

Tartu Linnavalitsus

Elektribusside laadimissüsteemide tasuvus- ja tundlikkusanalüüs

Rakendusüürik



Mõnus Minek OÜ

www.monusminek.ee

Ahto Oja | ahto.oja@monusminek.ee

Tauno Trink | tauno.trink@monusminek.ee

Tartu - Ääsmäe
2015

Sisukord

Sisukord	1
1. Sissejuhatus.....	2
2. Eesmärk.....	3
3. Metoodika	3
4. Tulemused	6
4.1 Ülevaade elektribusside laadimistehnoloogiatest.....	6
4.1.1 Pistikuga laadimine	6
4.1.2 Plafooniga linnalaadimine (<i>pantograph</i> tehnoloogia)	9
4.1.3 Induksioonlaadimine	12
4.2 Ülevaade elektribusside akudest	14
4.3 Teiste linnade elektribusside laadimisviiside kogemused.....	20
4.4 Erinevate laadimissüsteemiga elektribusside tasuvus.....	24
4.4.1 Elektribusside laadimissüsteemid.....	24
4.4.2 Elektribusside tasuvus võrreldes diisel ja metaangaasibussidega	29
4.5 Elektribusside kasutuselevõtu stsenaariumid Tartu linna näitel.....	31
4.5.1 Pistikuga (<i>plug-in</i>) aeglane depoolaadimine	32
4.5.2 Plafooniga linnalaadimine	33
4.5.3 Soovitused Tartu linna liiniveohanke tingimuste jaoks	33
5. Kokkuvõte	34

1. Sissejuhatus

Euroopa Liit ja Eesti on võtnud pikaajaliseks strateegiliseks suunaks taastuvenergia osakaalu tõstmise transpordis - eesmärk on kasutada transpordis aastaks 2020 10% ulatuses taastuvkütuseid. Seda on kavas saavutada vedelatele kütustele 5-7% segatud biokütuse kohustuse sätestamisega, ühistranspordi üleviimisega taastuvenergiale ja alternatiivsete taastuvate energiaallikate kasutamise transpordis.

E-sõidukite sh elektribusside kasutamine aitab nende suundade poole liikumisel kaasa, st vähendab fossiilkütuste tarbimist eeldusel, et jätkatakse suunda, kus elektrisõidukites kasutatakse elekter peab pärinema 100% taastuvatest allikatest. Elektribusside arendamine on olnud viimastel aastatel väga hoogne, samas erinevate elektribusside omavahelist võrdlust pole tehtud, samuti puudub võrdlev analüüs, mis võtaks arvesse kütuse hinda lühi- ja pikaajaliselt, taristu kulustruktuuri ja akude mahutavust, erinevaid laadimisviise ehk millistel tingimustel muutub elektribuss konkurentsivõimeliseks diisel- ja surugaasibussiga. Taoline analüüs aitab kaasa liiniveoangete ette valmistamisele Tartu linnas.

Kaasaaegsete elektribusside plussid on järgmised:

- Tavabussist energiatõhusamad - kasutegur kuni 85%
- Võimalik varustada erinevat tüüpi taastuvatest energiaallikatest toodetud energiaga (100%), vähendades seejuures CO₂ ja kasvuhoooneefekti
- Madalad hoolduskulud
- Väga madal müratase
- Kõrge tehniline ning esteetiline kvaliteet

Tehnoloogia areng aitab üle saada elektrisõidukite olemasolevatest takistustest, nagu tavasõidukist kõrgemad soetuskulud, piiratum läbisõit ja pikem tankimis-ehk siis laadimisaeg. Kohalik omavalitsus saab aga kaasa aidata elektrisõidukite leviku laiendamisele, pühendudes infrastruktuuri (laadimissüsteemi) arendamisele, teadlikkuse suurendamisele ning olles oma tegevusega eeskujuks teistele, näiteks e-sõidukite kasutamisel omavalitsuse enda masinapargis.

Tartu linna strateegilised suunad elektrisõidukite kasutamise suurendamiseks on järgmised:

- suurendada elektrisõidukite kasutamise teadlikkust soodustamaks nende laialdasemat kasutamist;
- erinevate sõidukite kasutuse võrdlemine (jätkusuutlikuse analüüsid mõjust keskkonnale, majandusele ja inimeste tervisele);
- hangete tingimuste täiendamine e-sõidukite kasutuselevõtmiseks;
- soodustused elektrisõidukite kasutamisele linnaliikluses;
- elektrisõidukite laadimistaristu mitmekesistamisele kaasa aitamine.

2. Eesmärk

Käesoleva rakendusuuringu „Elektribusside tundlikkusanalüüs“ (edaspidi rakendusuuring) eesmärk on välja selgitada kõige uuem ja asjakohasem info erinevate elektribusside tehnoloogiate, laadimistaristu, akude mahutavuse ja utiliseerimise kohta ning koostada tasuvus- ja tundlikkusanalüüs võrreldes diisel- ja metaangaasibussiga, eeldusel, et muud tingimused (päevane läbisõit, jmt, laenu tingimused, makromajanduslikud näitajad, jmt) on samad. Rakendusuuringus on välja selgitatud elektribusside “laadimine-plafooniga-peatuses” tasuvus võrreldes pistikuga kiirlaadimisega ja aeglase üle-öö laadimisega või muude tehnoloogiapakujate poolt pakutavate laadimisviisidega. Rakendusuuringus on välja toodud teiste linnade samalaadsete laadimisviiside kogemused, kordaminekud ja puudujäägid. Tartu linna jaoks on välja pakutud sobilik testversioon ning antud antud uuringu koostaja soovitusel järgmise liiniveohanke tingimuste jaoks.

3. Metoodika

Tasuvusuuringu koostamisel teostati hinna- ja infopäringud nii eesti kui inglise keeles elektribusse tootvatele, nende edasimüügiga või elektribussi tasuvusanalüüsidesega tegelevatele ettevõtetele. Päringud tehti vaid uute tänapäeva nõuetele vastavate busside jalaadimissüsteemide kohta (Vt hinnapäringut lisas 1).

Kirjeldatud päringud edastati alljärgnevale ettevõtetele:

- 1) ZeEUS <http://zeeus.eu/> Elektribusside LCA e. elütsüklianalüüsides uurimiseks ellukutsutud projekt.
- 2) Linkker www.linkkerbus.com tasuvus- ja teostusanalüüsides. Antud ettevõtte tegevjuhiga sai töö koostaja isiklikult ka Soomes kokku.
- 3) AMZ Kutno <http://www.amz.pl/en> Elektribusside tootmise ja selle lisaseadmetega tegelev ettevõtte.
- 4) Solaris Bus & Coach S.A <http://www.solarisbus.com/> Elektribusside tootmise ja selle lisaseadmetega tegelev ettevõtte.
- 5) BYD ebus <http://www.byd.com/na/auto/ElectricBus.html> - Elektribusside tootmise ja selle lisaseadmetega tegelev ettevõtte.
- 6) IVECO Bus [http://www.iveco.com/corporate-en/company/pages/iveco-bus-innovation.aspx - usati-irisbus-modena@irisbus.com](http://www.iveco.com/corporate-en/company/pages/iveco-bus-innovation.aspx-usati-irisbus-modena@irisbus.com) Elektribusside tootmise ja selle lisaseadmetega tegelev ettevõtte.
- 7) VanHool <http://www.vanhool.be/> - info@vanhool.be Elektribusside tootmise ja selle lisaseadmetega tegelev ettevõtte.

Täisversioon esitatud päringust (inglisekeelne) on lisas, vt Lisa 1. Lisas 5 on toodud arvutuste aluseks olev exceli tabel.

Töö koostajad uurisid ühtlasi, kas elektribussi akupakki on sarnaselt elektriautode omale võimalik ära kasutada kodumajapidamises kasutatava elektriallikana ja alternatiivselt toodetud

energia salvestamiseks. Samuti uuriti elektribusside akude võimaliku utiliseerimise kohta. Nendeks küsimusteks pöörduiti järgnevate kontaktide poole:

- Keil M.A. OÜ (MAN Eesti), Hübriidbusside maaletoomise ja vahendamisega tegelev ettevõtte
- KredEx'i Elektromobiilsuse programm
- Volvo Estonia OÜ

Arvutustes on võetud aluseks ühe elektribussi tootja üks väljavalitud mudel (pikkusega 12 m), millel on tabelis 1 toodud näitajad-

Tabel 1. Elektribuss, millele baseerub alljärgnev uuring

kogupikkus	12 000 mm
Kogulaius	2 550 mm
Kõrgus	3 250 mm
Mootor	TSA asynchronous electric motor produced by Vossloh Kiepe (võimsusega 160 kW)
Istekohti	23 – 34
Võimalikud kohandatavad laadimislahendused	<ul style="list-style-type: none"> • plafoon-laadimine (<i>pantograph</i>) • Pistikuga laadimine (<i>plug-in</i>) • Induktsioonlaadimine
akupaketi mahutavus	60 – 240 kWh
Aku tüüp	Lithium-titanite e. LTO / Lithium-iron-phosphate e. LFP

Käesolev töö on üles ehitatud ühe konkreetse elektribussi tootja mudelile ja tema lisaseadmete terviklahendustele kogu elektribussi taristu ulatuses.

Lisaks eelnevale edastas käesoleva töös kasutatud elektribussi tootja antud töö koostajatele MS Exceli formaadile koostatud küsimustiku, mis hõlmas endast järgnevat:

- Mis linnas on antud elektribuss kasutuses;
- Soojendus- ja kliimasüsteemide kasutatavus;
- Mis tüüpi elektribusse soovitakse liinile tuua;
- Päevased sõidudistantsid, milline näeb välja konkreetne liin (koos peatustega ja kellaaegadga) ning bussi täituvusega vastavalt kellaaegadele. Ühtlasi sooviti teada, kui suur on %-selt nr 5 liinil teatud bussipeatuses vastavalt ajagraafikule bussi täituvus skaalal 0 - 100%. Selle aluseks võeti koostöös bussipakkuja tootja poolt väljatöötatud maatriksilt pakutavad väärtused.

Tartu linnas valiti elektribussi võimalikul kasutuselevõtmisel liini nr 5 (Buss nr 5), Nõlvaku - Kivilinna - Kannikese - Kivilinna - Nõlvaku, kogupikkusega 21,85 km. Aluseks on võetud

tööpäevadel toimiv bussigraafik. Sellest, miks valiti töös elektribussiliiniks nr 5 on lähemalt kirjeldatud peatükis "**Tartu linna jaoks sobilik testversioon ning soovitud järgmise liiniveo hanke tingimuste jaoks**".

Konkreetses liiniga seoses aja- ja liinigraafik ning elektribussi tootjale edastatud failid on eraldi välja toodud lisas 3.

4. Tulemused

4.1 Ülevaade elektribusside laadimistehnoloogiatest

Käesolevas peatükis antakse kõige aja- ja asjakohasem info erinevate elektribusside tehnoloogiate, laadimistaristu, akude mahutavuse ja utiliseerimise kohta.

Käesolevas töös väljatoodud elektribussi tootja andmetel on nad võimelised pakkuma järgnevate laadimistehnoloogiate terviklahendusi enda toodetavates elektribussides:

- Pistikuga (*plug-in*) aeglane depoolaadimine;
- Plafooniga linnalaadimine (*pantograph* tehnoloogia);
- Induktsioonlaadimine.

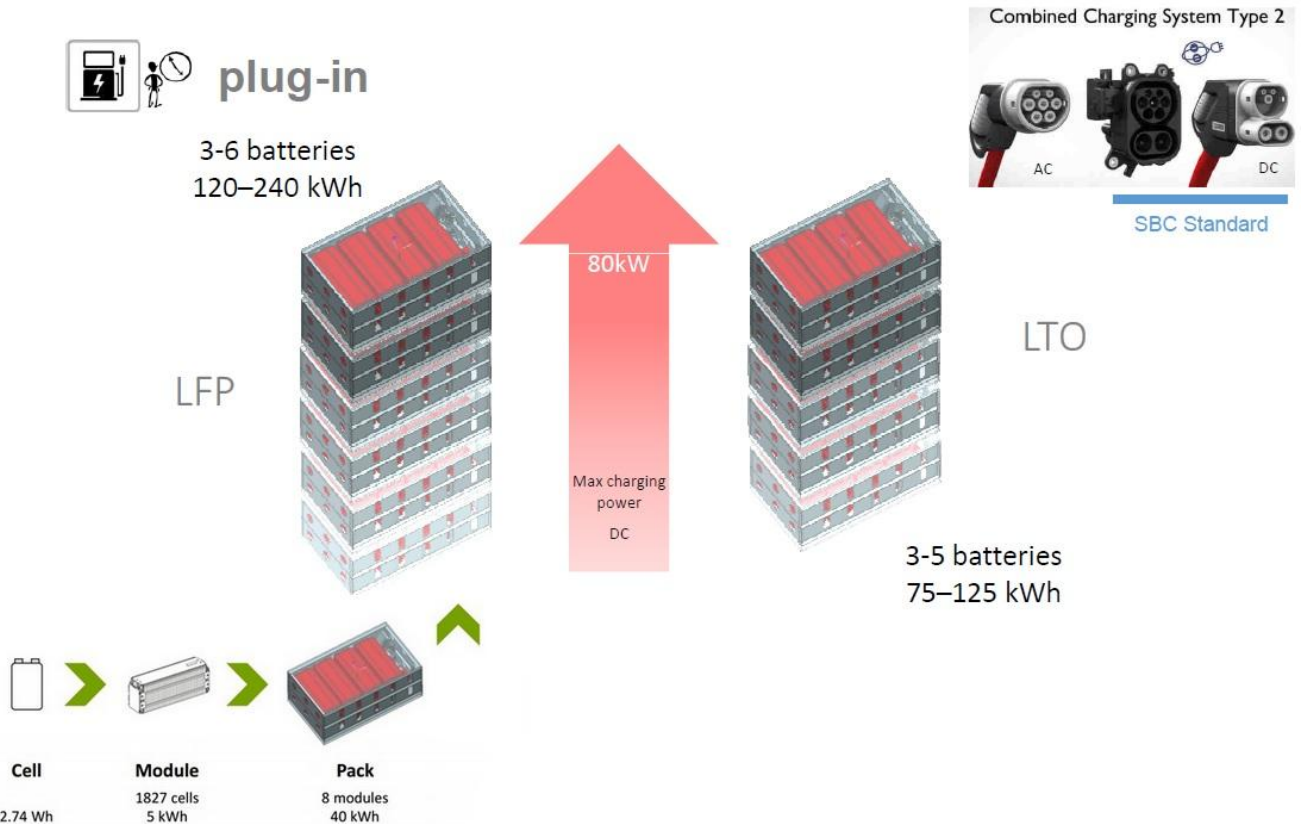
	High Power ¹					High Energy ²			
kWh	Bombardier ³		Solaris			Solaris			
	60	90	75	100	125	120	160	200	240
Cable & plug <i>pistikuga laadimine</i>	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓
Pantograph <i>välklaadimine</i>				✓		✓	✓	✓	✓
Induction <i>Induktsioonlaadimine</i>	✓	✓							

Tabel 2. Käesoleva elektribussi tootja poolt pakutavad laadimistehnoloogiad ja nendega ühtivad akud. 1- *High Power* = *Lithium-titanite* (Li4Ti5O12) ehk **LTO** aku: garantii 10,000 tsükli. 2-*High Energy* = *Lithium-iron-phosphate* (LiFePO4) ehk **LFP** aku: garantii 3,300 tsükli.

4.1.1 Pistikuga laadimine

Ehk aeglane (depoo)laadimine

Järgneval joonisel on välja toodud ühe elektribussi tootja akupaketi ehituspõhimõtte LTO ja LFP akude korral pistikuga laadimise (*plug-in*) puhul.




Joonis 1. Ühe elektribussi tootja E12 LFP akupakett (valikus on 3-6 paketid, üks pakett koosneb 8.moodulist, mille suuruseks on 40 kWh) ja LTO akupakett akupakett (valikus on 3-5 paketid, üks pakett koosneb 8.moodulist, mille suuruseks on 25 kWh)

Üks elektribussi tootja kasutab oma elektribusside pistikuga (*plug-in*) depoolaadimise puhul ettevõtte Ekoenergetyka-Polska Sp. z o.o. poolt toodetavaid quickPoint™ depoolaadijaid (Vt. joonis 2). Pistikuga aeglane depoolaadimine võimaldab laadida maksimaalse laadimisvõimsusega kuni 80 kW. Pistikuga depoolaadijat eristab visuaalselt plafooniga varustatud linnalaadija konteinerist veel see, et depoolaadijat asetsev kontrollpaneel ja nupud on mehaanilised (keeratavad). Plafooniga linnalaadija konteineril (Vt. joonis 2) on kontrollpaneel varustatud LED valgustuse ja LCD puute-ekraaniga.

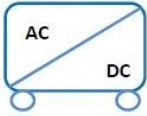
OUR SOLUTION

quickPoint™ DEPOT CHARGERS
- DC charging point




- DC** Direct Current, cc/cv charging mode, 0-800 V DC range
- DC fast charge CCS
- Follow the standards IEC / DIN / OCPP
- Dedicated to charging electric buses & EV on bus depots, *mobile version perfect for demonstration projects*
- 20 kW | 40 kW | 80 kW
- Grid integration, smart metering, smart grid, V2G
- Monitoring & diagnostics
- OPTIONALLY
 - PANTOGRAPH - Automatic Fast Charging System

DepoChargers



*- The average charging time of 125 kWh LTO (battery efficiency not included)

Effective output power	20 kW	40 kW	80 kW
	DC-S	DC-M	DC-F
The average charging time :	6 h	3 h	1.5 h

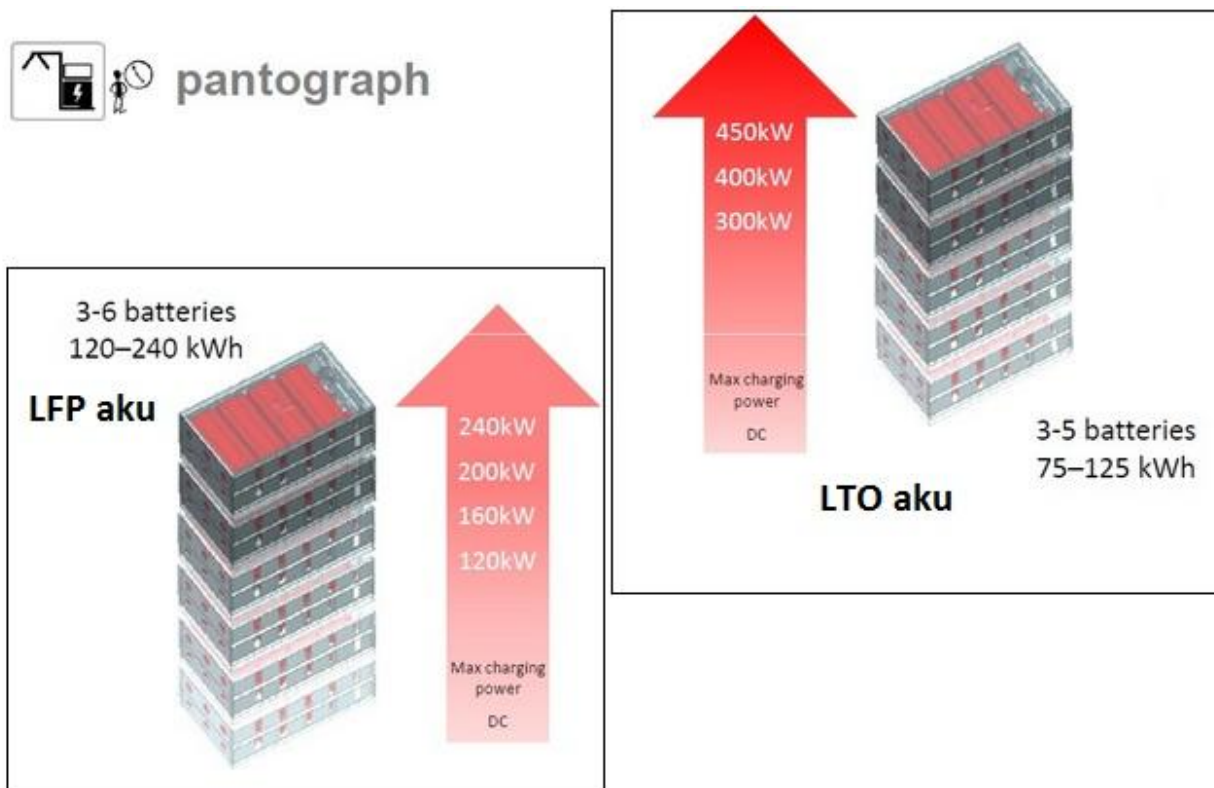


Joonis 2. Ekoenergetyka-Polska Sp. z o.o. poolt toodetavaid quickPoint™ depoolaadija vastavad näitajad ja laadimisaeg laadimisvõimsuse 20 kW, 40 kW ja 80 kW korral.

Laadimisvõimsusel 20 kW (voolutugevusel 32 A) võtab 125 kWh aku laadimine keskmiselt 0-100%-ni aega 6 h. Laadimisvõimsusel 40 kW (voolutugevusel 63 A) võtab 125 kWh aku laadimine keskmiselt 0-100%-ni aega 3 h ning laadimisvõimsusel 80 kW (voolutugevusel 125 A) võtab 125 kWh aku laadimine keskmiselt 0-100%-ni aega 1,5 h. Antud depoolaadijale on lisavarustusena võimalik juurde soetada ka rattad, mis muudavad laadija mobiilseks.

4.1.2 Plafooniga linnalaadimine (*pantograph* tehnoloogia)

Joonisel 3 on välja toodud ühe elektribussi tootja akupaketi ehituspõhimõtte LTO ja LFP akude korral plafooniga laadimise puhul.



Joonis 3. LFP ja LTO akupakkide suurused plafoon tehnoloogia puhul.

Üks elektribussi tootja kasutab oma elektribusside plafooniga linnalaadimise puhul ettevõtte Ekoenergytyka-Polska Sp. z o.o. poolt toodetavaid quickPoint™ linnalaadijaid. Plafooniga linnalaadimine võimaldab laadida maksimaalse laadimisvõimsusega 200 - 450 kW (ja eritellimusel kuni 1 MW). Konkreetne plafooniga linnalaadimine sisaldab plafooni ja laadimiskonteinerit.



Joonis 4. Ekoenergetyka-Polska Sp. z o.o. poolt toodetavaid quickPoint™ plafooniga linnalaadija komplekt (laadimiskonteiner ja plafoon) ning selle vastavad näitajad laadimisvõimsuse 200 kW, 300 kW ja 450 kW korral.

Laadimisvõimsusel 200 kW võtab 125 kWh aku laadimine 0-100%-ni keskmiselt aega 40 minutit. Laadimisvõimsusel 300 kW võtab 125 kWh aku laadimine 0-100%-ni keskmiselt aega 25 minutit ning laadimisvõimsusel 450 kW võtab 125 kWh aku laadimine 0-100%-ni keskmiselt aega 16 minutit. Konkreetne linnalaadija (joonis 4) võimaldab ka laadida juhtmest (*plug-in*) meetodil, kuna on varustatud ühtlasi 3 m pikkuse juhtmega laadija vasakul küljel. Seda kasutatakse pigem aga erandjuhtudel juhul, kui plafoonil esineb lühiajaline tehniline probleem või mõni muu rike. Antud juhul ei toimi siis eelpool toodud suuremad laadimisvõimsused ja kiiremad laadimisajad, vaid seljuhul tuleb arvestada depoolaadija (*plug-in*) laadimisvõimsuse ja laadimisajaga. Konkreetselt Ekoenergetyka-Polska Sp. z o.o. poolt toodetav quickPoint™ linnalaadimisel installeeritakse bussipeatusesse seega lisaks laadimispunktile (nn roheline konteiner) ka plafoon.

OUR SOLUTION

quickPoint™ CITY CHARGERS
- Automatic Fast Charging System (AFCS) - PANTOGRAPH

Possible to install AUTOMATIC FAST CHARGING SYSTEM (AFCS) on the street and in BUS depot in this case powered by Schunk



Joonis 5. Plafooniga linnalaadimine. Vasakul on näidatud, kuidas tänavavalgustusposti konstruktsiooni külge on istalleeritud plafoonikonstruktsioon ning allpool maapinnal on quickPoint™ laadimiskonteiner, mis varustab vastava vooluga (Schunk meetodil) plafooni. Paremal toimub plafooniga linnalaadimine bussidepoos, kus plafoon on monteeritud spetsiaalse depoo katusekonstruktsiooni külge.

Plafooniga linnalaadimine on elektribusside taristus terviklahendustes üsna uus tehnoloogia busside laadimiseks, mis võimaldab laadida voolutugevusel kuni 1000 A. Ekoenergetyka-Polska Sp. z o.o. plafoonlaadimise seade sisaldab ühtlasi võimalikku avarii ennetamise teavitussüsteemi laadimise ajal. Laadimisüsteem on samuti ilmastikukindel. (joonis 5).

Plafooniga laadimise puhul tuleb seadmetega kaasa ka tarkvara, mis hõlmab reaalajas jälgimist ja annab ülevaate voolutugevuste, laadimisvõimsuste, elektripingete, laadimiste alguste ja lõppemiste kohta. Lisaks näitab tarkvara ära kui laadimine on lõpule viidud, laadimine on kasutaja (nt bussijuhi) poolt mingil põhjusel katkestatud või laadimine on jäänud pooleli mingi vea tõttu. Lisaks võimaldab see teha väljavõtteid laadimiste ajaloost.



Joonis 6. Ekraanitõmmis infost, mida on võimalik antud plafoon linnalaadimise programmist välja lugeda.

Plafooniga linnalaadimise abil on võimalik uue põlvkonna elektribussivõrk välja ehitada õhuelektriline kasutamata. Süsteem kasutab laserjuhitavat liikuvat õlga, mis ühendab laadimise ajaks peatuse katuses oleva laadija bussi elektrisüsteemiga. Suurem joonis plafooniga linnalaadimisest lisas (Vt. Lisa 2).

4.1.3 Induktsioonlaadimine

Juhtmevaba energiaseadme tööpõhimõtte skeem põhineb induktiivpoolide resonantsil. Lihtsutatult – esimese seadme induktiivpool on ühendamata pistikuga ja teise seadme induktiivpool on ühendatud tarbijaga. Pistikus oleva seadme induktiivpool tekitab elektromagnetvälja, tänu millele teise seadme induktiivpool läheb resonantsi ehk saavutab sama nn. võnkelaane. Teise seadme induktiivpoolis tekib elekter ja toidab elektritarbijat¹.

Induktsioonlaadimine võimaldab laadida maksimaalse laadimisvõimsusega kuni 200 kW. Selleks sõidab buss teepinnasele paigaldatud juhtplaadile. Käesolevas töös kasutatud üks

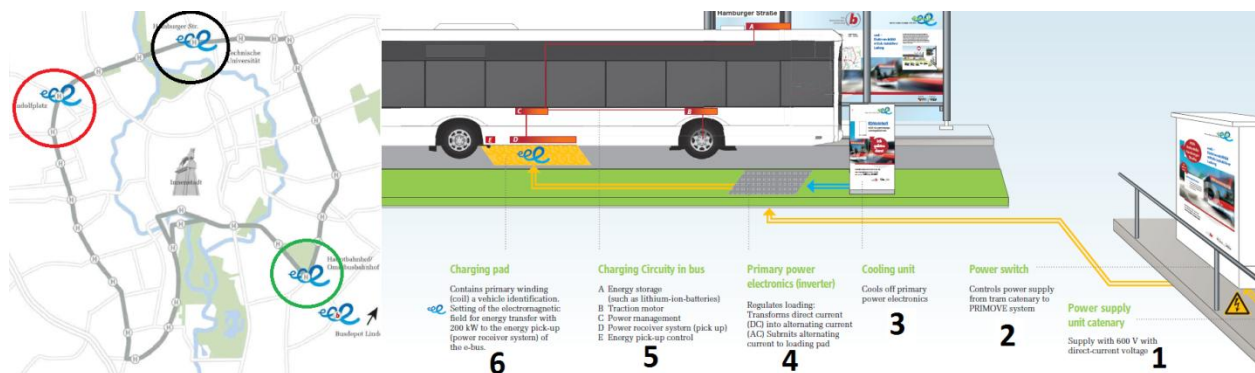
¹ Web: <http://www.skeemipesa.ee/juhtmevaba-energia-ulekanne-ja-induktsioonlaadimine/>

konkreetne elektribussi tootja kasutab selleks tootjafirma Bombardier PRIMOVE induktsioonlaadimise tehnoloogiat, millest busi-poolne induktsioonplaadi osa on installeeritud busi põhja alla (Vt. joonis 7, indeks (1)).



Joonis 7. Induktsioonlaadimine Bombardier PRIMOVE tehnoloogial.

Saksamaal Braunschweig'is² avati selle aasta märtsis Bombardier PRIMOVE esimene induktsioonlaadimise tehnoloogiaga varustatud 12 km pikkune bussiliin. Liinil on ühtekokku 25 bussipeatust ning päevas veab buss ligikaudu 6000 reisijat. Terve liini sõidab buss keskmiselt läbi 39.minutiga. Konkreetne bussiliin on varustatud kokku 3 induktsioonlaadijaga (joonis 8).



Joonis 8. Induktsioonlaadimine Bombardier PRIMOVE tehnoloogial ja konkreetne induktsioonlaadijatega varustatud bussiliin.

Lõpp-peatuses kestab laadimine 11 minutit (roheline ringi sees) ning ülejäänud kahes peatuses, mis on samuti varustatud induktsioonlaadijatega (musta ja punase ringi sees), kestab laadimine minimaalselt 30 sekundit. Bussijuhi juhtpaneel on ühtlasi varustatud kõige uuema puutetundliku ekraani ja induktsioonlaadimist hõlmava kontrollsüsteemiga (Vt. joonist 9).

² Web: <http://www.verkehr-bs.de/unternehmen/forschungsprojekt-emil/downloads.html>



Joonis 9. Bombardier PRIMOVE tehnoloogiaga varustatud laadimissüsteemi kontroll-ekraan bussijuhi juhtpaneelis integreerituna käesoleva töö elektribussitootja bussi.

Nimetatud süsteem koosneb siis pinnasele paigaldatud juhtplaadist ja ülalpoolsest laadimismähisest (bussi-poolne induksioonplaat) bussi põhja all. Süsteemi kasutamiseks peavad juhid parkima plaadi peale ja aktiveerima laadimisprotsessi. See on üldiselt lihtne, sest buss ja laadimisjaam suhtlevad üksteisega, et aidata juhil leida õige koht. Selleks aitab samuti kaasa eeltoodud joonisel väljatoodud laadimissüsteemi kontroll-ekraan.

4.2 Ülevaade elektribusside akudest

Käesolevas peatükis antakse ülevaade elektribusside akude ja nende eluea kohta ning konkreetse elektribussi tootja näitel nende mahutavuse ja utiliseerimise kohta. Alljärgnev kehtib käesoleva rakendusuuringu töös kasutatud konkreetse elektribussi tootja E12 bussi kohta.

Sõltuvalt aku tüübist saab elektribussi akud jagada järgmiselt:

- LFP aku (mõeldud pikamaajalisteks laadimisteks, reeglina suurem mahutavus);
- LTO aku (mõeldud kiirlaadimisteks, reeglina väiksem mahutavus).

LFP aku garantii on 3300 laadimistsüklit ja LTO aku garantii on 10 000 laadimistsüklit. Ühtlasi tuleb ära märkida, et sõiduulatus varieerub³:

- kuni 180 kilomeetrit ühe laadimiskorraga suuremahuliste 240 kWh LFP aku puhul
- kuni 75 - 80 kilomeetrit ühe laadimiskorraga väiksemate 125 kWh LTO akude puhul.

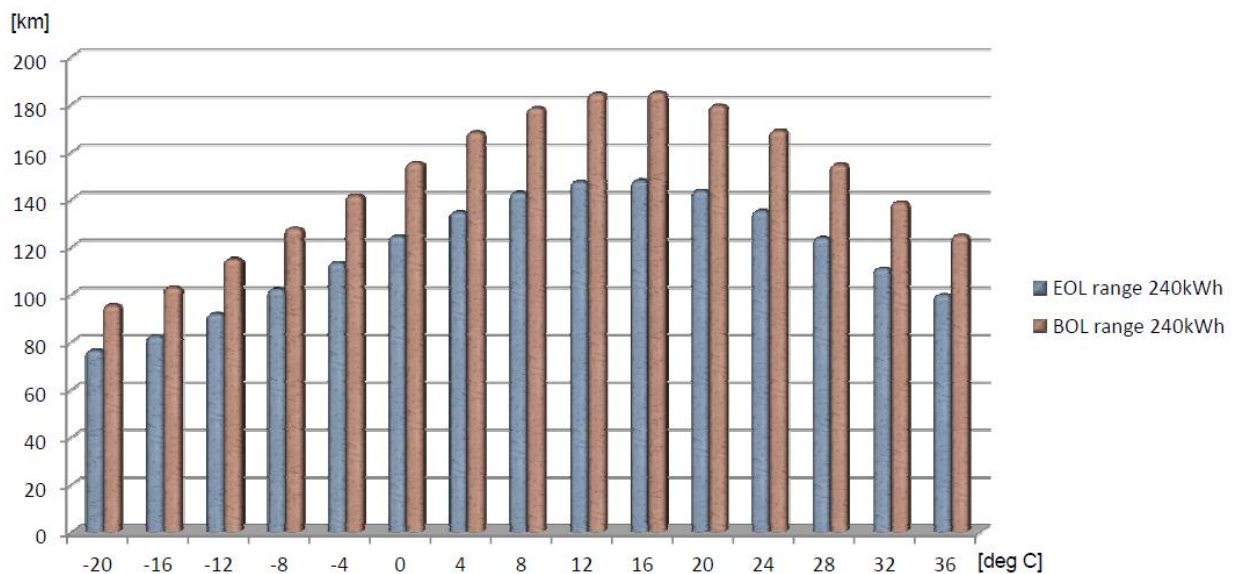
Järgnevatel joonistel (joonised 10-15) on välja toodud Liitium-titaan *Lithium-titanite* ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) ehk LTO akude ja Liitium-raud-fosfaat *Lithium-iron-phosphate* (LiFePO_4) ehk LFP akude omavaheline võrdlus:

- Läbisõidu ja välise õhutemperatuuri vahetõlge 240 kWh uue (BOL - *Beginning-of-Life*) ja kasutatud (EOL - *End-of-Life*) aku puhul (joonis 10);

³ Loomulikult sõltuvad täpsemad sõiduulatused reisijate hulgast ja suuresti ka kliimatilistest teguritest.

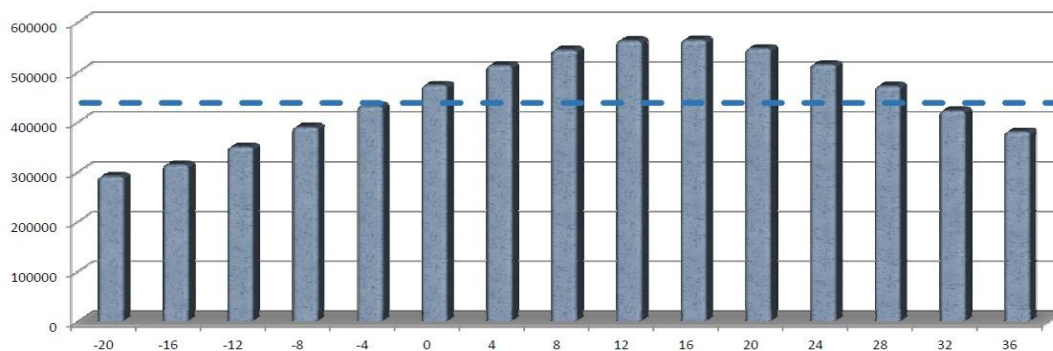
- 240 kWh LFP aku hinnanguline eluiga sõltuvalt kilometraažist ja temperatuurist (joonis 11);
- LTO ja LFP akude (80 - 240 kWh) hinnanguline eluiga kilomeetrites (joonis 12 ja 14);
- LTO ja LFP akude (80 - 240 kWh) hinnanguline eluiga aastates ja aastasest kilometraažist sõltuvalt (joonis 13 ja 15).

Tasub märkida, et vana aku hind on umbes 10% uue aku algsest hinnast. Aku, mis on määratud bussitootja poolt vahetusse läbi arvutisüsteemi omab endiselt 80% selle mahutavusest, aga see pole enam piisav elektribussi tõrgeteta sõitmiseks. Elektribussi prognoositav elutsükkel on minimaalselt 10 aastat (eeldades, et aku vahetatakse selle aja jooksu ära üks kord). Teoreetiliselt võib seda perioodi ka pikendada, aga see sõltub juba akude hinnast ja seda on tänasel hetkel keeruline prognoosida.



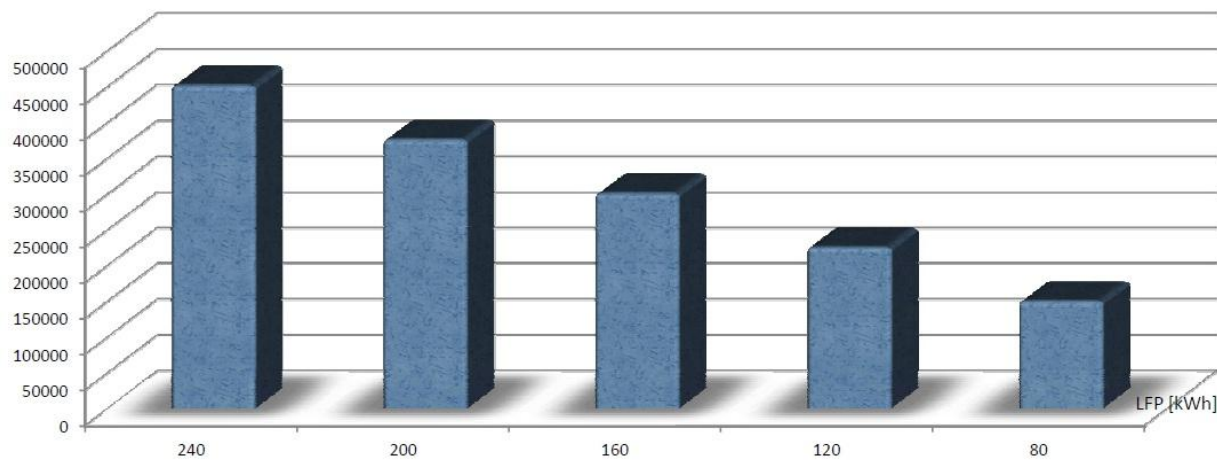
Joonis 10. Käesolevas töös kajastatud elektribussi tootja läbisõidu ja välise õhutemperatuuri vahetegur 240 kWh uue (BOL - Beginning-of-Life) ja kasutatud (EOL - End-of-Life) aku puhul.

240kWh LFP estimated lifetime in km



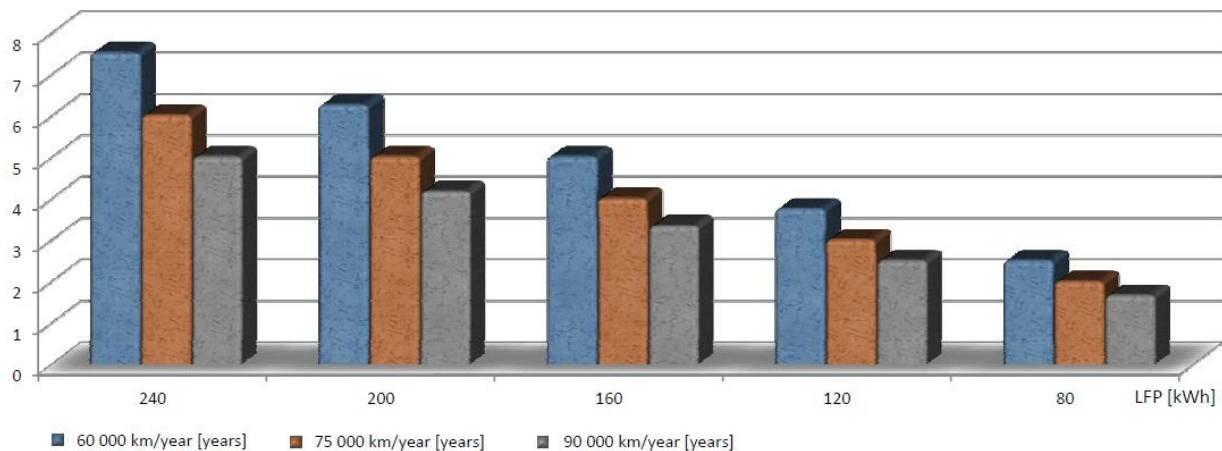
Joonis 11. Käesolevas töös kajastatud elektribussi tootja 240 kWh LFP aku hinnanguline eluiga sõltuvalt kilometraažist (vertikaaltelg) ja temperatuurist (horisontaaltelg).

Estimated lifetime in km for different LFP batteries



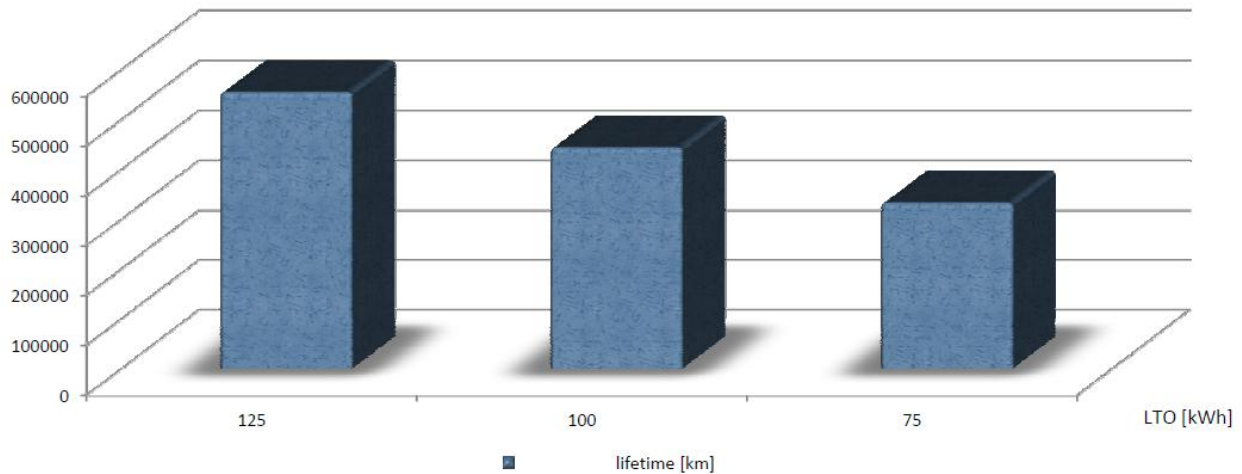
Joonis 12. Käesolevas töös kajastatud elektribussi tootja erinevate LFP akude (80 - 240 kWh) hinnanguline eluiga kilomeetrites (vertikaaltelg).

Estimated lifetime in years for different LFP batteries



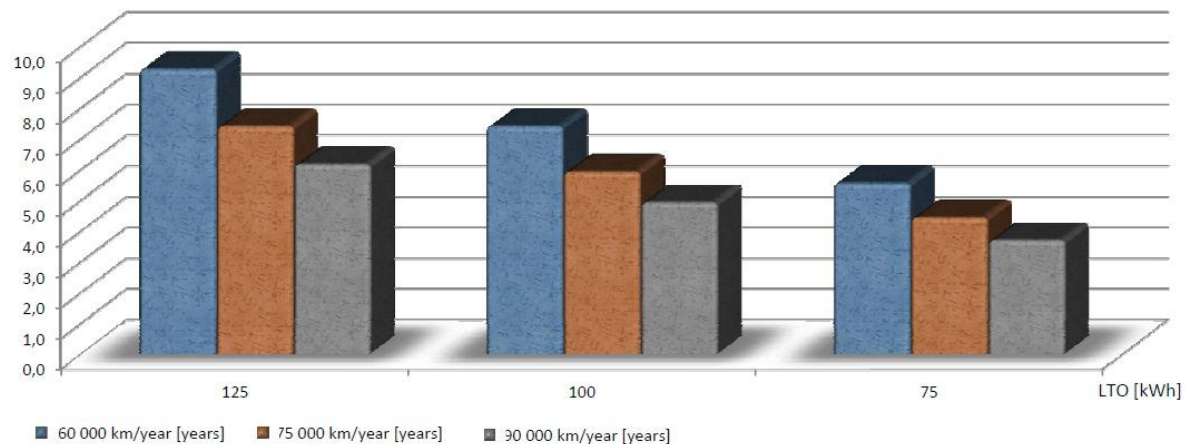
Joonis 13. Käesolevas töös kajastatud elektribussi tootja erinevate LFP akude (80 - 240 kWh) hinnanguline eluiga aastates (vertikaaltelg) ja aastasest kilometraažist sõltuvalt.

Estimated lifetime in km for different LTO batteries



Joonis 14. Käesolevas töös kajastatud elektribussi tootja erinevate LTO akude (80 - 240 kWh) hinnanguline eluiga kilomeetrites (vertikaaltelg).

Estimated lifetime in years for different LTO batteries



Joonis 15. Käesolevas töös kajastatud elektribussi tootja erinevate LTO akude (80 - 240 kWh) hinnanguline eluiga aastates (vertikaaltelg) ja aastases kilomeetraazist sõltuvalt.

Rääkides elektriautost, siis selle aku peab tavakasutuses vastu 8–10 aastat. Pärast seda on tal veel küllaga mahtuvust, mis ei pruugi aga olla enam piisav elektriauto jaoks. Mitmed eksperdid on nuputanud, et kui pärast kümme aastat autos kasutamist jääb aku mahtuvusest alles umbes 60–70%, on see endiselt väga hea energiaallikas. Seda pole enam võimalik kasutada auto liigutamiseks, aga niisugune aku kulub ära koduses majapidamises näiteks voolukatkestuste puhul. Teisisõnu elektriautode väsinud akusid saab kasutada päikese- ja tuuleenergia salvestamiseks.

Märksa suuremad võimalused on akut kasutada alternatiivselt toodetud energia salvestamiseks ja soodsama hinnaga kasutamiseks või energiatarbimise ühtlustamiseks. Ehk siis öösel, kui üldine nõudlus on väike ja hind seetõttu odavam, salvestatakse energia, mis kasutatakse ära

päeval, või võetakse toodetavale elektrile akust lisa. Lisaks eeldab elektrisõiduki aku kasutamine koduses majapidamises lisaseadme olemasolu, mis muundab elektrisõidukite akudes 400 V alalisvoolu kodumajapidamistes kasutatavate elektriseadmete jaoks 230 V vahelduvvooluks⁴.



Joonis 16. Nissan Leaf elektriauto akupaketi suurus on 24 kWh⁵.

Töö koostajad uurisid, kas elektribussi akupakki on sarnaselt elektriautode omale võimalik ära kasutada kodumajapidamises kasutatava elektrilikkana ja alternatiivselt toodetud energia salvestamiseks. KredEx'i Elektromobiilsuse programmi spetsialisti Heikki Parve⁶ sõnul neil info selle kohta puudub. Keil M.A. OÜ (MAN Eesti) juhataja⁷ sõnal nad täna veel elektribussidega ei tegele. Nende hübriidil pole ka akusid, vaid nad kasutavad *Ultracap'e*. Seetõttu pole neil olnud hetkel vajadust antud teemadega tegeleda. Teadaolevalt kuulutati Volvo TLT (Tallinna Linnatranspordi AS) hübriidbusside hankel võitjaks ning need on bussid, mis kasutavad ka akusid. Intervjuu⁸ käigus selgus, et Volvo hübriidbusside aku on ette nähtud ainult bussi energiavajaduse katmiseks ja mitte muuks otstarbeks. Detailsema vastuse antud küsimusele saime Soomest. Elektribusside vahendamisele ja konsultatsiooniuuringutele keskendunud Soome ettevõtte Linkker Ltd tegevjuhi⁹ sõnul on busside akud erinevad ja need ei salvesta aeglaselt muundatud taastuvenergiat (päike, tuul, jmt). Elektribusside kasutatud akusid saab kasutada sarnastel tingimustel, nagu neid kasutatakse bussides, st neid akusid tuleb kiiresti laadida ja kiiresti laetud energiat kulutada. Teine võimalus on, et akutehas renoveerib ise

⁴ web: <http://epl.delfi.ee/news/eesti/elektriauto-aku-voiks-tulevikus-kasutust-leida-koduses-majapidamises?id=66958230>

⁵ web: <http://www.cleanfleetreport.com/wp-content/uploads/2010/07/LEAF-battery.jpg>

⁶ intervjuu Heikki Parve (Elektromobiilsuse programmi spetsialist, KredEx), 16.04.2015

⁷ intervjuu Andres Mängel (Keil M.A. OÜ), 12.05.2015

⁸ intervjuu Tõnis Nõlve (Volvo Estonia OÜ), 13.05.2015

⁹ intervjuu, Tom Granvik, 16.04.2015, Tampere, Soome

akusid. Kolmas võimalus on kasutatud elektribussi akusid kasutada akude laadimisjaamades varuakupangana, mis aitavad kiiremini laadida.

Konkreetse elektribussi tootjafirma, millel põhineb käesolev töö tõi enda vastuses välja, et nad on teadlikud, et bussi akupakki on võimalik tõepoolest kasutada võrgutoite akudena ja katkematu toiteakudena ehk UPS akudena, kuid bussitootja arendab jõudsalt seda võimalust hetkel koos akutootjaga ning täpsemalt saab vastuseid sellele käesoleva aasta lõpuks.

Elektribusside akude utiliseerimise koha pealt uuriti võimalusi samadest allikatest v.a Soome elektribussi tootjalt. Küsisime, et kus ja millistel tingimustel on võimalik täna elektriauto (sh elektribussi) akusid utiliseerida. KredEx'il andmed selleks puuduvad. Keil M.A. OÜ juhataja suunas meid selles küsimuses Volvo Estonia OÜ poole. Volvo Estonia OÜ vastas, et kui Volvo hübriidbussil on vaja vahetada energiasalvestuse süsteemi akut, siis vana aku tagastatakse Volvo varuosasüsteemi kaudu tagasi akutootjale.

Käesolevas töös kajastatud elektribussi tootja akude utiliseerimise puhul tuleb need edastada elektribussi tootjale. Kuidas ja mil viisil see tänasel hetkel Tartu linna näite puhul välja peaks nägema (kuna Eestis puudub vastava elektribussi maaletooja/esindaja) on hetkel siiski veel lahtine. Küll aga on elektribussi tootjal olemas Tartu linnas teenindus, mis pakub teenuseid.

4.3 Teiste linnade elektribusside laadimisviiside kogemused

2014.a kevadest alates sõidavad Solarisbusi kaks Urbino 12 m elektribussi Düsseldorfis linnas. Bussid on varustatud 210 kWh akudega. Mõlema bussi jaoks on nende marsruutidele paigaldatud ühte peatusesse 200 kW suurune induktsioonlaadija. Vastavalt bussi sõidu- ja ajagraafikule kestab laadimine induktsioonlaadija kohal kõigest mõne minuti. Lisaks sellele on kaks 32 kW akulaadijat paigaldatud ka bussi lõpp-depoosse, kus need siis öösel laadivad bussi akud täis tulevaseks tööpäevaks.

Soome pealinna piirkonna liiklust korraldava HSL ostab 2015.a sügisel kodumaiselt tootjalt Linkkerilt 12 elektriakudel töötavat liinibussi. Soomes elektribusse valmistava Linkkeri firma arvutuste kohaselt tuleb akudega sõidukite kasutamine kümne aasta lõikes odavam diiselmootoriga bussidest isegi siis, kui arvestada lõpp-peatustesse rajatavate akude laadimise seadmete maksumusega. Reisijate jaoks on elektribussid samuti mugavamad, kuna nad sõidavad vaikselt ega eralda heitgaase, mis sageli mitmeid terviserikkeid tekitavad. HSL aga kavandab Helsingi piirkonda juba suuremat hulka elektribusse. Kui kõik läheb plaanide kohaselt on 2025. aastal juba kolmandik 400st seal liiklevast bussist elektribussid. Esimesed akudega ühissõidukid ilmuvad Espoose juba sel aastal (2015), Helsingis hakkavad nad sõitma peale aastavahetust. Kuna tegemist on keskkonda vähem saastavate bussidega, pannakse esimesed neist tööle just Helsingi kesklinna läbivatele liinidele¹⁰. Laadimistehnoloogia antud busside puhul on hetkel käesoleva töö koostajatele teadmata.

Poola bussitootja Solaris tarnis möödunud aasta lõpul koduturule kaks esimest elektri jõul liikuvat linnaliinibussi, bussid *Urbino 8,9 LE Electric* hakkasid reisijaid vedama Ostroleka linnas. Ligi üheksa meetrit pika madala põrandaga bussi jõuallikaks on 218-hobujõuline elektrimootor, akude mahutavus on 160 kilovatttundi. Akusid saab laadida tööstusvooluga, vajalikud laadimisseadmed on bussi katusel (plafoonlaadimine). Busside elektriseadmed tarnis teine Poola firma Medcom. Saksamaal on Solarise elektribusse kasutusel märgatavalt rohkem, need sõidavad ringi sellistes linnades nagu Klagenfurt, Braunschweig ja Düsseldorf, kuid lähiajal lisanduvad sellesse loetellu veel Hamburg, Berliin ja Dresden. Elektribusse soovib väidetavalt kasutada ka Rootsi linn Västerås.

2014.a detsembris alustasid Londonis katesõite kaks esimest elektribussi. Hiina autovalmistaja *BYD Auto Ltd* toodetud bussidel pole heitgaase ja tehase kinnitusel võiksid kasutuskulud diiselsussidega võrreldes olla kolmveerandi võrra väiksemad. Kui busse öösiti neli-viis tundi laadida, suudavad nad terve päeva töötada ja läbida kuni 250 kilomeetrit. Lähitulevikus võtab linnas ühistransporti korraldava TfL (Transport for London) kasutusele veel kuus elektribussi¹¹.

Üldiselt on küllaltki mahukas eraldi uurida lähiriikide kogemusi elektribusside vallas, kuna antud temaatika on siiski veel küllaltki uus. Küll aga võime välja tuua, et 2013.a novembris on ellu

¹⁰ web: <http://www.pealinn.ee/koik-uudised/helsingis-hakkavad-soitma-kodumaised-elektribussid-n140171>

¹¹ web: http://www.eestiloodus.ee/arhiiv/Eesti_Loodus03_2014.pdf

kutsutud projekt nimega ZeEUS - Zero Emission Urban Bus System¹², mille eesmärk on just eraldi uurida kuni aastani 2017 erinevates partnerlinnades elektribusside sobivust ja sisse viia järk-järgulist elektribusside integreerimist tavabusside kõrvale. Partnerlinnadeks on Stockholm, London, Münster, Bonn, Plzen, Barcelona ja Cagliari.

ZeEUS projekti käest päringut küsides saime teada järgneva ülevaate tabeli kujul sellest millistes linnades ja mis tüüpi keskkonnasõbralikud bussid on nüüdseks liinidele viidud või alles viimisel (Vt Tabel 3).

Tabel 3. Ülevaade keskkonnasõbralikest (sh elektri) bussidest Euroopas¹³.



Elektribuss Solaris Urbino 8,9 LE

- varustatud aeglase pistikuga (*plug-in*) depoolaadijaga
- aku mahutavus 121 kWh
- sõidab aastast 2013 Klagenfurt'i linnas, Austrias



Elektribussid (2 tk) Solaris Urbino E12

¹² web: www.zeeus.eu

¹³ <http://zeeus.eu/> andmetel. Tehtud päringud ülevaate saamiseks projekti juhtpartnerile (20.06.2015)

- varustatud aeglase pistikuga (*plug-in*) depoolaadijaga. Hetkel valmistatakse ette plafoonlaadijate installeerimist mõlemale bussile
- aku mahutavus 210 kWh
- sõidavad aastast 2014 Düsseldorfis linnas, Saksamaal



Hübridbuss Solaris Urbino Hybrid 12 E

- varustatud aeglase pistikuga (*plug-in*) depoolaadijaga
- (eel)soojendus töötab biogaasil
- aku mahutavus 160 kWh
- sõidab aastast 2014 Västeråsi linnas, Rootsis



Škoda Electric 12 m elektribussid (2 tk)

- varustatud plafoonlaadijaga
- aku mahutavus 80 kWh
- kasutuses aastast 2015 Plzeňi linnas, Tšehhis



Solaris E18 liigendbussid (2 tk)

- varustatud aeglase pistikuga (*plug-in*) depoolaadijaga
- aku mahutavus 120 kWh
- kasutuses 2014.aasta lõpust Hamburgi linnas, Saksamaal



Veel mõningad linnad (2015.a juuli kuu seisuga), kus sõidavad elektribussid:

Barcelona: 2 Irizari elektribussi

Bonn: 4 Solarise elektribussi

Glasgow: 4 Alexander Dennise aeglase pistikuga (*plug-in*) depoolaadijaga hübriidbussi
London: 4 Alexander Dennise kahekorruselist aeglase pistikuga (*plug-in*) depoolaadijaga hübriidbussi
Münster: 5 VDL elektribussi
Plzen: 2 Skoda elektribussi
Stockholm: 8 Volvo aeglase pistikuga (*plug-in*) depoolaadijaga hübriidbussi

4.4 Erinevate laadimissüsteemiga elektribusside tasuvus

4.4.1 Elektribusside laadimissüsteemid

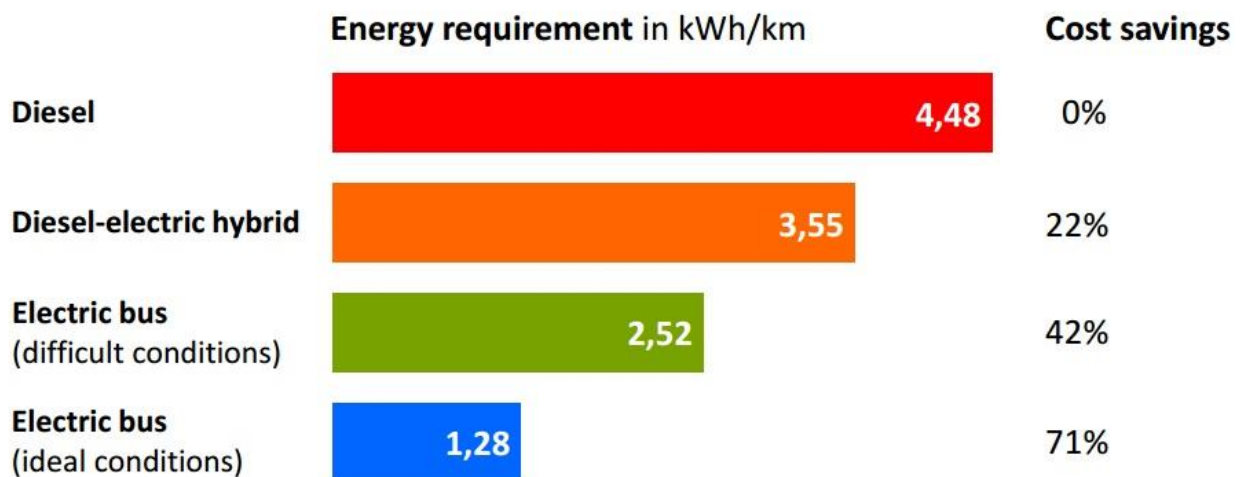
Esiteks tasub märkida, et kõik hinnad (bussid, kütus jne) sisaldavad tasuvusarvutustes ühtlasi käibemaksu.

Konkreetsed elektribussi tehnilised näitajad, millel põhineb käesolev rakendusuuring, on järgmised:

kogupikkus	12 000 mm
Kogulaius	2 550 mm
Kõrgus	3 250 mm
Mootor	<i>TSA asynchronous electric motor produced by Vossloh Kiepe (võimsusega 160 kW)</i>
Istekohti	23 – 34
Võimalikud kohandatavad laadimislahendused	<ul style="list-style-type: none"> • plafoon-laadimine (<i>pantograph</i>) • Pistikuga laadimine (<i>plug-in</i>) • Induktsioonlaadimine
akupaketi mahutavus	60 – 240 kWh. Tartu linna puhul on elektribussitootja välja pakkunud järgmiste akupakettidega bussid: <ul style="list-style-type: none"> • plug-in depoolaadimine: 240 kWh LFP akuga buss • plafooniga variant 1: 160 kWh LFP akuga buss • plafooniga variant 2: 75 kWh LTO akuga buss • induktsioonlaadimine: 90 kWh LTO akuga buss
Aku tüüp	Lithium-titanite e. LTO / Lithium-iron-phosphate e. LFP

Lisaks edastas bussitootja andmed (joonis 18), kus kujutatud üldised energiavajadused (kWh/km kohta) diiselbussi, diiselhübriidi ja elektribussi võrdluses. Elektribussi puhul on välja toodud energiavajadused nii ideaal- ja rasketes tingimustes. Tuginedes elektribussi tootja poolt väljatöötatud maatriksi ühele *case-study* e. juhtumiuuringu näitele ühe bussiliini eripära ja selle omadusi arvestades (sarnast kliimat, kilometraaži ja kokkuleppelist nullpunktide kõrgusmeetrite kogumit üle merepinna) võib öelda, et konkreetne elektribuss tarbiks Tartu linnas keskmiselt **1,64 kWh/km** kohta.

Electric buses are energy-efficient



Joonis 17. Diiselbussi, diiselhübriidi ja elektribussi energiavajadused kWh/km kohta.

Arvutustes on aluses võetud bussiliin nr 5 Tartu linnas (Nõlvaku - Kivilinna - Kannikese - Kivilinna - Nõlvaku). Võrreldud on kolme erinevate laadimistehnoloogiat:

- Pistikuga (*plug-in*) aeglane depoolaadimine;
- Plafooniga linnalaadimine (pantograph tehnoloogia);
- Induktsioonlaadimine.

Tuleb veelkord rõhutada, et käesoleva elektribussi tootja poolt bussides pakutavad akupaketid on nendega *Lithium-titanite* (Li4Ti5O12) ehk **LTO** aku (garantii 10,000 tsüklit) ja *Lithium-iron-phosphate* (LiFePO4) ehk **LFP** aku, mille garantii on omakorda 3,300 tsüklit.

Busside hinnad erinevate laadimissüsteemide puhul:

- E12 bussi (pistikuga aeglase depoolaadimise süsteemiga ja 240 kWh **LFP** akupaketiga) hind jääb vahemikku 450 000 - 550 000 €.
- E12 bussi (plafooniga linnalaadimise ja 160 kWh **LFP** akupaketiga) hind jääb vahemikku 440 000 - 540 000 €.
- E12 bussi (plafooniga linnalaadimise ja 75 kWh **LTO** akupaketiga) hind jääb vahemikku 450 000 - 550 000 €.

- E12 bussi (induktsioonlinnaaadimise ja 90 kWh **LTO** akupaketiga) hind jääb vahemikku 700 000 - 830 000 €.

Hinnavaheemikud sõltuvad enamasti bussides kasutatavas lisavarustusest. Kuna pole teada, kas ja millise lisavarustuse komplekteeritusega hakkavad elektribussid Tartu linna tänavatel sõitma, siis antud töös on kajastatud elektribussi investeringul hinnavaheemiku keskmist väärtust (nt 450 000 € - 550 000 € puhul on arvestatud seega 500 000 € suuruse investeringuga).

Laadimissüsteemide hinnad on järgmised:

1. pistikuga laadijad:

- Pistikuga (*plug-in*) aeglane depoolaadija laadimisvõimsusega 40 kW ligikaudne maksumus on 18 000 €
- Pistikuga (*plug-in*) aeglane depoolaadija laadimisvõimsusega 100 kW ligikaudne maksumus on 55 000 €

2. plafooniga laadijad:

- Plafooniga linnalaadimine laadimisvõimsusega 100 kW (ainult laadija) ligikaudne maksumus on 55 000 €
- Plafooniga linnalaadimine laadimisvõimsusega 200 kW (ainult laadija) ligikaudne maksumus on 90 000 €
- Plafooniga linnalaadimine laadimisvõimsusega 400 kW (ainult laadija) ligikaudne maksumus on 135 000 €

Plafooniposti konstruktsiooni (sõltub mõõtudest) ligikaudne maksumus on 25 000 - 40 000 €.

3. induktsioonlaadijad:

- Induktsioonlaadimine (mudel: PRIMOVE Charging 200 Wayside), mis on varustatud 2 laadimispunktiga laadimisvõimsusel 200 kW ja 80 kW aeglase depoolaadijaga maksab ligikaudselt 165 000 €. (antud juhul võtab 90 kWh LPO aku laadimine aega 0-100%-ni 27 minutit).
- Induktsioonlaadimine (mudel: PRIMOVE Charging 400 Wayside), mis on varustatud 2 laadimispunktiga laadimisvõimsusel 400 kW ja 80 kW aeglase depoolaadijaga maksab ligikaudselt 220 000 €. (antud juhul võtab 90 kWh LPO aku laadimine aega 0-100%-ni 13,5 minutit).
- Induktsioonlaadimine (mudel: PRIMOVE Charging 450 Wayside), mis on varustatud 2 laadimispunktiga laadimisvõimsusel 450 kW ja 80 kW aeglase depoolaadijaga maksab ligikaudselt 255 000 €. (antud juhul võtab 90 kWh LPO aku laadimine aega 0-100%-ni 12 minutit).

Tegevus- ja käidukulud E12 elektribussi kohta aastas on järgmised:

Kahe akude mahutavusega (160 ja 200 kWh) ja kolme laadimissüsteemiga (pistik, plafoon ja induksioon) elektribusside käidu- ja hoolduskulud on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Elektribusside käidu- ja hoolduskulude võrdlus 2 aku ja 3 laadimissüsteemi puhul.

Bussi tüüp	Aku (kWh)	Tegevus- ja käidukulud ja materjalikulu mis ei kuulu garantii alla (€)	Igakuine osamakse (€)	Hoolduse hind km kohta (€/km)	LLC (olelustersükli) hooldus ja garantii ühine hind (€)
E12 ilma laadijata	160	16 219,44 €	450,54 €	0,07 €	26 096,44 €
E12 koos aeglase depoolaadijaga	160	17 638,44 €	489,96 €	0,07 €	27 515,44 €
E12 koos plafoonlaadijaga	160	18 913,44 €	525,37 €	0,08 €	28 790,44 €
E12 koos induksioonlaadijaga	160	23 877,64 €	663,27 €	0,10 €	33 754,64 €
E12 ilma laadijata	200	16 219,44 €	450,54 €	0,07 €	27 220,44 €
E12 koos aeglase depoolaadijaga	200	17 638,44 €	489,96 €	0,07 €	28 639,44 €
E12 koos plafoonlaadijaga	200	18 913,44 €	525,37 €	0,08 €	29 914,44 €
E12 koos induksioonlaadijaga	200	23 877,64 €	663,27 €	0,10 €	34 878,64 €

Laadimissüsteemide hinnangulised tegevus- ja käidukulud E12 elektribussi kohta aastas on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Elektribusside käidu- ja hoolduskulude võrdlus 3 laadimissüsteemi puhul.

Laadija	Tegevus- ja käidukulud ja materjalikulu mis ei kuulu garantii alla (€)	Igakuine osamakse (€)	Hoolduse hind km kohta (€/km)	LLC (olelustersükli) hooldus ja garantii ühine hind (€)
Pistikuga (<i>plug-in</i>) aeglane depoolaadija	1 419 €	39,42 €	0,01 €	1 419 €
Plafooniga linnalaadija	2 694 €	74,83 €	0,01 €	2 694 €
Induktsioonlaadija	7 658,2 €	212,73 €	0,03 €	7 658,2 €

Tabelis 6 on toodud võrreldud busside tehniline info ja soetuskulu. Muud makromajanduslikud näitajad on võetud kõigil bussidel võrdseks.

Tabel 6. Võrreldud busside soetuskulu, käidu ja hoolduskulud.

TEHNILINE INFO				elektribuss	elektribuss	elektribuss	elektribuss
	Ühik	diiselbuss	gaasibuss	plug in	plafoon 160	plafoon 75	induktsioon
1 Busside arv	tk	1	1	1	1	1	1
2 keskmiselt liinikilomeetreid bussi kohta	km/p	250	250	250	250	250	250
3 Käigus oleku päevad	p	329	329	329	329	329	329
4 keskmiselt liinikilomeetreid bussi kohta	km/a	80000	80000	80000	80000	80000	80000
5 Keskmine remondi hind (bussile)	€/km	0,216	0,209	0,2	0,264	0,285	0,35
6 Keskmine hoolduse hind (bussile)	€/km	0,0270	0,044	0,07	0,08	0,08	0,1
7 Keskmine hoolduse hind (laadimissüsteemile)	€/km			0,01	0,01	0,01	0,03
8 Hind	€	259200	290100	600000	588000	600000	918000

4.4.2 Elektribusside tasuvus võrreldes diisel ja metaangaasibussidega

Elektribusside tasuvuse võrdlus 3 laadimissüsteemi puhul diiselbussi ja metaangaasibussiga on toodud tabelis 7 ja tabeli aluseks olev excel fail on toodud lisa 5.

Kolme erineva elektribusside laadimisüsteemide tasuvuse omavaheline võrdlus ja võrdluses metaangaasiga ja diiselkütusega saame teha järgmised järeldused:

1. Antud eeldustel elektribussid veel diiselkütusega või metaangaasibussiga konkureerida ei suuda.
2. Elektribusside mittetasuvuse põhjuseks võib pidada kõrget alginvesteeringut, mis ületab nii diisel- kui metaangaasi bussi alginvesteeringu mitmekordselt. Samuti on elektribussidel kõrgemad remondi- ja hoolduskulud. Madalamad kulud kütusele ei suuda seda korvata.
3. Selle põhjuseks võib pidada asjaolu, et elektribusside tehnoloogia on väljatöötamise ja testimise faasis, eriti puudutab see induktsioonlaadimisega busse, mida seeriatootmises veel ei ole.
4. Kolme võrreldud bussi kütuse vahel osutus kõige tasuvamaks metaangaasibuss (diiselkütuse aasta keskmise hinna juures 1,3 €/l tanklas, st kõikide maksudega).
5. Järgmine oli tasuvuselt diiselkütusega sõitev buss.
6. Elektribusside omavahelise võrdluse juures osutus soodsamaks elektribuss aeglase üleöö laadimisega süsteem (240_plug_in_LFP).
7. Järgmine laadimissüsteemide võrdluses oli plafooniga laadimissüsteemid, võimsama akuga . elektribuss_160_plafoon_LFP oli tasuvam väiksema mahutavusega plafoonlaadimisüsteemist (75 kWh)
8. Antud tingimustel oli kõige väiksema tasuvusega induktsioonvooluga laadimise süsteem (elektribuss_90_induktsioon_LTO).
9. Tuleb silmas pidada, et paljud sisendandmed on bussitootjate poolt antud indikatiivsed numbrid, mistõttu need võivad reaalajas kiiresti muutuda.
10. Tartu linnas võiks järgmisel liiniveohankel testida vähemalt seinast laadimise (plug-in) elektribusse ja tehnoloogiapakkujatele teha ettepanek teiste laadimissüsteemide testimiseks Tartu linnas hankeväliselt.
11. Esialgne tundlikkusanalüüs näitab, et fossiilne vedelkütus peaks kordades kallinema ja elektribusside soetushind peaks kordades vähenema, et elektribussid muutuksid käidu- ja soetuskulude aluselt tasuvamaks diiselkütuse ja metaangaasibussidest.

Tabel 7. Elektribusside laadimissüsteemis tasuvuse võrdlus diisel- ja metaangaasibussidga.

Bussi tüüp	alginvesteeringu-kulude suurenemine(+)/vähenemine(-)	Investeeringu-kulude NPV suurenemine(+)/vähenemine(-)	tegevuskulude kokkuhoid (+) või suurenemine (-) €/km	Projekti NPV	Projekti IRR	Projekti tasuvusaeg	uv/mittetasuv
gaasibuss vs diiselbuss	12%	12%	0,14	60 776,67 €	10%	1	tasuv
gaasibuss vs (plug-in), 240	-52%	-53%	-0,12	380 751,85 €	177%	0	tasuv
gaasibuss vs e-buss (plafooniga), 160	-51%	-58%	-0,04	474 169,17 €	221%	0	tasuv
gaasibuss vs e-buss (plafooniga), 75	-52%	-61%	-0,02	545 943,95 €	259%	0	tasuv
gaasibuss vs e-buss (induktsioon), 90	-68%	-74%	0,08	#####	532%	0	tasuv
diiselbuss vs gaasibuss	-11%	-11%	-0,14	-60 776,67 €	#DIV/0!	11	mittetasuv
diiselbuss vs e-buss (plug-in), 240	-57%	-58%	-0,26	319 975,18 €	200%	0	tasuv
diiselbuss vs e-buss (plafooniga), 160	-56%	-62%	-0,19	413 392,50 €	250%	0	tasuv
diiselbuss vs e-buss (plafooniga), 75	-57%	-65%	-0,17	485 167,28 €	293%	0	tasuv
diiselbuss vs e-buss (induktsioon), 90	-72%	-77%	-0,06	#####	601%	0	tasuv
e-buss (plug-in), 240 vs gaasibuss	107%	114%	0,12	-380 751,85 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plug-in), 240 vs diisel	131%	140%	0,26	-319 975,18 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plug-in), 240 vs e-buss (plafooniga), 75	0%	-16%	0,10	165 192,10 €	18%	0	tasuv
e-buss (plug-in), 240 vs e-buss (plafooniga), 160	2%	-9%	0,07	93 417,32 €	3%	0	tasuv
e-buss (plug-in), 240 vs e-buss (induktsioon), 90	-35%	-44%	0,20	740 081,42 €	133%	0	tasuv
e-buss(plafooniga), 75 vs gaasibuss	107%	156%	0,02	-545 943,95 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plafooniga), 75 vs diisel	131%	187%	0,17	-485 167,28 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plafooniga), 75 vs e-buss (plug-in), 240	0%	20%	-0,10	-165 192,10 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plafooniga), 75 vs e-buss (plafooniga), 160	2%	9%	-0,02	-71 774,78 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plafooniga), 75 vs e-buss (induktsioon), 90	-35%	-33%	0,11	574 889,32 €	79%	0	tasuv
e-buss (plafooniga), 160 vs gaasibuss	103%	136%	0,04	-474 169,17 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plafooniga), 160 vs diiselbuss	127%	164%	0,19	-413 392,50 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plafooniga), 160 vs e-buss (plug-in), 240	-2%	10%	-0,07	-93 417,32 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (plafooniga), 160 vs e-buss (plafooniga), 75	-2%	-8%	0,02	71 774,78 €	-6%	0	tasuv
e-buss (plafooniga), 160 vs e-buss(induktsioon), 90	-36%	-39%	0,13	451 210,39 €	77%	0	tasuv
e-buss (induktsioon), 90 vs gaasibuss	216%	285%	-0,08	#####	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (induktsioon), 90 vs diiselbuss	254%	331%	0,06	#####	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (induktsioon), 90 vs e-buss (plafooniga), 160	56%	63%	-0,13	-646 664,10 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (induktsioon), 90 vs e-buss (plug-in), 240	53%	80%	-0,20	-740 081,42 €	#DIV/0!	12	mittetasuv
e-buss (induktsioon), 90 vs e-buss (plafooniga), 75	53%	50%	-0,11	-574 889,32 €	#DIV/0!	12	mittetasuv

4.5 Elektribusside kasutuselevõtu stsenaariumid Tartu linna näitel

Käesoleva töö raames võeti aluseks Tartu linnas bussiliin nr 5, kus elektribussi võiks liinile tuua. Liini kogupikkuseks on 21,85 km (Nõlvaku - Kivilinna - Kannikese - Kivilinna - Nõlvaku) ning tuginedes www.peatus.ee andmetele, siis läbib buss konkreetset liini ööpäevas 14.korral.

Tartu linnas liini nr 5 valikul oli selge põhjus. Kuna antud bussiliini pikkus on küllaltki ligilähedane käesoleva rakendusuuringu elektribussi tootja poolt väljatöötatud maatriksi ühele *case-study* e. juhtumiuuringu näitele. Tartu linna puhul on bussiliini nr 5 kilometraaž antud töö koostajate poolt mõõdetud 21,85 km, bussitootja ühes näidisuuringus oli bussiliin kogupikkusega 21,705 km ja seal kasutati sama tüüpi elektribusse nagu käesolevas Tartu töös on arvesse võetud. Ühesõnaga on tegemist üsna ligilähedase kogupikkusega ühel liinil. Lisaks toimusid *case-study* elektribussi testimised ja vaatlemised Kesk-Poolas, kus on küllaltki võrdväärseid kliimatilised tingimused Tartu linnaga.

Konkreetne elektribussi tootja soovis parema ja detailsema pakkumise tegemiseks ühtlasi Tartu linna bussiliini nr 5 bussipeatuste kõrgusi merepinnast, kuid antud töö koostajatele polnud need andmed kättesaadavad. Teada on vaid, et Tartu kokkuleppeline nullpunkt on 29,61 meetrit üle merepinna.

Lõppkokkuvõttes jäid töö koostajad selle juurde, et edasise uuringu aluseks võetakse võetakse vaid sarnase pikkusega bussiliin ning ligilähedane bussiliini läbivate tsüklite arv päevas, mida pakkus oma näidis juhtumiuuringutes ka elektribussi tootja. Kui Tartu linna puhul oli liini kogupikkus 21,85 km ja 14 tsüklit päevas, siis elektribussi tootja ühe anonüümse linna *case-study* puhul oli selleks 21,705 km ja 18 tsüklit päevas.

Bus passage	Stops	Time [hh:mm]	Distance between stops [m]	Optional data		
				Land inclination (above sea level [m])	Power of possible charging [kW]	Passengers load [%]
0	Bus depot	04:40	0	32,97	32kW	0%
1	MAIN RAILWAY STATION	04:45	7 000	32,58	200kW	20%
1	Batyk St.	04:47	870	32,36		20%
1	Szpitalna St.	04:53	2220	32,68		20%
1	AIRPORT LÄWICA	05:00	3 620	32,48		20%
1	AIRPORT LÄWICA	05:15	0	32,81		20%
1	Szpitalna St.	05:24	3100	32,47		20%
1	Batyk St.	05:29	2100	32,4		20%
1	MAIN RAILWAY STATION	05:31	2 795	32,9	200kW	20%
2	MAIN RAILWAY STATION	05:45	0	32,11	200kW	30%

Joonis 18. Punases kastis on välja toodud bussipeatuste kõrgused merepinnast ühe anonüümse linna näitel elektribussi tootja näidises.

See võib olla aga üsnagi ligilähedane Tartu linna bussiliini nr 5 bussipeatustele, sest Tartus on kokkuleppeline nullpunkt on 29,61 meetrit üle merepinna¹⁴.

¹⁴ web: http://www.eall.ee/Tartu_postimees/kogu_kuj.pdf

Lisaks tasub ära mainida, et kuigi käesoleva töö koostajad esitasid mitmele elektribussi tootjale infopäringuid käesoleva töö alusandmete saamiseks ja omavahelise võrdlusbaasi tekitamiseks, vastas töö koostajate päringutele sisuliselt vaid üks elektribussi tootjafirma. Ühtlasi väitis konkreetne firma, et kogu infopäringus sisaldavatele küsimustele vastuste saamiseks peaks sõlmima küllaltki range eellepingu konkreetse Töö tellija ja elektribussi konfidentsiaalsete andmete valdaja (elektribussi tootja) vahel, sest elektribussi temaatika on tänases kontekstis väga tundlik valdkond, mille väga spetsiifilisi alusandmeid ei taheta väga avalikult jagada. Lisaks tõi elektribussi tootja välja asjaolu, et väga parim-võimaliku ja väga konkreetsete andmete edastamiseks oleks vaja bussi pakkujal inspekteerida ühistranspordi olukorda kohapeal Tartu linnas, misjärel teeks elektribussi pakkuja ise stsenaariumi, millisel liinil võiks elektribussi(d) ja millise laadimistaristuga käiku lasta. Elektribussi tootja pakkus isegi välja koostumise Tartu linna transpordivaldkonna juhtide ja bussitootja vastavate ekspertide vahel. Ühtlasi rõhutati, et töö koostajad hoiaksid kursis elektribussi pakkujat edasiste Tartu linna arengutega ühistranspordi vallas.

Järgmiseks kirjeldame erinevaid busse erinevate laadimisüsteemidega Tartu linna bussiliini nr 5 Tartu linnas (Nõlvaku - Kivilinna - Kannikese - Kivilinna - Nõlvaku) näitel. Võrreldud on siis kolme erinevat laadimistehnoloogiat:

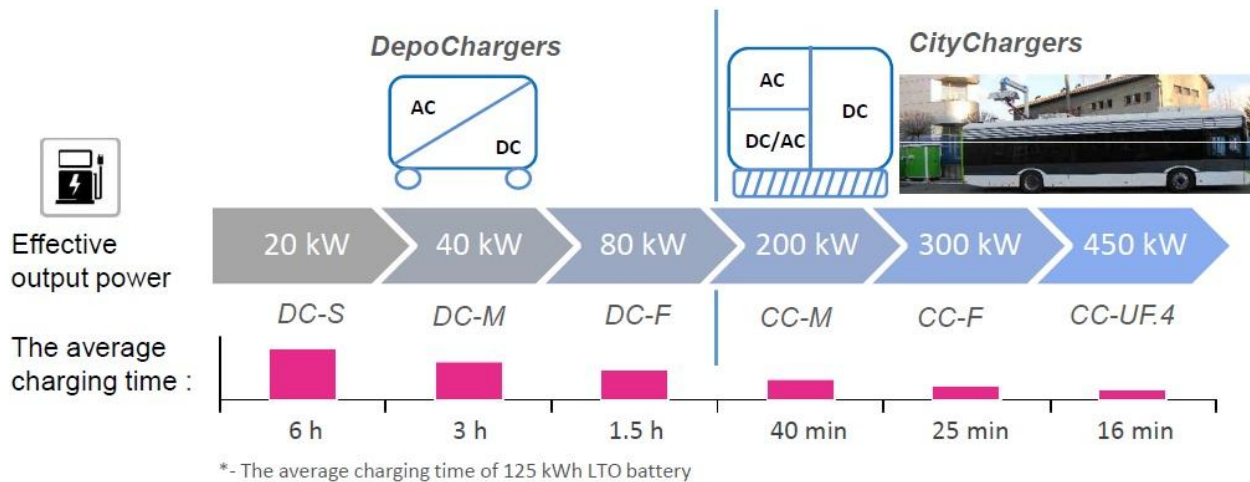
- Pistikuga (*plug-in*) aeglane depoolaadimine;
- Plafooniga linnalaadimine (pantograph tehnoloogia);
- Induktsioonlaadimine.

4.5.1 Pistikuga (*plug-in*) aeglane depoolaadimine

Pistikuga depoolaadimise süsteemiga vastustatud elektribussi käikuvõtmise korral pakkus elektribussi tootja Tartu linna bussiliinile nr 5 välja järgmise lahenduse:

- Elektribuss, mis on varustatud 240 kWh LFP akuga.

Laadimisvõimsusel 20 kW (voolutugevusel 32 A) võtab 240 kWh aku laadimine keskmiselt 0-100%-ni aega 12 h. Laadimisvõimsusel 40 kW (voolutugevusel 63 A) võtab 240 kWh aku laadimine keskmiselt 0-100%-ni aega 6 h. Laadimisvõimsusel 80 kW (voolutugevusel 125 A) võtab 240 kWh aku laadimine keskmiselt 0-100%-ni aega 1,5 h.



Joonis 19. Laadimisajad 125 kWh akupaketi ja erinevate laadimisvõimsuste korral. Voolutugevused on vasakult lugedes järgmised (20 kW korral 32 A, 40 kW korral 63 A, 80 kW korral 125 A, 200 kW korral 277 A). Laadimisajad (6h →16 min) tähendavad 0-100%ni laadimist.

Tartu tingimustes võtab elektribuss keskmiselt 1,64 kWh/km kohta. Seega piltlikult öeldes võiks, et antud aeglase *plug-in* depoolaadimisega sõidab buss päevas 146 km. Töö tellija on näinud aga ette, et buss peaks päevas sõitma 250 km.

4.5.2 Plafooniga linnalaadimine

Plafooniga linnalaadimise süsteemiga vastustatud elektribussi käikuvõtmise korral pakkus elektribussi tootja Tartu linna bussiliinile nr 5 välja järgmised lahendused:

- Elektribuss, mis on varustatud 160 kWh LFP akuga;
- Elektribuss, mis on varustatud 75 kWh LTO akuga.

Laadimisvõimsusel 200 kW

4.5.3 Soovitused Tartu linna liiniveo hanke tingimuste jaoks

Elektribussidel võiks olla selge koht tulevikus linnades ja selle lähiümbruses ühistranspordi teenuse pakkujatena. Elektribussidega kaasnevad hüved nagu olematu müra, puuduvad õhuheitmed omavad üha suuremat tähtsust inimese tervise ja keskkonnahoiu seisukohalt. Samuti on Eestis võimalik toota kogu taastuvelekter kohalikest taastuvatest allikatest nagu päikese, tuule, bio- ja hüdroenergia (arvestades tuuleenergia tasakaalustamiseks rajatava pump-elektrijaama perspektiivi). Kohalike taastuvenergia allikate kasutamine transpordis vabastaks ka ühiskonna täna 100% imporditava fossiilse vedelkütuse sõltuvusest.

Samas on elektribusside kasutamine teistes linnades algusjärgus, elektribusside seeriatootmist alles alustatakse, mis muudavad elektribussid hetkel kordades kallimaks diiselkütusega ja metaangaasiga sõitvatest bussidest. Kallim on ka elektribusside hooldus ja remont. Sestap julgevad rakendusuuringu autorid soovitada testida mõnel liinil aeglase depoolaadimisega (*plug-*

in) bussi (näiteks liinil nr 5), selle laadimistaristu on suhteliselt autonoomne ja ei eelda laadimiselementide rajamist bussipeatustesse. Teised laadimissüsteemid (plafoon, induksioon) eeldavad ka laadimistaristu välja ehitamist, sh bussipeatustesse, mis tuleks lahendada terviklikult, mis on suhteliselt kallis. Üksikute plafoon ja induksioonlaadimisega busside testimine on võimalik ainult juhul, kui mõni elektribussi tootja soovib oma süsteemi oma kulu ja kirjadega testida ja linnavalitsusele ei teki sellest enam kulusid, kui tavabussidele toetust makstes.

5. Kokkuvõte

Rakendusuuringu „Elektribusside tundlikkusanalüüs“ (edaspidi rakendusuuring) anti kõige uuem ja asjakohasem info erinevate elektribusside tehnoloogiate, laadimistaristu, akude mahutavuse ja utiliseerimise kohta ning koostati tasuvus- ja tundlikkusanalüüs võrreldes diisel- ja metaangaasibussiga, eeldusel, et muud tingimused (päevane läbisõit, jmt, laenu tingimused, makromajanduslikud näitajad, jmt) on samad. Rakendusuuringus selgitati välja elektribusside „laadimine-plafooniga-peatuses“ tasuvus võrreldes pistikuga kiirlaadimisega ja aeglase üle-öö laadimisega. Rakendusuuringus toodi välja teiste linnade samalaadsete laadimisviiside kogemused, kordaminekud ja puudujäägid. Tartu linna jaoks pakuti välja sobilik testversioon ning anti soovitusel järgmise liiniveohanke tingimuste jaoks.

Rakendusuuringus jõuti järeldustele, et antud eeldustel (kõrgem elektribusside soetus-, remondi- ja hoolduskulu, väiksem kulu kütusele) elektribussid veel diiselkütusega või metaangaasibussiga konkureerida ei suuda. Elektribusside tehnoloogia on veel väljatöötamise ja testimise faasis, eriti puudutab see induksioonlaadimisega busse, teistes linnades on kasutusel depoolaadimisega (plug-in) ja plafoonlaadimisega elektribussid. Võrreldud bussi kütuste vahel osutus kõige tasuvamaks metaangaasibuss (diiselkütuse aasta keskmise hinna juures 1,3 €/l tanklas, st kõikide maksudega), järgmine oli tasuvuselt diiselkütusega sõitev buss. Elektribusside omavahelise võrdluse juures osutus soodsamaks elektribuss aeglase üleöö laadimisega süsteem (240 *plug-in* LFP akuga). Järgmine laadimissüsteemide võrdluses oli plafooniga laadimissüsteemid, võimsama akuga. Elektribuss 160 kWh LFP akuga plafoonlaadimissüsteem oli tasuvam väiksema mahutavusega plafoonlaadimissüsteemist (75 kWh). Antud tingimustel oli kõige väiksema tasuvusega induksioonvooluga laadimise süsteem (elektribuss 90 kWh LTO akuga).

Tulemusi tõlgendades tuleb meeles pidada, et paljud sisendandmed on bussitootjate poolt antud indikatiivsed numbrid, mistõttu need võivad reaalselt kiiresti muutuda. Tartu linnas võiks järgmisel liiniveohankel testida vähemalt seinast laadimise (*plug-in*) elektribusse ja tehnoloogiapakkujatele teha ettepanek teiste laadimissüsteemide testimiseks Tartu linnas hankeväliselt. Esialgne tundlikkusanalüüs näitab, et fossiilne vedelkütus peaks kordades kallinema ja elektribusside soetushind ja käidukulud peaksid kordades vähenema, et elektribussid muutuksid käidu- ja soetuskulude alusel tasuvamaks diiselkütuse ja metaangaasibussidest. Samas ei saa välistada, et keskkonna-, inimese tervise ja kodumaiste taastuvkütuste kasutamise edendamiseks linna ühistranspordis toimub lähiajal otsustav pööre elektribusside ja elektrisõidukite kasuks.

LISA 1

Hinna- ja infopäring elektribusside tootjatele

Information inquiry for electric bus suppliers

Dear electric bus manufacturer,

Company Mõnus Minek OÜ carries out a comparative analysis of electric buses for the Tartu city administration. The results of this study will be used in the preparation process of public transport bus procurement tender process.

Current study analysis will be used additionally to the feasibility study of the use of diesel, (bio)gas, gas-hybrid, diesel-hybrid and electric buses in public transport in Tartu city.

The need to study more specifically electric buses and their infrastructure elements arises from fact, that compared to other cities Tartu city has the most future-oriented public transport greenvision view in Estonia. Tartu city has contributed a lot to environmentally friendly urban transportation in late years (5 CNG buses, totally 30 electrical vehicles in city government fleet so far) and will contribute for the promotion of alternative fuelled city buses more largely in the near future. The objective of the city development plan is to replace half of city alternative fuelled is very keen on electric buses in addition to CNG and hybrid buses by 2030.

The main objective of the current analysis is to compare CAPEX and OPEX of electric buses with different charging systems and charging infrastructure. We have to compare plug-in, pantograph and inductive charging systems of 12 m standard city bus (M3) with HVAC.

It is highly possible, that as the result of the analyses Tartu city decides to take more serious and detailed price-offers from your company or you have better chances to join the consortium, which will compete in the next public transport tendering process.

Thus please send us the following data of your electric buses with plug-in, pantograph and inductive charging systems (including charging infrastructure) that your company produces:

- 1) Investment cost of the bus with different charging system (plug-in, pantograph and inductive charging systems, with HVAC device, buses must meet also climate conditions -30°C); **(EUR)**
- 2) Investment cost of charging system for daily kilometrage of 250 km/day (80 000 km/year); **(EUR)**
- 3) Engine power and type; **(hp, kW)**
- 4) Number of seats on the bus (including seated and standing)
- 5) Operating cost per year, including the ordinary maintenance and repair costs during 3 years or a mileage of 240,000 km, including the annual mileage of at least 80 000 km/year, what is the service interval, what are the costs of spare parts, warranty terms; **(EUR)**
- 6) Average electricity consumption in urban driving (if possible, bring out results by SORT 1 and SORT 2 test); **(kWh per 100 km)**
- 7) What is the expected useful life-time of the batteries, how many batteries (amount, capacity) are used in different charging systems and what is the expected distance with one charging-cycle in optimal weather conditions and in extreme Nordic winter conditions (e.g. minus 30 C, heavy wind, etc.)?

8) What are the secondary-use possibilities of in-bus-used batteries? What is the utilization cost of used batteries? Is it possible to use those batteries in some other applications (conservation of renewable energy)?

9) Do the used batteries from electric buses have market value and what it possible can be per battery?

10) What is the rough estimation of average electric bus life cycle? (**Years**)

11) What are the **operating cost of electric buses** with different charging systems per year (are those different at all?), including the ordinary maintenance during 3 years or a mileage of 240,000 km (80 000 km per year)? (**EUR**)

12) What are the **operating cost of charging systems** per year (are those different at all?), including the ordinary maintenance during 3 years and how long is the life-time of charging systems? (**EUR, years**)

All buses must meet the following conditions:

- Bus(es) must be brand new and be ready to be used in the external temperature of -30°C;
- Bus(es) must be designed and built in the city routes and left-hand drive;
- Bus(es) must comply with the European Parliament and Council Directive 2007/46/EC , the requirements set out in the M3 category vehicles, and have the whole vehicle type-approval certificate;
- Bus(es) gauge length 12 meters, a width of 2.45 to 2.55 meters, a one-storey.

We emphasize that the data used in the current analysis will remain confidential and the data/results are brought out by the type of fuel not by the name of bus company manufacturers. If needed, we can make confidentiality agreement.

We sincerely hope, that Your company finds essentially useful to provide this information to us in order to promote novel, innovative and environmentally friendly electric buses and therefore we are looking forward for Your reply by the 31st of March!

Yours,

Mr. Ahto Oja
CEO of Mõnus Minek OÜ
ahto.oja@monusminek.ee

Mr. Tauno Trink
Head of Tartu department of Mõnus Minek OÜ
tauno.trink@monusminek.ee

LISA 2

Plafooniga linnalaadimise süsteem quickPoint™ CityCharger laadijaga 200 kW
voolutugevuse korral



LISA 3

Bussiliini nr 5 Nõlvaku - Kivilinna - Kannikese - Kivilinna - Nõlvaku graafiline joonis ja bussiajad



Sõidu nr	Peatuse nimi	Aeg	Distants peatuste vahel (m)
0	Depoo	6:05	0
1	Mõisavahe	6:08	600
1	Kaunase Puiestee	6:10	1 200
1	Annelinna Gümnaasium	6:11	500
1	Kivilinna	6:12	900
1	Sõpruse Puiestee	6:14	600
1	Anne	6:16	600
1	Kanali	6:18	1 300
1	Pikk	6:19	1 000
1	Atlantis	6:20	500
1	Kaubamaja	6:24	1 100
1	Riiamäe	6:25	300
1	Pauluse	6:27	400

1	Lembitu	6:29	600
1	Kaare	6:31	700
1	Nooruse	6:34	800
1	Nisu	6:36	700
1	Kannikese	6:38	600
1	LKV	6:39	300
1	Lõuna	6:41	500
1	Tervishoiu	6:42	400
1	Maarjamõisa	6:43	400
1	Kaare	6:44	400
1	Pauluse	6:46	600
1	Kesklinn	6:50	1 000
1	Aida	6:52	800
1	Silla	6:54	700
1	Anne	6:57	700
1	Sõpruse Puiestee	6:59	650
1	Kivilinna	7:01	450
1	Rahumäe	7:02	300
1	Annelinna Gümnaasium	7:03	350
1	Annelinna keskus	7:06	900
1	Mõisavahe I	7:07	400
1	Mõisavahe II	7:08	300
1	Nõlvaku	7:09	300

Bussitootjale edastatud eraldi failid Töö koostaja poolt:

FAIL: Technical feasibility study - level 1 - Basic analysis_AB_MM

FAIL: Technical feasibility study - level 2_MM

FAIL: Technical feasibility study - level 3_AB_MM

FAIL: Technical feasibility study - level 4_AB_MM

LISA 4

Elektribussi tootja poolt edastatud hooldusintervallide tabel käesolevas töös kajastatud konkreetsele E12 bussi mudelile 1000 km järel

Bussitootja poolt edastatud eraldi fail E12 bussile:

FAIL: *Maintenance plan E12*

Elektribussi tootja poolt edastatud konkreetse elektribussi tehnilised andmed käesolevas töös kajastatud E12 bussi mudelile

Bussitootja poolt edastatud eraldi fail E12 bussile:

FAIL: *SBC_2015.05.14_Study Analysis_E12*

LISA 5.

Elektribusside laadimissüsteemide tasuvuse võrdlus.

Lisatud exceli fail: MFA_ uus busi excel_AO TT 280815

Toome siinkohal mõned tabelid algandmetega, millega tasuvusanalüüs tehti

KÜTUSEKULU								
	Ühik	Uus diiselbu	Uus gaasib	plug in	plafoon 160	plafoon 75	induktsioon	
1	keskmine kütuse hind	€/l	1,302					
2		€/kg (surugaas)	0,779					
3		€/m3 (surugaas)	0,556					
4		€/kWh		0,1	0,1	0,1	0,1	
5	Kütuselisand AdBlue	€/l	0,36					
6	Reeglina kulutab Euro 6 sõiduk ca 6% AdBlue vedelikku kulutat	€/kütuse	0,0216					
7	keskmine kütusekulu	l/100km	35,5					
		kg/100km	39,5					
		kWh/100 km		164	164	164	164	
8	Kütusepaagi maht	l	280	1284				
		kg		115,56				
	akude maht	kW		240	160	75	90	
9	Paagitäie läbisõidupiiir	km	789	293	146,34	97,56	45,73	54,88
10	Paagiäit päevas		0,32	0,85	1,70833333	2,5625	5,4666667	4,55555556
11	250 km läbimine maksab	€/ 250 kr	115,5	76,9	41	41	41	41

RAHA HIND		
1	Arvestusperiood	12
2	Reaalne diskontomäär	6,0%
3	Laenukapitali hind	5,0%
4	Laenu periood (kuud)	84
5	Riskipremia	7,0%
6	Omakapitali hind	12,0%
7	WACC	6,40%
8	Inflatsioonimäär (perioodi 2010-2015 keskmine)	2,58%
9	Nominaalne diskontomäär	9,15%

ARVESTUSPERIOOD (aastad)	1	2	3	4	5	6	
MAKROMAJANDUSLIKUD NÄITAJAD	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1	Kütusehinna muutus*	18,72%	3,94%	8,68%	7,98%	6,03%	3,97%
2	Harmoneeritud tarbijahinnaindeks**	0,80%	2,00%	2,40%	2,70%	2,70%	2,70%
ARVESTUSPERIOOD (aastad)	7	8	9	10	11	12	
MAKROMAJANDUSLIKUD NÄITAJAD (jätk)	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
1	Kütusehinna muutus*	3,93%	3,05%	3,14%	1,98%	1,70%	1,15%
2	Harmoneeritud tarbijahinnaindeks**	2,70%	2,70%	2,70%	2,70%	2,70%	2,70%