



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
EESTI MEREAKADEEMIA  
Merenduskeskus

Daniil Starov

**RO-PAX TÜÜPI LAEVA AUTOMAATSE  
LAADIMISSÜSTEEMI TEOSTUSVÕIMALUSED**

Magistritöö

Juhendaja: lektor Maret Güldenkoh,  
kaasjuhendaja: teadur Mairo Leier

Tallinn 2021

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Daniil Starov

.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 192036VAAM

Üliõpilase e-posti aadress: dan.starov@hotmail.com

Juhendaja lektor Maret Guldenkoh:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaasjuhendaja teadur Mairo Leier:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Itella Logistics OÜ juhatuse esimees Meelike Paalberg

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

# Sisukord

Sissejuhatus .....	6
1. Transpordi arengusuunised ja digitaliseerimise tehnilised lahendused.....	9
1.1 Neljanda tööstusrevolutsiooni tehnoloogiline paradigma.....	10
1.1.1 Suurandmed.....	11
1.1.2 Virtuaal- või liitreaalsuslahendused .....	11
1.1.3 Andmete kogumiseks mõeldud sensorid .....	11
1.1.4 IT-lahenduste turvalisuse tagamise vahendid.....	12
1.1.5 Teenuste masskohandamine klientide vajaduste järgi.....	12
1.1.6 Kihtlisandustootmise tehnoloogia kasutuselevõtt .....	13
1.1.7 Protsesside simuleerimine .....	13
1.1.8 Integreeritud ühine platvorm ettevõttesiseste osakondade ja väliste partnerite ühendamiseks .....	14
1.1.9 Tehisintellekt, masin- ja sügavõpe ning neurovõrgud.....	14
1.2 Digitaliseerimise mõju äriprotsessidele ja tööjõuturule.....	15
1.3 Veerevtehnika liiklusvoo suunamise nüüdisaegsed meetodid ja tuleviku arengusuunad.....	17
1.4 Laevade digitaliseerimise ja automatiseerimise arendamise käekäik ja tulevikusuunised.....	22
1.5 Laevade digitaliseerimise seaduslikud alused .....	27
2. Uurimismetoodika ja -strateegia.....	30
3. Tallinna Vanasadama Targa sadama lahenduse valmidus täisautonoomse Ro-pax laeva laadimissüsteemiga integreerimiseks .....	34
3.1 Targa sadama süsteemi olemus ja tööpõhimõte .....	34
3.2 Targa sadama kitsaskohad ja võimalikud probleemid Targa autotekiga integreerimisel.....	36
4. Targa autoteki prototüüplahendus .....	40
4.1 Riistvara .....	41
4.2 Tarkvara .....	44
5. Tehtud eksperimendid, küsitlused ja tulemuste analüüs .....	50
5.1 Automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvara testimine.....	51
5.2 Targa autoteki riistvara testimine .....	54

5.3 Reisijate kogemus ja küsitlus automaatse liiklusvoo suunamise süsteemi kasutamise kogemuse kohta .....	57
6. Eeldatava lõpplahenduse visioonja elluviimise etapid .....	61
6.1 Ro-pax tüüpi laeva lastimine .....	61
6.2 Ro-pax tüüpi laeva lastimine Targa autoteki süsteemi abil .....	64
6.3 Targa autoteki elluviimise eeldatav etappide jaotus .....	67
6.3.1 Esimene etapp.....	67
6.3.2 Teine etapp .....	68
6.3.3 Kolmas etapp .....	70
6.3.4 Neljas etapp .....	72
Kokkuvõte .....	73
Abstract.....	75
Viidatud allikad .....	76
Lisa 1. Ettevõtte Vrio nutikate teede visioon.....	81
Lisa 2. Autonoomse laevanduse teemaline meedia ülevaade aastatel 2018 – 2020.....	83
Lisa 3. Üldine laadimisalgoritm .....	85
Lisa 4. Kasutajaliidese põhivaade .....	86
Lisa 5. Tabel 3. Riistvara testimise kaardistamine .....	88
Lisa 6. Küsitlus Targa autoteki kasutamise kogemuste kohta.....	96
Lisa 7. Targa autoteki küsitluse tulemused .....	99

## Annotatsioon

Põhiline hüpotees, millele autor käesoleva uurimistöö raames tõestust leiab, on järgmine: targa autoteki automaatne laadimissüsteem on võimeline funktsioneerima, lähtudes tänapäeva tehnoloogilistest võimalustest, ning ühiskond ja reisijad on valmis sellise süsteemi olemust ja olemasolu aktsepteerima. Magistritöö eesmärgiks on genereerida terviklik nägemus eeldatava targa autoteki automaatse laadimissüsteemi visioonist ning projekti elluviimise etappidest.

Uurimisülesanded on analüüsida transpordivaldkonna digitaliseerimise trende ja lahendusi teoreetiliste teemakohaste allikate põhjal, olemasoleva targa sadama lahenduse sobivust ning valmidust integreerida see targa autoteki automaatse liiklusvoo juhtimissüsteemiga ja targa autoteki projekti raames tehtud arendusi. Teha Targa autoteki arendusprojekti käigus valminud riist- ja tarkvara katsetusi ja küsitleda reisijaid nende kogemuse kohta käesoleva lahenduse kasutamisel. Töö viimases peatükis pakub autor tehtud uurimistöö alusel tervikliku nägemuse eeldatava Targa autoteki automaatse laadimissüsteemi visioonist ning elluviimise etappidest.

Uuringu käigus teostatud katsetuste, vaatluste ja küsitluse tulemused viitavad selgelt sellele, et Targa autoteki arendusel on potentsiaali. Targa autoteki lahendus võib suurendada teenuse atraktiivsust ning tekitada lisandväärtust, kui arendada seda süstemaatiliselt, järjepidevalt ning piisava ettevaatusega. Targa autoteki lahendus peab tagama järelevalve võimalusi ja 100% mehitamata laadimine ei ole võimalik. Arenduse eeldatava kolmanda etapi käigus on vaja teha kindlaks tööjõuvajadus Targa autoteki süsteemi funktsioneerimiseks. See tähendab, et olenevalt kaubakogustest peab astmeliselt määrama laadimisoperatsioonides osalevate inimeste arvu. Kogu projekti arenduse võib mõtteliselt jaotada nelja etappi. Kogu arenduse kestvus on orienteeruvalt seitse aastat, millest esimene, kaheaastane etapp on möödas.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 80 leheküljel, 6 peatükki, 11 joonist, 3 tabelit.

## Sissejuhatus

Püsiv digitaliseerimise kasv nii laevanduses kui ka paljudes teistes igapäevaelu valdkondades on viimase aastakümne jooksul viinud kaugeleulatuvate muutusteni, mida saab pidada neljandaks tööstusrevolutsiooniks. Selles kontekstis kirjutatakse peamiselt eri liiki autonoomsetest transpordivahenditest ning humanoid-, poolhumanoid- ja mobiilsete robotite kasutamisest. Tehnoloogilised lahendused, nagu tehisintellekt (AI), asjade internet (IoT), suurandmed (BD) ja teised, võimaldavad laevadel saada targemaks olukordade ja protsesside juhtimises. Nende tehniliste arengutega on seotud logistikaprotsesside põhimõttelised muutused tarne- ja veoahelate kõikidel tasanditel. Kirjutatakse isegi tarneahelate struktuurse nihke kaudu toimuvast paradigma muutusest. Andmete jälgimist, kogumist ja ennustamist saab kasutada parimate otsuste tegemiseks ja protsesside parendamiseks, et tõhustada nii protsesside efektiivsust kui ka keskkonnahoidlikkust. „Tark“ (ingl *smart*) tähendab merenduses atraktiivsust ja konkurentsivõimet ehk teha rohkem vähemate vahendite ja ressurssidega. Tark lahendus nõuab nii julgust kui loovust.

Tallink Grupi juhatuse esimehe Paavo Nõgene sõnul otsib merendus hetkel alles õigeid teid ja suundasid tarkade lahenduste jaoks. Läänemere ümbruse sadamad loovad targa sadama lahendusi sõidukite *check-in*'i, liiklusvoogude suunamise jms lihtsustamiseks, mis võimaldab sadama territooriumil automatiseerida ja efektiivistada sõidukitega seotud protsesse. (Äripäev AS 2019)

Digitaliseerimise ja autonoomsuse suurendamise temaatika on aktuaalne, kuna riigid üle maailma loodavad eduka neljanda tööstusrevolutsiooni tulemusena peatada deindustrialiseerimise trendi. Revolutsioonilise arengu paremaks juhtimiseks on riikides loodud initsiatiivrühmi. Neljas tööstusrevolutsioon on päevakohane ka Eestis, kuid mitte deindustrialiseerimise peatamise eesmärgiga. (Päll 2018, 5) Eesti loodab eduka neljanda tööstusrevolutsiooniga tõsta transpordisektori lisandväärtust (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium 2017, 40). Lisandväärtuse suurendamiseks kavatakse osutatav transporditeenus muuta efektiivsemaks, ohutumaks ja turvalisemaks. Selleks on hea kasutada ära veel rakendamata potentsiaali, milleks on muu hulgas transpordi digitaliseerimine. Transpordi digitaliseerimise all käsitletaksegi ettevõtte protsesside efektiivistamist digitaalsete lahenduste kaudu (Mertens, Barbian 2016, 303).

Põhiline hüpotees, millele autor soovib käesoleva uurimistöo raames tõestust leida, kõlab järgmiselt: targa autoteki automaatne laadimissüsteem on võimeline funktsioneerima, lähtudes tänapäeva tehnoloogilistest võimalustest, ning ühiskond ja reisijad on valmis sellise süsteemi olemust ja olemasolu aktsepteerima.

Targa autoteki projekti eesmärk on töötada välja Ro-pax tüüpi laevale prototüüp, mis võimaldaks automatiseerida ning tõhustada sõidukitega seotud protsesse laeva laadimise ja lossimise ajal. Lahendusega soovitakse muuta lastiruumi kasutus ning lastipaigutus efektiivsemaks, vähendada tööjõuvajadust laadimis- ja lossimistöodel ning lühendada reisijate ooteaega laevale pealesõiduks ja laevast väljasõiduks. Käesoleva projekti eeldatavad lisandväärtused reisijatele on ka suurem ohutus laeva autotekil viibimise ajal, mugavam ja arusaadavam pardalesõit ja liikumine laevas auto või muu liiklusvahendiga, võimalus lähtesadamasse saabudes nutilahenduste abil oma auto autotekil kiiresti leida. Projekti tulemusena peaks sadamas seismise aeg lühenema, et oleks võimalik merel ökonoomselt ja kütust säästvalt sõita ja vähendada ökoloogilist jalajälge.

Projekti raames tehti uuring, millega selgitati välja võimalikud tehnilised ning süsteemi arhitektuurilahendused. Teise etapina arendati välja targa autoteki tehnoloogiline prototüüplahendus ja kasutajaliidesed ning installeeriti need laeva katsealal. Kolmandas etapis koguti andmeid ning analüüsiti võimalikke kitsaskohti.

Magistritöö eesmärgiks on genereerida terviklik nägemus eeldatava targa autoteki automaatse laadimissüsteemi visioonist ning projekti elluviimise etappidest.

Magistritöös on autor püstitanud järgmised uurimisülesanded:

1. Analüüsida transpordivaldkonna digitaliseerimise trende ja lahendusi teoreetiliste teemakohaste allikate põhjal.
2. Analüüsida olemasoleva targa sadama lahenduse sobivust ning valmidust integreerida see targa autoteki automaatse liiklusvoo juhtimissüsteemiga.
3. Analüüsida targa autoteki projekti raames tehtud arendusi.

Magistritöös kasutatakse kvalitatiivset ja kvantitatiivset uurimisstrateegiat kombineeritult. Kvalitatiivsetest uurimisstrateegiatest on kasutatud tegevusuuringut, mille eesmärk on protsessi või nähtuse uurimine selle toimumise ajal selleks, et parandada probleemseid tegevusi või arendada välja uusi tegutsemisviise või tegevusi. Kvantitatiivsetest uurimisstrateegiatest on

kasutatud kaardistavat ja hindavat uuringut. Kaardistava uuringu eesmärk on selgitada välja hoiakud, arvamused trendid jms üldkogumis. Autor kasutab struktureeritud andmete kogumise meetodit. Struktureeritud (kvantitatiivsed) andmete kogumise meetodid võimaldavad võrrelda erinevusi ja väljendada neid andmeanalüüsi tulemusena arvudes. Nendeks on küsitlus, kus andmeid kogutakse ettevalmistatud küsimustiku alusel, ja eksperiment – andmeid kogutakse uuritavate objektide kohta erinevates olukordades. Käesoleva projekti raames on teostatud riist- ja tarkvara katsetused. Katsetustel osalenud reisijaid küsitleti käesoleva magistritöö teemal.

Lähtudes uurimisülesannetest, on käesolev uurimistöö jagatud teoreetiliseks ja empiiriliseks osaks. Uurimistöö teoreetilised alused põhinevad valdkonna teadusartiklidel ja seadusaktidel, mille peamised teemad on järgmised: neljas tööstusrevolutsioon, digitaliseerimise mõju äriprotsessidele ja tööjõuturule, veerevtehnika liiklusvoo suunamise nüüdisaegsed meetodid ja võimalikud arenguvõimalused tulevikus, laevade digitaliseerimise ja automatiseerimise arendamise käekäik ja tulevikusuunised ning laevade automatiseermise seaduslikud alused.

Autor soovib tänada AS-i Tallink juhatust usalduse eest ning võimaluse eest osaleda targa autoteeki arendusprojektis; kliendi- ja reisikogemuste osakonda eesotsas selle juhatajaga osutatud abi eest kliendiküsitluse korraldamisel; oma kolleege kaasamõtlemise, toetuse ning väljapaistvate ja innovaatiliste ideede eest ning targa autoteeki arendusprojekti kaasosalejaid.



# 1. Transpordi arengusuunised ja digitaliseerimise tehnilised lahendused

Kiiresti arenevas maailmas mängib transport aina olulisemat rolli, ühendades maailma erinevaid piirkondi ning tagades kaupade liikumise globaliseerumise tõttu üha tihedamalt seotud riikide vahel. Selle olulisust kinnitab ka asjaolu, et ülemaailmse pandeemia ajal, kus riikide piirid olid inimestele suletud, tehti kaubatranspordile erandeid, et vältida parandamatuid tagajärgi.

Sõna „transport“ tuleneb ladinakeelsest sõnast *transportare*, kus *trans* tähendab „üle, teisele poole“ ja *portare* „viima, kohale toimetama“. Igapäevaelus mõistetakse transpordi all veoste ja reisijate ümberpaigutamise protsessi. Transpordisüsteem koosneb üldjuhul kas ühest või mitmest transpordiliigist. Transpordisüsteemi kuuluvate objektide kompleks on ette nähtud vedude sooritamiseks, kusjuures transpordisüsteemi komponendid on omavahel tihedalt seotud ning üksteisest väga sõltuvad. Transpordisüsteemi funktsioneerimise üldine eesmärk – tootmise rütmiline varustamine materjalidega ja kaubanduse pidev varustamine kaupadega – jaguneb omakorda kolmeks osaeesmärgiks (Tulvi 2013, 34):

- kaupade sobiva juurdeveosageduse tagamine;
- optimaalsete veotingimuste tagamine;
- kaupade säilivuse tagamine.

Ajalooliselt on transpordi areng alati olnud vastavuses kogukonna majanduskasvuga ning sotsiaalse ja poliitilise staatusega. Alates kreeka filosoofist Herakleitosest, kes üldistas oma elufilosoofiat väljendiga *panta rei*, mis tähendab „kõik voolab, kõik asjad liiguvad“, on transpordiarenduses olnud üldkokkuvõttes neli pöördelist perioodi, mis on väga tihedalt seotud Euroopa majandusarenguga (Steiner 2009, 6):

- hansaaeg 13.–16. sajandil, mil arenesid veeteed;
- 16. ja 17. sajandi kuldne ajastu, kui toimus meretranspordi märkimisväärne areng;
- 19. sajandi keskpaigast alguse saanud tööstusrevolutsioon, mil aurumasina leiutamine tekitas uusi transpordiliike, peamiselt raudteetransport;
- infotehnoloogiline revolutsioon, mis leidis aset 20. sajandi teisel poolel, tuues transpordisektorisse turundus- ja logistikapõhimõtted.

Transpordisüsteemi roll kaupade, inimeste (tööjõu), teenuste ja kapitali vabal liikumisel on asendamatu.

## 1.1 Neljanda tööstusrevolutsiooni tehnoloogiline paradigma

Tehnoloogilisteks paradigmadeks saab pidada suuri tehnoloogilisi muutusi või nende muutuste kogumit, mis mõjutavad mitut majanduse sektorit. Viimase aastakümne jooksul on nendeks muutusteks olnud digitaalsed lahendused. Digitaalsete lahenduste rakendamist transpordisektoris võib nimetada transpordi digitaliseerimiseks. Digitaliseerimine on aga automatiseerimise alus, kuna enne automatiseerimist on vaja informatsioon liikuma panna. Laiemalt on transpordi digitaliseerimine osa neljandast tööstusrevolutsioonist.

Esimeseks tööstusrevolutsiooniks nimetatakse pöördelist muutust, kui tootmises võeti kasutusele auru jõul põhinev tehnika, leiutati aurumasin ja alustati raudteede arendamisega. Esimene tööstusrevolutsioon toimus 18. sajandi lõpus. 19. sajandi lõpus alanud teise tööstusrevolutsiooni vedavaks jõuks said sellel ajal leiutatud elekter ja konveierliin. Hakkas arenema masstootmine. Kolmas tööstusrevolutsioon sai alguse 20. sajandi teisel poolel arvutite ja interneti levikuga. (Schwab 2016)

„Neljas tööstusrevolutsioon“ (või ka „tööstus 4.0“) on 2011. aastal Saksamaalt alguse saanud mõiste (sks *Industrie 4.0*), mis hõlmab digitaalset tööstusettevõtet, digitaliseerimisest tulenevat efektiivsuse kasvu, tarku tooteid, kliendile lisaväärtuse pakkumist, uusi ärimudeleid ja muud (Kagermann *et al.* 2013, 5). Eespool kirjeldatud omal ajastul läbimurdeliste tehnoloogiate kasutuselevõttu saab nimetada revolutsioonideks, kuna ühes sektoris kogunenud uuendused levisid plahvatuslikult teistesse sektoritesse ja mõjutasid kogu maailma majandust.

Käesolevas töös nimetatakse digitaliseerimiseks neljanda tööstusrevolutsiooni tehnoloogiate kasutuselevõttu. Digitaliseerimisega seotud tehnoloogiaid saab jaotada funktsiooni järgi nelja rühma: andmed ja ühendused; analüütika ja tehisintellekt; inimeste ja seadmete koostöö; automatiseeritud masinapark (Szozda 2017, 403). Järgmisena tutvustab autor uurimistöö kontekstis aktuaalseid tehnoloogilisi lahendusi ja kirjeldab nende sisu.

### **1.1.1 Suurandmed**

Suurandmed (ingl *big data*) on mitmesugused tööriistad, lähenemisviisid ja meetodid nii struktureeritud kui ka struktureerimata andmete töötlemiseks, et kasutada neid konkreetsete ülesannete ja eesmärkide saavutamiseks. Tänapäeva maailmas on suurandmed sotsiaal-majanduslik nähtus, mis on seotud asjaoluga, et tohutu hulga andmete analüüsimiseks on tekkinud uued tehnoloogilised võimalused. Tohutul hulgal andmeid töödeldakse selleks, et inimene saaks nende edasiseks tõhusaks kasutamiseks konkreetseid ja vajalikke tulemusi. Faktiliselt on suurandmed probleemide lahendamine ja alternatiiv traditsioonilistele andmehaldussüsteemidele. (Berkana 2017)

### **1.1.2 Virtuaal- või liitreaalsuslahendused**

Virtuaalne reaalsus on kolmemõõtmeline arvutikeskkond, millel on vastastikune toime inimesega: inimene sukeldub sellesse keskkonda mitmesuguste seadmete (kiiver, prillid jms) abil, on osa virtuaalmaailmast ning kontrollib virtuaalseid objekte ja esemeid. Virtuaalreaalsust kasutatakse aktiivselt ühiskonna erinevates sfäärides. Virtuaalreaalsuse kõige laialdasem kasutamine on meelelahutus. Peale meelelahutuse kasutatakse virtuaalset reaalsust meditsiinis, hariduses uute oskuste õpetamiseks, sõjalises ja kosmosesfääris. (Bardi 2020)

Liitreaalsus on visuaalne ja interaktiivne meetod asjakohase digitaalse teabe esitamiseks füüsilise keskkonna kontekstis. See tehnoloogia tagab parema vastastikuse ühenduse selle subjektide vahel. Tööstuslik liitreaalsus pakub optimaalsemat meetodit kasutajale mugavate tegutsemis-, töö- või kasutusjuhendite loomiseks ja edastamiseks, projitseerides digitaalse sisu reaalsesse keskkonda. See on enamikule inimestest arusaadavam kui virtuaalmaailm ja seda on palju lihtsam rakendada. Liitreaalsus võimaldab meil igapäevast reaalsust rikkamaks muuta. Koos Interneti-ressursside ammendamatusena on selle võimalused lõputud. (PTC 2021)

### **1.1.3 Andmete kogumiseks mõeldud sensorid**

Sensor on eraldiseisev seade, mis sisaldab ühte või mitut primaarset mõõtemuundurit. Andur on loodud mõõtesignaali genereerimiseks vormis, mida on mugav edastada, edasi muundada, töödelda ja salvestada. Tekitavad andmed on osa suurandmetest ja analüüsi või otsuste tegemise aluseks. Iga anduri põhiülesanne on reageerida välismõjudele ja anda süsteemile informatsiooni

või juhiseid nende mõjude kohta. Andurid on sisuliselt digilahenduse närvisüsteem. Nad tagavad tagasiside kontrolleri ja välismaailma vahel. (Shandrov, Chudakov 2007, 16)

Sensortechnoloogia kasutusala laevadel laienevad järjepidevalt. Tulevikulaevade üks osa on täielik sensorisüsteem, mis võimaldab seirata laeva käitamise kõiki aspekte, sh tuvastada rikkeid ja remondivajadust. Kommunikatsioon maismaaga võimaldab neid protsesse juhtida kaldalt (Arenguseire Keskus 2020, 45).

#### **1.1.4 IT-lahenduste turvalisuse tagamise vahendid**

Küberturvalisus on tegevus, mille eesmärk on kaitsta süsteeme, võrke ja programme digitaalsete rünnakute eest. See on meetodite ja tavade kogum arvutite, serverite, mobiilseadmete, elektrooniliste süsteemide, võrkude ja andmete kaitsmiseks pahatahtlike rünnakute eest. Nutikas lähenemine küberturvalisusele hõlmab arvutite, võrkude, programmide ja andmete mitmetasandilist kaitset. Organisatsioon peab inimesi, protsesse ja tehnoloogiat organiseerima õigel viisil, et küberrünnakute vastu tõhusat kaitset rakendada. Tehnoloogiad on arvutiturbevahendite loomise keskmes, et kaitsta organisatsioone küberrünnakute eest. Kaitsta tuleb kolme peamist objektirühma: lõpp-seadmed, nagu arvutid, nutiseadmed ja ruuterid, võrgud ja pilved. Autonoomsete süsteemide tarkvarakoodide kogused ja mahud on kolossaalsed. Oluline on aga see, et vanade meetoditega on lihtsalt võimatu toota vajalike funktsionaalsete ja ajaliste omadustega koode ja pealegi tagada nende koodide turvalisust. Autonoomsetes süsteemides on turvalisuse tagamise lahendused primaarse tähtsusega. (Cisco 2021)

Eesti meremajandusele tähendab autonoomsete laevade kasutuselevõtt mitmesuguseid võimalusi. Kuna merenduses suureneb küberturbe olulisus (ja seda mitte ainult autonoomsete laevade puhul), on Eesti hästi positsioneeritud ära kasutama oma IKT-oskuste eeliseid. Olulist panust selleks võib oodata TalTechi merenduse küberturbe keskuselt. (Arenguseire Keskus 2020, 47)

#### **1.1.5 Teenuste masskohandamine klientide vajaduste järgi**

Masskohandamine (ingl *mass customization*) on teenuste osutamise protsess, mis eeldab, et teenust muudetakse eesmärgiga rahuldada konkreetse kliendi vajadusi. See on protsess, mis võimaldab kliendil toote teatud omadusi isikupärastada, hoides siiski kulud masstoodangu hinnaga võrdsena või selle lähedal. Neli peamist massikohandamise tüüpi on järgmised: koostöökohandamine,

kohanduv kohandamine, läbipaistev kohandamine ja kosmeetiline kohandamine. Massilist kohandamist pakkuvatel ettevõtetel on konkurentsieelis võrreldes teiste ettevõtetega, kes pakuvad ainult standardseid ja üldisi tooteid. Pakkudes suuremal määral isikustatud teenust ja seega rahuldades rohkem kliendi vajadusi, suurendab ettevõtte selle teenuse lisaväärtust. (Anderson 2020)

### **1.1.6 Kihtlisandustootmise tehnoloogia kasutuselevõtt**

Üks tõhus vahend uuenduste õigeaegseks rakendamiseks on toodete kiire prototüüpimine. Ka targa autoteki projekti raames kasutati kihtlisandustootmise (ingl *3D printing*) tehnoloogiat selleks, et toota sensorite prototüüpe.

Autor on arvamisel et kihtlisandustootmise tehnoloogia on tänapäeva maailma oluline osa, millel on järjest suurem tähtsus ja mõju logistilistele protsessidele. Kihtlisandustootmine on digitaalsete mudelite põhjal ruumiliste toodete valmistamise meetod. Sõltumata konkreetsest tehnoloogiast on protsessi olemus objektide järkjärguline reprodutseerimine. Tehnoloogia aktuaalsus seisneb selles, et objekte toodetakse materjali järkjärgulise lisamise teel, mitte lahutatavat tehnoloogiat kasutades, mis tähendab, et materjali kasutatakse palju efektiivsemalt. Samuti on kihtlisandustootmist kasutades valminud toodete transpordi- ja logistikakulud tunduvalt väiksemad võrreldes tavapärase tootmisega, kuna tootmine toimub lõpptarbijale tunduvalt lähemal. Kõige tähtsam kihtlisandustootmise eelis tavapärase tootmise ees on see, et vajaliku objekti saab toota digitaalse ruumilise mudeli põhjal suhteliselt kiiresti, jättes vahele tootmiseseadmete automatiseerimise algoritmide kohaldamise, ja äärmiselt kiiresti, võrreldes käsitsi tootmisega, nt freesimisega.

### **1.1.7 Protsesside simuleerimine**

Protsesside simuleerimise eesmärk on imiteerida loodavat või käigus olevat süsteemi, kasutades selleks vastavat tarkvara, et seda hinnata või täiustada. Targa autoteki süsteemi katsetamiseks loodi virtuaalne simulatsioonikeskkond, mis võimaldas süsteemi testida, ilma et oleks olnud tarvis reaalsel laeval eksperimente korraldada, säästes seeläbi raha ja aega. Selle abil oli lihtne simuleerida erinevaid olukordi erinevat tüüpi sõidukitega, lihtne oli teha katsetusi sensorite erinevate seadistustega. Sensorite tihedust ja positsiooni sai muuta lihtsa vaevaga ja katsetada ka erinevaid sensoritüüpe. (Lippmaa 2020, 14)

### **1.1.8 Integreeritud ühine platvorm ettevõttesiseste osakondade ja väliste partnerite ühendamiseks**

Platvormil integreeritakse tarneahela osapooled, sisemised protsessid ning ka kliendid. Osapooled edastavad ühtsel platvormil struktureeritult infot oma vastutusalas olevate tegevuste täitmise staatuse kohta ning see teave on kõigile ühisel platvormil pidevalt kättesaadav. (Mussomeli *et al.* 2016, 6)

### **1.1.9 Tehisintellekt, masin- ja sügavõpe ning neurovõrgud**

Tehisintellekt, masinõpe ja neurovõrgud on juba paljude ettevõtete lahutamatud osad. Neid termineid kasutatakse sageli vaheldumisi sünonüümidenä. Tegelikult on nende vahel erinevusi.

Tehisintellekt on lai mõiste, mis viitab arenenud masinintellektile. Õppimise kõiki aspekte või kõiki muid intelligentsuse tunnuseid saab põhimõtteliselt nii täpselt kirjeldada, et masin suudab neid jäljendada. Sõna „tehisintellekt“ võib viidata kõigele, malemängu arvutiprogrammidest kõnetuvastussüsteemidenä.

Autor on arvamusel et masinõpe on üks tehisintellekti harudest. Põhiprintsiip on selles, et masinad saavad sensoritest andmeid ja „õpivad“ neist. Praegu on see kõige lootustandvam tehisintellekti abil töötav äritööriist. Masinõppesüsteemid rakendavad treeningu käigus saadud teadmisi kiiresti suurtes andmekogumites, võimaldades neil silma paista selliste ülesannete täitmisel nagu näo- ja kõnetuvastus, objektide tuvastamine, tõlkimine ja palju muud. Erinevalt konkreetsete ülesannete täitmiseks käsitsi kodeeritud programmiliste juhistega võimaldab masinõpe vastaval süsteemil õppida mustreid ära tundma ja teha selle põhjal ennustusi.

Sügavõpe on masinõppe alamliik. See kasutab mõnda masinõppe tehnikat reaalsete probleemide lahendamiseks neurovõrkude abil, mis võivad simuleerida inimese otsuste tegemist. Sügavõpe võib olla kulukas ja nõuab õppimiseks tohutult andmeid. (Reese 2017)

Neurovõrgu struktuur tuli programmeerimise maailma otse bioloogiast. Tänu sellele struktuurile omandab masin võime analüüsida ja isegi meelde jätta erinevat teavet. Närvivõrgud on võimelised mitte ainult analüüsima sissetulevat informatsiooni, vaid isegi teisaldama seda oma mälust. (Miller 2015) Teisisõnu saab neurovõrku nimetada tehisintellekti tööriistaks.

## 1.2 Digitaliseerimise mõju äriprotsessidele ja tööjõuturule

Uut tüüpi kütused pole ainuke võimalus kasvuhoonegaase ja muud õhusaastet vähendada, vaid selles suunas töötab ka innovatsioon laevanduses (Arenguseire Keskus 2020, 44). Olenevalt sellest, kas tehnoloogiline lahendus on kättesaadav ja arenenud või selles valdkonnas toimub areng aeglasema tempoga, tuleb otsustada, kas järgida vastavate tehnoloogiliste muutuste suundi või mitte. Tänapäeval kõige kiiremini arenev valdkond on suurandmed ja analüütika. Seda tehnoloogiat juurutanud ettevõtted saavad harilikult suurt kasu, mis annab tõuget ja motivatsiooni ka teistele, et uuendustega kaasas käia. Prioriteediks tuleb seada iseoptimeeruvate süsteemide ja kiire prototüüpimise tehnoloogiliste lahenduste juurutamine äriprotsessidesse ning sobivusel võtta kasutusele liitreaalsus, logistika automatiseerimine ja isesõitvad liiklusvahendid (Manyika *et al.* 2011, 82). Suurandmete kasutuselevõtt tekitab revolutsiooni juhtimises.

Peale selle, et see mõjutab efektiivsust ja ohutust, võib intelligentsete lahenduste ja digitaliseerimise kaasamine äriprotsessidesse tekitada ka muutuseid ärimudelites. Osad neist võivad pakkuda ettevõtetele regulaarsete sissetulekute kõrval lisakäivet. Sellised tuluartiklid võivad olla näiteks intellektuaalomandi õiguste müügist saadav tulu – väljatöötatud standardite, lahenduste ja kogemuste tootestamine ja müümine ning andmetel põhinevad ärimudelid ja müüdüd tarkadelt toodetelt kogutavate andmete ärakasutamine, et töötada välja kliendi vajadustele vastavad uued tooted. (Päll 2018, 17)

Neljandal tööstusrevolutsioonil on märkimisväärne mõju tööjõuturule. Sama kiiresti, kui on toimunud automatiseerimise ja digitaliseerimise areng, on kasvanud töötajate hirm, et nad jäävad tööst ilma, kuna arvutid võtavad nende töö üle. Autonomsetel laevadel on potentsiaal merekaubaveo kui tegevusala iseloomu märkimisväärselt muuta. Inimesed jäävad laevasõidu korraldamisega mõistagi endiselt seotuks, kuid autonoomsete laevade puhul on tarvis teistsugust tööjõudu – vaja hakkab minema vähem, kuid senisest kõrgema oskustasemega töötajaid (Arenguseire Keskus 2020, 46). Tööjõuturu struktuurne ümberkujunemine, mis kaasneb digitaliseerimisega, on hakanud tekitama nii töötajates kui tööandjates ebakindlust ning töösuhted on muutunud mitmekesisemaks ja ebamäärasemaks. Automatiseeritud lahenduste kasutuselevõtt on juba praegu vähendamas rutiinsete, madalat oskustaset ning vähe kognitiivseid oskusi eeldavate tööde arvu. (Arenguseire Keskus 2018, 5) Eeldatavasti seisnevad tööturu struktuursed muutused selles, et tekkivad uued ametid, mis on ühest küljest seotud tehnoloogiatega väljatöötamise, rakendamise ja teenindamisega ning teisest küljest loovate oskuste või inimsuhetega. Digitaalsed

platvormid on viimaste aastate jooksul hakanud looma muutusi tööjõu vahendamisel, näiteks saab teha kaugtööd, töötada interneti teel või lühikest aega ehk teha nn tööampse. Tänapäeval kõige olulisem töötamist reformiv sotsiaal-majanduslik trend on töö olemuse ja töötamise paindlikumaks muutumine (Maailma Majandusfoorum 2016).

Töökohtade automatiseerimise potentsiaal sõltub seega peamiselt töö iseloomust (OECD 2018):

- kas töö on rutiinse või mitterutiinse iseloomuga;
- kas töö eeldab kognitiivseid oskusi;
- kas töö eeldab madalat või kõrget oskustaset.

Automatiseerimise määra mõjutavad lisaks ka paljud teised faktorid, näiteks ühiskondlikud ja õiguslikud takistused. OECD tehtud uuringust tuleneb, et OECD riikides on automatiseeritavad keskmiselt 9% töökohtadest. Ligikaudu 20–35% töökohtade ülesanded muutuvad märkimisväärselt. (Arntz *et al.* 2016, 15)

Väikseim risk kaduda on mitterutiinsetel kognitiivseid oskusi eeldavatel töökohtadel ja töödel, mis eeldavad kõrget haridustaset ja spetsiifili oskusi. Suurim risk on aga rutiinsetel mittekognitiivsetel töödel, mida saavad teha madala haridus- ja oskustasemega inimesed. Edaspidi kaovad suurema tõenäosusega töökohad, mis on seotud andmete kogumise ja etteaimatavas keskkonnas toimimisega; enam läheb aga vaja neid ameteid, mis eeldavad eksperditeadmiste kasutamist, inimeste juhtimist ja suhtlemisoskust (Arenguseire Keskus 2018, 24).

Kirjutades digitaliseerimisest ja robotiseerimisest mõeldakse selle all enamasti inimtöö asendamist arvutite või robotitega. Tegelikuses on probleem tunduvalt mitmekülgsem. Korraldatud uuringud näitavad, et suure tõenäosusega asendatakse digitaalsete või autonoomsete lahendustega peamiselt rutiinseid ja monotoonseid tööülesanded ja olemasolevad ametikohustused muutuvad keerukamaks ja mitmetahulisemaks. Samuti tekivad uued töökohad, mille sisu me ei oska praegu ennustada. Eeldatakse, et tehnoloogiline areng toob kaasa suurema nõudluse isiku- ja mugavusteenuste järele. Võttes arvesse seda, et näiteks Eestis oli aastal 2017 teenindussektoris hõivatud 72,9% töötavatest inimestest, võib öelda, et see on kasvav trend. (Servinski, Leesment 2018, 153)

Merenduses muutuvad ametikohustused kindlasti olenevalt digitaliseerimise rakendamise etapist, aga kindel on ka see, et merendusvaldkonna teadmisi ja põhjalikku mõistmist läheb alati vaja.



Ajalooliselt on laevanduse tehniline areng kaasa toonud suuri muutusi töökorralduses, pädevusnõuetes ning erialase motivatsiooni ja samastumise eeldustes. Üks näide on üleminek purjedelt aurujõuseadmetele. See tõi kaasa muutused pädevusnõuetes ja pika aja peale mindi raskelt füüsiliselt töölt üle töökorraldusele, mida tänapäeval seostatakse sageli füüsilise passiivsuse, paberimajanduse ja vaimse üleväsimusega (Allen *et al.* 2007; Lützhöft *et al.* 2010). Uuendusi rakendatakse enamasti eesmärgil muuta olukord paremaks, kuid muutustel on ka kalduvus põhjustada ettenägematuid kõrvalmõjusid. Üks selliste kõrvalmõjude allikas on see, et tehnoloogiat, mida rakendatakse selleks, et suurendada ohutust ja turvalisust, kasutatakse tegelikkuses tootlikkuse ja tõhususe suurendamiseks. Magistrandi kogemusest pärineb, et radar võeti kasutusele peamiselt navigatsiooni ohutumaks muutmiseks, tegelikkuses suurenes aga opereerimiskiiruse kasvuga ka nende õnnetuste arv, mis olid tingitud sellest, et radareid usaldati üleliia. Seetõttu peab tänapäeval olema tehtud terviklik analüüs digitaliseerimise rakendamise mõjudest, hõlmates mitte ainult operaatori ja tehnoloogilise lahenduse koostoime muutuste analüüsi, vaid kindlasti ka nende muutuste analüüsi, mis võivad ilmnedä intelligentsete laevade operaatorite omavahelises koostöös. Samuti on tarvis täiesti autonoomsete ja mehitatud süsteemide vastastikuse mõju uuringut.

Kirjutades intelligentset ja mehitamata meretranspordist, kujutavad paljud endale ette pilti, kus maailma mered on täis kummituslaevu, mida on võimalik kaaperdada ja kasutada relvana teisest maailma otsast arvuti tagant. Laevu, mis on võimetud abistama hädaolukorras olevat meremeest. (Hult *et al.* 2019, 271) Laevu, kus suure digitaliseerimise tõttu on meeskond nii väike, et elu ja töö sellistel alustel muutub sotsiaalselt ohtlikuks. Juba praegu annab selline retoorika noortele koolilõpetajatele signaali, et meremehe elukutset valida oleks vale, sest selle tulevik on ebakindel. Digitaliseerimislahendused toovad tööstusettevõtetele suurt kasu, kuid samas ka ettevõtte muutumise (Päll 2018, 18). Nüüdisaegsete digitaliseerimisvahendite kompleksne kasutuselevõtt annab tõhusama tulemuse, võimendades tervikliku lähenemisega mõju äriprotsessidele. Teisest küljest aga tekitab see ka uusi väljakutseid ja probleeme, milleks tasub olla valmis.

### **1.3 Veerevtehnika liiklusvoo suunamise nüüdisaegsed meetodid ja tuleviku arengusuunad**

Arvestades transpordisektori olulisust, võib välja tuua selle kaks suuremat mõju: elanikkonna elukvaliteedi parandamine ja riikide üldise majandusarengu edendamine. Transport mõjutab

otseselt inimeste elu: individuaalset liikuvust ja ligipääsetavust ning efektiivset ja ratsionaalset ajakasutust ning üldisemat elukvaliteeti. Transpordipoliitika määrab suuresti ära selle, kuivõrd transpordi mõju on positiivne või negatiivne.

Autonoomseid transpordisüsteeme võib defineerida kui süsteeme ja teenuseid, mis haldavad ja toetavad kõiki liiklusvahendeid, mis on võimelised liikuma ilma inimese juhtimiseta (Mugellesi *et al.* 2017). Autor on arvamusel et automaatne transport lahendab tänapäeva transpordisüsteemides paljusid probleeme, nagu:

- suurendab ohutust, vähendades inimtegurist tingitud õnnetuste ja eksimuste arvu;
- suurendab tõhusust, vähendades liiklusummikuid ja liiklussõlmede ülekoormatust ning võimaldades rakendada *just-in-time* printsiipi;
- parandab õhukvaliteeti, vähendades kütusekulu ja CO<sub>2</sub> emissiooni.

Kõige aktuaalsemad teemad, mida tänapäeval autonoomsete transpordisüsteemide kontekstis käsitletakse, on järgmised: liiklusvoogude juhtimine, automatiseeritud kaubaveo- ja teenindustranspordi juhtimis- ja jälgimissüsteemid, suurandmete analüüs ja küberturvalisus. Käesolevas peatükis keskendub autor liiklusvoogude suunamise temaatikale.

Veerevtehnika liiklusvoogude jaoks kasutatavad seadmed liigitatakse kahte põhikategooriasse: füüsilised ja visuaalsed vahendid. Visuaalsed vahendid saab omakorda jaotada järgmistesse alarühmadesse (O'Flaherty 2006, 517–531):

- konventsionaalsed liiklusmärgid;
- vahetatava teatega märgid;
- teemärgistus;
- juhtpostid;
- sõidukisisene infosüsteem.

Autor täiendab eespool toodud nimekirja tänapäevaste innovatiivsete lahendustega, nagu:

- väljaulatuv tulega teemärgistuse brakett;
- projektsioonid;
- hologrammid.

Tänapäeval on laialt kasutusel helkuriga teemärgistuse braketid eesmärgil parandada teemärgistuse nähtavust kõige keerulisematel ja ohtlikumatel aladel. Autor on arvamusel, et tuledega brakette võib käsitleda käesoleva lahenduse järgmise arengusammuna. Brakette saab paigaldada keerulisematele ja tavapärasest paigutusest erinevatele ristmikele selleks, et tagada sõidukite liikumine õigel trajektoorigil. Kontseptsioon seisneb selles, et iga brakett on ühendatud võrku ja näitab vastavat tuld (või on kustunud) olenevalt sellest, mis suunas ja millise trajektoori järgi peab liikumine toimuma. Abivahendiks on jooksvate tulede rada, mis näitab, mis suunas eeldatav liiklusvoog peab liikuma.

Liiklusvoo suunamiseks kasutatavad projektsioonisüsteemid võib jaotada kahte peamisse rühma: statsionaarse projektsiooniallikaga süsteemid ja süsteemid, kus projektsiooniallikaks on liikluse osapool (veerevtehnika ühik).

Kopenhaageni linnavalitsus koostöös Kopenhaageni koostoime kujunduse ülikooliga viis läbi uurimisprojekti, et leida linna parkimisautomaatidele uut rakendust. Tulemuseks oli ettepanek kasutada vanu parkimisautomaate projektsiooni statsionaarse allikana. Analüüsi ja küsitlusega saadi väga positiivset tagasisidet ja projektil oli tugev potentsiaal. Projekti tulemustest on aga näha, et katsetused tehti enamasti hämaras või pimedal ajal, mis räägib sellest, et projitseerimise tehnoloogia vajab arendamist. (Craddock *et al.* 2015)

Projitseeritud graafika tõhusust ja nähtavust mõjutavad rakendus- ja keskkonnaparameetrid. Kui teha projitseerimislahenduste väljatöötamisel hoolikalt kindlaks kõik tegurid ja neid arvestada, saab tänapäeval tagada arvestatavat kvaliteeti. Peamised mõjuallikad on järgmised: kaugus projektsioonipinnani, projitseerimisenurk, projektsioonipinna füüsilised omadused ning ümbritseva keskkonna valgustus (Osram Continental 2021).

Mootorsõidukite HIDi-, LEDi- ja laseripõhised suure eraldusvõimega esilaternad, mis on tuntud kui pikslivalgussüsteemid, on areneva tehnoloogia esirinnas, mis aitab kaasa autonoomsete juhtimissüsteemide arendusele. Pikslivalgussüsteemid pakuvad võimalust projitseerida informatsiooni või kujundeid otse tänavale. Innovatsiooni põhieesmärk on parandada kõikide liiklejate turvalisust, mugavust ja koostoimet. (Rizvi *et al.* 2017)

Sõna „hologramm“ on kombinatsioon kahest kreekakeelsest sõnast: *holos*, mis tähendab „tervik“, ja *gramma*, mis tähendab „sõnum“, ehk teisisõnu „täielik pilt“. Erinevalt traditsioonilisest fotograafiast on hologramm kolmemõõtmeline pilt või projektsioon, mis jätab sellise mulje.

Valguse abil loodud (tihti laserite kujul) holograafilisi tehnikaid on mitut tüüpi. Iga lahendus annab erineva tulemuse. Siiani tehtud katsed ja uuringud, et rakendada hologramme liiklusvoo suunamise tehnikasse, ei andnud tulemusi, sest hologramm vajab aluspinda, mille peale kolmemõõtmeline kujund oleks projitseeritud. Hologrammide projektsiooni aluspindadena kasutatakse tänapäeval järgmisi vahendeid (Neverovich 2019):

- pleksiklaas;
- suitsusein;
- holograafiline võrk – läbipaistvate LED-tulede kardin;
- pöörlev peegel;
- läbipaistev OLED-ekraan;
- holograafiline püramiid.

Üks viimastest tehnoloogiatest, mida küll alles arendatakse, on projitseerimine läbipaistvasse tolmupilve, mis annab võimaluse tekitada ruumiline kujund suhteliselt alusetule pinnale.

Sydney sadama tunneli sissepääsudes kasutatakse innovaatilist süsteemi, kus sensorid mõõdavad tunnelisse sisenevate veoautode gabariite ja juhul, kui veoauto ei saa oma mõõtude tõttu tunnelist läbi sõita, peatab süsteem liikluse, tekitades tunneli sissepääsu suuruse holograafilise stoppmärgi. Süsteemis kasutatakse LaserVisioni tehnoloogiat, projitseerides hologrammi peenikesele veeseinale. (The Signchef 2021)

Moodsad tehnoloogiad, nagu tehisintellekt, suurandmete analüüs ja asjade internet, võivad pakkuda tõhusaid vahendeid liiklusvoo suunamise probleemi vähendamiseks või isegi kõrvaldamiseks. Arenenud tehnoloogiate rakendused on lähiminevikus muutnud mitmeid tööstusharusid. Rakendades moodsaid tehnoloogiasid, nagu näiteks tehisintellekti, üritatakse lahendada ka liiklusvoo suunamise efektiivsusega seotud probleeme, arendades uuenduslikke liikluskorraldussüsteeme. Nendel tehnoloogiatel põhinevaid rakendusi saab integreerida intelligentsete liikluskorraldussüsteemidega, et vähendada ummikuid, pendelrände aega ja liiklusõnnetusi. (Naveen 2019) Olemasolevaid teid saab täiendada side-, valgustus- ja energia edastamise tehnoloogiatega, mis toetaks jätkusuutlikkust ja parandaks ohutust ja tõhusust, mis omakorda aitab muuta sõidukogemust atraktiivsemaks.

Ettevõtte Vrio analüütikute visiooni järgi ühendavad nutikad teed füüsilise infrastruktuuri, nagu andurid ja päikesepaneelid, tarkvarainfrastruktuuriga, nagu tehisintellekt ja suurandmed. Tuleviku teede seitsme kõige paljulubavama tehnoloogiaga saab tutvuda lisas 1.

Viimase kahe aastakümne jooksul on suurenenud huvi sõidukite automatiseerimise vastu, kuigi futuristid ja ulmekirjanikud on juba ammu kujutanud juhita autosid sõitmas tulevikulinnades. Oma uurimistöös sõidukite automatiseerimise ja transpordisüsteemi toimivuse teemal pakuvad autorid välja autonoomsete sõidukite juurutamise kaks varianti. Geograafilises lähenemisviisis toimub automatiseerimise kõrgeima taseme enamiku (kui mitte kõigi) aspektide rakendamine ühes etapis, samas kui rakendamise geograafilised piirkonnad laienevad järk-järgult. Funktsionaalne lähenemisviis põhineb aga eeldusel, et täielikult automatiseeritud sõidukite funktsionaalsust ei saa ühekorraga realiseerida ja seetõttu tuleb kindlaks teha ja optimeerida vaheetapid. Täieliku juurutamise tulemusena toimivad täiesti autonoomsete sõidukite autopargid sõidujagamise printsiibi järgi ja asendavad igapäevasel liikumisel olemasolevaid isiklikke autosid peaaegu täielikult. Eeldatavasti asendab üks täiesti autonoomne auto keskmise suurusega linnas üksteist tänapäeva põhimõtete järgi kasutuses olevat autot. (Homem de Almeida Correia *et al.* 2016, 498–516)

Täiesti autonoomse transpordi rakendamise järgi võib mõtestada ümber ristmike kujunduse mitmeid aspekte. Viisid, kuidas automatiseeritud sõidukid ja jalakäijad või jalgratturid omavahel infot vahetavad (näiteks andurite või hääle kaudu), ka kindlasti muutuvad (Chen *et al.* 2014, 540–555). Siin soovib autor tuua näiteks Eesti iduettevõtte Berman Technologies kahte arendust: nutikas ülekäigurada ja ristmiku juhtimisseade. Praegu on igal endast lugu pidava autotootja sõidukitel peal tehnoloogia, mis suudab liiklusmärke lugeda ja tuvastada, paaril ka selline, mis kiirust märkidega vastavaks reguleerib. Samuti tunnevad autod ära teele läheneva jalakäija ja ratturi. Nutika ülekäiguraja eesmärk on suurendada liiklusohutust reguleerimata ülekäiguradadel, ennetada ohuolukordi ja vähendada õnnetusi. Ülekäigurada tähistavad märgid on varustatud kaamerate ja sensoritega, mis jälgivad ümbruses toimuvat ja annavad infot edasi teistele liiklusvahenditele, suhtlevad linna infrastruktuuri ja sõidukitega. Nutikas ülekäigurada suudab sõnumeid vahetada näiteks isejuhtivate sõidukitega, millel on vastav tarkvaraline lahendus, pakirobotitega ja ka operatiivsõidukitega. (Tampere 2019)

Ristmiku juhtimisseade *Intersection Control Unit* (ICU) on seade, millel on otsene side sõidukite ja muu infrastruktuuriga (V2X). See kasutab tehisintellekti liiklusvoogude optimeerimiseks ja

õnnetuste vältimiseks. Seade on võimeline registreerima kiiruseületamisi ja punase fooritule eiramisi. ICU kogub statistikat ja suurandmeid ümbritsevast keskkonnast. (Berman 2021)

## **1.4 Laevade digitaliseerimise ja automatiseerimise arendamise käekäik ja tulevikusuunised**

Sotsiaalne areng suurendab märkimisväärselt nõudlust transporditeenuste järele. Pealegi on üks Euroopa Liidu roheline poliitika prioriteetsematest algatustest suunata kaubavedu maanteetranspordilt ümber merevedudele. Jätkusuutliku arengu kontekstis peetakse transporti üheks peamiseks saasteallikaks, mistõttu on uute direktiivide kaudu juurutatud julgustavaid strateegiaid ja meetmeid, et vähendada nii kaupade kui inimeste transportimisel tekkivate heitgaaside kogust ja müra. Kauba ümbersuunamine maanteelt teistele transpordiliikidele, nagu meretransport, näib olevat suur võimalus heitgaaside kogust vähendada. See tähendab, et on vaja arendada tehnoloogiaid ja lahendusi, mis aitavad suurendada kasumlikkust, meretranspordi paindlikkust ja tõhusust.

Jätkusuutliku arengu eesmäärke üritatakse tihti saavutada nii logistiliste protsesside kui ka sadama terminaliveokite automatiseerimise abil. Protsesside automatiseerimise eesmärk on arendada automaatne kaubaplaani genereerimise tarkvara, mis vähendaks nii palju kui võimalik veoautode ja muu veerevtehnikavahelisi takistusi laadimise käigus ning tagaks püstuvuse nõuded nii laadimise ja lossimise ajal kui ka kõige karmimates mereoludes. Terminaliveokite automatiseerimine seisneb lokaliseerimise, teekondade planeerimise ja juhtimise tõhusas kasutamises, et ilma inimese sekkumiseta haarata ja paigutada lastiplaaniga ette nähtud täpse autoteki kohale spetsiaalselt selleks ettenähtud poolhaagis. (Murgoitio *et al.* 2016, 173–183)

Hispaanias arendatud autonoomse poolhaagiste laadimise süsteemi AUTOPORT eesmärk on ilma inimese sekkumiseta võimaldada järgmist:

- kasutada maksimaalselt ära laeva mahutavust, et laadida võimalikult palju lasti;
- teostada lastimisoperatsioone võimalikult kiiresti;
- poolhaagiste jõudmisel sadamasse paigutada need selliselt, et võimaldada võimalikult efektiivset laadimist laevale;
- paigutada poolhaagised laevale selliselt, et mitme lossimissadama puhul vältida kauba ümberpaigutamist;

- tagada püstuvuse nõuded.

Poolhaagiste vedukid toimetasid täiesti autonoomselt ning katsetuste käigus õnnestus saavutada märkimisväärne paigutuse täpsus: põikisuunas paigutamise mediaanne viga oli 7 cm, pikisuunas 22 cm. Võttes arvesse seda, et poolhaagise pikkus koos vedukiga on ligikaudu 16 meetrit, võib öelda, et tulemus on hea. (Murgoitio *et al.* 2016, 173–183)

Projekt AUTOPORT oli üks esimestest autonoomsetest lahendustest sadama keskkonnas. Samm, mis aitab mõista, kuidas autonoomseid süsteeme saab tööpiirkondades rakendada, jättes kõrvale tüüpilisi lähenemisviise temaatikale autonoomsete sõiduautode vaateväljast. See pani alguse uue kaubaveosüsteemi loomisele ja avas ukse uutele stsenaariumitele, kus lasti ja inimeste transportimiseks saab kasutada autonoomseid veokeid. Tänapäeval osaleb digitaliseerimisega seotud arendusprojektides aina rohkem teadusasutusi ja suuretevõtteid. Hetkel on üks suurematest projektidest AWARD, milles osaleb 29 juhtivat tööstusharu tarnijat, kelle eesmärk on arendada ja tutvustada juhita raskeveokite süsteeme sadamates, lennujaamades ja transpordisõlmedes (CORDIS 2020).

Arvestades nii veeremkaupade (ro-ro) transportimise teenuse osutajate sisemist konkurentsi kui ka tööstuse kasvavat konkurentsi konteinerilaevandusega, näevad ro-ro teenusepakkujad aina rohkem potentsiaali ja vajadust uurida võimalust kasutada täpsemaid planeerimisvahendeid. Tööriistad laevaliikluse taktikaliseks planeerimiseks ja ajastamiseks on juba praegu olemas, kuid ro-ro-laeva jaoks vajalik laadimisele ja kauba paigutamise kavandamisele spetsialiseeritud operatiivsed tööriistad kahjuks siiani puuduvad. Kaubaruumi optimaalne kasutamine ohutuse nõudeid arvesse võttes on ro-ro-laevade puhul olnud oma olemuselt problemaatiline. Ajal, mil kogu merenduse valdkond on laevade pardal rakendamas digitaalseid lahendusi ja otsuseid toetavad süsteemid muutuvad standardiks, on lasti optimaalse paigutamise probleem saanud tähelepanu ja mitmete uuringute teemaks (Romanas 2018, 3–5). Püüeldes kaubaruumi maksimaalse täituvuse ja efektiivsuse suurendamise poole, tasub meeles pidada ka ohutust.

Euroopa Meresõiduohutuse Ameti (EMSA) 2016. aastal lõppenud projekti FIRESAFE raames tehtud uuringu käigus selgus, et umbes 30% laevade pardal juhtunud tulekahjudest on olnud ro-ro-laevade autotekkidel. Laes olevad vihmutussüsteemid on osutunud ebatõhusaks, sest veejaotust takistavad suuremõõtmelised kaubaühikud (veoautod, haagised, poolhaagised jne). FIRESAFE'i uuringu tulemites välja toodud tuleohutuse tagamise meetmetest pakuvad ro-ro-laevade automaatse paigutamise kontekstis huvi järgmised meetmed (Wikman 2016):

- elektriühendusega kaubaühikud tuleb paigutada grupeeritult, parraste äärde ja võimalikult laeva ahtri poole;
- kasutada lastipaigutusskeeme, kus kõrged kaubaühikud (veoautod, haagised, poolhaagised) on vaheldumisi madalate kaubaühikutega (sõiduaudod);
- tagada 60 cm suurused vahed iga nelja kaubaühiku vahel pikisuunas (et hõlbustada regulaarset patrullimist tuleohutuse eesmärgil ja vajaduse korral tulekahju kustutamist);
- tagada 60 cm suurused vahed kaubaühikute vahel põikisuunas.

Kui rääkida elektriühendusega kaubaühikutest, siis tuleb pidada meeles, et see puudutab mitte ainult elektriühendusega poolhaagiseid, vaid ka elektrisõiduaudosid.

Mõiste „tark laevandus“ (ingl *smart shipping*) tähendab sisevee- või merelaevade suures osas autonoomset käitamist (Netherlands Ministry of Infrastructure and Water Management 2020). See ei piirdu ainult pardal olevate digitaalsete tehnoloogiatega, vaid hõlmab ka sadamate ja veeteede ümberprojekteerimist selliselt, et anduritelt ja abivahenditelt kogutud andmete abil saab laev manööverdada kas täiesti autonoomselt või kaugopereerimiskeskuse meeskonna toel.

Autonoomsete laevade kontseptsioon on viimastel aastakümnetel saanud palju tähelepanu ning seda peetakse sageli loomulikuks järgmiseks sammuks laevade automatiseerimise arengus. Tehnoloogia arengust ja muudest kasutusele võetud ohutusmeetmetest hoolimata jäävad mereõnnetuste peamisteks põhjusteks inimtegurist tulenevad vead. Inimteguri mõju merenduses on äärmiselt keeruline ja mitmemõõtmeline valdkond. (Suurtamm 2020, 1)

Uute tehnoloogiate arendamise seisukohast on täiesti silmanähtav, et intelligentsete laevade ja tarkade sadamate ühendamise ühte globaalsesse süsteemi asjade Interneti ja suurandmete töötlemise rakenduste abil on lähituleviku reaalsus. (Alop 2019, 521)

Sadamad tuleks organiseerida ümber, täiendada või täielikult ümber ehitada selleks, et tagada piisav IT-infrastruktuur, mis võimaldaks kaldapealset veeliikluse seiret, täiendades praeguseid jälgimis- ja seireteenuseid, nt laevaliikluskeskust, rannavalvet või lootsimist. Peavad olema võimaldatud ja ette valmistatud lahendused ettenägematuteks ja mõnikord ootamatuteks hooldus- ja remonditöödeks. Tuleb määratleda ja tagada piisavalt mehitatud juhtimiskeskused ja küberkaitse küberpiraatide eest. Kontseptsiooni elluviimisel võib lisatakistuseks olla ülemaailmne poliitiline ebakindlus, näiteks võimalik proteksionism riigi tasandil ja kaubandussõjad.



Tehnoloogia poolelt on laevade autonoomsuse ni jõudmises oluline roll sensorite ja kommunikatsioonisüsteemide arendamisel, kuna kaugjuhtimine saab toimuda vaid siis, kui on olemas piisavalt infot laeva sise- ja väliskeskkonna kohta. Arendamisel on mikro- ja nanosensorid, mis edastavad juhtmevabalt erinevat infot juhtimissüsteemidesse. Sensorite arendamisel on suurimate lahendamist vajavate probleemide hulgas andmeside piisav kvaliteet. Tehisintellekti abil käitavad laevad, mis õpivad toimimiskontekstist, sobiks ka rahvusvaheliseks mehitamata liikluseks. Nende toimimist võib jälgida kaldalt käitamisse sekkumata, kuid see ei ole ainuke lahendus. Juhtmevaba andmeside laialdase kasutamise arenguhüpet piirab lähitulevikus kasutatavate lainepikkuste ala tihe kasutus. Üleminek kõrgematele sagedustele (100 GHz–1 THz), mis annaks kiirust ja võimaldaks mitme signaali üheaegset edastamist, on piiratud väikese ulatuse ja tundlikkusega atmosfäärinähtuste suhtes. (Arenguseire Keskus 2020, 47) Ajutisteks ning ka praegu kasutatavateks lahendusteks on juhtmevaba 5G, wifi, satelliidiside ja raadiosidevõrkude kombineerimine (Lloyds Register 2015, 58).

Autorile tundub siiski kahtlane, et intelligentsed laevad saavad opereerida täielikult autonoomse kontseptsiooni järgi, sest sellised laevad vajaks kogu teekonna vältel stabiilset internetiühendust, mida on ookeaniülestel reisidel päris raske tagada, kasutades tänapäeva tehnoloogiaid.

Enda uurimistöös pakub Alop välja 3Mi (Three Masters) kontseptsiooni, mis tähendab, et laeval peab olema vähemalt kolm inimest, kes peavad laeva pardal vahti, aga ei sekku tavapärasesse töösse autonoomse üksusena. Samal ajal on nad alati olukorrast teadlikud ja võimelised hindama olukorda ja sekkumisvajadust. Kui tekib selline vajadus, näiteks hädaolukorras, võtavad nad laeva juhtimise üle. See tähendaks muu hulgas seda, et need inimesed on väga head oma ala spetsialistid, hästi koolitatud ja kogenud meremehed (nt kapteni kvalifikatsiooniga). Sellest tulenebki kontseptsiooni nimetus. (Alop 2019, 525) Hetkel jääb aga arusaamatuks, kuidas saada praktilist kogemust juhul, kui inimene tavapäraselt ei sekku arvutite töösse ja laeva juhtimise protsessi. Samuti ka see, kuidas tagada saavutatud kompetentsi säilimine pikaajalises perspektiivis.

Ookeanireisidel võib üheks alternatiivseks lahenduseks olla konvoi või laevade rong (NOVIMAR, 2017). Konvoisid on ajalooliselt kasutatud sõjaaegadel ja viimastel aastatel piraadirünnakute vastase meetmena. Tulevikus viitab konvoilahendus ühele mehitatud kontrolllaevale, millele järgneb mitu mehitamata alust.

Merendussektor saavutab võrreldes teiste valdkondadega võimsa konkurentsieelise, kui integreerib protsessidesse tehisintellekti, masin- ja süvaõppe algoritmid ja tehnikad. Eespool nimetatud tehnikad võib mõtteliselt jagada kahte rühma: need, mis kasutavad mingit tüüpi tegureid, mis on õpitud süsteemi enda või välise kogemuse põhjal, ja need, mis kasutavad heuristilist, kaudselt väljendatud või rivaalitsevat lähenemist selleks, et leida käesolevale ülesandele lahendust.

Eeldatakse, et laeva autonoomsed juhtimissüsteemid saavad põhineda tehisintellektiga seotud lähenemisviisidel, võimaldades seega käsitleda olukordi, mis erinevad neist, mis olid sisendiks ja mida käsitleti projekteerimisetapil (Perera 2019). Autonoomse laeva juhtimissüsteemide jaoks sobib kõige paremini puu-põhine situatsioonide ja olukordade klassifitseerimissüsteem. Sellise lähenemisviisi korral on olemas klassifikaatorite komplekt, mida saab esitleda puuna. Iga klassifikaator esindab konkreetset olukorda. (Nechaev, Petrov 2020, 135)

Laeva pardal olevate juhtimisseadmete jaotuse laadi tõttu võib laeva käsitleda IoT-põhise multiagent-süsteemina, kus iga seade või seadmete kompleks on sõltumatu esindaja. Nende seadmete loodud andmete hulk moodustab suure andmekogumi (Yanchin, Petrov 2020, 616). Algoritmide koostamise ja andmete kogumise käigus võetakse arvesse kõiki käitumismudelite programmeerimise seisukohast olulisi fakte, tegureid ja mõjureid. Tulles tagasi targa laevanduse idee juurde, kardetakse, et selle toimimise ajal võib andmete hulk kasvada märkimatult nii suureks, et ei ole enam võimalik tagada süsteemi lakkamatut tööd. Kõiki võimalikke olukordi ei saa ette näha. Eriti suur ebamäärasus tekib siis, kui mängu tulevad inimese käitumisega seotud tegurid, mida paljudel juhtudel ei saa ennustada ega ette programmeerida. (Alop 2019, 525) Kriitiliste elementide dubleerimise printsiip, mida me teame automatiseeritud süsteemide teooriast, võib osutada asjade interneti süsteemides ebaefektiivseks, kuna toimib ainult süsteemide teatava keerukuse tasemeni.

Meedia ülevaatest (vt lisa 2) nähtub, et 2018. aastal oli merenduses digitaliseerimise kontekstis kõige aktuaalsem teema küberturvalisuse parandamine, 2019. aasta oli pühendatud peamiselt autonoomsetele süsteemidele ning küberturvalisusele ja 2020. aastal olid COVID-19 pandeemia tõttu kõige populaarsemad uuendused kaugtööga seotud lahendused, mis võimaldavad operatiivtegevusega jätkata ka isolatsioonis. See ei tähenda, et ülejäänud digitaliseerimise arenguga seotud teemad jäid tähelepanuta. 2018. aasta lõpus sai alguse Tallinna Tehnikaülikooli ja Tallinki vaheline Targa autoteeki arenduse projekt.

## 1.5 Laevade digitaliseerimise seaduslikud alused

Täpset ja üldtunnustatud autonoomsuse definitsiooni tehnika ja tehnoloogia kontekstis veel ei eksisteeri, mis viitab sellele, et käesoleva alapeatüki teemat tuleb uurida ettevaatusega. Poliitikas tähendab termin „autonoomia“ osaliselt iseseisvat piirkonda. Myhre *et al.* (2019) pakuvad oma uurimistöös teemal „Vastutuskeskne lähenemine automatiseerimise tasemete määratlemisel“ välja järgmise definitsiooni: süsteemi peetakse autonoomseks, kui see suudab õiguslikult kanda vastutust oma toimingute eest, eeldades sellega vastutust, mida varem kandis kas inimoperaator või mõni muu autonoomne süsteem.

Hult *et al.* (2019) avaldavad oma uurimistöös arvamust, et kõik laevad saavad ja lõppkokkuvõttes ilmselt antakse neile ka võimalus, kuid vaevalt täielik õigus, valitseda või juhtida ennast ise. Nad väidavad, et „targad laevad“ (*smart ships*) ja võib-olla ka „intelligentsed laevad“ (*intelligent ships*) on palju sobivamad terminid kui „autonoomsed laevad“. Samuti, et termin „digitaliseerimise tasemed“ oleks sobivam kui „autonoomsuse tasemed“.

Nagu juba eespool mainitud, on laevanduse tuleviku kirjeldamisel sageli kasutatud mõistet „autonoomne“. Püüdes kirjeldada üleminekut tulevikku, on välja töötatud erinevad digitaliseerimise etapid või autonoomsuse tasemed. Lloyds Register on pakkunud peale käsitsi juhtimise kuut taset, kus kuues on täiesti autonoomne juhtimine (DMA, 2016), samas kui DNV GL on soovitanud navigeerimisfunktsioonide digitaliseerimise jaoks viit taset (sealhulgas käsitsi juhtimine esimese tasemena), kus viies on täiesti autonoomne (DNV GL, 2018). Üks viimastest ametiasutustest, kes deklareeris autonoomsuse tasemete hierarhiat, oli IMO, soovitades nelja autonoomsuse astet, osutades, et ühe ja sama reisi vältel võib vajaduse korral kasutada kas ühte või mitut autonoomsuse taset, ehkki laev on tehniliselt täielikuks autonoomsuseks valmis (IMO, 2018a):

- automatiseeritud protsesside ja otsusetegemise abisüsteemiga laev: laeva süsteeme ja funktsioone juhivad laeva pardal meremehed. Mõned toimingud võivad olla automatiseeritud;
- kaugjuhitav laev, mille pardal on meremehed: laeva juhitakse ja käitatakse teisest kohast, kuid meremehed on laeva pardal;
- kaugjuhitav laev, mille pardal pole meremehi: laeva juhitakse ja opereeritakse teisest kohast. Pardal pole ühtegi meremeest;

- täielikult autonoomne laev: laeva operatsioonisüsteem suudab ise otsuseid langetada ja enda tegevusi määrata.

IMO strateegilises kavas (2018–2023) on määratletud põhiline strateegiline suund integreerida uued ja arenevad tehnoloogiad regulatiivsesse raamistikku. See hõlmab uutest tehnoloogiatest tuleneva kasu tasakaalustamist võimalike ohutus- ja turvalisusprobleemide kõrval, nende võimalikku mõju keskkonnale ja lõpuks nende mõju nii laeva- kui kaldapersonalile. Meresõiduohutuse komitee (MSC) 101. istungil 2019. aasta juunis kiideti heaks autonoomsete laevade (Maritime Autonomous Surface Ships – MASS) katsete ajutised juhised. (MSC.1-Circ.1604). Juhistes deklareeritakse muu hulgas, et katseid tuleb teha viisil, mis tagab vähemalt sama ohutuse-, turvalisuse- ja keskkonnakaitse taseme, nagu on ette nähtud kehtivates regulatsioonides. Katsetega seotud riskid tuleb asjakohaselt tuvastada ja võtta meetmeid nende riskide vähendamiseks nii palju, kui on teostatav ja vastuvõetav. MASS-i pardal olevad või kaugjuhtimiskeskuste operaatorid peavad olema asjakohase kvalifikatsiooniga. MASS-i katsetel kasutatavate süsteemide ja infrastruktuuri piisava küberriskijuhtimise tagamiseks tuleb võtta tarvitusele kõikvõimalikud asjakohased abinõud. (IMO, 2018b)

Autonoomsete laevade käitamise riskid on tavaliselt sarnased mehitatud laevade omadega, kuid need riskid kanduvad meeskonnalt anduritele ja küberfüüsilistele süsteemidele. Autonoomsed laevad peavad suutma navigeerida ilma teiste laevadega kokku põrkamata, võttes arvesse liiklust ja ootamatuid olukordi. Nad peavad olema võimelised manööverdama ja püsima stabiilsena ning taluma füüsilisi või virtuaalseid rünnakuid. Meeskonna vähendamine või kõrvaldamine seab süsteemi töökindlusele ja turvalisusele suuremad nõuded. See mõjutab ka lasti haldamist, lasti kinnitamist ja jälgimist. (de Jong 2018) Klassifikatsiooniühing Bureau Veritas viitab enda väljaandes NI 641 – *Guidelines for Autonomous Shipping* samuti sellele, et käesoleva juhendiga hõlmatud laevad peaksid vastama BV reeglitele ja kõigile asjakohastele eeskirjadele kehtivatest rahvusvahelistest konventsioonidest, lipuriigi administratsiooni määrustest ja kohalikest õigusaktidest. Vajaduse korral peab taotlema lipuriigi administratsioonilt erandite selgesõnalist heakskiitmist või muud samaväärset lahendust (BV 2019, 15).

Peamiseks proovikiviks autonoomsete laevade kasutamisel rahvusvahelistes vetes saab olema regulatiivse raamistiku kokkuleppimine: millised on laevadele ja laeva juhtimisega seotud personalile kehtivad nõuded, kuidas on jaotatud vastutus jm. Ülevaatamist vajab suur osa olemasolevatest rahvusvahelistest konventsioonidest jm regulatsioonidest, et need arvestaksid

laeva autonoomsuse võimalusega. Sealjuures tuleb regulatsioonides ette näha võimalus, et laeva „autonoomsus“ võib tähendada erinevaid olukordi. Nt võib laeval olla nii autonoomne juhtimissüsteem kui ka meeskond, kes saab vajaduse korral juhtimise üle võtta; laeval võib olla meeskond, kuid laeva juhtimine toimub distantsilt; laev võib olla meeskonnata, kuid seda juhib inimene distantsilt; laev võib olla täiesti autonoomse juhtimissüsteemiga, mis suudab teha juhtimisotsuseid iseseisvalt. On arvatud, et autonoomseid laevu puudutavate reeglite kokkuleppimine ja olemasoleva regulatsiooni nüüdisajastamine võtab vähemalt 15 aastat. (Arenguseire Keskus 2020, 46)

Suhteliselt väikeste mehitamata ro-ro-parvlaevade ja kabotaažveo kaubalaevade kasutuselevõtu tähtaeg on hinnanguliselt umbes 10–20 aasta pärast. Rahvusvahelistel kaubavedudel toimub mehitamata kaubalaevade kasutuselevõtt mitte varem kui 40 aasta pärast. (Hult *et al.* 2019, 272)

Kõik käesolevas alapeatükis eespool mainitu viitab sellele, et digitaliseerimise seaduslike aluste väljatöötamisega tuleb hakata tegelema juba praegu. Hetkel on vastuseta paljud küsimused, näiteks kui laevad ja sadamad muutuvad üha nutikamaks ja vajavad üha vähem inimesi tööprotsessidesse sekkuma, siis kes lõpuks vastutab kõige eest, mis võib juhtuda ja kindlasti juhtub merel või laeva sadamas oleku ajal? Rääkides osalisest autonoomsusest, kuidas jaotada vastutust kaldaoperaatori ja kapteni vahel. Kui vedaja on autonoomne laev, mille pardal pole kogu reisi vältel ühtegi inimest, siis kes vastutab kauba eest? Kui hetkel algab Ro-pax tüüpi laevade laadimisel laeva vastutus kauba eest hetkest, kui sõiduk jõuab rambi peale, siis kuidas jaotada vastutust, kui kogu laadimise mehitamata protsessi juhib laeva pardal asuv targa autoteki tarkvara? Kuidas tagada kindlustuse tõhus toimimine?

Et hõlbustada arengut, luues selleks ohutu, arusaadava ja prognoositava keskkonna, ning tagada tulevikus ohutu navigeerimine ka segaliikluse olukorras, kus nii mehitatud kui ka mehitamata laevad sõidavad merd, ranniku- ja sadamate vesistute aladel, moodustati juba 2018. aasta suvel Euroopa Komisjoni algatusel ametlik töörühm. Selle töö on suunatud enamasti tulevikku ning nõuab tavapäraste kontseptsioonide ja toimingute ümbermõtestamist (EC 2021). Käesoleva uurimistöö kirjutamise hetkel on töörühmalt leida ainult autonoomsete merelaevade katsetuste tegemise juhised ja MASS-i eksperdirühma tulevikutöö peamised põhimõtted.

## 2. Uurimismetoodika ja -strateegia

Iga uurimus seisneb probleemi avastamises, sõnastamises ja lahendamises. Probleem ei ole ainult uurimuse lähtepunkt, mille võib uurimust alustades unustada. Vastupidi, probleemi olemasolu teebki uurimuse mõtestatuks. Kui probleem kaob silmist, lõpeb sisuliselt ka uurimus. Üldjuhul mõistetakse probleemi all erinevust lähtesituatsiooni (reaalsuse) ja soovitava (prognoositava) situatsiooni vahel. (Kalle, Aarma 2003, 23)

Käesoleva uurimuse sihiks on täiustada olemasolevat praktikat. Teaduslike probleemide alaliikideks jagamisi on väga palju ja ühtset klassifikatsiooni ei ole. Karpovich (1980, 175) pakub järgmise võimaliku klassifikatsiooni:

- empiirilised (kogemuslikud) probleemid;
- kontseptuaalsed (tõlgenduslikud) probleemid;
- metodoloogilised (mõttetehnoloogilised) probleemid;
- hinnangulised (aksioloogilised) probleemid.

Pärast probleemi sõnastamist hakkab autor otsima võimalusi selle lahendamiseks. Hüpotees on oletus, mis on esitatud mõne nähtuse seletamiseks ja nõuab kontrollimist ja tõestamist faktide varal, et muutuda usaldatavaks teadusteooriaks (Kalle, Aarma 2003, 26). Hüpotees on tõestamist vajav väide uuritava nähtuse kohta või selle seoste kohta teiste nähtustega. Hüpotees on oluline teaduslikku tunnetust organiseeriv vorm. Kui uurimisprobleem küsib, siis hüpotees annab sellele oletusliku vastuse. Hüpoteesi ülesanne on konkretiseerida taotlevat teadmist. Hüpotees aitab keskenduda kindlatele uurimisaspektidele. (Õunapuu 2014, 44)

Hüpotees, millele autor proovib käesoleva uurimistöö raames tõestust leida, kõlab järgmiselt: Targa autoteki automaatne laadimissüsteem on võimeline funktsioneerima, lähtudes tänapäeva tehnoloogilistest võimalustest, ning ühiskond ja reisijad on valmis sellise süsteemi olemust ja olemasolu aktsepteerima.

Lähtudes sellest hüpoteesist, otsustati uurimistöö jagada järgmistesse etappidesse:

- a. teha teoreetiline uuring, et selgitada välja tänapäevaste uuenduslike tehnoloogiate vastavus ja sobivus Targa autoteki kontseptsiooni elluviimiseks, ühiskonna valmidus aktsepteerida

- nii kõrgel tasemel automatiseerimist, lähtudes tööjõuturu aspektidest, ning vastava seadusandluse valmidus võtta kasutusele autonoomsed lahendused;
- b. analüüsida olemasolevat Targa sadama lahendust ning valmidust integreerida see ühtse süsteemi Targa autotekiga, et saavutada suurem automatiseeritus;
  - c. analüüsida Targa autoteki arendusprojekti käigus tehtud tööd, et selgitada välja, kas prototüüplahendus sobib tulevikus arendatavate lahenduste aluseks;
  - d. teha Targa autoteki arendusprojekti käigus valminud riist- ja tarkvara katsetusi ja küsitleda reisijaid nende kogemuse kohta käesoleva lahenduse kasutamisel.

Tulenevalt püstitatud uurimisülesannetest, valib autor sobivad meetodikad, et saada objektiivne ja võimalikult põhjalik tulemus. Metodoloogia mõiste tuleneb kreeka keelest ja tähistab filosoofilist õpetust tegelikkuse tunnetamise ja ümberkujundamise viisidest; maailmavaate printsiipide rakendust vaimses loomingus ja praktikas (Kalle, Aarma 2003, 31). Uurimistöö edukus sõltub suuresti otstarbekohaselt valitud ja oskuslikult kasutatud uurimismeetoditest.

Kvalitatiivsed uuringud kujutavad endast kaunis erilaadsete uurimisviiside kogumit, mis teeb nende täpse defineerimise keerukaks. Need on suunatud inimeste kogemuste, arusaamade ja tõlgenduste mõistmisele ning viiakse läbi uuritavate loomulikus keskkonnas. Kvalitatiivset uuringut iseloomustab paindlikkus, erinevate uuringuetappide segunemine ning korduv tagasipöördumine juba läbitud etappide juurde. (Laherand 2008, 24)

Metodoloogia kirjanduses on palju erinevaid lähenemisviise kvalitatiivsete uuringute liigitamisele. Õunapuu (2014, 58) toob välja kvalitatiivse uurimistöö viis põhilist uurimismeetodit:

- narratiivne uuring;
- fenomenoloogiline uuring;
- etnograafiline uuring;
- põhistatud teooria;
- juhtumiuuring.

Laherand (2008, 87–159) lisab eespool mainitud alaliikidele fenomenograafilise ja tegevusuuringu.

Üldistades saab järeldada, et kvalitatiivses uurimistöös kasutatavate meetodite olemuslikud põhijooned on järgmised: nähtuste sisemise olemise kasutamine selle olemuse uurimiseks,

uuritava nähtuse terviklik käsitlemine, avatud lõpuga ja paindlikud andmekogumismeetodid. Kvantitatiivse uurimistöö meetodite olemuslikud põhijooned on aga sellised: range uurimisplaani kavandamine ja ühtsed ja kindlaksmääratud ehk standarditud andmekogumismeetodid. Kvantitatiivseid uurimismeetodeid kasutatakse nähtava maailma seaduspärasuste uurimiseks. Uurimistöö on protsess oma kindlate etappide ja protseduuridega, millest sõltuvalt saadakse kord kvalitatiivseid, kord kvantitatiivseid tulemusi. (Õunapuu 2014, 51–61)

Käesoleva magistritöö metoodikaks on kvalitatiivse ja kvantitatiivse uurimisstrateegia kombineerimine. Põhilise uurimisstrateegiana on kasutatud tegevusuuringut, mille eesmärk on protsessi või nähtuse uurimine selle toimumise ajal selleks, et parandada probleemseid tegevusi või arendada välja uusi tegutsemisviise või tegevusi.

Magistritöö esimeses peatükis kirjeldatud uurimisetapi käigus on kasutatud juhtumiuuringu metoodikat. Juhtumiuuringuga uuritakse sügavuti üht või mitut indiviidi, programmi sündmust tegevust või protsessi. Juhtumid on piiritletud aja ja tegevusega. Uuriija kogub teatud aja jooksul üksikasjalikku informatsiooni, kasutades mitmesuguseid andmekogumismeetodeid. (Creswell 2009, 227)

Teadusallikate valimi moodustamisel on lähtutud töö eesmärgist ja uuritavast üldkogumist. Valimi moodustamisel võttis autor arvesse uurimisstrateegiat ja olemasolevaid andmeid. Allikate valimi koostamisel oli peamine eesmärk anda temaatikast põhjalik ja ammendav ülevaade.

Juhtumiuuring on meetod, mis võimaldab uurida igapäevaelu sündmusi, säilitades nende tervikliku iseloomu ja tähenduslikud tunnused. Juhtumiuuring on lähenemisviis, mida ei tohiks mõista kitsalt andmekogumismeetodina. Uuring võib toetuda nii kvalitatiivsetele kui ka kvantitatiivsetele andmetele, samuti võib ühes uuringus kasutada mõlemat tüüpi andmeid. (Yin 2003, 13–14)

Kolmandas ja neljandas peatükis kirjeldatud uuringuetappide käigus kasutas autor tegevusuuringu metoodikat. Tegevusuuringu all mõeldakse loomulikus keskkonnas läbiviidavaid väiksemaid sekkumisprojekte ning viimaste mõju lähemat uurimist. Seega on tegevusuuringu näol tegemist uuringuga, mille abil püütakse lahendada erinevaid praktilisi probleeme. Tegevusuuringu puhul on rõhutatud selle seotust konkreetse olukorraga, koostööle toetumist, uurija osalemist uuritavas olukorras ja enesehindamist. (Laherand 2008, 133)



Uuring kavandati konkreetset olukorda ja konkreetseid eesmärke silmas pidades. Nimelt lähtus autor argiolukorras esinevatest probleemidest, üritades leida lahendusi teaduskirjandusest, tegevust vaadeldes ja igat etappi süstemaatiliselt ja kriitiliselt teistega suhestades ning vesteldes ja nõu pidades asjast huvitatud osapooltega.

Viiendas peatükis domineerib kvantitatiivne uurimisviis. Kvantitatiivsetest uurimisstrateegiatest on kasutatud kaardistavat ja hindavat uuringut. Kaardistava uuringu eesmärk on selgitada välja üldkogumi moodustavate inimeste hoiakud, arvamused, trendid jms. Autor kasutab struktureeritud andmete kogumise meetodeid. Struktureeritud (kvantitatiivsed) andmete kogumise meetodid võimaldavad võrrelda erinevusi ja väljendada neid andmeanalüüsi tulemusena arvudes. Nendeks on küsitlus – andmeid kogutakse ettevalmistatud küsimustiku alusel – ja eksperiment – andmeid kogutakse uuritavate objektide kohta erinevates olukordades.

Kirjeldamine on empiirilis-teoreetiliste teadmiste saamise erimeetod. Tema olemuseks on süstematiseerida eksperimendi käigus vaatluse ja mõõtmise tulemusena saadud andmeid. Andmeid esitatakse teatud kindlas teaduskeeles teksti, tabelite, skeemide ning joonistena. Nähtuse üksikute külgede kohta käivate faktide süstematiseerimise ja üldistamisega saame nähtusest, protsessist või ainekst tervikliku, süsteemse pildi. (Kalle, Aarma 2003, 40)

Viimases peatükis pakub autor tehtud uurimistöö alusel tervikliku nägemuse eeldatava Targa autoteeki automaatse laadimissüsteemi visioonist ning elluviimise etappidest.

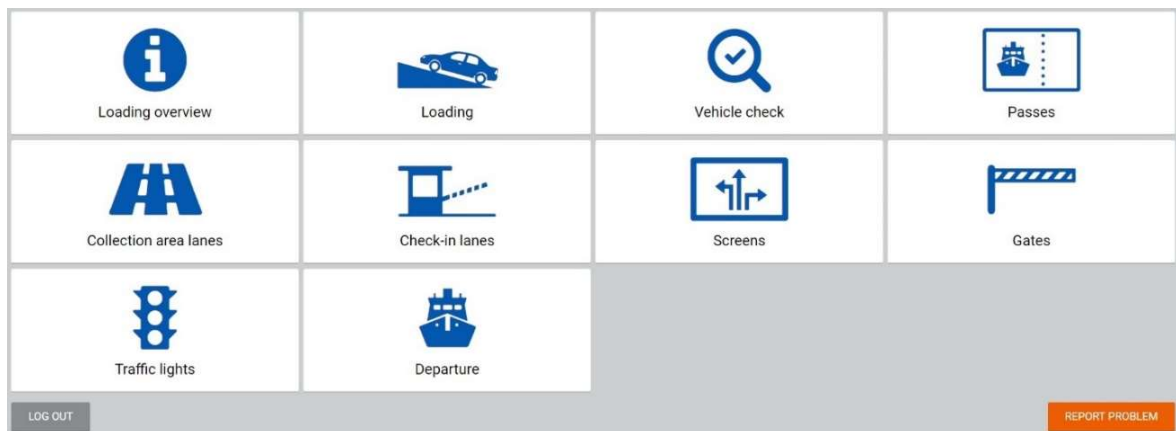
### **3. Tallinna Vanasadama Targa sadama lahenduse valmidus täisautonoomse Ro-pax laeva laadimissüsteemiga integreerimiseks**

#### **3.1 Targa sadama süsteemi olemus ja tööpõhimõte**

Tark sadam kujutab endast kasutajale (mootorsõiduki juhile) nähtavas osas autode ja reisijate suunamiseks ettenähtud perifeeriaseadmete (andurid, mõõteseadmed, koodilugejad, tõkkepuud, foorid, printerid, infotablood jne) kogumit, mille toimimine on allutatud vastavale juhtimistarkvarale. Juhtimistarkvara on paigaldatud selleks ettenähtud (soovitavalt sadama territooriumil asuvasse) turvalisse ja töökindlasse serverisse, millele on loodud perifeeriaseadmetega suhtlemise võimalused. Juhtimisserver on interneti vahendusel sidestatud erinevate laevaoperaatorite broneeringusüsteemidega. Teiselt poolt on ta lokaalse (sadama territooriumit katva) magistraalvõrgu vahendusel sidestatud perifeeriaseadmetega, selleks sobivate liidestusseadmete kaudu. (Tark Sadam projektikirjeldus 2014)

Sadamaalale sisenedes sõidab liiklusvahendi juht läbi eeltuvastusväravatest, kus mõõdetakse auto, tuvastatakse registreerimisnumber, pildistatakse ning suunatakse vastavasse kioski teenindaja juurde, et registreerida pilet. Juhul, kui reisija on pileti juba internetis registreerinud, suunatakse auto automaatselt *fast lane*'ile ehk targale rajale. Peale eeltuvastusvärava läbimist kuvatakse LED-ekraanile vastava kioski number. Kaubaveo eesmärgil reisivad transpordiühikud suunatakse *cargo check-in*'i. Vastavasse kioski suunatud sõiduki number ilmub *Smart Port* süsteemis *check-in*'i töötajale, kes vastava rajanumbriga kioskis parasjagu töötab. Kioskite kõrval asuvad numbrituvastuse kaamerad, mis kuvavad kioski töötaja arvutisse andmed sõiduki kohta. Manuaalsetes kioskites näevad töötajad sõiduki kohta tuvastatud infot: kas antud registreerimisnumbriga on tehtud broneering, kas broneeringus toodud andmed vastavad sõiduki reaalsele mõõtmetele. Kui broneeringusüsteemis on vajalikud tegevused tehtud, suunatakse sõiduk kogumisalale. Süsteem valib sõidukile sobiva kogumisala raja automaatselt, lähtudes veerevtehnika kuuluvusest ühte kahekümne seitsmest veerevtehnika kategooriast. Suunamine toimub tuginedes kaubaoperaatori paika pandud rajaplaanile, mis koostatakse koostöös laeva kaubatüürimehega, et tagada kaubaühikute etteandmise katkematu voog laadimise ajal, võttes arvesse lastimise ettevalmistamisel koostatud laadimise algoritmi ning vältida ristiliiklust. Kui

vaja, on agendil või kaubaoperaatoril võimalik rada käsitsi valida. Kogumisala rajanumber kuvatakse autojuhile kioski kõrval olevale LED-ekraanile. Pärast seda, kui kioski töötaja on sõiduki registreerimise kinnitanud, avaneb tõkkepuu ning sõidukijuht suundub kogumisalal rajale, mille numbrit talle ekraanil kuvati. Peale sõiduki jõudmist kogumisalale kuvatakse asjakohane info laevaagentide, kaubaoperaatori ja kaubatüürimeeste tahvelarvutitesse. Tahvelarvutite vahendusel näevad töötajad, kui palju eri tüüpi sõidukeid on kogumisalal, juhivad kogumisala valgusfoore, tõkkepuid ja spetsiaalseid tähelepanu äratavaid helisignaale ning märgivad sõidukeid laadituks. Vajaduse korral haldavad rajaplaani ning avavad ja sulgevad teenindatavaid väljumisi. Saades tüürimehelt märguande – rohelise fooritule, tuleb sõidukijuhul liikuda laeva autotekile. (Timberg 2019, 22–23)



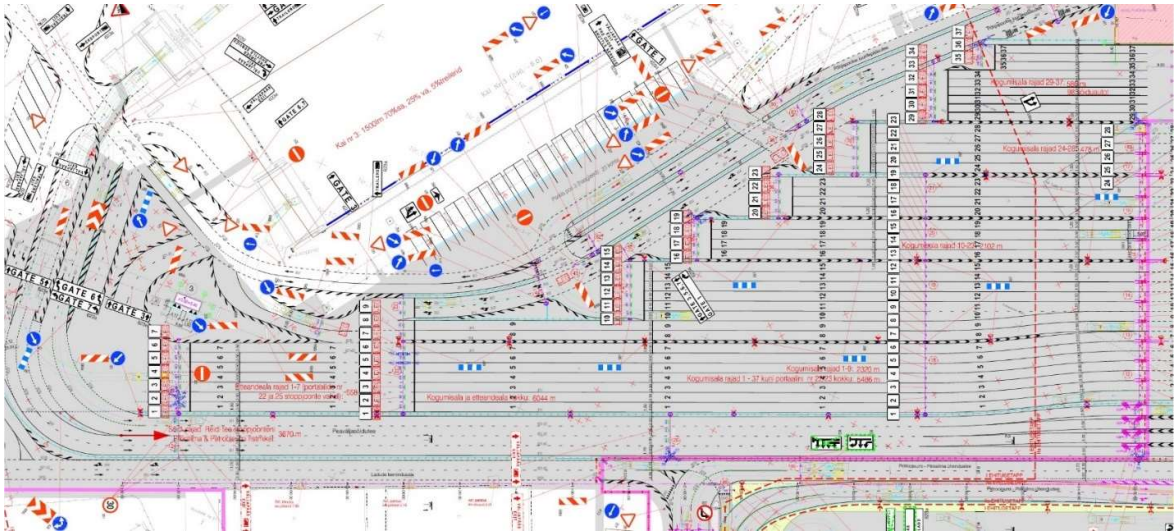
Joonis 1. Targa sadama kasutajaliides

Allikas: (AS Tallinna Sadam 2018)

Kaubaoperaatori ja tüürimeeste töövahendiks olev tarkvara on sama, kuid erinevused tekivad tööülesannetes. Targa sadama kasutajaliidese põhivaade on näidatud joonisel 1. Peale autode laadimisprotsessi korraldamise peavad laevaagendid koostama rajaplaani, arvestades teenindatavaid väljumisi. Rajaplaani koostamine võimaldab teenindada korraga ka kahte laeva.

### 3.2 Targa sadama kitsaskohad ja võimalikud probleemid Targa autotekiga integreerimisel

Analüüsi käigus selgus, et olemasolev Targa sadama lahendus ei taga täies ulatuses võimalust projekteerida ning integreerida igapäevasesse kasutusse töökindel ning usaldusväärne autonoomne laeva laadimise süsteem. Täiendamist või parandamist vajavad järgmised aspektid.



Joonis 2. Väljavõte Tallinna Vanasadama D-terminali liikluskorralduse plaanist

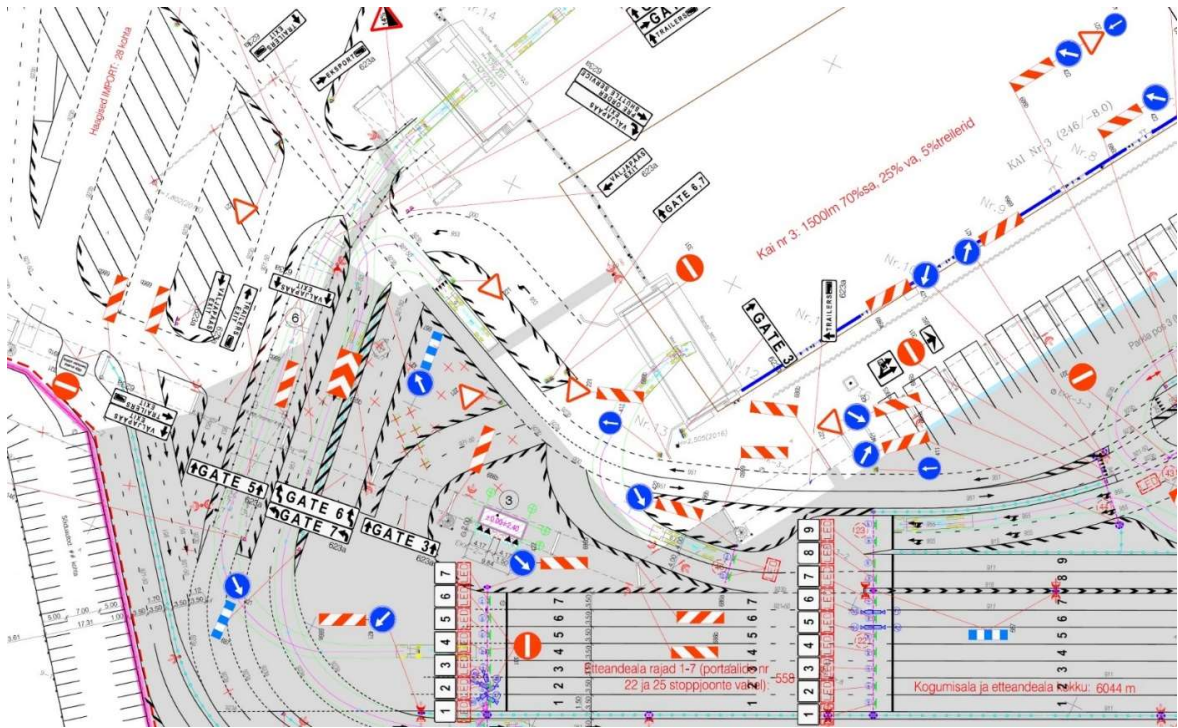
Allikas: (AS Tallinna Sadam 2018)

Jooniselt 2 on näha, et sadamaalale jõudes on juhil peale tõkkepuu alt läbisõitmist võimalus vahetada rada, kuna rajad ei ole omavahel füüsiliselt eristatud. Praegusel juhul ei vasta targa sadama rakenduse info tegelikkusele. Süsteemi optimaalseks toimimiseks on äärmiselt oluline, et sõidukijuhid järgiksid juhiseid ning sõidaksid kogumisalal õigele rajale. Üldjuhul sõidavad ühe laadimise jooksul sadamaplatsil valele rajale ainult mõned üksikud autod (pikema perioodi arvestuses kuni 5% kaubaühikutest). Sadamaalale peavad olema paigutatud lisakaamerad, mis registreerivad juhtide omavolilise sõiduradade vahetuse. Süsteemi eesmärk on tagada püstuvuse nõuded sellega, et tarkvara võtab enne laadimise algust arvesse kaubaühikute reaalse paigutuse sadamaala radadel, mitte eeldatava. Eeldatavaks probleemiks on asjaolu, et püstuvuse tagamiseks ja üleliigse kreeni vältimiseks laadimise ajal suunatakse autosid laevas kordamööda nii paremasse kui vasakusse pardasse. Juhul kui rajal on kasvõi üks veoauto, mis kaubaplaani järgi ei pea seal olema, muutub kauba kaalu jaotus laevas eeldatavast vastupidiseks, mis omakorda võib tekitada püstuvuse ja üleliigse kreeniga seotud probleeme ülesõidu ajal.

Targa sadama alal asuvate valgusfooride ja LED-ekraanide asukohad peavad olema sellised, et veerevtehnika juhtidel oleks mugav neid jälgida ning reageerida perifeeriaseadmete signaalidele õigel ajal ja ilma pika viivitusega. Samuti tuleb paigaldada lisajuhistega lisaekraanid või muuta olemasolevate juhtekraanide paigutuse loogikat. Lisajuhised peavad olema reisijatele intuiitselt arusaadavad, olenemata nende rahvusest, vanusest ja muudest eripäradest. Iga valgusfoori kõrvale peab olema kindlasti lisatud ekraan, mis informeerib reisijat sellest, kas ta peab sõitma ülemisele või alumisele tekile.

Tuleb leida lahendused selleks, et tagada kaubaühikute juhtide väga operatiivne reageerimine korraldusele hakata laeva peale sõitma. Üks võimalik lahendus oleks helisignaalide ja liikumisandurite kooslus, kus Targa sadama tarkvara informeerib juhul, kui liikumisandur ei tuvasta teatud aja jooksul peale valgusfoori ümberlülitumist liikumist, visuaalse heli- või muu signaali abil autojuhti sellest, et ta peab hakkama liikuma. Alternatiivne abivahend võib olla „Sadama raadio“, kus sadama ootealal olevad autojuhid võiksid autoraadiost vastaval sagedusel kuulata meelelahutuslikku infot eesoleva reisi kohta ning samal ajal saaksid ka teavet laadimise kohta ning teavitusi, millal käivitada sõiduki mootor või liikuma hakata. Kõige moodsam lahendus oleks integreerida laadimisega seotud informatsioon nutiseadme rakendusse, mis võib olla ka näiteks olemasolev Tallinki mobiilirakendus, ning selle kaudu saata teavitused mootori käivitamise ja liikumise alustamise kohta vajaduse järgi igale juhile eraldi.

Laadimisplatsi iga rea algusesse peab olema paigaldatud loendur, mis saadab süsteemi andmed selle kohta, mitu autot sellest reast on realselt teel laeva. Kui teatud arv autosid on laeva teel, Targa sadama tarkvara reageerib ehk lülitab valgusfoori punaseks. Selle lisa eesmärk on tagada kaubakoguste operatiivsete andmete täpsus ja objektiivsus. Paljud juhid jätkavad liikumist eelmise auto järgi, kuigi valgusfoori tuli on muutunud punaseks, kas siis automaatselt või eesmärgipäraselt selleks, et pääseda kiiremini laeva.



Joonis 3. Väljavõte Tallinna Vanasadama D-terminali liikluskorralduse plaanist

Allikas: (AS Tallinna Sadam 2018)

Keerulisematel sadamaaladel, nagu näiteks joonisel 3 näidatud laevale sõidu ala, tuleks teemärgistusele lisaks võtta kasutusele teekatte peale paigaldatud tuledega braketid selleks, et tagada sõidukite liikumine õigel trajektoiril. Teemärgistuse braketi töökontseptsiooni on kirjeldatud käesoleva uurimistöo alapeatükis 1.3. Kaubatuürimehel, või tulevikus automaatsel liiklusvoo suunamise tarkvaral, peab olema võimalus dünaamiliselt muuta suunavate tulede kujundatud liiklusradade mustrit, olenevalt sellest, kuhu lastitav kaubaühik peab sõitma.

Samuti on tarvis paigaldada numbrituvastusega kaamerad enne alumise ja ülemise tasandi rampidele pealesõitu, et vältida eksinud juhtide sattumist valele autotekile. Valele rambile sõitmise ennetamiseks võib kasutada peatüki 1.3 näites kirjeldatud holograafilise stoppmärgi projektsiooni.

Paigaldatavad valgusfoorid ja muud perifeeriaseadmed võiksid olla kergesti vahetatavad järgmiste generatsioonide, V2X-andmesideprotokolli toetavate liiklusemärgide vastu. Autonoomsete sõiduautode kasutuselevõttuga muutuvad lähitulevikus suure tõenäosusega ka liiklusemärgid nutikaks ja vahetavad liiklusvahenditega informatsiooni, et tagada ohutus ja tõhusus. Hea näide selle kohta on Eesti idufirma Berman Technologies loodud ainulaadne nutika ülekäiguraja lahendus.

Tallinna Vanasadama seitsmenda kai ääres täidab Targa sadama süsteem ainult informatiivset eesmärki ja kaubalaadimine käib koostöös kaubaoperaatoriga, kes suunab sõidukeid laeva pardale, kasutades käemärke. Selleks, et arendada Targa autoteki lahendus kõikidele Tallinna Vanasadama D-terminali küllastatavatele laevadele, peab olemasolevat Targa sadama lahendust laiendama ka seitsmenda kai ääres olevale sadamaalale.

## 4. Targa autoteki prototüüplahendus

Käesoleva peatüki eesmärk on anda ülevaade Targa autoteki projekti tulemitest. Projekti eesmärk on luua sõidukite laadimise automatiseeritud süsteem, mis on jagatud järgmisteks alamsüsteemideks:

- automaatne kaubaplaani genereerimine;
- automaatne liiklusvoo suunamine.

Projekti ambitsioon on luua prototüüp, et arendada tulevikus ühtne süsteem, mis hõlmaks nii eespool kirjeldatud alamsüsteeme kui ka eelmises peatükis analüüsitud Targa sadama lahendust. Targa autoteki projekti võib mõtteliselt jaotada kaheks osaks: tarkvara ja riistvara. Projekti eesmärk on luua lahendused, tehnoloogiad ja praktikad: (TalTechi Arvutisüsteemide instituut, 2020):

- lastiplaanide loomiseks ja muutmiseks, lähtudes sõidu- ja veoautode eel-*check-in*'i, *check-in*'i ja sadamasse sisenenud järjekorra andmetest;
- liiklusvoogude juhtimiseks autoteki laadimisel, lähtudes sõidu- ja veoautode *check-in*'i ning sadamasse sisenenud järjekorra andmetest;
- liiklusvoogude juhtimiseks autoteki lossimisel, lähtudes sõidu- ja veoautode paigutusest autotekil ning sadama planeeritavast väljasõiduskeemist.

Eduka lahenduse tulemuseks on praktikad, mis arvestavad Tallinki insener-tehnilise eriala spetsialistide parimat kogemust antud valdkonnas. Autori panus targa autoteki arendamisel oli konsultatiivne, pakkudes Tallinna Tehnikaülikooli teaduritele ja teistele projektiga seotud asjaosalistele asjakohast informatsiooni, andmeid laeva kohta ja eksperdiarvamust ning pidades sidet kirja ja telefoni teel, samuti osaledes projekti töörühma koosolekutel ja konsultatsioonidel. Samuti tagas autor projekti sujuva juurutamise ja vastava riistvara ja kaabelduse tellimise ja tellimuse täitmise laevas. Pidades silmas laeva seadmetele esitatavaid erinõudeid ja spetsiifikat, edastati kõikidele projektiga seotud isikutele õigel ajal vastav informatsioon ja nägemus projekti eeldatavast käekäigust. Autor andis tagasisidet projekti erinevate etappide seisuga ja tehtud arendustöö edukuse kohta. Projekti lõppfaasis autor testis prototüüplahendust ja tegi klientide kasutajakogemuse küsitlus.



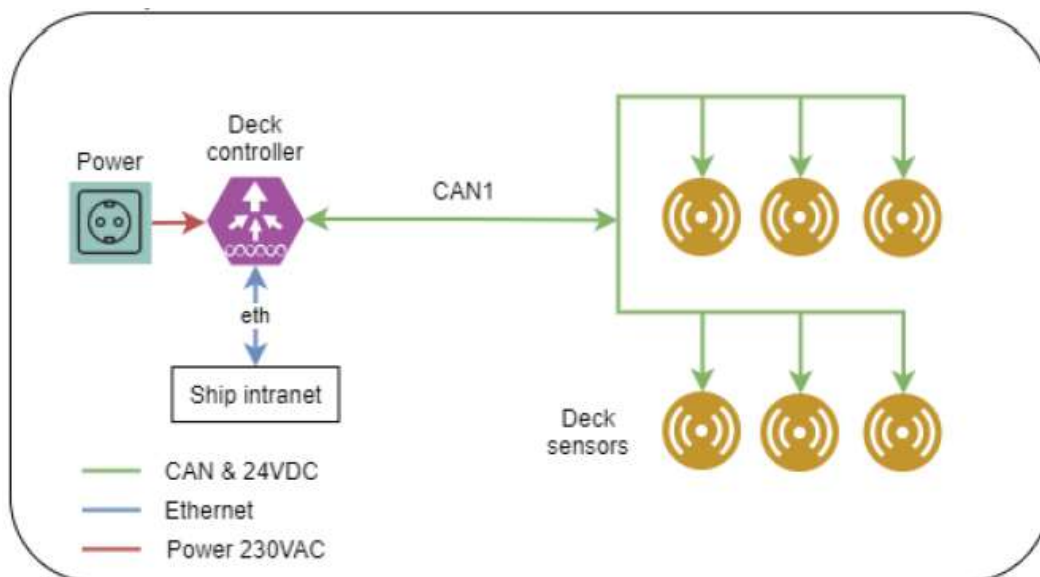
## 4.1 Riistvara

Projekti käigus arendatud kasutajaliidesed täidavad eesmärki suunata laeva saabunud autod õigele tekile ja automaatselt määrata laevale laaditud sõiduki asukoht, salvestada ja siduda see elektroonilise kaubaplaaniga. Arenduse käigus paigaldati ülemise autoteki sissesõidule eelsuunavad digiekraanid reisijatele nähtavas osas. Projekteeriti ja tehti valmis ultrahelianduri prototüüp ning valmistati kokku kuus andurit, et katta testiala. Valmistati perifeeriaseadmete juhtplokk ehk kontrolleri.

Lähtudes reisiparvlaeva Megastar konstruktsioonilistest nõuetest ja vastavate regulatsioonide ja klassifikatsiooniühingu nõuetest autoteki elektriseadmetele, nende kaabeldusele ja toitele, peavad perifeeriaseadmed vastama järgmistele sertifikaatidele:

- suunavad LED-ekraanid – IP65;
- pistikud ja pistikupesad – IP67;
- andurid tekkidel 3–6 – II 3G Eeex na/II C T5;
- andurid seitsmendal tekil – IP55.

Nõuded on seotud sellega, et laeval on lubatud vedada IMDG A-kategooria ohtlikke kaupu ja et laev kasutab kütuseks veeldatud maagaasi.



Joonis 4. Targa autoteki riistvara ja selle ühenduvus

Allikas: (TalTechi Arvutisüsteemide instituut 2020)

Joonisel 4 on näidatud tekiandurite ühenduvus. Tekikontroller vastutab tekianduritelt andmete kogumise ja selle teabe edastamise eest laeva süsteemidesse. Tekikontroller on jagatud järgmisteks alamsüsteemideks:

- mikrokontroller, mis vastutab kõigi toimingute, arvutuste ja andmete edastamise eest;
- toitesüsteem;
- CAN-CAN transiiver, mida kasutab tekikontroller selleks, et tekianduritelt teateid vastu võtta ning vajaduse korral ka edastatavat teavet tagasi saata.

Teki regulaatori riistvara šassii valmistati standardsest IP68 kaitseklassiga korpusest. Korpuses asuvad kontroller, pingeregulaatorid, kaitsmed ja CAN-moodul. Projekteeriti ja valmistati lisakinnitusklambrid, et korpust autoteki kaablitrasside külge kinnitada. Korpuse alaossa paigaldati LED-indikaator, mis annab tagasisidet selle kohta, kas kontroller töötab korrektselt.

Kontroller võtab vastu mõõtmistulemusi kuult andurilt ja edastab need ühe UDP-paketina serverisse kümme korda sekundis. Toetatakse kuni 31 andurit kontrolleri kohta. Tekiandurid paigaldati autotekile maatriksi kujul, reavahe kauguseks seati 3,2 meetrit. Kõik andurid ja kontroller moodustavad omavahel ühise ahela. Sensorite ühendamiseks kasutatav kaabel edastab nii andmeid kui ka toite. Valitud kaabel on standardiga CAT6.



Joonis 5. Piimi külge paigaldatud tekiandur

Allikas: (autori tehtud)

Tekiandur tuvastab nii liikuvad kui paigal olevad sõidukid. Anduri küljes olevad LED-tuled olid mõeldud autode suunamise abivahendina – jooksvate roheliste tuled rada näitab, kuhu eeldatav liiklusvoog peab liikuma. Punased statsionaarselt põlevad tuled viitaksid sellele, et sellesse ritta ei tohi sõita. Piimi külge paigaldatud tekiandur on näidatud joonisel 5. Tekiandur on jagatud järgmisteks alamsüsteemideks:

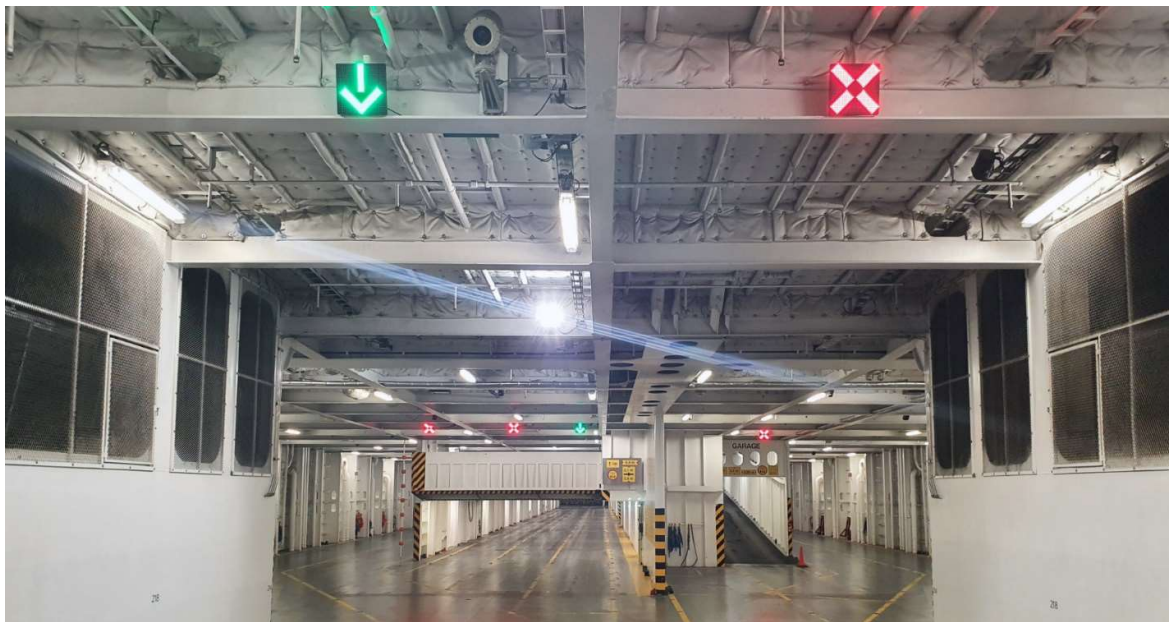
- mikrokontroller, mis vastutab ultrahelianduritelt andmete vastuvõtmise eest, suunavate suure võimsusega LED-tulede juhtimise eest transistorite kaudu ning andmete edastamise eest tekikontrollerile;
- toitesüsteem;
- CAN-CAN transiiver, mida kasutab tekiandur selleks, et edastada andmed tekikontrollerile.

Tekiandur on loodud ja toodetud selliselt, et see hoiab kõiki oma komponente ja kaitseb neid väliste keskkonnatingimuste, nagu niiskuse ja soolase õhu eest. Prototüübi korpus oli valmistatud kihtlisandtootmise tehnoloogia abil. Andurile lisati pesad, mis võimaldaksid hoolduse ajal riistvara kiiresti muuta või täiendada. Korpuse õhutiheduse tagamiseks kasutati kummitihendeid. Et andur piimi külge kinnitada, loodi kaks eraldi sektsiooni neodüümagnetite jaoks. Lisaks kinnitati korpuse külge kinnituskonks, et pakkuda rohkem tuge ja tagada, et andur ei liiguks vibratsiooni ja laeva kõikumise tõttu. Konks tehti alumiiniumist ja kujuga, mis tagab piimi vastasotsa taga haakumise. Anduri konstruktsioon võimaldab teha tarkvarauuendusi. Tekianduri kalibreerimine toimub süsteemi käivitamisel. Andurid on vaja kalibreerida, kuna kõrgused teki pinnast andurini võivad erineda olenevalt anduri asukohast autotekil. Kalibreeritud väärtus teisendatakse hiljem tasemeteks. Üks tase võrdub 20 sentimeetriga. Staatilises olekus võib baasjoon muutuda ühe taseme võrra. Seda võrdlusväärtust kasutatakse hiljem sõiduki tuvastamisel.

Tekiandur teeb mõõtmisi sagedusega 10 Hz. Sõiduki tuvastamiseks läheb keskmiselt vaja 7–11 mõõtmist, kuid mitte vähem kui 6. Kui sõidukid liiguvad tihedas reas, võtab kahe sõiduki eristamine aega umbes 1,5–2 sekundit. Kui mõõtmistulemus on üle baasjoone, määratakse valenäitude vähendamiseks väärtuseks viimane õige mõõteväärtus. (Soom 2020, 44–46)

Kui juht siseneb autotekile, näitavad suunavad LED-ekraanid elektroonilist märki, et lubada või keelata sellele konkreetsele rajale sõitmine. Vilkuv roheline nool kuvatakse, kui sellele rajale on

lubatud sõita. Punane X kuvatakse siis, kui sõitmine on keelatud. Joonisel 6 on näidatud suunavate ekraanide asukohad viiendal tekil.



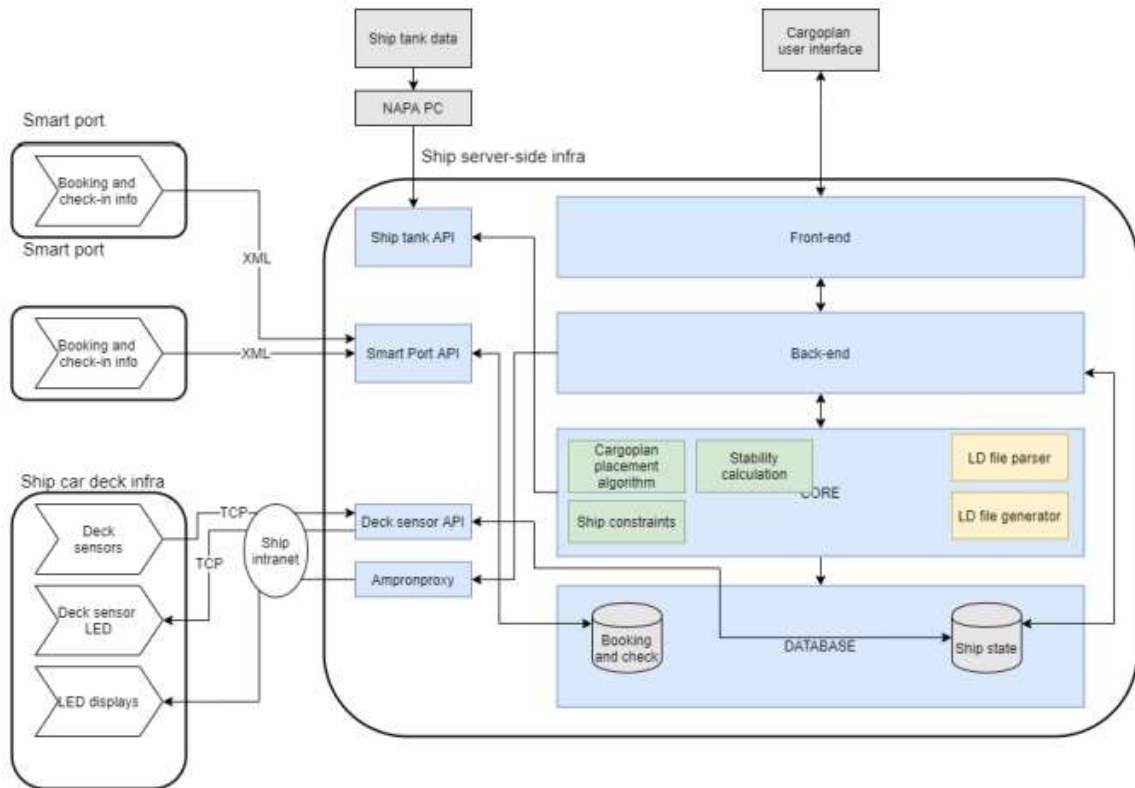
Joonis 6. Suunavate LED-ekraanide asukoht autotekil

Allikas: (autori tehtud)

Mõõtmiste tulemusena tuvastas autor, et ekraanide maksimaalne suurus võib olla 350 x 350 mm. Ekraanid peavad olema võimelised kuvama vähemalt kahe erineva värviga märke: rohelisi ja punaseid. Nende kriteeriumite järgi valiti LED-ekraanid Ampron DS, mille suurus on 320 x 320 mm ja mis on Etherneti võrgu ühilduvusega ja juhtimise võimalusega. Seade nõuab ühendust Amproni serveriga, misjärel saab ekraani juhtida, saates käsklused serverile.

## 4.2 Tarkvara

Tarkvara arhitektuur jagatakse sisseehitatud tarkvaraks ja serveripoolseks tarkvaraks. Joonisel 7 on näidatud tarkvara arhitektuur. Skeemi vasakul pool on süsteemid, mis saadavad sisendinfot targa autoteki süsteemile või mida saab hallata targa autoteki süsteemi abil. Ülemises osas on NAPA laadimisarvuti ja andmed, mis on sisestatud kasutajaliidese kaudu.



Joonis 7. Targa autoteeki süsteemi tarkvara arhitektuur

Allikas: (TalTechi Arvutisüsteemide instituut 2020)

Keskosa on sisemiselt jagatud viieks põhiosaks. Vasakul pool on rakenduste programmiliidesed, mis on loodud selleks, et suhelda väliste süsteemidega. Paremal küljel on andmete kogunemine andmebaasidesse, millele pääseb juurde CORE- või *back-end*-serveri kaudu.

Tarkvarapakett koosneb kaheksast teenusest ja kahest andmebaasist. Serveri tarkvara ülevaade on toodud joonisel 8.

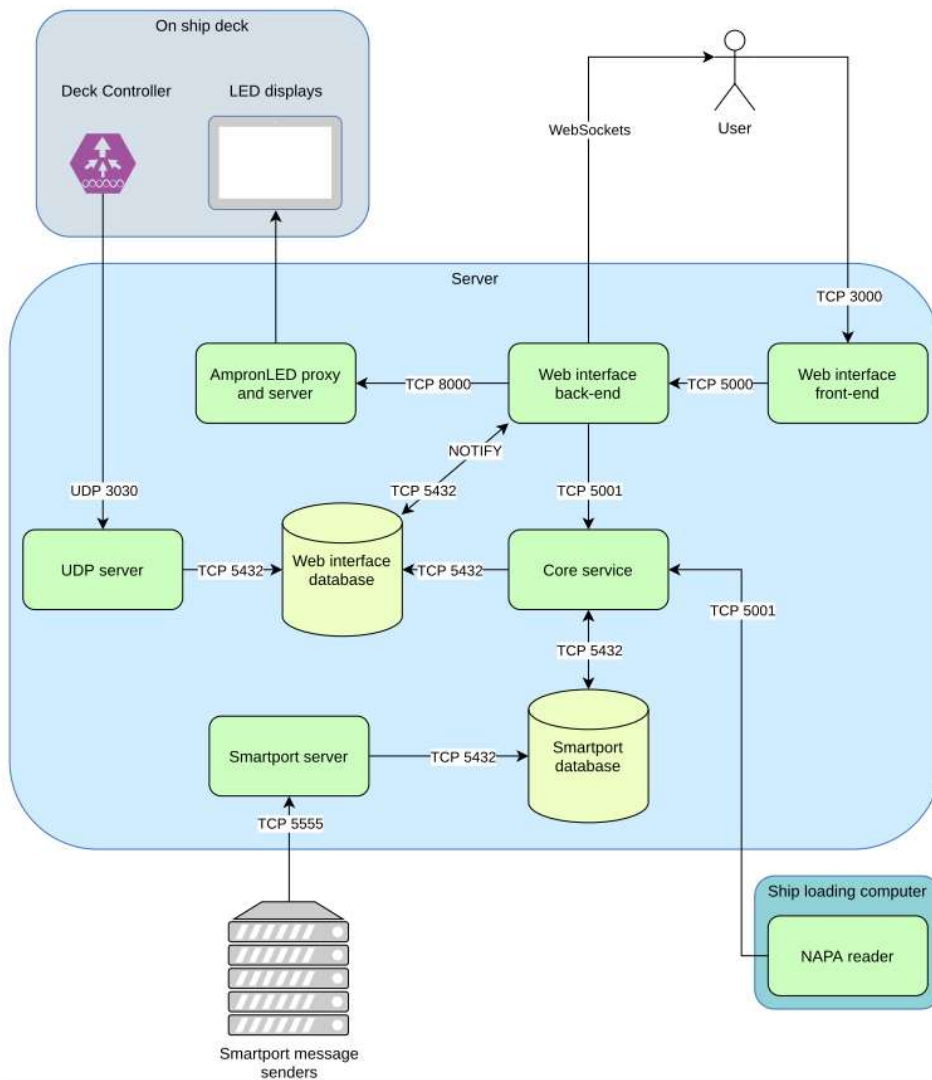
Funktsionaalsus:

- veebiliides – kasutajaliides;
- põhiteenus – vastutab kaubaplaani genereerimise ja liiklusvoo suunamise eest;
- UDP-server – võtab vastu andmed tekianduritelt ja tuvastab sõidukid;
- Ampron LED-server – haldab LED-ekraanide juhtimist;
- Targa sadama server ja andmebaas – võtab vastu andmed sadama süsteemist ja targa sadama operaatoritelt;

- NAPA lugeja – saadab püstuvusega seotud andmed NAPA laadimisarvutist võrgu kaudu põhiteenusele.

Andmebaasid:

- Targa sadama andmebaas – salvestab sadama ja targa sadama operaatorite teadete andmeid;
- veebiliidese andmebaas – salvestab veebiliidese andmeid.



Joonis 8. Serveritarkvara kommunikatsiooniskeem

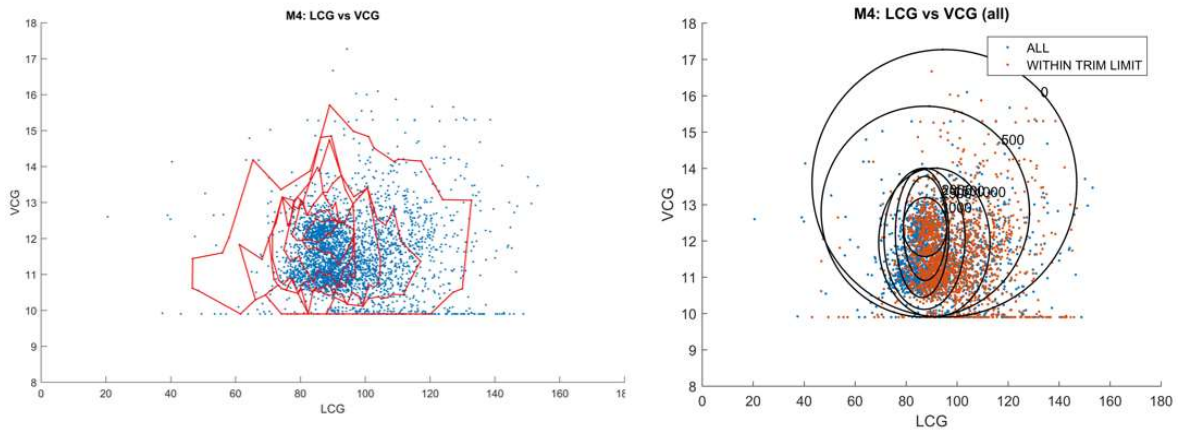
Allikas: (TalTechi Arvutisüsteemide instituut 2020)

Targa sadama sõnumite kättesaadavuse nõude tõttu töötati välja Targa sadama server ja andmebaas, mis on põhiteenusest ja veebiliidese andmebaasist eraldi teenused. Targa sadama serveri andmebaas on mõeldud laeva väljumisandmete ning sõidukite ja lasti kohta teabe salvestamiseks. Veebiliidese andmebaas salvestab veebiliidesega seotud andmeid, sealhulgas andmeid sõidukite paigutuse kohta laevas, ja anduritelt saadud andmeid.

Targa sadama server võtab sõnumeid vastu automaatse *check-in*'i protsessi standardi kohaselt. Server lisab Targa sadama andmebaasi laevade väljumise infot, sõidukiteavet ja -teateid ning värskendab neid andmeid. Kasutaja Datagrammi protokolliserver saab tekiandurite mõõtetulemused tekikontrollerilt, analüüsib tulemusi ja värskendab veebiliidese andmebaasi. Samuti uuendab see veebiliidese andmebaasis sõiduki loenduri andmeid.

Tarkvara põhiteenus koosneb NAPA \*.ld formaadis faili töötlemise tarkvarast, püstuvuse algoritmist ja kaubapaigutamise algoritmist. NAPA \*.ld formaat valiti põhiliseks kaubaplaani formaadiks seetõttu, et ametlik ja klassifikatsiooniühingu kinnitatud püstuvuse arvutamise viis on NAPA tarkvara. Kuigi kaubaplaani genereerimise tarkvara arvutab ise põhilised püstuvuse näitajad, peab nii eelmanifesti andmetel koostatud kui lõplik kaubaplaan olema põhjalikult kontrollitud NAPA tarkvaras, et tagada püstuvuse kriteeriumitele vastavus.

Tabri ja Makarovi arendatud püstuvuse arvestamise algoritm töötati välja, tuginedes olemasolevate kaubaplaanide püstuvuse informatsioonile. Joonisel 9 on näha 3500 kaubaplaani kauba raskuse koordinaatide analüüsi tulemus. Analüüsi tulemusena jäeti töösse ainult need kaubaplaanid, mille diferent on vahemikus 20–40 sentimeetrit vööri poole, sest sellise diferendiga on kütusekulu üldjuhul kõige optimaalsem.



Joonis 9. 3500 tegeliku kaubaplaani LCG ja VCG (500 t sammuga)

Allikas: (Tabri, Makarov 2020)

Kaubapaigutuse lihtsustatud arvutuste jaoks otsustati arvestada kauba raskuskeset LCG ja VCG koordinaatidega, võttes arvesse seda, et kreen peab olema alati nulli lähedal. Järgmiseks sammuks oli standardsete kaubaplaanide analüüs, et selgitada välja kauba raskuskese sõltuvus veeväljasurvest ja kandevõimest, juhul kui diferent jääb eespool kirjeldatud vahemikku. Algpüstuvuse andmed võeti samuti standardsetest laadimistingimustest. Lähtudes kahest allikast saadud andmetest, koostati raamistik eeldatava kauba paigutamiseks laevale selliselt, et oleks tagatud püstuvuse nõuded, kreen oleks võimalikult nulli lähedal ja diferent vahemikus 20–40 sentimeetrit võõri poole.

Kaubapaigutuse algoritm peab sorteerima sõidukid prioriteetide järgi (näiteks VIP, garaaž) ja seejärel suuruse järgi. Pärast sõidukite sorteerimist valib algoritm autoteeki rajad, arvestades iga sõiduki atribuute, ja üritab paigutada sõiduki kõigepealt esimesele rajale, kui see ei õnnestu, siis järgnevatele radadele. Kui sõidukeid ei ole mingil põhjusel võimalik paigutada, proovib algoritm rakendada kohandatud sõiduradasid. Lõpuks, kui maksimaalne arv sõidukeid on paigutatud, toimub automaatne andmebaasi värskendamine ja kontroll ning seejärel teavitab andmebaas kasutajaliidese kaudu, et on loodud uus plaan.

Käesoleva prototüübi arendamise mõistes võimaldab selline lähenemine täielikku paindlikkust võimalike algoritmide juurutamisel, graafilise kasutajaliidese kujundamisel kasutamise hõlbustamist ja andmete väljundvormingu täielikku kohandamist.



Ermakovi ja Reinsalu loodud laadimisalgoritm valib prioriteetide järgi moodustatud järjekorrast sõiduki, leiab sobivaima raja ja üritab valitud sõiduki sellele rajale lisada. Kui see toiming õnnestub, võtab ta järjekorrast järgmise sõiduki. Kui laeval pole piisavalt ruumi, teatab laadimisalgoritm, et laadimistoiming ei õnnestunud. Kõiki laadimistoiminguid tehakse seni, kuni järjekorda enam pole. Täpse algoritmi plokk skeemiga saab tutvuda lisa 3.

Töötati välja ja analüüsiti kolm algoritmi varianti. Algoritm 1 kasutab autoteeki radade prioriteedi arvutamiseks printsiipi „kõigepealt pardapoolsed rajad“ ja rea keskele paigutamise mehhanismi. Algoritmides 2 ja 3 kasutatakse autoteeki radade prioriteedi arvutamiseks printsiipi „kõigepealt laeva keskel olevad read“ rea keskele paigutamise mehhanismiga ja „kõigepealt laeva keskel olevad read“ koos joondusmehhanismiga „täielik nihe ahtri või vööri poole (olenevalt laadimissadamast)“. Analüüs hõlmas 3500 tegelikku kaubaplaani. Analüüsi tulemus näitab seda, et algoritme 2 ja 3 on soovitatav kasutada kauba kogukaalu puhul 0 kuni 500 tonni ning üle 3000-tonnise kogukauba kaaluga laadimiste puhul. 500–3000-tonniste laadimiste puhul saab kasutaja valida algoritmide 1, 2 või 3 vahel, olenevalt sellest, milline neist tagab paremaid tulemusi. Lahendus töötati välja Javascripti keelt kasutades ja tulemuseks on rakendus, mis võib töötada erinevatel platvormidel. Rakendus kasutab spetsiaalset muundurit, nii et rakenduse töö tulemusi saab kasutada laevas oleva NAPA tarkvaraga. (Ermakov, 2020)

Veebipõhine kasutajaliides tehti valmis autori ja tema kolleegidest kaubatüürimeeste juhtnööre ja soove järgides. Selleks, et tagada laadimisega seotud informatsioonile ligipääs kogu tekimeeskonnale ja vajaduse korral teistele isikutele, loodi erinevate õigustega kasutajarühmad. Kasutajaliides tehti veebipõhisena, et laadimisega seotud informatsiooniga oleks võimalik tutvuda, kasutades portatiivseid ja vajadusel isiklikke nutiseadmeid.

Põhivaade pakub kasutajatele tööriistu, millega saab vaadata käesolevat kaubaplaani, teavet laeva püstuvuse kohta, tekiandurite oleku staatust, vaadata ja opereerida LED-ekraane ning genereerida ja uuendada laadimisplaani. Kasutajaliidese põhivaatega saab tutvuda lisa 4.

## 5. Tehtud eksperimendid, küsitlused ja tulemuste analüüs

Targa autoteki prototüübi arenduse käigus loodi mitmed riist- ja tarkvaralahendused. Magistritöö autori roll oli nii konsultatiivne ja nõustav laadi, juhendades projekti arenduse käekäiku, kui ka aktiivne, viies läbi intervjuusid, teemapõhiseid vestlusi ja koosolekuid.

Veebipõhise kasutajaliidese arenduse käigus nõustas autor töörühma liikmeid ja tegi parendus- ja täiendamisetepanekuid, lähtudes nii isiklikust kogemusest autode laadimisel kui ka oma kolleegide seisukohtadest, tähelepanekutest ja ettepanekutest.

Automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvara arendamisel nõustas autor töörühma laeva püstuvuse teemadel, samuti konkreetse reisiparvlaeva Megastar püstuvusega seotud nõuete ja nende eripära küsimustes. Toimus koosolek ettevõtte NAPA OY spetsialistidega, et selgitada välja võimalused kasutada \*.ld-formaadis faile käesolevas arenduses. NAPA püstuvuse arvutamise tarkvara on klassifikatsiooniühingu poolt ametlikult tunnustanud kui nii püstuvuse kui ka avariolukorra püstuvuse tarkvara. Seetõttu otsustati, et otstarbekas on kasutada targa autoteki projektis samas vormingus faile. Samuti edastati käesoleva projekti raames info laeva varude kohta tankides automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvarasse NAPA programmi kaudu. Tavapäraselt kasutatakse sellel eesmärgil andmeid IASi (*Integrated Automation System*) süsteemist, kuid praegusel juhul leiti lihtsustatud ajutine lahendus. Projekti lõppfaasis tegi autor automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvara testimise, mille tulemused on esitatud magistritöö peatükis 5.1.

Projekti raames riistvara arendamise käigus tagas autor laevapoolse toe, pakkudes nii eksperdiarvamust kui laeva spetsiifilisi andmeid, kooskõlastades vajaliku riistvara tellimusi ning organiseerides ja juhtides kaabeldus- ja muude perifeeriaseadmete paigutusega seotud töid. Projekti lõppfaasis tegi autor riistvara katsetusi, mille tulemused on peatükis 5.2.

Et saada projekti tulemitest täielik ülevaade, küsitles autor reisijaid nende kasutajakogemuse kohta samadel väljumistel, kui tehti targa autoteki riistvara katsetusi. Küsitluse tulemuste analüüs on esitatud peatükis 5.3.

## 5.1 Automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvara testimine

Veebipõhise kasutajaliidese töötas välja Targa autoteki projekti töörühm tihedas koostöös autoriga. Sellega, et kasutajaliides on veebipõhine, sooviti tagada ligipääs kauba laadimisega seotud informatsioonile portatiivsetest ja vajaduse korral ka isiklikest nutiseadmetest, et tekimeeskonna iga liige saaks autotekil olles kaubaplaani kohta uuendatud ja asjakohast informatsiooni. Sisselogimiseks loodi kolm erinevat kasutajakategooriat, millel olid olenevalt ametikohast erinevad õigused. Kasutajaliidese arenduse käigus võeti arvesse kaubatüürimeeste kogemust ja ettepanekuid.

Lastiruumi efektiivse kasutamise tarkvara koondab sisuliselt kahe rakenduse funktsioone: autoteki perifeeriaseadmete juhtimine ning automaatne kaubaplaani genereerimine ja haldamine. Autoteki ridade visuaalne kujundus tehti täpselt samasugune, kui on NAPA püstuvuse tarkvaras, et tarkvara loodud laadimisplaan sisaldavaid faile saaks importida püstuvuse tarkvarasse ja sealt ka eksportida. Kasutajaliidesele lisati võimalus valida ka päevane või öine režiim: öise režiimi visuaalne kujundus on mustal taustal ja päevases režiimis valgel taustal. Erinevate kaubaühikute kategooriatele määrati kindel värv selleks, et meeskonnaliikmed eristaksid kergesti veoautode kategooriaid, mis vajavad erikohtlemist, näiteks elektriühendust vajavad ühikud ja ohtliku kaubaga ühikud. Lisaks otsustati eraldi märgistada kaubaühikud, mida pole võimalik paigutada ilma meeskonnaliikmest juhendaja abita, samuti need kaubaühikud, millele tekimeeskond peab lossimisel pöörama erilist tähelepanu. Statistika ja info kaubaühikute kohta kujundati ja esitati loogiliselt võimalikult sarnaselt Targa sadama kasutajaliidese kujundusega, et vältida segadust.

LED-ekraanide juhtimiseks pakkus autor välja lahenduse, kus kasutaja valib, millisesse ritta ta soovib transpordiühikuid laadida, ning vajutab ekraanil vastavat nuppu. Antud korralduse tulemusena lülitab tarkvara sisse kõik vajalikud viidad, et suunata autod selleks ettenähtud reale. Samuti töötas autor välja loogilise lahenduse ja perifeeriaseadmete kombinatsioonid eraldi intensiivsemaks laadimiseks, kui ülemisele autotekile sõidab kaks rida autosid korraga. Lisaks täiendati muid LED-ekraanide juhtimisega seotud funktsioone. Et ekraanid tähelepanu tõmbaks, otsustati rakendada lahendust, mille järgi rohelised suunavad nooled peavad alati vilkuma ja punased ristid põlema statsionaarselt.

Selleks, et kasutajaliidest saaks kasutada ka väikese ekraaniga nutiseadmetel, lisati võimalus suumida. Suumimise ajaks jäeti LED-ekraanide juhtimise kiirviited nähtavaks ja adekvaatse suurusega, hoolimata sellest, kui palju suumitud on ja millist autoteki osa operaator hetkel jälgib.

Et tulevikus oleks võimalik automaatset liiklusvoogu suunata, lisati järgmised nupud:

- a) „Alusta lossimist“;
- b) „Laev on tühi“;
- c) „Alusta laadimist“;
- d) „STOPP“.

Automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvara kasutamine oli võimalik eespool kirjeldatud ühtse veebiliidese kaudu. Prototüüptarkvarast eksporditavat laadimisfaili seadistati selliselt, et NAPA püstuvuse programmis saaks teha parandusi, enne kui kaubaplaan töösse võetakse.

Arenduse algstaadiumis ehitati laadimisalgoritm üles selliselt, et see leiaks sama sõidukite arvu põhjal lähima plaani ajalooliste laadimisplaanide järgi ja muudaks sõidukite arvu sobivaks, eemaldades või lisades vajaliku arvu sõidukeid. Sõidukite eemaldamist ja lisamist alustati ühest pardast ja ülemistelt tekkidelt, liikudes allapoole. Vajaduse korral liigutati sõidukeid ka tekkide vahel. Esialgne algoritm ei võtnud arvesse sõidukite prioriteete ega muid piiranguid ja nõudeid ning ei olnud serverisse integreeritud. Parima algoritmi saavutamiseks andis autor tagasisidet, et oleks võimalik algoritmi kõige olulisematele osadele õige prioriteet seada.

Arenduse käigus lisati tuumikserverile peatükis 4.2 kirjeldatud püstuvusalgoritmi kood, mida automaatne kaubaplaani genereerimise tarkvara kasutab laadimisplaani loomisel sisendinfo saamiseks.

Arenduse järgmise etapina integreeriti tarkvarasse peatükis 4.2 kirjeldatud laadimisplaani algoritm, mille tulemusena luuakse NAPA formaadis laadimisplaan, mida saab alla laadida kasutajaliidese kaudu. Algne idee oli kasutada sõidukite paigutamise ülesande automatiseerimisel neurovõrke. Arvestades suhteliselt suurt hulka olemasolevaid laadimisplaanide, saab teoreetiliselt neurovõrku üles ehitada ja olemasolevate andmete põhjal koolitada, et see analüüsiks uute laadimiste nõudeid ja pakuks laadimisplaani. Neurovõrgu tõhusaks väljaõppeks on vaja usaldusväärset andmekogumit, mida saab muustrina süsteemile selgeks teha. Prototüübi mõistes otsustati teha katsetusi olemasoleva algoritmiga, mis katsetuste faasi alguseks pidi arvesse võtma

optimaalset kreeni ja diferenti, laeva tankide täituvust, erinevat tüüpi ja erinevate kategooriate sõidukeid ja igat tüüpi ja eri kategooria koguseid. Katsetuste käigus ilmnisid järgmised probleemid:

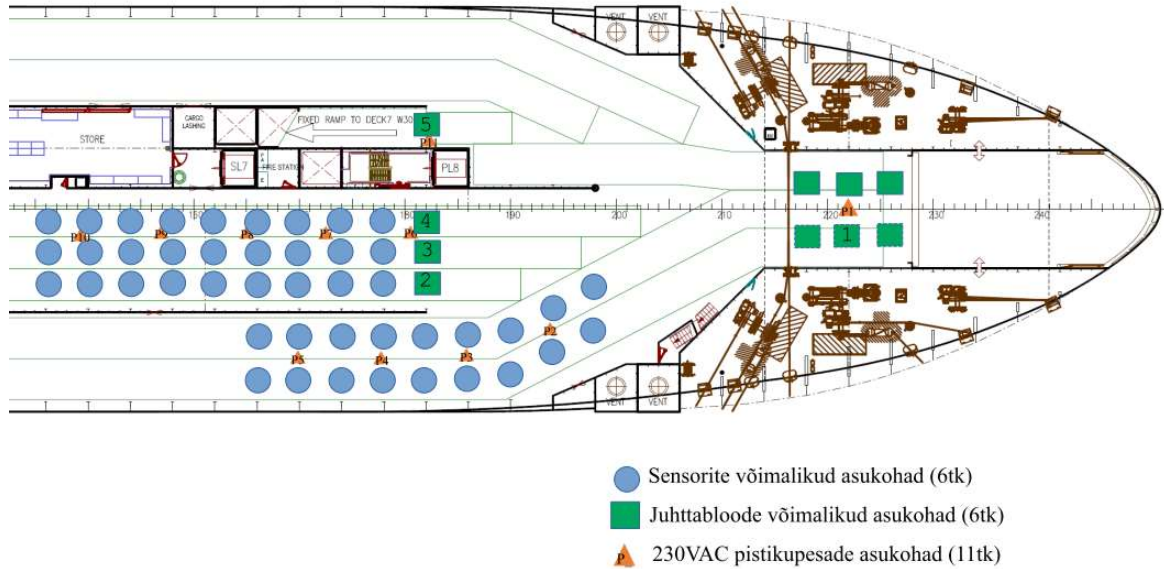
- Laeva NAPA püstuvuse arvutisse installeeriti lihtne tarkvara, mis loeb laeva tankide infot ning edastab selle laeva serverisse püstuvusalgoritmi jaoks ja laadimisplaanide loomiseks. Kahjuks ei õnnestunud korrektselt tööle saada Targa autoteeki tuumikserverisse loodud eraldiseisvat teenust, mis pidi võtma andmed vastu ja võimaldama nende edasist töötlemist, et genereerida kaubaplaan. Seetõttu olid puudu VCG (*vertical centre of gravity*), LCG (*longitudinal centre of gravity*) ja TCG (*transversal centre of gravity*) koordinaadid püstuvuse arvutamiseks. Prototüübi katsetamise eesmärgil lahendati probleem nii, et automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvarasse tuli iga kord enne kaubaplaani loomist importida NAPA ametlikust püstuvuse tarkvarast tühja laeva laadimisplaan koos uuendatud andmetega laeva tankide seisu ja varude kohta.
- Prototüübi arendamise käigus otsustati lihtsustada laeva kreeni ja diferendi haldamist kauba paigutamise kaudu ja lepidi kokku, et automaatne kaubaplaani genereerimise tarkvara koostab kaubaplaani diferendiga kakskümmend kuni nelikümmend sentimeetrit vööri poole ning ilma kreenita. Esialgse plaani järgi aga oleks kaubatüürimehel olnud võimalik sisestada soovitud kreeni ja diferendi parameetrid veebiliidese rakenduse vastavatesse lahtritesse.
- Tekkisid tõrked kaubaplaani genereerimise tarkvara ja broneerimissüsteemi andmevahetuses. Arendatud rakendus genereeris laadimisplaanide väiksema ühikuarvuga, kui on *Web Focus* süsteemis broneerimiste reaalsed andmed. Probleem võis olla selles, et andmete saatmine seadistati broneerimissüsteemi testserverist, mille käideldavuse ja muud nõuded on kordades nõrgemad kui põhisisüsteemil. Arenduse käigus ei õnnestunud probleemi lahendada.
- Kaubaplaani genereerimise algoritm ei arvestanud asjaolu, et esialgset laadimisplaanide tehes puudub märkimisväärne kogus infot sõidukite kaalu ja kauba kohta ning see lisandub *check-in*'i hetkel. Targast sadamast tuleb info siis, kui sõiduki registreerimisnumber on lisatud broneerimissüsteemi. See tähendab, et kui automaatne laadimisplaan tehakse enne Megastari Tallinnasse saabumist, siis puudub 10–25% kaubaühikute infot, sest vastavat sõnumit pole saadetud. Lisaks on süsteemis märkimisväärne kogus ülebroneerimisi, mis tähendab, et sõidukid reaalselt ei tulegi kohale.

- Rakendus paigutas kaubaühikud laadimisplaanil väga imelikult. Näiteks paigutas see mõned sõiduautod 6. tekile, kuigi platvormide kasutamiseks vajadust polnud. Mõned autod paigutati 5. tekile ahtrisse väljasõidu lähedale, aga ahtrisse paigutatud autod ei olnud *Business* ja *Priority* staatusega klientide sõidukid. Rakendus paigutas 7. tekile garaaži tavalised sõiduautod, kuigi mahu poolest konkreetsel väljumisel selleks vajadust ei olnud, samas jällegi ei võtnud rakendus arvesse ühtegi konkreetsel laadimisel broneeringu teinud kategooria *Garage* autode kogust.
- Tarkvara genereeritud kaubaplaanil olid reisijate autod paigutatud suurte veoautode vahele, mis ei vasta ohutusnõuetele ja klienditeeninduse standardile. Sellise kaubapaigutuse puhul võib reisijatel olla keeruline lossimise ajal oma autodesse pääseda, mistõttu võib kauba lossimine venida liiga pikaks.
- Kuna esialgu genereeritud kaubaplaanid ei olnud piisavalt korrektsed ning neid ei saanud reaalse laadimise aluseks võtta, ei olnud võimalik kontrollida, kuidas automaatne kaubaplaani genereerimise tarkvara uuendab ja kohandab kaubaplaani laadimise käigus juhul, kui kauba kaalude ja koguste sisendandmed muutuvad.
- Automaatselt genereeritud kaubaplaani järgi reaalselt laadimist ei tehtud, kuna inimjõudu kasutades oleks liiga ajakulukas laadida hakitud ja ebakorrapärase kaubaplaani järgi.

Katsetamise tulemusena on selge, et olemasolevat laadimisplaani genereerimise algoritmi ei ole võimalik kasutada, enne kui seda on järgmiste arendusprojektide käigus optimeeritud. Alternatiivne võimalus on lahendada probleem masinõpet ja neurovõrke kasutades. Käesoleva projekti eesmärk polnud mitte arendada ideaalset laadimisplaani, vaid katsetada kontseptsiooni toimimist ning vajaduse korral jätkata selle täiustamisega järgmise arendusprojekti raames.

## 5.2 Targa autoteki riistvara testimine

Targa autoteki prototüübi arendamise eesmärgil otsustas töörühm määrata laeva Megastar viiendale autotekile testala. Testala paikneb viienda teki vööriosas ja ridade number kolm, neli ja viis alguses, nagu on näidatud joonisel 10.



Joonis 10. Megastari 5. autoteki 230 VAC toite vajadus sensorite ja juhttabloode paigalduseks

Allikas: (TalTechi Arvutisüsteemide instituut 2020)

Testimiseks paigaldati kokku kuus suunavat LED-ekraani selliselt, et kaks neist paiknevad sissesõidu osas ning suunavad sõidukeid kas otse, paremale või vasakule. Neli järgmise tasandi LED-ekraani paigaldati kolmanda, neljanda ja viienda rea kohale, võimaldades suunata sõidukeid nii viienda kui kuuenda teki ridadesse number kolm, neli ja viis ning lisaks seitsmendale autotekile kaldsõidutee kohale. Kuus sensorit paigaldati viiendale tekile kolmanda, neljanda ja viienda rea kohale maatriksi kujul, reavahe kauguseks seati 3,2 meetrit. Arendustöö käigus projekteeriti kuuendale tekile kaldsõidutee asendi andur, selleks et automaatse liiklusvoo suunamise tarkvara saaks tulevikus informatsiooni kaldtee asendi kohta ning korraldaks liiklusvahendite suunamise vastavalt kas viiendale või kuuendale tekile. Kahjuks ei jõutud kaldtee indikatsiooni arendusega aktsepteeritava tulemuseni ning katsetamise ajal selle tööd ei jälgitud.

Peale eespool kirjeldatud riistvara paigaldati kontrollerid sensorite ja suunavate ekraanide juhtimiseks ja ruuterid riistvara ühendamiseks tuumikserveriga. Tehti kaabeldustööd perifeeriaseadmete toite ja ühilduvuse jaoks. Suunavad LED-ekraanid paigaldati piiratud koguses, mitte iga rea kohale, kuna alguses oli vaja teha selgeks, kas valitud suuruse ja eredusega ekraanid sobivad püstitatud eesmärkide täitmiseks olenevalt iga ekraani konkreetsest asukohast, valgustustingimustest ja ilmastikuoludest. Arenduse lõppfaasis oli COVID-19 levikuga seotud kriisi tõttu projekti rahastus piiratud ning katsetusi tuli teha nende ekraanidega, mis olemas olid,

mille tõttu täiesti mehitamata suunamist ei saanud katsetada. Madruste abi kasutati katsetamise ajal viienda autoteki äärmistesse ridadesse (number 1, 2, 7 ja 8) suunamiseks.

Testimiseks valiti kuusteist laadimist. Laadimised valiti autori kogemustest lähtudes selliselt, et testimise alguses oleks kaubaühikute arv ühe laadimise kohta minimaalne ning testimisfaasi jooksul see arv sujuvalt suureneks, nii et testimise viimaste laadimiste kaubakogus oleks ligilähedane maksimaalsele. Riistvara testimise tulemused on kaardistatud käesoleva magistritöö lisa 5. Katsetuste käigus tehti kindlaks, et perifeeriaseadmete kasutajaliides töötab korrektselt. Kasutajaliides on intuiitiivselt arusaadav ning tagab ligipääsu vajalike funktsioonidele. Süsteemi töökindlus on nõutud tasemel. Autori loodud suunavate LED-ekraanide paaris töötamise loogiline lahendus töötab korrektselt.

Kui autode suunamisel kasutati perifeeriaseadmeid, ilmnedid järgmised puudujäägid:

- Suunavate signaalide ümberlülitamisel peale vastava nupu vajutamist on kahe- kuni kolmesekundine viide, mis koosneb ekraani reageerimise viivitusest, mille järel ekraan korraks kustub ja siis läheb põlema õige signaal. Asjaolu viitab sellele, et tuumikserveri tarkvara töötleb signaale viivitusega ning süsteem vajab optimeerimist. Probleem võib olla tingitud tarvara erinevate komponentide vahelise ühenduse kiirusest ja kui kasutatakse rohkem perifeeriaseadmeid, võib viide veelgi suurenedada.
- Suunavate signaalide ümberlülitamine peab toimuma astmeliselt erinevate tasandite LED-ekraanide vahel. Autod sõidavad tihedalt üksteise taga reas, autode vahel on ainult kaks kuni kolm meetrit. Ekraanide ümberlülitamisel jääb auto keelumärgi alla seisma ning selleks, et sõita õigesse ritta, peaks juht tagurdama, et välja pöörata. Tegelikult aga on tema taga järgmine auto, mistõttu pole see manööver võimalik.
- Hoolimata sellest, et valiti piisavalt eredad suunavad ekraanid, on päikesepaistelisel päeval sadamaalalt autotekile jõudes klientidel keeruline eristada suunavaid märke seni, kuni silmad harjuvad ümbruskonna valgustusega. Selle probleemi lahendamiseks võib siduda suunavate ekraanide ja sensorite küljes olevate suunavate LED-tulede ereduse reguleerimise välisvalgustuse anduriga, mis reguleeriks automaatselt laeva autotekidel olevate perifeeriaseadmete eredust olenevalt välisvalgustuse tingimustest.

Sensoreid katsetati regulaarsete visuaalsete vaatluste meetodit kasutades. Sai võrreldud kolme parameetrit:



1. kas sensori all on sõiduk;
2. kas sensori küljes olev indikatiivne tuli on õiget värvi;
3. kas lastiruumi efektiivse kasutamise tarkvara kasutajaliides näitab õiget anduri staatust.

Katsetamise käigus selgus, et ultraheliandurid pole nii usaldusväärsed, kui projekti autorid esmalt eeldasid. Peamine probleem seisneb juhuslikes vigades, mida normaalse töö ajal ei tohiks juhtuda. Samuti ilmnes probleem, et sensorite tööd haldav tarkvara ei töötanud korrektselt, millele viitab asjaolu, et anduri küljes olev LED-indikatsioon ja anduri staatus kasutajaliideses tihti erinesid. Katsetuste käigus prooviti sensorid välja vahetada, eeldades, et probleem võib olla katkises riistvaras. Samuti üritati parandada anduritelt saadud andmete töötlemise algoritmi. Kahjuks ei andnud ükski eespool kirjeldatud meetmetest positiivset tulemust.

Autoteeki kõrgemates osades olevaid andureid (joonis 10, read 1, 2, 7 ja 8) ei saanud testida, kuna katsetuste esimese faasi jooksul sai selgeks, et olemasolev lahendus ei taga järjepidevalt usaldusväärset informatsiooni.

Andurite küljes olevaid indikatiivseid LED-lampe plaaniti kasutada abivahendina autode suunamiseks. Lahendus pidi nägema välja selline, et reas, kuhu sõiduk peab sõitma, genereerib liiklusvoo automaatse suunamise tarkvara jooksvate tulede rea, mis näitab, mis suunas eeldatav liiklusvoog peab liikuma. Ridades, mis on antud hetkel laadimiseks suletud, näitavad sensorite küljes olevad tuled statsionaarselt põlevat punast tuld nagu parkimismajade laes olevad indikatiivsed tuled, mis näitavad, millised parkimiskohad on hõivatud ja kuhu tohib parkida.

Paraku ei olnud prototüübis kasutatud LED-tuli piisavalt hästi ja selgelt nähtav juba mitme meetri kauguselt. Samuti otsustati sensorite ebakindla töö tõttu jätta sensorite arendus lõpetamata ning järgmistes arendusetappides jätkata teise transpordivahendite tuvastamise kontseptsiooniga.

### **5.3 Reisijate kogemus ja küsitlus automaatse liiklusvoo suunamise süsteemi kasutamise kogemuse kohta**

Autor küsitles pärast neid laadimisi, kui katsetati riistvara, reisijaid nende kogemuse kohta targa autoteeki süsteemi kasutamisel. Laadimiste valimi koostamise põhimõtteid on kirjeldatud käesoleva töö peatükis 5.2. Valim on esinduslik, sest sisaldab laadimisi erinevatel nädalapäevadel, mis tähendab, et küsitluses osalenud inimesed on nii püsikliendid, kes reisivad töö tõttu (ehk nn

pendelrändajad), kui ka turistid. Katsetused ja küsitlused tehti ajavahemikul 20.05.2020–21.06.2020. Neli esimest katsetust tehti ajavahemikul 20.05.2020–23.05.2020, kui Eesti ja Soome riigi piirid olid COVID-19 leviku tõkestamiseks turismi eesmärgil reisimiseks suletud. Sellest võib järeldada, et küsitletud olid valdavalt püsikliendid. Ajavahemikul 11.06.2020–14.06.2020 tehtud katsetuste ja küsitluse ajal oli reisimine turismi eesmärgil lubatud ainult Eesti riiki. Ajavahemiku 18.06.2020–21.06.2020 katsetuste ajal oli reisimine turismi eesmärgil lubatud nii Eesti kui Soome. Eespool kirjeldatud asjaolud viitavad sellele, et valdav osa küsitletud klientidest olid Soome riigi kodanikud ja need, kes reisisid töö tõttu. Seda väidet kinnitavad ka lisa 7 (Targa autoteeki küsitluse tulemused) esitatud andmed. Klientide jaotus turistide ja pendelrändajate rühmadesse on oluline, kuna sellest oleneb oluliselt klientide käitumine laeva autotekkidel laadimise ja lossimise ajal – see on seotud sellega, et pendelrändajatel on võrreldes turistidega palju suurem reisikogemus.

Reisijate käitumist Targa autoteeki katsetamise ajal on süstemaatiliselt vaadeldud ning kaardistatud tulemused on toodud lisa 5. Klientide käitumine peale suunavate signaalide ümberlülitamist erines olenevalt laadimise nädalapäevast, kellaajast ning klientide kuuluvusest kas pendelrändajate või turismireisijate rühma. Kliendid reageerisid laadimise kohta erinevatel laadimistel Targa autoteeki perifeeriaseadmete signaalidele õigesti 0–78% korraldustest. Mis tähendab, et ühe laadimise käigus mitte ükski klientidest ei märganud Targa autoteeki signaale (0% täidetud korraldused), kuid teised laadimised olid efektiivsemad st kliendid märkasid ja täitsid autoteeki signaale. Kõige efektiivsemalt õnnestus suunata liiklusvoogu laupäevastel laadimistel (78% täidetud korraldused), kus kaubaühikute arv oli minimaalne, laadimistempo rahulik ja pikivahed laevale sõitvate autode vahel olid suhteliselt suured. Suurt rolli klientide tähelepanelikus käitumises mängis ka nende meeleolu, millele viitab asjaolu, et päikesepaistelisel ilusa ilmaga päevadel panid reisijad Targa autoteeki suunavaid signaale palju paremini tähele.

Käesoleva kontseptsiooni töökindluses on suur roll inimeste inertsel mõtlemisviisil ning inertsel käitumisel liikluses. See väljendub selles, et katsetuste ajal jätkasid reisijad väga tihti sõitmist eelmiste autode järgi seni, kuni mõni tähelepanelikum autojuht pani tähele, et suunavad ekraanid ja viited suunasid teise kohta. See tähendab et käesoleva prototüübi raames kasutatud riistvarast jääb reaalse mehitamata laadimiste ajal väheks ja süsteemi peab tulevikus täiendama liiklusvoo suunamise abivahenditega, mida on kirjeldatud teoreetilise osa peatükis 1.3 „Veerevtehnika liiklusvoo suunamise kaasaegsed meetodid ja võimalikud arenguvõimalused tulevikus“. Lisaabivahendeid on tarvis ka juhtudeks, kui liiklusvoost on vaja suunata üksikauto (näiteks *Business Class*'i staatusega) teise ritta.

Rohkem suunamisvahendeid tuleb rakendada ka sadama rampidel, et tagada võimalus laadida kaks rida sõidukeid kõrvuti. Laeva liikumise rada on 3,2 meetrit lai ja mõni kartlik klient sõidab tihti kahe rea keskel, kuigi on ette nähtud kõrvuti sõit. Eespool kirjeldatud inertse liikumise efekti tõttu moodustavad juhid, kes sellise kliendi järel sõidavad, kahe rea asemel ühe, mis oluliselt vähendab laadimise efektiivsust ja kiirust.

Katsetused kinnitasid, et alati on kliente, kes üritavad kuritarvitada neile antud vabadust ja proovivad paigutada oma liiklusvahendid kohta, mis neile rohkem meeldib, hoolimata sellest, mida näitavad suunavad signaalid. Üldjuhul on need kohad kas trepi või liftiukse kõrval või väljasõidu lähedal, kust saab lossimise ajal esimesena laevast välja sõita. See tähendab, et Targa autoteki lahendus peab tagama järelevalve võimalusi ja täiesti mehitamata laadimine ei ole võimalik, sest peab olema inimene, kes sellistes olukordades eespool kirjeldatud klientidega tegeleb, selgitades neile, miks on selline käitumine laadimise ajal lubamatu.

Seitsmendale autotekile sõitvad kliendid, kes on üldjuhul staatusega *Garage* või *Shopping* reisijad, sõitsid peaaegu alati õigesti isegi juhul, kui suunavad ekraanid näitasid autori juhusliku vea tõttu vales suunas. See räägib meile sellest, et olulist rolli mängib klientide varasem kogemus reisiparvlaeva pardal. Samuti jäid kliendid, kes ei pannud oma varasemale kogemusele tuginedes suunavaid signaale tähele, meeskonnaliikme juurde jõudes seisma, oodates suunavaid märguandeid. See viitab sellele, et otsuseid tehes on tihti peamine ja otsustav tegur varasem kogemus, mis tähendab, et Targa autoteki süsteemi tuleks juurutada etappide viisi, andes klientidele võimaluse uuendustega harjuda.

Palju probleeme tekib siis, kui mõne kliendi liiklusvahend läheb katki ning ta ei saa ise sõita ettenähtud kohale laevas või sõita laevast välja. Sellistes olukordades peab tarkvara teavitama laadimise eest vastutavat isikut, kes kontrollib koha peal, mis täpsemalt juhtus. Automaatse liiklusvoo suunamise tarkvaras peab olema võimalus käsitsi märkida sellise liiklusvahendi asukoht autotekil, selleks et tarkvara arvestaks sellega ning teeks kohe laadimisplaani ja laadimisalgoritmi vajalikud parandused.

Peale igat testlaadimist saadeti klientidele autori koostatud küsimustiku elektrooniline link. Küsimustik koosnes mitmest lakoonilisest ja lihtsast küsimusest, sest autor soovis, et küsitlusele vastaks võimalikult palju inimesi ja et vastajates ei tekiks negatiivseid emotsioone, mis võivad olla seotud liiga pika küsimustiku või küsimuste keerukusega. Küsimustik on esitatud käesoleva magistritöö lisas 6.

Küsitlusele vastas kokku 312 inimest. Küsitluse andmeid analüüsi, lähtudes erinevatest parameetritest, nagu vastajate vanus, kodakondsus, sugu ja küsitluse tulemuste sõltuvus küsitluse kuupäevast. Küsitluse tulemuste graafilise analüüsi leiab käesoleva töö lisas 7.

47% küsitletutest vastasid, et märkasid laeva autotekile sisenedes Targa autoteki suunavaid signaale. Jaatavalt vastanud reisijatest 96% arvas, et juhised olid arusaadavad, ja 87% leidis, et Targa autoteki lahenduse abiga oli laeva autotekil mugavam ja kergem orienteeruda. Ootamatu tulemuse andis vastajate jaotus vanuse järgi. Kõige paremini märkasid Targa autoteki suunavaid signaale noored (vanuses kuni 24 aastat) ja eakad (vanuses 65+ aastat), vastavalt 67% ja 68%. Kodakondsuse järgi oli tulemus kõige parem Eesti kodakondsusega vastajatel, kellest 80% märkas Targa autoteki suunavaid signaale. Tulemuste jaotus kuupäevade järgi kinnitab autori teooriat, mida on eespool kirjeldatud ja mille järgi sõltub reisijate tähelepanu ja võimekus märgata uusi asju nende meeleolust ja reisijate rühmast (turistid või pendelrändajad).

Nii katsetuste kui vaatluste ja küsitluse tulemused viitavad selgelt sellele, et Targa autoteki arendusel on potentsiaali. Targa autoteki lahendus võib suurendada teenuse atraktiivsust ning tekitada lisandväärtust, kui arendada seda süstemaatiliselt, järjepidevalt ning piisava ettevaatusega.

## 6. Eeldatava lõpplahenduse visioonja elluviimise etapid

### 6.1 Ro-pax tüüpi laeva lastimine

Lastimine, ka laadimine, on kaupade paigutamine laeva. Rääkides Ro-pax tüüpi laevade laadimisest, peab autor kauba all silmas erineva kategooria veerevtehnika ühikute kogumit. Ro-pax tüüpi laeva kaubaühikud jagunevad kahte rühma: reisijate poole pealt broneeritud kaup ja kaubaveo eesmärgil broneeritud kaubaühikud.

Tabel 1. Reisijate poole pealt broneeritud veerevtehnika liigitus

Tüüp	Liik	Pikkus, m	Laius, m	Kõrgus, m
MC	Mootorratas	2,0	1,0	1,0
CAR	Sõiduauto	4,8	2,1	1,9
VAN	Kaubik	7,0	2,1	2,25
VAN_H	Kaubik	7,0	2,1	2,4
L_L	Sõiduauto haagisega	10,0	2,1	1,9
L_M	Kaubik haagisega	10,0	2,7	2,25
L_H	Kaubik haagisega	10,0	2,7	4,4
BUS	Buss	14,0	2,7	4,4

Allikas: (autori koostatud)

Sõidua autod jagunevad omakorda järgmisteks alarühmadeks: *First class* sõiduauto, *Priority* sõiduauto, *Club One gold* sõiduauto, *Shopping* sõiduauto, *Garage* sõiduauto, *Pre-order* sõiduauto, *Overnight* sõiduauto, *Handicap* sõiduauto, sõiduauto väikeste lastega ning sõiduauto lemmikloomadega.

Tabel 2. Kaubaveo eesmärgil broneeritud veerevtehnika liigitus

<b>Tüüp</b>	<b>Liik</b>	<b>Pikkus, m</b>	<b>Laius, m</b>	<b>Kõrgus, m</b>
LOR	Veoauto	11	2,7	4,1
TT_25	Veoauto	17	2,7	4,1
TT_39	Veoauto	17	2,7	4,1
MCH	Eritehnika	10	2,7	4,1
TRL	Poolhaagis	14	2,7	4,1

Allikas: (autori koostatud)

Veoadod jagunevad lisaks omakorda järgmisteks alarühmadeks: veoautod ohtliku kaubaga, veoautod pikkusega 18 meetrit või rohkem, veoautod, mis jäävad laeva ööbima, ülegabariidilised veoautod.

Seega lastitakse laeva 27 erinevat liiki veerevtehnika kategooriat, kus iga liigi paigutamisel peab arvestama regulatiivseid nõudeid ja klientide ostetud teenuseid.

Lastimise protsess jaguneb kolmeks osaks: ettevalmistamine laadimiseks, laadimine ja laadimisjärgsed toimingud. Esimene etapp hõlmab endas järgmist:

- eelmanifesti andmete analüüs;
- ilmaennustuse analüüs;
- laeva varude (kütus, määrdeõlid, joogivesi ja teised) ning ballasti koguse ja tankides paigutuse analüüs ja vajaduse korral ümberpaigutamine;
- kaubaplaani koostamine ;
- kaubaplaani kontroll: vastavus püstuvuse ja laeva ohutuse korraldamise süsteemi ja efektiivsuse tagamise nõuetele;
- laadimise algoritmi määramine;
- info edastamine tekimeeskonnale ja teistele laadimisega seotud osapooltele.

Teine etapp, lastimine, hõlmab endas järgmist:

- paika pandud plaani teostamise koordineerimine kaubatüürimeeste poolt (*Shuttle*-tüüpi laevadel toimub lastimine kahe tasandi rampide kaudu, mistõttu laadimist juhivad üldjuhul kaks tüürimeest);
- plaani operatiivne kohandamine tegelikult laadimiseks kohale jõudnud kauba järgi;
- kaubatüürimeeste korralduste täitmine ning veerevtehnika paigutamine tekimeeskonna poolt;
- sõiduvahendite juhtide ohutu liikumise tagamine autotekkidel;
- lasti kinnitamine.

Kolmanda etapi käigus teostatakse järgmist:

- kaubakinnituse kontroll ja vajaduse korral täiendamine;
- lõpliku kaubaplaani koostamine tegelikult lastitud kauba kogust ja paigutust arvestades;
- ballastivee ümberpumpamine, järgides efektiivsuse nõudeid;
- püstuvuse andmete arvutus.

Kokku koosneb lastimine kuueistkümnest ülesandest. Autor toob selle eraldi välja, et teha kindlaks mitut neist ja mil määral on võimalik automatiseerida või digitaliseerida, tuginedes tänapäevasele tehnoloogiale ja võimaliku tehnoloogia arengule.

Kõnealuse intermodaalse transpordisüsteemi osapooled on veoahela kahe lüli esindajad: ühel pool on laevafirma, keda esindavad konkreetsed Ro-pax tüüpi laevad, teisel pool maantee transpordifirmad või siis transporditava kauba reaalsed omanikud, kui me räägime reisijate isiklikest liiklusvahenditest. Aasta arvestuses on teenuse nõudlus prognoositav. Reisijate poole pealt on broneeritud kaubaühikute kogus suurem turismihooajal, mis meie regioonis on umbes mai keskpaigast kuni augusti keskpaigani. Lisaks prognoositakse suuremad kaubavood pikemate riigipühade ajaks (jõulud, lihavõttepühad) ning laste koolivaheaegade ajaks. Kaubaveo eesmärgil transporditava veerevtehnika vood on aasta arvestuses suhteliselt ühtlased, mõningate hooajaliste kõikumistega, kus näiteks rohkem kaupa liigub enne jõule või jaanipühi ja vähem kollektiivpuhkuste ajal, juuli algusest augusti keskpaigani.

## 6.2 Ro-pax tüüpi laeva lastimine Targa autoteki süsteemi abil

Käesolevas peatükis kirjeldab autor eeldatava Targa autoteki süsteemi tööpõhimõtet, tuginedes tehtud analüüsile, katsetustele ja küsitluse tulemustele. Visioon on loodud autori kogemuse, kolleegide ettepanekute ja Targa autoteki projekti töörühma töö väljundite põhjal, võttes arvesse nii olemasoleva prototüüplahenduse tugevaid külgi kui ka võimalikke tulevikuarendusi.

Kaubaplaani genereerimiseks uuenevad kaubakogused automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvaras automaatselt ja süstemaatiliselt. Andmete uuendamise sagedus oleneb sellest, kas laev on ülesõidul ühest sadamast teise või sadamas, teostades kaubaoperatsioone. Samuti oleneb andmete uuendamise sagedus laadimise faasist. Vahetult enne kaubaplaani genereerimist paneb kaubatüürimees paika kreeni ja diferendi eeldatavad parameetrid, võttes arvesse ilmastikuolusid ja andmeid EMMA *Ship Energy Manager*'i tarkvarast, mis soovib kütusekulu optimeerimiseks kõige efektiivsema diferendi, arvestades laeva eeldatavat kiirust ja süvist. Tulevikus võib ilmteadete ja EMMA tarkvara andmeid saata automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvarasse automaatselt, et programm saaks ise valida ülesõiduks sobiva kreeni ja diferendi.

Genereeritud \*.ld-formaadis kaubaplaani tõstab kaubatüürimees ümber NAPA püstuvuse programmi, teeb vajaduse korral parandusi ning kontrollib püstuvuse andmeid. Kauba paigutus võib erineda sellest, mida pakub lastiruumi efektiivse kasutamise tarkvara, olenevalt faktoritest, mis süvaõppega genereeritud algoritmidele on siiani võõrad ning on teada ainult kogenud kaubatüürimehele. Samuti peab korrektne ja asjakohane lastiplaan olema NAPA püstuvuse programmis juhaks, kui on vaja arvutada avariipüstuvust, kuna NAPA tarkvara on klassifikatsiooniühingu kinnitatud avariipüstuvuse arvutamise viis.

Parandatud kaubaplaani ekspordib kaubatüürimees lastiruumi efektiivse kasutamise tarkvarasse. Sellise algoritmi tulemusena peaks neurovõrkudel põhinev automaatse kaubaplaani genereerimise süsteem õppima selleks, et tulevikus genereerida kaubaplaani nii, et kaubatüürimehe parandusi oleks vaja ainult äärmisel juhul. See fail on aluseks automaatse liiklusvoo suunamisele. Kaubatüürimees peab panema paika konkreetseks laadimiseks mõeldud kaubakoguste piirväärtused, et ühest küljest tagada laeva maksimaalne täituvus ja teisest küljest vältida ülemüümist, kui klient füüsiliselt ei mahu laeva, kuigi talle on pilet müüdud. Kaubatüürimehele peab jääma ka võimalus kaubakoguste piirväärtusi laadimise jooksul muuta, juhaks kui selgub, et osa kaubast jäi tulemata ja on võimalus lisapileteid müüa.



Liiklusvoo suunamise algoritm kasutab lähteandmetena tegelikku informatsiooni nende kaubakoguste kohta, mis on sadamaalal reaalselt olemas (Targa sadama süsteemist). Selleks peab Targa autoteeki tarkvaral olema ligipääs Targa sadama vastavale andmebaasile, võttes arvesse raamistikku, mille loob NAPA püstuvuse programmis parandatud kaubaplaan liiklusvoo suunamise algoritmi jaoks.

Vaadates olukorda kliendi seisukohalt, tuleb mootorsõiduki juhil sadamaalale sisenedes sõita läbi eeltuvastusalast, kus liiklusvahend mõõdetakse, pildistatakse, tuvastatakse registreerimisnumber ja sõiduk suunatakse vastavasse *check-in*'i kioski. Olenemata sellest, kas *check-in*'i kiosk on mehitatud või mitte, peab kliendile olema edastatud informatsioon selle kohta, et kasutusel on automaatne laadimissüsteem, samuti teave, milliseid suunavaid signaale tal tuleb jälgida ja kuidas ta peab käituma. Range soovitus kliendile on kasutada mobiiltelefoni rakendust, mis võib olla osa juba olemasolevast kliendile mõeldud portatiivsete nutiseadmete programmist. Rakenduse töö on analoogne nutiseadmete GPS-navigaatorite tööga, selle vahega, et rakenduse eesmärk on suunata ja juhendada klienti nii sadamaalal kui ka laevas liikudes. Tulevikuarenduses võib seda täiendada peatükis 1.1.2 kirjeldatud liitreaalsuse lahendusega, et muuta see kliendile veelgi atraktiivsemaks ja mugavamaks. Mobiilirakendus soovib kliendile kohe ühendada portatiivne seade vastava laeva võrku. Selline lahendus on mõeldud selleks, et oleks võimalik tuvastada sõiduki täpne asukoht ka siis, kui see liigub laevas sees ja ühendus GPS-satelliitidega puudub. Eespool kirjeldatud protseduuri lakoonilised ja illustreeritud juhised peavad olema kliendile ka kohe peale reisi broneerimist saadetud kas e-posti teel või sama mobiilirakenduse kaudu selleks, et klient jõuaks nendega rahulikult tutvuda.

Juhul kui klient sadamaalal liikudes kas juhuslikult või eesmärgipäraselt sõidab ooteplatsi valesse ritta, saadab peatükis 3.2 kirjeldatud reavahetuse tuvastamise süsteem vastava teate kaubaplaani genereerimise tarkvarasse, mis kohe teeb kaubaplaani parandused. Klient saab märguande mootori käivitamise ja pealesõidu alguse kohta nii mobiilirakenduse kui ka visuaalsete ja helisignaalide kaudu, mida on samuti täpsemalt kirjeldatud peatükis 3.2. Teavitamise süsteemid on dubleeritud nii töökindluse eesmärgil kui ka selleks puhuks, kui osad kliendid põhimõtteliselt ei soovi või ei oska mobiilirakendusi kasutada. Samuti juhiks, kui kliendil ei ole portatiivset nutiseadet. Kliendil aitavad sadamaalal liikuda nii mobiilirakenduse navigaator kui ka täiendatud Targa sadama perifeeriaseadmed. Kliendi jõudmist rambile ja rambi pealt laeva jälgib süsteem numbrituvastusega kaamerate abil, saates vajaduse korral sõnumi kaubaplaani genereerimise tarkvarale, kui klient kas juhuslikult või eesmärgipäraselt sõidab valele tekile.

Laevas liikumine toimub samuti nii mobiilirakenduse kui Targa autoteki suunavate signaalide abil. Peatükis 5.2 kirjeldatud katsetuste tulemusena selgus, et käesoleva prototüüplahenduse raames kasutatud riistvarast ei piisa selleks, et tagada kõikidele klientidele arusaadav ja nähtav süsteem. Olemasolevat lahendust tuleb täiendada, lähtudes käesoleva magistritöö autori nõuannetest, ning vajaduse korral lisada sellised peatükis 1.3 kirjeldatud abivahendid nagu suunavad projektsioonid, programmeeritavad tulega braketid ja tulevikus V2X-protokolli kaudu Targa autoteki süsteemiga ühendatud liiklusvahendite teabe edastamise süsteemi sõnumid.

Tänapäevased positsioneerimise süsteemid võimaldavad määrata suunatava seadme asukohta ka Wi-Fi ja mobiilsidevõrkude abil väga hea täpsusega. Mobiilirakenduse ja Targa autoteki riisvara abil saab eeldatavasti suunata klienti talle ettenähtud kohale autotekis piisava täpsusega. Mobiilirakendus kuvab kliendile teate sellest, kui suure pikivahe järgmise autoga ta peab jätma. Kui klient kuritarvitab olukorda, et autotekis pole meeskonnaliikmeid, ja pargib oma auto kohale, mis talle rohkem meeldib, eirates suunavaid signaale, siis automaatse liiklusvoo suunamise tarkvara teavitab kohe kaubatüürimeest, kes saab minna kohale ja selgitada kliendile, miks selline käitumine on lubamatu.

Kaubatüürimehele mõeldud kasutajaliideses on olemas nii liiklusvoo automaatse suunamise aktiveerimise võimalus kui ka avariiseiskamise võimalus juhuks, kui hädaolukorra tõttu tuleb laadimine või lossimine peatada. Lastiruumi efektiivse kasutamise riistvara kogub andmeid autoteki anduritelt, numbrituvastuse kaameratelt laeva rambi ees ja laevale sissesõidul ja teistelt tuvastusseadmetelt ning kaubatüürimees näeb kasutajaliideses kauba reaalselt paigutust autotekil, mille järgi koostatakse lõplik kaubaplaan. Kaubaplaani faili impordib kaubatüürimees NAPA püstuvuse programmi selleks, et teha lõplik püstuvuse arvutus. Samuti võib andmed automaatselt saata ülddeklaratsiooni ja teiste sarnaste dokumentide eeltäitmiseks, mis peavad olema saadetud nii firma sees kui ka ametivõimudele.

Kauba ja sõidukite paigutuse informatsiooni saab kasutada mobiilirakenduses, mille abil kliendil on väga lihtne reisi lõpus enda auto üles leida. Sihtsadamasse jõudes saadetakse kliendile mobiilirakendusse teade selle kohta, et on aeg autotekile minna. Selline teenus lisab ühest küljest mugavust, sest kliendid ei pea veetma autotekil liiga palju aega. Teisest küljest aga saab niimoodi kliente hajutada, võimaldades hoida distantsi näiteks koroonavõi ükskõik millise viiruse leviku vähendamiseks. Samuti saadetakse kliendile mobiilirakendusse teade, kui ta peab mootori

käivitama või hakkama lossimise ajal sõitma, ka juhendavad teda lisaks Targa autoteki suunavad signaalid.

Enne lossimise algust peab kaubatüürimehel olema võimalus vaadata kasutajaliideses üle eeldatav lossimisalgoritm ja tuvastada, kas on eristaatusega kliente (*Business Class* või *Priority*), kes mingil põhjusel sattusid laadimise ajal valesse kohta, ja lossimisalgoritmi tuleb parandada selleks, et klientidele vastavat teenust osutada. See tähendab, et kasutajaliideses peab olema võimalus käsitsi määrata read, mis saavad lossitud esimestena. Juhul kui liiklusvahend mingil põhjusel ei liigu, peab Targa autoteki riistvara selle kohe tuvastama ja parandama laadimisalgoritmi, et vältida viivitusi. Vastutavale isikule saadetakse teade, kes läheb kohale, et kontrollida ja vajaduse korral aidata klienti.

Kohe peale lossimise lõppu algab uus laadimine. Juhul, kui mõni auto on rikkis ja ei ole võimeline enne laadimise algust laevast välja sõitma, peab kaubatüürimehel olema võimalus märkida kasutajaliideses selle asukoht, et nii automaatne kaubaplaani genereerimise kui automaatse liiklusvoo suunamise rakendused teeks kohe vastavad parandused ja kohandaks oma tööd. Üldjuhul tähendab see seda, et autoteki rida, milles rikkis auto paikneb, ei saa laadimise ajal kasutada seni, kuni liiklusvahend ei ole eemaldatud.

Lähtudes autori koostatud ja peatükis 6.1 kirjeldatud Ro-pax tüüpi laeva laadimise üksikasjalikust kirjeldusest ja projitseerides sellele peatükis 6.2 kirjeldatud eeldatava Targa autoteki lahenduse töökorralduse, võib öelda, et Targa autoteki lahendusega saab automatiseerida 60% tänapäeva laadimisest.

## **6.3 Targa autoteki elluviimise eeldatav etappide jaotus**

Kogu projekti arenduse võib mõtteliselt jaotada nelja etappi.

### **6.3.1 Esimene etapp**

Esimest, prototüübi loomise etappi võib pidada kontseptsiooni loomise eelduseks. See algas 2019. aasta alguses ning kestis 2020. aasta lõpuni.

### 6.3.2 Teine etapp

Teise etapi alguses peab olema korraldatud liiklusvoo suunamise ning liiklusvoos olevate inimeste käitumise psühholoogiliste aspektide uuring. Targa autoteki süsteemi arendamise edukus oleneb suurel määral psühholoogilistest ja klientide tähelepanu haaramise küsimustest. Uuring peab vastama küsimusele, kuidas suunamise süsteem peab olema üles ehitatud, et inimesed saaksid aru, mida neilt tahetakse, võttes arvesse põlvkondlikke, kultuurilisi ja muid eripärasid.

Teise etapi jooksul on tarvis kõrvaldada peatükis 3.2 kirjeldatud Targa sadama lahenduse puudujäägid. Kui puudujäägid saavad kõrvaldatud, tagab Targa sadama andmebaasis oleva info täpsus võimaluse luua kaubaplaan, lähtudes üksnes laadimisalgoritmi andmetest, juhul kui Targa autoteki numbrituvastuskaamerate töös esineb mingil põhjusel tõrkeid. Selline lähenemine parandab oluliselt Targa autoteki lahenduse töökindlust. Uute perifeeriaseadmete paigaldamisel peab kaaluma võimalust kasutada seadmeid, mida tulevikus on võimalik ühendada V2X-andmesideprotokolliga, et tagada autonoomsete liiklusvahendite juhtimissüsteemidega ühendamise võimalus. Meeles tuleb pidada ka *Pre-order*'i poe küllastajate suunamist ning selleks on vaja leida töökindel lahendus. *Pre-order*'i poodi küllastavad kliendid suunatakse poest väljudes sadama kogunemisala ridadesse 29–34 (vt joonis 2 – peatükk 3.2), mis tähendab, et nende teekond laeva on suhteliselt pikk ja keeruline. Samal põhjusel on tarvis täiendada targa sadama lahendust Tallinna Vanasadama 7. kai ääres. Autori nägemuse järgi peab Targa autoteki lahendust hakkama ellu viima kõigepealt kruisilaevadel. Peatükis 5.2 kirjeldatud katsetuste tulemused näitavad, et Targa autoteki süsteem toimib klientidest olenevatel põhjustel palju paremini rahulike laadimiste käigus. Mis tähendab, et nii sügavõppe tarkvara õpetamist kui ka klientide harjutamist uuendustega tasub alustada nii Eesti–Soome kui ka Eesti–Rootsi liinidel opereerivatel kruisilaevadel.

Äärmiselt oluline on luua väga hea kiirusega ning töökindel ja turvaline Wi-Fi-võrk nii sadamaalal kui laeva autotekkidel. See on eelduseks, et peatükis 6.2 kirjeldatud kliendi mobiilirakendus tõrgeteta töötaks. Samas ei tohi kliendil tekkida soovi võrku vahetada.

Reeder peab määrama töörühmale lisaks ka firma IT-osakonnast vastutava isiku, kelle teatud arv töötunde oleks ette nähtud projektiga tegelemiseks. Peatükis 5.2 detailselt kirjeldatud tarkvara testimise käigus ilmnis mitu suuremat probleemi, mis vajavad spetsialistide süstemaatilist ja väga põhjalikku analüüsi. Targa sadama ja Targa autoteki süsteemide vahelist ühendust luues peab pöörama väga suurt tähelepanu küberturvalisuse aspektidele. Targa sadama rakenduse kaudu on võimalik sulgeda ja avada väravaid, mille kaudu pääseb sadamaalale. Kuna sadam on ISPS-

koodeksiga käsitletud ala, peab kõrvaldama või muutma minimaalseks kuritegelike tegude riski, mida teoreetiliselt võib tarkade lahenduste kaudu teoks teha.

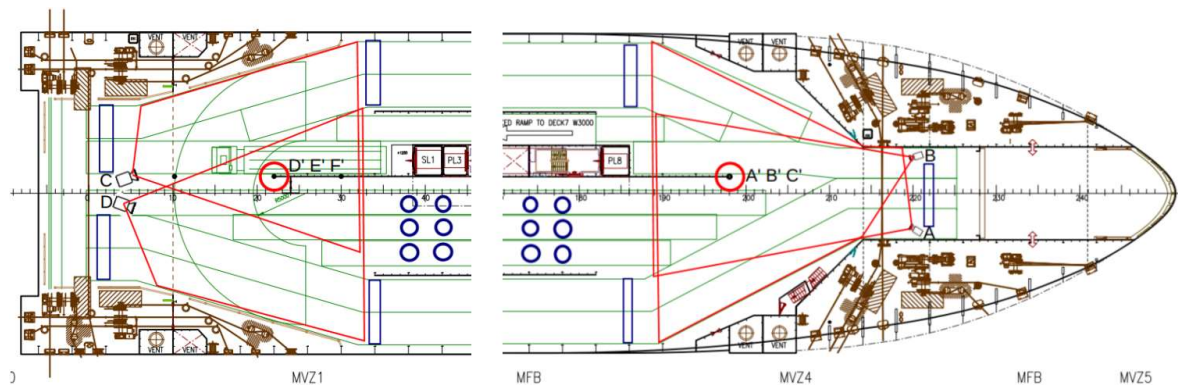
Õigusteadmistega spetsialist peab ära tegema eeltöö, et vältida peatükis 1.5 täpsemalt kirjeldatud seaduslikke mittevastavusi. Kõige suuremat tähelepanu vajavad vastutuse jagamise küsimused, mis on seotud kõigepealt sellega, et sadamaalal tegeleb liiklusvoogude juhtimisega tarkvara, mis asub laeva peal. Lisaks tuleb täpsemalt tegeleda andmekaitset puudutavate küsimustega, lähtudes sellest, et neurovõrkudel põhinevad algoritmid hakkavad tööle kaameratuvastuse abiga ning sellega, et kliendi liikumist jälgitakse Wi-Fi-võrkude kaudu.

Nii automaatse kaubaplaani genereerimise kui ka liiklusvoo suunamise tarkvara arendamist tuleb jätkata, kasutades neurovõrkude ja sügavõppe kontseptsioone. Arvestades suhteliselt suurt olemasolevatest \*.ld-formaadis kaubaplaanidest koosnevat andmebaasi, saab teoreetiliselt neurovõrgu ehitada ja olemasolevate andmete põhjal koolitada, et see saaks analüüsida uute laadimiste nõudeid ja selle põhjal uue plaani genereerida. Neurovõrgu tõhusaks väljaõppeks on vaja usaldusväärset andmekogumit, mida saab teisel arenguetapil tarkvarasse mustrina sisestada. Liiklusvoo suunamise algoritmi loomisel peab pöörama erilist tähelepanu järgmistele asjaoludele:

- iga kaubakategooria tegelik kaubakogus erineb üldjuhul sellest, mis oli eelmanifesti andmetes;
- kogu kaup ei ole sadamaalal valmis laadimisprotsessi alguses, vaid jõuab kohale jooksvalt laadimise käigus kuni laadimise lõpuni;
- nii lastiruumi efektiivse kasutamise kui liiklusvoo suunamise arvutusi tuleb laadimise käigus regulaarselt kohandada ja laadimisalgoritm peab pidevalt kohandama enda toimimisstrateegiat;
- reisijate liikumine autotekil sõidukist trepile või lifti peab olema ohutu.

Teise arenguetapi jooksul on tähtis testida Targa autoteki lahendusega ka mehitamata lossimist. Esimeses etapis rajati laeva autotekile ainult testala ning seetõttu lossimist ei olnud võimalik katsetada. Klientide käitumise tõttu võib lossimise ajal ilmnedagi seni teadmata probleeme, millele on vaja leida lahendused. Riistvara arendamisel peab arvestama, et esimeses etapis arendatud ultraheliandur tuleks asendada töökindlama anduri, kaamerate ja lidarite kombinatsiooniga. On ebapraktiline autotekid täies ulatuses anduritega varustada esiteks seetõttu, et selline lahendus on liiga kulukas. Teiseks muutub andurite suure arvu tõttu andmetöötlus liiga mahukaks ja autor leiab,

et sellise süsteemi tõrgeteta tööd on väga keeruline tagada. Prototüübi arenduse käigus loodud andurite lahendusest soovib autor jätta alles ainult jooksvate LED-tulede raja, mis näitab, mis suunas eeldatav liiklusvoog peab liikuma. Samuti võib olemasolevaid andureid arendada selliselt, et nad projitseeriks suunavaid märguandeid laevatekile. Joonisel 11 on näidatud võimalik autoteki sensorika planeering reisiparvlaeva Megastar viienda autoteki näitel. Lahendus koosneb andurite, lidarite ja kaamerate kooslusest. Kaameratega lahendus on tõenäoliselt kõige loogilisem, lähtudes ka sellest, et enamik olemasolevatest masinõppelahendustest, mis on leidnud praktilise rakenduse, põhinevad kaameratuvastuse tehnoloogiatel.



Joonis 11. Võimalik autoteki sensorika planeering

Allikas: (TalTechi Arvutisüsteemide instituut 2020)

Teise arenguetapi käigus peab alustama peatükis 6.2 kirjeldatud mobiilirakenduse loomist klientide jaoks. Lähtudes autori kogemusest ja arenduse esimesele etapile kulunud ajast, kestab teine arendusetapp vähemalt kolm aastat.

### 6.3.3 Kolmas etapp

Kolmanda etapi alguseks peab kõikide autotekkide riistvara olema paigas ja katsetatud.

Etapi põhieesmärk on koolitada neurovõrkudel ja sügavõppel põhinevat tarkvara. Automaatse kaubaplaani genereerimise tarkvara koolitamine käib selliselt, et kaubatüürimees tõstab genereeritud \*.ld-formaadis kaubaplaani ümber NAPA püstuvuse programmi, teeb vajaduse korral parandusi ning kontrollib püstuvuse andmeid, misjärel ekspordib kaubatüürimees parandatud kaubaplaani lastiruumi efektiivse kasutamise tarkvarasse. Sellise protseduuri tulemusena võrdleb automaatne kaubaplaani genereerimise tarkvara esialgset ja kaubatüürimehe parandatud kaubaplaani, analüüsib ja õpib.

Automaatse liiklusvoo suunamise tarkvara koolitamiseks on vaja, et see jälgiks korraldusi, mida kaubatüürimees Targa sadama ja Targa autoteki perifeeriaseadmetele annab, ja samal ajal ka informatsiooni loendurilt, sensoritelt ja kaameratelt, mille tulemusena kujuneb välja laadimisalgoritm.

Tuleb luua tarkvara komponent, mis korraldab sidet ja suhtlust liiklusvoo suunamise tarkvara ja Targa sadama tarkvara vahel. Teisisõnu, kui kaubatüürimees aktiveerib Targa sadama valgusfoori rohelise tule, siis Targa autoteki tarkvara saab vastava signaali serveri spetsiaalse komponendi kaudu ning suunab pardale tulevaid autosid kaubaplaani kohaselt. Alternatiivina peab veebipõhine kasutajaliides võimaldama samal ajal käitada nii Targa autoteki kui Targa sadama riistvara. Kolmanda etapi lõpuks peab olema lõpetatud arenduse osa, mille eesmärk on teha kindlaks, mismoodi liiklusvoo suunamise tarkvara juhib Targa sadama perifeeriaseadmeid, sest need on kaks sõltumatut süsteemi.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata sellele, kui kiiresti automaatne kaubaplaani genereerimise tarkvara suudab arvutada kaubaplaani ümber ja kogu Targa autoteki süsteem häälestab ennast ümber. On tõenäoline, et tarkvara parandatud kaubaplaan ei ole kõige optimaalsem, mis tähendab, et see osa vajab pidevat kaubatüürimehe tähelepanu. Autode liikumiskiirus peab jääma vahemikku 5–10 km/t. Autod ei tohi sissesõidul seisma jääda. Süsteem peab töötama viivituste ja tõrgeteta.

Üks probleemidest, mis tuleb kolmanda etapi käigus lahendada, on automaatse liiklusvoo suunamise ja manuaalselt käideldava kauba operaatorite koostöö. Manuaalselt käideldavaks kaubaks nimetab autor treilereid, proviandi autosid ja proviandi treilereid. Probleem seisneb selles, et eespool mainitud operaatorid liiguvad ühe laadimise jooksul nii laeva sisse kui laevast välja, lisaks teevad manöövreid laeva sees, ning neil puudub ühendus automaatse liiklusvoo suunamise süsteemiga. See tähendab, et juhul, kui autotekil pole meeskonnaliiget, puudub operaatoril võimalus liikumist peatada või suunata liiklusvoogu nii, et oleks võimalik teha vajalikke manöövreid või sõita laevast välja. Üks võimalikest lahendustest on muuta ka selle veerevtehnika töö autonoomseks, kasutades peatükis 1.4 kirjeldatud projekti AUTOPORT arendust. Vastasel juhul liiklusvoo suunamise tarkvara või kaubatüürimees määrab ja näitab kasutajaliideses kohad ja alad, kus läheb vaja meeskonnaliikmete abi.

Kolmanda etapi käigus on vaja teha kindlaks tööjõuvajadus Targa autoteki süsteemi funktsioneerimiseks. See tähendab, et olenevalt kaubakogustest peab astmeliselt määrama laadimisoperatsioonides osalevate inimeste arvu selleks, et tekimeeskonna tööd oleks võimalik

korraldada efektiivselt. Lisaks tuleb teha kindlaks laeva autotekkide täituvuse protsent, millest alates on võimalik täiesti autonoomne ja mehitamata laadimine. Arvesse peab võtma eespool kirjeldatud vajadust suunata ja korraldada liiklust seoses manuaalselt käideldava tehnika liikumisega, samuti seoses elektriühenduse, ohtliku kauba ning ülegabariidiliste kaubaühikute olemasoluga. Tööjõuvajaduse määramisel tasub arvesse võtta käesoleva töö peatükis 1.2 kirjeldatud globaalse tööjõu jaotuse tulevikusuuniseid, mille järgi on tertsiaarsektori osakaalu kasv tööjõujaotuses globaalne trend. See viitab sellele, et osa laevapere liikmetest võib kauba paigutamise asemel tegeleda klientide vastuvõtu, abistamise ja nende ohutuse tagamisega autotekil. Selline lähenemine muudab osutatava teenuse oluliselt atraktiivsemaks ja kvaliteetsemaks.

Kolmas arenduse etapp kestab vähemalt aasta aega, et tagada neurovõrkudel ja sügavõppel põhineva tarkvara koolitamine nii kõrg- kui madalhooaja alguses, võttes arvesse kõikvõimalikke laadimiste eripärasid.

#### **6.3.4 Neljas etapp**

Neljanda etapi käigus töötavad nii automaatne kaubaplaani genereerimise kui liiklusvoo suunamise tarkvara autonoomselt. Enne laadimise algust süsteem lossib laeva. Lossides võtab süsteem arvesse kaubaühikute laevale sõitmise järjekorda. Teisisõnu, need kliendid, kes sõitsid esimesena laeva pardale, sõidavad esimesena ka välja. Enne laadimise algust peab süsteem veenduma, et laev on tühi. Kaubatüürimehed jälgivad pidevalt süsteemi tööd. Neil peab olema võimalus võtta juhtimine üle ja jätkata laadimisega manuaalses režiimis eelmises peatükis kirjeldatud skeemi järgi.

Selle etapi käigus toimub süsteemi peenhäälestamine ja selliste funktsioonide arendamine nagu kliendi mobiilirakenduse funktsioon, mis aitab kliendil oma auto autotekil üles leida, ja andmete automaatne saatmine ülddeklaratsiooni ja teiste selliste dokumentide eeltäitmiseks, mis peavad olema täidetud ja saadetud nii firma sees kui ka ametivõimudele.

Neljanda etapi kestus oleneb selle edukusest.



## Kokkuvõte

Käesoleva uuringu peatükis 6.1 selgitati välja, et tänapäeval Ro-pax tüüpi laeva kaubatüürimees koos tekimeeskonnaga täidavad iga laadimise käigus kuusteist erinevat ülesannet. Nendest ülesannetest vähemalt kaksteist on võimalik automatiseerida. Targa autoteki lahendus peab tagama järelevalve võimalusi ja on vähe tõenäoline, et täiesti mehitamata laadimine on võimalik. Arenduse eeldatava kolmanda etapi käigus on vaja teha kindlaks tööjõuvajadus Targa autoteki süsteemi funktsioneerimiseks. See tähendab, et olenevalt kaubakogustest peab astmeliselt määrama laadimisoperatsioonides osalevate inimeste arvu. Võttes arvesse, et Shuttle tüüpi laeva meeskond teostab päeva jooksul kuus laadimist, siis võib tööjõukulude kokkuvõtte olla märkimisväärne ning olemasoleva tööjõukorralduse saab muuta tunduvalt efektiivsemaks. Samas peatükis oli kindlaks määratud et laeva lastitakse 27 erinevat kategooriat kaubaühikuid, millele peab olema tagatud vastav asukoht autotekkil tulenevalt püstuvuse nõuetest ja vastava kategooriale ettenähtud teenusele. Lähtudes tänapäeva arengutest tehisintellekti ja neurovõrkude valdkonnas leiab autor, et arenduse eeldatava kolmanda etapi järgi automaatne liiklusvoo suunamise tarkvara suudab genereerida efektiivsemat laadimisalgoritmi kui kaubatüürimees.

Lähtudes sellest et laadimine muutub efektiivsemaks ja kiiremaks, saab laev võita aega ülesõidu ajaks, mis tähendab ökonoomsemat kiirust, suuremat kütuse kokkuvõtte ja väiksemat ökoloogilist jalajälge heitegaaside koguse vähendamise tõttu.

Nii katsetuste kui vaatluste ja küsitluse tulemused viitavad selgelt sellele, et Targa autoteki arendusel on potentsiaali. Targa autoteki lahendus võib suurendada teenuse atraktiivsust ning tekitada lisandväärtust, kui arendada seda süstemaatiliselt, järjepidevalt ning piisava ettevaatusega.

Mobiilne rakendus oleks võimalik integreerida olemasolevate kaasaegsete navigatsiooni rakendustega nagu näiteks Waze, Google maps või Yandex, kus kajastub operatiivne informatsioon liiklusummikutest ning sellest infost lähtudes rakendus saaks soovitada kliendile sadamasse väljasõidu aega selleks et hajutada liiklust sadama lähedal olevatel teedel ning liiklussõlmedes. Soovitatud sadamasse saabumise aeg oleks määratud lähtudes loodud laadimisalgoritmi andmetest. See vähendaks transpordi veetud aega sadamas, liiklusvahendite mootorite töötamise aega ning vastavalt heitegaaside kogust. Samuti selline teenus suurendaks klientide rahulolu. Kogu arenduse kestvus on orienteeruvalt seitse aastat. Võttes arvesse projekti

pikaajalisust, tuleb luua ja kasutada selliseid süsteemi komponente, et oleks võimalik ühendada nad tulevikus autonoomsete autode süsteemidega. Võttes arvesse kiiret autonoomsete sõiduautode arengut võib kaaluda tuleviku alternatiivina sellist teenust, kus reisija, tulles sadamasse, annab Targa autoteki süsteemile õiguse juhtida enda sõidukit ja suundub selle järgi laeva selleks, et nautida huvireisi.

Edasise arenduse etappide käigus soovitab autor teha tervikliku analüüsi digitaliseerimise rakendamise mõjudest, hõlmates mitte ainult operaaatori ja tehnoloogilise lahenduse koostoime muutuste analüüsi, vaid kindlasti ka nende muutuste analüüsi, mis võivad ilmned tarkade lahenduste operaaatorite omavahelises koostöös. Samuti on tarvis täiesti autonoomsete ja mehitatud süsteemide vastastikuse mõju uuringut. Tuleb teostada liiklusvoo suunamise ning liiklusvoos olevate inimeste käitumise psühholoogiliste aspektide uuring ja analüüsida digitaliseerimise seaduslikke aluseid.

## **Abstract**

The main hypothesis that the author proves in the present research is that a smart cardeck automatic loading system is able to function emanating from today's technological possibilities, and society and passengers are ready to accept the nature and existence of such a system. The aim of the master's thesis is to generate a comprehensive vision of the expected smart cardeck automatic loading system and the stages of project implementation.

The research tasks are to analyze the trends and solutions of digitalisation in the field of transport based on theoretical sources, the suitability of the existing smart port solution and the readiness to integrate it with the smart cardeck automatic traffic flow management system and smart car deck project developments. Carry out tests of the hardware and software evolved during the smart cardeck development project and interview passengers about their experience in using this solution. In the last chapter of the work, the author offers a comprehensive vision and presumptive implementation stages of the expected Smart car deck automatic loading system based on the research.

The results of the tests, observations and survey, conducted during the study, clearly indicate that there is potential for the development for the smart cardeck project. Smart cardeck solution can increase the attractiveness of a service and create added value if it is developed systematically, consistently and with due diligence. The smart cardeck solution must provide monitoring capabilities and 100% unmanned loading is still not possible. During the supposed third phase of development, it will be necessary to identify manpower needs for the operation of the smart cardeck system. This means that depending on the quantity of goods, the number of people involved in loading operations must be determined gradually. The whole project development can be conceptually divided into four stages. The total duration of the development is approximately seven years, while the first two-year phase has already been executed.

The thesis is in estonian language and contains 80 pages of text, 6 chapters, 11 figures, 3 tables.

## Viidatud allikad

Allen, P., Wadsworth, E., Smith, A. (2007). The prevention and management of seafarers' fatigue: a review. *Int Marit Health*, 58(14), 167-177.

Alop, A. (2019). The Main Challenges and Barriers to the Successful “Smart Shipping”. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 13, No. 3, 521-528.

Anderson, S. (2020). Mass Customization.

<https://www.investopedia.com/terms/m/masscustomization.asp#:~:text=Mass%20customization%20is%20the%20process,satisfy%20a%20specific%20customer's%20needs.&text=Other%20names%20for%20mass%20customization,or%20built%2Dto%2Dorder.> (28.01.2021)

Arenguseire keskus. (2018). Tööturg 2035. Tööturu tuleviku suunad ja -stsenaariumid.

Arenguseire keskus. [https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2018/08/tooturg\\_2035\\_tooturu\\_tulevikusuunad\\_ja\\_stsenaariumid\\_A4\\_veeb.pdf](https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2018/08/tooturg_2035_tooturu_tulevikusuunad_ja_stsenaariumid_A4_veeb.pdf)

Arenguseire keskus. (2020). Merekaubanduse tulevik: arengusuunad ja stsenaariumid.

[https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2020/09/2020\\_Merekaubandus\\_aruanne-1.pdf](https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2020/09/2020_Merekaubandus_aruanne-1.pdf)

Arntz, M., Gregory, T., Zierahn, U. (2016). The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis, OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. OECD. Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en>

Bardi, J. (2020). What is Virtual Reality? [Definition and Examples] <https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality/> (28.01.2021)

Bercman. (2021). Intersection Control Unit (in development). <https://www.bercman.com/products/intersectioncontrolunit> (23.01.2021)

Berkana, A. (2017). Mis asi on *Big Data*. (ven *Что такое Big data.*) <https://rb.ru/howto/chtotakoe-big-data/> (28.01.2021)

Bureau Veritas (BV). (2019). NI-641 Guidelines for Autonomous Shipping, October 2019. [http://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/641-NI\\_2019-10.pdf](http://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/641-NI_2019-10.pdf) (25.01.2021)

Chen L., Li M., Shaw S., Nüchter A. (2014). A sensor fusion drivable region and lane detection system for autonomous vehicle navigation in challenging road scenarios. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63 (2), 540–555.

Commercial & Industrial Security Corporation (CISCO). (2021). Mis asi on küberturvalisus? (ven *Что такое кибербезопасность?*) [https://www.cisco.com/c/ru\\_ru/products/security/what-is-cybersecurity.html](https://www.cisco.com/c/ru_ru/products/security/what-is-cybersecurity.html) (28.01.2021)

European Commission Community Research and Development Information Service (CORDIS). (2020). All Weather Autonomous Real logistics operations and Demonstrations. <https://cordis.europa.eu/project/id/101006817> (18.01.2021)

Craddock, F., Komardenkov, S., Solvag, K.M.S. (2015). Road projections. CIID. Project proceedings. <http://ciid.dk/education/portfolio/idp15/courses/people-centred-research/projects/road-projections/> (22.01.2021)

Creswell, J. W. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches* (3rd ed.). Sage Publications Inc.

- De Jong, G. (2018). Autonomous ships. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/autonomous-ships> (25.01.2021)
- Danish Maritime Authority (DMA). (2016). A pre-analysis on autonomous ships. [https://www.dma.dk/Documents/Publikationer/Autonomie%20skibe\\_DTU\\_rapport\\_UK.pdf](https://www.dma.dk/Documents/Publikationer/Autonomie%20skibe_DTU_rapport_UK.pdf) (24.01.2021)
- Det Norske Veritas & Germanischer Lloyd (DNV GL). (2018). Autonomous and remotely operated ships. <http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/cg/2018-09/dnvgl-cg-0264.pdf> (24.01.2021)
- European Commission (EC). (2021). Maritime Autonomous Ships and Shipping. [https://ec.europa.eu/transport/modes/maritime/mass\\_en](https://ec.europa.eu/transport/modes/maritime/mass_en) (26.01.2021)
- Ermakov, A. (2020). Automation of vehicles placement in Ro-pax ship loading: magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn.
- Homem de Almeida Correia, G., Milakis, D., Arem, B., Hogendoorn, R.G. (2016). Vehicle automation and transport system performance. Handbook on Transport and Urban Planning in the Developed World, 498-516.
- Hult, C., Praetorius, G., Sandberg, C. (2019). On the Future of Maritime Transport – Discussing Terminology and Timeframes. The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. Vol. 13, No. 2, 269-273.
- International Maritime Organization (IMO). (2018a). IMO takes first steps to address autonomous ships. <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MSC-99-MASS-scoping.aspx> (24.01.2021)
- International Maritime Organization (IMO). (2018b). Autonomous shipping. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx> (24.01.2021)
- Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group.
- Kalle, E., Aarma, A. (2003). Teadustöö alused. Tallinn: OÜ Infotrükk.
- Karpovich, V. (1980). Probleemid, hüpotees, seadus. (ven *Проблема, гипотеза, закон.*) Novosibirsk.
- Laherand, M. L. (2008). Kvalitatiivne uurimisviis. Tallinn: OÜ Infotrükk.
- Lippmaa, K. (2020). Simulatsioonikeskkond Targa Autoteki projekti jaoks: magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool: Tallinn.
- Lloyds Register. (2015). Global Marine Technology Trends 2030, 58.
- Lützhöft, M., Dahlgren, A., Kircher, A., Thorslund, B., Gillberg, M. (2010). Fatigue at sea in Swedish shipping - a field study. American Journal of Industrial Medicine, 53(7), 733-740.
- Maailma Majandusfoorum. (2016). The Future of Jobs, Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_FOJ\\_Executive\\_Summary\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_FOJ_Executive_Summary_Jobs.pdf)
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Hung Byres, A. (2011). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation#> (27.01.2021)

- Mertens, P., Barbian, D. (2016). Digitalisierung und Industrie 4.0 – Trend mit modischer Überhöhung? *Informatik-Spektrum*, 39(4), 301-309.
- Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. (2017). Tööstuspoliitika roheline raamat. [https://www.koda.ee/sites/default/files/content-type/content/2018-02/toostuspoliitika\\_roheline\\_raamat.pdf](https://www.koda.ee/sites/default/files/content-type/content/2018-02/toostuspoliitika_roheline_raamat.pdf) (27.01.2021)
- Miller, S. (2015). Mind: How to Build a Neural Network (Part One). 10.08.2015. <http://stevenmiller888.github.io/mind-how-to-build-a-neural-network/> (21.01.2021)
- Mugellesi, R., Rinaldo, R., Huebner, N. (2017). Autonomous Road Transport. ARTES Integrated Applications Promotion. ESA 09.03.2017 Webinar proceedings.
- Murgoitio, J., Vazquez, F., Samaniego, R., Paz E., Sachocos, M., Arejita, B., Urquiza, A., Veiga, E. (2016). Spanish initiative for fully automated stowage on roll-on/roll-off operations. *Transportation Research Procedia*. Volume 14, 173-182
- Mussomeli, A., Gish, D., & Laaper, S. (2016). The rise of the digital supply network. Deloitte University Press. [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465\\_Digital-supply-network/DUP\\_Digital-supply-network.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465_Digital-supply-network/DUP_Digital-supply-network.pdf)
- Naveen, J. (2019). Traffic management with modern technologies. <https://www.bbtntimes.com/technology/traffic-management-with-modern-technologies> (22.01.2021)
- Nechaev, Y., Petrov, O. (2020). Intellectual technology for control of dynamic unsinkability on the unmanned vessels (in Russian). *Marine intellectual technologies*, 3(1), 133-138.
- Netherlands Ministry of Infrastructure and Water Management. (2020). Smart Shipping: comprehensive automation in the maritime sector. <https://www.government.nl/topics/maritime-transport-and-seaports/smart-shipping-comprehensive-automation-in-the-maritime-sector#:~:text=The%20term%20Smart%20Shipping%20refers,the%20crew%20to%20take%20action.> (26.01.2021)
- Novel Inland Water Transport and Maritime Transport Concepts (NOVIMAR). (2017). NOVIMAR and the vessel train concept. <https://novimar.eu/concept/> (17.01.2021)
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2018). The Future of Social Protection: What works for non-standard workers? Policy Brief on the Future of Work. <https://www.oecd.org/employment/future-of-socialprotection.pdf>
- O’Flaherty, C.A. (2006). *Transport Planning and Transport engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 517-531
- Osram Continental. (2021). Our Projection System. The Key to Customer Experience. <https://www.osram-continental.com/solutions/projection-solutions> (22.01.2021)
- Päll, H. (2018). Eesti tööstuse digitaliseerimist toetavate metmete arendamine: bakalaureusetöö. Tartu Ülikool: Tartu.
- Perera, L. (2019). Deep learning towards autonomous ship navigation and possible colregs failures. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 05 2019. <https://hdl.handle.net/10037/17949> (20.01.2021)
- Parametric Technology Corporation (PTC). (2021). Liitreaalsus. <https://www.ptc.com/ru/technologies/augmented-reality> (28.01.2021)

- Reese, H. (2017). Understanding the differences between AI, machine learning, and deep learning. <https://www.techrepublic.com/article/understanding-the-differences-between-ai-machine-learning-and-deep-learning/> (28.01.2021)
- Rizvi, S., Knöchelmann, M., Ley, P. P., Lachmayer, R. (2017). Survey of on-road image projection with pixel light systems. Leibniz Universität Hannover. Photonics Prague 2017 conference proceedings.
- Romanas, P. (2018). Optimal stowage on Ro-Ro decks for efficiency and safety. *Journal of Marine Engineering & Technology*. <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1516942> (18.01.2021)
- Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. Davos: World Economic Forum. <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/> (26.01.2021)
- Servinski, M., Leesment, M. (2018). Eesti tööhõive struktuurimuutus aastatel 1989–2017 ja selle piirkondlikud erisused. *Riigikogu Toimetised* Nr 37, 147-160. <https://rito.riigikogu.ee/wordpress/wp-content/uploads/2018/06/Servinski-Leesment.pdf>
- Soom, J. (2020). Smart Car Deck Sensor Network Development for Tallink Megastar: magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool: Tallinn
- Steiner, S. (2009). Strategic framework of transport development. *Transport Problems* 4(1), 5-14
- Suurtamm, D. (2020). Autonoomsete laevade integreerimisprotsess: artikkel. *TalTech Eesti Mereakadeemia*: Tallinn
- Szozda, N. (2017). INDUSTRY 4.0 AND ITS IMPACT ON THE FUNCTIONING OF SUPPLY CHAINS. *LogForum*, 13(4), 401-414. <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2017.4.2>
- Tabri, K., Makarov, I. (2020) Concept for Defining an Optimal Position for Ro-Ro Cargo. Targa autotehnikaprojekti tulemite vahekokkuvõte. 13.03.2020
- TalTech Arvutisüsteemide instituut. (2020). Smart car deck solution on the example of Tallink Megastar vessel. Project documentation. Version 1.2
- Tampere, Y. (2019). Nutikas ülekäigurada säästab tulevikus elusid ja pitsat sõidutava pakiroboti aega. <https://www.accelerista.com/uudis/innovatsioon/nutikas-ulekaigurada> (23.01.2021)
- Tark Sadam projektikirjeldus. (2014). Tootearendus pilootprojekti “Tark Sadam”
- The Signchef. (2021). Holographic Traffic Signs. <https://www.thesignchef.com/blog/holographic-traffic-signs> (23.01.2021)
- Timberg, K. (2019). Targa sadama kasutajakogemus AS Tallink Grupp näitel: magistritöö. *TalTech Eesti Mereakadeemia*: Tallinn
- Tulvi, A. (2013). *Logistika*. Tallinn: Innove
- Wikman, J. (2016). Study investigating cost effective measures for reducing the risk from fires on ro-ro passenger ships (FIRESAFE). Lisbon, Portugal: EMSA.
- Õunapuu, L. (2014). Kvalitatiivne ja kvantitatiivne analüüs sotsiaalteaduses. Tartu : Tartu Ülikool
- Äripäev AS. (2019). Tallink ja TalTech hakkavad koos tarka laeva arendama. *Logistikauudised.ee*. 16.01.2019 <https://www.logistikauudised.ee/uudised/2019/01/16/tallink-ja-taltech-hakkavad-koos-tarka-laeva-arendama> (24.11.2020)
- Yanchin, I., Petrov, O. (2020). Towards Autonomous Shipping: Benefits and Challenges in the Field of Information Technology and Telecommunication. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 14, No. 3, 611-619.

Yin, R. K. (2003). Case study research: design and methods (3rd ed.). SAGE Publications Inc.



## Lisa 1. Ettevõtte Vrio nutikate teede visioon

Ettevõtte Vrio analüütikute visiooni järgi ühendavad nutikad teed füüsilise infrastruktuuri, nagu andurid ja päikesepaneelid, tarkvarainfrastruktuuriga, nagu tehisintellekt ja suurandmed. Nutikad teetehnoloogiad on teedesse sisse ehitatud ja võivad parandada nähtavust, toota energiat, suhelda autonoomsete sõidukitega, jälgida teeolusid ja palju muud. Seitse kõige paljulubavamat tehnoloogiat selles vallas on järgmised (Vrio 2021):

- Päikeseenergiaal töötavad sõiduteed, mille fotogalvaanilised elemendid on põimitud karastatud klaasist valmistatud kuusnurkse paneeli sisse, mida kasutatakse teede sillutamiseks. Need paneelid sisaldavad LED-e, mikroprotsessoreid, lund sulatavaid kütteseadmeid ja elektrisõidukite induktiivset laadimisvõimalust sõidu ajal. Klaas on taastuv ja seda saab muuta terasest tugevamaks ning see võimaldab autodel ohutult peatuda ka suurel kiirusel liikudes. Kuigi see idee on leidnud suurt toetust, on selle laialdasem kasutuselevõtt päris keeruline, kuna see on endiselt kallis.
- Nutikad teed, mis on spetsiaalselt projekteeritud sõiduteed, varustatud nutikate funktsioonidega, sealhulgas anduritega, mis jälgivad muutuvaid teeolusid ja annavad neist teada, ning WiFi-saatjatega, mis pakuvad sõidukitele, kodudele ja ettevõtetele ühendust internetiga. Nutikas tee võib elektriautosid laadida ka nende sõidu ajal.
- Kuma pimedatel teedel. Olemasolevatele sõidutee pindadele kantud hõõguv teemärgistus kasutab päevavalgust neelavat ja talletavat fotoluminestsentspulbrit. Teemärgistuse ribad helendavad pimedas kaheksa tundi. See tehnoloogia on alles katsetamise etapis ja sära pole veel ühtlane, kuid see võib olla kulutõhusam kui traditsioonilised teemärgistuse tehnoloogiad.
- Interaktiivsed tuled, mis on liiklusandurite aktiveeritud teevalgustus, mõeldud selleks, et valgustada autode lähenedes teatud teelõiku. Tuled tuhmuvad, kui auto möödub. Vähema liiklusega teedele sobivad interaktiivsed tuled tagavad vajaduse korral öise nähtavuse ja vähendavad energiakulu, kui autosid pole. Lisavõimalusena võib olla mööduva sõiduvahendi tekitatud tuuleenergia kasutamine.
- Rada elektrisõidukite laadimiseks. Sisseehitatud kaablid genereerivad magnetvälju, mis laevad elektrisõidukeid sõidu ajal. Sõiduki vastuvõtmismähis võtab vastu tee sees olevast saatjapoolist elektromagnetilised võnked ja muundab need vahelduvvooluks, mis võib seejärel autot toita. Paigal olevate autode jaoks on induktiivne laadimistehnoloogia juba

olemas, kuid tulevane traadita tehnoloogia võib akusid laadida ka liikumise ajal, pakkudes pikema sõidu võimalust.

- Ilmaolude tuvastamine. Integreeritud tehisintellektiga andurite võrgud tuvastavad liiklusohutust mõjutavaid ilmastikuolusid. Dünaamiliselt reageeriva temperatuuritundlikku värvi võiks kasutada nähtamatute sõiduteeolude, näiteks musta jää esiletõstmiseks.
- Liikluse tuvastamise süsteemidest saadud andmed, mis aitavad marsruute planeerida. Teede sisse ehitatud andurid jälgivad liiklusvoogusid ja kasutavad tehisintellekti tehnoloogiaid näiteks valgusfooride haldamiseks. Uued tehnoloogiad suudavad liiklusvooge reaajas töödelda ja optimeerida.

## **Lisa 2. Autonoomse laevanduse temaline meedia ülevaade aastatel 2018 – 2020**

Käesolevas lisas autor teeb ülevaate avalikult saadavatest veebipõhiste meediaväljaannete artiklitest.

Eriti aktuaalseks on teema muutunud viimaste aastate jooksul, kui digitaliseerimise tehnoloogiad on plahvatuslikult arenenud. 2018. aasta alguses avas Rolls-Royce autonoomse laevanduse uurimiskeskuse Soomes. Uurimis- ja arenduskeskuse peamine eesmärk on uurida, arendada ning tutvustada ja eksponeerida nii juba kasutusele võetud tehnoloogiaid kui neid, mis on arendusjärgus. Umbes samal ajal alustas Hiina Aasia esimese autonoomsete laevade katseala ehitamist. Wanshani katseala on 225 ruutkilomeetri suurune tsoon, kus operaatorid saavad katsetada autonoomset laevade juhtimist, navigeerimist, kokkupõrke ja takistuste vältimist. Käesolev katseala on maailma suurim. Sama aasta kevadel kiitis EL heaks Maerski ja IBMi plokiahela ühisettevõtte, mis keskendub globaalse kaubanduse turvalisuse tõhustamisele, kasutades plokiahela tehnoloogiat. Aprillikuus avas Hiina uue, maailma suurima täielikult automatiseeritud konteineriterminali Šangshani süvaveesadamas, mis tõestab riigi ambitsiooni olla ülemaailmses kaubanduses esirinnas. Soome tehnoloogiakontsern Wärtsilä teatas 16. oktoobril 2018 Singapuris rahvusvahelise merenduse küberkeskuse (IMCCE) avamisest. IMCCE on esimene seda tüüpi mereorganisatsioon, mille asutasid Wärtsilä ja Templar Executives, et tööstustel oleks asutus, mis aitab kasvatada küberteadlikkust ja küberintsidentidele reageerida. IMCCE koosneb merenduse küberhädaolukordade lahendamise meeskonnast (MCERT) ja küberakadeemiast. Sama aasta lõpus sõlmiti veel mitmed märkimisväärsed kokkulepped küberturvalisuse suurendamise eesmärgil, millest enamik tugines plokiahela platvormi kasutusele. Detsembris nägi valgust laevade küberturvalisuse juhiste uus versioon, mille koostasid koostöös merendusorganisatsioonid BIMCO, CLIA, ICS, INTERCARGO, INTERMANAGER, INTERTANKO, IUMI, OCIMF ja WORLD SHIPPING COUNCIL. (SAFETY4SEA 2018)

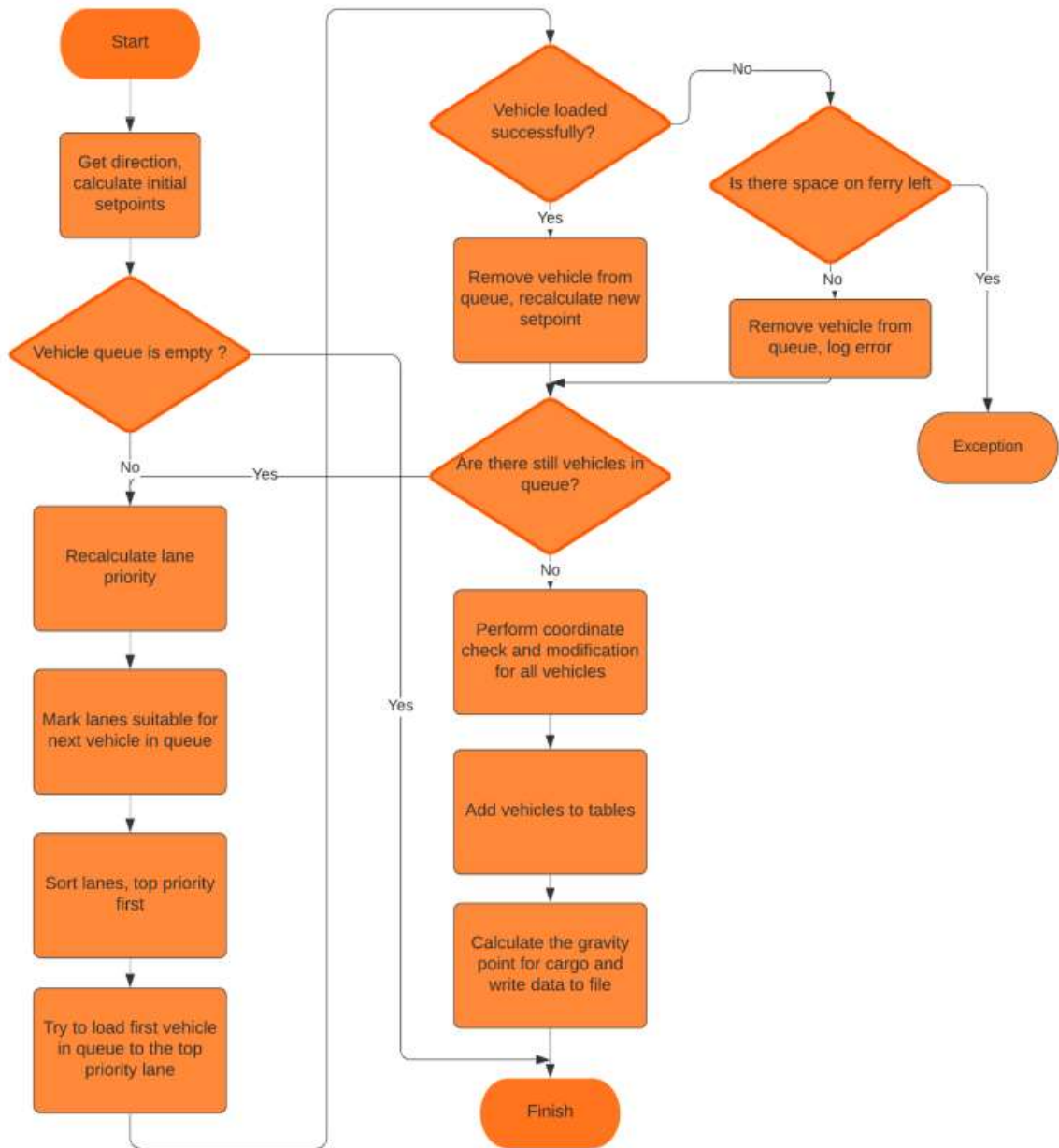
2019. aasta alguses kuulutasid DNV GL ja Klaveness Ship Management, et korraldasid maailma esimese digitaalse inspektsiooni konteinerilaeva MV Bardu pardal. Rotterdami sadama ametivõimud käivitasid asjade interneti (IoT) platvormi, mis on esimene kasutusele võetud hüdro-meteorakendus, mille eesmärk on muuta sadama tegevus ohutumaks ja tõhusamaks. Veebruarikuus löid Soome georuumiuuringute instituut ja Aalto ülikool koostöös Fleetrange'i ja

Tallink Grupiga süsteemi, mis tuvastab ja tunneb automaatselt ära objektid, näiteks navigatsiooniabivahendid ja muud laeva ümbruses olevad alused, parandades olukorradeadlikkust. Autonoomne alus Sea Hunter tegi esimese mehitamata reisi San Diegost Pearl Harbori sadamasse. Kevadel tegi ühisprojekt Autonomous Shipping mitmeid autonoomseid katseid. MAN tutvustas reaalajas andmete analüüsi digitaalset platvormi. Maikuus teeb autonoomne ja mehitamata laev Maxlimer maailma esimese reisi üle Atlandi ookeani Kanadast Inglismaale. MPA Singapore avas ööpäev läbi avatud mereküberjulgeoleku operatsioonide keskuse. Sügisel käivitas Singapur Centre of Excellence'i keskuse, mis keskendub autonoomsete laevade arendamisele. The Maritime UK avalikustas autonoomseid laevu käsitleva tegevusjuhendi ajakohastatud versiooni, aidates omanikel ja teistel huvitatud osapooltel järgida konkreetseid juhiseid, keskendudes ohutusele, keskkonnakaitsele ja tehniliste lahenduste õigele valikule. Hamburg Süd tõi turule konteinerite kaughalduse tehnoloogia, Maersk aga uuendatud virtuaalse assistendi Kapten Peter. (Moller 2019) Mõlema lahenduse otstarve on aidata klientidel jälgida oma kaupu.

2020. aastal olid digitaliseerimise põhitrendid kaugvaatlused, -survey'd ja -kontrollid, digitaalsed sertifikaadid, e-koolitused, kaugtöötamise lahendused ja virtuaalsed foorumid.

### Lisa 3. Üldine laadimisalgoritm

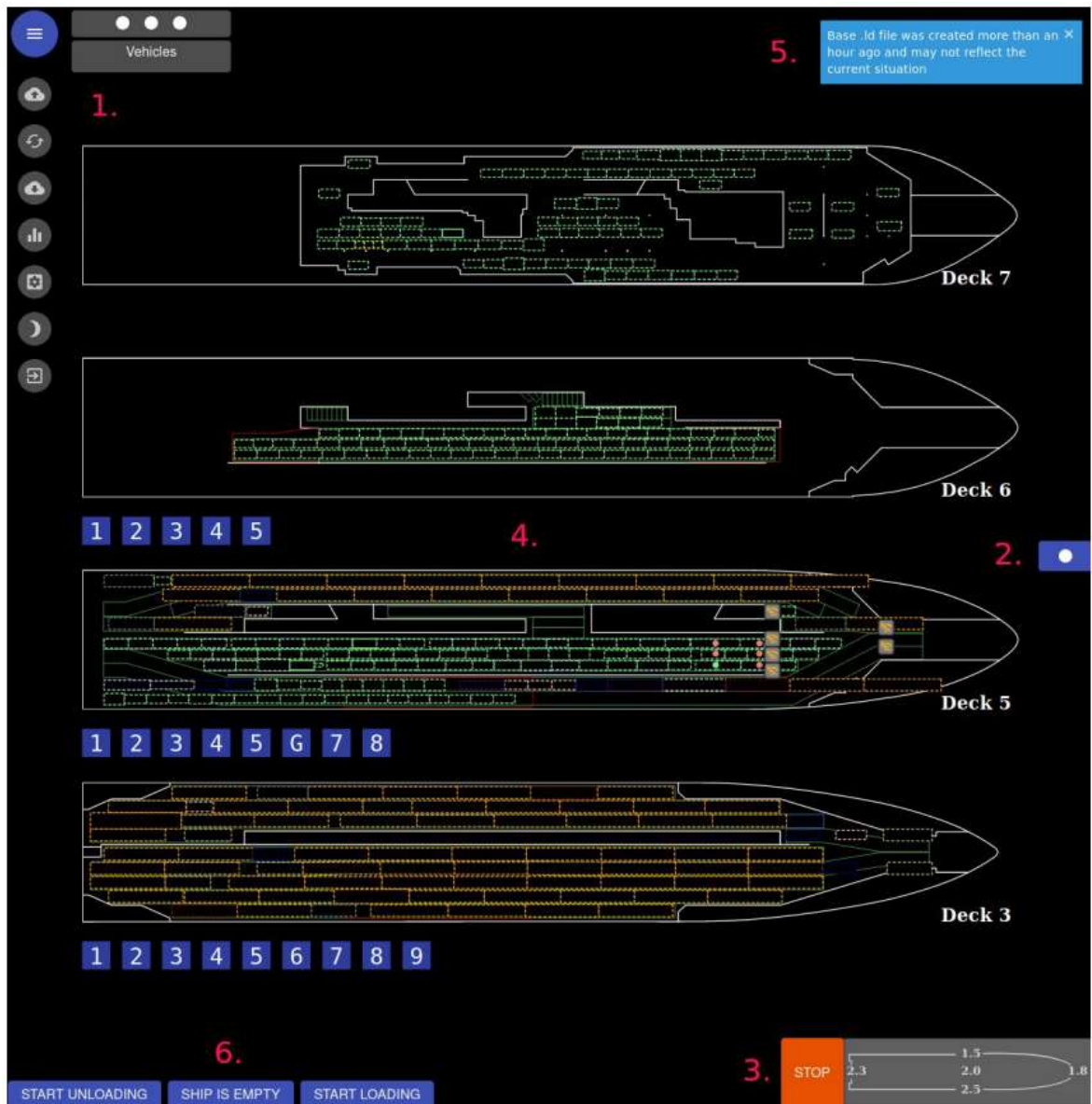
Laadimisalgoritmi plokkiskeem on võetud Ermakovi diplomitööst *Automation of vehicles placement in Ro-pax ship loading*. Lõputöö keeleks on inglise keel.



Allikas: (Ermakov 2020)

## Lisa 4. Kasutajaliidese põhivaade

Käesolevas lisis autor toob esile väljavõtte Tallink Megastari targa autoteeki kasutajaliidese kasutusjuhendist. Joonisel on näidatud kasutajaliidese põhivaade.



Allikas: (Tallink Megastari targa autoteeki kasutajaliidese kasutusjuhend)

Nummerdatud alade tähendus:

1. Põhimenüü nupud
2. Tekkide vaate juhtnupud
3. Laeva püstuvuse teave ja laadimise avariiseiskamise nupp
4. Tekkide vaade koos tekiandurite ja LED-ekraanide juhtimisnuppudega
5. Teadete ala
6. Automaatse liiklusvoo juhtimise nupud

## Lisa 5. Tabel 3. Riistvara testimise kaardistamine

Tabel 3. Riistvara testimise tulemuste koondtabel

	Kuupäev	Kellaeg	Autode arv ülemistel tekkidel	Tabloode ümberlülituste arv	Valede reageerimiste arv	Õigete reageerimiste arv	Eeldatavad kliendid	Märkused
1	20.05.20	13:30	82	6	4	2	Eeldatavalt püsikliendid, kuna piirid on avatud ainult töö asjus ja eriloaga reisijatele. Eesti ja soome turistidele on piir suletud.	Signaalide ümberlülitamise aeg peale nupu vajutamist on 2–3 sekundit, mis koosneb ekraani reageerimise viivitusest, mille järel ekraan korraks kustub ja siis läheb põlema õige signaal. Ekraanide ümberlülitamisel ei reageeri juhid kohe, vaid sõidavad inertsist eesolevate autode järel. Üks juht tahtis sõita garaaži autode järgi 7. tekile. Üks juht tahtis parkida B-ukse kõrvale, ei sõitnud rea lõpuni. Kaks juhti ei saanud peale ekraanide ümberlülitamist aru, kuhu sõita.



	<b>Kuupäev</b>	<b>Kellaeg</b>	<b>Autode arv ülemistel tekkidel</b>	<b>Tabloode ümberlülituste arv</b>	<b>Valede reageerimiste arv</b>	<b>Õigete reageerimiste arv</b>	<b>Eeldatavad kliendid</b>	<b>Märkused</b>
2	22.05.20	13:30	72	18	16	2	Eeldatavalt püsikliendid, kuna piirid on avatud ainult töö asjus ja eriloaga reisijatele. Eesti ja soome turistidele on piir suletud.	Ainult üks juht reageeris peale ekraanide ümberlülitamist õigesti. Ainult üks juht jäi seisma, kui ekraanid näitasid keelumärke. Samuti on probleemiks asjaolu, et autod sõidavad tihedalt üksteise taga reas, autode pikivahe on ainult 2–3 meetrit. Ekraanide ümberlülitamisel jääb auto keelumärgi alla seisma ning selleks, et sõita õigesse ritta, peaks ta tagurdama, et välja pöörata. Tegelikult aga on tema taga järgmine auto, mistõttu pole see manööver võimalik.
3	22.05.20	19:30	48	9	2	7	Eeldatavalt püsikliendid, kuna piirid on avatud ainult töö asjus ja eriloaga reisijatele. Eesti ja soome turistidele on piir suletud.	Üks juht sõitis ekraanide signaalidest hoolimata ukse kõrvale. Üks juht ei märganud ümberlülitamist.

	<b>Kuupäev</b>	<b>Kellaeg</b>	<b>Autode arv ülemistel tekkidel</b>	<b>Tabloode ümberlülituste arv</b>	<b>Valede reageerimiste arv</b>	<b>Õigete reageerimiste arv</b>	<b>Eeldatavad kliendid</b>	<b>Märkused</b>
4	23.05.20	13:30	158	11	10	1	Eeldatavalt püsikliendid, kuna piirid on avatud ainult töö asjus ja eriloaga reisijatele. Eesti ja soome turistidele on piir suletud.	Laaditakse kaks rida autosid korraga. Juhid moodustavad ise ühe rea, kuigi ekraanid näitavad, et sõita tuleb kahte ritta. Kui üks tähelepanelik (julge, eeskujulik vms) paneb tähele, siis hakkavad juhid selle järgi kahte ritta sõitma. Mingi hetk hakkab üks klientidest moodustama ühe rea ja selle järgi sõidavad kõik teised uuesti ühte ritta.
5	11.06.20	13:30	139	14	11	3	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud ainult Eestisse. Selle järgi võib eeldada, et Soome kliendid on nii püsikliendid kui puhkusereisijad, aga Eesti kodakondsusega kliendid on ainult püsikliendid, kes reisivad töö eesmärgil.	Garaaži autod sõidavad 100% õigesti, arvatavasti selle pärast, et inimesed teavad ise, kuhu sõita. Kui tavaliste autode vahel on teise kategooria auto (VIP), siis on võimatu üksainuke auto VIPi-reale kätte saada. Kui autode vahel on paus ja autod tulevad nii, et ees autosid pole, siis reisijad panevad LED-signaale tähele ja sõidavad nende järgi. Kui nad näevad meeskonnaliiget, siis varasema kogemuse järgi jäävad selle kõrvale seisma ja ootavad märguannet.

	<b>Kuupäev</b>	<b>Kellaeg</b>	<b>Autode arv ülemistel tekkidel</b>	<b>Tabloode ümberlülituste arv</b>	<b>Valede reageerimiste arv</b>	<b>Õigete reageerimiste arv</b>	<b>Eeldatavad kliendid</b>	<b>Märkused</b>
6	12.06.20	13:30	112	7	6	1	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud ainult Eestisse. Selle järgi võib eeldada, et Soome kliendid on nii püsikliendid kui puhkusereisijad, aga Eesti kodakondsusega kliendid on ainult püsikliendid, kes reisivad töö eesmärgil.	Ainult üks auto sõitis õigesti – esimene auto garaaži, ülejäänud autojuhid ei märganud märkide ümberlülitamisi. Üks katkine sõiduauto oli võõri peal eesjalus, ei saanud väga palju ekraanide ümberlülitamisi teha. Sõiduautot lastega ei õnnestunud ekraanidega õigesti kohta suunata.
7	12.06.20	19:30	52	9	2	7	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud ainult Eestisse. Selle järgi võib eeldada, et Soome kliendid on nii püsikliendid kui puhkusereisijad, aga Eesti kodakondsusega kliendid on ainult	Kaks korda jäi autojuht seisma selleks, et küsida, kuhu sõita. Kaks korda sõitsid mõned autod inertsist teiste autode järgi valessti, enne kui keegi pani märki tähele ja hakkas õigesti sõitma.

	<b>Kuupäev</b>	<b>Kellaeg</b>	<b>Autode arv ülemistel tekkidel</b>	<b>Tabloode ümberlülituste arv</b>	<b>Valede reageerimiste arv</b>	<b>Õigete reageerimiste arv</b>	<b>Eeldatavad kliendid</b>	<b>Märkused</b>
							püsikliendid, kes reisivad töö eesmärgil.	
8	13.06.20	13:30	122	8	2	6	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud ainult Eestisse. Selle järgi võib eeldada, et Soome kliendid on nii püsikliendid kui puhkusereisijad, aga Eesti kodakondsusega kliendid on ainult püsikliendid, kes reisivad töö eesmärgil.	VIPi-kliendi suunamine tavaliste autode vahelt VIPi-ritta õnnestus selliselt, et ainult üks auto sõitis inertsist VIPi-kliendi järgi.

	<b>Kuupäev</b>	<b>Kellaeg</b>	<b>Autode arv ülemistel tekkidel</b>	<b>Tabloode ümberlülituste arv</b>	<b>Valede reageerimiste arv</b>	<b>Õigete reageerimiste arv</b>	<b>Eeldatavad kliendid</b>	<b>Märkused</b>
9	13.06.20	19:30	132	18	8	10	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud ainult Eestisse. Selle järgi võib eeldada, et Soome kliendid on nii püsikliendid kui puhkusereisijad, aga Eesti kodakondsusega kliendid on ainult püsikliendid, kes reisivad töö eesmärgil.	Kolm korda jäi klient seisma ja ootas juhiseid meeskonnalt. Neli korda jäid autod sõitma inertsist valesti teiste autode järgi. Üks klient vahetas eesmärgipäraselt rida, selleks et teistest ette sõita. Garaaži autod sõidavad iga kord õigesti, arvatavasti on see tingitud sellest, et kliendid teavad, kuhu sõita. Õnnestus lastega auto suunata ekraanidega VIPi-ritta tänu sellele. et oli rahulik laadimine ning sõitvate autode vahel on suured vahed.
10	14.06.20	13:30	227	11	7	4	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud ainult Eestisse. Selle järgi võib eeldada, et Soome kliendid on nii püsikliendid kui puhkusereisijad, aga Eesti kodakondsusega kliendid on ainult	Garaaži autod sõidavad alati õigesti, isegi peale ümberlülitamist, üks klient jäi seisma, et täpsustada üle, kas ta ikka sõidab õigesti. Kokku jäi seisma viis inimest, et täpsustada üle, kas nad sõidavad õigesti. Palju VIPi-kliente, kes ei olnud rahul, et neile ei näidata, kuhu ritta sõita, ootavad personaalset kohtlemist. Enamik sõitsid valesti ja olid tignedad, et ei näidata, kuhu sõita,

	<b>Kuupäev</b>	<b>Kellaeg</b>	<b>Autode arv ülemistel tekkidel</b>	<b>Tabloode ümberlülituste arv</b>	<b>Valede reageerimiste arv</b>	<b>Õigete reageerimiste arv</b>	<b>Eeldatavad kliendid</b>	<b>Märkused</b>
							püsikliendid, kes reisivad töö eesmärgil.	ekraane ei jälgi. Platvormide pealelaadimine kahe reaga, vajas lisasuunamist meeskonnalt.
11	18.06.20	13:30	123	5	5	0	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud nii Eestisse kui Soome.	Madrus laadis, kommentaarid puuduvad.
12	19.06.20	13:30	75	8	4	4	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud nii Eestisse kui Soome.	Mõned autod on sõitnud valesse ritta isegi siis, kui eesolevad autod sõidavad õigesti. Kaubaautode ja kaubatreileri suunamiseks on vaja meeskonnaliiget.
13	19.06.20	19:30	83	9	6	3	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud nii Eestisse kui Soome.	Garaaži auto ei sõitnud õigesti. Ei õnnestunud suunata VIPi-autot VIPi-ritta: eesolev auto sõitis õigesti, VIPi-klient mitte ja siis järgmine auto jälle õigesti.

	<b>Kuupäev</b>	<b>Kellaeg</b>	<b>Autode arv ülemistel tekkidel</b>	<b>Tabloode ümberlülituste arv</b>	<b>Valede reageerimiste arv</b>	<b>Õigete reageerimiste arv</b>	<b>Eeldatavad kliendid</b>	<b>Märkused</b>
14	20.06.20	13:30	101	9	7	2	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud nii Eestisse kui Soome.	Juhus: esiistmetel on isa ja poeg, poeg tirib isa varrukast: „Issi, vaata, sa sõidad valesi, nool näitab teisele poole.“ Isa lööb käega: „Ära sega, poiss!“ ja sõidab valesse ritta.
15	20.06.20	19:30	103	10	5	5	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud nii Eestisse kui Soome.	Madrus laadis, kommentaarid puuduvad.
16	21.06.20	13:30	302	10	5	5	Turismi eesmärgil reisimine on lubatud nii Eestisse kui Soome.	Täis laev. Väga suure tõenäosusega pole ilma madrusteta võimalik tagada laadimise sama kiirust ja täituvust.

Allikas: (autori koostatud)

## Lisa 6. Küsitlus Targa autoteeki kasutamise kogemuste kohta

Palun valige keel. Please choose your language. Ole hyvä ja valitse kieli.

Пожалуйста выберите язык. \*



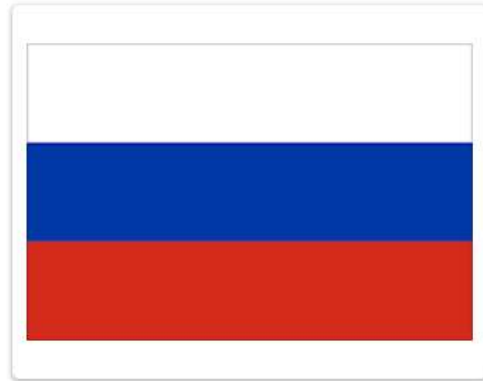
Eesti



Suomen



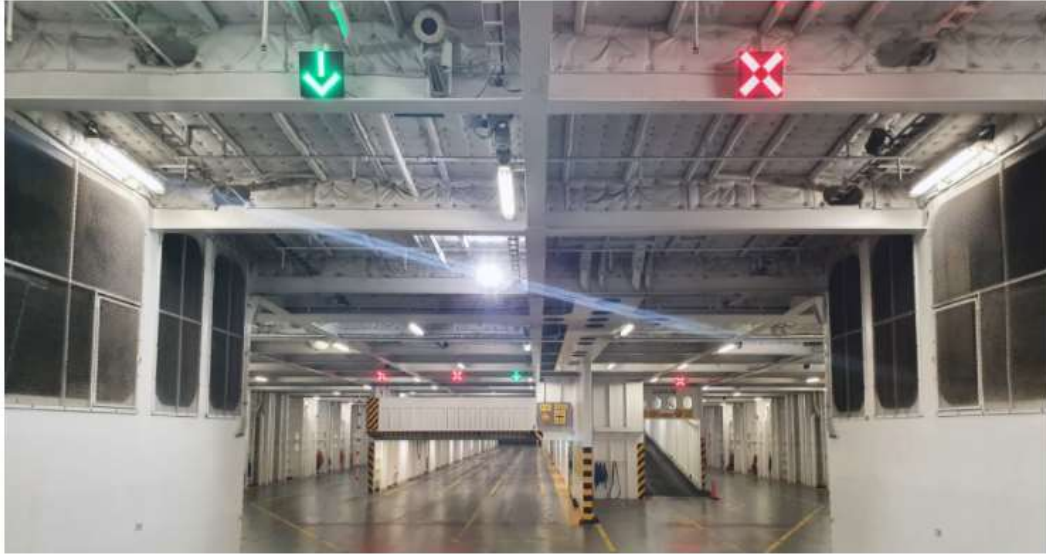
English



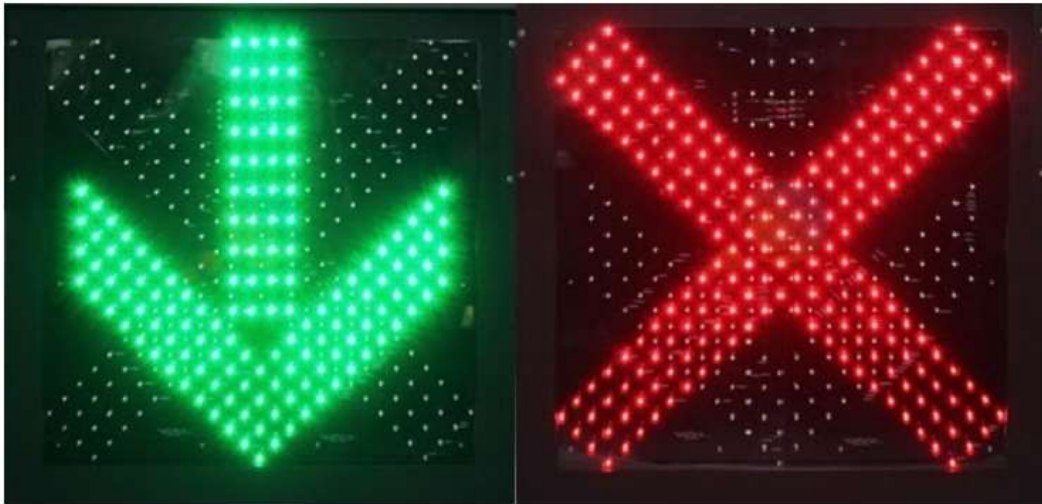
Русский



## Tark autotekk



1. Kas Te märkasite laeva sõites juhttabloode peal olevaid märguandeid? \*



Jah

Ei

2. Kas juhttabloode signaalid olid hästi nähtavad ja arusaadavad? \*

Jah

Ei

3. Kas see lihtsustas teie jaoks autoga liikumist laeva pardal? \*

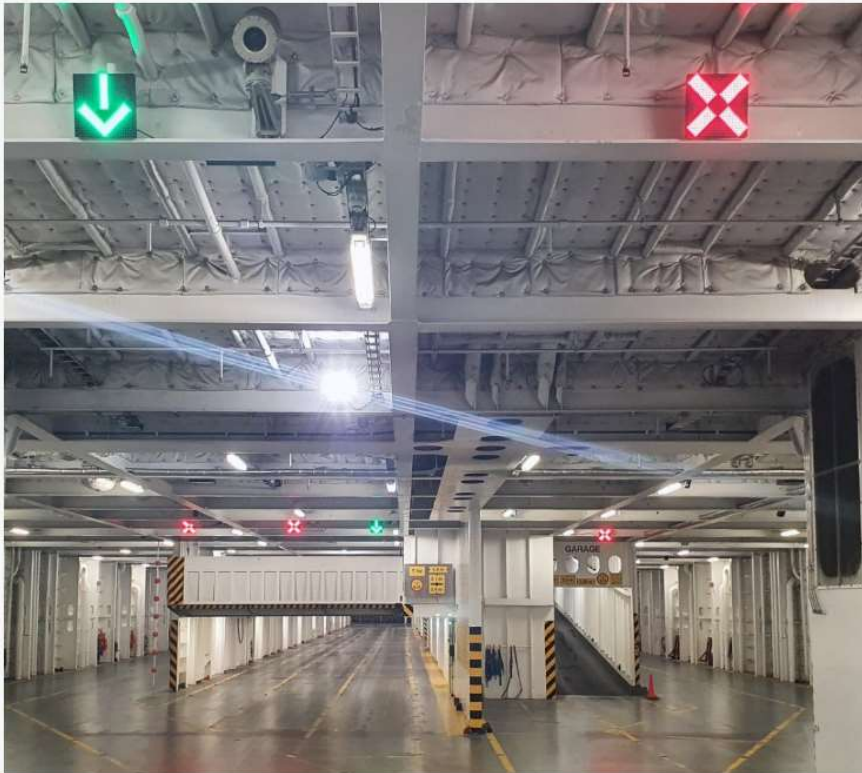
Jah

Ei

4. Suur tänu. Soovi korral jätke lisakommentaari või ettepaneku.

Мой ответ \_\_\_\_\_

## Lisa 7. Targa autoteki küsitluse tulemused

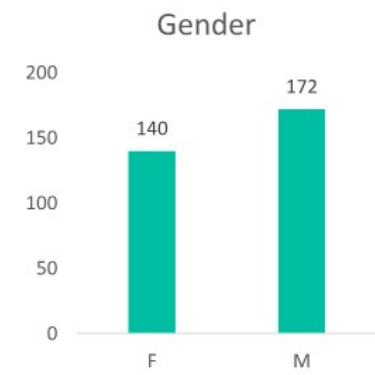
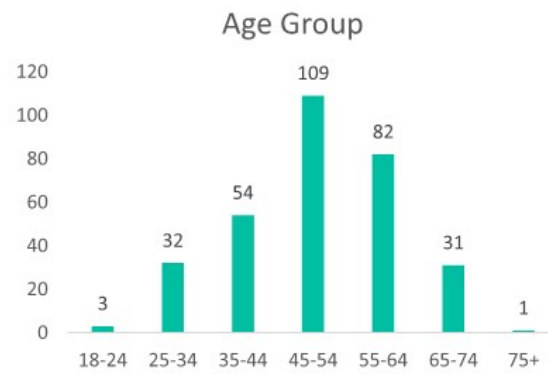
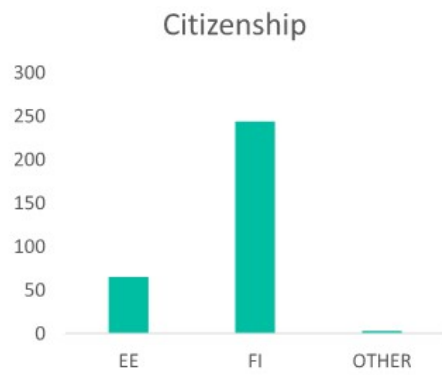


### SMART CARDECK SURVEY

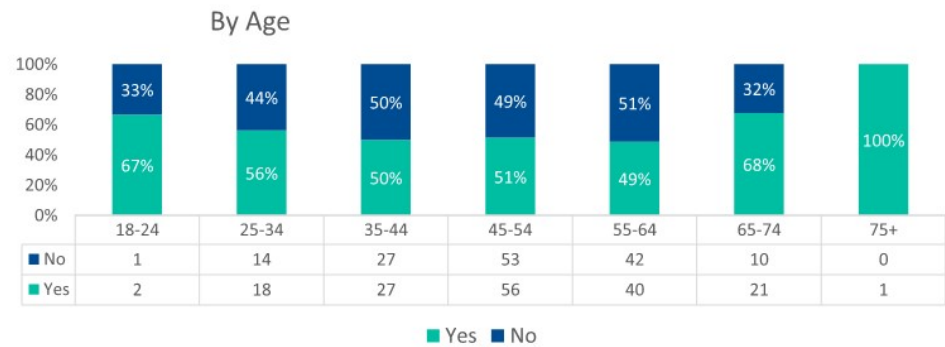
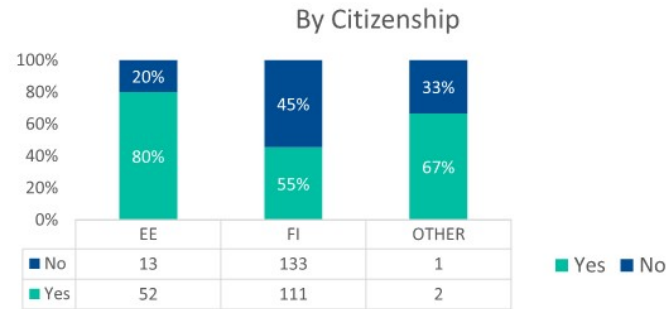
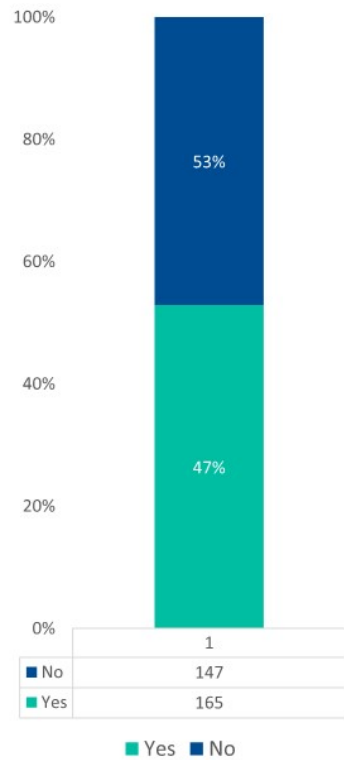
1. Did you notice LED traffic signs while driving onto the ship?
2. Were the signals of traffic signs clearly visible and understandable?
3. Did those traffic signs make it easier for you to drive on board the ship?
4. Open comments. If you wish, please leave an additional comment or suggestion.

## Count of responses

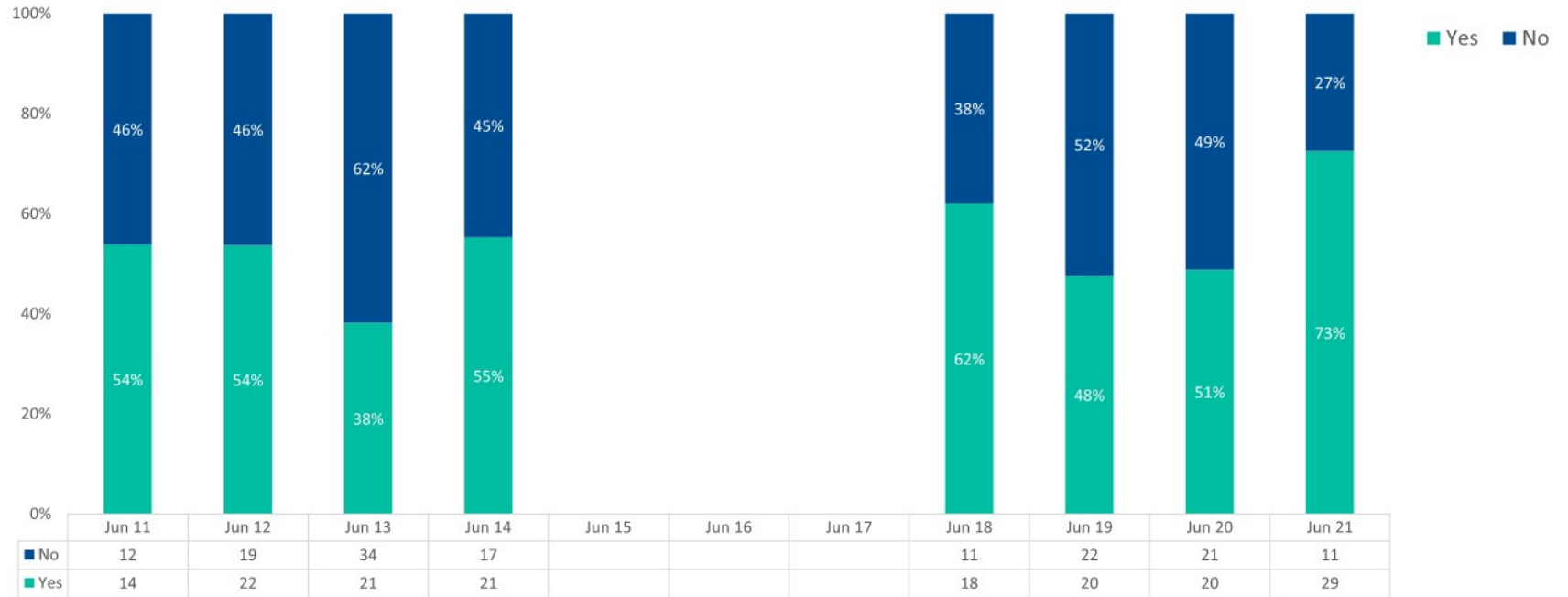
# 312



# DID YOU NOTICE LED TRAFFIC SIGNS WHILE DRIVING ONTO THE SHIP?



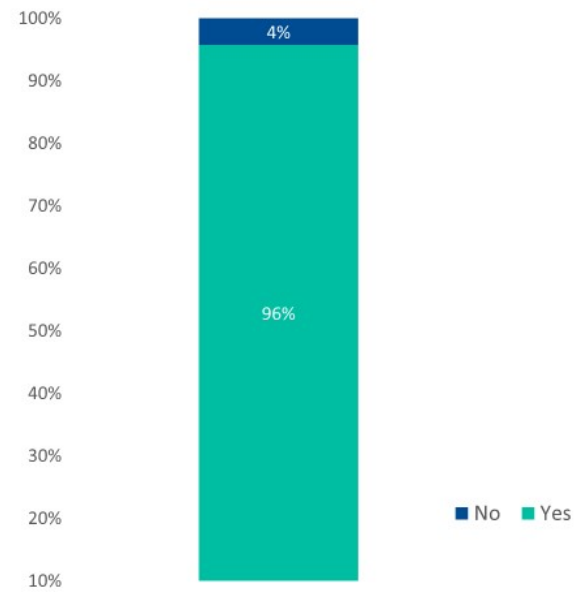
## DID YOU NOTICE LED TRAFFIC SIGNS WHILE DRIVING ONTO THE SHIP?



# WERE THE SIGNALS OF TRAFFIC SIGNS CLEARLY VISIBLE AND UNDERSTANDABLE?

Count of responses

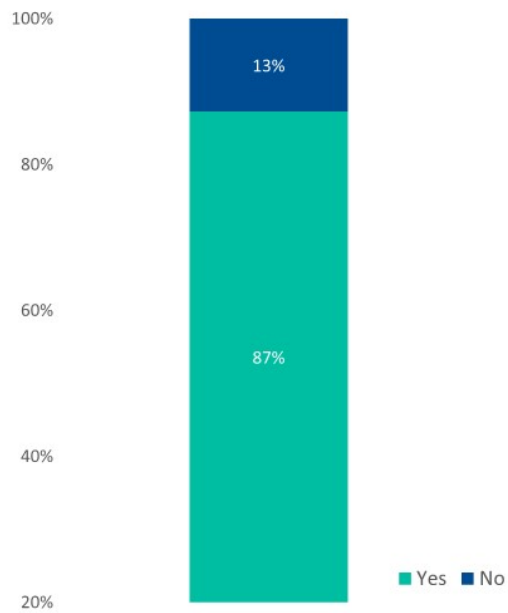
# 165



# DID THOSE TRAFFIC SIGNS MAKE IT EASIER FOR YOU TO DRIVE ON BOARD THE SHIP?

Count of responses

# 165





## **Lisa 8. Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Daniil Starov

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

RO-PAX TÜÜPI LAEVA AUTOMAATSE LAADIMISSÜSTEEMI TEOSTUSVÕIMALUSED,

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja on lektor Maret Guldenkoh,

kaasjuhendaja on teadur Mairo Leier,

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

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

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

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

20.05.2021 (kuupäev)

---

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