



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
EESTI MEREAKADEEMIA  
Merenduskeskus

Martin Aruja

**Konteineriterminali simulatsioonimudeli loomine  
CHESSCON-is HHLA TK Estonia AS näitel**

Lõputöö

Juhendaja: MSc, Tõnis Hunt

Tallinn, 2021

Olen koostanud töö iseseisvalt.

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

Martin Aruja

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 178295VDSR

Üliõpilase e-posti aadress: martin.aruja@gmail.com

Juhendaja MSc, Tõnis Hunt:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Marko Jürjoja

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

# Sisukord

Jooniste loetelu .....	4
Annotatsioon.....	5
Sissejuhatus .....	6
1 Simulatsioonid .....	8
1.1 Simulatsiooni põhimõtted ja toimimine .....	8
1.2 Simulatsioonid sadamates.....	9
2 Konteinerterminali ehitus ja teoreetiline plaan.....	11
2.1 Konteinerterminali tööprotsess.....	11
2.2 Konteinerterminali seadmed.....	12
2.2.1 STS kraana.....	14
2.3 Terminali alad.....	16
3 Ettevõtte tutvustus .....	18
3.1 HHLA TK Estonia AS.....	18
4 Simulatsioonimudeli loomine CHESSCON-is.....	20
4.1 CHESSCON, selle terminoloogia ja vajalikud tööriistad.....	20
4.1.1 Terminoloogia .....	21
4.2 Konteinerterminali <i>layouti</i> loomine .....	21
4.3 Konteinerterminali <i>inputi-i</i> sisestamine .....	24
4.4 Simulatsiooni käivitamine .....	26
4.5 Evaluation-i moodul .....	26
5 HHLA TK Estonia AS konteinerterminali simulatsiooni tulemuste analüüs.....	28
5.1 Simulatsiooni algandmed .....	28
5.1.1 Meretransport.....	28
5.1.2 Raudteetransport.....	28
5.1.3 Maismaatransport .....	29
5.2 Simulatsiooni tulemused.....	29
5.3 Simulatsiooni võrdlus HHLA TK Estonia AS konteinerterminaliga .....	31
5.4 Ideed projekti edasiarendamiseks .....	32
Kokkuvõte .....	34
Võõrkeelne lühikokkuvõte .....	36
Viidatud allikad .....	37
Lisa 1 Lihtlitsents .....	40

## Jooniste loetelu

Joonis 1. Simulatsiooni koostamine .....	9
Joonis 2 Konteinerterminali laotus .....	17
Joonis 3 Virnade paigutus HHLA TK ESTONIA AS konteinerterminalis .....	22
Joonis 4 Virnade spetsifikatsioonid .....	22
Joonis 5 Terminali <i>layout</i> CHESSCONis.....	23
Joonis 6 Terminali 3D pealtvaade .....	24
Joonis 7 RTG andmed .....	25
Joonis 8 Hetk HHLA TK Estonia AS konteinerterminali simulatsioonist .....	26
Joonis 9 Simulatsiooni konteinerite liikumine terminalis .....	29
Joonis 10 Simulatsioonis tekkinud keskmine kulu .....	30
Joonis 11 Keskmine maismaatranspordi ooteaeg .....	31
Joonis 12 Kaikraanade ooteaeg .....	31

## **Annotatsioon**

Lõputöös kirjeldatakse konteinerterminali simulatsioonimudeli loomist HHLA TK Estonia AS konteinerterminali näitel. Töös selgitatakse simulatsiooni loomise protsessi, laotuse loomist, andmete sisestamist ja simulatsiooni tulemuste analüüsimist.

Tööst järeldub, et konteinerterminali simulatsioonimudeli loomine on pikk protsess. Täpse simulatsiooni koostamiseks on vaja terminalist ja selle töö protsessidest head ülevaadet ning omada täpseid andmeid terminali töö kohta.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 40 leheküljel, 5 peatükki ja 12 joonist.

## Sissejuhatus

Meretranspordi suured kaubamahud ja kiiresti arenev tehnoloogia nõuab, et tuleb ajaga kaasas käia, et mitte kaotada laevu konkureerivatele sadamatele. Suur osa kaupadest, mis tänapäeval transporditakse mööda merd, veetakse konteinerites.

Konteinerterminalid on väga keerulise ehitusega ning nõuavad suurt kapitali. See toob kaasa endaga ka mitmesuguseid riske. Et investeeringud oleksid asjakohased, võib loodava terminali eelnevalt luua simulatsioonis, et saaks katsetada erinevaid stsenaariume ja analüüsida nende tulemusi. Terminalide puhul põhilisteks väljunditeks on tekkinud kulu ja saavutatud käitlemismahud.

Simulatsioon on mingisuguse protsessi või süsteemi jäljendamine. See on tõhus ja odavam viis testimaks erinevaid terminali töö stsenaariumeid, kuna kõik muutused toimuvad simulatsioonis, kus pole reaalmaailma tagajärgi ja ei mõjuta sadama tegevust. Simulatsiooni loomiseks peab olema kindlalt ära määratud, mida simuleeritakse.

HHLA TK Estonia on HHLA tütarettevõtte, mis asub Saksamaal. Ettevõtte toimib Muuga sadamas, kus opereeritakse terminale. Nende põhitegevusteks on konteinerlaevade ja RO-RO tüüpi laevade käitlemine ja kaupade hoiustamine avatud ja kinnistes ladudes.

Töö eesmärgid on

1. Konteinerterminali simulatsioonimudeli loomine CHESSCONi simulatsiooniprogrammis;
2. Omandada oskused luua CHESSCONi programmiga konteinerterminali simulatsioone ja nende mudeleid;
3. Kirjeldada ning selgitada töövoogu eelnevalt nimetatud programmi puhul.

Käesolev lõputöö koosneb viiest osast:

Esimeses osas kirjeldatakse simulatsioonide olemust, ajalugu ja nende kasutusala sadamates. Kirjeldatakse lühidalt, mis osadest koosneb simulatsiooni koostamine ja miks on kasulik kasutada simulatsioone.

Teises osas tutvustatakse konteinerterminale, terminalides kasutatavaid seadmeid ja selle üldist plaani. Tuuakse välja terminali tähtsamad osad ja enim kasutatavad seadmed.

Kolmandas osas on lühitutvustus terminalist, mille alusel koostatakse simulatsioon ehk HHLA TK Estonia AS konteinerterminali.

Neljandas osas antakse ülevaade CHESSCONi simulatsioonist, millel kogu bakalaureusetöö põhineb. Selles peatükis kirjeldatakse ka tööprotsessi simulatsioonimudeli loomisest.

Viiendas osas antakse ülevaade simulatsiooni tulemustest ja võrreldakse neid HHLA TK Estonia AS konteinerterminali andmetega.

Simulatsioonid on hea ja efektiivne viis visualiseerida terminali tööd ka õppetöös. Autor loodab, et loodav simulatsioonimudel asendab hetkel Eesti Mereakadeemia õppetöös kasutusolevat demo simulatsioonimudelit ning tudengid saavad tutvuda Eesti konteinerterminaliga.

Lõputöö autor avaldab tänu juhendajale Tõnis Hundile vajaliku info, aktiivse juhendamise ja tööks vajaliku programmiga varustamise eest. Samuti avaldan tänu HHLA TK Estonia AS tootmisdirektorile Toomas Uibokantile, kes tegi võimalikuks tutvuda ettevõtte põhiprotsessidega ja koostada simulatsioonimudelit HHLA konteinerterminalist ning HHLA TK Estonia AS dispetšerite osakonna juhile Toomas Pederile, kes abistas terminali ja seadmete andmete kogumisega ning edastas vajalikke dokumente.

# 1 Simulatsioonid

Simulatsioon on üks parimaid vahendeid, mida kasutatakse reaalse maailma süsteemi loomise jaoks. Simulatsioone kasutatakse kui dünaamilisi olukorra vahendajaid, keeruliste süsteemide analüüsimiseks sageli enne reaalses maailmas toimimist.

## 1.1 Simulatsiooni põhimõtted ja toimimine

Simulatsioonid lahendavad reaalse maailma probleeme turvaliselt ja efektiivselt. See on oluline meetod analüüsiks, kuna tulemused on kergesti kontrollitavad ja mõistetavad. Simulatsioonid võimaldavad katsetada süsteemi digitaalsel kujul. Erinevalt füüsilisest modelleerimisest on simulatsiooni modelleerimine arvutipõhine ning kasutab algoritme ja võrrandeid. Simulatsioonitarkvara pakub keskkonda arvutimudelite analüüsimiseks nende töötamise ajal, sealhulgas võimaluse neid vaadata 2D- või 3D-vormingus. (Why use... 2021)

Simulatsiooni kasutusala äris on erinevad ja seda kasutatakse sageli siis, kui eksperimentide läbiviimine reaalses süsteemis on võimatu või ebapraktiline, sageli kulude või aja tõttu. (Ibid.)

Suur osa kaubanduslikult saadaval olevast simulatsioonitarkvarast kasutab modelleerimiseks protsessi maailmavaadet. Protsessimudeleid peetakse väga ligipääsetavaks - modelleerija kirjeldab ressursse, tegevusi, viivitusi ja otsuste järjestust, mida simulatsioon kogeb süsteemi kaudu algusest lõpuni. Selle saavutamise üksikasjad on sarnased, kuid konkreetset iga simulatsiooni kohta. (Sanchez 2007, 54)

Praktikas on simuleerimine korduv tegevus tagasisidega. Me alustame sellega, et leiame, millise süsteemi kohta me tahame rohkem teada saada. 1. faasis peab tuvastama, mida tähendab loodav süsteem. Teades, mida tähendab loodav süsteem, tuleb mõista, mis on seda süsteemi mõjutavad tegurid. Kasutades tegureid, mis reaalsuses ei mõjuta süsteemi võib see aeglustada meie süsteemi ning muuta seda keerulisemaks. 1. faasi lõpuks peab olema kirjeldav mudel süsteemist. (Sanchez 2007, 55)

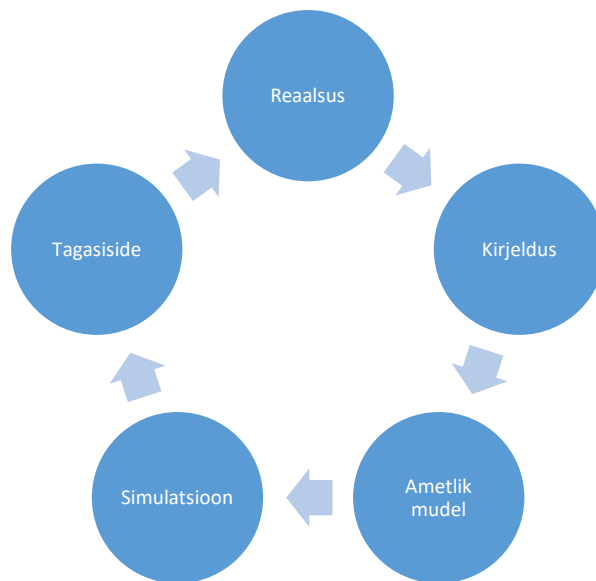
2. etapis tuleb rangelt kirjeldada kõigi süsteemi moodustavate üksuste käitumist ja suhtlust omavahel. Seda on võimalik saavutada mitmel viisil, millest paljud on matemaatilist laadi. Tulemuseks on ametlik mudel. (Ibid.)

Ametlikule mudelile on vaja leida analüütiline lahendus. Kui ametlikul mudelil on modelleeritava reaalse maailma süsteemiga väga hea vastavus, siis analüütilised mudelid



ja nende lahendused annavad tõeseid teadmisi ja järeldusi süsteemi kohta. Mudelisse ei tohi lisada tegureid, mida pole võimalik analüütiliselt lahendada. Kui lisatakse selliseid tegureid, siis võib simulatsioon olla ebatäpne. (Ibid.)

3. etapis luuakse süsteemist simulatsioon, mis annab välja väljundid. Kui simulatsioon kasutab sisendina juhuslikust, tähendab see ka seda, et väljund on juhuslik muutuja. Simulatsiooni lõpptulemusena saadakse analüütiline osa. (Sanchez 2007, 56)



Joonis 1. Simulatsiooni koostamine

(Allikas: Sanchez 2007, 56)

## 1.2 Simulatsioonide kasutamine sadamates

Simulatsiooniuringuid kasutatakse tavaliselt dünaamiliste ja keeruliste süsteemide, näiteks intermodaalsete terminalide jõudluse parandamiseks. Simulatsioon aitab jäljendada sadamate toiminguid ja prognoosida tulemusi. Simulatsioonimudelid saab katsetada ka erinevaid stsenaariume ning tulemusi uurida ja analüüsida.

Simulatsioonide kasutamise eeliseks on see, et kõik muutused ja tagajärjed võtavad aset simuleeritud keskkonnas ja ei mõjuta sadama tegevust. (Boer jt 2012, 2)

Sadamate operatsioonide arvutisimulatsioonide ühed esimesed uurijad olid Steer ja Page, aastal 1961, kui nad simuleerisid rauamaagi mahalaadimist sadamas. Kuigi simulatsioonid on olnud kasutusel juba aastakümneid, siis konteinerterminalides hakati seda esmakordselt kasutama alles 1980ndatel kui oli vaja lahendada konteinerite

laadimise protsess. (Zarzuelo jt 2019, 5) Tänapäeval on sadamasimulatsioonide teostamiseks üle 50 simulatsioonivahendi ja programmi (Bjornbaek jt 2018, 84).

Simulatsioonitehnoloogia areng on võimaldanud suurel hulgal koolitusi ja õpinguid läbi viia tegelike süsteemide asemel treeningsimulaatoritel. Kogemused koolitussimulaatorite hankimisel ja kasutamisel ei ole alati olnud edukad. Peamiselt on põhjuseks koolitusprogrammi väljatöötamise alaste teadmiste puudumine ning ebapiisavad simulaatori spetsifikatsioonid. (Ibid.)

Sadama operatsioonisüsteemi simulatsioon aitab kasutajal uurida terminalide kavandamise alternatiive või väljatöötatud kujundusi. Kujundus hõlmab seadmete paigutust ja kasutuselevõttu. Nende kahe teguri vastastikune sõltuvus on mudeli keskpunkt, st uuritakse, milliseid piirkonnad on saadaval ning milliseid seadmetüüpe ja operatsioonisüsteeme tuleks kõige paremini kasutada. (Bjornbaek jt, 85)

Simulatsiooni programmide kasutamine vähendab küll kulusid, kuna arendused katsetatakse läbi, kuid simulatsioon võib siiski eirata mõnda nähtust, mis on reaalses maailmas olemas.

Terminali jäljendamine toimib nagu reaalne terminal (seadmete käitumine, juhi käitumine, erinevad stsenaariumid - laeva saabumine). Simulatsiooni mudel koosneb kõikidest olulistest protsessidest terminalis, näiteks terminali paigutus, tõsteseadmed ja jõudluse mõõtmise funktsioonid. (Boer jt 2012, 267)

Simuleeritud terminali hindamine viiakse läbi majanduslikke ja tehnilisi aspekte silmas pidades. Väljund, mida mõõdetakse üksteise suhtes, on tekkinud kulud ja saavutatud käitlemismahud. See strateegiline tasand hõlmab uute terminalide kavandamist, olemasolevate laiendamist ja muudatusi organisatsioonilises struktuuris. Selleks kasutatavad simulatsioonivahendid jälgivad mitte igat üksikut konteinerit, vaid kogu süsteemi käitumist. (Schütt 2011, 5)

## **2 Konteinerterminali ehitus ja teoreetiline plaan**

Konteinerveod on aina levinum veoliik maailmas, mis toob kaasa endaga aina suurema vajaduse konteinerterminalide järele. Konteinerite suuremal mahul kasutuselevõtt toimus 1950ndatel, kui Ameerika Ühendriikides võeti see kasutusele sõjaväe poolt. Konteinerterminalid pakuvad mitmeid teenuseid, nende hulgas hoiustamist ja ümberlaadimist. Selleks, et saaks pakkuda erinevaid teenuseid, on ka vaja põhjaliku plaani ning valmistumist, et oleks võimalik teostada protsesse vastavalt kaubamahule ja vajadusele. (Angerschou jt 2004, 274)

Konteinerterminal on teatud tüüpi ümberlaadimisterminal, kus konteinereid laaditakse ja lossitakse konteinerlaevadele, kasutades tõsteseadmeid, mis suudavad hallata suuri raskusi.

Konteinerterminali peamine mõõtühik on TEU, mis on kahekümne jala ekvivalentne ühik. (A Simul... 2019, 4)

Terminal on süsteem, mis koosneb kaidest, kauba peale- ja mahalaadimisaladest, võimaldades kaupa transportida ühelt transpordivahendilt teisele (Ibid.).

Vahel on võimalik teha olulisi parandusi korraldades ümber või parandades juhtimissüsteeme. Seega täiendused sadama rajatistele ja organisatsioonile, koos konteinerite paigutuse optimeerimisega, toob endaga kaasa efektiivsema kauba hoiustamise ja käsitlemise. (Thoresen 2014, 321)

### **2.1 Konteinerterminali tööprotsess**

Konteinerterminalid oma tööpõhimõttelt on kiirtransiidirajatised, mis liidavad maismaa- ja meretranspordi. Peatselt pärast konteineri jõudmist terminali peaksid sissetulevad konteinerid jätkama oma teekonda saajani. Vähemalt 90% saabuvatest konteineritest peaksid edasi liikuma 1-3 päevaga. Tolliprotsessid suletud konteineritel peaks toimuma saaja territooriumil või maismaaveo kaubajaamades, mis asuvad saaja läheduses. (Angerschou jt 2004, 30-37)

Kui konteiner saabub sadamasse, kas siis maismaa- või meretranspordi kaudu, peaks ta olema koheselt sisestatud arvutisüsteemi, kus saab jälgida konteinerite liikumist läbi terminali. (Ibid.)

Pärast mahalaadimist transporditakse imporditavad konteinerid lao kohtadele, lähedale sinna kust nad edasi transporditakse. Konteinerid, mis saavad maismaa- või raudteetranspordiga, käideldakse sealsetel operatsioonil aladel. Nad korjatakse üles ja transporditakse vastavatesse vurnadesse. (Steenken jt 2004, 6)

Välja minevad konteinerid peaksid saama konteinerterminali kui täielikult koormatud konteinerid ja mitte varem kui 5-7 päeva enne eeldatavat laeva saabumise aega. Enamus terminale ei võta konteinereid vastu rohkem kui nädal varem. (Angerschou jt 2004, 30-37)

Paraku protseduurid enamustes terminalides on siiski pikemad. See puudutab peamiselt transiidi hoiustamise aega, kuna panustatakse rohkem aega kauba ja operatsioonide ohutusele. Konteinerite tolliprotsessid toimuvad tihtipeale siiski sadamates, kuhu konteiner on saanud. Sellised tegevused pikendavad aega, mida konteinerid veedavad terminalides, mis omakorda vähendab konteinerterminalide efektiivsust. (Ibid.)

Erinevaid konteinereid on mitmeid, kuid enamjaolt jagunevad nad 20- ja 40-jalalisteks konteineriteks, aga ka 45-jalased konteinerid. See tähendab, et laeva ja maismaa vahel töötavad peamiselt identsed kraanad, mida saab kasutada kõikide konteinerite puhul. Samuti kasutatakse sarnaseid konteineri transpordi vahendeid kai ja laoplatside vahel, vurnastamiseks, kohaletoimetamiseks ja vastuvõtmiseks. See teeb konteinerterminalid sobilikus süsteemi analüüsimiseks ja arvuti simulatsioonideks. (Ibid.)

## **2.2 Konteinerterminali seadmed**

Konteinerterminalide üks kõige tähtsamaid küsimusi on, et kui suur laoala on vajalik, et mahutada teadaolev või eeldatav konteinerite kogus TEU-des. Vastus on koheselt seotud ka kasutatava transpordiseadmetega, mis vurnastavad ja transpordivad konteinereid.

Laoplatside plaan ja vurnastamise viis sõltub kasutatavatest seadmetest koos konteineritüüpidega, mida käideldakse sadamas ja ka edasisest transpordist. Peamiseks muutujaks valiku tegemisel ei ole võimalik maksimaalne ala suurus, vaid muutujaks on hoopis optimaalne valik, mis keskendub kõige lühemale teekonnale laeva ja vurnade vahel. Teine muutuja, mida peaks käsitlema on maismaatranspordi ligipääs konteineritele ning nende laadimiskiirus. (Angerschou jt 2004, 274-283)

Järgmised seadmed on peamiselt domineerivad laoplatside süsteemid suurimates konteinerterminalides:

4. Traktor-treiler - konteinerid asetatakse või korjatakse ülesse treileritelt kai kraanade poolt. Treilerid transporditakse traktori abil punktist A punkti B. Enamjaolt kasutakse väga spetsialiseeritud operatsioonideks ja lühi ro-ro vedudel;
5. *Straddle carriers* - Virnastavad konteinereid 2-3 konteineri kõrgusele ja samuti tõstab konteinereid virnadest maha. Samuti kasutakse kai ja laoplatside vaheliseks transpordiks ja virnastamiseks;
6. RTG kraana - tavaliselt kasutakse koos traktor-treileriga, mis transpordib konteinerid kai ja laoplatside vahel. Konteinerid virnastatakse 3-5 kõrgusele;
7. RMG kraana - samuti kasutatakse koos traktor-treileriga, kuid virnad ulatuvad 4-5 konteineri kõrgusele;
8. *Large-span gantry cranes* - rööbastel, kasutatakse laeva ja laoplati vaheliseks otse käsitlemiseks ja virnastamiseks; (Ibid)
9. *Shuttle carrier* - *shuttle-carrieri* süsteemi kasutades ei nõua konteinerite üleandmisel kraana ja kanduri samaaegset kohalolekut. Konteinerid tõstetakse puhveraladele, et mitte raisata aega nende paigutamise haagistele, kasutatakse laeva ja laoplati vahelisel alal ja virnastamiseks (Kalmar, 2021);
10. *Reach stacker* - Tõstuk, mis suudab haarata konteinereid virnadest, mis ulatuvad kuni 5 konteinerini. Kasutakse peamiselt konteinerite virnastamiseks ja liigutamiseks (Sany, 2021);
11. Tühjade konteinerite tõstuk - Suur tõstuki tüüpi seade, mida sadamates kasutatakse tühjade konteinerite transportimiseks, võimaldavad virnastada kuni 7 konteineri kõrgusele (The Port..., 2021);
12. Mobiilkraana - Universaalsed kraanad, mida kasutatakse ka muudes terminalides, võimaldavad aidata STS kraanadel laadida/lossida laevu (Konecranes, 2021);
13. Multitreileri süsteem - Süsteem koosneb terminali - traktorist ja tema taha rakendatavatest treileritest, mis on omavahel ühenduses, kasutatakse kuni 5te treilerit transpordiks laeva ja virnade vahel (Govender jt 81, 2017).

Esiotsa laaduritega või külgladuritega, mida mõlemat kasutatakse tavaliselt väiksemates terminalides, konteinerid virnastatakse 2-3 konteineri kõrguseks ja 2 konteineri laiuseks, kuna seal on ligipääs seadmetel ainult külgedelt. Vahe, mis on nõutud virnade vahel on tunduvalt suurem esiotsa laaduritel, kuna laadur saab ainult vedada konteinerit sõidusuunas ja peab laadimiseks ning mahalaadimiseks tegema 90 kraadiseid pöördeid. (Agerschou jt 2004, 274-283)

Viimastel aastatel on mitmed tootjad tutvustanud vurnastajaid, mis kombineerivad omavahel tõstuki operatsiooni kiiruse ja suurema haarde ulatuse - see on tänapäeval eelistatud seade raudtee operatsioonideks. Tänu selle haarde ulatusele, saab seda kasutada nii vertikaalse kui ka horisontaalse transporti jaoks. Kui kasutatakse *straddle carrier-i*, siis on võimalik konteinereid ladustada 3 konteineri kõrguseks vurnaks ning vurnade vahe peab olema 1,5-2 meetrit. RTG kraanasi kasutades võivad vurnad olla 5 konteineri kõrgused ja tavaliselt mitte laiemad kui 6 konteinerit. (Ibid.)

Tänapäeva aina arenevas maailmas on ka sadamad liikumas automatiseerimise poole ja põhiliseks elemendiks ongi tõsteseadmed. Automatiseeritud konteinerterminali seadmed tõstavad ohutust, tootlust ja on ettearvatavamad. Põhilised automatiseeritud kraanad on ARTG (*Automated Rubber Tired Gantry Cranes*) ja ARMG (*Automated Rail Mounted Gantry Cranes*). Lisades terminali töösse automatiseeritud masinaid, peab olema tööprotsess standardiseeritud ja lahti seletatud, mis aitab samuti kaasa kulude vähendamisele. (Gylling, 2021)

### **2.2.1 STS kraana**

STS kraana on kaikraana, seda kasutatakse laevade laadimiseks ja lossimiseks. Esimene spetsiaalselt konteinerkraanaks disainitud kraana loodi aastal 1959. aastal. Tänapäeva maailmas, kus laevad lähevad aina suuremaks ja suuremaks ning suudavad suurtes kogustes konteinereid vedada, peavad ka kraanade võimsus suurenema, sest aeg, mis laev seisab sadamas on ebaproduktiivne. Tänapäeva suurimad laevad kasutavad juba korraga 5-6 STS kraanat. (Thoresen 2014, 330-335)

Traditsioonilised STS kraanad võivad jääda ebaadekvaatseteks tuleviku laevade efektiivseks käitlemiseks. Tõstmaks võimet laeva kiiremini STS kraanaga teenindada saab:

1. Üldiselt tõsta kraana efektiivsust;
2. Tõsta tandemtõstukiga korraga kuni 4 TEU laaditavat konteinerit või 2 TEU konteinerit kaksiktõste abil;
3. Kasutada süsteemi, kus on võimalik laadida/lossida mõlemalt poolt laeva.

Suured konteinerlaevad panevad sadamate kraanad väljakutse alla kraana ulatuse ja kõrguse osas. Uuemad mega laevad võivad nõuda kraanasi, mille teenindamise ulatus on 23 rida konteinerit. (International... 2015, 41)

Traditsioonilises konteinerikai süsteemi puhul keskmine nõutud tootluse määr 8000 TEU laeva puhul, millel on koormusteguri 0,85 ja TEU teguriga 1,5, on ligikaudu 250 tõstet/tunnis, või 5 konteinerkraana puhul, mis kõik suudavad vähemalt 50 tõstet/tunnis. (Thoresen 2014, 330-335)

Kui keskmine kraana tõstevõime suureneb 40-50 konteinerini/h või rohkem, siis peab ka kogu terminali läbilaskevõime suurenema. Suured konteinerlaevad nõuavad sadamatelt minimaalset laeva pöördeaga, kuna aeg, mis sellega võidetakse on laevaomaniku kulude vähendamiseks üliolulised. Samuti need kokkuhoiud vähendavad veotariifides. (Ibid.)

Tavaline terminali tulemuslikkuse mõõtühik on kraana tõstete arv tunnis. See on oluline just laevafirmade jaoks, kuna see on otseselt seotud sellega kui kaua nende laev sadamas aega veedab. Kuna kaikraana ei tee kogutööd terminalis ise, siis on seotud ka kraana tootlikkuse näitajatega teised transpordiseadmed, mis on segatud laeva lossimise ja laadimise operatsioonidesse, näiteks *straddle carrierid* või *reach stackerid*. Nemat toovad ja viivad konteinereid terminali konteiner virnadest kai kraanadele laadimiseks ja lossimiseks. (Pallis jt, 2021)

Et mõista, kui oluline on konteinerterminalide laeva pöördeag, siis loodi UNCTADI poolt indeks, mis näitab laevade pöördeaga riigiti. Riigid, kus on väiksem laeva pöördeag näitab, et sadam on efektiivne ja on olemas kaubanduse konkurentsivõime. Samuti on näha, et riigid, mida külastab rohkem laevu, omavad aeglasemat laeva pöördeagu, kuid vedajaid tõmbab just kiireim pöördeag. Nimekirja kümme viimast riiki on arengumaad või vähem arenenud riigid, samas kui kiirema pöördeajaga majandused on enamasti suure mahuga arenenud majandused (Norra, Jaapan) või väikesed majandused, mis tegelevad väikeste kaubamahtudega igal laeva külastusel. Pikem sadamas veedetud aeg ei tähenda tingimata, et sadam oleks vähem efektiivne, sest laevaomanikud võivad oma laevu hoida kauem sadamas, et osta kaupu ja teenuseid.

Tõstmaks laeva pöördeaga on võimalik:

1. Optimeerida laevade sisenemist sadamasse - laevad peavad saabuma õigeaegselt, kuna saabudes sadamasse hakkavad jooksuma lisakulud;
2. Protsessi kiirendamine - laeva saabumisel peaks töö koheselt algama, ilma, et tuleks oodata ametnike nõusolekut. Selleks tuleb võimalikult palju dokumente ja protsesse varasemalt teostama;
3. Sadama operatsioonid - Erinevate operatsioonide ja seadmete plaanimine ja järgmine, et kõik toimuks ilma vigadeta ja usaldusväärselt. (Benamara jt, 2019)

## 2.3 Terminali alad

Terminali planeerides peab arvesse võtma, millised laevad ja milline kaup hakkab läbi terminali liikuma. Keskmise suurusega konteinerlaevade jaoks on vaja umbes 200m pikkust kaid.

Terve terminal jaotatakse tavaliselt 3 alaks:

1. Kai serva ja lao vaheline ala;
2. Primaarne ala ehk peamine konteinerite hoiustamise ala;
3. Sekundaarne ala, kuhu kuuluvad sissepääs, parkimine, büroohooned, toll, tühjade konteinerite;
4. Hoiustamine, remonditöökojad jne.

Kai serva ja lao vaheline laius võib varieeruda 15-50m vahel, sõltudes milliseid laadimis ja lossimis seadmeid terminalis kasutatakse. (Thoresen 2014, 327-330)

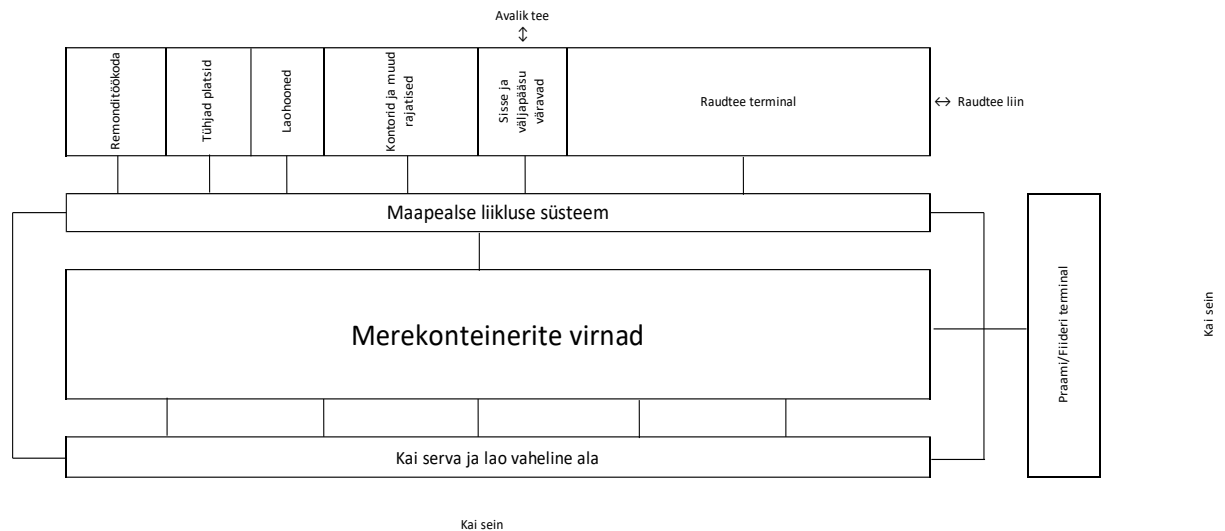
Ülejäänud ala jagatakse primaarseks ja sekundaarseks. Primaarne ala on peamiselt kasutuses sisse tulevate ja välja minevate konteinerite hoiustamiseks. Sekundaarset ala kasutatakse tühjade konteinerite, seadmete jms hoiustamiseks. (Ibid).

Kai serva ja lao vahelisel alal toimub kauba käsitlemine terminalist laevale ja laevast terminali. Sealt transporditakse konteinerid hoiustamise alasse ja sealt edasi liigub kaup tagamaale raudtee- või maismaatranspordi kaudu. (Zangwa, 2018)

Primaarse ja sekundaarse ala peaks ulatuma vähemalt 300m kaugusele, 700m kaugusele kui on tegemist modernse konteinerterminaliga. Seega, terminali ala suuruse nõuded on seotud ladustustihedusega ning kui pikalt konteinerid sadamasse jäävad. (Thoresen 2014, 327-330)

Konteinerite hoiustamise ala on jaotatud erinevateks virnadeks, mis oma korda jaotatud ridadeks. Mõned virnad on reserveeritud spetsiaalsetele konteineritele nagu näiteks ohtlikud lastid (Steenken jt 2004, 7)





Joonis 2 Konteinerterminali laotus

(Allikas: Thoresen 2014, 327)

Tänapäeva suured konteinerlaevad panevad olemasolevad terminalid suure surve alla, kuna enamasti pole arvestatud laevamõõtmete nii järsu kasvuga. Paljudes sadamates tuleb täna tugevdada kaide seinu, pikendada ja valmistada neid ette suurimate laevade teenindamiseks. Kui seda ei tehta, siis võidakse kaotada turuosa ning laevad kolivad teistesse sadamatesse. (International... 40, 2015)

Tugevdades kai seinu ja suurendades seda, tuleb ka mõelda sellele, et suurendades kaid, tuleb ka muid terminali osasid suurendada, sest muidu hakkavad muud terminali osad kannatama ja ikkagi ei suudeta suuremaid laevu teenindada.

Üheks oluliseks osaks terminali efektiivsuse järjepidevuse osas on ka, mis juhtub sadama eesladel. Mida kauem laev peab seisma ankrus väljaspool sadamat, seda ebaefektiivsem on terminal. See võib tuleneda terminali vähestest kai kohtadest või terminali tootlikkuse probleemidest. (Pallis jt., 2021)

## 3 Ettevõtte tutvustus

### 3.1 HHLA TK Estonia AS

HHLA TK Estonia on emafirma HHLA tütarettevõtte, mis asub Saksamaal. Aastal 2018. omandas HHLA Transiidikeskuse ning ettevõtte nimeks sai HHLA TK Estonia. Transiidikeskus on 1996. aastast tegutsev stividori täisteenust pakkuv ettevõtte. HHLA TK Estonia põhitegevus on koondatud AS Tallinna Sadam Muuga sadama vabatsoonis tegutsevatesse konteiner- ja üldkauba terminalidesse. (Esileht, 2021)

Läänemere regiooni logistikakeskusena on Muuga eriti oluline transiidi jaoks Venemaale ja Skandinaaviasse. Terminal on otse ühendatud raudteevõrguga ja teenindab igapäevaselt *RoRo* liinilaevandust Helsingisse. (Terminal Muuga, 2021)

HHLA TK Estonia konteinerterminal on üks kaasaegsemaid. Terminal võttis esimesena maailmas kasutusele tehnoloogilise laadimisskeemi *RTG - Shuttle Carrier*. Terminali tehnoloogiline tootmisvõimsus on 600 000 TEUd aastas. Tänu uuemate tehniliste ja programmiliste vahendite kasutamist, suudab HHLA TK Estonia AS konteinerterminal tagada stabiilse laevade käitluse tootlikkusega 55 - 60 ühikut tunnis ja töödelda autotransporti keskmiselt 30 minuti jooksul alates selle sissesõidust kuni väljasõiduni terminalist. (Konteinerterminal, 2021)

Terminalil on ka suured arendusprojektid. Arengukavas on soetada 2 STS kraanat ja samuti osta teisi erinevaid terminali seadmeid. Lähitulevikus on ka ettevõttel suurendada konteinerilaoplatse, 170 000 ruutmeetri võrra, mis võimaldaks ladustada erinevaid kaupu. (Arendusprojektid, 2021)

HHLA TK Estonia eriliigilised terminalid annavad võimaluse tegutseda universaalse operaatorina. Ettevõtte laeb, lossib ja ladustab erinevaid veoseid:

- Konteinereid;
- Tükikaubad;
- Puistlastid;
- Segalastid;
- Hoiustamisel kindlat temperatuurirežiimi vajavad kaubad. (Firmast, 2021)

Ettevõtte käive aastal 2019. oli 24 728 192 €, ning aastal 2020. 22 344 383 €, mis on 9,65% vähem, kui aastal 2019. Ettevõttes oli aastal 2020 üle 250 töötaja. (HHLA, 2021)

HHLA TK Estonia konteinerterminalis on kasutusel:

- 3 STS kraanat (Konecranes) 40t tõstejõuga;
- 1 raudtee RMG (Konecranes) 40t tõstejõuga;
- 4 RTG kraanat (Kalmar Industries);
- 2 RTG kraanat (Konecranes);
- 7 *Shuttle Carriers* (Kalmar Industries);
- 8 *Reach-Stackerit* laadimisvõimsusega 15 - 45t;
- Muu käitlemistehnika 1,5 - 25t;
- 8 sadamaveokit SISU;
- Multitrailer süsteem (Buiscar) terminalisisesteks konteinerite transportimiseks.  
(Konteinerterminal, 2021)

## 4 Simulatsioonimudeli loomine CHESSCON-is

Selles töös kasutatakse simulatsiooni programmi "CHESSCON", mille on välja töötanud Saksamaal laevandusökonoomika ja logistika instituut. Tarkvara on moduleeritud ja erinevaid mooduleid kasutatakse konkreetsete protsesside jaoks. Näiteks terminalide läbilaskevõime arvutamiseks, terminalide mõõtmeks, praeguse terminali kasutamise visualiseerimiseks, strateegiate optimeerimiseks ja igapäevase töö optimeerimiseks. (Bjorbaek jt 2018, 84)

Üldist terminalisimulatsiooni (CHESSCON simulatsioon) kasutavad terminalide planeerijad, terminalioperaatorid ning ülikoolid ja koolitusasutused kogu maailmas.

Simulatsiooni andmete ning esemete täpsus määrab ära kui reaalelule lähedased tulemused on võimalik simulatsioonist saada, seega on olulisel kohal andmete täpsus ja korrektsus.

Töö autori hinnangul on simulatsiooni loomiskõver väga aeglane, sest loodavaid asju on palju ning terminalist saadavat infot korruga raske hoomata.

### 4.1 CHESSCON, selle terminoloogia ja vajalikud tööriistad

CHESSCON on tiptasemel dünaamiline simulatsioonilahendus, millel on 30-aastane kogemus süsteemisese terminali disainimises. Seda tööriista kasutavad konteinerterminalid üle kogu maailma. See võimaldab terminalioperaatoritel ja konsultantidel kiiresti ja hõlpsalt planeerida haljasalasisid ja terminalide lahendusi. (CHESSCON - Sim... 2021)

Programmis on võimalik luua nii 2D- kui ka 3D kavand, mis aitab paremini visualiseerida loodavat terminali. Terminali luues on ka võimalik sisestada reaal maailma pilt, mis aitab visualiseerida ning planeerida sadamat.

Programm koosneb erinevatest tööriistadest. Tööriistu mida kasutatakse selle töö raames seletatakse lahti järgmistes peatükkides.

### 4.1.1 Terminoloogia

*Layout* on programmi alamosa, kus luuakse simulatsiooniks vajalik konteinerterminali plaan.

*Input* on programmi alamosa, kus sisestatakse simulatsiooniks vajalikud konteinerterminali spetsiifilised andmed.

*Simulation* on CHESSCONi alamosa, kus on võimalik vaadelda ja teostada konteinerterminali simulatsiooni.

*Evaluation*, kus on võimalik näha konteinerterminali simulatsioonist tulenevaid tulemusi.

## 4.2 Konteinerterminali *layout-i* loomine

Simulatsiooni loomisel esimeseks etapiks oli konteinerterminali plaani loomine. Selleks, et simulatsioonis oleks võimalikult reaalelu ligilähedaste mõõtmetega on võimalik kasutada Google Mapsi pilti, mis aitab luua ka visuaalselt õige pildi.

Plaani loomisel kaardistati esiteks ära loodava konteinerterminaliala, kuhu hakati lisama konteinerterminalile vajalike objekte.

Objektide lisamisel alustati konteinervirnade paigutamise. HHLA TK Estonia terminali puhul on terminalis 30 konteineri virna, mis erinevad kõrguse, laiuse ja pikkuse poolest. Virnade paigutamisel kasutati HHLA TK Estonia poolt saadetud *slots plani*. Terminalil on 9 konteinerite virnade ala.



Joonis 3 Virnade paigutus HHLA TK ESTONIA AS konteinerterminalis

Allikas: Väljavõte CHESCONi *Layout* alamprogrammist

Virnade loomisel lisatakse kõik vajaminevad virnade spetsiifilised andmed. Virnade pikkus ja laius, virnastamise kõrgus, ridade arv ning TEUde arv. Virnasid on võimalik luua horisontaalselt ja vertikaalselt. HHLA TK Estonia konteinerterminali puhul on tähtis element diagonaalsed virnad, mida on võimalik kujutada ainult simulatsiooni 3D vaates.

Properties Stack	
ID	S8
Type of stack	Import
Type of stack equip.	Yard gantry
Stacking height	4
No of rows	6
TEU in row	11
Slots for dangerous boxes	0
Not usable slots	0
Distance between rows	1
Distance between slots	0,1
Util. before simulation	70
Max. utilization	80
TEU in buffer	0
% for next level	30
Row alignment	0
YG interface	Landside
Max. no YGs	0
Height	16,2
Width	70,4
Z	0
Visible in 3D	<input checked="" type="checkbox"/>
Texture	gray.bmp
Texture repeat	
Transparency	0
Show to	0
Show from	0
Color	<span style="color: green;">■</span>
Layer	Stacks

Joonis 4 Virnade spetsifikatsioonid

Allikas: Väljavõte CHESCONi *Layout* alamprogrammist

Järgmiseks etapiks konteinerterminali plaani loomisel oli luua vajaminevad terminali tõsteseadmed ja väravad. Kuna simulatsiooni korrektseks töötamiseks oli kõige olulisemaks etapiks STS kraanade paigutus, mis võimaldab simulatsiooni faasis laevade laadimist ja lossimist ning ülejäänute tõsteseadmete paigutus ei olnud oluline, vaid on vajalik 3D pildi loomiseks.

Viimaseks etapiks selles faasis oli luua terminali seadmete liikluskeem. Selles faasis loodi tõsteseadmete ja virnade vahelised teed ja raudteed. Kuna terminaliala on suur ja korrapäratu, siis teede loomine oli keeruline. Terminalis on kasutusel mitmed ringteed, mida simulatsiooni programmis ei ole võimalik kasutada. Teede loomisel tuli olulist rõhku panna teede korrektsele ühendamisele, kuna teede mitteühendamise puhul ei ole võimalik käivitada simulatsiooni ja programmi töö seiskub.



Joonis 5 Terminali *layout* CHESSCONis

Allikas: Väljavõte CHESSCONi *Layout* alamprogrammist

Viimaseks võimaluseks *layouti* programmis on terminali 3D vaade. Seal on võimalik loodud terminali paigutust visualiseerida 3D vaates. Võimalus on ka käivitada terminali animatsioon, kus saab visualiseerida terminali tööd 3Ds.





Joonis 6 Terminali 3D pealtvaade

Allikas: Väljavõte CHESSCONi 3D viewerist

### 4.3 Konteineriterminali *inputi-i* sisestamine

Selles CHESSCONi alamprogrammis lisatakse simulatsiooni jaoks vajalikud andmed ja strategiad. Terminali töö on keeruline ning erinevaid osasid on palju. Selleks, et saada võimalikult täpset simulatsiooni, peavad olema täidetud kõik simulatsioonile vajalikud andmed. HHLA TK poolt saadetud andmed ei olnud täielikud ning sellepärast, et teostada simulatsiooni otsustas autor kasutada ka demo versioonis ette antud andmeid.

Esimese osana tuleb sisestada konteineriterminali üldised andmed ja strateegia ladustamisel. Sinna kuuluvad, mis osakaaludes sisenevad ja väljuvad konteinerid terminalist. Tõsteseadmete ja virnade strateegia puhul valitakse, mille alusel simulatsioon otsustab mingi virna kasuks, kust alustab oma tööd.

Teise osana sisestaks kõik terminalis kasutuses olevad seadmed. Seadmete lisamisel programmi tuli ka lisada neile omaduslikud andmed ja tööaeg. Näiteks nende kiirus, tõste ja langetus kiirus jne.. Viimaseks liigutuseks selles etapis on tõsteseadmete lisamine töösse ehk programm tahab teada, mitu kindlat seadet on terminalis töös. HHLA TK Estonia konteineriterminali puhul olid sisestatavad seadmed:

1. STS kraanad:
  - 3 Kone STS
2. RTG/RMG



- 4 Kalmar RTG
- 2 Kone RTG
- 1 Kone RMG

### 3. Reach Stacker-id

- 2 Kalmar
- 6 Linde
- 1 SMV

### 4. Sadamaveokid

- 8 SISU

Type of equipment: Yard gantry

ID:

description:

width:  m

Cost parameter

fix costs p.a.:  MU    oper. time p.a.:  hrs

fix costs/hr:  MU

variable costs/hr:  MU

---

General

stacking height: 1 over

pick up time:  sec

drop off time:  sec

hoisting speed:  m/min

ext./retract spreader:  sec

gantry speed:  m/min

trolley speed:  m/min

Shuffling

	aver. time for shuffle movement	standard deviation
20%	<input type="text" value="40"/> sec	<input type="text" value="20"/> sec
40%	<input type="text" value="60"/> sec	<input type="text" value="20"/> sec
60%	<input type="text" value="150"/> sec	<input type="text" value="50"/> sec
80%	<input type="text" value="240"/> sec	<input type="text" value="50"/> sec
100%	<input type="text" value="360"/> sec	<input type="text" value="100"/> sec

Twin lift mode

twin lift operation

changeover twin/single lift:  sec

Gantry direction

bay

row

Relocation

time for relocation:  sec

standard deviation:  sec

Joonis 7 RTG andmed

Allikas: Väljavõte CHESSCONi *Input* alamprogrammist

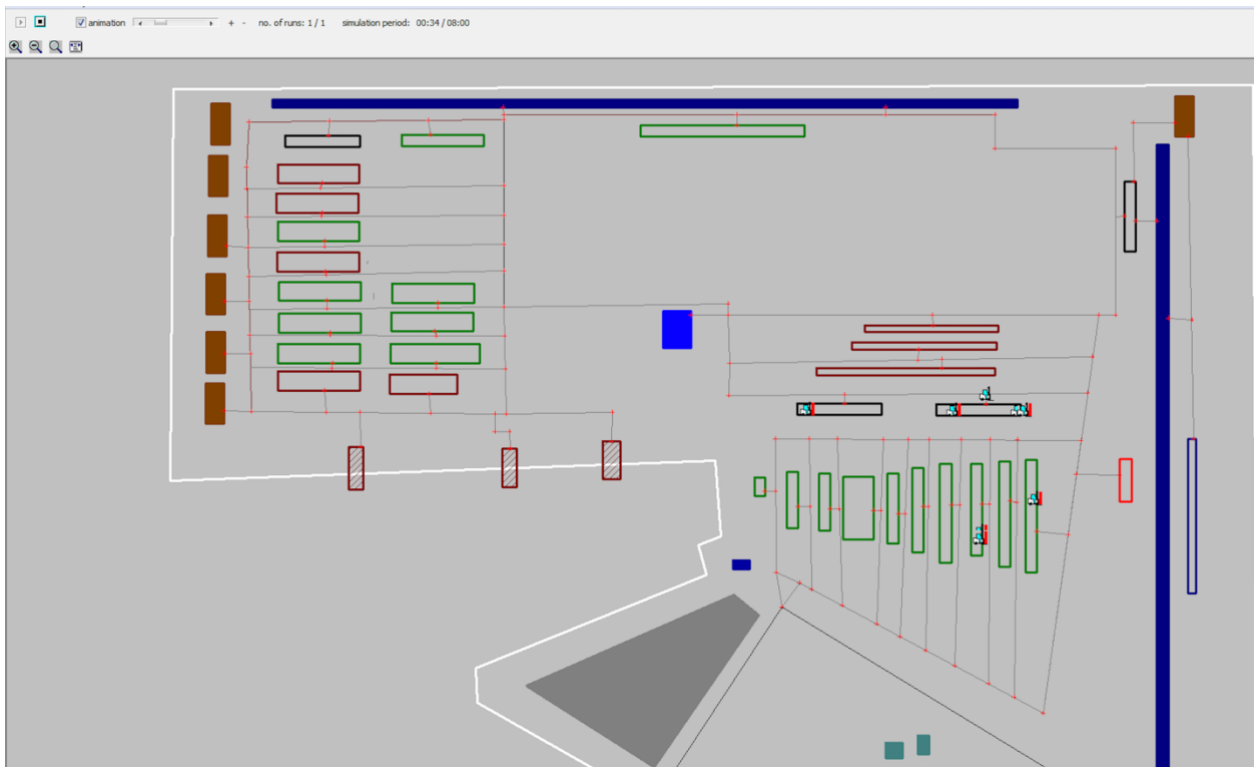
Edasi lisatakse terminali sisse tulevad laevad, rongid ja veokid. See on oluline selleks, et määrata ära, mis seadmed alustavad nende teenindamisega. Samuti määratakse ära, mitu konteinerit eksporditakse ja imporditakse.

Viimases osas määratakse ära konteineriterminali seadmete töö põhimõtted. Määratakse ära, millised tõsteseadmed teenindavad STS kraanasi, veokeid ja raudtee osa. Määratakse

ära, millistest virnadest valitakse transpordiseadmete konteinereid ja millised virnastamise seadmed teenindavad kindlaid virnu.

#### 4.4 Simulatsiooni käivitamine

Kui kõik eelmised etapid on korrektselt läbitud, on võimalik simulatsioon käivitada. Eelnevalt on ära määratud simulatsiooni pikkus. Simulatsiooni moodulis on võimalik simulatsiooni käivitada kahte viisi, animatsiooniga ja ilma. Kasutades animatsiooni on võimalik oma silmaga näha, kus kohas terminali töös tekivad seisakud ning mida on vaja parandada, et terminali töö oleks võimalikult optimaalne ja ei tekiks hetke, kus seadmed peavad üksteise järgi ootama. Simulatsiooni lõppedes edastab programm simulatsioonist tulenevad andmed programmi järgmisse moodulisse *evaluation*.



Joonis 8 Hetk HHLA TK Estonia AS konteinerterminali simulatsioonist

Allikas: Väljavõte CHESSCONi *Simulation* alamprogrammist

#### 4.5 *Evaluation-i* moodul

Selles moodulis on võimalik näha kõiki terminali simulatsioonist tulevaid andmeid. Siin on võimalik näha konteinerite voogu, mis on ühe konteineri hind erinevate

transpordivahendite puhul jpm. Terminali jaoks on kõige tähtsam, mis on ühe konteineri hind. Mida madalam see on, seda väiksem on terminali kulu. Et seda saavutada, on vajalik programmis analüüsida mitmeid andmeid. Andmeid on võimalik kuvada iga erineva operatsiooni, virna ja seadme kohta kas eraldi, koos või kuvada tulemuste keskmine. Tulemustest on võimalik välja lugeda, kui kaua seadmed ootavad ja ei tee tööd, kui palju aega kulutavad tühjale sõitmisele, mitu tõstet nad teevad jne.

Ühendades *evaluation* mooduli ja animatsiooni on võimalik kindlaks teha miks ja kus oleks võimalik optimeerida tööd, et saada terminali ühe konteineri hinna võimalikult madalaks ja tõsted tunnis võimalikult suureks.

## **5 HHLA TK Estonia AS konteineriterminali simulatsiooni tulemuste analüüs**

### **5.1 Simulatsiooni algandmed**

Simulatsiooni kestvuseks valiti 8h, mis on ühe vahetuse pikkus HHLA TK konteinerterminalis. Simulatsioonis kasutati konteinerterminali andmeid 19.05 seisuga, terminalis oli selle kuupäeva seisuga 3055 konteinerit, neist 57% tühjad ja 42% laetud, 1% külmkonteinereid ja 1% ohtlike lastide konteinereid.

#### **5.1.1 Meretransport**

Simulatsioonis kasutati 2 laeva, mis genereeriti HHLA TK Estonia TOS süsteemist.

Laev 1: Lossida 418 konteinerit

Laadida 348 konteinerit

Saabub terminali simulatsiooni alguses.

Laev 2: Lossida 127 konteinerit

Laadida 101 konteinerit

Saabub sadamasse, kui simulatsioonist on läbi 45 minutit.

#### **5.1.2 Raudteetransport**

Simulatsioonis kasutati 2 rongi, kuna HHLA TK Estonia terminalis on 2 konteinerplatvormi, rongid on tuletatud simulatsiooni katsetamise jaoks.

Rong 1: Lossida 100 konteinerit

Laadida 100 konteinerit

Saabub terminali, kui simulatsioonist on läbi 1 tund.

Rong 2: Lossida 100 konteinerit

Laadida 100 konteinerit

Saabub terminali, kui simulatsioonist on läbi 3 tundi.

### 5.1.3 Maismaatransport

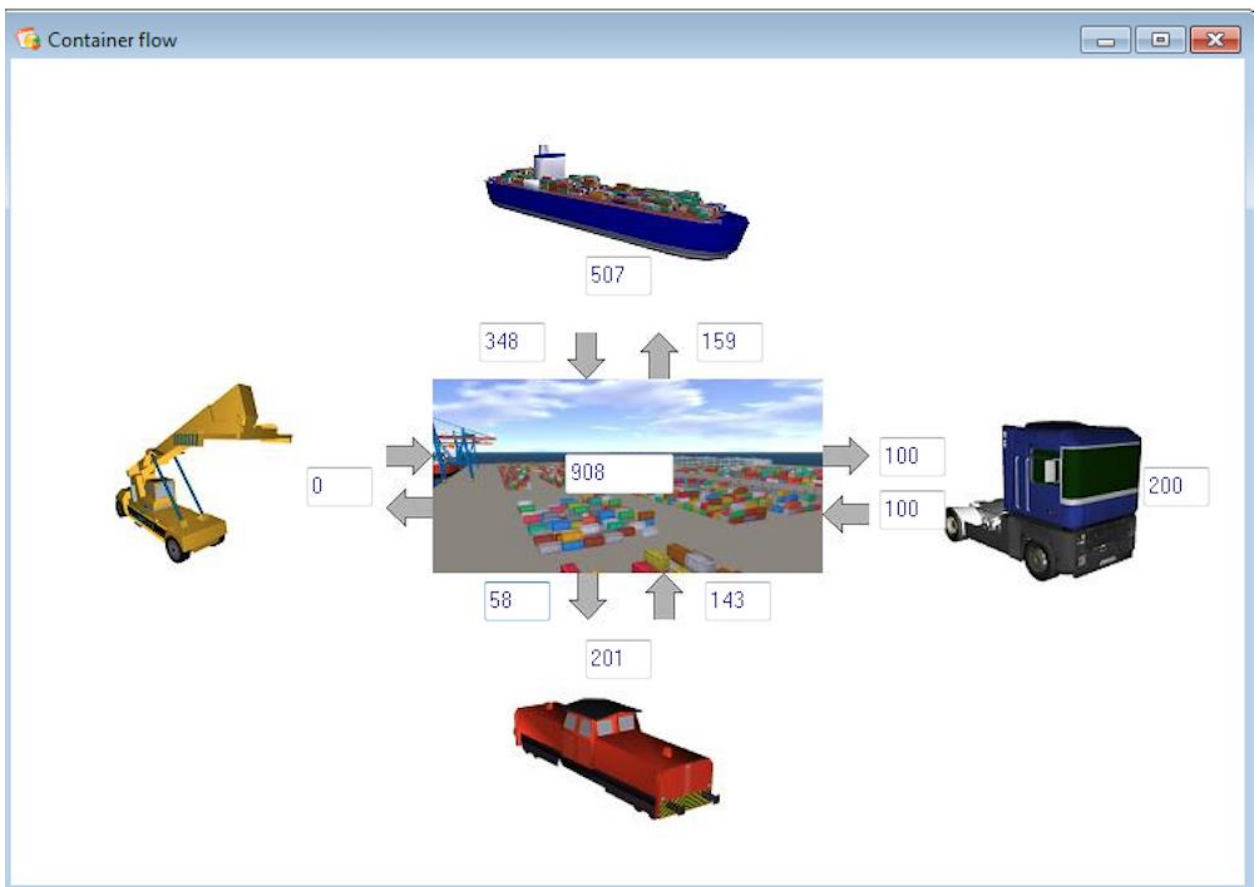
Simulatsiooni jaoks loodi näitlik maismaatransport, kus laaditakse 100 konteinerit ja lossitakse 100 konteinerit. Maismaatranspordile lisati veel eriparameetrid:

- Veokid sisse- ja välja minevate konteineritega - 40%
- Veokid saavad ilma konteinerita - 20%
- Veokid lahkuvad terminalist ilma konteinerita - 30%

Saavad terminali käivitamise hetkel

### 5.2 Simulatsiooni tulemused

Simulatsiooni perioodi jooksul liigutati terminalis kokku 908 konteinerit. Meretranspordi osakaal oli sellest 507 konteinerit, nendest 348 lossiti ja 159 laaditi. Raudteetranspordil käideldi 201 konteinerit, 143 lossiti ja 58 laaditi. Maismaatranspordi puhul lossiti 100 ja laaditi 100 konteinerit ehk kokku käideldi 200 konteinerit.



Joonis 9 Simulatsiooni konteinerite liikumine terminalis

Allikas: Väljavõte CHESSCONi *Evaluation* alamprogrammist

Meretranspordi konteinerite käitlemisel suutis terminal laadida või lossida keskmiselt 21,1 konteinerit/h. Raudteetransport suutis keskmiselt käidelda 16,7 konteinerit/h ja maismaatransport keskmiselt 25 konteinerit/h.

Simulatsiooni tulemusena oli kõikide veoliikidele keskmine kulu 5772,93 ühikut, mis tähendab, et 908 liigutatud konteineri puhul on keskmine kulu ühe konteineri kohta 39,97 ühikut. Kõige kulukam transpordiliik

production center			
ID	total costs	no. of boxes	costs/box
- type : R/D TRUCK			
R1	2576.03	200.00	12.88
	2576.03	200.00	12.88
- type : RAILWAY			
TRAIN2	1985.54	43.00	46.18
TRAIN	6578.54	158.00	41.64
	4282.04	100.50	43.91
- type : SEASIDE			
STS1	8178.45	176.00	46.47
STS2	7602.71	171.00	44.46
STS3	7716.29	160.00	48.23
	7832.49	169.00	46.39
	5772.93	151.33	39.97

Summary type  
 sum  average  minimum  maximum

Joonis 10 Simulatsioonis tekkinud keskmine kulu

Allikas: Väljavõte CHESSCONi *Evaluation* alamprogrammist

Terminali töö efektiivsust iseloomustab hästi kui kaua peab ootama üks transpordivahend laadimist või lossimist. Selleks on loonud CHESSCON ka oma simulatsiooni tulemustes rea, kus on näidatud simulatsiooni jooksul iga veoliigi keskmine, minimaalne ja maksimaalne ooteaeg. Terminalis maismaatranspordi puhul oli keskmine ooteaeg sisse tulevatel konteineritel 122 minuti ja välja minevate 129 minutit.

ever. waiting time [min]		max. wait. time [min]		min. wait. time [min]	
incoming	outgoing	incoming	outgoing	incoming	outgoing
122	129	316	349	0	8

Joonis 11 Keskmine maismaatranspordi ooteaeg

Allikas: Väljavõte CHESSCONi *Evaluation* alamprogrammist

Samuti võib välja lugeda, et maksimaalne ja minimaalne ooteaeg on üksteisest väga erinevad ehk simulatsioonis terminal ei töötanud koguaeg sama efektiivsusega.

Meretranspordi puhul on märgata seda, et kaks kaikraanat töötavad ühel kiirusel ning kolmas kraana töötab 45 minuti võrra aeglasemalt. Keskmiselt on aga kaikraanade impordi tööaeg 2 tundi ja 59 minutit ning ekspordi tööaeg 4 tundi ja 32 minutit. See tuleneb sellest, et impordi puhul tõstetakse konteiner kai peale ja lossitakse edasi. Ekspordi puhul on vaja, et kai pealsed masinad teenindaksid kaikraanasid. Kui seda piisavalt kiiresti ei tehta, ei ole terminali töö efektiivne.

STS cranes												
External truck operation												
Railway operation												
ID	targeted production		actual production [boxes]		actual production [moves]		waiting time		operation time	standby	boxes/hr	moves/hr
	import	export	import	export	import	export	import	export				
STS1	148	199	115	51	115	51	2,45	4,45	0,21	0,00	20,75	20,75
STS2	150	191	115	47	115	47	2,47	4,44	0,20	0,00	20,25	20,25
STS3	152	194	119	35	119	35	2,25	4,06	0,20	0,00	19,25	19,25
	150,0	191,7	116,0	44,7	116,0	44,7	2,59	4,32	0,23	0,00	20,0	20,0

Summary type  
 sum  average  minimum  maximum

Joonis 12 Kaikraanade ooteaeg

Allikas: Väljavõte CHESSCONi *Evaluation* alamprogrammist

### 5.3 Simulatsiooni võrdlus HHLA TK Estonia AS konteineriterminaliga

Simulatsiooniga saavutati meretranspordi puhul tunduvalt aeglasem, ligi 25% aeglasem käitlemiskiirus võrreldes HHLA TK Estonia AS konteinerterminali enda andmetega. Simulatsioonis saavutati kaikraanade tootlikuseks keskmiselt 21,1 konteinerit/h, kuid HHLA TK Estonia konteinerterminalis saavutati sama laeva puhul tootlikus 28,1 konteinerit/h. Sellise suure tootlikkuse vahe puhul on töö autor eksinud andmetes ning

simulatsiooni osas on tehtud viga, näiteks on määratud vale arv transpordiseadmeid ühele kraanale, mis takistab kaakraana tööd.

Raudteetranspordi puhul saavutati simulatsiooniga ligilähedane tootlikus HHLA TK terminalile. Simulatsiooniga saavutati tootlikus, mis on 10% parem HHLA TK Estonia AS terminali andmetest. Terminalis on keskmine tootlikus 15 konteinerit/h, simulatsioonis saavutati keskmiseks tootlikuseks 16,7 konteinerit/h. See vahe võib olla tingitud inimfaktorist, mida simulatsioon arvesse ei võta.

Maismaatranspordi puhul oli töös keskmine tootlikus 25 konteinerit/h. HHLA TK Estonia AS konteinerterminalis on tootlikus 29 veokit/h, mis on 20% rohkem kui simulatsioonis saadud tootlikus.

## **5.4 Ideed projekti edasiarendamiseks**

Projekti on võimalik edasi arendada mitmetel eri suundadel. Loodud terminali laotust on võimalik kasutada mitmetes tulevates projektides.

Esiteks on võimalik simulatsiooni edasi arendada ja luua veelgi reaalsusele ligilähedasem simulatsioon, mida tulevikus oleks võimalik optimeerida ning parandada terminali tööd. Võimalike viise selleks on palju, näiteks muuta transpordiseadmete määramist transpordiliikidele või muuta täpsemaks terminalis olevate seadmete andmeid.

Teiseks edasiarendamise võimaluseks on arendada terminali laienemise ja arendamise plaanide põhjal tuleviku HHLA TK Estonia AS konteinerterminal. Seda juhul kui, näiteks lisatakse terminali uus kaakraana või võetakse kasutusele uus konteinerite hoiustamise ala.

Kolmandaks võimaluseks on simulatsioonis kasutuses olevate andmete täiendamine. Koostades simulatsiooni oli mitmel korral juhus, kus terminalil endal ei olnud vajaminevaid andmeid ehk edasiarenduse puhul oleks võimalik täiendada ja luua uus kogum andmeid simulatsiooni jaoks.

Neljandaks võimaluseks on kasutada loodud simulatsiooni Eesti Mereakadeemia õppeprotsessis. Hetkel tutvustatakse simulatsiooni programmi CHESSCON Eesti Mereakadeemia õppeprogrammis demo versiooni alusel, mis tuleb kaasa programmiga.



Kasutades loodud simulatsiooni on võimalik tudengitele tutvustada Eestis asuvat konteinerterminali ja muuta õppetöö huvitavamaks ja efektiivsemaks.

## Kokkuvõte

Simulatsioonid on kasutuses olnud juba aastakümneid. Simulatsioone kasutatakse igal alal ja on suurepärase vahend analüüsimaks süsteemi tegevust.

Tööle oli seatud kolm eesmärki, millest kaks esimest olid seotud simulatsiooni loomisega ja oskuste omandamisega ning kolmas simulatsiooniprogrammis CHESSCON simulatsiooni loomise protsessi kirjeldamine. Antud töö kirjutati projekti põhjal, kus loodi CHESSCONi simulatsiooniprogrammis HHLA TK Estonia AS konteinerterminalist simulatsioon.

Töö eesmärgid said täidetud ja HHLA TK Estonia AS konteinerterminali simulatsioonimudel samuti valmis. Töö protsessi ajal selgus, et simulatsioonimudeli koostamist tuleb alustada konteinerterminali laotuse loomisega, kuhu tuleb paigutada konteinerite virnad, kaikraanade asukohad, veokite väravad ja raudtee terminal. Samuti on võimalus visuaalseks efektiks lisada tõsteseadmed ja büroohooneid. Laotuse järel tuleb lisada ka teevõrgustik veokite ja tõsteseadmete liiklemiseks. Kui terminali paigutus on valmis, tuleb edasi liikuda sisendi alamprogrammi.

Sisendi alamprogrammis tuleb ette anda simulatsiooniks vajaminevad andmed. Simulatsiooni täideviimiseks on vaja tõsteseadmete tehnilisi andmeid ja nende kulu. Samuti tuleb ära määrata, millised tõsteseadmed teenindavad millist virna ja millist veoliiki. Alamprogrammis tuleb ära määrata ka laevad, rongid ja veokid, mis külastavad terminali simulatsiooniperioodi jooksul. Kui andmed on sisestatud, tuleb edasi liikuda simulatsiooni alamprogrammi, kus käivitatakse simulatsioon.

Pärast simulatsiooni teostamist on võimalik hindamise alamprogrammis hinnata simulatsiooni tegevust ning analüüsida saadud tulemusi. Kõige tähtsamateks andmeteks konteinerterminali simulatsiooni puhul on konteinerite arv/tunnis ja keskmine kulu konteineri kohta.

Tööst võib järeldada, et simulatsioonimudeli loomine on seda keerulisem, mida täpsemalt ja kvaliteetsemalt seda teha tahetakse. Võimalusi simulatsiooni arendamiseks ja

loomiseks on palju, kuid oskuste omandamine ja vilumus võtavad kaua aega. Mida rohkem elemente simulatsioonis valmis saadakse, seda efektiivsemaks töö läheb.

Kuna simulatsioon käitub vastavalt kasutaja poolt ette antud andmetele, siis tuleb arvesse võtta ka seda, et simulatsioon on täpselt nii täpne, kui on seda sisestatud andmed.

Tööl on mitmeid erinevaid edasiarendamise viise ning tulevikus on simulatsioonil ka potentsiaali olla osa Eesti Mereakadeemia õppetööst.

## **Võõrkeelne lühikokkuvõte**

This thesis describes the development of a container terminal simulation on example of HHLA TK Estonia AS container terminal. The first step of creating a simulation is building a layout and it ends with analysing the results of the simulation. The main purpose of this paper is to learn about how to develop and create a container terminal simulation. After reading this thesis the reader should understand the basics of creating a layout for a simulation and also the needed data to run a simulation. The second goal is to acquire the knowledge about the programm CHESSCON and the third goal is to give an overview of the workflow when creating a simulation in CHESSCON.

This thesis is based on a simulation of HHLA TK Estonia AS container terminal and all the pictures are taken from the simulation programm CHESSCON.

The outcome of this thesis is that to create a simulation that is as real as the real container terminal is really a long process. To be satisfied with the end results, you have to have many hours of practice and you have to have the correct data from the terminal to match the results coming from the real world.

This thesis consists of 5 sections. The first section describes simulations and how do ports use simulations in their work. In the second paragraph the author describes how do container terminals work and what machinery do they need to be able to serve ships, railway and trucks. The third section gives a small overview of HHLA TK Estonia AS's container terminal. The fourth paragraph describes how the simulation was created and what data was used and inserted. The final fifth paragraph shows the results of the simulation and compares them to the real world.

This thesis is written in Estonian and contains 40 pages of text 5 chapters and 12 figures.

## Viidatud allikad

Agerschou H., Dand I, Ernst T., Ghooos H., Jensen O. J., Korsgaard J., Land J. M., McKay T., Oumeraci H., Petersen J. B., Runge-Schmidt L., Svenden H. L. (2004). Planning and Design of Ports and Marine Terminals. 2nd ed. London: Thomas Telford Publishing. (23.03.2021)

Anylogic (2021). Features - Why use simulation? <https://www.anylogic.com/use-of-simulation/> (05.04.2021)

Benamara H., Hoffmann J., Rodriguez L., Youssef F., Trade Logistics Branch, UNCTAD (2019). Container ports: the fastest, the busiest, and the best connected <https://unctad.org/news/container-ports-fastest-busiest-and-best-connected> (02.05.2021)

Bjorbaek T. C., Berg O., Schuett H., Dushenko M. (2018) Simulation Based Lectures for Students in Logistics - Scientific Journal of Gydnia Maritime University. 84-86. ReasearchGate (24.03.2021)

Boer C. A., Saanen Y. (2012). Improving Container Terminal Efficiency Through Emulations - Journal of Simulations, 267. ReasearchGate (24.03.2021)

Boer C. A., Saanen Y., Bruggeling M., Koumantiotis N. (2014) Near-To-Live-Training for Container Terminal Planners: Bridging the Gap Between Training and Live Operation. - The 2014 International Conference on Logistics and Maritime Systems, LOGMS 2014, Rotterdam, Holland, August 27- 29, 2-3. ReasearchGate. (05.04.2021)

CHESSCON (2021). Products - Simulation <https://www.chesscon.com/chesscon-simulation.html> (22.04.2021)

Eddin M. M., Andersson V. (2019) A Simulation Modelling Approach for Analysing Logistics Processes in the port of Gävle : magistritöö. Gävle : University of Gävle. - Digitaalne Teadusarhiiv (DiVA) <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1380211/FULLTEXT01.pdf> (24.03.2021)

Govender T., Brooks M. J., Bemont C. (2017) The Effect of Multi- Trailer Systems on the Efficiency of Container Movemnets between the Ship and the Stacks at the Durban Container Terminal, 28 (4), 81. ReasearchGate (02.05.2021)

Gylling T. (2013). The case for automated RTG container handling [https://www.konecranes.com/sites/default/files/download/case\\_for\\_automated\\_rtg\\_container\\_handling.pdf](https://www.konecranes.com/sites/default/files/download/case_for_automated_rtg_container_handling.pdf) (02.05.2021)

HHLA (2021). Company - Subsidiaries - Terminal Muuga <https://hlla.de/en/company/subsidiaries/terminal-muuga-tk> (02.05.2021)

HHLA TK Estonia (2021). Esileht <http://www.tk.ee> (03.03.2021)

- HHLA TK Estonia (2021). Firmast <http://www.tk.ee/ee/about-the-company.html> (03.03.2021)
- HHLA TK Estonia (2021). Terminalid - Konteinerterminal <http://www.tk.ee/77est.html> (02.05.2021)
- HHLA TK Estonia (2021). Terminalid - Arendusprojektid <http://www.tk.ee/79est.html> (02.05.2021)
- Inforegister (2021). HHLA TK Estonia AS <https://inforegister.ee/10189553-TRANSIIDIKESKUSE-AS> (03.03.2021)
- International Transport Forum (2015). The Impact of Mega-Ships, 40 - 41. [http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/15CSPA\\_Mega-Ships.pdf](http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/15CSPA_Mega-Ships.pdf) (02.05.2021)
- Kalmar (2021). Equipment and services <https://www.kalmarglobal.com/equipment-services/shuttle-carriers/> (02.05.2021)
- Konecranes (2021). Equipment - Mobile harbor cranes <https://www.konecranes.com/equipment/mobile-harbor-cranes> (02.05.2021)
- Kotachi M., Rabadi G., Obeid M. F. (2013) Simulation Modeling and Analysis of Complex Port Operations with Multimodal Transportation - Procedia Computer Science 20, 230. ReasearchGate (23.03.2021)
- Pallis A., Rodrigue J. (2021) Port Economics, Managment and Policy: Chapter 6.2 - Port Efficiency. <https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part6/port-efficiency/> (02.05.2021)
- Sanchez. P (2007). Fundamentals of Simulation Modeling. - Calhoun: The NPS Institutional Archive, 54-56. <https://core.ac.uk/download/pdf/36730973.pdf> (05.04.2021)
- Sany Global (2021). Products - Reach Stacker [https://product.sanyglobal.com/port\\_machinery/reach\\_stackер/](https://product.sanyglobal.com/port_machinery/reach_stackер/) (02.05.2021)
- Schütt H. (2011). Simulation Technology in Planning, Implementation and Operations of Container Terminals - Chapter 1, 5. ReasearchGate (1.05.2021)
- Steenken D., Voß S., Stahlbock R. (2004). Container terminal operation and operations research - a classification and literatuure review, 6-7. ReasearchGate (1.05.2021)
- The Port Authority of Trinidad and Tobago (PATNT) (2021). Cargo Handling [http://www.patnt.com/cargo\\_handling.php?mid=37](http://www.patnt.com/cargo_handling.php?mid=37) (02.05.2021)
- Thoresen C. A. (2014). Port Designer's Handbook. 3rd ed. London: ICE Publishing.

Zangwa A. I. (2018). A Total Factor Productivity Analysis of a Container Terminal: Durban, South Africa : magistritöö. World Maritime University Malmö, Sweden.  
[https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1636&context=all\\_dissertations](https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1636&context=all_dissertations)  
(02.05.2021)

Zarzuelo I. P., Seoane M. J. F., Bermudez B. L., Montes C. P. (2019). The Role Of Simulation in the Ports and Maritime Industry: Practical Experiences and Outlook for the New Generation of Ports 4.0 - An International Research Conference on Maritime Affairs, IRCMA 2019, Carcavelos, Portugal, November 21 - 22, 7. ReasearchGate  
(1.05.2021)

## Lisa 1 Lihtlitsents

Mina Martin Aruja

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Konteineriterminali simulatsioonimudeli loomine CHESSCON-is HHLA TK Estonia AS näitel,

mille juhendaja on Tõnis Hunt,

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