

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö keskkonnatehnoloogias

Tallinna ühistranspordiliikide olelusringi võrdlusanalüüs

Cris-Tiina Türkson

Juhendajad: MSc Age Poom

MSc Janika Laht

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2014

Sisukord

Sissejuhatus	3
1 Teoreetiline ülevaade	5
1.1 Keskkonnamõjud	5
1.2 Õigusaktid ja arengut suunavad dokumendid	10
1.3 Tallinna ühistransport	13
1.4 Näiteid transpordi olelusingi hindamise uuringutest maailmas.....	15
2 Metoodika	18
2.1 Olelusingi hindamine	18
2.2 Käsitlusala	22
2.3. Andmed	25
2.4. Andmeanalüüs.....	27
3 Tulemused.....	29
3.1 Inventuuranalüüs.....	29
3.2 Keskkonnamõjude hindamise tulemused	30
3.2.1 Buss	30
3.2.2 Troll.....	32
3.2.3 Tramm.....	34
4 Arutelu.....	36
5 Kokkuvõte.....	41
6 Summary	43
7 Tänuavaldused	46
8 Kasutatud kirjandus.....	47
9 Lisad	53
Lisa 1	53
Lisa 2.....	56

Sissejuhatus

Käesoleva töö teema valik tuleneb järjest suurenevast huvist kliimamuutuse ja seda põhjustavate tegurite ning valdkondade vastu terves Euroopas. Transpordisektor on üks valdkondadest, milles ei ole suudetud veel märkimisväärseid parendusi korda saata (Drovtar et al., 2013; Jüssi et al., 2010; Schwanen et al., 2011). Seda tõendab ka transpordi osakaalu suurenemine kogu CO₂ emissioonides nii Euroopa Liidus kui ka Ameerika Ühendriikides. Aastatel 1990–2008 langesid CO₂ emissioonid Euroopa Liidus 4,0 gigatonnilt 3,9-le gigatonnile. Samal ajal kasvas transpordi osakaal aga CO₂ emiteerimisel 19%-lt 25%-le (Schwanen et al., 2011). Seepärast on nii Eestis kui ka Euroopa Liidus võetud eesmärgiks erinevate määruste ja strateegiatega abil transpordi emissioone vähendada.

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi avaldatud Transpordi arengukavas 2020. aastani (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013) on Eesti transpordipoliitika eesmärgiks luua jätkusuutlik transpordisüsteem, tagamaks inimestele vajalikud liikumisvõimalused mugavalt, kiirelt ja ohutult. Samane üldeesmärk on ka Euroopa Liidu transpordipoliitikas (European Commission, 2011; Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2006a). Euroopa Keskkonnaagentuur peab transpordist tulenevate emissioonide ja energiakulu vähendamist tähtsaimaks eesmärgiks, kuna transpordivaldkond on ainuke Euroopas, kus kasvuhoonegaaside heide on kiiresti kasvanud (Banister et al., 2012; Banister, 2011; European Environment Agency, 2013; Schwanen et al., 2011). Transpordipoliitika eesmärgi täitmise üheks võimaluseks on ühistranspordi kasutamise suurendamine. Ühistranspordi kasutamine pakub inimestele kiiret ja ohutut liikumisviisi ning võimaldab hoiduda keskkonnakoormuse suurenemisest, ummikutest linnades jne (Jüssi et al., 2010; Siseministeerium, 2013). Eesti elanikkonna liikuvusmustrid on hetkel veel Euroopa Liidu riikide keskmisega võrreldes säästlikumad. Ühistranspordi osakaal igapäevases liikumises on Euroopa Liidu keskmisest suurem (näiteks moodustab Eesti linnades jalgsikäigu ja ühistranspordi osakaal ligikaudu 2/3 kõikidest liikumisviisidest) (Jüssi et al., 2010).

Vaatamata sellele on viimase paarikümne aasta jooksul ühistranspordi kasutamise osakaal Eestis vähenenud (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013). Ühistranspordi kasutamise oodatud tõusu Tallinnas ei ole toonud ka 2013. aasta algusest kehtima hakanud tasuta ühistransport tallinlastele (Cats et al., 2014). Linnade elukeskkonna parendamiseks on ühistranspordi tähtsuse suurendamine aga väga oluline, selle tulemusena säästes nii ressursse kui energiat (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013). Ometigi on ka ühistranspordiliikidel erineva ulatusega keskkonnamõjud. Alustades busside lokaalse keskkonnamõjuga – õhusaaste, müra jms – ning trollide ja trammide elektrikasutusest tulenevate ulatuslike CO₂ emissioonidega.

Käesolev uurimustöö on Tallinna ühistranspordiliikide olelusringi võrdlusanalüüs, keskendudes eelkõige transpordisüsteemi erinevate etappide keskkonnamõjudele. Töö eesmärgiks on võrrelda erinevate ühistranspordivahendite olelusringide keskkonnamõjusid ja selgitada välja vähima keskkonnamõjuga ühistranspordivahend. Uurimuse käigus leitakse erinevate ühistranspordiliikide toimimiseks vajaminev aastane energiakulu ja CO₂ emissioonide suurus ühe sõitjakilomeetri kohta aastas. Magistritöö mahtu arvestades on ühistranspordiliikidena antud töös hinnatud busse, trolle ja tramme, jättes välja elektrirongid, taksod ja marsruuttaksod. Rongide ja marsruuttaksode väljajätmise põhjuseks on veel ka antud ühistranspordiliikide ulatuslik liikumine üle Tallinna linnapiiri, mis raskendaks linnapiiridesse jääva transpordi mõju leidmist. Ruumiliselt on töö piiritletud Tallinna linnapiiridega. Töö teoreetilises osas antakse ülevaade transpordisüsteemi keskkonnamõjudest ja juba tehtud töödest nii Eestis kui ka välismaal. Praktilises osas kaardistatakse Tallinna ühistranspordiliikide olelusringi etapid, mille keskkonnamõjusid hiljem analüüsitakse arvatud andmete põhjal 2012. aasta kohta.

Käesoleva töö tulemusena saadud andmed võivad vastavalt kasutaja soovist täita kas või seire ülesannet, ent võivad osutada abiks ka transpordi teemaliste uurimustööde tegemisel ning edasiste analüüside valmimisel.

1 Teoreetiline ülevaade

Transport loob füüsilisi ühendusi asukohtade ja inimeste vahel. Kogukonna liikmed sõltuvad transpordist selleks, et toimida ühiskonnana ja teha koostööd teiste kogukondadega (Tallinna Transpordiamet, 2007). Transpordisüsteem koosneb teedevõrgust, transpordivahenditest (bussid, autod, rongid jne), veoteenusest, inimestest, kes liiguvad ja kaupadest, mida liigutatakse ning sellega seotud teenustest, infost, regulatsioonist ja organisatsioonidest (European Commission, 2011; Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013). Transpordisüsteemi peamiseks ülesandeks on inimeste liikumissoovide rahuldamine, kuid ka ülesanne tagada teenuste ja sihtkohtade kättesaadavus (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013; Schwanen et al., 2011).

Transport koosneb nii motoriseeritud kui ka mittemotoriseeritud liikumisest. Transpordisüsteemidel, eriti just motoriseeritud transpordil, on ühiskonna toimimisel suur roll. Ent sellega kaasneb ka suur mõju keskkonnale, inimeste tervisele ja mitmetele teistele majandusharudele (Tallinna Transpordiamet, 2007; Wolfram, Bührmann, 2007).

1.1 Keskkonnamõjud

Lisaks transpordi eesmärgile tagada inimestele liikuvus ning ligipääs soovitud kohtadele, kaasnevad transpordiga ka soovimatud kõrvalmõjud ja tagajärjed, mida järgnevalt ka tutvustatakse. Transpordisektor mõjutab keskkonda ja inimest mitmel moel. Alustades tõsisest kõrvalmõjudest nagu ressursi üleliigne kasutus, õhusaaste ja müra tekkimine kui ka ulatuslikest tagajärgedest kliimamuutuse ning elukohtade hävimise näol. Linnakeskkonna ühistranspordi keskkonnamõjud avalduvad nii kohalikul (linnas sees) kui ka laiemal tasandil (riigi kui ka globaalsel tasandil). Toetudes mitmetele allikatele (Brand,

Preston, 2010; Chester et al., 2013; Dhondt et al., 2010; Dinca et al., 2007; Dora, 1999; European Environment Agency, 2013; Eurostat, 2009; HELCOM, 2014; Jüssi et al., 2008; Kliucininkas et al., 2012; Lahti, 2010; Meiner et al., 2010; Reap et al., 2008; Ribeiro et al., 2007; Talve, Põld, 2005; van Bueren et al., 2012) saab välja tuua järgnevad transpordiga seotud mõjud looduskeskkonnale või keskkonnamõjuvaldkonnad nii kohalikul kui ka laiemal tasandil:

- ressursside kasutamine;
- õhusaaste;
- kliimamuutus;
- müra;
- maakasutus;
- hapestumine;
- toksilisus inimesele;
- veekogude eutrofeerumine;
- osoonikihi hõrenemine;
- ökotoksilisus.

Järgnevates peatükkides on lühidalt kirjeldatud eelnevalt loetletud keskkonnamõjusid, et paremini mõista nende olemust ning ulatust.

Ressursside kasutamine

Abiootilisi ja biootilisi loodusvarasid kasutatakse tootesüsteemides toormena (Talve, Põld, 2005). Transpordisüsteemide loomiseks kulub palju ressursse (abiootilisi loodusvarasid), alustades transpordivahendite tootmisest kuni infrastruktuuri loomiseni. Sõidukite valmistamiseks kulub nii toormaterjali (erinevaid metalle) kui ka energiat ja vett. Transpordivahendite kasutamiseks kulub aga elektrit ja fossiilseid kütuseid (olenevalt sõiduvahendist) (Ribeiro et al., 2007). Kõik eelnevalt loetletud tegevused põhjustavad nii fossiilsete kütuste kui ka vee- ning metalliressursside ammendumist.

Õhusaaste

Suurenev liikluskoormus toob kaasa kasvava õhusaaste ja õhukvaliteedi halvenemise. Õhusaaste on segu keemilistest emissioonidest sealhulgas põlemissaadustest, lenduvatest ühenditest ja tahketest osakestest (tolm jms) (Dhondt et al., 2010; European Environment Agency, 2013). 2013. aasta Euroopa õhukvaliteedi raportist selgub, et 1/3 Euroopa linnade elanikest on avatud õhusaasteallikatele, mis ületavad Euroopa Liidu norme. Ummikuterohke linnaliiklus ja sagedasemad lühireisid võivad suurendada fossiilsete kütuste tarbimist kuni 30%. Suurendades sellega ka CO₂ emissioone ühe kilomeetri kohta. Linnaliikluses on busside osakaal suurem kui riiklikul tasandil, mis põhjustab suuremaid emissioone. Diisibussid, mis Tallinna liikluses kasutusel on, emiteerivad lisaks CO₂ ka suurtes kogustes NO_x ja peenosakesi (tolm jms) (European Environment Agency, 2013). Elektritranspordi põhjustatav õhusaaste pärineb peamiselt elektri tootmise ning sõidutee rajamise etappidest (Chester et al., 2013; Kliucininkas et al., 2012).

Kliimasoojenemine

Transpordisektor emiteerib igal aastal atmosfääri mitmeid miljoneid tonne erinevaid gaase, sealhulgas CO, CO₂, CH₄, NO_x, N₂O, samuti raskmetalle, tahkeid osakesi jne. Mitmed neist gaasidest on ka kasvuhoonegaasid (CO₂, CH₄, N₂O), mis põhjustavad kliimasoojenemist (Brand, Preston, 2010; Marchal et al., 2012; van Wee et al., 2012). Transpordisektori emiteeritud CO₂ moodustab Euroopas keskmiselt 25% stratosfääris paiknevast CO₂-st (Dhondt et al., 2010; Dora, 1999). Linnatranspordi (ühistransport ja autod) osa sellest hinnatakse samuti olevat 25% (European Environment Agency, 2013). Ühistranspordiliikidest on suurimad CO₂, NO_x ja peenosakeste emiteerijad diisibussid, panustades sellega enim ühistranspordivahenditest linnatranspordi põhjustatud emissioonidesse. Seega on transpordisektor ka otseselt seotud osade keskkonnas toimuvate muutustega, mis võivad avaldada olulist mõju inimese tervisele (Dhondt et al., 2010).

Müra

Müra on häiriv heli, mis võib kahjustada inimese heaolu (Lahti, 2010). Linnastumine on üks suurimaid müra tekkimise põhjuseid (Dhondt et al., 2010; Lahti, 2010). Järjest suurenev autode arv, reise sagedus ning suurenenud kiirused on põhjustanud mürataseme

järjepidevat kasvu. Umbes 65% Euroopa kodanikest puutub kokku müratasemega 55–65 detsibelli, mis võib põhjustada mitmeid terviseprobleeme nagu kuulmise halvenemine, psüühikahäired jne (Dhondt et al., 2010; Dora, 1999). Eesti ja põhjamaade piirkonnas on olukord hetkel veel veidi parem. 20% inimestest elavad paigas, kus välismüra ületab määratud müra piirnorme. Teeliikluse (peamiselt autode) tekitatud müra mõjutatud inimeste arv on ligi kümme korda suurem kui teiste valdkondade müra mõjupiirkonnas elavate elanike arv (Lahti, 2010). Ühistranspordi kasutamise suurenemine vähendaks linnaliikluses autode osakaalu, mis vähendaks autode tekitavat müra. Ühistranspordiliikide müra tasemete kohta ei ole Eestis täpseid uurimustöid senini avaldatud.

Maakasutus

Transpordisüsteemide korrapäraseks toimimiseks on vaja hästi väljaarenenud infrastruktuuri. Selle rajamiseks kulub aga suurel määral ökoloogiliselt produktiivset maad. Maakasutuse muutused võivad sellistel juhtudel kulmineeruda lisaks kõigele muule ka elurikkuse kadumisega (Eurostat, 2009; Meiner et al., 2010; Reap et al., 2008). Transporditaristu rajamisega võib kaasneda barjääriefekt nii inimestele kui ka faunale, katkestades looduslike liikumisteid (Jüssi et al., 2008). Maakasutus mõjutab otseselt ka kohalikku meteoroloogilist ja hüdrooloogilist süsteemi. Teede rajamisega muutub sademete jaotus, suurenevad vihmavee äravoolu kogused ning muutub ka päikesekiirguse neeldumine maapinnas (Eurostat, 2009; Reap et al., 2008; Rodrigue J-P, 2013). Seda seetõttu, et erinevate ehitiste ja infrastruktuuri rajamiseks on vaja pinnast tihendada (muuta vett läbilaskmatuks) (European Environment Agency, 2013).

Hapestumine

Hapestumist põhjustavad peamiselt inimtegevuse, sealhulgas ka transpordi tagajärjel õhku heidetavad väävli- ja lämmastiku ühendid (SO_2 , NO_x). Need ühendid ühinevad õhus oleva veeauruga ning moodustavad happeid, mis langevad happesademetena maapinnale. Happesademetega tagajärjel võivad saada kahjustada või hävineda okaspuumetsad ning hukkuda järvede veeökosüsteemid (European Environment Agency, 2013; Talve, Põld, 2005; van Bueren et al., 2012). Linnakeskkonnas võivad happesademed kahjustada hooneid ja kultuurimälestisi (van Bueren et al., 2012). Elektritranspordile vajaliku elektri tootmisel

(maagaasist) emiteeritakse õhku suurtes kogustes SO₂ (Dinca et al., 2007), mis sadestumisel põhjustab nii pinnase kui ka veekogude hapestumist.

Toksilisus inimesele

Inimtoksilisuse mõjukategooria koondab endasse erinevate keemiliste ühendite mõju inimese tervisele. Toksilisus inimesele võib olla nii otsene kui ka kaudne. Otsene mõju on juhul kui inimene kas hingab sisse keemilisi ühendeid või joob saastunud vett. Kaudselt saab inimene mõjutatud toksiliste ühendite poolt süües kas taimset või loomset toitu, mis on eelnevalt omastanud kemikaale ümbritsevast keskkonnast. Aine võimalik mõju inimesele sõltub selle kogusest ja omadustest. Inimesele võivad erinevad toksilised ühendid põhjustada allergilisi ja geneetilisi reaktsioone, ärritusi ning ka närvisüsteemi kahjustusi (Talve, Pöld, 2005; van Bueren et al., 2012). Transpordivahendite tootmiseks kulub suurtes kogustes erinevaid metalle ja raskmetalle. Raskmetallide kasutamine sõidukite (bussid, trollid, trammid) eri osade tootmises (akud, mootor jne) võib avaldata märkimisväärset otsest ja ka kaudset mõju inimese tervisele. Trollide ja trammide tööks vaja mineva elektri tootmisest tulenevad peamiselt toksilised mõjurid inimesele on NO_x, SO₂ ning peenosakesed (PM₁₀), mis tulenevad maagaasi kaevandamisest ja edasisest elektri tootmisest (Dinca et al., 2007).

Veekogude eutrofeerumine

Eutrofeerumine on veekogudes toimuv toitainete ja lagununud orgaanilise aine kontsentratsioonide tõus üle loodusliku taseme. Peamiselt toimub eutrofeerumine ülemääraste lämmastik- ja fosforühendite toimel. Eutrofeerumise tulemusena tekib veekogus liigselt orgaanilist materjali, mis settib veekogu põhja, põhjustades põhja mudastumist. Sellest tulenevalt võib tekkida veekogus hapnikuvaegus ja muutused veekogu elustikus (Gray, et al., 2002; HELCOM, 2014). Transpordisektori mõjud eutrofeerumisele tulenevad transpordivahendite emisioonidest. Diiselbussid emiteerivad kasutusfaasis suurtes kogustes NO_x, mis sadestudes panustavad merevee eutrofeerumisse.

Osoonikihi hõrenemine

Maapinnast 10–40 kilomeetri kõrgusel stratosfääris paiknev osoonikiht (suurem osa) kaitseb Maa pinda Päikese kahjuliku ultraviolettkiirguse eest. Osooni lagunemist ning seega ka osoonikihi hõrenemist kiirendavad inimtegevuse tagajärjel õhku paisatavad lämmastik- ning halogeenühendid (CFC-d, haloonid jne). Transpordisektoris on diislbussid ühed peamised lämmastikühendite (NO_x) emiteerijaid. Paikadest, kus on täheldatud osoonikihi hõrenemist on mõõdetud kõrgemaid UV-B kiirguseid kui mujal. Osoonikihi hõrenemise tagajärjel maapinnale jõudev ultraviolettkiirgus võib põhjustada inimestel nahavähi esinemise suurenemist kui ka metsade kahjustumist (De Winter-Sorkina, 2001; Talve, Põld, 2005; van Bueren et al., 2012).

Ökotoxilisus

Ökotoxilisuse all mõeldakse erinevate keemiliste ühendite mõju pinnasele, mage- ja mereveele. Nagu ka inimtoksilisuse puhul sõltub mõju keskkonda heidetavate keemiliste ja bioloogiliste ainete kogusest ja omadustest. Need aine omadused on lagunemisaste, bioakumuleeruvus, aurustuvus ja sadestuvus. Kergesti lagunevad ühendid avaldavad otsest toksilist toimet. Raskesti lagunevad ained aga akumuleeruvad ning mõjutavad keskkonda pikemaajaliselt. Aurustumine ja sadestumine mõjutavad ainete liikumist looduskeskkonnas (Talve, Põld, 2005; van Bueren et al., 2012). Näiteks satub transpordivahendite tootmisel, kasutamisel ja hooldamisel keskkonda erinevaid toksilisi ühendeid (näiteks õlid).

1.2 Õigusaktid ja arengut suunavad dokumendid

Parema ja jätkusuutlikuma transpordisüsteemi loomiseks on nii Euroopa Liidus kui Eestis välja antud arvukalt regulatsioone ning koostatud mitmeid uuringuid ja aruandeid. 2009. aasta Euroopa Liidu säästva arengu strateegia seirearuanne (Eurostat, 2009) märgib, et Euroopa transpordisüsteemi areng ei ole veel jätkusuutlik nii mitmeski aspektis. Eriti murettekitavana tuuakse välja transpordi suur mõju kliimamuutusele ja energiatarbimisele. Seega on Euroopa Liidu tasemel peamiseks eesmärgiks vähendada transpordisektori kasvuhõonegaaside emissioone, kuna see on üks vähestest sektoritest, kus alates 1990. aastate algusest on toimunud emissioonide järjepidev kasv (Eurostat, 2009). Aastaks 2050 ennustatakse transpordi CO₂ emissiooni osakaalu kogu CO₂ heitehulgast olevat 30–50%,

praegu on see 20–25% piires (Cui et al., 2010; Fuglestvedt et al., 2008; Marchal et al., 2012; Schwanen et al., 2011). CO₂ emissioonide kasvu põhjustab nii transpordisektori koormuse kasv kui ka teiste sektorite koormuse vähenemine. Aastaks 2020 on Euroopa Liit seadnud eesmärgiks vähendada kasvuhoonegaaside emissioone 20% võrra. Oma ala spetsialistide arvates peaks CO₂ heitkoguseid vähendama aga 40% võrra, selline langus tagaks olukorra, kus globaalne soojenemine püsiks maksimaalselt 2°C piires (Jüssi et al., 2010). Euroopa Liidu tasandil välja antud dokumentidest puudutab transpordi valdkonda eelkõige kolm alljärgnevat regulatsiooni.

- Euroopa Parlamendi ja Nõukogu otsus (direktiivi 2003/87/EÜ artikli 11 kohta) nr 406/2009/EÜ, mis sätestab Euroopa Liidu liikmesriike vähendama kasvuhoonegaaside heitkoguseid aastaks 2020 Euroopas kokku 10% (baasaastaks on 2005). Riigiti rakendub see eesmärk erinevalt. Eestil on lubatud aastaks 2020 CO₂ heitkogustel kasvada maksimaalselt 11% võrreldes 2005. aastaga, seda 1990-ndate alguse kõrgete näitajate tõttu (Euroopa Liidu Teataja, 2009).
- Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus nr 443/2009, millega kehtestatakse uute sõiduautode CO₂ heitnormid (Euroopa Liidu Teataja, 2009).
- Taastuvenergia edendamist puudutav direktiiv 2009/28/EÜ, mille kohaselt peab 10% transpordis tarbitavast energiast olema aastaks 2020 toodetud taastuvenergiaallikatest (Euroopa Liidu Teataja, 2009).

Euroopa Komisjon on asunud seisukohale, et teatud otsuseid vastu võttes tuleb lähtuda pikemaajalistest mõjudest ja jätkusuutlikkuse kriteeriumidest (Skinner et al., 2010). Eesti kui ka Tallinna kontekstis on transpordi probleeme käsitletud mitmetes arendusdokumentides (järgnevalt osad neist): Ühistranspordi arenguprogramm aastateks 2006-2010 (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2006a) (uut programmi veel ei ole), Tallinna Liikumiskeskonna arengustrateegia 2007–2035 (Tallinna Transpordiamet, 2007) 2014–2020 Transpordi arengukava (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013).

Teostatud on ka mitmeid uuringuid ja meetodilisi töid, mis toetaksid kehtestatud arengusuuniseid ning seiraksid nende edenemist. Jätkusuutliku transpordi seisukohast on üks olulisemaid dokumente 2010. aastal valminud Säästva transpordi raport (Jüssi et al.,

2010), mille eesmärgiks oli hinnata Eesti transpordi ja liikuvuse suundumusi säästva arengu seisukohast. Lisaks eelnevale on 2009. aastal välja antud ka Transpordi Ühiskondlike kulude mudel (Anspal, Poltimäe, 2009).

Koostatud arengukavade, -programmide ja raportite eesmärgiks on olnud (ühis)transpordi areng ja selle kaudu autotranspordi piiramine, sellega kaasnevate probleemide ohjamine ning leevendamine. Nende dokumentide koostamisel on toetutud nii säästva arengu, keskkonnakaitse, regionaalse arengu, liiklusohutuse ja sotsiaalse arengu põhimõtetele ning teistele riiklikele strateegilistele dokumentidele. Üheks peamiseks ühiseks põhimõtteks kõigis mainitud Eesti sisestes dokumentides ja uuringutes on jätkusuutlik areng.

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ühistranspordi arendamise missiooni mõõdupuuks on eesmärk hoida ühistranspordi osatähtsus Eestis kõrgemal kui 30% sõitjakäibest (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2006a). Sõitjakäive ehk sõitjakilomeeter on Teede ja Sideministeeriumi 2000. aasta määruse „Ühistranspordi töö- ja teenuste mahu arvutamise meetodika“ kohaselt sõitjaveo mahu ja keskmise sõidu pikkuse korrutis, kus keskmise sõidu pikkus konkreetsel liinil saadakse kahe järjestikuse peatuse vahel sõidukis viibivate sõitjate arvu ja vastava vahekauguse korrutiste summa jagamisel sõitjate (sisenejate) koguarvuga. Antud eesmärgi puhul arvestatakse sõitjakäibe hulka kogu maismaatransport, raudteetransport, veetransport ning õhustranspordist siselennud. Sarnane arengueesmärk transpordisektoris on välja toodud ka Eesti keskkonnastrateegias aastani 2030, kus eesmärgiks on arendada välja efektiivne, mugav ja keskkonnasõbralik ühistranspordisüsteem (Keskkonnaministeerium, 2007).

Juba eelnevalt mainitud Säästva transpordi raport keskendus eelkõige sellele, mida saab riik teha transpordi energiatõhususe suurendamiseks ja selleks, et inimestel oleks mugavam auto asemel liigelda ühissõidukiga või ka jalgsi ja jalgrattaga. Säästva Transpordi raportis selgus, et autokasutus on kasvanud majandusega samas tempos, mistõttu on ka säästlike transpordiliikide osakaal pidevalt vähenenud. Olenemata sellest on Eesti elanikkonna liikuvusmustrid veel Euroopa Liidu riikide keskmisega võrreldes säästlikumad. Ühistranspordi osakaal on igapäevases liikumises Euroopa Liidu keskmisest senini suurem (Jüssi et al., 2010).

1.3 Tallinna ühistransport

Ajalugu

Tallinna ühistranspordi alguseks võib lugeda 24. augustit 1888, kui avati linna esimene hoburaudteeliin ehk konka, mis sõitis Veneturult (Viru Väljak) Kadriorgu. Hobustrammide kasutamine lõpetati 14. november 1918. Vahepealsel ajal kasutati veel aurutramme ja bensiinimootortramme kuni 1925. aastal avati Narva maantee liinil elektritrammiliiklus (Tallinna Linnatranspordi AS, 2014; Tallinna Tehnikaülikool, 2011). 20. sajandi alguses alustas järk-järgult trammiliikluse kõrval tööd ka bussiliiklus ning juba 1922. aastal käivitas Tallinna Autobussikoondise eelkäija Fromhold Kangro kõiki linnaosasid hõlmava bussiliikluse. Trollid alustasid Tallinna linnas sõitmist 1965. aastal. Tänapäevaks on säilinud kõik eelnevad transpordiliigid. Praegusel ajal teenindab Tallinna linna elanikkonda AS MRP Linna Liinid ja Tallinna Linnatranspordi Aktsiaselts 66 busi-, seitsme trolli- ja nelja trammiliiniga, mis moodustavad peamise osa Tallinna ühistranspordi kogumahust (Tallinna Linnatranspordi AS, 2014). Viimastel aastatel on Tallinnas üritatud ühistranspordi kasutamist populariseerida mitmel moel, alustades autovaba päeva ja ka autovaba nädala korraldamisest kuni 2013. aastal kehtima hakanud tasuta ühistranspordini. Ootuspärast ühistranspordi kasutamise kasvutrendi viimati mainitu aga endaga kaasa ei toonud. Hinnanguliselt on see põhjustanud kõigest 1,2 % ühistranspordi kasutamise kasvu (Cats et al., 2014). Viimasest Tallinna ühistranspordi rahulolu uuringust (Ender et al., 2013) selgus, et 2013. aasta aprillikuu seisuga kasutab 48% küsitlenutest igapäevaselt ühistransporti. Enim kasutas vastanutest busi 68%, järgnes troll 18%-ga ning küsitletutest vaid 13% kasutas trammi.

Buss

Buss on mootorsõiduk, millel on peale juhikoha rohkem kui kaheksa istekohta ja mis on ette nähtud sõitjate veoks (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2006b). Tallinna Transpordiameti andmetel on Tallinnas liikvel 2012. aasta seisuga 332 (354 – 2013. aastal) busi. Busside keskmine vanus on 9,9 aastat. Tallinnas on kasutusel peamiselt kahte tüüpi busse – normaalbussid (lisa 1, joonis 10) ja liigendbussid (lisa 1, joonis 11). Busside mahutavus erinevus tuleneb põhiliselt liigendbusside suuremast seisukohtade arvust. Busside täpne mahutavus erineb mudelite lõikes.

Busside tekitatav keskkonnamõju, sealhulgas kasvuhooonegaaside heide, sõltub peamiselt bussi mootoritehnoloogiast tingitud energiakulust ja bussi edasi aitavast kütusest. Olenevalt tootjast võib sarnaste busside kütusekulu erineda 5–15 %. Kütusekulu mõjutavad lisaks tehnilistele omadustele ka iga bussijuhi individuaalne sõidustiil (ökoonoomne versus mitte ökoonoomne) 5–20 %, bussil kasutatavate rehvide tüüp ja -rõhk 5 %, kasutatavad määrded 1–2 % ning samuti bussi täituvus, liiklusolud ja teede hooldustase (talvistes oludes). Tallinnas käigus olevad bussid on kõik diiselmootoriga. Diiselmootoriga töötavates bussides tekib kasvuhooonegaasidest peamiselt süsihappegaasi, metaani ja dilämmastikoksiidi (Jüssi et al., 2012).

2013. aastal täienes Tallinna Linnatranspordi AS-i veerem uute EURO V mootoritega bussidega, mis vastavad EEV (*Enhanced Environmentally Friendly Vehicle* –eriti keskkonnasõbralik sõiduk) nõuetele (Tallinna Linnatranspordi AS, 2014). Uued bussid on küll keskkonnasõbralikumad kui eelnevad, busside NO_x ja peenosakeste heited on küll väiksemad, ent uuenenud tehnoloogiliste seadmete tõttu, nagu näiteks konditsioneer, võib busside kütusekulu isegi suurenedada ning sellega suurenedada ka CO₂ heitmed. Säästva Eesti Instituudi Tallinna Autobussikoondise alternatiivkütuste võrdluse uuringus (Jüssi et al., 2012) on välja toodud mõned punktid oodatud muudatustest. Peamiseks eesmärgiks on aga biokütuste tootmise arendamine, sealhulgas ka biogaasi tootmise alustamine Eestis. Busside hoolduse kohta on teada, et välispesul kasutatud vesi filtreeritakse ja puhastatakse peale igat pesukorda, liikudes edasi korduvkasutusse. Osaliselt kasutatakse pesemisel ka drenaazi kaudu kogutavat vihma- ja lumevett (Andres Herkel, suulised andmed, 04.02.2014).

Troll

Troll ehk trollibuss on kahe kontaktliinijuhtmega toidetav buss (Tallinna Tehnikaülikool, 2011). Tallinna Transpordiameti andmetel on Tallinnas käigus 2012. aasta seisuga 82 (70 – 2013. aastal) trollibussi (kaks eri tüüpi – Solaris ja Škoda). Tallinna trollide keskmine vanus on 14,35 aastat. Uuritavad trollid on täismadalapõhjalised, roostevabast terasest kerega. Põranda kõrgus on 360 mm, trolli pikkus on olenevalt mudelist kas 12 (Solaris 12T; lisa 1, joonis12) või 18 (Solaris 18T; lisa 1, joonis 13) meetrit. Trolli viib edasi lühisrootoriga asünkroonmootor. Solaris trolli maksimaalne kiirus on 65 km/h. Mudeli 12T

mahutavus on 33 iste- ja 57 seisukohta ning mudelil 18T 40 iste- ja 105 seisukohta (Olander, 2010). Võrreldes traditsioonilise sise põlemismootoriga tekitab trolli edasi viiv elektriline ajam 10-15 detsbelli vähem müra (Solaribus, 2013). Trollide miinuseks on sõltuvus kontaktliinist. Elektrikatkestuse korral ei suuda trollid iseseisvalt kaugele sõita.

Aastatel 2000–2010 viidi trollipargis ning trolliliinidel läbi mitmeid tehnilisi muudatusi. Üks olulisemaid arenguid trollipargis on olnud veemajanduse ümberkorraldamise, mille peamine muutus oli uue pesumasina töölepanek 2009. aastal. Masin suudab pesta päevas 60–70 trolli ja seda ka talvel kuni -10°C kraadise külmaga (Olander, 2010). Nagu ka busside puhul filtreeritakse välispesul kasutatud vesi ja puhastatakse peale igat pesukorda, liikudes edasi korduvkasutusse. Osaliselt kasutatakse pesemisel ka dreanaži kaudu kogutavat vihma- ja lumevett (Andres Herkel, suulised andmed, 04.02.2014). Trollide rehvide täitmisel on üle mindud lämmastikule. Sellega on rehvide läbisõit kasvanud 40%, ühtlasi pole rehvid enam temperatuuri suhtes tundlikud (Olander, 2010).

Tramm

Tramm on ühistranspordivahend, mis sõidab linnatänavate rööbasteedel elektrimootorite jõul (Olander, 2008). Tallinna Transpordiameti andmetel on Tallinnas 2012. aasta seisuga liikvel 56 tramm (53 – 2013. aastal). Tallinnas kasutusel olev trammiveerem on üsna vana. Liikvel olevad Tatra tramm mudelid on toodetud ajavahemikul 1980–1990 Tšehhis (Tallinna Linnatranspordi AS, 2014). Võrreldes bussidega tarbib tramm märgatavalt vähem energiat: 1–2 kilovatt-tundi 100 sõitjakilomeetri kohta, kui samal ajal kulub diislbussil umbes 3 korda rohkem energiat kui trammil (Tallinna Tehnikaülikool, 2011). Olenevalt trammimudelist mahutavad Tatra trammid kas 169 või 246 inimest. Tallinnas töös olevad trammid võivad saavutada kiiruse kuni 65 km/h.

Järgneva aasta jooksul on oodata Tallinna liikluspilti 15 uut Hispaanias toodetud tramm (lisa 1, joonis 14), mille soetamiskulud kaetakse 2011. aastal Hispaaniale müüdud saastekvootide eest saadud vahenditega (Tallinna Ühistransport, 2014).

1.4 Näiteid transpordi olulusringi hindamise uuringutest maailmas

Tulenevalt Euroopa Liidu transpordipoliitika eesmärgist muuta transpordisüsteemid võimalikult jätkusuutlikuks (European Commission, 2011), on mitmed riigid võtnud

eesmärgiks kindlaks teha oma riigi transpordisüsteemide keskkonnamõjud. Käesoleva töö tulemuste võrdlemiseks on töös välja toodud sarnaseid näiteid Euroopast ja ka mujalt maailmast.

Sarnaselt käesoleva tööga on mitmed autorid võrrelnud erinevate transpordiliikide, sh nii busside, trollide, rongide kui ka autode, keskkonnamõjusid (Chester et al., 2013; García Sánchez et al., 2013; Kliucininkas et al., 2012). Leedus, Kaunase linnas koostatud transpordiliikide olulusringi hindamine sarnaneb mitmeti käesoleva tööga kuna Kaunase linna pindala (157 km²) ning elanike arv on sarnane Tallinna linna pindala (159 km²) ja elanike arvuga. Lisaks on mõlemas linnas busside kõrval kasutusel ka elektritransport (trollid). Töös võrreldi erinevaid transpordiliike edasiviiva kütuse baasil. Suurima energianõudlusega transpordiliigiks osutus maagaasiga sõitvad bussid, millele järgnesid diiselbussid. Diiselbussid olid ka suurimad CO, NO_x-de ja peenosakeste emiteerijad, emiteerides 1010 g CO₂/km CO₂, 3,13 g CO/km, 11,0 g NO_x/km, 6,39*10⁻³ g SO₂/km ning peenosakesi 0,75 g/km. Suurimad CO₂ emissioonid pärinesid biogaasil sõitvatelt bussidelt, 1591 g/km, see oli peaaegu 50% rohkem, kui seda emiteerisid trollid. Trollide CO₂ emissioonid sõltuvad aga elektri tootmisest. Maagaasist toodetud elektril baseeruvad trollid emiteerisid 485 g CO₂/km ja kütteõlist toodetud elektril sõitvad trollid 773,2 g CO₂/km.

Erinevate transpordiliikide keskkonnamõjusid on põhjalikult uurinud ameeriklane Mikhail Chester (Chester, Horvath, 2008; Chester et al., 2013), kes oma töödes on võrrelnud lisaks kütustele ka kõiki teisi transpordiliikide olulusringi etappe. Töödes on hinnatud transpordiliikide energiatarbimist ning CO₂ emissioone nii sõitjakilomeetri kui ka sõidukilomeetri kohta. 2013. aastal tehtud tööst (Chester et al., 2013) Los Angeles'i ühistranspordivahendite kohta selgus, et trammide suurimad keskkonnamõjud tulenevad elektri tootmisest ja infrastruktuuri rajamisest ja hooldusest.

Garcia Sánchez et al.(2013) avaldasid 2013. aastal uurimuse Hispaanias Madridis erinevate bussitehnoloogiate kohta. Töö käigus hinnati nelja järgmist bussitehnoloogiat: vesinik-elekter hübriidbuss, diisel-elekter hübriidbuss, elektribussi ja diiselbussi. Olulusringi hindamise tulemusena selgus, et kasutusetapis on väikseima keskkonnamõjuga bussitehnoloogiaks elektribuss, kuna elektribussil puuduvad lokaalsed emissioonid. Suurim keskkonnamõju kasutusetapis on aga diiselbussidel.

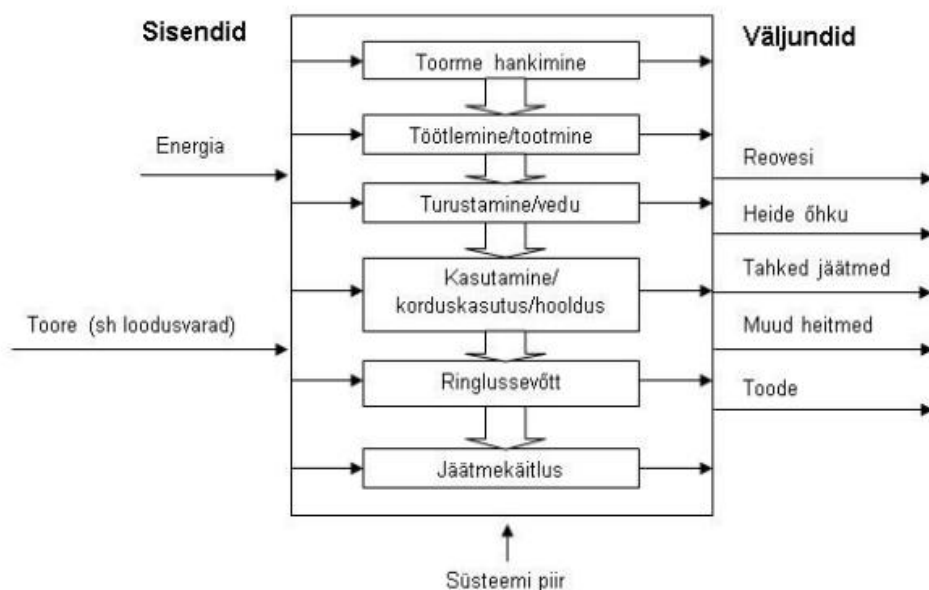
Kuigi transpordivahendite olelusingi hindamisi on mujal maailmas läbi viidud mitmeid on keeruline võrrelda antud töö tulemusi tehtud töödega. Põhjus tuleneb töödes kasutatavatest erinevatest funktsionaalsetest ühikutest ning uuringute erinevast käsitusala ulatusest. Lisaks mõjutab olelusingide keskkonnamõjusid ka hinnatava süsteemi geograafiline paiknemine.

2 Metoodika

Käesolevas peatükis antakse ülevaade Tallinna ühistranspordiliikide keskkonnamõjude hindamiseks kasutatud olelusringi hindamise metoodika põhialustest, kasutatud andmetest ning töö käsitlusalast.

2.1 Olelusringi hindamine

Olelusringi hindamine (*Life Cycle Assessment- LCA*) on süsteemi analüüsimeetod, mille abil saab kindlaks teha erinevate toodete ja teenuste (protsesside ja tegevuste) keskkonnamõju terve toote või teenuse elutsükli vältel, alustades toorme omastamisest kuni toote või teenuse lõpliku kõrvaldamiseni (Talve, Põld, 2005; Tillman, 2000; Traverso et al., 2012). Olelusringi hindamise inventuuranalüüsi etapi käigus saab kindlaks teha kasutatud materjalid ja nende kogused, energia tarbimise ning keskkonda eraldatud jäätmete mahud (joonis 1) (Chaabane et al., 2012). Olelusringi analüüsi saab kasutada kui toote olelusringi kirjeldavat abivahendit kui ka hinnatavate toodete ja teenuste olelusringide muutusele suunatud tööriista erinevate andmete ja metoodikaga (Moora, 2009).



Joonis 1. Toote olulusringi etapid (Talve, 2012).

Et hinnata erinevate produktide ja teenuste keskkonnamõjusid, töötati 1960–1970. aastatel Ameerika Ühendriikides välja analüütiline tööriist *Life Cycle Assessment* (LCA) ehk olulusringi hindamine, mida kasutati sel ajal erinevate karastusjookide pakendite keskkonnamõjude hindamiseks. Suurim tähelepanu oli energia- ja toormekasutusel ning osaliselt ka jäätmetega seonduvatel probleemidel. Ressursside ammendumise oht oli sellise valiku peamiseks põhjuseks (Talve, Pöld, 2005). Euroopas sai olulusringi hindamine alguse 1980. aastatel, kui suurt avalikkuse tähelepanu pälvis üleliigne ressursside kasutamine pakendamisel (Hauschild et al., 2005; Hoffman et al., 1997; Talve, Pöld, 2005). Uurimusrühmad, kes aga kõik tegelesid ühe ja sama probleemiga, jõudsid tihti teineteisele vastukäivate järeldusteni. See tulenes sellest, et kõik rühmad olid kasutanud enese valitud meetodikat, andmebaase ning olid kasutanud endale sobivat terminoloogiat. Probleemi lahendusena nähti ühtse meetodilise aluse väljatöötamist. 1993. aastal alustati Rahvusvahelise Standardiorganisatsiooni initsiatiivil olulusringi hindamise rahvusvaheliste standardite väljatöötamist (Talve, Pöld, 2005).

Olulusringi analüüsi tugevuseks teiste keskkonnasüsteeme analüüsivate meetodite ees on see, et olulusringi hindamise raamistik, terminoloogia ning meetodikaga seotud valikud on standardiseeritud Rahvusvahelise Standardiorganisatsiooni poolt (Moor, 2009). Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon ehk *International Standardisation Organisation* (ISO)

on väljastanud kuus olelusringi analüüsi käsitlevat standardit, millest hetkel kehtib kaks (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006). Eesti Standardikeskus on üle võtnud olemasolevatest ISO standarditest mõlemad eelnevalt nimetatud: EVS-EN ISO 14040:2006 ning EVS-EN ISO 14044:2006 (Eesti Standardikeskus, 2014), mis hõlmavad vastavalt olelusringi hindamise põhimõtteid ja raamistikku ning olelusringi hindamise nõudeid ja kasutusjuhendit. Peamine avaldatud standarditest on ISO14040, milles kirjeldatakse olelusringi analüüsi põhimõtteid ning defineeritakse antud meetodi ulatus ja eesmärgid.

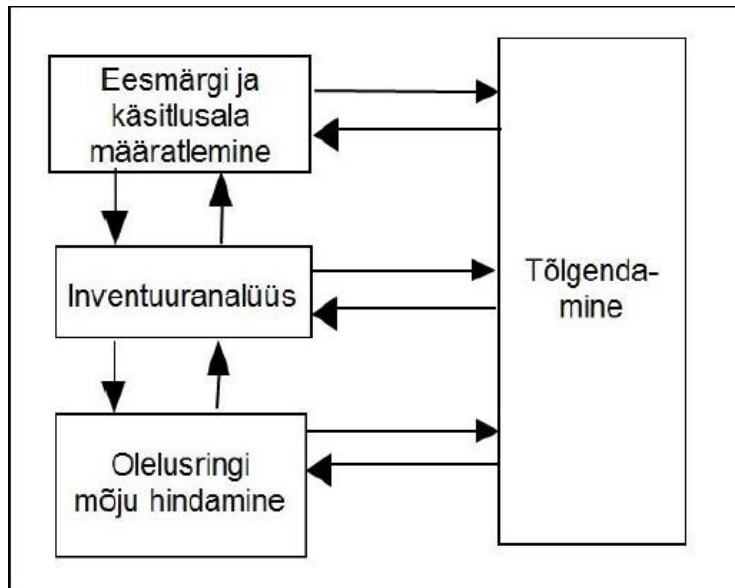
Vastavalt ISO 14040 (ISO 14040, 2006) standardile on LCA eesmärgid järgmised:

- toote või teenuse keskkonnasõbralikumaks muutmise võimaluste kindlaks tegemine;
- otsuste vastuvõtmine;
- keskkonnamõju indikaatorid;
- turunõuded.

Olelusringi modelleerimise käigus seotakse kõik toote või teenuse olelusringi allsüsteemid omavahel ühtsesse protsessi ahelasse, mis algab ressursi ammutamisega ja lõpeb erinevate emissioonide väljastamisega, nendest süsteemidest moodustub ühtne tehnosüsteem. Toote või teenuse keskkonnamõju tuleneb tehnosüsteemide ja keskkonna vahelisest energia ja materia vahetamisest (Bengtsson et al., 1998).

Olelusringi analüüsi modelleerides on esmalt vaja kindlaks teha uurimustöö eesmärk ja piirid. Tulenevalt sellest tehakse ka andmete valik (kui palju ja milliseid andmeid vaja läheb). Kasutada võib konkreetse uurimuse andmeid, ent võib kasutada ka sarnase protsessi esinduslikku keskmist (Tillman, 2000). Olelusringi hindamine koosneb neljast etapist (joonis 2) (Hauschild et al., 2005; Talve, Pöld, 2005), alustades eesmärgi püstitamisest ja formuleerimisest, kus muuhulgas määratakse ära süsteemi piirid ning ajaline ning tehnoloogiline ulatus. Järgneb olelusringi inventuuranalüüs, mille käigus kogutakse süsteemi piiridesse jäävat infot protsessi kõikide sisendite ja väljundite kohta. Olelusringi hindamise etapp on toote või teenuse mõju hindamine läbi terve olelusringi. Selle etapi eesmärgiks on inventuuri etapis kogutud andmete tõlgendamine nende potentsiaalseteks mõjudeks olelusringi hindamise poolt kaitstavatele üksustele: 1) inimeste tervis 2) looduskeskkond 3) loodusressursid 4) antropogeenne keskkond. Olelusringi mõju hindamine pakub holistilist ehk terviklikku pilti keskkonnamõjudest. Olelusringi mõju hindamine ei keskendu vaid erinevate emissioonide toksilistele mõjudele, nagu seda tehakse riski analüüsi meetodis, vaid ka

mõjudele, mis tulenevad maakasutusest, mürast, taastuvate- ja mittetaastuvate maavarade kadumisest ja nii edasi. Viimaseks etapiks on kõige eelneva tõlgendamine ja esitamine (Hauschild et al., 2005).



Joonis 2. Olelusringi hindamise etapid (Talve, 2012).

Olelusringi hindamist saab teha kolmel erineval tasemel olenevalt konkreetsest süsteemist ja situatsioonist. Erinevus tuleneb andmete mahust ja analüüsi detailsusest. (Wenzel, 1998). Olelusringi hindamise tasemed on Wenzel'i (1998) järgi järgmised:

- olelusringi mõtlemine – kvalitatiivne sisendite emissioonide hindamine;
- lihtsustatud olelusringi hindamine – sisaldab lisaks kvalitatiivsele infole ka kvantitatiivseid andmeid;
- detailne ehk täielik olelusringi hindamine – sisaldab lisaks kvantitatiivsele infole ka uusi andmeid.

Olelusringi hindamise meetod ei ole aga ometigi igas mõttes täiuslik. Kuna see on siiski vaid reaalse süsteemi lihtsustatud mudel (Moora, 2009), siis sellega kaasnevad mitmedki ebamäärasused ja probleemid. Ebamäärasus võib viidata andmete või teadmiste puudulikkusele või ka juhuslikkusele (Baker, Lepech, 2009). Baker ja Lepech (2009) on välja toonud viis probleemi või kaheldavust, mis võivad olelusringi hindamise juures tekkida. Need probleemid on välja toodud järgnevas loetelus:

- andmebaasi kaheldavus – nimelt võivad andmebaasis puududa täpsed andmed, mis vastaksid tehtava töö andmetele;

- mudeli kaheldavus – lihtsustatud mudelid ei pruugi haarata süsteemi tervikuna, selle tulemusena välja jättes mõne süsteemi tähtsa funktsiooni;
- statistilised- ja mõõtmisvead;
- subjektiivsus;
- tuleviku süsteemide ettearvamatus.

Suurimaks probleemiks võib olla aga analüüsi subjektiivsus hindamise etappides, kuna erinevaid keskkonnamõjusid võrreldakse ja kaalutakse üksteisega, samuti võib andmete kvaliteet ja kvantiteet oluliselt erineda (Reap et al., 2008). Kuna olelusringi hindamine arvestab enamasti vaid mõjusid keskkonnale, mitte nii väga mõjusid majandus- ja sotsiaalvaldkonnale, on kaheldav, kas olelusringi analüüs on parim meetod jätkusuutlike otsuste tegemiseks (Hauschild et al., 2005). Vaatamata eelnevalt välja toodud miinustele, on olelusringi hindamine siiski hea abivahend otsustetegijatele, andes vajaliku infot, aidates kaasa otsuse tegemise protsessile (Moora, 2009). Olelusringi analüüsi eesmärgiks on püüelda uuritava süsteemi muutuse või täiustamise poole, mis ühtib nii Eesti kui ka Euroopa Liidu transpordipoliitikaga (European Commission, 2011; Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2006a).

Olelusringi tulemuste analüüsi lihtsustamiseks kasutatakse normaliseerimist (Sleeswijk Wegener, et al., 2008), mille käigus uuritakse iga indikaatoritulemuste suhtelist tähtsust. Normaliseerimine on indikaatoritulemuste jagamine nende vastavate taustväärtustega. Taustväärtuseks võivad olla:

- piirkonna koguheide või ressursikasutus;
- piirkonna koguheide või ressursikasutuse inimese või mõne muu näitaja kohta;
- näidisstsenaarium.

Normeerimise kaudu saab eelkõike hinnata indikaatoritulemuste suhtelist olulisust, ent samas ka kontrollida inventuuranalüüsi andmete õigsust. Mõjude hindamist lihtsustab ka ühtne ühik, millega andmeid võrreldakse (Sleeswijk Wegener et al., 2008; Talve, Põld, 2005).

2.2 Käsitlusala

Rahvusvahelise Ühistranspordi Liidu (International Association of Public Transport, 2013) kohaselt hõlmab ühistransport enda alla kõiki transpordisüsteeme, kus reisija ei kasuta

reisimiseks isiklikku sõidukit. Nagu Cats, Susilo ja Eliasson (2014) on oma töös välja toonud Tallinna ühistranspordivahenditena bussid, trollid ja trammid, on ka käesoleva magistritöö analüüsis kasutatud samasid transpordivahendeid. Tallinnas on kasutusel ühistranspordina lisaks eelnevatele veel ka rongid, marsruuttaksod ja taksod. Käesolevas töös ei ole neid aga käsitletud magistritöö mahu piiridesse jäämise eesmärgil. Rongide analüüsist väljajätmise põhjuseks on ka elektrirongiliikluse ulatuslik liikumine üle Tallinna linnapiiri, mis raskendaks linnapiiridesse jääva transpordi mõju leidmist.

Magistritöös on valitud ruumiliseks piiriks Tallinna linn, mille üldpindala on 2014. aasta seisuga 158,2 km² (Kuulpak, 2014). Tallinna elanike arv on seisuga 1. jaanuar 2014 kõigis linnaosades kokku (Haabersti, Kesklinn, Kristiine, Lasnamäe, Mustamäe, Nõmme, Pirita, Põhja-Tallinn) 429 899 inimest (Kuulpak, 2014). Viimaste uuringute kohaselt (Ender et al., 2013) kasutab Tallinnas ühistransporti igapäevaselt 48% uuringus vastanutest, eelistades ühistranspordivahendina eelkõige busse. Tallinna Transpordiametilt saadud andmete kohaselt (tabel 1) (Tallinna Transpordiamet, 2014) tehti 2012. aasta jooksul kokku busside, trollide ja trammidega 135 miljonit sõitu. 2012. aasta seisuga oli Tallinnas käigus 59 bussiliini, kogupikkusega 671 kilomeetrit, 7 trolliliini kogupikkusega 59 kilomeetrit ja 4 trammiliini kogupikkusega 33 kilomeetrit (tabel 1) (Tallinna Transpordiamet, 2014).

Tabel 1. Tallinn Transpordiameti 2012. aasta statistika (Tallinna Transpordiamet, 2014).

	Buss	Troll	Tramm
Liinide arv	59	7	4
Liinide pikkus [km]	671	59	33
Sõidukite arv liikluses	332	70	54
Liini läbisõit [mln km]	0,020625	0,005367	0,003014
Kohtkilomeetrid [mln kkm]	1 990	489	410
Sõitjakilomeeter [mln skm]	0,280605	0,108965	0,059862
Sõitude arv [mln]	65	37	33

Tallinna ühistranspordiliikide keskkonnamõjude võrdlemiseks on kasutatud olelusringi hindamise meetodikat. Olelusringi hindamise kasutamine kirjeldamaks Tallinna ühistranspordisüsteemi on kasulik, kuna see annab tervikliku ülevaate süsteemi protsessidest ning avaldatavatest mõjudest. Tihti on süsteemi kaudsed mõjud (energia ja materjali tootmine) suurema ulatusega kui otsesed mõjud (Moora, 2009). Käesolev töö on lihtsustatud olelusringi hindamine. Antud olelusringi ulatuseks on Tallinna ühistranspordi puudutavad

protsessid, nagu sõidukite tootmine, kasutamine ja hooldus ning sõidukite kasutuselt kõrvaldamise etapp. Lisaks on olelusingi analüüsis hinnatud ka diisli ja elektri tootmisest ning infrastruktuuri rajamisest ja hooldusest tulenevaid keskkonnamõjusid. Arvutuste tegemisel on aluseks võetud 2012. aasta andmed, kuna töö kirjutamist alustades ei olnud 2013. aasta andmed veel kõik kättesaadavad. Töö tulemusena selgub, millised keskkonnamõjud kaasnevad ühistranspordi kasutamisega ning milline eelnevatest protsessidest on suurima keskkonnamõjuga. Uuritakse erinevate ühistranspordivahendite energiakulu ning CO₂ emissioone sõitjakilomeetri kohta Tallinnas. Funktsionaalseks ühikuks on valitud sõitjakilomeeter, kuna see võimaldab võrrelda erinevate sõidukite tõhusust ja keskkonnamõjusid ühe sõitja kohta (Tallinna Tehnikaülikool, 2011).

2.3. Andmed

Ecoinvent3 ja Euroopa LCA andmebaaside andmed

Sõidukite tootmisetapi andmed on raskesti kättesaadavad, seetõttu on käesoleva töö transpordiliikide olelusringi hindamiseks vajalikud sõidukite andmed saadud Ecoinvent3 andmebaasist (Ecoinvent3, 2014). Andmebaasist valiti Tallinna ühistranspordiliikidele kõige lähedasemad sõidukite andmed. Ecoinvent3 andmebaasist valiti ka uuritavate ühistranspordiliikide kasutusetapi andmed, asendades busside kütusekulu ja trollide, trammide kasutatava elektrisegu Tallinna ühistranspordile omastega. Trollide ja trammide tööks vajamineva elektri andmed saadi Euroopa LCA andmebaasist (ELCD, 2014). Tulenevalt andmebaasist saadavate andmete piiratusest on töös tehtud ka teatavaid üldistusi. Näiteks on antud ühistranspordiliikide olelusringi analüüsis tegemist abstraktse maakasutuse muutuse hindamisega. See tähendab, et tegemist ei ole otseselt Tallinnas toimuva maakasutuse muutusega.

Buss

Ecoinvent3 andmebaasist valitud bussi andmed sisaldavad endas tervet sõiduki olelusringi. Sõiduki osa hindamiseks olelusringist on eeldatud sõiduki eluea läbisõiduks 239 000 sõitjakilomeetrit sõiduki kohta. Bussi tootmise ja hoolduse andmed esindavad Euroopa keskmist. Busside kasutusetapi andmetes asendati kütusekulu Tallinna 2012. aasta keskmise kütusekuluga kilogrammides sõitjakilomeetri kohta. Kuna pole täpselt teada, kui suur osa kogu (kütuse põlemisest, pidurite, rehvide ja teekaate kulumisest) emissioonidest pärineb rehvide, pidurite ja teekatte kulumisest, siis võivad andmed tegelikkusest veidi erineda. Otsestes emissioonides õhku on arvestatud gaasilisi osakesi, peenosakesi ja raskmetalle. Peenosakeste emissioonid sisaldavad nii heitgaaside emissioone kui ka pidurite ja rehvide kulumisest tulenevaid heiteid. Lisatud on ka rehvide kulumisest tingitud raskmetallide heited pinnasesse ja vette. Infrastruktuuri kulutused ja keskkonnamõjud tulenevad teede ehitusest ja on leitud sõidukite tonn-kilometraaži näitajate alusel. Teede mõjude iseloomustamisel on kasutatud betoon- ja asfaltteid. Teede kasutusest ja maakasutusest tulenevad kulutused baseeruvad aastasel sõidukikilometraažil (Ecoinvent3, 2014). Sõiduki kasutusest kõrvaldamise andmed on Šveitsi põhised (Ecoinvent3, 2014).

Troll

Ecoinvent3 andmebaasist valitud trolli andmed sisaldavad endas tervet sõiduki olelusringi. Trolli ehitamise ja hoolduse andmed esindavad Euroopa keskmist. Sõiduki osa hindamiseks olelusringis on eeldatud sõiduki eluea läbisõiduks 19 867 050 sõitjakilomeetrit sõiduki kohta (Ecoinvent3, 2014). Trolli tööks vaja mineva elektrienergia andmed pärinevad Euroopa LCA andmebaasist (ELCD, 2014), kust valiti Lätis toodetud elektrisegu. Energia hindamisel kasutati Läti elektritootmist, kuna trollitööd majandav Tallinna Linnatranspordi AS ostab trollide ja trammide tööks vajamineva elektri Latvenergo esindajalt Eestis, milleks on Elektrum. Trollide kasutamisel puuduvad otsesed emisioonid õhku, kuna kütusepõletamist mootoris ei toimu. Arvestatud on aga emisioone, mis tulenevad rehvide, pidurite ja teekatte kulumisest. Infrastruktuuri kulutused ja keskkonnamõjud tulenevad teede ehitusest ja on leitud sõidukite tonn-kilometraaži näitajate alusel. Teede mõjude iseloomustamisel on kasutatud betoon- ja asfaltteid. Teede kasutusest ja maakasutusest tulenevad kulutused baseeruvad aastasel sõidukikilometraažil. Sõiduki kasutuselt kõrvaldamise andmed on Šveitsi põhised (Ecoinvent3, 2014).

Tramm

Ecoinvent3 andmebaasist valitud trammi andmed sisaldavad endas tervet sõiduki olelusringi. Trammi tootmise ja hoolduse andmed esindavad Euroopa keskmist. Sõiduki osa hindamiseks olelusringis on eeldatud sõiduki eluea läbisõiduks 59 100 000 sõitjakilomeetrit sõiduki kohta (Ecoinvent3, 2014). Trammi tööks vaja mineva elektrienergia andmed pärinevad Euroopa LCA andmebaasist (ELCD, 2014), kust valiti Lätis toodetud elektrisegu. Energia hindamisel kasutati Läti elektritootmist kuna trammitööd majandav Tallinna Linnatranspordi AS ostab trollide ja trammide tööks vajamineva elektri Latvenergo esindajalt Eestis, milleks on Elektrum. Sõiduki kasutusest kõrvaldamise andmed on Šveitsi põhised (Ecoinvent3, 2014).

2012. aasta Tallinna ühistranspordi statistilised andmed

Transpordi kohta käiva statistika tegemise ning andmete kogumisega tegeleb peamiselt Tallinna Transpordiamet. Transpordisüsteemide jätkusuutlikumaks muutmise ning erinevate uuringute tegemisega on peamiselt tegelenud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium (2006a). Säästva Eesti Instituut on koostanud mitmeid uurimusi Tallinna Linnatranspordi AS kohta (Anspal, Poltimäe, 2009; Jüssi et al., 2012). Antud töö inventuuranalüüsi jaoks saadi vajalikud andmed Tallinna Transpordiametist, AS Tallinna Linnatranspordist ning AS MRP

Linna Liinidelt. Tallinna Transpordiametilt saadi andmeid liinide arvu, pikkuste ja läbisõitude kohta (tabel 1). Lisaks saadi ka 2012. aasta keskmised sõidupikkused ning sõitude arvud, mille baasil sai välja arvutada ka erinevate transpordiliikide sõitjakilomeetrid. Aastaste sõitjakilomeetrite arvutamiseks kasutati valemeid Teede ja Sideministeeriumi 2000. aasta määrusest „Ühistranspordi töö- ja teenuste mahu arvutamise meetodika“. Meetodikat kasutatakse ühistranspordi töö- ja teenuste mahtude, sealhulgas avalikule liiniveole riigi- või kohaliku omavalitsuse eelarvest toetuse vajaduse kavandamisel ning ühistranspordi tegelike töö- ja teenuste mahtude kohta statistiliste andmete esitamisel. Tallinna busside, trollide ja trammide tegeliku ja potentsiaalse kasutamise arvutamiseks võrreldi sõiduki kohtkilomeetrid sõitjakilomeetritega. Vastavalt Teede ja Sideministeeriumi 2000. aasta määrusele „Ühistranspordi töö- ja teenuste mahu arvutamise meetodikale“ on kohtkilomeeter liiniläbisõidu ja sõiduki mahutavuse korrutis.

AS Tallinna Linnatranspordilt ja AS MRP Linna Liinidelt saadi linnaliikluses käigus oleva veeremi nimekiri ning kirjeldus, samuti ka aastane veeremile kulunud kütuse- ning energiakulu. Tallinna Linnatranspordi AS-lt ja MRP Linna Liinidelt saadud aastase busside kütusekulu põhjal arvutati välja busside tööks vajaminev aastane energiakulu ning sõidu käigus emiteeritud CO₂ kogused. Trollide ja trammide CO₂ emissioonid arvutati välja Latvenergo'lt ostetud elektrisegu põhjal. Tulemused on esitatud tulemuste osas tabelis 2.

Kuigi Tallinna linnas on liikvel kolme eri tüüpi busse, on käesoleva töö andmeanalüüs tehtud normaalbussi kohta. Vastavalt eelnevatel aastatel tehtud prognoosidele on 65% Tallinna busside läbisõidust teinud normaalbussid ning 35% liigendbussid (Jüssi et al., 2012). Säästva Eesti Instituudi koostatud uuringus (Jüssi et al., 2012) on välja toodud, et tavadiiselbusside kütusekulu ei erine oluliselt busside vanuselises lõikes. EURO I kuni EURO V standarditele vastavatel bussidel on kõigile märgitud keskmiseks kütusekuluks 100 km-le 41,5 liitrit. Kütusekulu sõltub lisaks kasutatavale tehnoloogiale paljuski ka juhi sõiduomadustest, teeoludest ja ilmast (Jüssi et al., 2012).

2.4. Andmeanalüüs

Andmeanalüüsiks kasutati käesolevas töös olulusringi hindamise tarkvara SimaPro 8.0.2. Transpordiliikide võrdluseks kasutati ReCiPe meetodit, kus hinnati keskpunkti mõjukategooriaid. ReCiPe meetod baseerub Eco-Indicator 99 meetodil ja CML olulusringi hindamise käsiraamatul (Goedkoop et al., 2013). ReCiPe meetodis hinnatakse 18 keskpunkti mõjukategooriat ja need on järgmised:

- kliimamuutus;
- osoonikihi hõrenemine;
- maapinna hapestumine;
- magevee eutrofeerumine;
- merevee eutrofeerumine;
- toksilisus inimesele;
- fotokeemiliste oksüdantide tekkimine;
- peenosakeste tekkimine;
- maapinna ökotoksilisus;
- magevee ökotoksilisus;
- merevee ökotoksilisus;
- ioniseeriv kiirgus;
- põllumaa kasutus;
- linnamaa kasutus;
- maakasutuse muutus;
- veevarude ammendumine;
- metallide ammendumine;
- fossiilsete kütuste ammendumine.

Et teada saada leitud transpordiliikide keskkonnamõjude suhtelist panust taustväärtusesse, antud olukorras Euroopa tasandil, normaliseeriti saadud absoluutväärtused Euroopat esindavate andmetega. Busside energiakulu arvatati Tallinna busside 2012. aasta kütusekulu baasil. Arvutusel kasutati diiselkütuse energeetilist sisaldust (Staffeli, 2011). Trollide ja trammide aastased energiakulud saadi Tallinna Linnatranspordi AS-lt. Tallinna diiselbusside 2012. aasta CO₂ emissioonide arvutusteks kasutati diiselkütuse CO₂ heitekoefitsienti (EIA, 2014). Trollide ja trammide CO₂ emissioonide arvutamisel lähtuti Latvenergo poolt toodetavast elektrist, mis 2012. aastal sisaldas 43% ulatuse hüdro- ja tuuleenergiat ja 57% ulatuses maagaasist toodetud energiat. Väiksemates kogustes kasutati elektri tootmiseks ka puitu, kütteõli, diisli ja sütt (Latvenergo, 2012). Tulenevalt Ecoinvent3 andmebaasis oleva kütusekulu muutmisest võivad reaalsuses kasutusetapi tulemused olla 27% ulatuses suuremad. Erinevus on tingitud keskkonnamõjude suuruste muutmiseks vajalike andmete puudumisest.

3 Tulemused

3.1 Inventuuranalüüs

Tallinna linna teenindab ühistranspordiga (bussid, trollid, trammid) kaks aktsiaseltsi, milleks on: Tallinna Linnatranspordi AS (edaspidi TLT) ja MRP Linna Liinide AS (edaspidi MRP). TLT omab 88,9 % (295 bussi) kõikidest käigusolevatest bussidest (MRP Linna Liinid 11,1 %, 37 bussi) ning 100% trollidest (82) ja trammidest (56) 2012. aastal oli TLT busside läbisõit 19,9747 miljonit sõiduki-kilomeetrit. MRP üldläbisõit oli 2012. aastal 2,7839 miljonit sõiduki-kilomeetrit. Kokku läbiti 2012. aastal linnaliinibussidega 22,7586 miljonit sõiduki-kilomeetrit. TLT aastane kütusekulu 2012. aastal oli 9,5093 miljonit liitrit diiselkütust, MRP-l oli kütusekulu ligi 9 korda väiksem ehk 1,15697 miljonit liitrit diiselkütust.

Inventuuranalüüsi käigus hinnati erinevate ühistranspordiliikide tegevuseks kulunud energiakulu ning tegevuse käigus emiteerinud CO₂ koguseid (tabel 2). Tabelist 2 on näha, et 2012.aastal kulus Tallinna ühistranspordiliikidest kõige rohkem energiat sõitjakilomeetri kohta bussidel. Diiselbussidele järgnesid energiakulu poolest trammid. Vähim energiat ühe sõitjakilomeetri kohta kulus trollidel. Uuritavate transpordiliikide CO₂ emissioonid on otseses sõltuvuses kulutatud energiast. Seega olid suurimad CO₂ emissioonid bussidel, seejärel trammidel ning taas kõige väiksemad emissioonid olid trollidel. Elektritranspordi tulemused võivad reaalsusest veidi erineda, kuna Latvenergo poolt pakutavast elektrist pool pärineb börsilt ning selle kohta andmed puuduvad.

Tabel 2. Tallinna ühistranspordiliikide 2012. aasta energiakulu ning sellest tulenevad CO₂ emissioonid.

	Energia (MWh/skm)	kg CO₂/skm
Buss	0,00038	0,09936
Troll	0,00011	0,02134
Tramm	0,00017	0,03291

3.2 Keskkonnamõjude hindamise tulemused

3.2.1 Buss

Töös hinnati bussi olelusringi viie etapi (bussi tootmine, kasutamine ja hooldus, sõidutee ehitus ja hooldus ning diisli tootmine) mõju mõjukategooriatele. Etapi mõjude jaotust on näha joonisel 3 ning lisas 2 on toodud tabel mõjude absoluutväärtuste kohta. Edaspidi väljatoodud protsendid kajavastavad olelusringietapi osakaalu vastavas mõjukategoorias. Suurima kaaluga on bussikasutuse etapp, mis on suurima mõjuga 18 etapist kuues. Kasutamisetapp mõjutab enim järgnevaid keskpunkti mõjukategooriaid: kliimamuutus (75,1%), pinnase hapestumine (78,9%), merevee eutrofeerumine (85,2%), fotokeemiliste oksüdantide tekkimine (82,6%), peenosakeste tekkimine (78,6%) ja pinnase ökotoksilisus (63,6%). Järgnevad diisli tootmisest tulenevad mõjud.

Diisli tootmine on suurima mõjuga neljas keskpunkti mõjukategoorias 18-st, need on: osoonikihi hõrenemine (72,3%), ioniseeriv kiirgus (69,1%), maakasutuse muutused (88,5%) ja fossiilsete kütuste ammendumine (87,9%). Lisaks sellel on diisli tootmise etapp kahest suurimast mõjutajast veel kaheksal korral. Eelnevalt nimetatutele on diisli tootmise etapp kahest suurimast mõjutajast veel kliimamuutuse, pinnase hapestumise, merevee eutrofeerumise, fotokeemiliste oksüdantide tekkimise, pinnase ökotoksilisuse, merevee ökotoksilisuse ning põllumaa ja linnamaa kasutuse mõjukategooriates. Samuti neljas kategoorias suurimat mõju omav etapp on sõidutee ehitus, mõjutades enim magevee (50,1%) ja merevee (40,3%) ökotoksilisust ning põllumaa (66,8%) ja linnamaa (94%) kasutamist.

Väikseima mõjuga on bussi hooldus- ja tootmisetapp. Hooldusetapp on suurima mõjuga magevee eutrofeerumise (35,2%) ja veevarude ammendumise (38%) kategooriates. Tootmisetapp mõjutab enim toksilisust inimestele (38,9%) kui ka metallide ammendumist (57,5%). Toksilisus inimesele väljendub bussi ehituseks vaja minevate raskmetallide kasutamises. Infrastruktuuri, eelkõige sõiduteede, rajamine on suurim maakasutuse muutuste põhjustaja. Lisaks muutustele põllu- ja linnamaa kasutuses, mõjutab infrastruktuuri rajamine ka ressursside ammendumist.

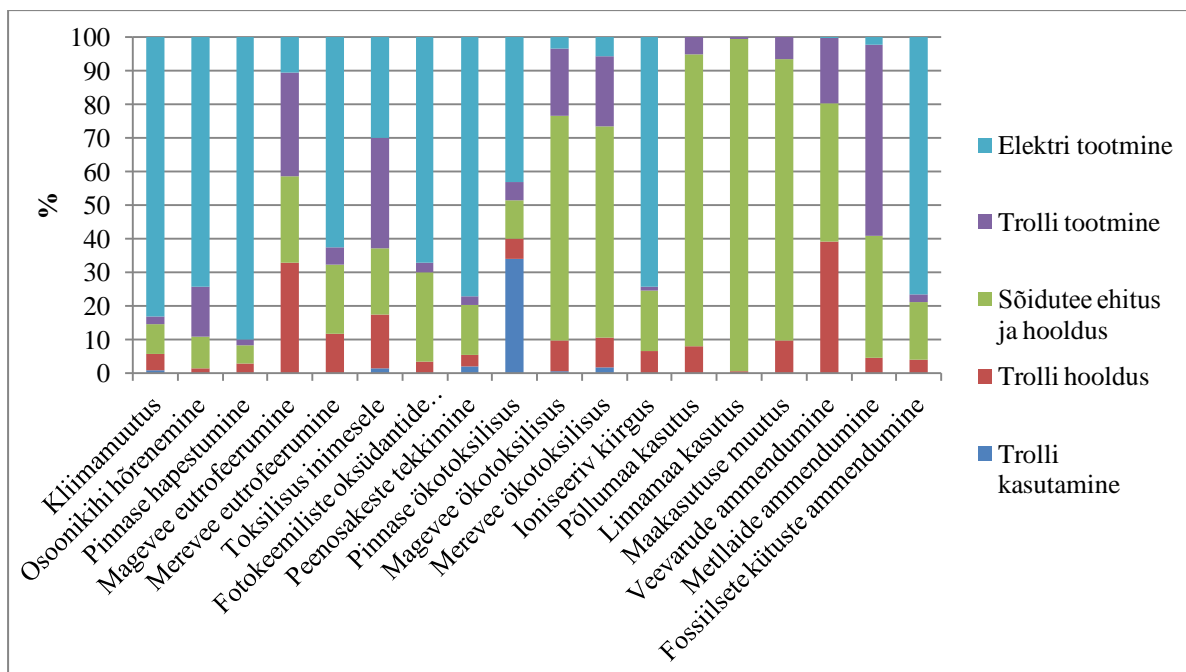
Joonisel 4 on näha bussi olelusringi normaliseeritud tulemusi. Käesoleva töö tulemused on normaliseeritud Euroopa põhiste taustväärtustega. Jooniselt 4 on näha, et transpordi olelusringis on suur mõju maakasutuse muutustele diisli olelusringil. Diisli tootmise etapil on kaalukas mõju ka fossiilsete kütuste ammendumise mõjukategoorias. Bussi kasutusfaasi peamised mõjud tulenevad diislipõlemisel eralduvatest heidetest ja

3.2.2 Troll

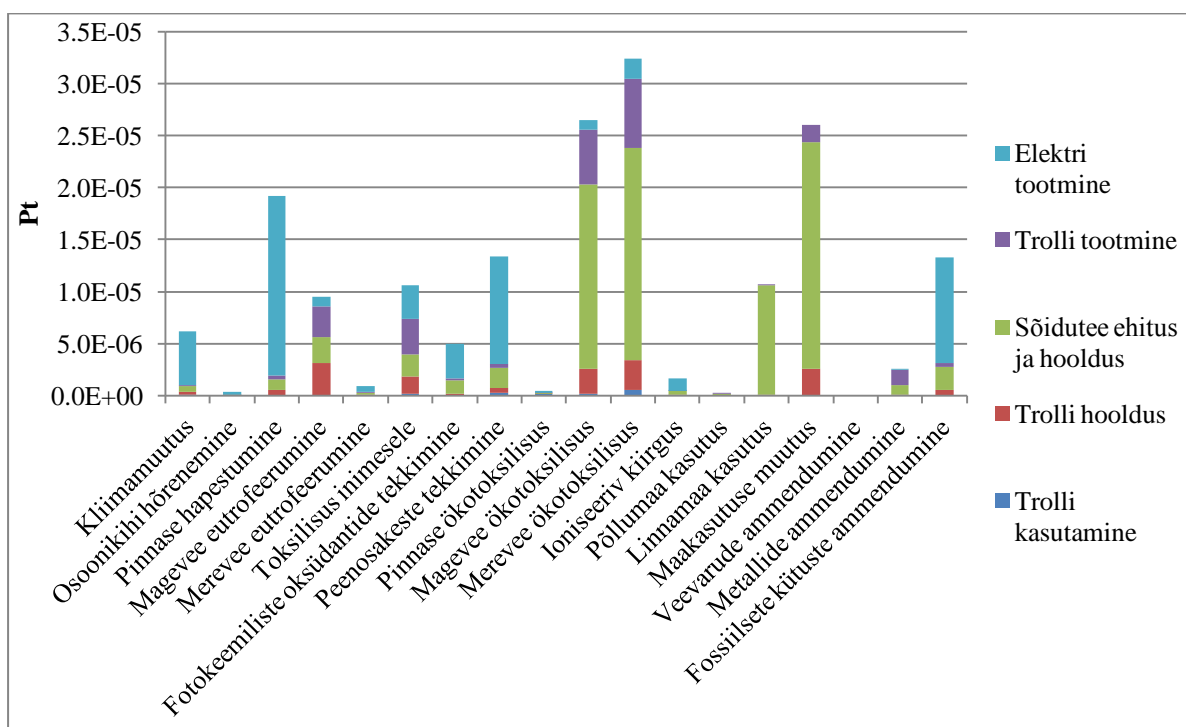
Joonisel 5 on näha trolli olelusringi iga etapi vältel tekkiva keskkonnamõju osakaal. Trolli olelusringi suurimad mõjud tulenevad elektri tootmisest, nimelt on elektritootmine suurima mõjuga 18 kategooriast üheksas: kliimamuutus (83%), osoonikihi hõrenemine (74,3%), pinnase hapestumine (90,1%), merevee eutrofeerumine (62,6%), fotokeemiliste oksüdantide tekkimine (67,1%), peenosakeste tekkimine (77,1%), pinnase ökotoksilisus (43%), ioniseeriv kiirgus (74,1%) ja fossiilsete kütuste ammendumine (76,7%). Tallinna trollide kasutatav Latvenergo elekter toodetakse 57% ulatuses maagaasist, 43% ulatuses hüdro- ja tuuleenergiast (peamiselt hüdroenergiast) ning väga vähesel määral ka puidust ja erinevatest kütteõlidadest. Ometigi moodustab see vaid poole tegelikult müüdavast elektrist, ülejäänud pool ostetakse börsilt, mille kohta aga andmed puuduvad. Seega ei saa täpselt öelda, millisest allikast emissioonid pärinevad.

Suure keskkonnamõjuga on ka sõidutee ehitamise etapp, mis on suurima mõjuga kuues kategoorias, mage- (67,1%) ja merevee (63%) ökotoksilisus, põllumaa (86,8%) ja linnamaa (99%) kasutus, maakasutuse muutus (83,8%) ning veevarude ammendumine (41,2%). Trollide olelusringi hindamises on kasutatud bussi tootmisandmeid, mis on suurima mõjuga kahes kategoorias, toksilisus inimesele (32,7%), tulenevalt raskmetallide kasutamisest, ja metallide ammendumine (56,6%). Trollide hooldusetapil on suurim mõju magevee eutrofeerumise etapis (33%). Erinevalt bussist ei ole trolli kasutusetapp suurima mõjuga mitte üheski mõjukategoorias.

Normaliseeritud tulemustest (joonis 6) on näha, et trolli olelusringi etappidest on sõidutee ehitamisel ja hooldusel ning elektri tootmisel Euroopa tasandil arvestatav keskkonnamõju. Elektritootmise tagajärjel tekib suurtes kogustes erinevad emissioone põhjustades sellega kliimamuutust, pinnase hapestumist, fotokeemiliste oksüdantide ja peenosakeste tekkimist. Lisaks ka toksilisust inimestele ning fossiilsete ressursside ammendumist, antud olukorras maagaasi ammendumist. Infrastruktuuri rajamine on peamiseks linnamaa kasutamine ja üldise maakasutus muutuse põhjustajaks. Samuti mõjutab sõiduteede ehitamine ja hooldus mere- ja magevee ökotoksilisust. Trolli kasutamisel on arvestatav mõju pinnase ökotoksilisusesse. Vähesel määral on mõju ka peenosakeste tekkimisse, mere- ja magevee ökotoksilisusesse ning kliimamuutusesse.



Joonis 5. Keskkonnamõju jagunemine trolli olusringi etappide kaupa.



Joonis 6. Tallinna trolli olusringi keskkonnamõjud normeeritud skaalal.

3.2.3 Tramm

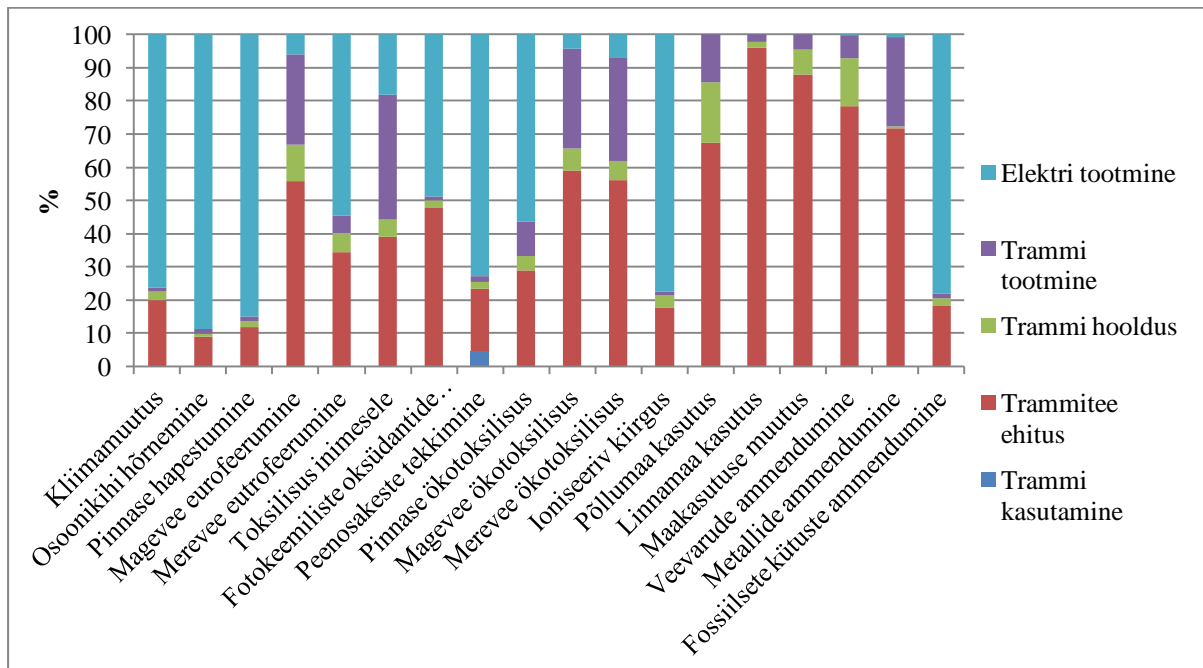
Trammi olelusingi iga etapi vältel tekkiva keskkonnamõju osakaale on näha joonisel 7. Trammide olelusingi suurimad mõjud tulenevad trammi tööks vajaliku elektri tootmisest ja trammitee rajamisest. Elektri tootmine on suurima osakaaluga kliimamuutuse (76,2%), osoonikihi hõrenemise (88,7%), pinnase hapestumise (85%), merevee eutrofeerumise (54,5%), fotokeemiliste oksüdantide tekkimise (48,7%), peenosakeste tekkimise (72,7%), pinnase ökotoksilisuse (56,3%), ioniseeriva kiirguse (77,5%) ja fossiilsete kütuste ammendumise (78,1%) mõjukategooriates. Läti elektripakkuja Latvenergia elekter toodetakse 57% ulatuse maagaasist, 43% ulatuses hüdro- ja tuuleenergiast (peamiselt hüdroenergiast) ning väga vähesel osal ka puidust ja erinevatest kütteõlidest. Ometigi moodustab see vaid poole tegelikult müüdavast elektrist, ülejäänud pool ostetakse börsilt, mille kohta aga andmed puuduvad. Seega ei saa täpselt öelda, millisest allikast emissioonid tulenevad.

Trammi olelusingis on kaalukaks mõjutajaks erinevates mõjukategooriates trammirööbaste ehitus, paigaldus ja hooldus. Trammirööbaste ehitus on suurima osakaaluga järgnevas ülejäänus üheksas mõjukategoorias: magevee eutrofeerumine (56%), toksilisus inimesele (39,1%), mage (59,1%)- ja merevee (56,1%) ökotoksilisus, põllumaa (67,5%) ja linnamaa (96%) kasutus, maakasutuse muutused (88%) ning vee- (78,3%) ja metallivarude (71,8%) ammendumine. Eelnevast loetelust on näha, et trammitee rajamine mõjutab kõikvõimalikke maakasutusmuutusi ja hõivamisi. Lisaks sellele kulub suurel hulgal metallilist tooret rööbaste rajamiseks, mida on näha ka osakaaluna metallide ammendamise kategoorias. Rööbaste tootmine ja paigaldamine nõuavad oma osa ka veevarude ammendumises.

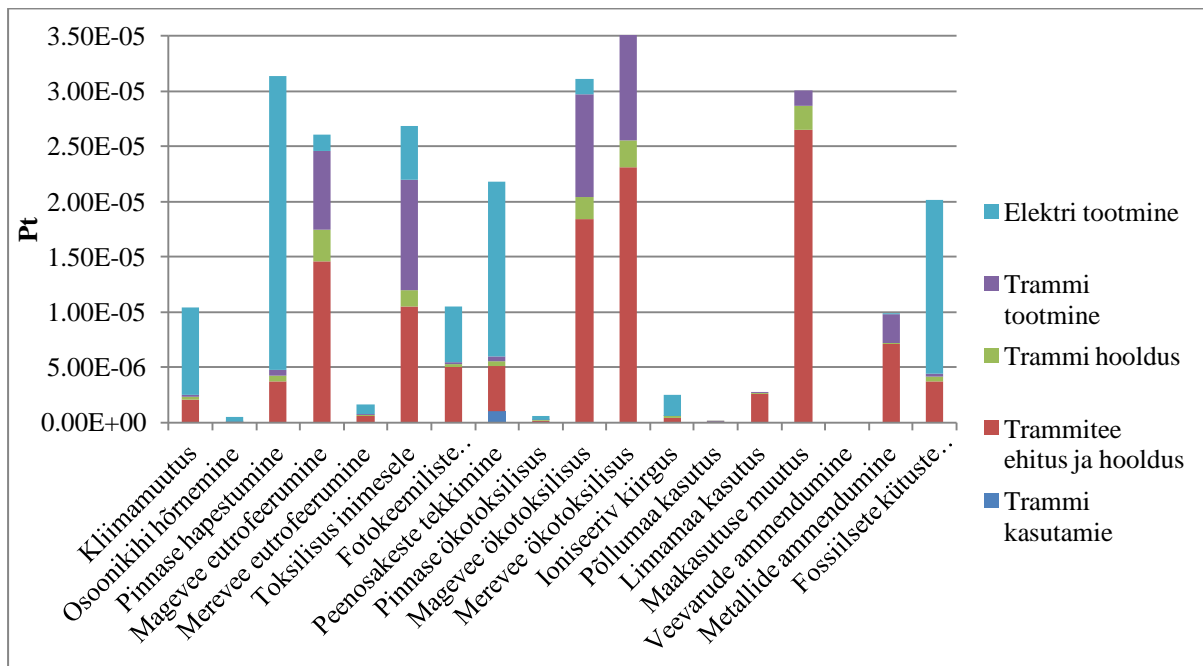
Trammi tootmisetapp mõjutab arvestaval määral mere- (31,1%) ja magevee (29,9%) ökotoksilisust, magevee eutrofeerumist (27,4%) ning metallide ammendumist (26,6%). Trammi hooldusetapp mõjutab enim põllumaa kasutamist (18%). Trammi kasutusetapil on mõju vähesel määral vaid peenosakeste tekkimisse (4,7%), mis tuleneb pidurite kulumisest.

Normaliseeritud tulemustest (joonisel 8) on näha, et trammi olelusingi etappidest on trammitee ehitamisel ja hooldusel ning elektri tootmisel Euroopa tasandil arvestatav keskkonnamõju. Elektri tootmise suur osakaal kliimamuutuse, pinnase hapestumise ja peenosakeste tekkimise mõjukategooriates tuleneb elektritootmisel õhku paisatavatest suurtest heite kogustest. Elektri tootmine mõjutab ka toksilisust inimestele ning fossiilsete ressursside ammendumist, antud olukorras maagaasi ammendumist. Infrastruktuuri rajamine on peamiseks maakasutus muutuse põhjustajaks. Samuti mõjutab trammiteede ehitamine ja

hooldus mere- ja magevee ökotoksilisust. Euroopa keskmisega võrreldes on trammide tootmisel arvestatav mõju magevee eutrofeerumisele, mage- ja merevee ökotoksilisusele ning toksilisusel inimesele.



Joonis 7. Keskkonnamõju jagunemine trammi olusringi etappide kaupa.



Joonis 8. Tallinna trammi olusringi keskkonnamõjud normeeritud skaalal.

4 Arutelu

Käesoleva töö eesmärgiks oli võrrelda Tallinna linna erinevaid ühistranspordiliike ja kindlaks teha suurima keskkonnamõjuga sõiduvahend. Analüüsi käigus tuvastati ka iga uuritava sõiduvahendi suurima keskkonnamõjuga olelusringi etapp. Joonisel 9 on näha bussi, trolli ja trammi olelusringide normaliseeritud keskkonnamõjude võrdlust. Normaliseeritud tulemuste saamiseks on antud töö keskkonnamõjude absoluutväärtused läbi jagatud Euroopat esindavate keskmiste väärtustega. Jooniselt 9 on näha, et Tallinna ühistranspordivahendite mõju hinnatud 18 keskpunkti mõjukategooriale on Euroopa keskmisega võrreldes väiksema mõjuga ja vähemate emissioonidega. Alljärgnevas arutelus on käsitletud peamiselt neid mõjukategooriaid, mis transpordiliikide tulemuste normaliseerimise käigus kõige enam esile tõusid ning mida on varasemalt uuritud ka teistes riikides.

Transpordisektor on üks vähestest valdkondadest maailmas, kus ei ole suudetud CO₂ emissioone vähendada, vaid vastupidi – emissioonid on aasta-aastalt suurenenud. Sellest tulenevalt on oluline hinnata transpordiliikide osatähtsust kliimamuutuse mõjukategoorias. Erinevate transpordiliikide panus kliimamuutusesse tuleneb peamiselt sõidukite liikumiseks vajaminevast energiast – Tallinna busside puhul diislist ja trollide, trammide puhul elektri tootmisest. Nagu eelnevalt andmeanalüüsi peatükis öeldud, võivad bussi kasutusetapi keskkonnamõjud olla kuni 27% suuremad. See omakorda aga muudab tulemused veidi ekslikuks. Nagu selgus Tallinna busside olelusringi analüüsisist on suurima keskkonnamõjuga etapiks kasutusetapp. Seda kinnitab ka Garcia Sánchez et al. (2013) bussitehnoloogiatega olelusringi hindamine. Diisli põlemisel paiskub õhku suurtes kogustes CO₂, NO_x, SO₂ ning peenosakesi. Esimesed neist panustavad suurel määral ka kliimasoojenemisesse. Lisaks sellele tekib SO₂ emissioonidest happevihmasid, mille maha sadamise tagajärjeks on pinnase ja veekogude hapestumine. Normaliseeritud tulemustest joonisel 9 on näha, et suurimaks pinnase hapestumise põhjustajaks on trammid. Busside ja trollide panus pinnase hapestumisse on joonisel näha enamvähem võrdne (ilma bussi kasutusetapi 27% suuremate

emissioonideta). Busside osa hapestumisse pärineb kasutusetapis tekkivatest emissioonidest. Trammide ja trollide osa pinnase hapestumisse pärineb elektri tootmise etapist.

Linnakeskkonnas on peamised õhusaaste tekitajad NO_x ja peenosakeste heited. Suurimad peenosakeste emiteerijad on diislbussid. Peenosakesed tekivad bussi olelusringi kasutusetapis, trammide ja trollide puhul tekivad peenosakesed peamiselt elektri tootmise etapil. Transpordiliikide peamine panus osoonikihi hõrenemisse tuleneb busside puhul diisli ja trollide, trammide puhul elektri tootmisest (erinevate lämmastikühendite emissioonidest). Emissioonid tekivad lisaks diisli põlemisele ka sõiduki pidurdamisel tekkivast hõõrdest rehvide ja tee vahel, kulutades sellega rehve ning emiteerides ümbritsevasse keskkonda kahjulikke ühendeid. Lisas 2 tabelites 3, 4 ja 5 toodud keskkonnamõtjude absoluutväärtuste puhul näeme, et kogu olelusringi vältel on suurim mõju kliimamuutusesse trammi olelusringil 0,1169 kg CO₂-ekv/skm suuruse aastase heitega. Ent nagu juba varasemalt öeldud, on siiski suurim väärtus bussil. Kui arvestada tabelis 3 olev bussi kasutusetapi emissioon 0,0792 kg CO₂-ekv/skm 27% suuremaks ning seejärel arvutada kogu olelusringi emissioon uuesti, saame aastaseks heitehulgaks 0,1268 CO₂-ekv/skm. Seega võttes arvesse kõiki bussi olelusringi etappe jääb bussi CO₂-ekv heitehulk vahemikku 0,1055–0,1268 kg CO₂-ekv/skm. Trollil on panus kliimamuutusesse väiksem, aastase heitekogusega 0,0696 kg CO₂-ekv/skm. Säästva Eesti Instituudi prognooside (Jüssi et al., 2012) kohaselt kasvab busside CO₂ summaarne heitekogus veel aastaks 2020 1–2%. See tuleneb EURO V ja EURO VI liigendbusside kuni 4% suuremast kütusekulust võrreldes normaalbussidega. Joonisel 9 on näha, et Euroopa keskmisega võrreldes ei ole ühistranspordil märkimisväärset panust kliimasoojenemisse, mis näitab ka ühistranspordi kasutamise keskkonnasõbralikust. Sellise tulemuseni on jõudnud ka Ameerika Ühendriikides Mikhail Chester et al. (2013).

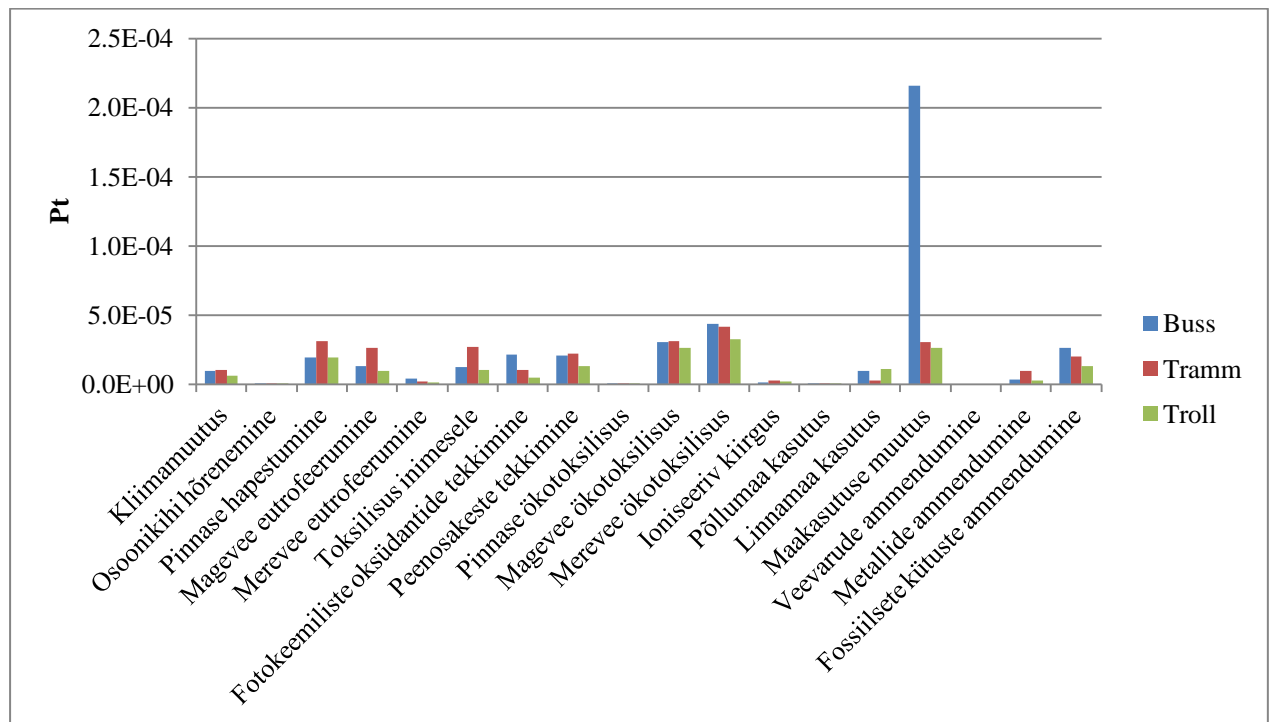
Transpordiliikide olelusringide normeeritud tulemustest (joonis 9) tõuseb enim esile busside, trollide ja trammide panus maakasutuse muutusesse. Suurima maakasutuse muutuse põhjustajaks on bussid (ka ilma kasutusetapi 27% suuremate väärtusteta). Busside suur mõju maakasutusele tuleneb olelusringis diisli tootmise etapist, seda eelkõige toornafta rafineerimisest (seal hulgas toornafta transpordist rafineerimistehasesse) ning edasisest diisli importimisest Eestisse. Euroopa tasandil on trammidel ja trollidel võrreldes bussidega tunduvalt väiksem mõju maakasutuse muutusele. Mõlemad transpordiliigid mõjutavad suuremas osas maakasutuse muutust infrastruktuuri (trammirööbaste ja sõiduteede) rajamisega. Mõju linnamaa kasutusse on kõikidel transpordiliikidel ühene ehk sõiduteede rajamine (joonis 4, 6 ja 8).

Normaliseeritud tulemustest tõuseb veel esile nii mage- kui ka merevee ökotoksilisus, kus taas on suurima mõjuga bussid ja väikseima mõjuga trollid. Kõikide transpordiliikide kogumõju mage- ja merevee ökotoksilisusele tuleneb nii sõiduki tootmise kui ka sõidu- ja trammitee rajamise ning nende hooldusega kaasnevatest mõjudest. Joonisel 9 tõuseb esile veel analüüsitava transpordiliikide mõju magevee eutrofeerumisele, toksilisuses inimesele, fotokeemiliste oksüdantide ja peenosakeste tekkimisele. Magevee eutrofeerumise mõjukategoorias on joonisel 9 näha suurima mõjuga transpordivahendina trammi. Arvatavasti on suurim mõju aga bussil. Magevee eutrofeerumist põhjustab busside ja trollide puhul sõidukite tootmine ja hooldus (trollidel ka sõidutee ehitus). Trammide mõju eutrofeerumisele tuleneb peamiselt trammi ja trammitee rajamise ja hooldusega kaasnevatest mõjudest. Ühistranspordivahendite toksilisus inimesele tuleneb peamiselt sõidukite tootmisest. Trammide puhul ka trammitee rajamisest. Toksiiline mõju inimesele pärineb peamiselt sõidukite eri osade (akud, mootor jne) tootmisel kasutatavate raskmetallide kasutamisest.

Fotokeemiliste oksüdantide tekkimine on suurim bussidel (joonis 9). Antud panus mõjukategooriasse pärineb bussi kasutusetaapi käigus õhku paisatud osoonikihti kahjustavatest ühenditest, näiteks NO_x-st (joonis 4). Trammide mõju fotokeemiliste oksüdantide tekkimisele on pärit elektri tootmise ja sõidutee rajamise ja hoolduse etapist (joonis 8). Trollide mõju antud mõjukategooriasse tuleneb suure osas elektri tootmisetapist.

Ühistranspordiliikide võrdlusest selgub, et väikseim panus erinevatesse keskkonnamõju kategooriatesse on trollil, mida on näha lisa 2 absoluutväärtuste tabelleid võrreldes. Ka Leedus, Kaunase linnas tehtud trollide ja busside olelusingide võrdlusest (Kliucininkas et al., 2012) selgus, et väikseim energiakulu ja sellest tulenevad emissioonid olid maagaasist toodetud elektril töötavatel trollidel. Maagaasist toodetud elektri suurim eelis seisneb selle kõrges energeetilises väärtuses, kõrges kütusepõletamise tõhususes ja suhteliselt väikestes heitgaaside emissioonides (Kliucininkas et al., 2012). Tallinna trollidel on suurima keskkonnamõjuga etapiks elektri tootmise etapp. Tallinnas kasutavad trollid ja trammid elektrit, mis on ostetud Läti elektritootjalt Latvenergo. Latvenergo elektrisegu on peamiselt toodetud hüdroenergiast, maagaasist ja vähesel määral ka puidust ning erinevatest kütteõlidadest. Oluline osa elektrist pärineb ka börsilt, mis teeb aga keskkonnamõjude hindamise keerulisemaks, kuna pole täpselt teada, mis elektrisegu trollid ja trammid tegelikult kasutavad. Trollide olelusingis on suure mõjuga lisaks elektri tootmisele veel sõidutee rajamise ja hoolduse etapp. Trammi olelusingis on samuti suurima mõjuga olelusingi etapiks elektri tootmine. Suure mõjuga on ka trammirööbaste rajamine ja hooldus. Sellise tulemuseni

jõudsid Ameerika Ühendriikides ka Chester et al. (2013), näidates oma uuringus, et San Franciscos sõitvate trammide olelusringi suurim mõju pärineb kasutatavast elektrist (52–65 %) ning infrastruktuuri rajamisest. Trammi osakaalu erinevates mõjukategooriates (joonis 9) suurendab peamiselt trammirööbaste ehitamine, paigaldus ja hooldus.



Joonis 9. Tallinna ühistranspordiliikide kogu olelusringide keskkonnamõjude võrdlus normeeritud skaalal.

Kuna käesolev magistritöö toetab transpordisüsteemi jätkusuutlikumaks muutmist ja seeläbi ka ühistranspordi kasutamist, siis arvutati välja Tallinna ühistranspordi kasutamise osakaal maksimaalsest võimalikust. Kasutamise potentsiaali analüüsidest saab välja pakkuda lahendusi ühistranspordisüsteemi kasutamise suurendamiseks. Transpordiametilt saadud andmete võrdlusest selgub, et Tallinna ühistranspordi potentsiaal on kasutatud vaid vähesel määral – bussidel 14%, trollidel ja trammidel vastavalt 22% ja 15% ulatuses. Sellise teadmiseni on jõutud, võrreldes ühistranspordi kohtkilomeetrit sõitjakilomeetriga. Kasutamise potentsiaali suurust vähendavad arvatavasti hommikused ja õhtused (esimesed ja viimased) bussid, mis eeldatavasti ei kasuta tegelikku potentsiaali ära. Üheks potentsiaali kasutamise suurendamise võimaluseks oleks sõidugraafikute kaudu kasutuspotentsiaali reguleerimine. Pannes rohkem busse liikuma täistundidel ja vähem varahommikustel ja õhtustel aegadel. Sellega omakorda võib kaasneda aga ühistranspordi kättesaadavuse vähenemine, mis võib langetada

ühistranspordi kasutusharjumust. Ühistranspordi potentsiaali kasutamiseks tuleks igaaastaste ühistranspordi kasutamise rahulolu uuringute tulemusi põhjalikult analüüsida ning muuta ühistranspordi kasutamine eelistatuimaks teistest transpordiliikidest.

Nagu metoodika osas öeldud ei ole olulusringi hindamise metoodika sugugi veatu, seda ka antud töö puhul. Käesolev töö on siiski vaid tegelikkuse lihtsustatud mudel. Antud metoodika miinuseks on ka juba eelnevalt mainitud andmebaasides olevate andmete piiratus, mille tõttu on töös tehtud mitmeid üldistusi. Olenemata sellest jõuti töö tulemusteni, mis on piisavalt näitlikud, et tutvustada Tallinna ühistranspordiliikide keskkonnamõjusid ja nende ulatust.

Ühistranspordiliikide olulusringi võrdlusanalüüsist selgus, et suurima ja kõige ulatuslikuma keskkonnamõjuga transpordiliik Tallinnas on diislbuss. Joonisel 9 on näha, et diislbussidel on Euroopa tasandil kaalukaim mõju maakasutuse muutuse mõjukategooriale. See mõju pärineb suures osas bussi olulusringi diisli tootmise etapist (joonis 4). Suur mõju on ka mage- ja merevee ökotoksilisusele, mis tuleneb sõidutee ehituse ja hoolduse etapist (joonis 4). Diisli tootmise etapp on kaaluka mõjuga ka fossiilsete kütuste ammendumise mõjukategooriatele. Joonisel 3 on näha, et enim mõjutab keskpunkti mõjukategooriaid bussi kasutusetapp ning diisli tootmise etapp.

Ulatuselt teised suurimad keskkonnamõjud on trammil, mis pärinevad elektri toomise ning trammirööbaste paigalduse ja hoolduse etapist (joonis 7 ja 8). Joonisel 9 on näha, et Euroopa tasandil on trammil arvestatav mõju nii mage- kui merevee ökotoksilisusele. Väikseima keskkonnamõjuga ühistranspordiliik Tallinnas on troll. Trolli olulusringi suurimad keskkonnamõjud pärinevad elektri tootmise ja sõidutee rajamise ja hoolduse etappidest (joonis 5 ja 6). Euroopa tasandil on trollil sarnaselt trammiga kaalukaim mõju mage- ja merevee ökotoksilisusele.

Käesolevast transpordiliikide võrdlusanalüüsist selgus, millised ühistranspordiliikide etapid on suurima keskkonnamõjuga. Seda arvesse võttes saab edaspidi keskenduda konkreetsetele olulusringi etappidele, muutmaks ühistranspordiliike keskkonnasäästlikumateks.

5 Kokkuvõte

Transpordisektor on üks vähestest valdkondadest kogu maailmas, kus kasvuhoonegaaside emissioonid on viimastel aastakümnetel aina suurenenud. Eesti kui ka Euroopa Liidu transpordipoliitika eesmärgiks on lähimate aastate jooksul luua jätkusuutlik transpordisüsteem, mille ühe lahendusena nähakse ühistranspordi kasutamise suurenemist. Ühistranspordi kasutamine pakub inimestele kiiret ja ohutut liikumisviisi ning võimaldab hoiduda keskkonnamõjude suurenemisest. Vaatamata sellele on ka ühistranspordil suuremad ja väiksemad keskkonnamõjud, alustades diiselbusside lokaalse linnasisese õhusaastega kuni trollide ja trammide kasutatava elektri kaudse õhusaasteni.

Käesoleva magistr töö eesmärgiks oli võrrelda Tallinna ühistranspordiliikide olelusringi keskkonnamõjusid. Analüüsi käigus selgitati välja vähima mõjuga ühistranspordivahend ning iga uuritava transpordiliigi suurima mõjuga olelusringietapp. Võrdlusanalüüsi valiti bussid, trollid ja trammid, jättes välja ülejäänud ühistranspordiliigid nagu rongid, taksod ja marsruuttaksod. Uurimuse käigus leiti erinevate ühistranspordi liikide toimimiseks vajaminev aastane energiakulu ja sellest tingitud CO₂ emissioonide suurus ühe sõitjakilomeetri kohta aastas. Töö andis ka lühiülevaate tehtud töödest Eestis ja mujal maailmas.

Tallinna ühistranspordiliikide keskkonnamõjude hindamiseks kasutati olelusringi hindamise meetodikat, kus ühistranspordiliikide keskkonnamõjusid on hinnatud tootmisetapist kuni kasutuselt kõrvaldamiseni. Andmete analüüsiks kasutati ReCiPe keskpunkti meetodikat. Tulemustest selgus, et väikseima keskkonnamõjuga ühistranspordiliigiks Tallinnas on troll, millele järgnevad trammid ja viimasena diiselbussid. Tulemuste osas hinnati ka iga transpordiliiki eraldi, selgitades välja iga transpordiliigi suurima keskkonnamõjuga olelusringi etapi. Diiselbussidel oli suurima keskkonnamõjuga etapiks bussi kasusetapp. See tuleneb diiselkütuse põlemisel eralduvatest emissioonidest. Trollidel ja trammidel oli suurima keskkonnamõjuga etapiks elektri tootmine. Tallinna Linnatranspordi AS ostab oma elektrit Elektrumilt, mis on Läti elektritooja Latvenergo esindaja Eestis. Latvenergo poolt toodetud

elekter on suures osas toodetud maagaasist, seega suurimad keskkonnamõjud tulenevad maagaasi kaevandamisest ja elektri tootmisest.

Saadud keskkonnamõju absoluutväärtused normeeriti Euroopa keskmiste tulemustega. Tulemustest selgus, et Tallinna ühistranspordi keskkonnamõjud on Euroopa keskmisega võrreldes pigem väikesed. Tulemustest kerkis esile ühistranspordi mõju maakasutuse mõjukategoriale, eriti just diiselbusside mõju maakasutuse muutustele. Käesolevast transpordiliikide võrdlusanalüüsist selgus, millised ühistranspordiliikide etapid on suurima keskkonnamõjuga. Seda arvesse võttes saab edaspidi keskenduda konkreetsetele ühistranspordiliikide olelusringi etappidele, muutmaks ühistranspordiliike keskkonnasäästlikumateks.

6 Summary

Cris-Tiina Türkson

Comparative life cycle analysis of public transport modes in Tallinn

The aim of this master thesis was to compare environmental impacts of different public transportation modes life cycles and to identify the life-cycle with the biggest environmental impact in Tallinn, Estonia. Also the aim was to find out each transport mode's life cycle stage that has the biggest environmental impact. The topic is important due to the consistently growing emissions that the transport sector emits every year. Transport sector is one of the few where emissions in the past decades haven't reduced but grown. Three different transportation modes were compared – bus, trolleybus and tram. Five life cycle stages were involved- vehicle production, maintenance and operation, infrastructure construction and maintenance and fuel and electricity production. Other public transport modes in Tallinn like trains, taxis and share taxis were left out of the analysis to reduce the amount of data and to simplify the analysis. The work is divided into 3 parts.

- In the first part a short overview of the topic, the main environmental impacts of transportation systems and previous works were given
- In the second part the methodology was described. The data sources were given and the data described.
- The final part concludes the result of the life-cycle assessment of three mentioned public transportation modes and compares them with each other.

Data used in this work was received from primary- and secondary sources. Statistical data about the number of boardings and etc. in the public transportation system for the year 2012 were received from the Tallinn City Transport Department. Data for the transportation fleet, fuel- and electricity consumption and mileage travelled was received from the two companies managing the bus, trolleybus and tram transport in Tallinn – Tallinna Linnatranspordi AS and MRP Linna Liinide AS. Data for the three transport modes production and maintenance was

acquired from the Ecoinvent database. The nearest options to Tallinn transport modes were chosen for the analysis. The company that manages trolleybuses and trams, Tallinna Linnatranspordi AS, buys electricity from a Latvian electricity company Latvenergo. Because of that, Latvian electricity production data was used. Data for the electricity mix was acquired from the European Life Cycle Database (ELCD). To assess the environmental impacts of the life-cycles of bus, trolleybus and tram a LCA software SimaPro 8.0.2 was used. A midpoint impact assessment method ReCiPe was used. ReCiPe midpoint method evaluates the environmental impact in 18 categories. These categories are:

- climate change;
- ozone depletion;
- terrestrial acidification;
- freshwater eutrophication;
- marine eutrophication;
- human toxicity;
- photochemical oxidant formation;
- particulate matter formation;
- terrestrial ecotoxicity;
- freshwater ecotoxicity;
- marine ecotoxicity;
- ionising radiation;
- agricultural land occupation;
- urban land occupation;
- natural land transformation;
- water depletion;
- metal depletion;
- fossil depletion.

The results of Tallinn's public transport life cycle assessment indicated that trolleys have the lowest environmental impact among the transport means analyzed. Diesel engine buses have the highest environmental impact due to the operating phase. For trolleybuses and trams the life cycle stage with the biggest environmental impact was the production of electricity.

The end results were normalized with European average. The normalized result showed that Tallinn's public transport has a rather small environmental impact compared to the European average results. The impact categories that emerged compared to the other categories after normalization were evaluated. Natural land transformation had the highest value among others impact categories. That is mainly due to diesel fuel production stage for buses and infrastructure construction and maintenance stage for trolleys and trams. Overall the results showed that public transportation in Tallinn is a good opportunity to change the transport system more sustainable in the city.

7 Tänuavaldused

Käesoleva magistritöö autor tänab Tallinna Transpordiametit, Tallinna Linnatranspordi AS-i ja MRP Linna Liinide AS-i koostöö ja esitatud andmete eest. Lisaks suur tänu ka juhendamise eest Age Poomile ja Janika Lahele.

8 Kasutatud kirjandus

Erialakirjandus

- Anspal, S., Poltimäe, H., 2009. Transpordi ühiskondlike kulude mudel. Metoodika ja arvutuste tulemused.
- Baker, J., Lepech, M.D., 2009. Treatment of Uncertainties in Life Cycle Assessment. Proceedings of the 10th International Conference on Structural Safety and Reliability, Osaka, Japan.
- Banister, D., 2011. Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1538–1546.
- Banister, D., Schwanen, T., Anable, J., 2012. Introduction to the special section on theoretical perspectives on climate change mitigation in transport. *Journal of Transport Geography*, 24, 467–470.
- Bengtsson, M., Carlson, R., Molander, S., Steen, B., 1998. An approach for handling geographical information in life cycle assessment using a relational database. *Journal of Hazardous Materials*, 61(1-3), 67–75.
- Brand, C., & Preston, J. M., 2010. “60-20 emission”—The unequal distribution of greenhouse gas emissions from personal, non-business travel in the UK. *Transport Policy*, 17(1), 9–19.
- Cats, O., Reimal, T., Susilo, Y., 2014. Public Transport Pricing Policy – Empirical Evidence from a Fare-Free Scheme in Tallinn, Estonia. Centre for Transport Studies, Department of Transport science, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Chaabane, A., Ramudhin, A., Paquet, M., 2012. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 37–49.
- Chester, M., Horvath, A., 2008. Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air. UC Berkeley Center for Future Urban Transport: A Volvo Center of Excellence.
- Chester, M., Pincetl, S., Elizabeth, Z., Eisenstein, W., Matute, J., 2013. Infrastructure and automobile shifts: positioning transit to reduce life-cycle environmental impacts for urban sustainability goals. *Environmental Research Letters*, 8(1).

- Cui, S., Niu, H., Wang, W., Zhang, G., Gao, L., Lin, J., 2010. Carbon footprint analysis of the Bus Rapid Transit (BRT) system: a case study of Xiamen City. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17(4), 329–337.
- De Winter-Sorkina, R., 2001. Impact of ozone layer depletion I : ozone depletion climatology, 35(August 2000), 1609–1614.
- Dhondt, S., Xuan, Q., Van, H., Hens, L., 2010. Environmental health impacts of mobility and transport in Hai Phong, Vietnam. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(3), 363–376.
- Dinca, C., Rousseaux, P., Badea, A., 2007. A life cycle impact of the natural gas used in the energy sector in Romania. *Journal of Cleaner Production*, 15(15), 1451–1462.
- Dora, C., 1999. A different route to health: implications of transport policies. *BMJ (Clinical research ed.)*, 318(7199), 1686–9.
- Drovtar, I., Rosin, A., Landsberg, M., Kilter, J., 2013. Large scale electric vehicle integration and its impact on the Estonian power system.
- Ender, J., Krik, S., Tammeveski, T., 2013. Pealinlaste rahulolu Tallinna linna ühistranspordiga 2013 aprill Küsitluse kokkuvõte, 1–6.
- European Commission., 2011. White Paper- Roadmap to a Single European Transport Area- Towards a competitive and resource efficient transport system.
- European Environment Agency., 2013. TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets.
- Eurostat., 2009. Sustainable development in the European Union. 2009 monitoring report of the EU sustainable development strategy.
- Fuglestedt, J., Berntsen, T., Myhre, G., Rypdal, K., Skeie, R. B., 2008. Climate forcing from the transport sectors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(2), 454–8.
- García Sánchez, J. A., López Martínez, J. M., Lumbreras Martín, J., Flores Holgado, M. N., Aguilar Morales, H., 2013. Impact of Spanish electricity mix, over the period 2008–2030, on the Life Cycle energy consumption and GHG emissions of Electric, Hybrid Diesel-Electric, Fuel Cell Hybrid and Diesel Bus of the Madrid Transportation System. *Energy Conversion and Management*, 74, 332–343.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R., 2013. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.
- Gray, J. S., Wu, R. S., Or, Y. Y., 2002. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment, 238, 249–279.

- Hauschild, M., Jeswiet, J., Alting, L., 2005. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 54(2), 1–21.
- HELCOM., 2014. Eutrophication status of the Baltic Sea 2007-2011 - A concise thematic assessment. *Baltic Sea Environment Proceedings No. 143*.
- Hoffman, L., Schmidt, A., Jensen, A. A., Møller, B. T., 1997. Life Cycle Assessment. A guide to approaches, experiences and information sources, *Environmental Issues Series (6)*.
- ISO 14040, 2006. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
- ISO 14044, 2006. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.
- Jüssi, M, Poltimäe, H., Sarv, K., Orru, H., 2010. Säästva transpordi raport.
- Jüssi, M, Anspal, S., Kallaste, E., 2008. Transpordi Väliskulude Hindamine: Hindamismetoodika ja Sisendandmete Kaardistus.
- Jüssi, M, Poltimäe, H., Aru, B., 2012. Tallinna Autobussikoondise linnaliinibusside alternatiivkütuste kasutuselevõtu asjaolude selgitamine.
- Keskkonnaministeerium, 2007. Eesti Keskkonnastrateegia aastani 2030.
- Kliucininkas, L., Matulevicius, J., Martuzevicius, D., 2012. The life cycle assessment of alternative fuel chains for urban buses and trolleybuses. *Journal of environmental management*, 99, 98–103.
- Kuulpak, P., 2014. Tallinna statistika aastaraamat “Tallinn arvudes.”
- Lahti, T., 2010. Keskkonnamüra hindamine ja müra leviku tõkestamine. *Ökokratt*. Tallinn.
- Latvenergo, 2012. 2012 Latvenergo Group Sustainability and Annual Report.
- Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium., 2006a. Ühistranspordi arenguprogramm 2006-2010.
- Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2006b. Ühistranspordi infosüsteemi analüüsi ülesandepüstitus.
- Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2013. 2014-2020 Transpordi arengukava.
- Marchal, V., Dellink, R., van Vuuren, D., Clapp, C., Château, J., Magné, B., Lanzi, E., van Vliet, J., 2012. Climate Change. *OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction*.

- Meiner, A., Georgi, B., Petersen, J.-E., Uhel, R., 2010. The European Environment State and Outlook 2010- Land use.
- Moora, H., 2009. Life Cycle Assessment as a Decision Support Tool for System Optimisation – the Case of Waste Management in Estonia.
- Olander, A., 2008. Tramm, buss ja troll Tallinnas. Tänapäev. Tallinn.
- Olander, A., 2010. Tallinna Troll 45. KUMA kirjastus. Paide.
- Reap, J., Roman, F., Duncan, S., Bras, B., 2008. A survey of unresolved problems in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(5), 374–388.
- Ribeiro, K., Kobayashi, S., Beuthe, M., Gasca, J., Greene, D., Lee, D. S., Muromachi, Y., Newton, S., Plotkin, D., Sperling, R., Wit, P., Zhou, J., 2007. Transport and its infrastructure. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.
- Schwanen, T., Banister, D., Anable, J., 2011. Scientific research about climate change mitigation in transport: A critical review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(10), 993–1006.
- Siseministerium, 2013. Üleriigiline Planeering Eesti 2030+.
- Skinner, I., Van Essen, H., Smokers, R., Hill, N., 2010. Towards the decarbonisation of the EU ' s transport sector by 2050 Final report produced under the contract ENV.C.3/SER/2008/0053 between European Commission Directorate-General Environment and AEA Technology plc.
- Sleeswijk Wegener, A., Van Oers, L. F. C. M., Guinée, J. B., Struijs, J., Huijbregts, M. A. J. (2008). Normalisation in product life cycle assessment: an LCA of the global and European economic systems in the year 2000. *The Science of the total environment*, 390(1), 227–40.
- Staffeli, I., 2011. The Energy and Fuel Data Sheet. University of Birmingham.
- Tallinna Tehnikaülikool, 2011. Elektertranspordi areng.
- Tallinna Transpordiamet, 2007. Tallinna Liikumiskeskonna Arengustrateegia 2007-2035.
- Talve, S., 2012. Ketšupi olelsing. Tartu Ülikooli loodusmuuseum.
- Talve, S., Põld, E., 2005. Olelsingi hindamine. Kaks & Pool. Pärnu.
- Tillman, A.-M., 2000. Significance of decision-making for LCA methodology. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(1), 113–123.
- Traverso, M., Finkbeiner, M., Jørgensen, A., Schneider, L., 2012. Life Cycle Sustainability Dashboard. *Journal of Industrial Ecology*, 16(5), 680–688.

Van Bueren, E., Van Bohemen, H., Itard, L., Visscher, H., 2012. Sustainable urban Environments. An Ecosystem Approach. Springer Netherlands.

Van Wee, B., Maat, K., De Bont, C., 2012. Improving Sustainability in Urban Areas: Discussing the Potential for Transforming Conventional Car-based Travel into Electric Mobility. European Planning Studies, 20(1), 95–110.

Wenzel, H., 1998. Application dependency of lca methodology: Key variables and their mode of influencing the method. The International Journal of Life Cycle Assessment, 3(5), 281–288.

Wolfram, M., Bührmann, S. (2007). Sustainable Urban Transport Planning SUTP Manual • Guidance for stakeholders.

Õigusaktid

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EÜ) nr 443/2009, millega kehtestatakse uute sõiduautode heitenormid väikesõidukite süsinikdioksiidiheite vähendamist käsitleva ühenduse tervikliku lähenemisviisi raames, 23.09.2009. Euroopa Liidu Teataja.

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ, taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta ning direktiivide 2001/77/EÜ ja 2003/30/EÜ muutmise ja hilisema kehtetuks tunnistamise kohta, 23.04.2009. Euroopa Liidu Teataja.

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu otsus nr 406/2009/EÜ, milles käsitletakse liikmesriikide jõupingutusi kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamiseks, et täitsa ühenduse kohustust vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid aastaks 2020, 23.04.2009. Euroopa Liidu Teataja.

Ühistranspordi töö- ja teenuste mahu arvutamise meetoodika. Teede- ja Sideministri määrus, vastu võetud 21.06.2000, RTL 2000, 79, 1187: viimane redaktsioon 01.06.2002.

Veebiallikad

Ecoinvent3 andmebaas. <https://ecoquery.ecoinvent.org/> (loetud 17.04.2014)

EIA- U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/oiaf/1605/coefficients.html#tbl2> (loetud 17.04.2014)

EEA- European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-9> (loetud 06.02.2014)

Eesti Standardikeskus. <http://www.evs.ee/> (loetud 06.02.2014)

International Association of Public Transport <http://www.uitp.org/Public-Transport/why-public-transport/index.cfm>. (loetud 21.01.2014)

Solaribus. http://www.solaribus.com/vehicles_group/trollino (loetud 06.02.2014)

Tallinna Linnatranspordi Aktsiaselts. <http://www.tallinnlt.ee/> (loetud 27.10.2013)

Rodrigue, J-P. 2014. The Geography of Transport Systems. <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/ch8c1en.html> (loetud 18.12.2013).

Tallinna Transpordiamet. <http://www.tallinn.ee/est/transpordiamet> (loetud 20.02.2014)

Tallinna Ühistransport. <http://tallinn.yhistransport.eu/index.php/uudised/71> (loetud 02.04.2014)

Andmebaasid

Ecoinvent3 andmebaas. 2014. SimaPro 8.0.2 programmi juurde kuuluv andmebaas.

European Lifecycle Database (ELCD). 2014. SimaPro 8.0.2 programmi juurde kuuluv andmebaas.

9 Lisad

Lisa 1



Joonis 10. Normaalbuss Scania K 270 UB4X2LB (TLT, 2014).



Joonis 11. Liigendbuss Scania CL94 UA6X2/2LB 300 Omnalink (TLT,2014).



Joonis 12. Ganz Solaris T12 (TLT, 2014).



Joonis 13. Ganz Solaris T18 (TLT, 2014).



Joonis 14. Tallinna linnaliiklusesse plaanitavate uute trammide mudel (TLT, 2014).

Lisa 2

Tabel 3. Bussi olelusringi etappide mõjukategooriate absoluutväärtused.

Mõjukategooria	Ühik	Kokku	Bussi kasutamine	Bussi tootmine	Bussi hooldus	Sõidutee ehitus ja hooldus	Diisli tootmine
Kliimamuutus	kg CO ₂ -ekv	1,05E-01	7,92E-02	2,44E-03	4,57E-03	5,35E-03	1,39E-02
Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11-ekv	9,89E-09	0	1,84E-09	1,93E-10	7,05E-10	7,16E-09
Pinnase hapestumine	kg SO ₂ -ekv	6,55E-04	5,17E-04	1,43E-05	2,67E-05	3,15E-05	6,54E-05
Magevee eutrofeerumine	kg P-ekv	5,28E-06	0	1,73E-06	1,86E-06	8,78E-07	8,11E-07
Merevee eutrofeerumine	kg N-ekv	4,20E-05	3,58E-05	6,73E-07	1,54E-06	1,60E-06	2,43E-06
Toksilisus inimesele	kg 1,4-DB-ekv	7,94E-03	9,04E-04	3,09E-03	1,53E-03	1,13E-03	1,29E-03
Fotokeemiliste oksüdantide tekkimine	kg NMVOC	1,20E-03	9,91E-04	1,13E-05	1,35E-05	6,49E-05	1,20E-04
Peenosakeste tekkimine	kg PM ₁₀ -ekv	3,03E-04	2,39E-04	7,39E-06	9,95E-06	2,54E-05	2,21E-05
Pinnase ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	5,14E-06	3,27E-06	3,04E-07	3,16E-07	3,81E-07	8,72E-07
Magevee ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	3,34E-04	4,31E-06	8,25E-05	3,79E-05	1,69E-04	4,07E-05
Merevee ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	3,79E-04	2,36E-05	8,25E-05	3,56E-05	1,53E-04	8,44E-05
Ioniseeriv kiirgus	kBq U235-ekv	9,11E-03	0	1,99E-04	9,80E-04	1,64E-03	6,29E-03
Põllumaa kasutus	m ² a	9,84E-04	0	6,35E-05	1,01E-04	6,57E-04	1,62E-04
Linnamaa kasutus	m ² a	3,94E-03	0	3,28E-05	2,89E-05	3,70E-03	1,77E-04
Maakasutuse muutus	m ²	3,48E-05	0	3,79E-07	5,85E-07	3,04E-06	3,08E-05
Veevarude ammendumine	m ³	5,02E-02	0	9,43E-03	1,90E-02	1,22E-02	9,52E-03
Metallide ammendumine	kg Fe-ekv	2,55E-03	0	1,47E-03	1,20E-04	5,73E-04	3,90E-04
Fossilsete kütuste ammendumine	kg õli-ekv	4,05E-02	0	6,56E-04	1,20E-03	3,04E-03	3,56E-02

Tabel 4. Trolli olelusringi etappide mõjukategooriate absoluutväärtused.

Mõjukategooria	Ühik	Kokku	Trolli kasutamine	Bussi hooldus	Sõidutee ehitus ja hooldus	Bussi tootmine	Elektri tootmine
Kliimamuutus	kg CO ₂ -ekv	6,96E-02	0,000688188	3,22E-03	6,21E-03	1,72E-03	5,77E-02
Osoonikihi hõrenemine	kg CFC-11-ekv	8,73E-09	0	1,36E-10	8,17E-10	1,29E-09	6,49E-09
Pinnase hapestumine	kg SO ₂ -ekv	6,59E-04	0	1,88E-05	3,65E-05	1,01E-05	5,94E-04
Magevee eutrofeerumine	kg P-ekv	3,96E-06	0	1,31E-06	1,02E-06	1,22E-06	4,15E-07
Merevee eutrofeerumine	kg N-ekv	9,13E-06	0	1,08E-06	1,86E-06	4,74E-07	5,72E-06
Toksilisus inimesele	kg 1,4-DB-ekv	6,65E-03	9,14E-05	1,08E-03	1,31E-03	2,18E-03	2,00E-03
Fotokeemiliste oksüdantide tekkimine	kg NMVOC	2,82E-04	0	9,52E-06	7,52E-05	7,96E-06	1,89E-04
Peenosakeste tekkimine	kg PM ₁₀ -ekv	1,99E-04	3,88E-06	7,01E-06	2,94E-05	5,20E-06	1,53E-04
Pinnase ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	3,85E-06	1,32E-06	2,22E-07	4,42E-07	2,14E-07	1,66E-06
Magevee ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	2,91E-04	1,55E-06	2,67E-05	1,95E-04	5,81E-05	9,52E-06
Merevee ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	2,81E-04	4,92E-06	2,51E-05	1,77E-04	5,81E-05	1,62E-05
Ioniseeriv kiirgus	kBq U235-ekv	1,05E-02	0	6,90E-04	1,90E-03	1,40E-04	7,82E-03
Põllumaa kasutus	m ² a	8,78E-04	0	7,14E-05	7,62E-04	4,47E-05	0
Linnamaa kasutus	m ² a	4,33E-03	0	2,04E-05	4,29E-03	2,31E-05	0
Maakasutuse muutus	m ²	4,20E-06	0	4,12E-07	3,52E-06	2,67E-07	0
Veevarude ammendumine	m ³	3,43E-02	0	1,34E-02	1,41E-02	6,64E-03	9,55E-05
Metallaide ammendumine	kg Fe-ekv	1,83E-03	0	8,48E-05	6,65E-04	1,03E-03	4,24E-05
Fossiilsete kütuste ammendumine	kg õli-ekv	2,07E-02	0	8,45E-04	3,53E-03	4,62E-04	1,59E-02

Tabel 5. Trammi olelusringi etappide mõjukategooriate absoluutväärtused,

Mõjukategooria	Ühik	Kokku	Trammi kasutamine	Trammitee ehitus	Trammi hooldus	Trammi tootmine	Elektritootmine
Kliimamuutus	kg CO ₂ -ekv	1,17E-01	0	2,32E-02	3,02E-03	1,62E-03	8,90E-02
Osoonikihi hõrnemine	kg CFC-11-ekv	1,13E-08	0	1,01E-09	1,16E-10	1,51E-10	1,00E-08
Pinnase hapestumine	kg SO ₂ -ekv	1,08E-03	0	1,28E-04	1,82E-05	1,57E-05	9,16E-04
Magevee eutrofeerumine	kg P-ekv	1,08E-05	0	6,06E-06	1,17E-06	2,96E-06	6,39E-07
Merevee eutrofeerumine	kg N-ekv	1,62E-05	0	5,56E-06	9,47E-07	8,61E-07	8,82E-06
Toksilisus inimesele	kg 1,4-DB-ekv	1,69E-02	0	6,62E-03	8,86E-04	6,32E-03	3,08E-03
Fotokeemiliste oksüdantide tekkimine	kg NMVOC	5,98E-04	0	2,86E-04	1,38E-05	7,61E-06	2,91E-04
Peenosakeste tekkimine	kg PM ₁₀ -ekv	3,25E-04	1,54E-05	6,04E-05	6,66E-06	6,42E-06	2,36E-04
Pinnase ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	4,54E-06	0	1,31E-06	2,01E-07	4,73E-07	2,55E-06
Magevee ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	3,42E-04	0	2,02E-04	2,27E-05	1,02E-04	1,47E-05
Merevee ökotoksilisus	kg 1,4-DB-ekv	3,58E-04	0	2,01E-04	2,10E-05	1,12E-04	2,49E-05
Ioniseeriv kiirgus	kBq U235-ekv	1,55E-02	0	2,72E-03	6,16E-04	1,56E-04	1,21E-02
Põllumaa kasutus	m ² a	4,74E-04	0	3,20E-04	8,54E-05	6,88E-05	0
Linnamaa kasutus	m ² a	1,10E-03	0	1,06E-03	2,06E-05	2,34E-05	0
Maakasutuse muutus	m ²	4,85E-06	0	4,27E-06	3,64E-07	2,16E-07	0
Veevarude ammendumine	m ³	8,25E-02	0	6,46E-02	1,20E-02	5,77E-03	1,47E-04
Metallide ammendumine	kg Fe-ekv	7,08E-03	0	5,09E-03	4,26E-05	1,89E-03	6,55E-05
Fossiilsete kütuste ammendumine	kg õli-ekv	3,13E-02	0	5,71E-03	7,60E-04	3,93E-04	2,45E-02

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Cris-Tiina Türkson, annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) enda loodud teose „Tallinna ühistranspordiliikide olelusringi võrdlusanalüüs“, mille juhendajad on Age Poom ja Janika Laht,

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. kinnitan, et lihlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus 26.05.2014