pisimopeedid) loendust eraldi ei toimu. (vt kitsaskoht L8)

Liikuvusamet kavandab DLJ projekti raames soetada kaamerapõhised loendusseadmed kergliiklejate loenduseks; tarkvara hankeotsus on kavas 2026. aasta III kvartali lõpus või IV kvartali alguses. Sihtolukorras peavad fooriprogrammid arvestama kõigi liiklejagruppidega, mistõttu tuleb eri gruppide loendusandmed siduda foorisüsteemiga.

3.2 Ühistranspordi andmekihi integreeritus

Ühistranspordi prioriteedisüsteem on liiklusjuhtimise tulemuslikkuse võtmemõõdik ja praeguse süsteemi selgeim puudus: 49 seadistatud prioriteedipunktist töötab 0. (vt ptk 2 kitsaskoht F11)

Prioriteedisüsteem toimib kahel tasandil. Lokaalne tasand: andur saadab kontrollerile otsese väljakutsesignaali. Tsentraalne tasand toimib zir24.pl keskkonna kaudu, mis töötleb ühistranspordi asukohainfot ADAM-võrguseadmete abil ja edastab signaali kontrolleri IO-kaardi kaudu. Osa prioriteediseadmeid paikneb Liikuvusameti hinnangul prioriteedi toimimise seisukohast ebasoodsates asukohtades (AS-IS kaardistus) ja osa on välja lülitatud. Põhiprobleem tekib ristmikel, kus bussisuunad ristuvad ja prioriteedi andmise hierarhia on määratlemata: süsteemil puudub reegel, kellele prioriteet anda.
Reaalaja asukohad liiguvad ahelas pardaarvutist (Ridango platvorm koos Thorebi positsioneerimisega) zir24.pl keskusesse ja prioriteeditaotlused sealt ADAM-võrgurelee kaudu kontrollerini; kummagi voo liidestus teiste süsteemidega piirdub selle ahelaga - keskhaldusesse ega loendussüsteemi need andmed ei jõua.

3.3 Loendussüsteemi andmekvaliteet

3.3.1 Loendusandurite vigade statistika - tüüp, sagedus, maht

Hankedokument nõuab töövõtjalt loendussüsteemi andmekvaliteedi hinnangut, mis tuvastab ja süstematiseerib neli komponenti: loendusandurite vigade statistika (tüüp, sagedus, maht), vigade päritolu, andmete täpsuse ja katvuse (ajaintervallide ja geograafilised lüngad) ning mõju liiklusanalüüsidele. AS-IS kvalitatiivne kaardistus tuvastas, et andurite automaatne tööoleku seire puudub ja rikked ilmnevad alles käsitsi väljavõttel.

See andmeanalüüs annab leiule mõõdetava aluse: kvantifitseerib andmelünkade ja anduririkete ulatuse valimi piires ning näitab, kas olemasolevad loendusandmed on DLJ modelleerimissisendina usaldusväärsed.

Analüüsi ulatust piirab loendusandmete halduspraktika: mittelaekunud andmed täiendab seireplatvormi haldaja hooldusleping alusel agregeeritud või ajalooliste väärtustega, mistõttu osa andmelünki on lõpptulemuses varjatud ja lünkade tegelik maht jääb täpselt mõõtmata. Töövõtja kõrvutas kvalitatiivse kaardistuse tähelepanekuid kvantitatiivse andmepäringu ja -analüüsiga; täiendava kohtvaatluse ja videoanalüüsi jättis töövõtja töömahu tõttu eeluuringu ulatusest välja. Kalibreerimisprobleeme valimi piires ei tuvastatud; nende süstemaatiline hindamine eeldab võrdlusmõõtmisi (kohtvaatlus või droonimõõtmine), mis jäid eeluuringu ulatusest välja. (vt kitsaskoht L4)

3.3.2 Andmeanalüüsi metoodika ja valim

Andmelünkade ja anduririkete hindamiseks kasutas töövõtja T09 aruannet, mis annab 15-minutilise anduri- ja suunapõhise vaate. Oluline metoodiline tähelepanek: kui valida korraga mitu andurit, tagastab süsteem summeeritud tulemuse ja üksikanduri rike jääb tuvastamata. Seetõttu tegi töövõtja päringu iga ristmiku iga sõidusuuna ja iga anduri kohta eraldi.

Analüüs hõlmas viit nädalat (algusega 27.04, 04.05, 11.05, 18.05 ja 25.05.2026), üheksat ristmikku (MP33, MP47, MP12, MP01, MP05, MP34, MP48, MP13, MP31) ja kokku 128 andurit. Anduri kahtlase käitumise reegel: andur on kahtlane, kui selle väärtus on 0, samal ajal registreerib vähemalt üks sama suuna naaberandur ≥ 10 sõidukit 15 minuti jooksul ning kogu ristmiku koormus on samal ajal ≥ 150 sõidukit 15 minuti jooksul. Tingimus välistab olukorrad, kus null tuleneb ristmiku väikesest koormusest, mitte anduri rikkest.

3.3.3 Valimi piirangud

Valim hõlmas üheksat ristmikku süsteemi 49 aktiivsest seirepunktist (50 ID-st, millest üks on ajalooline duplikaat) ja koondus kesklinna ning sadama piirkonda: üheksast punktist kuus asub kesklinnas, kaks Põhja-Tallinnas ja sadamas ning üks Haaberstis. Lasnamäe ja Ida-Tallinn (9 aktiivset punkti) ning Lõuna-Tallinn (4 punkti) jäid valimist välja. Tulemused on seetõttu kogu võrgule üldistatavad piiratud ulatuses; geograafilist katvust käsitleb jaotis „Vigade päritolu ja geograafiline katvus”. Vigade päritolu (riistvara, seadistus, andmesidumine) jääb andmeanalüüsiga üheselt tuvastamata ja seda hindab töövõtja koos kvalitatiivse kaardistuse sisendiga. (vt kitsaskoht L9)

3.3.4 Andmeallikate kaardistus seire.tallinn.ee süsteemis

Osa seire.tallinn.ee süsteemis registreeritud seirepunktidest on ajaloolised kirjed: näiteks MP04 (Gonsiori–Laikmaa) ja MP06 (Pronksi–Narva–Jõe) on sisuliselt asendatud uuemate punktidega MP49 (Gonsiori–Laikmaa 2024) ja MP47 (Pronksi–Narva–Jõe 2023). AS-IS analüüsis tuleb seetõttu eristada aktiivselt kasutatavaid ja ajaloolisi seirepunkte; punktide koguarv süsteemis ei võrdu töötavate punktide arvuga.

Algandmed jagunevad kaheks: aruanded (T02–T10) ja toortabelid. Aruannete kasutatavus andurikvaliteedi hindamiseks sõltub ajalisest lahutusest (tabel 4).

Tabel 6. Seire.tallinn.ee genereeritud koondaruannete sobivus andurikvaliteedi seireks

Allikas/aruanne	Andmed, mida kuvatakse	Sobivus andurikvaliteedi hindamiseks
T02 / T03	Aasta / nädala keskmine ööpäevane liiklus, sõidukiliigid ristmiku kohta	Ei - andmed on liiga üldistatud, sobib üldise statistika koostamiseks
T05	Aasta sõidukiliikide ja nädalate lõikes	Osaliselt - Võimaldab teha täpsustusi sõidusuuna ja anduri osas. Sobib suurusjärkude hindamiseks anduri kaupa, kuid ajalahutus ei ole piisav lühikeste andmelünkade leidmiseks
T06	Ristmiku loendustulemuste aastakokkuvõte nädalate ja päevade lõikes	Osaliselt – Ülevaade päevapõhistest trendidest, mitte kriitilistest katkestustest
T07	Ristmiku loendustulemuste nädalakokkuvõte päevade ja tundide lõikes	Jah - kuupõhiseks seireks anduri kaupa
T08	Ristmiku tunni loendustulemused manöövrite kaupa	Piiratud - Kasulik sisse- ja väljasõitude ning manöövrite hindamiseks, kuid kasutajaliidese kaudu mahukaks analüüsiks ebamugav, sest päring tuleb teha tunni kaupa. Samuti ei ole üksikandur alati selgelt eristatav
T09	Nädala 15-min anduri- ja suunapõhine	Jah - Sobib kõige paremini andurikvaliteedi hindamiseks, sest annab 15-minutilise täpsusega anduri- ja suunapõhise vaate
T10	Ristmiku ühe päeva loendustulemuste kokkuvõte sõidukiliikide lõikes	Ei - Sobib sõidukiliikide päevase jaotuse vaatamiseks, kuid andmelünkade ja anduri töökindluse hindamiseks ei ole see

Seire.tallinn.ee toortabelitest on automaatse tööoleku seire seisukohast olulisim Mdet (andurite staatus, aktiivsus ja viimase sündmuse aeg), mille abil saab tuvastada mitteaktiivseid või aegunud viimase sündmusega andureid. Ddir seob loendusandmed konkreetse liikumissuuna ja anduriga ning Mp koondab seirepunktide nimed, koordinaadid ja IP-aadressid; MP_ID on keskne identifikaator, millega andmed süsteemis kokku seotakse. Serial kirjeldab andurite suhtlusprotokolle, IP-aadresse ja porte - andmekvaliteedi analüüsis see rolli ei mänginud, kuid tehnilise diagnostika ja andmete sidumise jaoks on see vajalik. Traffic24 annab päevase andmestiku anduri kaupa; kasutajaliideses saab andmeid vaadata, kuid suuremahuliseks analüüsiks on kasutatavus piiratud, sest mugav allalaadimisvõimalus puudub ja sidumine ristmikuga eeldab täiendavat seostamist. Event-tabeli (käsitsi registreeritud sündmused) viimane kirje pärineb 2017. aastast, mistõttu see rikkemonitooringu allikana ei toimi.

3.3.5 Anduririkete ja andmelünkade tulemused

Tabel 7. Anduririkete ja andmelünkade tulemused ristmike kaupa (viie nädala valim).

Ristmik	Andureid	Vigaseid intervalle	Pikemaid katkestusi	Hinnang
MP33 Suur-Ameerika–Liivalaia–Pärnu	16	7	0	Üldiselt töökindel, üksikud nullväärtused vaatlusandmetes
MP47 Pronksi–Narva–Jõe 2023	12	2 013	75	Tõsine probleem anduriga A4 (Narva LVS Tramm)
MP12 Paldiski–Ehitajate–Rannamõisa	27	57	0	Haabersti ringi andmestik üldiselt kasutatav
MP01 Endla–Sõpruse–Tulika	22	233	0	Ristmikul tuvastatud palju üksikuid anomaaliaid, kuid pikaajalised katkestused puuduvad
MP05 Endla–Koidu–Suur-Ameerika	8	10	1	Üks 1-tunnine katkestus (A2 Endla LSS 2)
MP34 Tartu–Liivalaia–Pronksi	18	5	1	Üks 1-tunnine katkestus (A15 Tartu VS 1)
MP48 Pronksi–Kunderi	2	0	0	Probleeme ei tuvastatud
MP13 Ahtri–Lootsi–Reidi–Jõe	16	5	0	Ristmikul tuvastatud üksikuid anomaaliaid, kuid pikaajalised katkestused puuduvad
MP31 Põhja pst–Kalasadama–Suur-Rannavärava	7	146	12	Probleemne andur A4 (Suur-Rannavärava VS 2)

Iseloomulik leid - MP47 (Pronksi–Narva–Jõe).
Andur A4 (Narva LVS Tramm) andis kogu analüüsiperioodil kogumahuks 0, samal ajal kui sama suuna teised andurid registreerisid liiklust. Nullväärtuse peapõhjus on anduri asukoht: tänava ümberehituse tulemusena jäi andur trammiteele, kus sõidukeid ei liigu. Leid kinnitas kvalitatiivses kaardistuses kirjeldatud mustrit, st. rike ilmneb alles andmete käsitsi väljavõtmisel ja sai kaardistuse käigus ka põhjuse: hoolduspartneri kinnitusel on tegu füüsilise rikkega. Trammiliiklus kahjustas loenduspunkti ADEC andurit korduvalt, mistõttu hoolduspartner eemaldas anduri; seirepunkti kirje jäi süsteemis aktiivseks ja genereerib jätkuvalt nullväärtusi (hoolduspartneri kinnitus, 05.06.2026). See osutab andmehalduse lüngale seadme elukaare ja andmekihi vahel: demonteeritud anduri kirje püsib süsteemis mõõtepunktina ja andmestik näib täielik, kuigi mõõtmist ei toimu. DLJ vaates peab seadme elukaare muudatus (paigaldus, eemaldamine, asendamine) jõudma andmekihti automaatselt. (vt kitsaskoht L5)

Teine oluline leid - MP31 (Suur-Rannavärava).
Andur A4 (Suur-Rannavärava VS 2) andis 12 pikemat kahtlast perioodi; pikim katkestus kestis 17 järjestikust 15-minutilist intervalli ehk 4 tundi ja 15 minutit. Korduvus eristab seda MP05 ja MP34 üksiktunnistest katkestustest.

Vastupidine kinnitus - Haabersti ring (MP12).
MP12 puhul pikki katkestusi ei ilmnenud: 57 üksikut kahtlast intervalli ja mitte ühtegi vähemalt tunnist järjestikust katkestust. See toetab tähelepanekut, et Haabersti ring on sisse- ja väljumisanduritega ristmik, mille andmestik on liiklusgruppide lõikes läbivalt kasutatav ja täpne. Suurimad viie nädala mahud olid suundadel Rannamõisa LVS, Ehitajate VS ja Paldiski LSS.

3.3.6 Vigade päritolu ja geograafiline katvus

Käesolev jaotis katab hankedokumendi loendus- ja seiresüsteemide nõuded, mis ei kajastunud üksnes rikete statistikas: vigade päritolu, geograafiline katvus, mõju liiklusanalüüsidele ning ühistranspordi andmekihi integreeritus.
Andmeanalüüs näitab, kus viga avaldub (milline andur, millal); päritolu vajab eraldi kinnitamist. MP47 A4 puhul sai päritolu kaardistuse käigus kinnituse: füüsiline rike ja eemaldatud andur (vt jaotis „Anduririkete ja andmelünkade tulemused"). Kvalitatiivne kaardistus nimetab seire.tallinn.ee andurite üldised rikkeallikad: sidekatkestused (eelkõige 4G-ühendusega Lasnamäe linnaosas), elektrikatkestused ning füüsilised kahjustused, kus kõrged veosed või trammiliiklus andureid riivavad. Tabelis 5 on andmeleiu ja päritolu seos.

Tuvastatud vead süstematiseeruvad viie tekkekategooria vahel järgmiselt. Andurite riistvara: MP47 füüsiline rike on kinnitatud juhtum. Seadmete paiknemine: kõrged veosed ja trammiliiklus kahjustavad andureid, mis paiknevad sõidukite liikumisalas, st. paigutus määrab kahjustuste riski. Andmeedastus: sidekatkestused, eelkõige 4G-ühendusega punktides. Tarkvara töötlus: fiktiivne andmetäiendus ja andmete sidumise vead, mis varjavad või moonutavad mõõtmistulemust (vt kitsaskoht L4). Välised tingimused: elektrikatkestused. Kalibreerimisprobleeme valimi piires ei tuvastatud; nende hindamine eeldab võrdlusmõõtmisi, mis jäid eeluuringu ulatusest välja.

Tabel 8. Tuvastatud leidude võimalik päritolu.

Leid	Andmeanalüüsi tähelepanek	Päritolu (kinnitatud või võimalik)
MP47 A4 kogu perioodi 0	Sama suuna naaberandurid registreerivad liiklust	Kinnitatud: füüsiline rike - trammiliikluse kahjustuste tõttu eemaldatud andur, mille kirje on süsteemis aktiivne (hooldupartneri kinnitus)
MP31 A4 korduvad katkestused	12 perioodi, pikim 4 h 15 min	Vahelduv sideprobleem või toitekatkestus
MP05 / MP34 üksiktunnine 0	Üksik, mitte korduv	Mööduv side- või toitehäire

Rikkeleidude geograafiline muster viitab pigem üksikandurite kui piirkondliku taristu või seadmepargi süsteemsele probleemile: P1-leid (MP47) ja P2-leid (MP31) asuvad mõlemad kesklinna idaservas, kuid nende vahetus läheduses on ka probleemivabu valimipunkte (MP48, MP34, MP13). Lasnamäe 4G-side hüpotees jääb selle valimiga kontrollimata, sest ükski Lasnamäe punkt valimisse ei kuulunud.

Registreeritud seirepunktidest paikneb 49 unikaalsel asukohal (MP06 ja MP47 jagavad koordinaate, samuti MP04 ja MP49). Koordinaadid kinnitavad, et asendused MP04→MP49 (Gonsiori–Laikmaa) ja MP06→MP47 (Pronksi–Narva–Jõe) toimusid samas asukohas, st. tegu on seadme uuendamisega, mitte katvuse muutusega.

3.3.7 Mõju liiklusanalüüsidele

Andmekvaliteedi probleemid moonutavad liiklusanalüüsi mitmel viisil. Kogu perioodi nullväärtus (MP47 A4) alahindab vastava suuna mahtu ning moonutab aasta keskmise ööpäevase liikluse (AKÖL) sagedust ning suunajaotust, mis kandub edasi makro- ja mikromudeli sisendisse. Tipptunni katkestused (MP31) nihutavad või kaotavad tipphetke väärtused, mis mõjutab tipptunni

määratlust ja prognoosi. Kuna modelleerimismeeskond koostab VISSIM-i ja LISA M-i sisendi käsitsi, jäävad need moonutused automaatselt tuvastamata ja vigane sisend jõuab modelleerimisse märkamatult.

Praktiline tagajärg: kvaliteedikontrollita võib mudel anda usutava, kuid faktiliselt vale tulemuse just nendel ristmikel, kus andur ei toimi. DLJ otsustusloogika seisukohast on see kriitilisem kui juhuslik müra, sest viga on süstemaatiline ja ühesuunaline. Sama moonutus kandub planeerimisotsustesse: ristmike ümberehituse ja fooriprogrammide muutmise prioriteedid tuginevad samadele loendusandmetele.

Hankedokument eeldab ka ühistranspordi andmekihi integreerituse hinnangut: kuidas reaalaja asukohad, graafikust kõrvalekalded ja prioriteeditaotlused teiste süsteemidega liidestuvad. Seda käsitleb jaotis „Ühistranspordi andmekihi integreeritus".

3.3.8 Järeldused loendusandmete kasutatavuse kohta

Loendusandmed on kasutatavad koos kvaliteedikontrolliga; valimi põhjal hindab töövõtja andmekvaliteedi keskpäraseks. Seadmed edastavad andmeid üldiselt korrektselt - vead tekivad eelkõige füüsiliste kahjustuste ja sidekatkestuste tõttu, mitte loendusloogikas. Eraldi kaalu annab halduspraktika, kus mittelaekunud andmed täiendatakse agregeeritud või ajalooliste väärtustega: see võimaldab üldist seirestatistikat, kuid varjab lünki ja lisab kvaliteedikontrollita kasutamisel ebatäpsusi. Osal ristmikel töötavad andurid stabiilselt (MP33, MP48, MP12, MP13), kuid vähemalt MP47 ja MP31 puhul on tuvastatavad konkreetsed andmekvaliteedi probleemid. Tabelis 7 on leiud klassifitseeritud teenuse osutamise kava prioriteediloogika järgi (P1 - vältimatu, P2 - kriitiline, P3 - oluline, P4 - parendus).

Tabel 9. Leidude prioriteetsus.

Ristmik/ leid	Prioriteet	Põhjendus
MP47 - A4 kogu perioodi nullväärtused	P1	Üks andur ei toimi terve valimiperioodi vältel
MP31 - A4 korduvad mitmetunnised katkestused	P2	12 kahtlast perioodi, pikim 4 h 15 min
MP05, MP34 - üksiktunnised katkestused	P3	Üksikud, mitte süstemaatilised
MP33, MP48, MP12, MP13	-	Andmestik vaadeldud perioodil valdavalt kasutatav

Mõõdetav tulemus kinnitab kvalitatiivset leidu: süsteemis puudub andurite töökindluse automaatne monitooring ja kvaliteediprobleemid ilmnevad alles käsitsi väljavõttel. Loendusandmete kasutamine TO-BE kasutusjuhtude, modelleerimise või VISSIM-sisendi alusena eeldab eelnevalt tagatud automaatset andmekvaliteedi kontrolli.

3.4 Loendus- ja seiresüsteemide kitsaskohtade koondvaade

Peatükis tuvastatud kitsaskohad on koondatud allpool registrisse tunnustega L1–L9; sisutekst ja 7. peatüki koondkäsitlus viitavad nendele tunnustele. Iga kirje esitab töövõtja kolmel tasandil: olukord, põhjus ning mõju sihtolukorrale. Maandamismeetmed koondab peatükk „Hetkeolukorra kitsaskohad ning maandamine"; ühistranspordi prioriteediahela kitsaskoht on registreeritud foorisüsteemi peatükis (F11).

L1. Andurite automaatse tööoleku seire puudumine.

Olukord: anduri rike ilmneb alles andmete kasutamise hetkel ja töötavate andurite tegelik arv on teadmata; Event-tabeli käsitsi registreerimine on lõppenud (viimane kirje 2017).
Selgitus: seireplatvormil puudub automaatne tööoleku kontroll ja teavitus; Mdet-tabel võimaldaks seda, kuid seda ei kasutata.
Mõju: andmevead jõuavad modelleerimisse märkamatult; DLJ eeldab andurite töökindluse pidevat seiret.

L2. ADEC-süsteem eeldab, et ühelt sõidurajalt liigutakse ühte suunda.

Olukord: andur fikseerib sõiduki enne manöövrit ega erista sõidurada; mitme suuna ja rajaga ristmikel registreerub koondnäitaja.
Selgitus: süsteem valiti 2011. aastal liikluskorralduse jaoks, kus ühelt sõidurajalt liigutakse ühte kindlasse suunda; ristmike rekonstrueerimise järel võimaldab liikluskorraldus samalt rajalt liikuda mitmes suunas.
Mõju: loendusandmed on ebatäpsed just seal, kus täpsus on DLJ jaoks kõige olulisem; erandiks on Haabersti ring, kus sisse- ja väljumisandurid annavad kasutatava andmestiku.

L3. Loendusandmete voog on foorisüsteemiga liidestamata.

Olukord: loendusandmed liiguvad andurilt puhverarvuti kaudu seireplatvormile reaalajas (side olemasolul); 15-minutilised koondid genereerib seireserver andmeanalüüsi kiirendamiseks ning loendusandmete voog ei jõua foorisüsteemi sisendisse.
Selgitus: loendussüsteem on kavandatud statistika- ja analüüsivahendina ning foorijuhtimise sisendi roll jäi süsteemi arhitektuurist välja.
Mõju: loendusandmed on seireplatvormil reaalajas olemas, kuid jõuavad foorijuhtimisse ainult eranditel Rocca al Mares ja Reidi teel, kus ADEC saadab info otse kontrollerisse.

L4. Fiktiivne andmetäiendus varjab lünki.

Olukord: seireplatvormi haldaja täiendab mittelaekunud andmed hoolduslepingu alusel agregeeritud või ajalooliste väärtustega viie tööpäeva jooksul kalendrikuu alguses; täiendatud kirjed ei ole mõõdetud väärtustest eristatavad.
Selgitus: täiendamise eesmärk on üldstatistika terviklikkus, mitte andmekvaliteedi seire.
Mõju: andmelünk paistab andmestikus usutava väärtusena; kvaliteedikontrollita kasutamisel kanduvad moonutused mudelisse ja DLJ sisendisse.

L5. Seadme elukaare muudatus ei jõua andmekihti.

Olukord: MP47 ristmikul eemaldas hoolduspartner trammiliikluse kahjustatud anduri, kuid seirepunkti kirje jäi süsteemis aktiivseks ja genereerib jätkuvalt nullväärtusi.
Selgitus: seadmeregistri ja andmekihi vahel puudub automaatne seos; demonteeritud seadme kirje tuleb sulgeda käsitsi ja see samm jäi tegemata.
Mõju: kirje jääb registris aktiivseks ja lünki võidakse hoolduslepingu alusel täiendada, mistõttu andmestik paistab koondvaates korras; nullväärtused ja täiendatud kirjed selguvad andmete detailsel avamisel; DLJ eeldab, et paigaldus, eemaldamine ja asendus kajastuvad andmekihis automaatselt.

L6. Seireplatvormil puuduvad integratsioonid ja aruandemootor.

Olukord: specialist.signaal.ee (kasutusel 2012. aastast) töötab teiste süsteemidega liidestamata, rikete automaatne teavitus puudub ja koondaruandeid saab eksportida ainult eelseadistatud vormidena.

Selgitus: platvorm on rajatud avaldamise, mitte andmevahetuse vajadusest; uue loendustarkvara hange on kavas (2026 Q3–Q4).
Mõju: iga andmekasutus eeldab käsitsi allalaadimist; masinloetav liides tuleb fikseerida uue tarkvara hanke kohustusliku nõudena.

L7. Liikluskaamerate sõltuvus PPA võrgust ja lühike salvestusperiood.

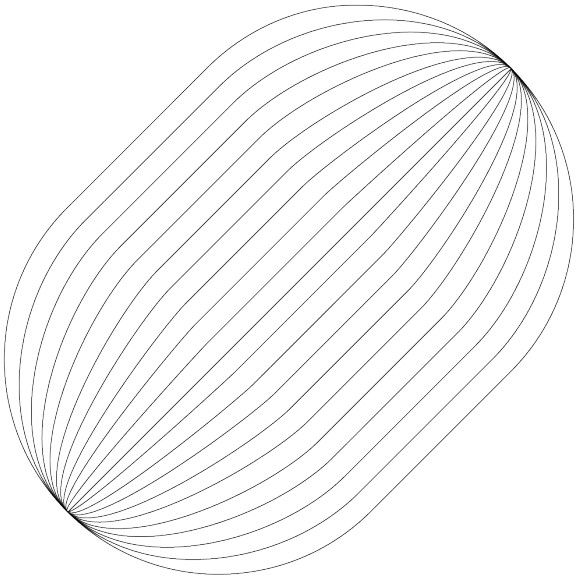
Olukord: osa kaameraid paikneb Politsei- ja Piirivalveameti võrgus, mille häired põhjustavad kaamerapildi hangumisi (kaameraid on PPA võrgust ümber tõstetud ja jaotus on muutumas); salvestusperiood on 21 päeva (alates 23.01.2024), Liikuvusameti sihtväärtus on 30 päeva.
Selgitus: võrgupiir kulgeb asutuste vahel ja salvestusmaht sõltub Tallinna Digiteenistuse eraldatud ressursist.
Mõju: kaamerapõhine seire sõltub osaliselt teise asutuse võrgu käideldavusest ja intsidentide tagasivaade on piiratud.

L8. Kergliikluse loendus on foorisüsteemist eraldatud ja suunatuvastuseta.

Olukord: seitse Ecocounter CITIX-3D püsiloenduspunkti edastavad andmed otse avalikku vaatesse data.eco-counter.com ega tuvasta liikumissuunda; jalgratturite käsiloendus toimub kord aastas kuni 15 ristmikul.
Selgitus: kergliikluse loendus on rajatud statistika, mitte juhtimise vajadusest; kaamerapõhiste loendusseadmete soetamine on kavandamisel.
Mõju: jalgratturite ja kergliikurite nõudlus jääb foorijuhtimisele nähtamatuks (vt ka ptk 2 kitsaskoht F10).

L9. Mõõdetud katvuse geograafiline hõredus.

Olukord: püsiloendus katab piiratud arvu ristmikke; valimipõhine andmeanalüüs ei katnud Lasnamäed ega Lõuna-Tallinna, kuigi just Lasnamäe on 4G-side ebastabiilsuse piirkond.
Selgitus: loenduspunktide võrk on kujunenud ajalooliselt kesklinna-keskselt ja laienemine eeldab investeeringuid.
Mõju: paljude sõlmede kohta mõõdetud sisend puudub ja lüngad täidab drooniuuring; piirkond, mille andmekvaliteet on tõenäoliselt madalaim, on mõõtmata.



Modelleerimise integratsioon

4 Modelleerimissüsteemi ülesehitus

Tallinna liiklusvoogude modelleerimine toimib eraldiseisva planeerimisvahendina, mille roll DLJ vaates on stsenaariumide eelhindamine ja lahenduste testimine enne kasutuselevõttu; operatiivne foorijuhtimine töötab reaalajas kontrolleri- ja anduritasandi sisendite põhjal mudelist sõltumatult. Liiklusmodelleerimise eest vastutab Liikuvusameti modelleerimismeeskond, kes kasutab kolme tarkvarapaketti eri tasandite analüüsiks.

Rahvusvaheline praktika kinnitab sama tööjaotust: adaptiivsed foorijuhtimissüsteemid (nt SCOOT, SCATS, UTOPIA) töötavad reaalajas detektorite ja kontrollerite andmete põhjal, planeerimismudeleid kasutatakse juhtimisstrateegiate väljatöötamiseks ja eelhindamiseks enne kasutuselevõttu.[5] Mikrosimulatsioon on adaptiivse juhtimise lahenduste hindamise standardvahend nii enne juurutamist kui ka järelhindamisel[6], sealhulgas kontrollerite juhtimisloogika testimisel simulatsiooniga ühendatud töövoos (hardware-in-the-loop)[7]; VISSIM-i välised juhtimisliidesed, sealhulgas VisVap, on loodud just juhtimisloogika simulatsioonis testimiseks.[8] Mudeli ja reaalajajuhtimise tihedam sidumine (digitaalne kaksik) on teadus- ja arendussuund[9], mille rakendatavust Tallinna kontekstis hindab töövõtja TO-BE variantide analüüsis.

PTV VISUM makromudel (loodud 2021, mis hõlmab endas erinevaid tsoone üle Tallinna linna ja lähipiirkondi) annab ülevaate liiklusvoogude jaotusest. PTV VISSIM on mikromodelleerimise tööriist üksikute ristmike ja lühikeste koridoride täpseks analüüsiks. LISA M on fooriprogrammide kavandamise tarkvara. Kolme süsteemi liidesed on eri staatuses: VISUM-i ja VISSIM-i vaheline ühendus töötab ühesuunaliselt VISUM-ist VISSIM-isse ja annab mikromudelile alusvõrgu (ekspordilahendus on katsetamisel); LISA M ↔ VISSIM ühendusmoodul on testitud ja võimaldab ühesuunalist eksporti LISA-st VISSIM-i; LISA ja VISUM-i vahel liidestus puudub; PTV COM-liides (API ja skriptimine) on tehniliselt olemas ning selle kasutuselevõtt eeldab programmeerimistööd. Mudelite koostamine on olemuslikult käsitöö: mikromudel luuakse iga projekti jaoks eraldi ja iga fooriobjekti mudel on eraldiseisev.

Modelleerimise suurim andmekvaliteedi piirang on geograafiline katvus: seiresüsteem katab piiratud arvu ristmikke, mistõttu paljude sõlmede kohta sisendandmed puuduvad. (vt kitsaskohad M4 ja L9)

---

[5] Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., Wang, Y. (2003). Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*, 91(12), 2043-2067.

[6] Stevanovic, A. (2010). Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice. NCHRP Synthesis 403. Transportation Research Board, Washington, D.C.

[7] Bullock, D., Johnson, B., Wells, R.B., Kyte, M., Li, Z. (2004). Hardware-in-the-loop simulation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(1), 73-89.

[8] Fellendorf, M., Vortisch, P. (2010). Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. Rmt: Barceló, J. (toim). *Fundamentals of Traffic Simulation*. Springer, New York, 63-93.

[9] Kušić, K., Schumann, R., Ivanjko, E. (2023). A digital twin in transportation: Real-time synergy of traffic data streams and simulation for virtualizing motorway dynamics. *Advanced Engineering Informatics*, 55, 101858.

Drooniuuringud GoodVision Online tarkvaraga täidavad andmelünki ristmikel, kus püsiloendus puudub, ja neid tehakse ka ristmikel, kus seiresüsteem on olemas (vt aruande Lisa 1); droonipõhine mõõtmine on peamine andmepuuduse leevendamise viis. VISUM-i makromudel on baasstsenaariumina toimiv instrument, mille sisendid on muu hulgas rahvaloendus, EELU-uuring, sotsiaal-demograafilised näitajad ja seireandmed; stsenaariumid on baasmudeli põhjal käsitsi tehtavad muudatused (ühistranspordi liinid, tänavate sulgemised, ümberehitused), mida võrreldakse olemasoleva olukorraga. Makromudelit uuendatakse alates 2027. aastast. Adaptiivse juhtimise modelleerimine on praeguse tarkvarakomplektiga töömahukas: LISA tarkvara vajab Liikuvusameti hinnangul uuendust ja olemasolevate dünaamiliste programmide dokumentatsioon puudub. VISSIM võimaldab adaptiivse foorijuhtimise modelleerimist VisVap mooduli kaudu; selleks tuleb igale fooriobjektile välja töötada eraldi juhtimisloogika ja andurite asukohtade skeem. (vt kitsaskoht M5)

4.1 Andmete kvaliteedi mõju modelleerimisele

Modelleerimise sisendandmete kvaliteeti piiravad kolm tegurit. Esiteks katab seiresüsteem piiratud arvu ristmikke, mistõttu paljude sõlmede kohta mõõdetud sisend puudub ja lüngad täidab drooniuuring. Teiseks jõuavad loendusandmed mudelisse käsitsi ahela kaudu (allalaadimine, teisendamine, sisestamine), kus andmekvaliteedi vead jäävad automaatselt tuvastamata - detailne käsitlus on jaotises „Mõju liiklusanalüüsidele”. Kolmandaks täiendatakse seireplatvormi mittelaekunud andmed hoolduslepingu alusel fiktiivselt, mistõttu modelleerija ei erista mõõdetud ja täiendatud kirjeid ilma eraldi kontrollita. (vt kitsaskoht M2)

4.2 Liidestamisvõimalused olemasolevate modelleerimistarkvaradega

Olemasolevad liidestamisvõimalused jagunevad kasutusel olevateks, tehniliselt olemasolevateks ja arenduses olevateks (vt aruande Lisa 1). Kasutusel: VISUM → VISSIM andmevahetus käsitsi (ekspordilahendus on katsetamisel) ning GoodVision Online'i drooniuuringute väljund käsitsi VISSIM-i ja LISA-sse. Testitud ja töövoogu juurutamisel: LISA M ↔ VISSIM ühendusmoodul, mis võimaldab ühesuunalist eksporti LISA-st VISSIM-i. Tehniliselt olemas, kuid kasutusele võtmata: PTV COM-liides (API/skriptimine), *.sig-failide vahetus (VISUM-VISSIM) ning LISA+ OCIT-VD eksport kontrolleri suunas (Schlothaueri tootedokumentatsioon), mille staatus on SWARCOga täpsustamisel. Arenduses: liikluskorraldusvahendite register (2026), mille eesmärk on koondada elektrooniliste liikluskorraldusvahendite elukaar ja toimida abivahendina liikluskorraldusvahendite kontrollimisel kohapealse ülevaatuse asemel; registri JSON-väljundit saab modelleerimises kasutada vajaduspõhiselt, ning uus liiklusloenduse tarkvara (hange 2026 Q3–Q4), mis asendab seire.tallinn.ee keskkonna. (vt kitsaskoht M3)

Andmevahetus kulgeb voopõhiselt järgmiselt. Mudeli sisendid: loendusandmed liiguvad seireplatvormilt VISUM-isse ja VISSIM-isse, drooniuuringute tulemused GoodVision Online'ist VISSIM-isse ning fooriprogrammide info VISSIM-i mikromudelisse, kus sisestus toimub käsitsi PNG-referentsi alusel. Mudeli väljundid: VISUM-i eksport annab VISSIM-ile alusvõrgu (ekspordilahendus katsetamisel) ning fooriprogrammid edastatakse hooldus partnerile PDF-failina, mis koostatakse VISSIM-i kuvatõmmistest. Kõik vood liiguvad käsitsi; LISA M ↔ VISSIM ühendusmoodul on testitud ja avab ühesuunalise eksporditee LISA-st VISSIM-i. Käsitöö on

modelleerimise loomulik osa; DLJ ettevalmistuse vaates on oluline sisendandmete ehk loenduse masinloetavus (vt kitsaskoht M3).

4.3 Integratsioonilahenduse tehnilised detailid

LISA M (Schlothauer & Wauer LISA+; edasimüüja Tallinnas KiirWarren) töötab Liikuvusameti arvutites kahe USB-dongle'iga (vt aruande Lisa 1). Fooriprogrammide eksport kontrolleri suunas tugineb tootja OCIT-VD liidesele (Schlothaueri tootedokumentatsioon), mille rakendatavus Tallinna paigalduses on lahtine ja täpsustamisel SWARCOga. VISSIM-i adaptiivvõimekus realiseerub VisVap mooduli kaudu, mis eeldab igale fooriobjektile eraldi juhtimisloogika ja andurite asukohaskeemi koostamist.

Liidestamise tehnilised vahendid jagunevad kolme klassi. Failipõhine vahetus (PNG, PDF, tabelifailid) on praegu toimiv viis; *.sig-failid kuuluvad VISUM-i ja VISSIM-i vahelisse vahetusse. Tarkvara lisamoodulitest on LISA M ↔ VISSIM ühendusmoodul testitud ning VisVap adaptiivse juhtimise modelleerimiseks ja LISA+ OCIT-VD eksport on olemas, kuid kasutusele võtmata. API-põhist andmevahetust ei kasutata: PTV COM-liides on tehniliselt olemas, kuid kasutuseta, OMNIA API-d on suletud (vt ptk 2 kitsaskoht F7) ja seireplatvormil masinloetavat liidest ei ole (vt ptk 3 kitsaskoht L6).

Integratsioonilahenduste väljatöötamise ja rakendamise vastutus on määratlemata. Tarkvara tarnivad SWARCO (OMNIA, kontrollerid), Schlothauer & Wauer (LISA+) ja PTV (VISUM, VISSIM); edasimüüja ja hoolduspartner on KiirWarren ning kasutaja Liikuvusamet; ükski leping ei fikseeri, kes liidestuse arendamise ja toimimise eest vastutab. Vastutuse määratlemine on II etapi hanke lähteülesande osa. (vt kitsaskoht M6)

4.4 Andmevahetuse ulatus ja formaadid

Modelleerimise andmevahetus toimub failipõhiselt: fooriprogrammid sisestatakse VISSIM-i käsitsi PNG-referentsi alusel ja edastatakse hoolduspartnerile PDF-failina, mis koostatakse VISSIM-i kuvatõmmistest; loendusandmed laadib modelleerimismeeskond seire.tallinn.ee platvormilt alla tabelifailidena; drooniuuringute tulemused jõuavad GoodVision Online'ist käsitsi allalaadimisega. Struktureeritud alternatiivid on olemas või tulekul: *.sig-formaat fooriprogrammide vahetuseks VISUM-i ja VISSIM-i vahel ning liikluskorraldusvahendite registri JSON-väljund (arenduses 2026). Opereeritavad andmed on liiklusloendused seire.tallinn.ee nn T-aruannetest ehk keskkonna aruandetüüpidest T02-T10 (15-minutilise lahutusega anduri- ja suunapõhine T09-struktuur ning koondaruanded T02-T08, T10), fooriprogrammid (faasid, tsüklid, kaitseajad), drooniuuringute liikumisandmed ja ristmike geomeetria. Andmestruktuuride masinloetavus on ebaühtlane: T-aruannete struktuur on teada ja kasutatav, PNG-väljavõte on masinloetamatu pilt ning *.sig-faili struktuur on dokumenteerimata. Liikluskorraldusvahendite registri JSON-väljund (arenduses 2026) lisab esimese dokumenteeritud masinloetava struktuuri.

Andmete uuendamise sagedus erineb voogude lõikes: kontrollerite olekuinfo liigub OMNIA-sse sündmuspõhiselt, loendusandmed reaalajavoona seireplatvormile (analüüsivaates 15-minutilised koondid), kaamerapilt pideva RTSP-voona ja kergliikluse loendus pideva vooga avalikku vaatesse; fooriprogrammi muudatus jõuab kontrollerisse päevades ning drooniuuringud ja modelleerimissisendid uuenevad lokaalsete uuringutena vastavalt vajadusele. Reaalajas uuenevad kontrollerite olekuinfo ja loendusandmete laekumine seireplatvormile; analüüsivaated (koondaruanded, drooniuuringud, modelleerimissisendid) uuenevad nihkega.

4.5 Modelleerimise kitsaskohtade koondvaade

Peatükis tuvastatud kitsaskohad on koondatud alla registrisse tunnustega M1-M6; jooksev tekst ja 7. peatüki koondkäsitlus viitavad nendele tunnustele. Iga kirje esitab töövõtja kolmel tasandil: olukord, põhjus ning mõju sihtolukorrale. Maandamismeetmed koondab peatükk „Hetkeolukorra kitsaskohad ning maandamine". Modelleerimise kitsaskohad iseloomustavad DLJ ettevalmistavat tugiprotsessi: need mõjutavad eelhindamise kvaliteeti ja tempot, operatiivne dünaamiline juhtimine toimib nendest sõltumatult (vt tabel 12).

M1. Modelleerimiskeskkond töötab foorisüsteemist eraldi.

Olukord: VISUM, VISSIM ja LISA M töötavad OMNIA-st ja loendussüsteemidest eraldi; reaalajaside puudub.

Selgitus: keskkonnad on soetatud planeerimisvahenditena ja liidestust ei ole kasutusele võetud.

Mõju: mudeli roll DLJ vaates on stsenaariumide eelhindamine ja lahenduste testimine enne kasutuselevõttu; DLJ reaalajatoimimine tugineb kontrolleri- ja anduritasandi sisenditele ning toimib mudelist sõltumatult. Seireandmete sidumine VISUM-iga ja VISSIM-i parem sidusus LISA-ga on DLJ-d toetavad arendused (vt tabel 12).

M2. Sisendandmete ahel on käsitsi ja vead jäävad selles tuvastamata.

Olukord: loendusandmed laaditakse alla käsitsi, fooriprogrammid liiguvad PNG-väljavõtetena ja drooniuuringute tulemused käsitsi ülekandena; sisendi kvaliteedikontroll on käsitöö.

Selgitus: mikromudeli koostamine on olemuslikult käsitöö ning käsitsi sisestamine on praegu kiirem, sest tootjaliideste kasutuselevõtt eeldab impordilahenduste väljatöötamist.

Mõju: andmekvaliteedi vead (vt L1, L4, L5) jõuavad mudelisse märkamatult ja mudel võib anda usutava, kuid vale tulemuse.

M3. Tootjaliidesed on olemas, kuid kasutusele võtmata.

Olukord: LISA M ↔ VISSIM ühendusmoodul on testitud ja töötab ühesuunaliselt LISA-st VISSIM-i, *.sig-failivahetus toimib VISUM-i ja VISSIM-i vahel kahesuunaliselt, VISUM → VISSIM eksport annab alusvõrgu ja on katsetamisel ning LISA+ OCIT-VD ekspordi staatus on SWARCOga täpsustamisel.

Selgitus: kasutuselevõtt eeldab seadistustööd ja kinnitatud teavet SWARCO ekspordivõimaluste kohta, mis praegu puudub.

Mõju: failipõhine käsitsi vahetus jääb püsima, kuni liidesed on seadistatud ja kinnitatud; see määrab II etapi integratsiooninõuded.

M4. Mõõdetud sisendi geograafiline katvus on hõre.

Olukord: paljude sõlmede kohta mõõdetud loendussisend puudub ja lüngad täidab drooniuuring (GoodVision Online).

Selgitus: püsiloenduse võrk on hõre (vt L9) ja drooniuuring on lokaalne.

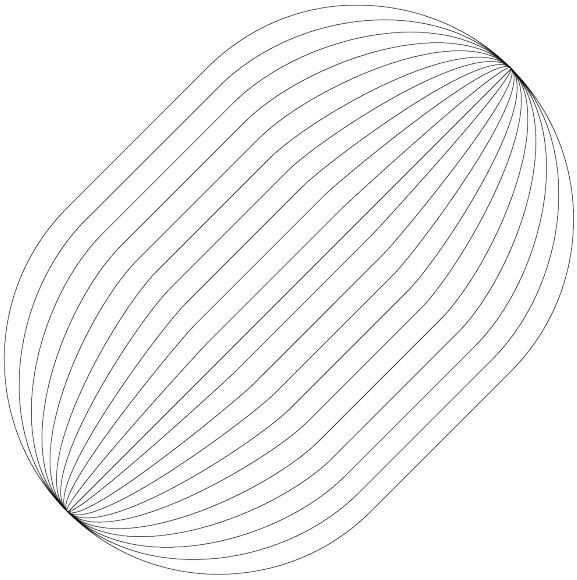
Mõju: eri ristmike mudelisisend pärineb eri aegadest, sest püsiloendus on pidev ja drooniuuring ühekordne hetkevõte; mudeli kalibreerimine tugineb osal võrgust ühekordsetele mõõtmistele ja tulemuste ajakohasus on ebaühtlane.

M5. Adaptiivse juhtimise modelleerimine on töömahukas.

Olukord: VISSIM-i adaptiivvõimekus realiseerub VisVap mooduli kaudu, mis eeldab igale fooriobjektile eraldi juhtimisloogika ja andurite asukohaskeemi koostamist; LISA tarkvara vajab Liikuvusameti hinnangul uuendust ja olemasolevate dünaamiliste programmide dokumentatsioon puudub.

Selgitus: adaptiivse modelleerimise vajadus on tekkinud hiljem kui tarkvarakomplekt ja dokumenteerimispraktika.
Mõju: eelhindamise töömaht sõltub projekti ulatusest ja dokumentatsiooni olemasolust; ressursihinnangu koostab töövõtja TO-BE etapis ning testala stsenaariumid vajavad modelleerimise ressursiplaani.

M6. Integratsioonilahenduse vastutus on määratlemata.
Olukord: ükski leping ei fikseeri, kes liidestuse arendamise ja toimimise eest vastutab; osapooled on SWARCO, Schlothauer & Wauer, PTV (VISUM, VISSIM), KiirWarren ja Liikuvusamet.
Selgitus: liidestust ei ole seni hangitud ega lepingutesse kirjutatud.
Mõju: vastutuse määratlemine on II etapi hanke lähteülesande osa; ilma selleta jääb iga liides projektipõhiseks eritööks.



AS-IS süsteemide arhitektuur ja andmevood

5 Süsteemide koosmõju põhivaade

5.1 Andmevood ja protokollid

Antud peatükk koondab liiklusjuhtimise süsteemide vahel liikuvad peamised andmevood ühte vaatesse. Iga andmetüübi kohta on välja toodud kuus dimensiooni: kus andmed tekivad, millise kanali ja protokolli kaudu need liiguvad, kus neid töödeldakse, kus ja kui kaua neid salvestatakse, milles seisneb kasutus ning milline on ajasünkroonsuse loogika. Lähtekohaks on KiirWarreni hooldusleping Lisa 1 (19.01.2023), arhitektuuriskeem (vt aruande Lisa 1) ja SWARCO OMNIA paigaldusjuhend (OM2004E22SG).

5.1.1 Foorivõrgu protokollid

Foorivõrgu protokollistiku (STCIP, NTP, lokaalne I/O ning OCIT/NTCIP potentsiaal) käsitleb peatükk „Foorisüsteemi ja keskhaldusplatvormi arhitektuuri analüüs"; siin on esitatud üksnes keskhalduse adapterite koosseis, mis määrab liidestuse laiendamise võimalused.

SWARCO OMNIA paigaldusjuhend (lk 62) loetleb tarkvaras saadaolevad adapterimoodulid: OMNIA NTCIP 1209/1204/1206 Adapter, SCATS Adapter, PTV Adapter, FLUX Adapter, Tattile Adapter, MVDS Adapter, Electronic Signs, Data Lake Adapter, SWARM Adapter, TomTom RealTime Data Feed Adapter ja HERE Adapter. Adapterite olemasolu tarkvaras ei tähenda, et need on Tallinna paigalduses kasutusel ning adapterite tegelik installikoosseis on AS-IS lünk, mille saab kinnitada Tallinna OMNIA installeerimisaruande kaudu.

5.1.2 Andmevoogude tabel

Tabel 9 kaardistab kuue peamise andmetüübi liikumise HD ptk 3.1.2 nõutud kuues dimensioonis: teke, edastus, töötlemine, salvestus, kasutus ja ajasünkroonsus, kusjuures kasutuse dimensioon on jagatud kolmeks: operatiivne (foorijuhtimise reaaltöö), analüütiline (modelleerimine, statistika) ja avalikustamine.

Allikad on hooldusleping Lisa 1 (19.01.2023), arhitektuuriskeem (vt aruande Lisa 1ja Lisa 2) ja SWARCO OMNIA paigaldusjuhend (OM2004E22SG). Lahtrites tähistab „lünk" dokumenteerimata tehnilist detaili, mis vajab täpsustamist süsteemide haldajatega (SWARCO, AS Signaal TM, Vaikosta OÜ); „puudub" tähistab funktsionaalsuse tegelikku puudumist (näiteks fooritsükli avalik väljund); „vajab kinnitust" tähistab allikatevahelist vastuolulist väärtust (näiteks loendusandurite arv 426/440/452).[10,11,12,13]

[10] Hooldusleping Lisa 1 tehniline kirjeldus (19.01.2023)

[11] Arhitektuuriskeem (vt aruande Lisa 1 – Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide AS-IS arhitektuuriskeemja Lisa 2 – Tallinna liiklusjuhtimise foorikontrollerite ja OMNIA vaheline tehniline suhtlus)

[12] SWARCO OMNIA OM2004E22SG paigaldusjuhend

[13] LISA+ tehniline dokumentatsioon

Tabel 10. Andmevood ja nende ajasünkroonsus AS-IS olukorras.

Andmetüüp	Teke	Edastus (kanal + protokoll)	Töötlemine	Salvestus	Operatiivne kasutus	Analüütiline kasutus	Avalikustamine	Ajasünkroonsus
Fooritsükli olek (kontroller > OMNIA)	SWARCO foorikontrollerid (EC1, ITC2/2b/2.5/3 perekond koos mini-versioonidega), 299 ühikut (HD p. 1.3, 06.10.2025).	SHDSL (vasekaabel); FOC; 4G (eelkõige Lasnamäel). STCIP kontroller <-> keskhaldus suunal; NTP kellaaja jaoks, master 10.10.0.1.	OMNIA 4.4.8 Windows Server platvormil, MS SQL Server andmebaasiga. Application Server ja veebiliides eraldi kihtidena. PostgreSQL kasutamine sõltub Microservices Architecture konfiguratsioonist	OMNIA ajalooline andmehoidla 2–3 kuud FIFO-meetodil; pärast seda andmed kustuvad (HL Lisa 1 rida 2).	OMNIA veebiliides Liikuvusameti operaatorile; KiirWarreni hooldusvaade rikete tuvastamiseks.	ArcGIS-rakenduses fooride asukohtade visuaal; reaalaja olekut sidehäirete tõttu pidevalt usaldusväärselt ei kuvata. Ajas tagasivaatamise võimekus on alates 2019 piiratud serveri CPU võimsuse tõttu.	Puudub.	Sündmuspõhine STCIP-i kaudu; konstantset andmevoogu pole. Heartbeat-loogika on Liikuvusameti hinnangul vajalik arendus, kuid praeguses serveritarkvaras realiseerimata. Kontrollerite kellaajad võivad erineda.
Fooriprogrammi muudatus (LISA M > kontroller)	LISA M (Schlothauer & Wauer LISA+) tarkvaras Liikuvusameti modelleerimismeeskonna (3-liikmeline tiim) poolt. Sisendid: Liikuvusameti enda seireandmed (seire.tallinn.ee, ADEC), drooniandmed (GoodVision Online), ristmiku geomeetria (joonistatakse	Tootja standardprotokoll on OCIT-VD; Tallinna paigalduse konkreetne ülekandekanal on dokumenteerimata. Praktikas edastatakse programm PDF-failina hoolduspartnerile (KiirWarren) või AS Signaal	LISA M arvutab kaitseaegade maatriksi, signaaligrupid ja faasid RiLSA 2015 metoodika alusel ristmiku geomeetriast. KiirWarreni operatiivmeeskonna töökord (märts 2026) on LISA M arvutatud kaitseajad enne kontrollerisse laadimist üle vaadata ja vajaduse korral	Keskset andmebaasi pole. Liikuvusameti modelleerija peab ühiskausta, kus on ristmike skeemid, sisselülitusprotsessid ja fooriprogrammide PDF-väljavõtted; LISA võimaldab ristmiku mudeli faili eksporti	Programm rakendub kontrolleri operatiivseks juhtimiseks pärast KiirWarreni või AS Signaal TM-i poolt sisestamist.	Sama programmi sisestab modelleerimismeeskond VISSIM-i käsitsi, kasutades referentsina PNG-väljavõtteid; analüüsi saab ülesandest sõltuvalt teha ka LISA-s.	Kasutus on suletud planeerimise ja operatiivjuhtimise vahendiks.	Käsitsi batch-protsess; sageduslikku reeglit pole. Programmid vahetuvad kalendripõhiselt päevaajakavast lähtuvalt (hommiku- ja õhtutipp, öö, nädalavahetus, pühade pühapäevaprogramm).

	käsitsi xgis-aluskaardi kihil), kaitseaegade maatriks. Suuremate uute ristmike puhul kaasatakse alltöövõtjana projekteerija.	TM-le, kes selle kontrollerisse laadib.	vaatluste põhjal korrigeerida. Kontrollerites kasutatavad siirdetaktide maatriksid on sisestatud ja timmitud käsitsi vaatluste alusel.	(geomeetria ja programmid), mida ameti sees vahetatakse; vanemate ristmike puhul tuleb kehtiv programm võtta käsitsi otse kontrollerist.				
Nõudluse signaal (detektor > kontroller)	Induktiivsilmused, jalakäijate väljakutsenupud kontrolleri füüsilisel taristul; Reidi tee UTOPIA katses ka FLIR-termoandurid. Videodetektorite kasutuse ulatus nõudluse tuvastamisel töötatakse välja TO-BE vaates.	Detektor > kontrolleri I/O-kaart (kohalik silmus, riistvaraline ühendus). OMNIA-sse jõuab info ainult kontrolleri vahendusel ja agregeeritud kujul.	Töötlemine toimub kontrolleris lokaalselt - kontroller otsustab faasi pikenduse või kõrvalsuuna lubamise.	Detektori sündmuste salvestus OMNIA-s on dokumenteerimata (lünk); kontrolleri lokaalne logi on tehniliselt olemas, säilitusaeg vajab kinnitamist.	Kontrolleri sisene loogika lülitab faase reaalajas.	Modelleerimissisendiks võetakse käsitsi sisestatud loendusandmed; detektorisündmused jäävad kontrolleri sisemiseks loogikaks.	Puudub.	Reaalajas, sündmuspõhine (millisekundi-tasandi resolutsioon kontrolleri sees). Anduri rikke korral lülitub kontroller püsiväljakutse-režiimile (fallback).
Ühistranspordi prioriteeditaotlus	Kahetasandiline: (a) lokaalne - trammide ja busside eelandurid otse kontrolleri taristul; (b) tsentraalne - pardaarvuti GPS-asukoht. Tallinnas kokku 48 prioriseerivate ristmikku. millest töötab 0.	Sõiduk (Ridango + Thoreb) > zir24.pl tsentraalsuunaja (Poola tarnija) > ADAM võrgurelee > kontrolleri I/O-kaart. Rakenduskihi protokoll on lünk.	zir24.pl tsentraliseerib ühistranspordi asukohad ja suunab prioriteedi väljakutse vastavale kontrollerile.	Logimine on osaliselt olemas, analüüsitavus lahtine. Konkreetne säilitusperiood on lünk.	Kontrolleri faasi muutus (kui süsteem töötab).	Analüütiline kasutus on praegu piiratud kuni süsteem ei tööta; potentsiaalselt ühistranspordi täituvuse ja graafikukoormuse analüüs.	Puudub.	Reaalajas, sündmuspõhine taotlus sõiduki kohaliku GPS-i alusel.

Loendusanduri andmed (ADEC > seire.tallinn.ee)	426 ADEC TDC3-5 andurit (HD p. 1.3); HL Lisa 1 järgi 440 hooldatavat; AS-IS kaardistuse järgi 452 paigaldatud andurit. 48 püsiloenduspunkti; üks andur ühe sõidurea kohta; loendab 5 sõidukiklassi.	Andur > loenduspunktis asuv puhverarvuti > keskserver (specialist.signaal.ee). Liimi 1 kaudu andmed enam ei liigu (vt aruande Lisa 1 – Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide AS-IS arhitektuuriskeem). Andmeedastuse protokoll on lünk. Erandid: Rocca al Mare ja Reidi tee, kus ADEC saadab info otse fooriobjekti kontrollerisse.	Seiretarkvara specialist.signaal.ee ja avalik vaade seire.tallinn.ee (AS Signaal TM). Hooldusleping us on hooldus partneril kohustus täiendada andmevoogude lünki ennustatavate andmetega (täpne lepinguklausel vajab HL Lisa 1 kontrolli).	Säilitusperiood on lünk; hooldusle pingu järgi plaanitakse tarkvara üle viia Tallinna pilve- või virtuaalserveril e.	Praegu puudub reaalajas operatiivne kasutus fooriprogrammide jaoks.	Statistiline analüüs 15-minutiliste koondandmete põhjal; modelleerimise sisend PTV VISUM-ile, VISSIM-ile ja LISA-le (käsitsi).	Avalik vaade seire.tallinn.ee.	Andmed laekuvad seireplatvormile reaalajas; analüüsivaates kasutatakse 15-minutilisi koondeid. Foorisüsteemi sisendina reaalajavoog puudub.
Liikluskaamera pilt/voog	251 aktiivset liikluskaamerat aprill 2026 seisuga; HD järgi 235 (seis 13.10.2025); HL Lisa 1 järgi 250 hooldatavat. ~95% Dahua IP-torukaamerad RTSP-protokollil; ülejäänud osa vanemaid analoogkaameraid	FOC ja 4G ühendus, Mikrotik-konverterid; rakenduskiht RTSP.	Keskkond ristmikud.tallinn.ee. Tarkvara asub Tallinna Linnavalitsuse haldusalas oleval virtuaalserveril.	Salvestusperiod 21 päeva (lühenenud 24 päevalt 2021); piirang on Tallinna Digiteenistuse poolt eraldatud mälumaht; sihtväärtus 30 päeva.	KiirWarreni ja Liikuvusameti operaatori reaalajavaade. Ülemiste autotunneli AID-süsteem (FLIR CASCADE 4.6.0-b180) kasutab	Käsitsi analüüs intsidendiuurimisel. Kaamerasalvestusi saab analüüsida ka GoodVision keskkonnas; salvestused taotletakse selleks eraldi. Automaatset analüütikat (kaamerapõhine loendus, AI-tuvastus) Axis-kaamera ja Data	Avalik vaade http://ristmikud.tallinn.ee.	RTSP voog reaalajas; salvestus keskserveris. Kaameratasandi NTP-sünkroonimine on dokumenteerimata (lünk); RTSP-voog ise ajatemplit ei kanna.

	RTSP-konverteritega IP-võrku ühendatud.				kaamerapilti sisendina.	from Sky katsetuse vormis.		

5.2 Arhitektuuri tervikskeem

Arhitektuuri tervikskeem, mis koondab eelnevates peatükkides kirjeldatud süsteemid ja andmevood ühte vaatesse, on esitatud aruande Lisa 1 ja Lisa 2. Käesolev jaotis kommenteerib skeemi DLJ rakendamise vaatest.

5.3 Kitsaskohad arhitektuuril - paigutus ja kriitilisus

5.3.1 Puuduvad liidesed

Lisas 1 esitatud skeemil on märgitud viis puuduvat või kasutamata liidest: OMNIA avatud API (F7), fooriprogrammide automaatliides LISA M ↔ kontroller (F12), seireplatvormi väljundliidesed teistesse süsteemidesse (L6), loendussüsteemi ja foorisüsteemi reaalajavoog (L3; erandid Haabersti ja Reidi tee) ning Op-Info ↔ häirete register (F13, integratsioon töös). LISA M ↔ VISSIM ühendusmoodul on testitud ja liigub kasutusel olevate liideste hulka.

5.3.2 Ajaviited

Lisas 1 esitatud skeemil on kuus ajaviite tekkekohta: fooriprogrammi muudatus jõuab kontrollerisse päevadega (F12), loendusandmete analüüsivaade tugineb 15-minutilistele koondidele ja foorisüsteemi sisend puudub (L3), OMNIA ajalooline vaade on katkendlik ja lühike (F8), kontrollerite kellaaeg kaldub võib olla nihkes (F3), puhverarvutitega kontrollerid sünkroniseerivad andmed alles side taastumisel (F1) ning häire avastamine sõltub visuaalsest seirest (F13).

5.3.3 Manuaalsed sammud

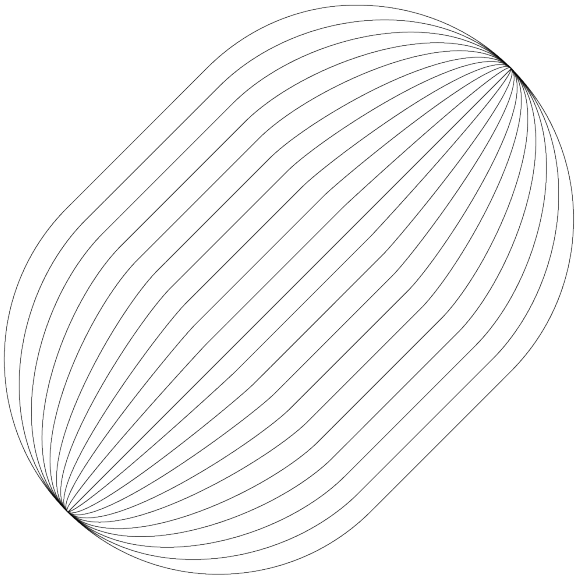
Lisas 1 esitatud skeemil on kaheksa manuaalset sammu: fooriprogrammi laadimine kontrollerisse (F12; hoolduspartner, AS Signaal TM või ehitustööde korral ehitusettevõte), ristmiku geomeetria käsitsi joonistamine xgis-aluskaardil (M2), fooriprogrammide käsitsi sisestus VISSIM-i PNG-referentsi alusel (M2), seireandmete käsitsi allalaadimine (L6, M2), ADEC rikke avastamine alles kasutamisel (L1), jalgratturite iga-aastane käsiloendus (L8), drooniuuringute tellimine ja tulemuste käsitsi ülekanne (M4) ning häiretest teatamine telefoni ja e-kirjaga (F13).

5.3.4 Andmekvaliteedi probleemide tekkekohad

Lisas 1 esitatud skeemil on kuus andmekvaliteedi tekkekohta: OMNIA salvestuse katkendlikkus (F8), kellaaja ebatäpsus ajatemplites (F3), ADEC kolm tekkekohta - hiline rikketuvastus, üherealine projekteering ja elukaare lünk (L1, L2, L5) -, kaamerate sõltuvus PPA võrgust (L7), seisvad prioriteediseadmed (F11) ning LISA M kaitseaegade käsitsi ülevaatus (F12).

5.3.5 Katkestuskohad

Lisas 1 esitatud skeemil on seitse katkestuskohta: kontroller ↔ OMNIA side (F1, F4), katkestuste automaattuvastuse puudumine (F1; „heartbeat”-arendus töös), OMNIA Time Machine (F8), LISA M ↔ kontroller programmiedastus (F12), seireplatvorm ↔ teised süsteemid (L6), ühistranspordi prioriteediseadmed (F11) ning tunnelisüsteemide eraldatus omaette serverites.



Võrdluslinnade analüüs

6 Võrdluslinnade analüüs

Rahvusvaheline võrdlusanalüüs on osa Tallinna dünaamilise liiklusjuhtimise eeluuringust, mis viidi läbi paralleelselt AS-IS olukorra analüüsiga. Eeluuringu võrdluslinnade analüüs loob tehniliselt, organisatsiooniliselt ja õiguslikult põhjendatud aluse projekti järgmistele etappidele, sh fooride masinloetavaks muutmisele ja dünaamilise liiklusjuhtimise teenuste arendamisele innovatsioonihanke kaudu.
Analüüsi eesmärk on kõrvutada Tallinna lahendusi kolme Euroopa linnaga, keskendudes süsteemi ülesehitusele, kasutatavatele ja Tallinnale ülekantavatele lahendustele, hankestrateegiale ning dünaamilise liiklusjuhtimise elluviimise kogemusele. Võrdlus toob esile, millised tehnilised ja korralduslikud valikud on end mujal tõestanud ja millised riskid on Tallinna jaoks ette aimatavad enne innovatsioonihanke ettevalmistamist. Võrdluslinnade analüüs viidi läbi avalikult kättesaadavate dokumentide analüüsil, sh süsteemi kirjeldused, kasutatavad lahendused, avalikud hankedokumendid jm. Lisaks avalike allikate ja dokumentide analüüsile viidi läbi kõigi linnade vastutavate esindajatega läbi intervjuud. Poolstruktureeritud intervjuude eesmärk oli valideerida ning täiendada avalike allikate põhjal kogutud leide ning saada detailsem arusaam linna hetkeolukorrast, kitsaskohtadest ning potentsiaalsetest õppekohtadest Tallinna dünaamilise liiklusjuhtimise rakendamiseks pikas perspektiivis. Kõigi kolme võrdluslinna liiklusjuhtimise lahendused on erinevad ning hõlmavad endas erinevaid lähenemisi nii liikluse juhtimise osas, tarnijate valikul, hankestrateegial, monitoorimisel ning lahenduste rakendamisel. Kuivõrd linnade liiklusjuhtimise printsiibid ja lähenemised on erinevad, on analüüsi tulem koostatud võimalikult sarnastel alustel, kuid teatud määral esineb piiratud informatsiooni, mida asjaosalised ei olnud valmis jagama.

6.1 Võrdluslinnade valik

Koostöös Liikuvusametiga valiti välja kolm Euroopa linna, mis vastavad kõige paremini seatud kriteeriumidele: elanike arv vahemikus 400 000 - 700 000, võrreldav teedevõrk, sarnane kliima ning piisavas arengufaasis dünaamilise liiklusjuhtimise lahendus. Valitud linnad Helsingi, Vilnius ja Kopenhaagen katavad Tallinna jaoks kolm erinevat strateegilist perspektiivi.

- **Helsingi** esindab Tallinnaga tehniliselt kõige lähedasemat olukorda: linnas on kasutusel Tallinnaga sama SWARCO tooteperekond ja keskhaldusplatvorm OMNIA. Helsingi kogemus näitab, milliseks kujuneb sama tarnija lahenduse elukaar suuremas mastaabis.
- **Vilnius** näitab, kuidas avatud protokollil (OCIT) põhinev mitme tarnija strateegia toimib pikaajalises perspektiivis ning milliseid võimalusi see loob eri tarnijate süsteemide integreerimiseks.
- **Kopenhaagen** esindab ambitsioonikaimat lähenemist, kus dünaamiline liiklusjuhtimine on suunatud jalgratta- ja ühistranspordi prioriteedile sõidukite läbilaskvuse asemel ning kus keskhaldussüsteem põhineb avatud RSMP-protokollil.

6.1.1 Analüüsi ülesehitus

Iga linna kirjeldatakse kuue ühtse teema lõikes, mis võimaldab linnu omavahel ja Tallinnaga otse võrrelda:

- **Linna üldandmed ja kontekst**: liiklusvõrgu iseloomustus, autostumise tase ja kliima, mille põhjal hinnatakse kogemuse ülekantavust Tallinnale.
- **Tarkvaralahendus ja süsteemi ülesehitus**: keskhaldussüsteem, tarnija, juhtimisalgoritmid, protokollid ja integratsioonivõimalused.
- **Riistvaralahendus**: foorikontrollerid, loendus- ja seiresüsteemid, sideinfrastruktuur ning ühistranspordi prioriteedisüsteem.
- **Lahenduse tüüp ja hankestrateegia**: kas tegemist on valmistoote, kohanduse või hübriidiga, millise hankemenetlusega lahendus valiti ning millises ulatuses kohandusi tehti.
- **Rakendamise kogemus**: süsteemi ulatus, juurutuse etapid, peamised väljakutsed ja kohalikud kohandused, sh kliimatingimuste käsitlemine.
- **Saavutatud tulemused ja õppetunnid**: mõõdetud mõjud ning Tallinnale otseselt rakendatavad järeldused.

Analüüsi lõpus koondab alapeatükk 6.5 kõik linnad ühte võrdlusmaatriksisse ning alapeatükk 6.6 sõnastab Tallinna jaoks olulisimad ülekantavad järeldused.

6.2 Vilnius

6.2.1 Linna üldandmed ja kontekst

Vilnius on Leedu pealinn ja suurim linn, mis asub riigi kaguosas Nerise ja Vilnia jõe ühinemiskohal. Haldusterritoorium hõlmab 401 km², elanikke oli 2025. aasta seisuga ligikaudu 638 000 ning laiema linnapiirkonna rahvaarv ületab 870 000 elanikku.
Tallinnaga võrreldes on Vilnius suurem nii territooriumi (401 vs ~159 km²) kui rahvaarvu poolest (638 000 vs ~465 000), kuid mõlemad on Euroopa kontekstis sarnase mastaabiga pealinnad, kus tugevalt väljakujunenud ajaloolist vanalinna ümbritsevad nõukogudeaegsed ja uuemad elamurajoonid. Tüüpilised tipptunnimahud ja linna omadused on Tallinnaga hästi võrreldavad.
Vilnius on üks kõrgeima autostumise tasemega pealinnu Euroopas. Linna transporditeenuste ettevõtte 2024. aasta liikuvusanalüüsi kohaselt moodustas autosõit 48% kõigist linnas tehtud sõitudest; 2023. aastal oli see osakaal üle 50%. Võrdluseks: Tallinnas on sõiduauto modaalne osakaal ligikaudu 49%. Ühistranspordi osakaal kasvas Vilniuses 2024. aastal 31%-ni, võrreldes 26%-ga 2023. aastal.[14]

6.2.2 Tarkvaralahendus ja süsteemi ülesehitus

Vilniuse liiklusjuhtimise infosüsteem on jaotatud kihtideks, kus iga kiht täidab oma selget rolli. Kõige alumisel tasandil asuvad foorikontrollerid, mis juhivad fooripeade signaale. Teisel tasandil paikneb keskhaldussüsteem, mille kaudu toimub kogu operatiivne liiklusjuhtimine: ristmike jälgimine ja juhtimine, fooriprogrammide laadimine kontrolleritesse ning seireseadmete ühendamine. Kolmandal tasandil asuvad analüütika- ja modelleerimistööriistad PTV VISUM ja PTV VISSIM liiklusmodelleerimiseks ning eraldi meeskond fooriprogrammide koostamiseks.

[14] EU Urban Mobility Observatory (2025)

Neljandal tasandil paiknevad süsteemi integratsioonid: andmeladu, ArcGIS-põhine ruumiandmete keskkond ja Ridango AVL-süsteem ühistranspordi asukohaandmete jaoks.
Alates 2024. aastast on Vilniuse keskhaldussüsteemiks Cross eDaptiva, mille tootja on Tšehhi ettevõte Cross Zlin. Süsteem asendas varasema Siemens SiTraffic haldussüsteemi ja valiti rahvusvahelise avatud hankemenetluse tulemusel, milles osales kolm pakkujat: SWARCO, Cross ja Yunex. Üleminekuperioodil töötab paralleelselt endiselt Siemens SiTraffic Scala koos MOTION-juhtimisfunktsionaalsusega, sest Siemensi kontrollerite MOTION-põhist juhtimisrežiimi ei ole Crossi süsteemis veel täielikult suudetud asendada. Kuna kõik kontrollerid vahetatakse järk-järgult uue põlvkonna vastu, toimub üleminek etapiti.

6.2.3 Peamised funktsionaalsused

Cross eDaptiva töötab samaaegselt seireplatvormi ja operatiivjuhtimise vahendina. Reaalajaline kaardipõhine seire annab operaatorile ülevaate kõigi ühendatud kontrollerite olekust värvikoodidena ning kuvab iga ristmiku iga suuna teenindustaseme (LOS) A–F skaalal. Fooriprogrammide halduslahendus võimaldab planeerida programme staatiliselt päeva-, nädala- ja aastakavana ning koostada eraldi programme suursündmusteks ja riigipühadeks. Planeerimisahel sarnaneb Tallinna omale: programme koostab eraldi meeskond PTV VISUM ja VISSIM mudelite abil ning valmis programm edastatakse keskhaldussüsteemi, kus toimub viimane kalibreerimine, enne automaatset edastamist kontrollerisse.
Adaptiivmooduli olemasolu on Vilniuse süsteemis kohustuslik. Uuringu koostamise ajal töötab adaptiivne koordinatsioonjuhtimine (ACC) ühes koridoris uue põlvkonna Crossi kontrolleritega: süsteem arvutab fooriprogramme igal tsüklil, mis on märksa sagedasem kui varasema MOTION-süsteemi kuueminutiline uuendusintervall. Prognoosimoodul kasutab ajaloolisi liiklusandmeid, et kohandada fooriprogramme juba enne tipptundide algust. Kvaliteedijuhtimise moodul koostab diagnostika- ja operatsiooniaruandeid kontrollerite ja andurite ajaloo põhjal. Ühistranspordi prioriteedimoodul on hankes kohustuslik ja integreeritud Ridango AVL-süsteemiga.[15]

6.2.4 Protokollid, standardid ja integratsioonivõimalused

Kogu süsteemi toimimise ja eri tootjate seadmete integreerimise aluseks on avatud OCIT-protokoll (*Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems*). Standardid OCIT 1.1 ja 2.0 on kohustuslikud kõigile olemasolevatele kontrolleritele ning uued planeeritud kontrollerid peavad toetama OCIT 3.0 versiooni. Uuemad versioonid annavad olulise operatiivse ja rahalise eelise: kui varasemas Siemensi süsteemis tuli iga kontroller seadistada ja registreerida käsitsi, siis OCIT 2.0 puhul piisab IP-aadressi ja identifikaatori sisestamisest, mille järel laetakse kontrolleriga seonduv info automaatselt. Vilniuse hinnangul kaasneb sellega halduskoormuse ja kulude kokkuhoid ligikaudu 500-1 000 eurot kontrolleri kohta.
Andmevahetus kolmandate süsteemidega toimub SOAP-põhise (*Simple Object Access Protocol)* API kaudu. Liiklusstatistika edastatakse iga 90 sekundi tagant tellija olemasolevasse ArcGIS-süsteemi ja andmelattu ning tarnija peab kohanduma olemasoleva teenuse konfiguratsiooniga, ehitamata uut andmeladu. Hankedokument nõuab lisaks IoT-seadmete tuleviku lisamise toetust,

[15] *Judu Vilniuse liiklusjuhtimises kasutatavad lahendused*

V2X-tehnoloogia ühilduvust ning VISSIM-tarkvara eksporti kontrollerite liiklusloogika simuleerimiseks.[16]

6.2.5 Skaleeritavus ja paindlikkus

Vilniuse juurutatav lahendus on üles ehitatud järkjärgulise laiendamise eeldusel. Viieaastase pikendusõigusega raamleping 210 uue kontrolleri tarnimiseks võimaldab laiendamist etapiti, ilma süsteemi ümber ehitamata, ning OCIT 2.0 automaatne registreerimine tagab, et uue kontrolleri lisamine ei nõua eraldi mahukaid integratsioonitöid. Samas ei ole kõigi ristmiku üheaegne adaptiivne juhtimine võimalik enne, kui vanad kontrollerid on asendatud - ACC laienemine sõltub otseselt riistvara uuendamise kiirusest.

6.2.6 Riistvaralahendus

6.2.6.1 Foorikontrollerid

Vilniuse tänavavõrgus on kasutusel viie eri tootja kontrollerid, mis töötavad OCIT 1.1 ja 2.0 protokolli kaudu sama keskhaldussüsteemiga. Valdava osa paigaldatud seadmetest moodustavad endiselt vanema generatsiooni Siemensi kontrollerid; lisaks on kasutusel Yunexi, Dynniqi (praeguse SWARCO eelkäija) ja SWARCO kontrollerid. Selline integratsioon on kasutusel aastast 2012, kui Vilnius sai esimeseks linnaks, kus SWARCO ITC-tüüpi kontrollerid liideti teise tootja keskhaldussüsteemiga.

2024. aasta hanke raames soetatakse 60 kuu jooksul 210 uut Cross RS5 kontrollerit. Uued kontrollerid peavad toetama OCIT 3.0 ja tootja peab tagama varuosade kättesaadavuse kümne aasta jooksul tarnekuupäevast. Kümneaastane katseaeg oli Vilniusele otsene õppetund varasemast kogemusest: vanemad Siemensi kontrollerid on jõudnud oma elukaare ja tehnilise toe lõppu, mistõttu hooldus oli raskendatud ja seadmete töökindlus tekitas liiklusjuhtimises riske.

6.2.6.2 Loendussüsteemid ja andurid

Vilniuse loendussüsteem on viimase 20 aasta jooksul läbinud järkjärgulise muutuse. Induktsioonsilmused paigaldati kõigile ristmikele alates 2006. aastast ja on endiselt kasutusel, kuid linn on otsustanud nende edasiarendamise lõpetada ja liikuda uue põlvkonna detektorite suunas. Kasutusele on võetud ligikaudu 100 FLIR Thermicam AI kaamerat, mis klassifitseerivad liiklejaid seitsmesse kategooriasse (sõiduauto, kaubik, veoauto, ühistranspordisõiduk, jalgratas, tõukeratas ja jalakäija) ning suudavad tuvastada sõidukite trajektoore. Trajektooripõhine info võimaldab analüüsida liikumismustreid ja konflikte ristmikul, samas kui traditsiooniline loendus tagab vaid punktloenduse.

Kaamerate tehisintellekti võimekust ei kasutata praegu veel ACC-mooduli reaalajalise sisendina. Cross eDaptiva suudab põhimõtteliselt API-andmeid töödelda, kuid liidestust ei ole veel teostatud. Hankedokument nõuab, et süsteem suudaks klassifitseeritud liiklusandmeid API-ga anduritelt vastu võtta mis võimaldab luua tulevase liidestuse tehnilise aluse. Paralleelselt uurib Vilnius trajektooripõhise analüütikaplatvormi DATAfromSKY kasutuselevõttu, mille integratsioon Crossiga on tootjate poolt juba loodud, mistõttu linna jaoks piisab installeerimisest ja testimisest.

[16] *Vilniuse hanke tehniline kirjeldus (Pirkimo sąlygų 1 priedas), peatükid III–V*

6.2.6.3 Sideinfrastruktuur

Andmeside kontrollerite ja keskhaldussüsteemi vahel põhineb optilisel võrgul; kontrollerikappides paiknevad lisaks modemid ja muud võrguseadmed. Märkimisväärseid sideühenduse rikkeid tuvastatud ei ole. Kontrollerid on loodud töötama ekstreemsetes ilmastikutingimustes (−30 kuni +60 °C), kuid soojema ilmaga tekib oht modemite ülekuumenemiseks: sarnaselt Tallinnaga on Vilniuse kontrollerikappide korpus värvitud tumedaks, mis suurendab kuumenemisriski ja võib foorikontrollerite tööd takistada.

Kuigi tõsiseid süsteemseid rikkeid ei ole esinenud, on linn hankes sätestanud tõrgete halduse tasemed: kriitiline rike (nt adaptiivmoodul ei tööta) tuleb lahendada kaheksa tunni jooksul, keskmise taseme rike 16 tunni jooksul ja madala taseme rike 40 tunni jooksul. Kontrollerite garantiiremont liiklusohutust vahetult mõjutava rikke korral peab toimuma 15 tööpäeva jooksul ja muude komponentide puhul 30 tööpäeva jooksul.

6.2.6.4 Ühistranspordi asukohasüsteem

Ühistranspordi prioriteedimoodul kasutab Ridango AVL-süsteemi andmeid. Ridango on Eesti ettevõte, mille platvormi kasutavad nii Vilnius kui Tallinn. Nõuete kohaselt edastab AVL-süsteem GPS-asukohaandmeid iga viie sekundi tagant ning prioriteedimoodul peab saatma prioriteedikäsu kontrollerile mitte hiljem kui ühe sekundi jooksul pärast andmete saamist.

6.2.7 Lahenduse tüüp ja hankestrateegia

Vilniuse praegune lähenemine liiklusjuhtimisele ei kujunenud strateegilise üldplaani, vaid kogunenud kogemuse tulemusena. Alates 2006. aastast, kui Siemens Scala-põhine taristu käivitati, hakkas linn järk-järgult lisama teiste tootjate seadmeid. Esimene samm aastatel 2012–2014 oli esimese Dynniqi kontrolleri ühendamine eesmärgiga testida, kas avatud OCIT-protokollil põhinev lahendus on praktikas rakendatav. Eduka piloodi tulemusel hakkas linn teadlikult soodustama eri tootjate konkurentsi. 2024. aasta hange oli selle strateegia järgmine loogiline samm. Kuivõrd vana keskhaldussüsteem vajas väljavahetamist, kuid kontrollerite tarnijate ring jäeti avatuks, mistõttu uus süsteem peab töötama kõigi kasutusel olevate tootjate seadmetega.

6.2.7.1 Hankemenetlus

2024. aasta hange korraldati rahvusvahelise avatud menetlusena. Enne väljakuulutamist viis linn läbi ametliku turu-uuringu, mis oli aluseks tehnilise kirjelduse koostamisel ja tagas, et nõuded on realistlikud ega piira potentsiaalseid pakkujaid. Lõpphankes osales kolm pakkujat ja valituks osutus Cross.

Hange jagunes kaheks osaks. Esimene osa hõlmas keskhaldussüsteemi tarkvara koos paigalduse, konfiguratsiooni, ühistranspordi prioriteedimooduli, koolituse ja hooldusega. Teine osa on viieaastase pikendusõigusega raamleping 210 kontrolleri tarnimiseks, kusjuures linn ei pea kõiki kontrollereid korraga tellima. Selline kaheosaline struktuur võimaldab eelarvet paremini planeerida ja on Tallinna kontekstis otseselt rakendatav. Pakkumisi hinnati kolme kriteeriumi alusel: hind, kontrollerite garantiiperioodi pikkus (minimaalne nõue viis aastat, pikem aeg andis lisapunkte) ning kontrollerite integreerimisviis (käsitsi integreerimine andis null punkti, täisautomaatne OCIT 2.0 põhjal maksimaalsed punktid).[17]

[17] *Vilniuse hanke tehniline kirjeldus, peatükid I–II; hindamiskriteeriumide lisa*

6.2.7.2 Lahenduse tüüp ja kohanduste ulatus

Cross eDaptiva on valmistoode, mida on Vilniuse tingimustel kohandatud. Lähtekood jääb tarnija intellektuaalomandiks, kuid linn on ise täpsustanud kõiki konfiguratsioone ja saab neid muuta, sh kontrollerite automaatset lisamist, fooriplaanide haldust ja statistilisi vaateid. Hankenõuete alusel lisati täiendavad statistikaaruanded ja ühistranspordi prioriteedimoodul Ridango AVL-liidestusega. Lisaks nõuab hankedokument lepinguperioodil kuni 300 tundi lisaarendusteenuseid, mille alusel linn saab täiendavaid funktsionaalsusi tellida.

6.2.8 Rakendamise kogemus

6.2.8.1 Juurutamise etapid

Vilniuse üleminekustrateegia oli riskijuhtimise mõttes hoolikalt läbi mõeldud. Juurutamist alustati ligikaudu 40 ristmikuga, mis töötasid kohalikus ajakavas ilma koordineeritud koridorijuhtimiseta. Need olid esimene prioriteet, sest nende ühendamine uue süsteemiga ei mõjutanud naaberkontrollerite käitumist ega reaalset liiklust. Teises etapis migreeriti koridoriristmikud, kusjuures tarnijal oli selge kohustus tagada, et uues süsteemis töötavad täpselt samad koordineeritud ajaplaanid kui vanas, mis võimaldas ära hoida rohelise laine katkemise üleminekuperioodil. Uuringu koostamise ajaks on suurem osa kontrolleritest Cross eDaptiva süsteemiga ühendatud, kuid osa Siemensi kontrollereid töötab paralleelselt veel vanas süsteemis, kuni MOTION-funktsionaalsus on asendatud.

6.2.8.2 Peamised väljakutsed

Kõige olulisemaks väljakutseks osutus liiga lühike juurutusaeg. Kuigi Vilniusel on pikk kogemus eri süsteemide integreerimisel, seati uue süsteemi juurutusajaks kuus kuud, mis osutus väljakutseks nii linnale kui tarnijale. Ligikaudu 290 olemasoleva kontrolleri ühendamine, OCIT-ühilduvuse kontrollimine viie tootja seadmetega ja integratsioonide testimine oli oluliselt mahukam kui algselt planeeritud.

Teiseks ilmnesid tootjaspetsiifilised OCIT-protokolli erinevused. Kuigi iga tarnija toetab OCIT protokolli, teeb iga tootja protokolli teostuses omapoolseid muudatusi: standardfunktsionaalsus üldjuhul toimib, kuid spetsiifilisemad funktsioonid võivad käituda erinevalt. Näiteks toimis detektoripõhise reageerimise (*traffic actuation*) sisse- ja väljalülitamine OCIT kaudu Siemensi kontrolleril, kuid SWARCO kontrolleritel sama käsk soovitud tulemust ei andnud.

Kolmas õppetund on korralduslik: koostöö uue ja olemasolevate tarnijate vahel ei teki iseenesest. Cross eDaptiva juurutus vajas Crossi ja SWARCO vahelist tehnilist koostööd, et SWARCO kontrollerid uues süsteemis korrektselt töötaksid. Ilma lepingulise kohustuseta ei pruugi olemasolev tarnija olla motiveeritud konkurendiga koostööd tegema, kuid antud olukorra võimaldas lahendad korrektselt ja selgelt sõnastatud hanketingimus, mis sätestab koostöökohustuse.

6.2.8.3 Kohalikud kohandused

Tehniline koolitus peab toimuma leedu keeles, kuigi ingliskeelne läbiviimine on lubatud tõlke tingimusel. Hankedokument on avaldatud nii leedu kui inglise keeles ja avalikult kättesaadav. Andmelao liidestus peab kasutama olemasolevat ArcGIS- ja andmelaotaristut, ilma uut taristut ehitamata. Liiklusseadusandluse mõttes ei vasta osa Vilniuse ristmike fooristaristu 2021. aastal

uuendatud Leedu seaduse nõuetele, see on eraldi infrastruktuuriinvesteeringu argument, sõltumatu tarkvarasüsteemi valikust.[18]

6.2.9 Saavutatud tulemused ja õppetunnid

6.2.9.1 Liiklusefektiivsus

Adaptiivse juhtimise mõju on praegu mõõdetud ainult ühes koridoris, kus ACC-režiim töötab Crossi kontrolleritega. Mõõtmismetoodika oli võrdlev, sama koridor enne (koordineeritud fooriprogrammid) ja pärast (ACC-režiim). Adaptiivsüsteem arvutas välja lühemad tsükliajad ja vähendas sõidukite ooteaegu. Selle otsese tulemusena vähenes hinnanguliselt kogu koridori summaarne ooteaeg ühe tunni jooksul 90 minuti võrra. Oluline on mõista tulemuse piire: mõõdetud on üks koridor ning ülelinnaline mõju ei ole mõõdetav enne, kui kontrollerite väljavahetamine on lõppenud. Ülejäänud kontrollerid töötavad pärast migreerimist samas koordineeritud režiimis kui varem. Koridori pikkus ja sõiduradade arv avaldatud materjalis puuduvad; töövõtja täpsustab need lõpparuandeks.

Kesklinna alas on maksimaalne tsükliaeg 140 sekundit, äärealadel kuni 160 ja üksikutel ristmikel 180 sekundit, mida Vilnius peab praktiliseks ülempiiriks. Öisel ajal kasutatakse keskmiselt 60-sekundilist tsüklit. Google Green Light projekti tehisaru-andmeanalüüsi esmane tulemus (2025) registreeris ühel ristmikul 5 sekundit lühema ooteaja juhi kohta ja kogu ooteaja lühenemise 16%.[19]

6.2.10 Ühistranspordi prioriteet

Ühistranspordi prioriteet töötab ACC-koridoris ja on konfigureeritav: st. linn saab määrata, milline sõidukigrupp saab konfliktiolukorras eelisõiguse, ning seada igale grupile eraldi viivitusläve. Sama marsruudi kahe bussi konfliktis prioriseeritakse rohkem graafikus hilinenud busse. Praktikas piirab ühistranspordi tegelikku kasu korralduslik takistus: bussisõiduplaane ei ole prioriteedi mõju tulemusel kohandatud. See on Tallinna jaoks oluline paralleel, prioriteedi tehniline toimimine ja ühistranspordi tegeliku efektiivsuse paranemine on kaks eraldi protsessi, millest teine eeldab koordineerimist ühistranspordi korraldusega.

6.2.11 Küberturvalisus ja keskkonnaseire

Süsteemi uuendamise peamine ajend 2024. aastal ei olnud liiklusmõju maksimeerimine, vaid küberturvalisus ja taristu töökindlus: vanad kontrollerid olid jõudnud tootja tugiperioodi lõppu, varuosad olid raskelt kättesaadavad ja turbehaavatavused lahendamata. Küberturvalisuse nõuded on hankedokumendis sõnaselged, sh GDPR-vastavus ning ISO 9001 ja ISO/IEC 27001 sertifikaadid on kohustuslikud. Keskkonnaseire osas osaleb Vilnius Google Green Light projektis, mis hindab heitgaaside vähenemist ja kütusekulu muutust; eraldi liiklusega integreeritud keskkonnaseireandurite süsteem linnal täna puudub. 2024. aastal moodustasid jätkusuutlikud liikumisviisid üle poole Vilniuse liiklejate igapäevastest liikumistest, eesmärgiga jõuda 70%-ni aastaks 2030.

[18] *Vilniuse hanke tehniline kirjeldus, peatükid V–VII; lepingutingimuste lisa*

[19] *Google Green Light projekti esmane tulem (2025)*

6.2.12 Peamised õppetunnid Tallinnale

Vilniuse kogemusest tulenevad Tallinna jaoks kolm konkreetset järeldust:

- **Juurutusaeg peab olema pikem kui kuus kuud.** Ligikaudu 300 ristmiku ühendamine, OCIT-ühilduvuse kontrollimine mitme tootja seadmetega ja integratsioonitestide läbiviimine nõuab realistlikku ajakava. Hankedokument peaks sisaldama eraldi eelintegratsioonitestimise etappi, kus tarnija kontrollib kõigi kontrolleritüüpide OCIT-ühilduvust enne töösüsteemile üleminekut.
- **Olemasolevatele tarnijatele tuleb sätestada koostöökohustuse klausel.** Uue tarnija edukas integreerimine sõltub ka sellest, kas olemasolev tarnija on lepinguliselt kohustatud temaga koostööd tegema.
- **Mitme tarnija strateegia on majanduslikult mõttekas, kuid integratsioonikulu on reaalne ressurss.** Avatud OCIT-protokoll lubab konkurentsi, kuid iga uue tootja lisamine nõuab integratsioonitööd ja ressurssi. Tallinna hanke planeerimismaht peab seda ressursikulu selgelt arvestama ega tohi eeldada, et protokolliühilduvuse deklareerimine tähendab automaatselt probleemivaba integreerimist.

6.3 Helsingi

6.3.1 Linna üldandmed ja kontekst

Helsingi on Soome pealinn ja suurim linn, mis asub riigi lõunarannikul Soome lahel. Elanike arv on ligikaudu 690 000 ning suurema Helsingi piirkonna rahvaarv ületab 1,5 miljonit (2025. aasta seisuga). Haldusterritoorium hõlmab umbes 715 km², millest maismaapind on 214 km².[20]
Tallinnaga võrreldes on Helsingi suurem nii elanike arvu kui territooriumi poolest, kuid mõlemad kuuluvad samasse kategooriasse, väikese kuni keskmise suurusega pealinn, kus tugevalt väljakujunenud ajaloolist keskust ümbritseb laialdane ühistranspordi taristu. Liikluskoormust iseloomustab tugev sõiduauto kasutus tipptundidel kesklinna suunduvatel peamagistraalidel, paralleelselt hästi arenenud trammi- ja bussisüsteemiga, mille prioriteedi tagamine on liiklusjuhtimises olnud oluline juba aastakümneid.
Kliima on Tallinnaga väga sarnane: mõlemas linnas esineb lumega talvi, külmumisperioode ja niiskust põhjustavaid kevadisi sulamisi. Helsingi kogemuses on niiskus sensorite ja kontrollerikappide peamine tehniline risk, eriti vanematel seadmetel. Talviste temperatuuride kõikumine on mõlemas linnas samas vahemikus, mis tagab tehniliste lahenduste hea ülekantavuse Tallinnale.

6.3.2 Tarkvaralahendus ja süsteemi ülesehitus

6.3.2.1 Keskhaldussüsteem

Helsingi liiklusjuhtimissüsteem tugineb kahele paralleelsele SWARCO keskhaldusplatvormile OMNIA ja OmniVue, mis pärinevad samalt tarnijalt, kuid esindavad eri põlvkondi. Seisuga juuni 2026 on käimas uue ühtse keskhaldussüsteemi hange eesmärgiga need kaks platvormi viie kuni

[20] Helsinki linnavalitsuse avalik statistika – Helsinki Facts and Figures (2025)

kuue aasta jooksul ühtse lahendusega asendada. Täna täidab OMNIA Helsingis kolme rolli: operatiivseire (operaatorid jälgivad reaalajas ristmike olekut ja häireid), operatiivjuhtimine (kaamera- ja liiklusinfo põhjal saab operaator programme muuta või ristmiku kollasesse vilkumisse lülitada) ning alarmi- ja tõrkehaldus.
Fooriprogrammide koostamine toimub väljaspool OMNIA platvormi. Linn on soetanud SWARCO programmeerimistarkvara litsentsid ja koostab kõik fooriprogrammid ise, ilma alltöövõtjale delegeerimata; programmi muutmisel saavad linna insenerid otse kontrollerisse sisse logida. Tallinnas saab Liikuvusameti foorisüsteemi spetsialist teha programmimuudatusi ka ise; suuremamahulised muudatused laeb kontrolleritesse hoolduspartner.

6.3.3 Juhtimisalgoritmid ja adaptiivse juhtimise tase

Helsingi ei kasuta täisfikseeritud juhtimistsükleid: igal ristmikul on adaptiivne element, kas nõudluspõhine/adaptiivne kus sensorid pikendavad rohelist tuld umbes 10 sekundi võrra suurema liikluse korral, või koordineeritud koridorijuhtimine. Täisadaptiivset juhtimist, kus algoritmid arvutavad fooriprogramme reaalajas terve koridori kaupa, ei ole Helsingis veel täies mahus rakendatud. Adaptiivse juhtimise pilootprojekte on toimunud ja tulemused lootustandvad, kuid laiaulatuslik rakendamine on pigem eesmärk tuleviku vaates. Praegu ei koordineeri üks ristmik oma pikenenud tsüklit automaatselt naaberkontrolleriga. Öisel ajal lülituvad paljud ristmikud nõudluspõhisesse režiimi, mis on madala koormuse korral efektiivsem kui koordineeritud plaan.

6.3.3.1 Protokoll ja tarnijasõltuvus

Helsingi süsteem kasutab SWARCO süsteeme, kus RSMP (*Road-Side Message Protocol*) on osaliselt rakendatud, kuid ainult vanemas versioonis ja mitte täisfunktsionaalselt; uuemale versioonile üleminek otsustati edasi lükata uue keskhaldussüsteemi hankeni. SWARCO on Helsingi ainus suurem kontrollerite tarnija. OCIT-protokolli Helsingi ei kasuta, kuivõrd kogemus Leipzigist näitas eri tarnijate kontrollerite ühendamisel ligikaudu kolmesekundilist viidet, mis on liiklusjuhtimises Helsingi hinnangul liiga suur. Uue hanke tingimustesse on kavandatud RSMP laienduse nõue, mis peaks tulevikus süsteemi avatust parandama.[21]

6.3.4 Riistvaralahendus

6.3.4.1 Foorikontrollerid

Helsingi ristmike koguarv on ligikaudu 548 ja kasvab pidevalt uute trammiliinide ehituse tõttu. Neist umbes 97 ei ole praegu ühegi keskhaldussüsteemiga ühendatud. Nende puhul on enamasti tegemist vähemtähtsamate ja madalama koormusega jalakäijate ristmikutega linna äärealadel, mille ühendamine on tulevikus plaanis. Kontrolleripargis domineerivad SWARCO ITC-perekonna seadmed; lisaks on kasutusel umbes 100 vanema generatsiooni kontrollerit 1980ndate lõpust ja 1990ndate algusest. EC1-mudeleid on ostetud vaid üksikuid, kuna need ei osutunud Helsingi tingimustes sobivaks. Mõnel katsealal on ka Siemensi kontrollereid, mis ei ole praegu keskhaldussüsteemiga ühendatud.

6.3.4.2 Loendussüsteemid ja andurid

Peamine anduritüüp on induktiivsilmus, mis on paigaldatud peaaegu igale ristmikule; suurimatel ristmikel on kuni 20-30 silmust. Lisaks kasutatakse radaril põhinevaid sensoreid rohelise laine

[21] Euroopa Liidu hangete platvorm – Helsingi linna hankedokumendid „Keskse valgusfooride juhtimissüsteemi hange“

pikendamiseks ning väiksemates kogustes infrapunasensoreid. Sadama-alal on pilootprojektina katsetatud virtuaalseid detektoreid (tootja ja tehnoloogia vajavad kinnitust): need on kaamerapõhised lahendused, mis toimivad induktiivsilmuse analoogina ega vaja maasse paigaldamist, mis võimaldab alandada oluliselt seadmetega seotud paigalduskulusid. Uue trammiliini ristmikel on käimas nutikate radarkaamerate paigaldus ning eraldi hange jalakäijate loenduse jaoks, milles ei määratleta konkreetset tehnoloogiat, vaid üksnes andmekvaliteedi nõuded. Liikluskaamerad on kasutusel operatiivses järelevalves, kuid ei ole otseselt keskhaldussüsteemiga integreeritud ega kasutata automaatsete juhtimisotsuste tegemiseks.

6.3.4.3 Sideinfrastruktuur ja ühistranspordi asukohasüsteem

Side kontrollerite ja keskhalduse vahel toimub viimastel aastatel ühendatud ristmikel peamiselt GSM/4G kaudu. Aktiivsete ruuterite haldus on delegeeritud linna haldusalasse kuuluvale IT-ettevõttele, kuid füüsiline hooldustöö tehakse linna enda meeskonna poolt. Ühistranspordi prioriteet põhineb GPS-asukohal: programmeeritud tuvastuspunkti jõudes saadab ühistranspordi sõiduk prioriteedikäsu keskhalduse kaudu kontrollerile. Tuvastuspunkte saab linn juhtimiskeskusest kohandada, ilma füüsilise kohalolekuta ristmikul.

6.3.5 Lahenduse tüüp ja hankestrateegia

6.3.5.1 Lahenduse tüüp

Helsingis kasutusel olev lahendus on valmistoote (SWARCO OMNIA/OmniVue) ja linna oma programmeerimise kombinatsioon. Linn omab kontrollereid ja kogu füüsilist taristut; keskhaldussüsteem on SWARCO omand, kuid linn on ostnud kasutusõiguse ja litsentsid programmeerimistarkvarale. Uue ristmiku ühendamisel on SWARCO sekkumine vajalik üksnes OMNIA poolel. Liiklusmodelleerimine toimub läbi PTV VISSIM-I eraldi osakonna poolt ega anna ristmike programmeerimisele otsest sisendit. Liiklusvoogude arvutused edastatakse käsitsi ning fooriprogrammide muudatused tehakse eraldiseisvalt.

6.3.5.2 Hankemenetlus ja nõuded

Helsingi kasutab avatud hankemenetlust kõikide süsteemide hankimisel. Enne väljakuulutamist toimuvad vabas vormis eelkonsultatsioonid tarnijatega (*RFI*-faas), mille järel saadetakse küsimused ametlikult kõigile huvirühmadele võrdselt. Töö teostamise hetkel oli linnal käimas kaks avatud hanget: uue keskhaldussüsteemi hange (eesmärk asendada OmniVue ja lõpuks OMNIA ühe platvormiga) ning täiendavate jalakäijate loenduspunktide hange. Hankedokumendid on avalikult kättesaadavad Soome hankesüsteemis.

Uue keskhaldussüsteemi hange sisaldab muu hulgas järgmisi nõudeid:

- Liides kohaliku ühistranspordiameti (HSL) süsteemiga, mis võimaldab GPS-põhist asukohaandmete kasutamist; praegune sõidugraafikut mittearvestav prioriteedisüsteem asendatakse ajakavatundlikuma lahendusega.
- Erakorraliste sõidukite prioriteedi (HALI) integreerimine keskhaldussüsteemiga GPS põhjal.
- RSMP-protokolli laiendus uuemas versioonis süsteemi avatuse parandamiseks.
- Katsetamise etapp, kus 1-2 aasta jooksul on tarnijal aega süsteem töökorda seada, kuid samuti ka kohustusest taganeda, kui antud tulemid ei ole saavutatavad.

Peamise väljakutsena uute lahenduste hankimisel on olnud tarnijapoolsete lubaduste ja tingimuste range tõlgendamine, st tarnijad tõlgendavad nõudeid sõna-sõnalt ja küsivad kõigi

lisafunktsionaalsuste eest lisatasusid. See on otsene õppetund Tallinnale, iga hankes esitatud nõue tuleb sõnastada üheselt mõistetavalt, et see oleks selgelt lepinguga kaetud ning väldib hilisemaid komplikatsioone.

6.3.6 Rakendamise kogemus

6.3.6.1 Arenguetapid

Helsingi läks fikseeritud tsüklitelt adaptiivsetele elementidele üle aastakümneid tagasi, viimase 20 aasta jooksul ei ole linnas olnud täisfikseeritud ristmikke. Süsteemi areng on olnud järkjärguline: kolm eri keskhaldussüsteemi on koondatud kaheks ja eesmärk on jõuda ühe süsteemini. Käesoleva analüüsi kontekstis on oluline, et Helsingi on dünaamilise liiklusjuhtimise täisrakenduses Tallinnaga sarnasel kaugusel: adaptiivne element on igal ristmikus olemas, kuid täisadaptiivne koridorijuhtimine on endiselt pilootfaasis.

6.3.6.2 Ühistranspordi ja operatiivsõidukite prioriteet

Ühistranspordi prioriteet on Helsingis laialdaselt kasutusel kogu trammi- ja bussivõrgus. Kiirtramm, mis läbib ligikaudu 75 fooridega ristmikku, saab eelprogrammeeritud prioriseeriva rohelise tule, samas kui kesklinna vanematel trammiliinidel taotletakse prioriteeti päringu alusel. Sõidugraafiku integratsioon, mis hõlmaks prioriteedi andmist hilinenud ühistranspordile hetkel ei toimi, kuid eesmärk on see lahendus juurutada järgmised nõuded andmete liikumisele selle võimaluse peaksid avama. Prioriteedikonfliktis antakse eelis kummaski suunas esimesena saabuvale ühistranspordi sõidukile, sõltuvalt fooriprogrammi aktiivsest faasist. Pilootprojektina on testitud ka kaalupõhist prioriteeti, kus näiteks suurema täituvusega trammile antakse väiksema bussi ees suurem prioriteet. Lisaks on Helsingi piloteerinud Soome riiklikku HALI süsteemi politsei, kiirabi ja tuletõrje GPS-põhiseks prioriseerimiseks; süsteemi laiendus kogu linnale peaks algama lähiaastatel ja kestma umbes kolm aastat. Lahenduse käigus edastab operatiivsõiduk GPS põhiselt oma trajektoori, mis võimaldab tagada sõiduki ristmikule jõudes rohelise fooritule.

6.3.7 Kliimatingimuste mõju ja varuolukorra loogika

Kliimatingimuste poolest on Helsingi võrreldav. Niiskus on Helsingi kogemuses peamine tehniline risk ja vanema taristu suurim hooldusvajaduse põhjus. Talvekülm ise ei ole kontrolleritele probleem, kui tagatud on elektrivarustus ning sobiv temperatuur. Seal juures on suurem oht hoopis suvehooajal, kui tumedaks värvitud kontrollerikapid absorbeerivad päikesesoojust. Varuolukorra loogika on lihtne ja töökindel, st kõik fooriprogrammid ja ajaplaanid on salvestatud kontrollerisse kohapeal, ning side katkemisel jätkab ristmik iseseisvalt programmeeritud ajaplaani järgi, ilma välja lülitumata või kollasele vilkumisele lülitumata.

6.3.8 Andmehaldus ja haldusmudel

Helsingi on ehitamas tsentraliseeritud liiklusandmete andmebaasi, mis koondab eri allikate liiklusvoo andmeid ja loob platvormi tulevasteks masinõppelahendusteks. Tehisintellekti lahendused ei ole praegu kasutusel, kuid väikeses mahus on katsetatud kaamerapõhist tuvastust ning arenduses on anomaaliate tuvastuse süsteem, mis kasutab sõidukitest pärinevaid andmeid (FCD - *floating car data*) ja hoiatab operaatorit ebatavaliste liiklusmustrite ning ummikute tekkimisohu korral. Andmed salvestatakse EL-i avaandmete nõuete kohaselt masinloetavas formaadis. Helsingi haldab liiklustaristut linna enda üksuses, kuhu kuuluvad planeerijad, operatiivtöötajad ja tehniline meeskond; alltöövõtjaid kasutatakse füüsiliste ehitus- ja

hooldustööde jaoks, kuid otsustusõigus jääb linnale. See eristab Helsingit Tallinnast, kus suure osa operatiivsest haldusest teostab välispartner.

6.3.9 Saavutatud tulemused ja õppetunnid

6.3.9.1 Tulemused ja mõõdikud

Helsingi ei avalda dünaamilise liiklusjuhtimisega seotud konkreetseid kvantitatiivseid mõjunäitajaid. Süsteemi toimivust hinnatakse peamiselt liiklusohutuse seire (õnnetuste ja konfliktide jälgimine eraldiseisva üksuse poolt) ning liiklusoperaatorite tagasiside kaudu. Süsteemset enne/pärast-hindamise metoodikat, mis võimaldaks tuvastada liiklusjuhtimise muudatuse mõju teistest teguritest, Helsingis formaalselt ei kasutata. Reisi- ja viivitusaegade mõõtmised koostatakse sõidukite liikumisandmete (floating car data) põhjal ja kasutatakse planeerimise sisendina.

Lasertuvastusandurite piloot saavutas keskmise loendustäpsuse 97% nii sõidukite kui jalgratturite ja jalakäijate puhul. Liiklusest on saanud Helsingi peamine kasvuhoonegaaside allikas: kuigi ligikaudu 80% linnasisestest liikumistest toimub jalgsi, rattaga või ühistranspordiga, ei ole see linna kliimaeesmärkide täitmiseks veel piisav. Dokumenteeritud mõõtmistulemused Helsingi liiklusjuhtimise muudatuste mõjude kohta ei eraldiseisvalt avalikustatud.

6.3.9.2 Tulevikuplaanid

Helsingi kolme kuni viie aasta prioriteedid koonduvad nelja arendussuuna ümber: uue ühtse keskhaldussüsteemi kasutuselevõtt, HALI erakorraliste sõidukite prioriteedi laiendus, trammijuhtidele mõeldud reaalajaline fooriinfosüsteem ning andmesüsteemide laiendus (rohkem loenduspunkte, tsentraliseeritud andmebaas, anomaaliate tuvastus). Täisadaptiivne koridorijuhtimine ei ole lähiaastate prioriteetide hulgas, vaid kuulub perspektiivsete eesmärkide sekka.

6.3.9.3 Peamised õppetunnid Tallinnale

- **SWARCO tooteperekonna otsene ülekantavus.** Helsingi kasutab Tallinnaga sama OMNIA platvormi, mistõttu arhitektuurilised lahendused, protokollipiirangud ja tarnijakogemus on otseselt võrreldavad. Helsingi kogemus erinevate tarnijate nõuete rangest tõlgendamisest on Tallinnale otsene õppekoht.
- **GPS-põhine ühistranspordi prioriteet.** Helsingi lahendus, kus tuvastuspunkte hallatakse juhtimiskeskusest, on Tallinna jaoks teoorias rakendatav mudel: GPS-positsioneerimisel põhinev ahel (zir24.pl) on Tallinnas olemas, kuid prioriteedi juhtimises hetkel rakendamata, ning uute trammiliinide arendamine pakub konkreetse kasutusjuhu selle piloteerimiseks.
- **Täisadaptiivse liiklusjuhtimise realistlik horisont.** Helsingi, kus adaptiivne element on ristmikel olnud aastakümneid, ei ole täisadaptiivset koridorijuhtimist veel laiaulatuslikult rakendanud. See kinnitab, et Tallinnal on otstarbekas alustada selgelt piiritletud pilootprojektist ning edukate tulemuste korral seda järk-järgult laiendada.

6.4 Kopenhaagen

6.4.1 Linna üldandmed ja kontekst

Kopenhaagen (elanike arv ligikaudu 600 000 elanikku) on üks Euroopa juhtivaid linnu jalgrattaliikluse haldamises ning prioriseerimises. Tipptunnil on jalgratas linnasüdames domineeriv liikumisviis, osadel jalgrattateedel liigub kuni 40 000 ratturit päevas. See määrab oluliselt liiklusjuhtimise prioriteete - fooriprogrammid, mõõdikud ja taristu on tugevalt jalgrattakesksed, mis eristab Kopenhaagenit nii Tallinnast kui teistest võrdluslinnadest.
Liiklusjuhtimissüsteem kuulub Kopenhaageni omavalitsuse Tehnika- ja Keskkonnaameti (TMF) haldusalasse. Linna läbivaid riigimaanteid haldab Taani Maanteeamet (Vejdirektoratet), kellega TMF teeb ristmike ühishalduses koostööd. Süsteemi arendamine sai tõuke kahest paralleelsest protsessist: linna kliimaneutraalsuse kava (NetZero), mis nõudis liiklusest tulenevate CO_2-heidete vähendamist, ning 2018. aasta ITS-i kongressi korraldamine, mille ettevalmistuseks rakendati 3–4 aasta jooksul ulatuslik ITS-programm.

6.4.2 Tarkvaralahendus ja süsteemi ülesehitus

6.4.2.1 Keskhaldussüsteem

Kopenhaageni keskhaldussüsteemina on kasutusel MobiMaestro (Technolution Move), mis võeti kasutusele 2015. aastal ja töötab puhtalt avatud RSMP-protokollil (laiendusega SXL 1.0.13). See oli ligikaudu 15 aastat tagasi tehtud strateegiline otsus lõpetada tarnijasõltuvus avatud protokolli kasuks. Protokolli tasandil on linn tarnijast sõltumatu, kuid praktikas piiras eelise realiseerumist tarnijate väike arv. Kuni viimase ajani oli MobiMaestro ainus RSMP-l põhinev süsteem, mis tekitas uue tarnijasõltuvuse ja avaldas hinnasurvele negatiivset mõju. Süsteem võimaldab juhtida liiklust ristmiku, koridori ja tervikpiirkonna tasandil ning seada erinevatele olukordadele ka fooriprogrammide automaatsed ümberlülitused (näiteks erinevate avalike ürituste toimumine vastavalt kalendrile). Uue keskhaldussüsteemi hankimist kaalutakse, kuid praegu rakendatav teekaart ning tegevuskava ei ole veel kinnitatud.

6.4.2.2 Juhtimisviiside jaotus

Linna südames domineerib fikseeritud ajaline juhtimine (üle 400 ristmiku), sest kõrge mahuga liiklusvoogudes ühildub Kopenhaageni hinnangul nõudluspõhine liiklusjuhtimine fikseeritud ajaga programmidega. Nõudluspõhine juhtimine on kasutusel ligikaudu 180 ristmikul, peamiselt ühistranspordi prioriteedi rakendamiseks ning teatud ristmikel vasakpöörde tuvastuse ja rohelise laine pikendamise jaoks. Täielikult nõudluspõhise juhtimise võimekus on ligikaudu 20 kontrolleril, peamiselt linna äärealadel. Kopenhaagen iseloomustab oma lähenemist konservatiivseks, kuid praktiliselt põhjendatuks.

6.4.2.3 Roheliste lainete koordinatsioon ja ajasünkroonsus

Roheliste lainete kujundamine toimub peamiselt Exceli tabelite põhjal kaheliikmelise meeskonna abil; kasutusel on ka LISA-tarkvara sisseehitatud rohelise laine moodul, mis arvestab liikluse sisse- ja väljavoolu, ning makrotasandi liiklejamudel COMPASS (*Copenhagen Model for Passenger Activity Scheduling*). Fooriprogrammid koostatakse manuaalselt ja edastatakse laadimiseks hoolduspartnerile, sealjuures liidestamise abil automatiseeritud üleslaadimist kontrollerisse ei toimu. See manuaalne muster kordab Tallinna olukorda, kusjuures Kopenhaagenis on tegemist teadliku kompromissi, mitte ajutise lahendusega.

Ajasünkroniseerimisel töötavad kontrollerid NTP-serveri põhiselt; Kopenhaageni kogemus soovitab lisada igale kontrollerile GPS-lisamooduli (ligikaudu 80-100 eurot kontrolleri kohta), et sünkroniseerimisprobleemid täielikult välistada.

6.4.2.4 Muud tarkvara- ja andmelahendused

Kopenhaagenis on kasutusel mitu täiendavat lahendust: GreenCatch mobiilirakendus soovitab juhtidele optimaalset sõidukiirust vastavalt fooriprogrammidele[22]; C-ITS lahendused võimaldavad reaalajalist infovahetust sõidukite ja taristu vahel; VMS-tahvlid (ligikaudu 50–60 tk) edastavad jalgrattaliikluse infot, ürituste ja intsidentide teateid ning kasutusel olevad VSL-märgid muudavad koolide läheduses dünaamiliselt kiiruspiiranguid. Sõidukitelt saabuvate täppisandmete (CCAM/C-V2X) integreerimine on hetkel uurimisjärgus. Andmehalduse osas omab linn MobiMaestro konfigureerimisõigusi; tarkvara on ostetud valmistootena, lisafunktsioone saab arendada, kuid sõltumatu kolmanda osapoole kaasamine vajab tarnija koostööd. Küberjulgeoleku küpsus on muutumas prioriteediks.

6.4.3 Riistvaralahendus

6.4.3.1 Foorikontrollerid

Kopenhaagenis on ligikaudu 425 valgusfooridega reguleeritud ristmikku, mida haldab umbes 420 kontrollerit. Lisaks haldab TMF ühisjuhtimise korras 7-10 maanteeameti haldusalasse kuuluvat ristmikku parema liikluskoordinatsiooni huvides. Kontrolleripargist enamiku moodustavad vanema generatsiooni EC1 ja EC2 kontrollerid, mis on töökindlad, kuid tootja on tarnimise ning tehnilise toe lõpetanud, mistõttu kasutusest kõrvaldatud seadmeid kasutatakse eelkõige varuosadeks. Ülejäänud seadmed koosnevad eelkõige SWARCO kontrolleritest. Uue tarnija otsimisel on RSMP-ühilduvuse testimisel kaks alternatiivi: Cross RS5 ja Yunex kontrollerid.

6.4.3.2 Andurid ja loendussüsteemid

Induktsioonsilmuste kasutamisest loobutakse järk-järgult, sest Kopenhaageni liikluses on nende eluiga piiratud ning saavad teekattetöödel regulaarselt kahjustada. Induktsioonsilmuste asemel on aina rohkem kasutusele võetud liikluskaameraid, mille hankimisel nõutakse kaugligipääsu, et vältida kohapealseid töid. Kasutusel on termokaamerad jalgratturite ja jalakäijate tuvastuseks, jalgratturite tuvastussüsteem (Q-Free HI-TRAC CMU), valvekaamerad intsidentide halduseks, sündmuste ajaks paigaldatavad Bluetooth/WiFi-sensorid ning liikuvusandmed (FVD – *Floating Vehicle Data*) jalgrattaliikluse jaoks. Eraldi lahendus ilmastiku- ja teeolude monitoorimiseks on CPH:SENSE, mis ühendab infrapuna- ja ilmastikuandurid (temperatuur, niiskus, valgus, saaste) avatud platvormil.

6.4.3.3 Ühistranspordi prioriteet ja varuolukorra loogika

Ühistranspordi prioriteedisüsteem on Kopenhaageni hinnangul eraldiseisev, vananenud ja kõrge latentsusega. Tänasel hetkel on süsteem töökorras, kuid nõuab tihedat ning aeganõudvat konfigureerimist, mis muudab protsessi linna hinnangul ebaefektiivseks. Ühissõiduki saabumisel ristmikule antakse automaatselt 6-12 sekundit täiendavat rohelist foorituld, kusjuures kõiki ühistranspordi sõidukeid koheldakse võrdselt ning sõidugraafiku nihkeid ei arvestata. Tehniliselt edastatakse bussioperaatori GPS-signaal serverile ja sealt kontrollerile, lõpliku indikaatorina toimib induktsioonsilmus ristmikul. Lähituleviku plaan on serveripoolne prioriseerimine hilinemise

[22] Smart Traffic Solutions to Make Copenhagen Carbon Neutral (2025)

kestuse ja bussiliigi alusel, kasutades selleks uuemat protokolliversiooni. Varuolukorra loogika on lihtne: side katkemisel töötab kontroller fikseeritud ajaga programmi alusel.

6.4.4 Lahenduse tüüp ja hankestrateegia

6.4.4.1 Üldine lähenemine ja hankepõhimõtted

Tellijaks on üldjuhul Kopenhaageni Tehnika- ja Keskkonnaamet. Riigiülesed hanked, mis hõlmavad maanteeameti taristut, toimuvad Taani Maanteeameti kaudu. Kopenhaageni kogemusest tõusevad esile kolm hankepõhimõtet:

- **Lepingujuhtimine.** Tarnija peab teadma, et hankedokumendile mittevastavus toob kaasa konkreetsed tagajärjed; tugev lepinguhaldus on sama tähtis kui tehniline kirjeldus.
- **Mõõdetavus.** Kõik hankes kirjutatu peab olema testitav ja mõõdetav. Juhul kui midagi sätestatakse nõudena, peab seda saama kontrollida.
- **Modulaarsus.** Lihtsam tehniline kirjeldus väiksema funktsioonide arvuga toob rohkem pakkujaid ja sobivama hinna, mistõttu väikese funktsionaalsuse loovutamine suurema konkurentsi nimel on Kopenhaageni hinnangul mõistlik kompromiss.

6.4.4.2 Arenguetapid ja kontrollerite hankemudel

Kopenhaageni areng on olnud etapiline: 2004. aastal käivitati esimene jalgratturite rohelise laine piloot, 2012.-2015. aastal rakendati Valby linnaosas kaamerapõhine adaptiivne Imflow-süsteem, 2015. aastal võeti kasutusele MobiMaestro platvorm[23] ning 2016. aastal investeeriti ligikaudu 6,2 miljonit eurot 380 nutikasse foorivõrku.[24] Hilisemad hanked on hõlmanud foorisüsteemide hooldust (2021, ~10,8 mln EUR; 2026, ~7,4 mln EUR) ja kontrollerite tarnet (2022, SWARCO ja ATKI, ~11,7 mln EUR).[25]

Kontrollereid hangitakse hetkel ühe ristmiku kaupa, millega kaasneb linna hinnangul välditav ja kulukas halduskoormus. Alternatiivina soovitab Kopenhaagen Maanteeameti lähenemist: hankida kontrollerid mahus (näiteks 50 kontrollerit kaheks aastaks), lisada põhjalik testimisprotsess (ligikaudu 250 kontrollpunkti) ja kontrollida vastavust hankenõuetele enne ühegi kontrolleri paigaldamist. Kopenhaageni kogemus rõhutab ka RSMP-õppetundi: avatud protokoll lahendab tarnijasõltuvuse küsimuse kontrollerite tasandil, kuid ei taga automaatselt konkurentsi kui antud protokolli rakendab vaid üks tarnija, sest tekib sarnane olukord tarnijasõltuvusele. Tegelik konkurents eeldab, et protokolli kasutaks vähemalt kaks kuni kolm tarnijat.

6.4.5 Rakendamise kogemus

6.4.5.1 Peamised väljakutsed ja lahendused

Kopenhaageni varasem süsteem (Motion) töötas linna hinnangul alla ootuste: ligikaudu pool linna umbes 200 induktsioonsilmusest oli teetööde tõttu katki, mistõttu liiklussageduse mõõtmise täpsus halvenes oluliselt, ning süsteem ei suutnud olla usaldusväärne alus adaptiivsele juhtimisele. Lahenduseks korraldati uus hange, mille tulemusel rakendati kaameratel põhinevat Imflow-süsteemi. Teiseks väljakutseks oli MobiMaestro pikaajaline kontroll RSMP-protokolli pakkujana,

[23] Smart Traffic Solutions to Make Copenhagen Carbon Neutral (2025)

[24] State of Green - 380 Intelligent Traffic Signals for Copenhagen (2016)

[25] Euroopa Liidu hangete platvorm – Kopenhaageni linna hankedokumendid „Liiklusfooride juhtimisseadmete tarnimine“

mis tõi linna hinnangul kaasa ebasoodsad maksumused ning hooldustingimused ja -kulud. Olukorra lahendamiseks piloteeritakse uusi tarnijaid, et võimaliku tarnijate ringi ning konkurentsi laiendada. Kolmas väljakutse on fooriprogrammide keerukus: kuivõrd osa konfiguratsioonist on käsitsi kodeeritud ning üles ehitatud, on uute inseneride ja meeskonna koolitamine märkimisväärselt aja- ning ressursikulukas.

6.4.5.2 Andmehaldus ja küberturvalisus

Linna poolt foorikontrollerite ligipääs toimub kaudselt läbi VPN-, mis on muuhulgas ka Kopenhaageni nõue kõikidele kontrolleritele, kuid mida praegu pakub eelkõige SWARCO. Küberjulgeoleku küpsus on linnale tõusev prioriteet; varasem kogemus on näidanud süsteemi haavatavuste kriitilisust, mis tuleviku kontekstis on oluline lahendada.

6.4.6 Saavutatud tulemused ja õppetunnid

6.4.6.1 Mõõdetud mõju ja KPI-raamistik

Kopenhaagen on dünaamilise liiklusjuhtimise mõju mõõtnud süsteemsemalt kui teised võrdluslinnad. Alates 2000. aastatest on linnas mõõdetud ning monitooritud eelkõige kergliikluse ning ühistranspordiga seonduvaid näitajaid. Näiteks esimeste jalgratta prioriteedi seadmise projektidega täheldati märkimisväärset sõiduaja ning peatuste arvu langust, vastavalt 17% ning 80% kergliiklejatele, samal ajal aga tõusis ühistranspordi sõiduaeg 14%, mis viitab otseselt erinevate liiklejagruppide prioriseerimise mõjule teise gruppide ees. Bussidele rohelise tule pikendamine (8–30 sekundit) vähendas busside hilinemist 25% ja hilinevate busside arvu 45%. Sündmuste ajal kasutatud Bluetooth/WiFi-sensorid võimaldasid fooriprogramme reaalajas kohandada, mille tulemusel lühenes ürituse järgne ummikuperiood ligikaudu 40 minutilt 20 minutile.

ITS-programmi (2018) raames kehtestati koridoripõhised mõõdikud: erinevate sõidukigruppide sõiduaeg ning kergliiklejate sõiduaeg ja peatumiste arv. Praegu mõõdikuid uuendatakse ja laiendatakse, sh jalgrattamõõdikute viimine asukohaandmete põhiseks (esmakordselt faktipõhine, mitte simulatsioonipõhine) ja jalakäijate mõõdikute väljatöötamine. Mõõdikute kasutamise põhimõtted on selgelt defineeritud: kõik, mida tehakse, peab olema mõõdetav ning mõõdikud ei ole ainult jälgimisvahend, vaid ka poliitilise kommunikatsiooni kanal, mis Kopenhaagenile on sarnaselt oluline operatiivse monitoorimisega. Liiklusjuhtimise keskkonnamõju, sh CO_2, heitmete kohta puuduvad avalikult kättesaadavad mõõdetud andmed, kuigi NetZero-kava on peamine motivaator.

6.4.7 Peamised õppetunnid Tallinnale

- **GPS-kellasüsteem kontrolleritel.** Lisaantenni maksumus (~80-100 eurot kontrolleri kohta) tagab täpse sünkroniseerimise ja välistab roheliste lainete sünkrooni ära langemise.
- **Avatud protokoll ei taga üksi konkurentsi.** RSMP eemaldab süsteemist tarnijasõltuvuse, kuid tegelik konkurents eeldab, et protokolli rakendaks vähemalt kaks kuni kolm tarnijat, sest vastasel juhul tekib uus olukord tarnijasõltuvusele.
- **Tugev lepingujuhtimine ja mõõdetavus.** Lepinguhaldus on sama tähtis kui tehniline kirjeldus; kõik nõuded peavad olema testitavad. Kopenhaageni asutused kasutavad kontrollerite hindamiseks 250-punktilist testlehte ega paigalda ühtegi kontrollerit enne põhjalikku testimist.

- **Andmetaristu enne tehisintellekti.** Enne masinõppelahenduste kasutamist peab olemas olema reaalajaline andmevoog ja ühendatud andmeplatvorm.

6.5 Linnade koondvõrdlus

Järgnev maatriks koondab kolme võrdluslinna ja Tallinna peamised näitajad ühte vaatesse. Tabel järgib sama temaatilist struktuuri, mida kasutati linnade kirjeldustes: tehniline lahendus, hankestrateegia, rakendamise kogemus ja mõõdetud mõju. Tabelis esitatud arvud pärinevad linnade võrdlusanalüüsi andmestikust, intervjuudest ja avalikest hankedokumentidest.

Tabel 11. Linnade võrdlusanalüüsi tulemuste maatriks

Kriteerium	Vilnius	Helsinki	Kopenhaagen
Tehniline lahendus			
Keskhaldus-süsteem	Cross eDaptiva (al. 2024); üleminekul Siemens SiTraffic Scala	SWARCO OMNIA + OmniVue (uus ühishange käimas)	MobiMaestro (Technolution Move, al. ~2015)
Side-protokoll	OCIT 1.1/2.0; uutel OCIT 3.0	SWARCO + RSMP	RSMP (SXL 1.0.13 laiendus)
Adaptiivne juhtimine	ACC ühes koridoris; laienemine seotud riistvara uuendamisega	Adaptiivne element igas ristmikus; täisadaptiivne pilootfaasis	Valdav fikseeritud aeg; ~180 nõudluspõhine, ~20 liikluspõhist
Tarnija-strateegia	Mitme tarnija (5 tootjat), avatud protokoll	Üks tarnija (SWARCO)	Avatud protokoll, kuid de facto piiratud tarnijate arv
Ühistranspordi prioriteet	Kohustuslik moodul, Ridango AVL, konfigureeritav	GPS-põhine, lai katvus; graafiku-tundlikkus arendamisel	GPS-põhine, 6-12 s lisaaeg; sõidugraafikuid ei arvestata
Taristu ja seadmed			
Ristmike arv	317	~548 (kasvab)	~425
Kontrollerid	5 tootjat; uued 210 Cross RS5	SWARCO ITC + ~100 vana EC2	~90% EC1/EC2 + SWARCO ITC
Loendus / andurid	Induktsioon + ~100 FLIR AI-kaamerat (7 klassi)	Induktsioon (põhiline) + radar + lidaripiloodid	Induktsioonist loobumas; termo- ja jalgratta-andurid
Side-taristu	Optiline võrk	Peamiselt GSM/4G	Optiline võrk ja mobiilside
Hankestrateegia ja rakendamine			
Tellija	Munitsipaalettevõte (liiklus-korralduskeskus)	Helsingi linnakeskkonna osakond	Tehnika- ja Keskkonnaamet (TMF); riigiülesed Maanteeamet
Hanke-menetlus	Rahvusvaheline avatud menetlus; eelnev turu-uuring	Avatud menetlus; eelkonsultatsioonid (RFI)	Avatud menetlus; ristmiku kaupa kontrollerite hange
Lahenduse tüüp	Valmistoode, kohandatud	Valmistoode + linna oma-programmeerimine	Valmistoode (konfigureerimisõigus linnal)
Peamine väljakutse	Lühike juurutusaeg; tootjate OCIT-erinevused	Tarnija nõuete range tõlgendamine, lisatasud	Vana süsteemi ebausaldusväärsus; protokolli-monopol
Mõõdetud mõjud			
Läbilaskvus / ooteaeg	Ühes ACC-koridoris ooteaeg - 90 min/tunnis; Green Light -16 % ooteaeg	Loendustäpsus (eraldi näitaja): lasertuvastuse piloot 97%; mõjunäitajad avaldamata	Ratturite sõiduaeg -17%; busside hilinemine -25%
Mõõtmis-metoodika	Võrdlev enne/pärast ühes koridoris	Formaalne enne/pärast-metoodika puudub	Koridoripõhised KPI-d, poolaastaaruanded poliitikale

Kriteerium	Vilnius	Helsinki	Kopenhaagen
Keskkond / ohutus	Google Green Light; jätkusuutlik liikuvus >50%	Liiklus peamine KHG-allikas; ohutusseire eraldi	NetZero-ajend; mõõdetud keskkonnaandmed puuduvad

Allikad: linnade võrdlusanalüüsi andmestik (versioon 1.0); intervjuud 21.05., 03.06. ja 04.06.2026; avalikud hankedokumendid ja TED-hanketeated; Tallinna AS-IS analüüs (hankedokumendi tehniline kirjeldus 302874; hooldusleping 261559)

6.6 Järeldused ja Tallinnale ülekantavad õppetunnid

Kolme linna analüüs annab Tallinnale kokkuvõtva vaate sellest, millised tehnilised ja korralduslikud valikud dünaamilise liiklusjuhtimise juurutamisel end tõestavad ja millised on riskid millega planeerimisel arvestada. Järeldused on rühmitatud nelja teemasse.

6.6.1 Tarnijastrateegia ja protokollivalik

Kõik kolm linna kinnitavad, et avatud protokoll on mitme tarnija strateegia eelduseks. Vilnius näitab, et OCIT-protokoll lubab eri tootjate seadmete konkurentsi, kuid iga uue tootja lisamine nõuab reaalset integratsioonitööd ja tootjaspetsiifilised protokollierinevused tekitavad ettenägematuid tõrkeid. Kopenhaagen demonstreerib teist äärmust: RSMP-protokollile üleminek võimaldas lõpetada tarnijasõltuvuse, kuid kuna pikalt rakendas protokolli vaid üks tarnija, tekkis uus sõltuvus. Helsingi näitab samast tarnijast (SWARCO) sõltuva mudeli tugevusi ja nõrkusi, mis on Tallinnaga otseselt võrreldav olukord, kus arhitektuur on tuttav, ent nõuete range tõlgendamine ja lisatasud on korduv probleem. Tallinna jaoks tähendab see, et protokolliühilduvuse deklareerimisest ei piisa: hange peab eeldama integratsioonitöö ressurssi ning konkurentsi tekkimist tuleb hinnata tegeliku tarnijate arvu, mitte protokolli avatuse põhjal.

6.6.2 Hanke ülesehitus ja lepingujuhtimine

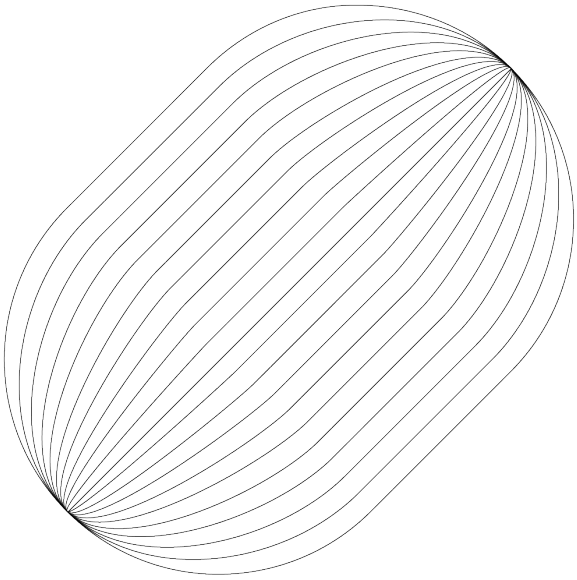
Kõik kolm linna rõhutavad, et hanke kvaliteet määrab tulemuse rohkem kui tehnoloogiavalik. Vilniuse kaheosaline hankestruktuur (keskhaldussüsteem eraldi raamlepingust kontrollerite tarnele) ja eelnev turu-uuring on Tallinnale otseselt rakendatavad. Kopenhaagen rõhutab kolme põhimõtet, sh tugev lepingujuhtimine, nõuete mõõdetavus ja modulaarsus ning põhjalikku eeltestimist. Helsingi kogemus tarnija nõuete rangest tõlgendamisest täiendab sama järeldust teisest suunast: iga nõue tuleb sõnastada üheselt, et vältida hilisemaid komplikatsioone ja vaidlusi. Tallinna innovatsioonihanke ettevalmistamisel on need õppetunnid konkreetne kontrollnimekiri, mida ka uuringu TO-BE vaates käsitletakse.

6.6.3 Juurutamise tempo ja riskijuhtimine

Vilniuse selgeim õppetund on juurutusaja realistlik planeerimine: kuus kuud osutus ligi 300 ristmiku ühendamiseks liiga lühikeseks. Etapiviisiline lähenemine, sh esmalt iseseisvad kohaliku ajakavaga ristmikud, seejärel koordineeritud koridorid, säilitades üleminekul samad ajaplaanid on Tallinnale otseselt rakendatav mudel, mis hoiab ära rohelise laine katkemise ning süsteemi töövõime jätkumise. Helsingi kinnitab, et täisadaptiivne koridorijuhtimine on isegi kogenud linnade jaoks endiselt pilootfaasis, mistõttu Tallinnal on otstarbekas alustada selgelt piiritletud pilootprojektist, mitte seada esmaseks eesmärgiks kogu linna katvust, mis on kooskõlas terve Dünaamilise liiklusjuhtimise projekti eesmärkidega.

6.6.4 Andmetaristu, ajasünkroonsus ja mõõdetavus

Kopenhaageni GPS-kellamooduli soovitus on teoreetilisel tasemel otseselt kasutatav lahendus Tallinna praeguses süsteemis tuvastatud kellaaja sünkroniseerimise probleemile, mis takistab roheliste lainete korrektset toimimist. Helsingi tsentraliseeritud andmebaasi loomine ning Kopenhaageni põhimõte „andmetaristu enne tehisintellekti" osutavad samale järeldusele: dünaamiline liiklusjuhtimine vajab usaldusväärset, pidevat ja reaalajalist andmevoogu enne keerukamate algoritmide rakendamist. Antud punkt kattub Tallinna AS-IS analüüsis tuvastatud andmekvaliteedi ja ajaloolise andmestiku piirangutega ning eeluuringu TO-BE faasis olulise tegevusena on just andmekvaliteedi nõuete määramine.
Kopenhaageni mõõdikupõhine lähenemine, kus mõõdetavus on hanke nõue ja poolaastaaruanne poliitilise kommunikatsiooni kanal, annab Tallinnale raamistiku investeeringu mõju tõendamiseks. Ühistranspordi prioriteedi osas kinnitavad kõik kolm linna, et tehniline toimimine ja tegelik efektiivsuse paranemine on eraldi protsessid: viimane eeldab koordineerimist ühistranspordikorraldajaga ja sõidugraafikute kohandamist.



Kitsaskohad, takistused ning nende maandamismeetmed

7 Hetkeolukorra kitsaskohad ning maandamine

7.1 Reaalajas kohandumise takistused ja maandamismeetmed

Reaalajas kohandumise takistused on registreeritud peatükkide kitsaskohtade koondvaadetes: staatiline kalendripõhine juhtimisrežiim ja fikseeritud roheline laine koos UTOPIA katsetuse õppetundidega (F14), kellaaja sünkroniseerimise hälve (F3), ühistranspordi prioriteediahela seisak ja koordineerimata prioriteedi kõrvalmõju (F11), liiklejagruppide tuvastuse lünk (F10), koridoritasandi adaptiivvõimekuse litsentsisõltuvus (F6), STCIP adapteri ebastabiilsus (F1) ning loendusandmete liidestamata voog ja rikete hiline avastamine (L3, L1). Allpool on esitatud register-üleselt lahtine küsimus ja maandamismeetmed.

Loendusandmete voog ei jõua foorisüsteemi sisendisse. Loendusandmed laekuvad seireplatvormile reaalajas ja 15-minutilised koondid genereerib seireserver andmeanalüüsi kiirendamiseks; foorijuhtimise sisendina on voog kasutamata.

Fallback-käitumine anduri rikke korral on kaardistamata. Dokumenteerimata on, kuidas kontroller käitub nõudlusanduri rikke korral, kas faas läheb maksimaalpikkusele, suund saab püsikutsungi või jääb teenindamata. DLJ vaates on fallback-reeglid kriitilised: adaptiivne juhtimine peab anduri rikke korral taanduma ohutule režiimile prognoositavalt, mitte juhuslikult.

Maandamismeetmed. Reaalajas kohandumise takistuste maandamine jaguneb viie suuna vahel, mis tulenevad otseselt tuvastatud takistustest: vanemate kontrollerite asendamine või STCIP adapteri töökindluse tõstmine, mis kõrvaldab proxy-sõltuvuse; kellaaja sünkroonimisahela korrastamine ja dokumenteerimine, mis taastab koordineeritud koridoride täpsuse; prioriteedipoliitika dokumendi koostamine ja prioriteediseadmete töökorda viimine, mis avab ühistranspordi eelistuse; koridoritasandi adaptiivvõimekuse avamine Smart Corridori paketi või samaväärse DLJ-lahendusega; ning Liikuvusametis juba töös oleva „heartbeat”-arenduse lõpuleviimine, mis lisab katkestuste automaatse tuvastamise.

7.2 Andmekvaliteedi kriitilised probleemid ja maandamismeetmed

Dünaamilise juhtimise rakendamist takistavad kõige enam kolm andmeprobleemi: andurite automaatse tööoleku seire puudumine (L1), mille tõttu vead jõuavad otsustusahelasse märkamatult; fiktiivne andmetäiendus (L4), mis varjab lünki; ning OMNIA ajaloolise andmestiku katkendlikkus ja lühike säilitus (F8), mis jätab juhtimisotsused valideerimata. Järgnev loetelu esitab probleemid üksikasjalikult koos maandamismeetmetega. Probleemide täielik register: F8, F3, F4 ja F12 (kaitseaegade heterogeensus) foorisüsteemi koondvaates ning L1–L5 ja L7 loenduse koondvaates.

Windows Update’i öine taaskäivitus katkestab OMNIA andmesalvestuse ja tekitab süstemaatilisi lünki ajaloolistes andmetes.

Maandamismeede loendusandmete jaoks. TO-BE lahendusse tuleb lisada automaatne andurite seirekiht, mis kontrollib nullväärtuste pikki jadasid, puuduvaid andmeid ja nende asendamise loogikat, naaberanduritega vastuolus olevaid väärtusi, viimase sündmuse aega (Mdet-tabeli alusel) ja anduri aktiivsust ning teavitab, kui andur annab pikema aja jooksul nullväärtusi olukorras, kus sama või naabersuuna andurid registreerivad liiklust. Selle seireta kanduvad andmekvaliteedi probleemid edasi VISSIM-i sisendisse. Ühtlasi määrab see II etapi

skoobi: kas olemasolevad loendusandmed on piisavalt usaldusväärsed või tuleb enne DLJ käivitamist hankida uus loendussüsteem või automaatne andmekvaliteedi seire.

Täiendavad maandamismeetmed andmekvaliteedi jaoks. OMNIA salvestuse stabiliseerimine eeldab kolme sammu: taaskäivituste ajastamine salvestust mittekatkestavalt, Time Machine'i ressursipuuduse kõrvaldamine ja säilitusperioodi pikendamine DLJ vajadustele vastavaks. Mõõdetud ja täiendatud kirjete eristamine vajab andmestikus märgistust, et fiktiivselt täiendatud väärtused oleksid modelleerimisel tuvastatavad. Kaamerate salvestusperiood tuleb viia Liikuvusameti sihtväärtuseni 30 päeva. Seadme elukaare muudatused (paigaldus, eemaldamine, asendus) peavad kajastuma andmekihis automaatselt, et vältida olukorda, kus demonteeritud anduri kirje toodab süsteemis nullväärtusi.

7.3 Süsteemide koosvõime takistused, tehnilised lahendused ja maandamismeetmed

Koosvõime takistused taanduvad kahele mustrile. Esiteks toimivad süsteemid andmesilodena: OMNIA, seireplatvorm, kaameraplatvorm, zir24.pl ja modelleerimiskeskkond hoiavad andmeid eraldi, ilma automaatse vahetuseta. Teiseks on andmevahetuse standardid kirevad - SWARCO eraprotokoll STCIP, avatud standardite (OCIT, NTCIP) kasutamata potentsiaal ja failipõhine käsitsi vahetus eksisteerivad kõrvuti. Järgnev loetelu esitab takistused koos tehniliste lahendustega. Registreeritud takistused: vanemate põlvkondade proxy-sõltuvus (F2), STCIP spetsifikatsioon (F5), programmiedastuse käsitsi ahel (F12), seireplatvormi liidesed (L6), prioriteediahel (F11), loenduse reaalajavoog (L3) ja Opinfo-integratsioon (F13, töös).

- **ITC kontrollerite andmete sisselugemine.** Kontrolleri konfiguratsiooni allalaadimise tehniline protseduur ja tööriistakomplekt on dokumenteerimata.
- **Tunneliseadmete ja keskhalduse eraldatus.** Ülemiste autotunneli FLIR CASCADE AID-süsteem (versioon 4.6.0-b180) ja trammitunneli FLUX töötavad omaette serverites; OMNIA jälgib neid võrgutasandil ja sündmusloogika on eraldi. FLUX on aruande Lisa 1 – Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide AS-IS arhitektuuriskeem esitatud arhitektuuriskeemi järgi ajutiselt demonteeritud. AID-sündmused jõuavad tunneli operatiivvaatesse ning hoolduspartnerile SMS-i ja e-kirja teel.
- **VAISALA ilmajaamade integratsioonitase ebaselge.** Teeilmajaamu on 13: 12 VAISALA DST111 jaama ja Reidi tee suurem jaam (vt aruande Lisa 1 – Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide AS-IS arhitektuuriskeem); andmed liiguvad ristmikud.tallinn.ee platvormile. Sensorid mõõdavad teekaredust, õhuniiskust ja temperatuuri alates 2007. aastast.

Maandamismeetmed. Koosvõime takistuste maandamise tuum on liideste avamine kolmes astmes: OMNIA API-de aktiveerimine kokkuleppel SWARCOga, OCIT-VD liidese kasutuselevõtt LISA M-i ja kontrollerite vahel ning testitud LISA M → VISSIM ühendusmooduli juurutamine töövoogu; *.sig-failivahetus toimib VISUM-i ja VISSIM-i vahel. Liidesed on tehniliselt olemas ja vajavad kasutuselevõtu otsust koos seadistustööga; LISA+ OCIT-VD toe kinnitab töövõtja Schlothauerilt ja SWARCO-lt. Tellija juba töös olevad arendused (Opinfo-integratsioon, uue loendustarkvara hange) katavad häirete ja loenduse andmevood; uue loendustarkvara hankes tuleb masinloetav liides fikseerida kohustusliku nõudena. Tunneli- ja ilmajaamasüsteemide liidestus vajab eraldi otsust TO-BE arhitektuuris.

7.4 Masinloetavuse piirangud, nõutavad tehnilised täiendused ja rakendamise riskid

Masinloetavuse piirangud on registreeritud tunnustega F7 (suletud API-d), F5 (STCIP spetsifikatsioon), F1 (sündmuspõhine olekuvoog ja adapter), F10 (detektorisignaal kontrollerisisene), F12 (vanemate kontrollerite programm loetav ainult kohapeal) ja L3 (loenduse liidestamata voog); nende koosmõjus puudub fooritsükli masinloetav reaalajaväljund DLJ platvormile. Allpool on register-ülesed tähelepanekud ning rakendamise riskid ja maandamine.

- **OMNIA Microservices Architecture konfiguratsioon on kinnitatud.** Arhitektuuriskeem v5 (aprill 2026) kinnitab mikroteenuste arhitektuuri kasutamise: andmebaasidena töötavad MS SQL Server ja PostgreSQL, mis paigaldusjuhendi liigituse järgi vastab Microservices Architecture'iga installikujule. See konfiguratsioon mõjutab nii andmeladu kui ka API-de avamise võimekust.
- **Liikluskaamerate AI-analüütika on piiratud.** Axis-kaamera ja Data from Sky katsetused on tehtud üksikutel ristmikel; laialdane kaamerapõhine loendus või AI-tuvastus puudub.

Kontrolleripõhine liidestuslitsents suurendab laiendamise kulu. Iga foorikontrolleri liidestamine OMNIA-ga eeldab eraldi litsentsi, mistõttu ülelinnaline laiendus 299 kontrolleri ulatuses tähendab seadmepargiga lineaarselt kasvavat litsentsikulu.
Maandamine: tellija küsib SWARCOst litsentsitingimused ja mahupõhise hinnastuse; kulu arvestatakse Tallinna-ülese laienduse investeeringuvajadusse TO-BE analüüsis.
Rakendamise riskid ja maandamine. Masinloetavuse täienduste keskne risk on sõltuvus SWARCO litsentsipoliitikast: API-de avamine ja STCIP spetsifikatsiooni hankimine käivad tootja tingimustel ning KiirWarreni vahendusel. Riski maandab avatud standardite (OCIT-O, NTCIP) nõue kõigis uutes hangetes - ITC3 kontrollerid toetavad neid tootja spetsifikatsiooni kohaselt juba praegu -, mis vähendab pikaajalist tarnijalukku. Enne II etapi hanget tuleb kinnitada OMNIA adapterite installikoosseis ja STCIP versioon, et hanke lähteülesanne tugineks kontrollitud liidesevõimekusele. STCIP puhul esitab töövõtja litsentsi taotlemise ja avatud standardile ülemineku variandi kulu- ja sõltuvusvõrdluse TO-BE lahendusvariantide võrdluses.

7.5 Organisatsioonilised takistused ning ettepanekud lahendamiseks

- **Liiklejagruppide reaalajas tuvastamise lünk.** Kontrolleritasandil eristab Tallinn praegu kahte liiklejagruppi: sõidukid (induktiivsilmuste kaudu) ja jalakäijad (väljakutsenuppude kaudu). Jalgratturid, kergliikurid (tõukerattad, pisimopeedid) ja sõidukiklassid (kaubaveokid, eriotstarbelised sõidukid) reaalajas sisendina puuduvad; nende eristamine on Liikuvusameti eesmärk, mitte praegune seis. Reaalajas liiklejagruppide tuvastus on eeldus, et adaptiivne juhtimine saaks eri liiklejatüüpide nõudlust tasakaalustada.
- **Prioriteediloogika liiklejagruppide vahel on määratlemata.** Adaptiivne süsteem vajab reeglistikku, kelle nõudlust millises kontekstis eelistada (tipptund, öine aeg, sündmused, pühad). Küsimus on praktiline: näiteks Reidi tee koridoris tuleb kaaluda, kas trammi prioriteedist (tramm ületab Ahtri tänavat) saadav võit kaalub üles sadamast väljuva sõidukivoo häirimise. Tallinnal puudub prioriteedipoliitika dokument, mis annaks DLJ otsustusmootorile sellise sisendi; selle koostamine on TO-BE etapi eeldus.

- **Operaatori töömaht ületab adaptiivseks juhtimiseks vajaliku inimressursi.** Tallinna foorivõrgus on 414 fooriristmikku (HD tehniline kirjeldus, seis 06.10.2025); see maht ületab ühe operaatori reaalajas haldamise võimekuse. Praegune operatiivkorraldus on kavandatud staatilise juhtimise jaoks, kus operaator reageerib häiretele. Adaptiivne juhtimine eeldab pidevat jälgimist, mitme ristmiku koordineeritud sekkumist ja prognoosipõhist reageerimist, mis nõuab operatiivkorralduse ja meeskonna võimekuse muutmist ka tehniliselt valmis DLJ platvormi korral.
- **Tööprotsess on ressursipiirangu tõttu valdavalt reageeriv.** Liikuvusameti modelleerimis- ja operatiivmeeskond töötavad ressursipiirangu tõttu valdavalt reageerivas režiimis, st ennetava ülevaatuse süstemaatiline rütm puudub.
- **Ülesannete jaotus Liikuvusameti ja KiirWarreni vahel on vormistamata.** Protseduurid (kes algatab fooriprogrammi muudatuse, kes kinnitab, kes laeb) on AS-IS kaardistuses fikseeritud, kuid kirjalik tööjaotuse dokument vajab kinnitamist.
- **Hooldusleping 261559 ulatus.** Leping reguleerib hooldust; DLJ ja II etapi innovatsioonihanke kontekstis vajab hindamist, kas ja millises ulatuses leping vajab muutmist.
- **Kergliikurite ja jalgratturite loenduse õiguslik raamistik on puudulik.** Kaamerapõhise loenduse rakendamine eeldab isikuandmete kaitse hinnangut; täpsem käsitlus valmib eeluuringu õigusanalüüsis.
- **OMNIA andmete avaandmete õiguslik staatus on määratlemata.** Reaalajas fooritsükli info, loendusandmete ja kaamerapildi avalikustamise õiguslik alus vajab täpsustamist.
- **II etapi innovatsioonihanke strateegia tingimused.** Euroopa Liidu ühtekuuluvuspoliitika rahastuse tingimused, pakkuja võimaliku osalemise piirangud ja konkurentsi tagamise reeglid mõjutavad hankestrateegiat; neid käsitleb eeluuringu õigusanalüüs.
- **OPEX/CAPEX struktuur DLJ lahenduse jaoks.** Liikuvusameti rahastusmudel ja kuluartiklite jaotus on II etapi hanke maksumusprognoosi alus ning analüüsitakse detailsemalt TO-BE faasis.
- **Op-Info tellimuste protsess on automatiseerimata.** Tellimusi esitavad KiirWarren või Liikuvusameti spetsialist; kinnitusahel toimib käsitsi.

Ettepanekud lahendamiseks ja riskide maandamiseks. Organisatsiooniliste takistuste lahendamine koondub neljale ettepanekule: Liikuvusameti ja hooldusparteri tööjaotuse kirjalik vormistamine (sh fooriprogrammi muudatuse algatamise, kinnitamise ja laadimise rollid); häirete menetluse läbipaistvuse tagamine Opinfo-integratsiooni lõpuleviimise ja Liikuvusameti sisestusõiguse kokkuleppimisega; prioriteedipoliitika dokumendi koostamine liiklejagruppide eelistuste fikseerimiseks; ning operatiivkorralduse võimekuse kavandamine adaptiivse juhtimise jaoks enne II etappi. Õiguslikud küsimused (kaamerapõhise loenduse isikuandmete kaitse, avaandmete staatus, hooldusplepingu ulatus, II etapi hanke tingimused) suunab töövõtja eeluuringu õigusanalüüsi; tulemused esitatakse lõpparuandes.

7.6 Takistuste prioriseerimine ja maandamisstrateegia

Süsteemikaardistuse käigus tuvastatud kitsaskohad on tabelis 12 esitatud prioriteetsuse järgi, kus igal kitsaskohal on seotud prioriteet, dünaamilise liiklusjuhtimise edasiseks rakendamiseks (P1 - vältimatu, P2 - kriitiline, P3 - oluline, P4 - parendus, T - DLJ-d toetav arendus).

Maandamisstrateegia põhimõte seob prioriteediklassi ajastusega: P1-takistused (avatud API, ühistranspordi prioriteediahel, STCIP adapteri töökindlus, andmekvaliteedi automaatne seire) tuleb lahendada enne testala käivitamist, sest ilma nendeta DLJ otsustusmootor sisendit ei saa; P2-takistused lahendatakse testala töö käigus; P3 ja P4 kuuluvad Tallinna-ülese laienduse etappi. Modelleerimisega seotud kitsaskohad (M1-M5) moodustavad eraldi kategooria „DLJ-d toetav arendus": need parandavad DLJ ettevalmistuse ja eelhindamise võimekust, nende ajastus on paralleelne testala arendusega ning testala DLJ käivitamine on nendest sõltumatu.

Tabel 12. Kitsaskohtade prioriseerimine.

Tunnus	Valdkond	Kategooria	Kitsaskoht	Maandamismeede
P1 – Vältimatu | Ilma lahenduseta ei ole DLJ testalal teostatav				
F7	Tehniline taristu	Liidesed	OMNIA programmaatiline API on suletud - masinloetav liidestus DLJ-platvormiga puudub.	API aktiveerimine kokkuleppel SWARCOga või avatud standardi (OCIT) nõue II etapi hankes.
F1	Tehniline taristu	Olekuvoog	STCIP-adapteri ebastabiilsus katkestab kontrollerite olekuvoo ja tekitab pimealasid.	Vanemate kontrollerite asendamine või adapteri töökindluse tõstmine; pimealade fallback-loogika.
F11	Tehniline taristu	Prioriteet	Ühistranspordi prioriteediahel mittetoimiv ja koordineerimata	Seadmete töökorda viimine, prioriteedihierarhia määratlemine ja prioriteedipoliitika dokumendi koostamine
L1	Andmekvaliteet	Seire	Andurite automaatse tööoleku seire puudub - rikked jõuavad otsustusahelasse märkamatult.	Automaatne andurite seirekiht TO-BE lahendusse (nullväärtuste jadad, Mdet-tabel, naaberandurite ristkontroll).
L4	Andmekvaliteet	Andmeterviklikkus	Fiktiivne andmetäiendus: mittelaekunud andmed asendatakse, kirjed pole mõõdetust eristatavad.	Mõõdetud vs. täiendatud kirjete eristamise nõue; kvaliteedikontroll enne mudelisse jõudmist.
P2 – Kriitiline | Piloteerimine on võimalik, kuid funktsionaalsused piiratud				
F3	Tehniline taristu	Ajasünkroonsus	Kontrollerite kellaaeg erineb kuni 5s ning rohelise laine koridorid lähevad sünkroonist välja.	NTP-ahela audit ja dokumenteerimine; GPS-kellamooduli kaalumine (Kopenhaageni näide).
F8	Andmekvaliteet	Ajalooline andmestik	OMNIA Time Machine katkendlik alates 2019; ajalugu lühike (2–3 kuud FIFO).	Serveri arvutusvõimsuse tõstmine; Windows Update'i öise taaskäivituse režiimi muutmine.
F2	Tehniline taristu	Kontrollerid	Vanemate kontrollerite (EC1, ITC2/2b) proxy-sõltuvus STCIP-adapterist.	Põlvkonna väljavahetamise kava koos SHDSL-võrgu uuendusega.
F10	Andmekvaliteet	Nõudluse tuvastus	Liiklejagruppide tuvastuse lünk (jalgratturid/kergliikurid); detektorisignaal kontrollerisisene.	Kergliikluse loenduse liidestus; detektorite rikkestatistika keskne kogumine.
F12	Integratsioonid	Programmiedastus	Fooriprogrammi edastus ja laadimine käsitsi; LISA M kaitseaegade käsitsi ülevaatamise vajadus.	OCIT-VD liidese kasutuselevõte LISA M ja kontrollerite vahel.
F13	Organisatsioon	Häirehaldus	Op-Info ja häirete register liidestamata; häire avastamine sõltub visuaalsest seirest.	Opinfo-integratsiooni lõpuleviimine (tellija töös) ja Liikuvusameti sisestusõiguse kokkulepe.
L5	Andmekvaliteet	Seadme elukaar	Seadme elukaare muudatus ei jõua andmekihti (nt MP47 – demonteeritud andur annab nullväärtusi).	Seadmeregistri ja andmekihi automaatne sidumine; kirje sulgemise protseduur.
M6	Organisatsioon	Vastutus	Integratsioonilahenduse arenduse ja toimimise vastutus on lepingutes määratlemata.	Vastutuse fikseerimine II etapi hanke lähteülesandes.
P3 – Oluline | Mõjutab süsteemi kvaliteeti, kuid lahendatav etapiviisiliselt				

Tunnus	Valdkond	Kategooria	Kitsaskoht	Maandamismeede
F6	Tehniline taristu	Litsents	Koridoritasandi adaptiivvõimekus eeldab SWARCO eraldi litsentsi (Smart Corridor).	Smart Corridori paketi soetamine või samaväärne DLJ-lahendus.
F14	Operatiivne	Juhtimisrežiim	Staatiline kalendripõhine režiim ja fikseeritud roheline laine (UTOPIA katsetuse õppetunnid).	Adaptiivse režiimi piloot selgelt piiritletud koridoris.
L2	Andmekvaliteet	Loendus	ADEC eeldab, et ühelt sõidurajalt liigutakse ühte suunda - rekonstrueeritud ristmikel rajatasandi täpsus puudub.	Rajatasandi loenduse hindamine ja nõue uue loendustarkvara hankes.
L7	Andmekvaliteet	Kaamerad	Kaamerate sõltuvus PPA võrgust ja lühike salvestusperiood (21 päeva, sihtväärtus 30).	Salvestusmahu suurendamine ja võrgupiiri lahendus Digiteenistusega.
P4 – Parendus | Oluline ja kasulik muudatus, kuid mitte DLJ eeltingimus				
F5	Tehniline taristu	Protokoll	STCIP-spetsifikatsioon suletud – piirab masinloetavat liidestust.	Spetsifikatsiooni hankimine SWARCOst.
F9	Organisatsioon	Litsentsihaldus	OMNIA litsentsi haldusahel käib vahendajate (AS Signaal TM, KiirWarren) kaudu.	Litsentsi haldusõiguse korrastamine; otsesuhtluse kiirendamine SWARCOga.
L8	Andmekvaliteet	Kergliiklus	Kergliikluse loendus foorisüsteemist eraldatud ja suunatuvastuseta.	Kaamerapõhiste loendusseadmete soetamine.
L9	Andmekvaliteet	Katvus	Mõõdetud loenduskatvuse geograafiline hõredus (Lasnamäe, Lõuna-Tallinn katmata).	Loenduspunktide võrgu laiendamine.
T – DLJ-d toetav arendus | Parandab DLJ ettevalmistuse ja eelhindamise kvaliteeti ning tempot; testala DLJ toimib nendest sõltumatult				
M1	Integratsioonid	Modelleerimine	Modelleerimiskeskkond (VISUM, VISSIM, LISA M) töötab foorisüsteemist eraldi; mudeli roll on DLJ stsenaariumide eelhindamine.	Seireandmete sidumine VISUM-iga ja VISSIM-LISA sidususe parandamine; eelhindamise töövoo kirjeldamine TO-BE arhitektuuris.
M2 / M3	Integratsioonid	Modelleerimine	Modelleerimise sisendid liiguvad käsitsi (PNG on referentsmaterjal); osa tootjaliideseid on kasutusele võtmata.	Testitud LISA M → VISSIM ühendusmooduli ja *.sig-vahetuse (VISUM-VISSIM) juurutamine; masinloetav liides uue loendustarkvara hankes.
M4	Andmekvaliteet	Katvus	Mõõdetud sisendi hõre katvus; lüngad täidab lokaalne drooniuuring.	Püsiloenduse võrgu tihendamine.
M5	Organisatsioon	Ressurss	Adaptiivse juhtimise modelleerimine on töömahukas (VisVap, dokumentatsiooni puudus).	Modelleerimise ressursiplaan testala stsenaariumide jaoks.

8 Projektijuhtimise ülevaade ja järgmised sammud

8.1 Uuringu teise etapi eesmärgid ja tegevused

Peale dünaamilise liiklusjuhtimise eeluuringu vahearuande esitamist ning tutvustamist, liigutakse edasi eeluuringu teise etappi, milleks on TO-BE sihtolukorra kujundamine ja planeerimine. Tegevused viiakse ellu esialgse välja pakutud ajakava alusel, st projektikuudel 3-5. TO-BE etapi

põhiküsimus on: kuidas tuleb süsteem üles ehitada, et võimaldada andmepõhist ja reaalajas reageerivat liiklusjuhtimist, minimeerides andmevoo katkestusi, viivitusi ja manuaalseid samme. Lähtume AS-IS analüüsis tuvastatud kitsaskohtadest ja kujundame lahenduse, mis need adresseerib.

Eesmärk. Kujundada sihtolukorra arhitektuur ja nõuded, mis seovad AS-IS analüüsi järeldused konkreetsete tehniliste ja organisatsiooniliste muudatustega ning loovad aluse innovatsioonihanke läbiviimiseks.

Väljund. TO-BE raport, mis sisaldab kasutusjuhtude kirjeldusi, sihtarhitektuuri skeemi, funktsionaalseid ja mittefunktsionaalseid nõudeid, lahendusvariantide võrdlust ning innovatsioonihanke alusdokumente.

Alustame AS-IS etapis tuvastatud probleemkohtade ja arenguvajaduste struktureerimisest ning nende sidumisest kasutusjuhtudeks. Kasutusjuhud formuleerime nii, et neid saab hiljem kasutada innovatsioonihanke hindamiskriteeriumitena.
Käsitleme vähemalt järgmisi kasutusjuhte:

- **Nõudluspõhine tsüklipikkuse optimeerimine.** Fooriprogramm kohandub reaalajas liiklusvoole.
- **Ühistranspordi ja operatiivtranspordi prioriteet.** Bussid, trammid ja kiirabi saavad eelisläbipääsu.
- **Koordineeritud liikluskoridorid.** Roheline laine põhimagistraalidel.
- **Ristmike kinnisõidu ennetamine.** Süsteem tuvastab ülekoormuse ja reageerib.
- **Operaatori teavitused ja sekkumised.** Automaatsed hoiatused ja manuaalse sekkumise töövood.

Iga kasutusjuhtumi puhul määratleme:

- **Sisendandmed.** Milliseid andmeid on vaja (loendus, prioriteediväljakutsed, kaamerad).
- **Otsustusloogika.** Millise reegli või algoritmi alusel otsus tehakse.
- **Väljundid.** Juhtimiskäsud kontrolleritele, teavitused operaatorile.
- **Latentsuse nõue.** Kui kiiresti peab süsteem reageerima.
- **Fallback-põhimõtted.** Mis juhtub, kui süsteem ei tööta.

Sihtarhitektuuri kujundamine
Kujundame TO-BE arhitektuuri neljal tasandil:

- **Süsteemiarhitektuur.** Määratleme komponentide rollid ja omavahelised seosed: foorikontrollerid, keskhaldusplatvorm (OMNIA), DLJ otsustusplatvorm, andmeladu,

analüütikaplatvorm, operaatori töölaud (GIS-põhine), modelleerimiskeskkond ning avaandmete API.

- **Andmearhitektuur.** Kirjeldame andmete liikumise: reaalajavood (olekud, sündmused), arhiveerimise (aegridad, koondandmed) ning analüütika andmed. Määratleme ETL/ELT töövood, valideerimise ja puhastamise reeglid ning uued andmekihid (ilm, sündmused, teetööd, parkimine).
- **Juhtimis- ja otsustusarhitektuur.** Kirjeldame automatiseerimise tasemed: täisautomaatne (süsteem otsustab), poolautomaatne (operaator kinnitab) ja manuaalne (operaator otsustab). Määratleme häirete klassifikatsiooni, eskalatsiooni ja monitooringu.
- **Liiklusjuhtimise poliitika.** Kaardistame testala kontekstis põhimõtted, kuidas erinevate liiklejagruppide (ühistransport, operatiivsõidukid, jalakäijad, jalgratturid) huve kaalutakse. Kirjeldame, millised prioriteedid on püsivad ja millised olukorrast sõltuvad. See raamistik loob eelduse masinõppe rakendamiseks.

Funktsionaalsed nõuded

Funktsionaalsed nõuded grupeerime valdkondade kaupa:

Fooride masinloetavus. Kirjeldame sammud 100% masinloetavuse saavutamiseks: kontrollerite andmeväljundite standardiseerimine, API-de aktiveerimine, adapterite vajadus ning OMNIA arendused. Määratleme mõõdetavad nõuded võrgu viivitusele ja andmete uuendamise sagedusele.

Loendussüsteemide integreerimine. Määratleme, kuidas tagada olemasolevate andurite reaalajavõime. Jalakäijate ja jalgratturite loenduse jaoks hindame sobivaid tehnoloogiaid ning töötame välja metoodika loenduspunktide asukohtade valikuks.

Andmebaas ja salvestus. Kirjeldame andmete elutsükli (reaalajavoog → arhiiv → koondandmed), päringujõudluse nõuded, ligipääsuhalduse ning auditeerimise.

Avaandmete API. Määratleme API funktsionaalsuse, andmeobjektid (fooride olek, loendused, häired), dokumentatsiooni nõuded ning privaatsus- ja turvameetmed.

Analüütika ja masinõpe. Tugineme AS-IS etapi modelleerimisanalüüsile ning hindame, milliseid lahendusi saab taaskasutada või laiendada. Kirjeldame platvormi struktuuri, mis võimaldab prognoose, stsenaariumide võrdlust ja otsustustuge. Konkreetsed mudelid ja algoritmid selguvad innovatsioonihankes – eeluuring loob nõuded läbipaistvusele, logimisele ja inimese sekkumise võimalusele.

Operaatori töölaud. Kirjeldame GIS-põhise kasutajaliidese: reaalajas fooride olek, häirete visualiseerimine, koordineerimise kvaliteedi analüüs, käsitsi sekkumise töövood ning vahetuste dokumenteerimine.

Mittefunktsionaalsed nõuded

Jõudlus. Määratleme miinimumnõuded andmeedastuse viivitustele, API vastamisaegadele ning andmemahu taluvusele. Eristame operatiivsed (ajakriitilised) päringud analüütilistest.

Töökindlus ja käideldavus. Kirjeldame kättesaadavuse nõuded, tõrketaluvuse (millised komponendid peavad olema dubleeritud), taastamisajad ning fallback-mehhanismid (sh varufooriprogrammid).

Skaleeritavus. Määratleme arhitektuursed põhimõtted, mis võimaldavad süsteemi laiendamist kogu Tallinna ulatusele ilma terviksüsteemi ümber ehitamata.

Küberturvalisus. Kirjeldame võrguarhitektuuri segmenteerimise, autentimise ja autoriseerimise, logide muutmatuse, DDoS kaitse ning krüpteerimise nõuded. Tagame vastavuse Eesti infoturbestandardile (E-ITS).
Nõuded kujundame koostöös tellijaga, lähtudes tellija riskitaluvusest ja teenuse ootustest. Formuleerime need viisil, mida saab kasutada hanke tehnilises kirjelduses ja lepingutingimustes.

Paralleelselt TO-BE sihtolukorra kaardistamisega viiakse läbi ka õiguslik analüüs, dünaamilise liiklusjuhtimise rakendamise testala valik ning innovatsioonihanke strateegia.
Õigusliku analüüsi eesmärgiks on Tuvastada õiguslikud eeldused, piirangud ja riskid DLJ piloteerimiseks ning tagada, et TO-BE nõuded ja innovatsioonihanke tingimused on õiguslikult "kindlad".

Õiguslik analüüs hõlmab järgmisi valdkondi:

- Katsetamise rakendatavus kehtivas õiguses ja „erandid" piloodi jaoks
- Vastutus ja kindlustus: automatiseeritud otsused, operaatori roll, tõrkeolukorrad
- Andmejagamine, avaandmed ja kolmandad osapooled
- Andmekaitse (GDPR): andmekaitse mõjuhinnang, minimeerimine, logid ja säilitamine
- EL AI Act: riskiklass, kohustused, dokumenteeritavus ja inimese järelevalve
- Load, kooskõlastused ja standardid: piloodi eeldused ja ajastus
- Ohtude juhtimine ja kriisiolukordade protokollimine

TO-BE olukorra kirjelduse ning õigusanalüüsi koostamise järgselt hindame pakutud testala sobivust DLJ piloteerimiseks. Vajadusel teeme ettepaneku alternatiivse või täiendava testala kohta.

Hindame testala valikut järgmiste kriteeriumide alusel:

- **Tehniline valmisolek.** Foorikontrollerite masinloetavus, loendus- ja kaamerasüsteemide katvus, sideühenduste töökindlus.
- **Integratsioonivajadus.** Kui palju arendustööd on vaja enne piloodi käivitamist?
- **Mõõdetavus.** Kas testala võimaldab usaldusväärselt mõõta DLJ mõju (piisav liiklusmaht, võrdlusandmed)?
- **Skaleeritavus.** Kas testala on sobilik hilisemaks laiendamiseks üle Tallinna?
- **Stabiilsus.** Kas projekti perioodi jooksul on kavandatud taristumuudatusi, mis võivad pilooti mõjutada?

Testala ettepaneku osana kirjeldame piloodis testitavad funktsionaalsused (nt nõudluspõhine tsükkel, prioriteedid, rohelained, kinnisõidu ennetus, reaalaja visualiseerimine), kogutavad andmed ning KPI-de metoodika (baastaseme määramine, mõõteperioodid, andmete

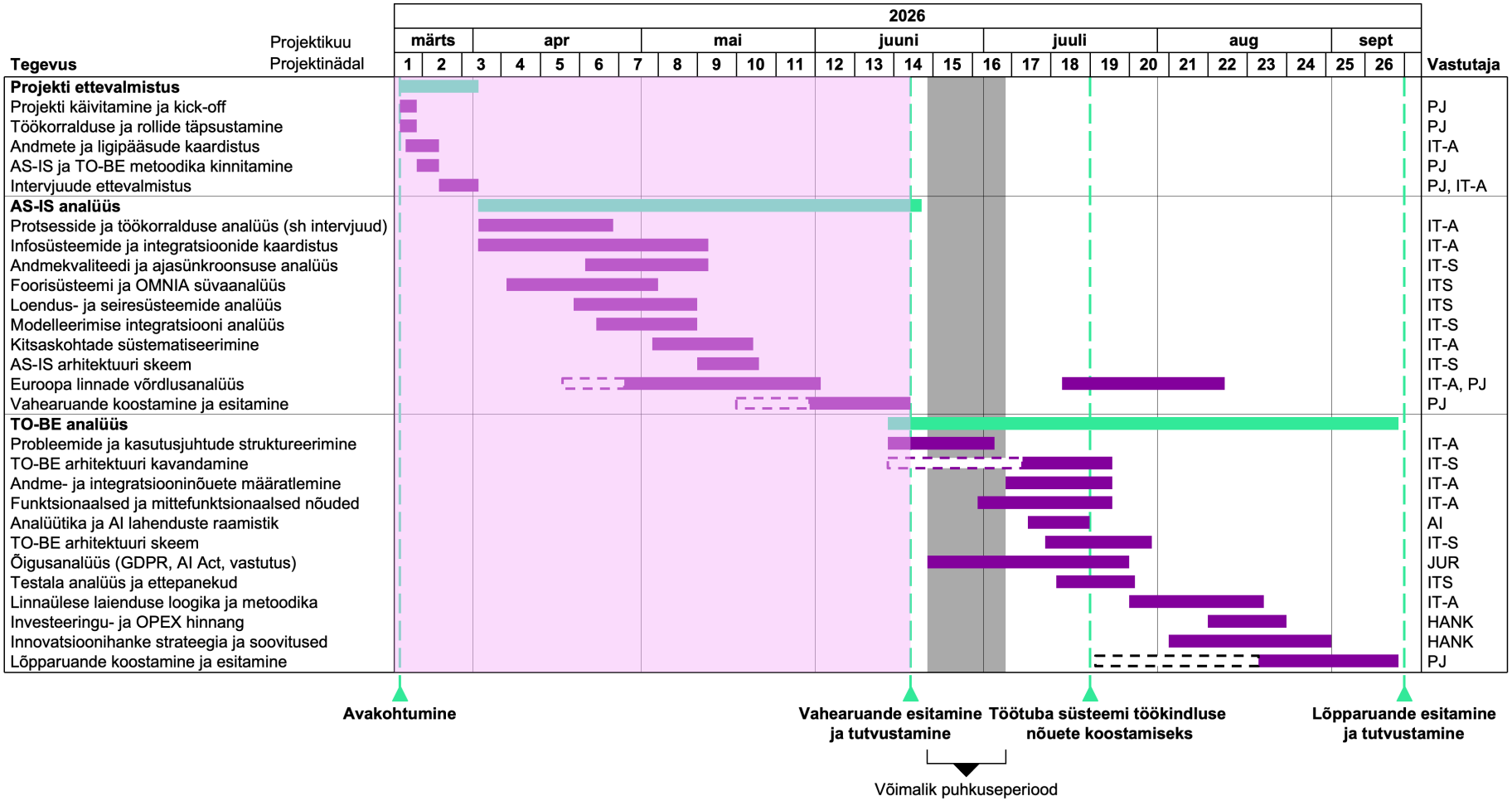
kvaliteedikontroll, võrdlus enne/pärast). Etapi tulemina esitame ka piloodi eelduste kirjelduse ja ajastuse: mis peab olema valmis enne piloodi käivitamist (vajalikud liidesed, loendusandurid, andmeplatvorm, GIS-vaade, kriitilised integratsioonid, testimine ja käivitamise protseduurid).

Innovatsioonihanke strateegia ja hankedokumentatsiooni ettevalmistamine
Peale testala kinnitamist ning TO-BE olukorra ja õigusanalüüsi viiakse läbi innovatsioonihanke strateegia koostamine, mille eesmärgiks on anda hankijale analüütiline alus ja soovituslikud materjalid DLJ pilootprojekti hankemenetluse kujundamiseks. Tööetapi tulemina valmib hankestrateegiate võrdlus ning soovituslikud valikud koos põhjendustega pilootprojekti lähteülesande struktuuri loomiseks. Kuivõrd DLJ pilootprojekti edukus sõltub hankestrateegiast, mis arvestab kolme tegurit: tehnoloogia valmidust (millised komponendid on turul olemas, millised vajavad arendust), turu tegelikku võimekust (kes suudab terviklahendust pakkuda) ning projekti eesmärki testida ja õppida enne laiapõhjalist juurutamist.
Tallinna-ülese laienduse investeeringud ja etapiviisiline tegevuskava
Kogu eeluuringu viimaseks etapiks 6. projektikuul on Tallinna-ülese DLJ arendamise investeeringute kaardistamine ning etapiviisilise tegevuskava loomine. Tegevuse eesmärgiks on üle anda analüütiline raamistik ja otsustamist toetavad hinnangud DLJ laienemise võimalikkuse, ajakava ning kulumõjude kohta.
Tegevuskava käsitleb nii tehnilisi kui ka organisatoorseid ja õiguslikke eeldusi ning toob välja kriitilised sõltuvused. Laiendamise eelduste puhul toome välja pilootprojekti tulemuste vajadus, füüsilised ja tehnilised ümberehitused ja täiendused ning millised organisatoorsed ja õiguslikud küsimused on vaja lahendada. Koostame prioriteetse järjekorra piirkondade kaupa (nt põhikoridorid, kesklinn, suuremad magistraalid, seejärel eeslinnad). Samuti toome välja sobivuskriteeriumid ja hindamismetoodika, mille alusel hinnatakse piirkondade sobivust dünaamiliseks liiklusjuhtimiseks (nt liikluskoormus, ristmike keerukus, olemasolev infrastruktuur, ühistranspordi osakaal) ning paralleelselt loome nn välistamiskriteeriumid, mis aitavad tuvastada piirkonnad või tänavatüübid, kus dünaamiline liiklusjuhtimine ei ole kuluefektiivne või tehniliselt mõistlik.
Paralleelselt tegevuskava koostamisega hindame ülelinnalise DLJ rakendamiseks vajalikke investeeringuid ja ülalpidamiskulusid. Hindame suurusjärke, tuginedes analüüsi käigus tuvastatud tehnilistele ja funktsionaalsetele eeldustele.

8.2 Eeluuring II etapi ajakava

Uuringu teise etapiga liigutakse esialgselt lähenemises kirjeldatud ajakava järgi, kus töödega alustatakse vahetult peale vahearuande esitamist ning tutvustamist. Projekti juhtmeeskond on vahearuande esitamise ajaks kokku leppinud jätkukohtumise TO-BE projektifaasi arutamiseks (16.06.2026). Projektijuhtimislikust aspektist projektimeeskond tänasel päeval projekti TO-BE faasi osas riske ei näe ning uuringu II etapis kaasatakse täiendavad eksperdid, kes on projektimeeskonda kaasatud (tehisaru spetsialist, hankespetsialist, õigusspetsialist).

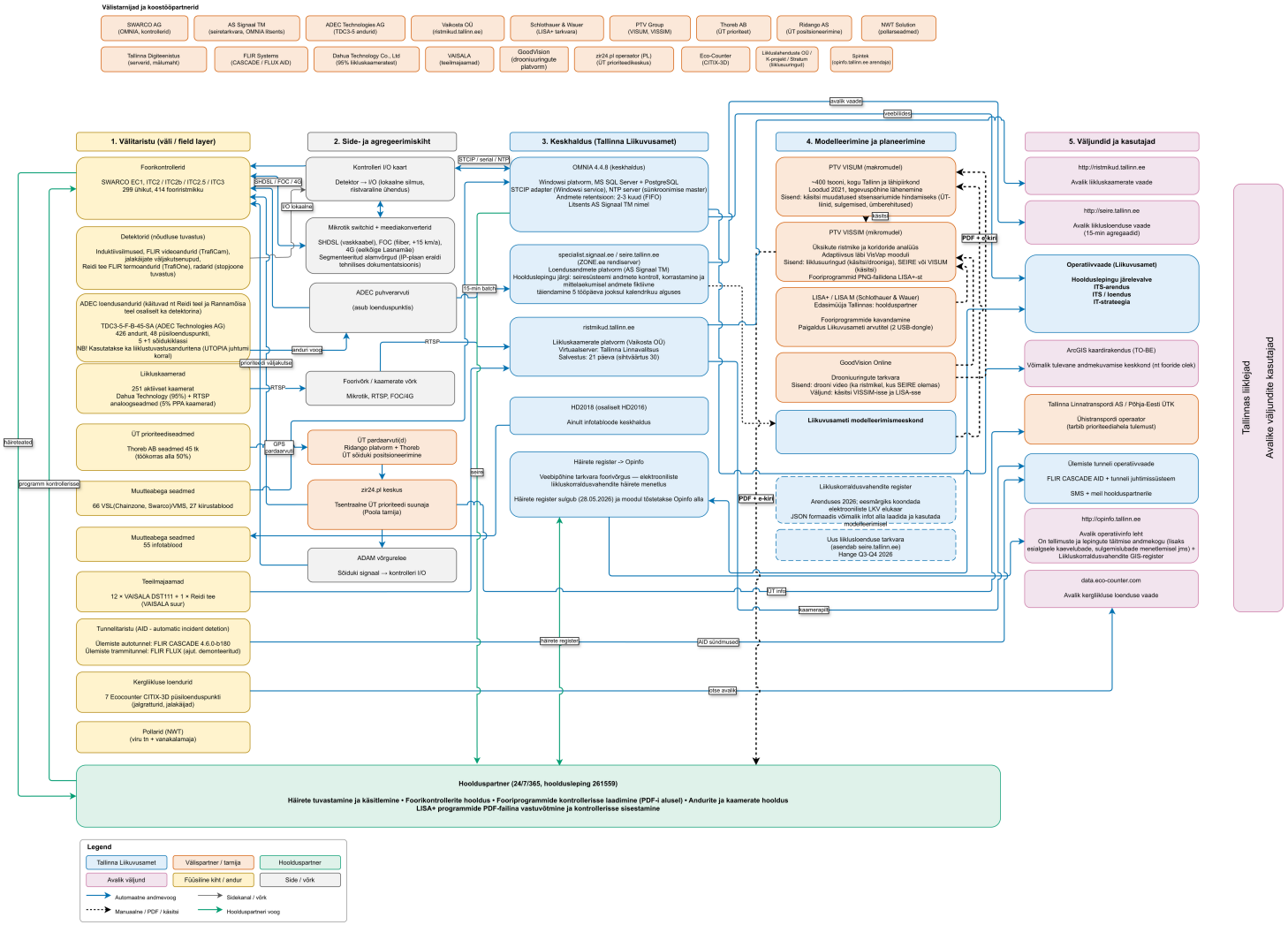
Joonis 3. Projekti II etapi tegevuskava



LEGEND: PJ – Projektijuht; IT-A – IT Analüütik; IT-S – IT Spetsialist; ITS – Liiklusspetsialist; AI – Tehisaru spetsialist; JUR – Õigusspetsialist; HANK - Hankespetsialist

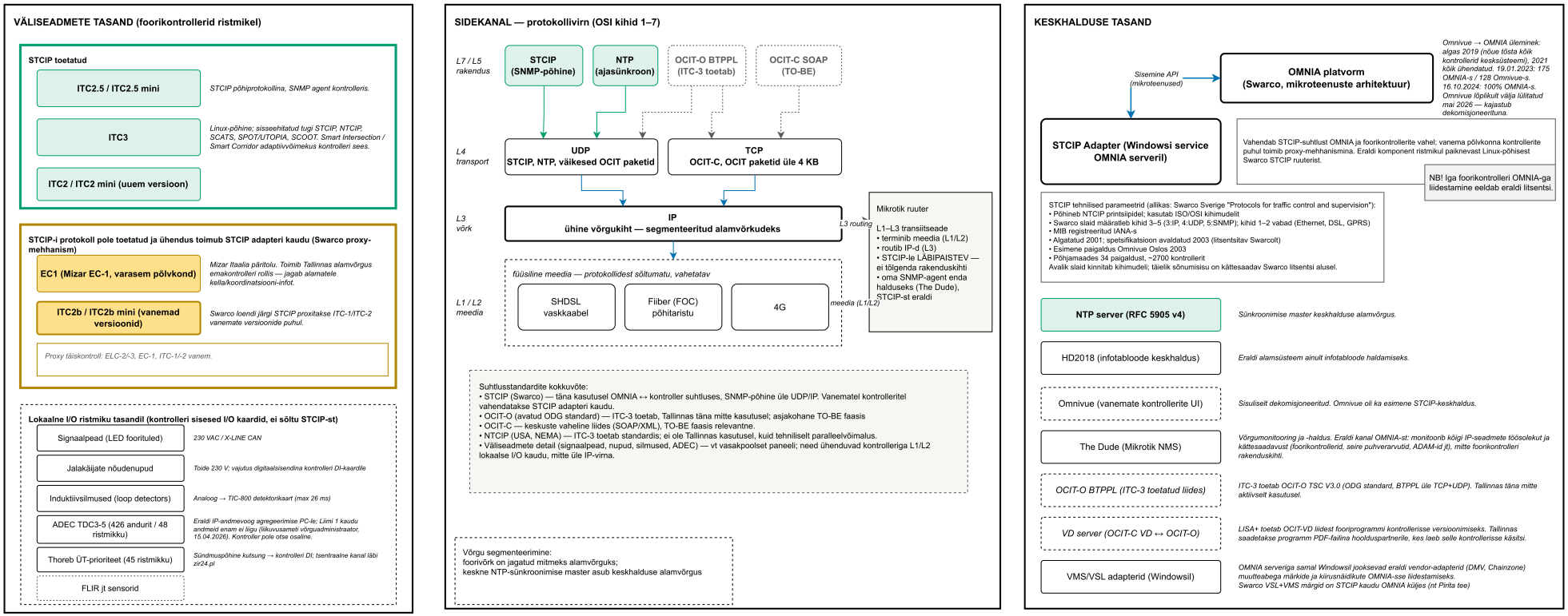
9 Lisa 1 – Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide AS-IS arhitektuuriskeem

Joonis 4. Tallinna liiklusjuhtimise süsteemide AS-IS arhitektuuriskeem



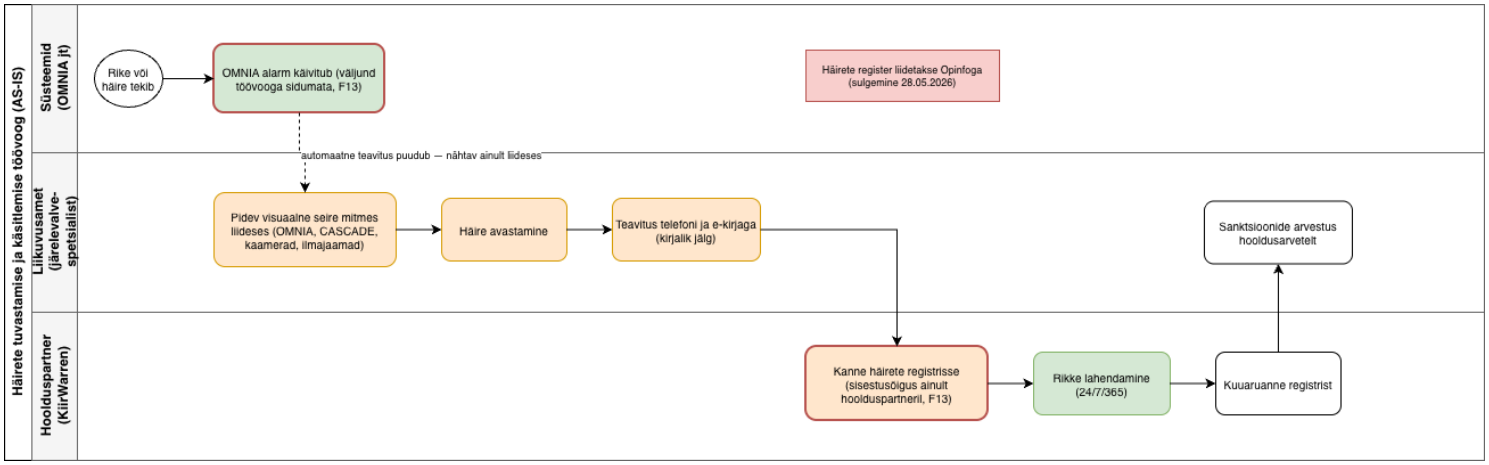
10 Lisa 2 – Tallinna liiklusjuhtimise foorikontrollerite ja OMNIA vaheline tehniline suhtlus

Joonis 5. Foorikontrollerite ja OMNIA vaheline tehniline suhtlus

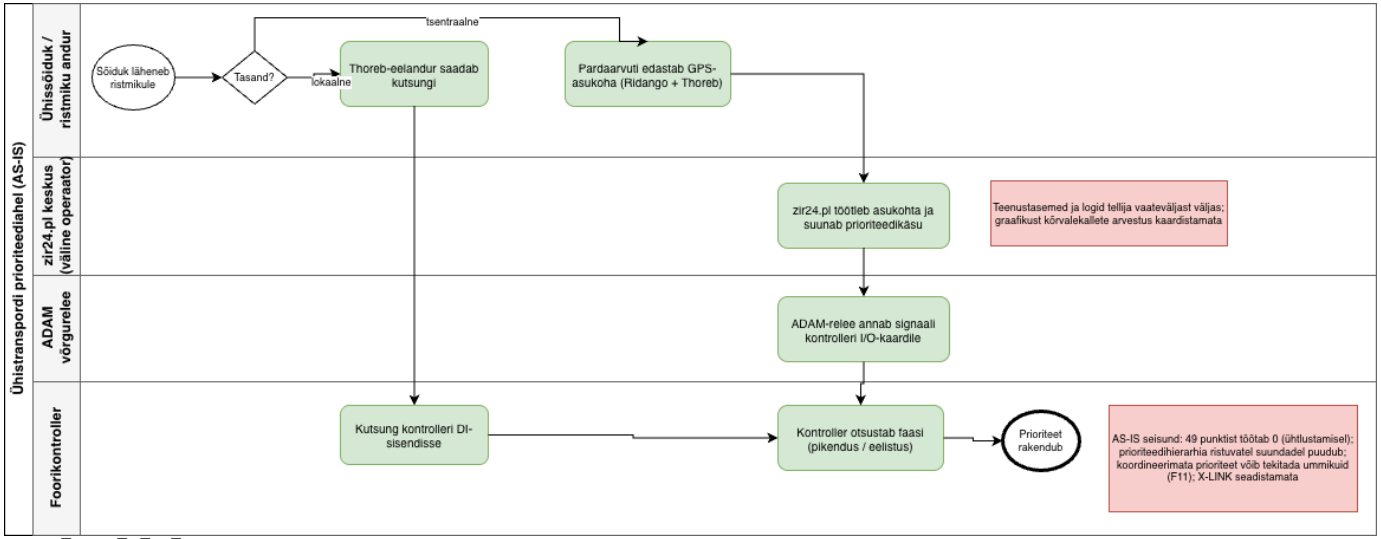


11 Lisa 3 – Lihtsustatud protsessijoonised

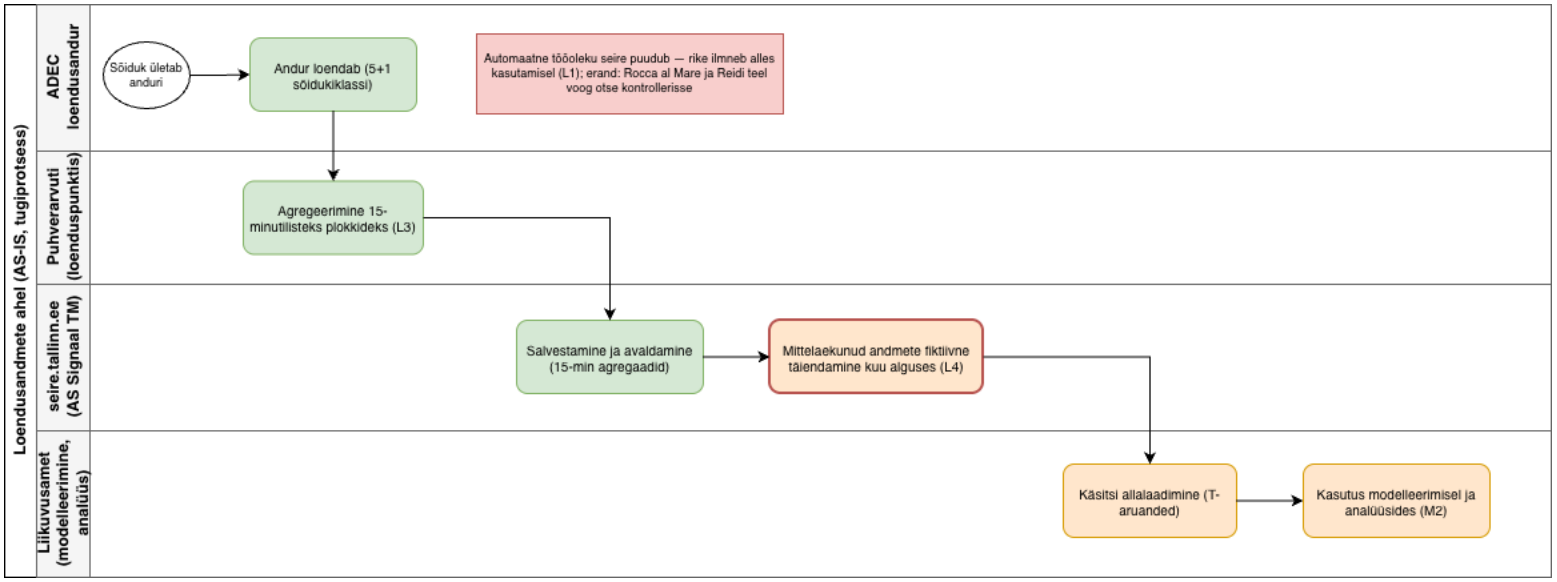
Joonis 6. Häirete käsitluse protsessijoonis



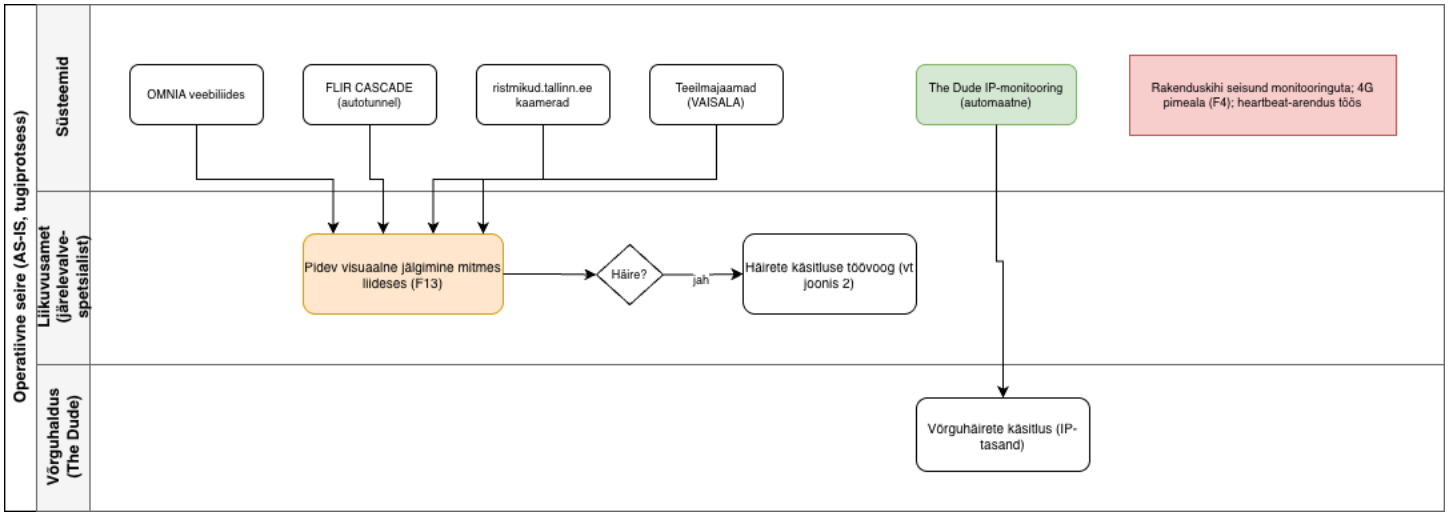
Joonis 7. Ühistranspordi prioriteedi protsessijoonis

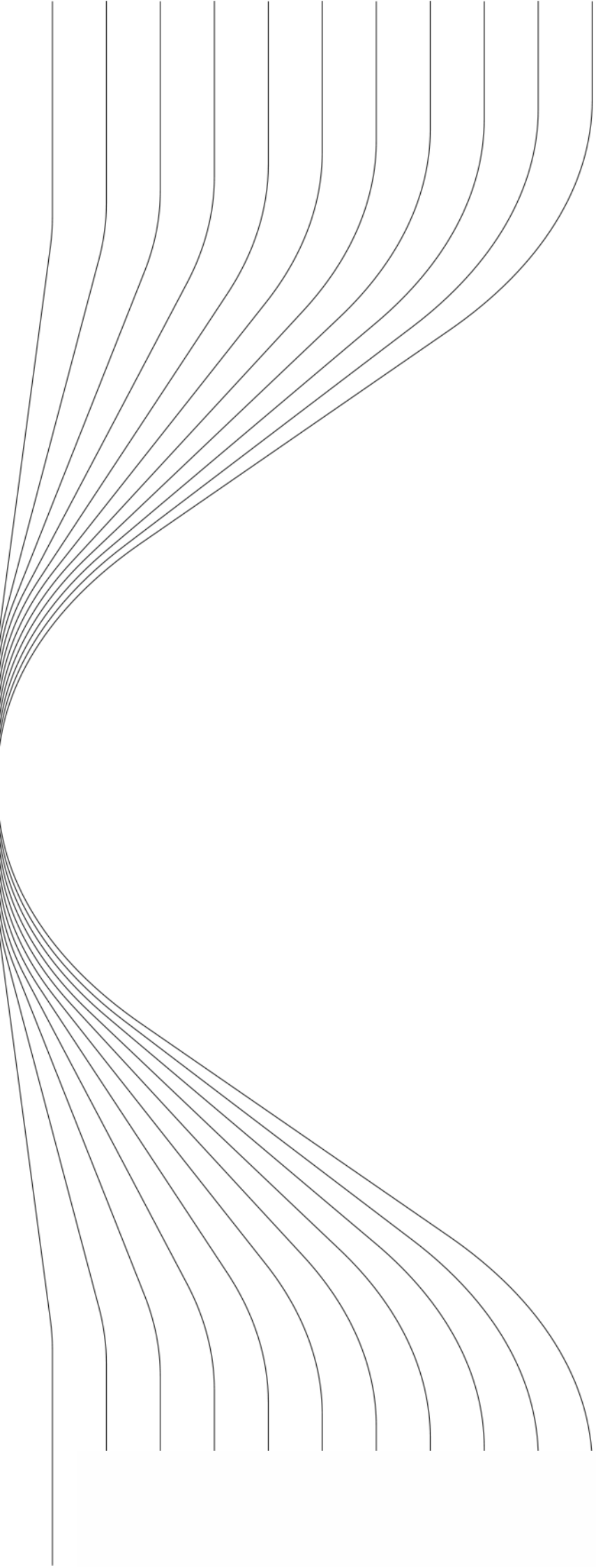


Joonis 8. Seireandmete salvestamise ja kasutamise protsessijoonis



Joonis 9. Operatiivse seire protsessijoonis





CIVITTA Eesti AS
info@civitta.com
+372 735 2802
www.civitta.com