

Sissejuhatus

KIK-i projekti eesmärgiks oli Eesti rohevesiniku terviklahenduste arendamine läbi terviklahenduste väljatöötamise toetamise.

Rohevesiniku kasutusele võtmine on oluline, sest just rohevesinik võimaldab saavutada Euroopa Liidu kliimaeesmärke, sealhulgas transpordisektori dekarboniseerimist, suuremahulist roheenergia ülekannet ning tootmist energia sektori ja tööstuse jaoks, kus rohepööret läbi viiakse.

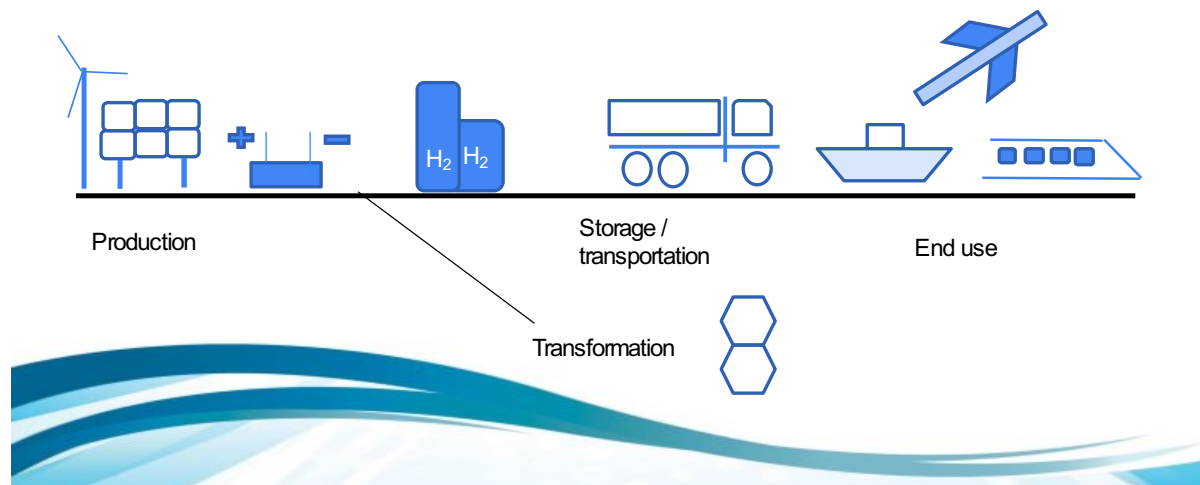
Rohevesinik on keskkonnasõbralik energiakandja, millel nähakse suurt rolli fossiilsete kütuste kasutamisest väljumises. Rohevesinikul on oluline osa Euroopa kliimaneutraalsuse saavutamisel ja peale Venemaalt fossiilsete kütuste tarnete peatamist ka Euroopas energiavarustuse tagamisel ja energia ülekandes erinevate Euroopa piirkondade vahel.

Suuremahuliste päikese ja tuuleenergia võimsuste lisandumine lähima kümne-viieteist aasta jooksul regioonile tähendab ühtlasi määratult suuremat volatiilsust nii tootmises kui ka energia hindades, mida tuleb juhtida. Selle asemel, et kavandada fossiilkütustel või tuumaenergial põhinevaid keskkonnasaastavaid või keskkonnohtlikke lahendusi varustuskindluse tagamisel, on Euroopa Liidus (EL) ja ka globaalselt rohkelt tähelepanu ja ressursse pööratud vesinikul kui energia kandjal põhinevatele lahendustele.

Ajal kui paljud Euroopa riigid on juba esimesed rohevesiniku terviklahendused välja arendanud ja käivitanud, ei ole Eestis veel ühtegi terviklahendust välja arendatud. Tegemist on mitmetasandilise ettevõtmisega, mille osaks on täna veel kahjuks vähene teadlikkus rohevesiniku võimalustest, aga ka vähene osapoolte kokku toomine ühtseteks terviklahendusteks. Terviklahendused eeldavad erinevate väärtusahelas osalevate osapoolte koondamist ühtseks tervikuks lahendamaks ühiselt roheenergia, vesiniku tootmise ja salvestamise, tankimise ja tarbimisega seotud küsimusi.

Eesti ettevõtete hulgas on suur huvi rohevesiniku terviklahenduste vastu, kuid kuna puuduvad käegakatsutavad pilootprojektid, on Eestis vähe teadmist, millised osapooled on terviklahenduste väljatöötamiseks vajalikud.

•Rohevesiniku terviklahenduse skeem



Joonis 1. Rohevesiniku terviklahenduse skemaatiline joonis, kus terviklahendus algab roheenergia tootmisest näiteks tuule- või päikesepargis, rohevesiniku tootmist elektrolüüsil, rohevesiniku salvestamist, transporti ja lõpptarbimist. Rohevesinikku saab ka vääringada erinevateks rohekütusteks nagu nt. ammoniaak või metanool.

Projekti sisendite kaardistamine tõi välja järgmised probleemid:

- ettevõtted on huvitatud kas rohevesiniku tootmisest või tarbimisest, kuid omamata varasemat kokkupuudet rohevesiniku tehnoloogiatega, pole selge projekti erinevates faasides tehnoloogiasse puutuvad (s.h. skaleerimine) väljakutsed;
- ettevõtete huvi terviklahendustes osaleda on suur, ent puudub neutraalne platvorm, partnerite leidmiseks ning osapoolte vaheliseks kommunikatsiooniks s.h. avaliku sektori ja erasektori ühisteks diskussioonideks ja ühisloomeks.

Sellest tulenevalt on oluline vesinikuklastri töö tugevdamine kindlustamaks erinevate osapooltele ühist diskussiooniplatvormi Eesti rohevesiniku terviklahenduste käivitamisel.

Projekti tegevuste tulemusena:

- Alandati suhtlusbarjääre osapoolte vahel
- Loodi platvorm terviklahenduste koostamiseks ja osapoolte kokku toomiseks

Projekti jooksul viidi läbi kolme terviklahenduse kaardistus - rohevesinikul töötavad bussid Tartus, Tallinnas ja Narvas. Allpool on esitatud ülevaade läbiviidud kolme terviklahenduse kaardistusest ja teostavusuuringust.

Narva terviklahenduse teostatavuse uuring

Narva terviklahenduse väljatöötamises osalemisest on huvitatud Nordland OÜ, Ida-Viru Ühistranspordikeskus MTÜ ja kohaliku omavalitsusena toetab projekti Narva-Jõesuu linnavalitsus.

Narva-Jõesuu linn on huvitatud kahe vesiniku kütuseelemendil sõitva bussi soetamisest maakonnaliinide teenindamiseks. Tegemist on pilootprojektiga, mis hõlmaks rohevesiniku üheaegset tootmist ja tarbimist Narva piirkonnas. Vesinikubusside laialdasem kasutuselevõtt on võimalik peale järgmise liiniveohanke toimumist 2030 aastal. Hetkel on piirkonna teenindamiseks soetatud gaasibussid, mis teenindavad kõiki maakonnaliine.

Nordland OÜ kindlustab terviklahenduse teostamiseks vajaliku maa-ala vesinikutankla rajamiseks. Tankla asukohaks saab Narva Äripark, mis asub Olgina alevikus Narva linna vahetus läheduses. Nordland OÜ vastutab ka tankla opereerimise eest.

Esimesed kaks vesinikubussi hakkavad teenindama maakonnaliine, mida haldab Ida-Viru Ühistranspordikeskus. Pilootprojekt on skaleeritav ja potentsiaalselt laiendatav lähiaastatel ka Narva linna, kus ühistranspordi teenust pakub Gobus AS.

Terviklahenduse teostatavuse uuringus eeldatakse, et vesinikutankla ehitatakse Narva linna vahetusse lähedusse ja vesinikku toodetakse rohelisest võrguelektrist. Antud uuringus võetakse vesiniku hinna eelduseks Norra elektrolüüseri tootja NEL'i prognoos ja seetõttu ei hinnata vesiniku tootmisjaama rajamise kapitalikuluseid ja tootmisprotsessiga seotud kuludest arvestatakse roheelekttri fikseeritud hinnaga ostmist võrgust.

Teostatavuse uuringu eesmärgiks on analüüsida kas ja millistel tingimustel oleks rohevesiniku kasutuselevõtt maakonnaliinide teenindamiseks Narva-Jõesuu ja Narva piirkonnas majanduslikult põhjendatud ning mis tingimustel oleks võimalik vesiniku kasutamist ühistranspordi busside kütusena laiendada Narva linnaliinide teenindamiseks.

Terviklahenduse analüüsis on arvestatud võimalike investeeringute kuludega (*Capex*) vesinikutankla ja vesinikubusside osas ning tankla opereerimiskuludega. Vesinikubusside hoolduskulud võrreldakse diislibusside vastavate näitajatega. Analüüs näitab kuidas elektri sisendhind, mida kasutatakse rohevesiniku tootmiseks, mõjutab tanklasse jõudva vesiniku kilogrammi hinda ja kuidas suhestub see diiselkütuse kasutamise kogukuluga.

Eraldi on kirjeldatud terviklahenduse teostatavust mõjutavaid muid faktoreid – vesinikutanklate tehnilisi spetsifikatsioone ja vesiniku kütuseelemendiga sõitvate busside tehnilisi parameetreid.

Peame vajalikuks märkida, et investeeringute kulud teostatavusuuringus on indikatiivsed, st tegemist on prognoosiga ning tulenevalt momendil turul valitsevast volatiilsusest ning kiiretest arengutest on väga keeruline ennustada tegelikke tanklate, mahutite ja vesinikubusside hindu soetamishetkel. Praegused arengud energiaturul, mis on toonud kaasa energiakriisi kogu Euroopas tingituna eelkõige Ukraina sõjast, on hüppeliselt suurendanud

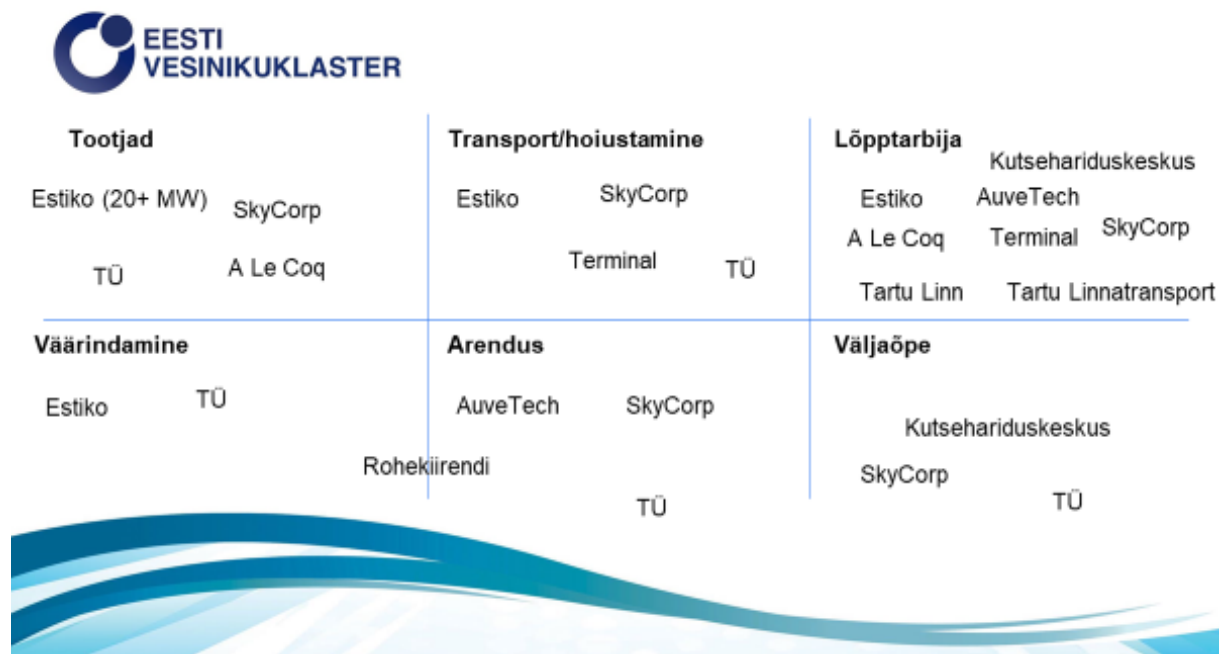
nõudlust vesinikutehnoloogiate kasutuselevõtuks kogu maailmas. Energiakriisist tingituna tõusevad paratamatult tootmiskulud, mis võib mõjutada investeeringute lõppmaksumust nii tanklate kui busside osas.

Tartu terviklahenduse teostatavuse uuring

Tartu soovib esimese linnana Eestis alustada rohevesiniku tootmist ja kasutamist. Intervjuudest ettevõtete ja Tartu Linnavalitsuse esindajatega jäi kõlama arvamus, et vesiniku esmane kasutamine võik toimuda ühistranspordiliine teenindavates bussides, seejärel lisanduksid munitsipaalteenustega seotud veokid (s.h. prügiveokid) ja väikeautod.

Projekti ajakava järgi toimuksid 2025. aastani piloottegevused eesmärgiga on tuua liinile mõned vesinikbussid. Praeguste plaanide kohaselt soovib linn soetada 3 vesiniku kütuselemendil sõitvat bussi, mis hakkaksid teenindama Tartu linnaliine. Tegemist oleks esimese pilootprojektiga, mis hõlmab rohevesiniku tootmise ja kasutamisega üheaegselt alustamist Tartu linnas. Suuremas mahus on vesinikbusside võimalik Tartus kasutusele võtta pärast uue liiniveoteenuse hanke toimumist alates 2030. aastast.

Lisaks Tartu linnale osaleksid terviklahenduse väljatöötamises Estiko Grupp ja linna ühistransporti haldav ettevõtte GoBus. Vesinikutankla rajamisest ja haldamisest on huvitatud Alexela AS. Kuid kokkuvõttes on Tartus vesiniku terviklahenduses osalemisest osapooltena huvitatud ka teised ettevõtted.



Joonis 2. Tartu terviklahenduse kaardistamine terviklahenduste osapoolte rollide lõikes

Teostatavusuuringus on arvestatud, et vesinikutankla ehitatakse bussipargi lähedusse. Sarnaselt Narva projektiga eeldatakse, et vesinikku toodetakse roheline võrguelektri baasil ja ja vesiniku hinna aluseks on NEL'i poolt prognoositud hind aastaks 2025 (1,5 USD/kg 20

USD/MWh elektri hinna juures¹). Muu analüüsimetoodika on sarnane Narva puhul kasutatuga.

Tallinna terviklahenduse teostatavuse uuring

Vesiniku kasutusse võtmine on Tallinna kliimakava kohaselt üks linna peamisi prioriteete ja 2050. aastaks peaks Tallinn olema vesinikuenergeetiline linn. Nii Tallinna kliimakava 2030 kui ka Euroopa roheline pealinna 2023 tegevused on suunatud linnas puhta energia kasutamise propageerimisele ja avaliku sektori eeskuju näitamisele.

Tallinna linn koostöös Tallinna Linnatranspordi AS-ga (TLT) soovib 2-3 aasta pärast lisaks elektribussidele tuua Tallinna linnaliinidele vesinikubussid. Juba paar aastat tagasi TLT poolt välja käidud eesmärk on muuta kogu Tallinna ühistransport aastaks 2035 heitmevabaks. Keskkonnainvesteeringute keskuselt saadud toetuse eest plaanitakse osta 15 elektribussi ja rajatakse nende teenindamiseks vajalik taristu. Hangitavad elektribussid peaksid jõudma Tallinna tänavatele 2023 aastal.

Esimene konkreetne eesmärk on seatud aastaks 2025, kui plaani järgi ei sõida Tallinna tänavatel enam ühtegi diiselbussi. Need asendatakse gaasibussidega, mida hetkel on Tallinnas liinidel 200 ja lähiajal lisandub veel 150. Tegemist on nõ vaheetapiga, millega paralleelselt valmistatakse ette vähemalt 200 elektribussi (sh akuelektiril ja vesiniku kütuseelemendil sõitvad bussid) soetamist Tallinna linnale.

2022 a. kevadel esitati EL Innovatsioonifondile vastav taotlus ja juhul kui taotlus osutub edukaks ning saab rahastuse, siis on võimalik esimeste vesinikubusside linnatänavatele toomine mõne aasta pärast. Kokku planeeritakse soetada kuni 200 elektribussi ja Innovatsioonifondist oleks võimalik saada toetust sõidukite ostmisel 60 protsendi ulatuses. Kindlasti soovitakse eelnevalt veenduda konkreetsete busi mudelite sobivuses linnatänavatele. Toetuse taotlemise tingimuseks on see, et TLT suudab võetud kohustusi täita järgmised 7 aastat. Hetkel kehtib TLT reisijateveoleping Tallinna linnaga 2024 aasta lõpuni. Lepingupikendus on heaks kiidetud linnavalitsuse poolt ja selle alusel osutab TLT linnale reisijateveoteenust kuni aastani 2035.

Euroopa Liidu toetusega on kavas rajada ka vesiniku tanklavõrgustik. Eesmärgiks on seatud rohevesiniku tervikahelate väljaarendamine Tallinna linnas, mis hõlmab nii rohevesiniku tootmist taastuvenergiast, vesinikutanklate rajamist kui linnaliinidele sobivate vesinikubusside soetamist.

¹ <https://nelhydrogen.com/press-release/nel-cmd-2021-launches-1-5-usd-kg-target-for-green-renewable-hydrogen-to-outcompete-fossil-alternatives/>

Ilmselt eeldab sellises mahus rohevesiniku kasutuselevõtt Tallinna linnatranspordis nii riigi kui Euroopa Liidu poolset toetust ja panust. Plaanid näevad ette rohevesiniku tootmist kas elektrolüüseri abil veest, kasutades selleks ainult taastuvelektrit, või biogaasist, mille tootmiseks on kasutatud üksnes taastuenergiat.

Terviklahenduse teostatavuse uuringus on arvestatud sellega, et vähemalt üks tankla ehitatakse bussipargi lähedusse, ülejäänud tanklate paiknemine otsustatakse vajaduse põhiselt ja vesinikku toodetakse rohelise võrguelekttri baasil. Antud uuringu eesmärgiks ei ole hinnata vesiniku tootmisjaama rajamise ja tootmisprotsessiga seotud kulusid ja tulusid, mistõttu on aluseks võetud eeldus, et vesiniku tootmiseks vajalikku elektrienergiat ostetakse võrgust fikseeritud hinna alusel. Selleks sõlmitakse taastuenergia tootjatega lepingud, kus on fikseeritud elektrienergia hind kindlaks perioodiks (näiteks aastaks).

Teostatavuse uuringu eesmärgiks on analüüsida kas ja millistel tingimustel on rohevesiniku kasutuselevõtt Tallinna linnaliinide teenindamiseks majanduslikult põhjendatud.

Terviklahenduse analüüsis on arvestatud võimalike investeeringute kuludega (*Capex*) vesinikutankla ja vesinikubusside osas ning tankla opereerimiskuludega ja vesinikubusside hoolduskuludega võrrelduna diislibusside vastavate näitajatega. Analüüsi eesmärgiks on näidata ära kuidas elektri sisendhind, mida kasutatakse rohevesiniku tootmiseks, mõjutab tanklasse jõudva vesiniku kilogrammi hinda. Mida madalam on elektri hind, seda tasuvamaks muutub vesiniku kasutamine kütusena võrrelduna diiselmootori hinnaga.

Eraldi on kirjeldatud terviklahenduse teostatavust mõjutavaid füüsikalisi faktoreid – vesinikutanklate tehnilisi spetsifikatsioone ja vesiniku kütuseelemendiga sõitvate busside tehnilisi parameetreid.

Tootjad	Transport/ hoiustamine			Lõpptarbija		
	Thara	Atrado	Alexela	Tallinna Lennujaam	Thara	Tallinna Lennujaam
Eesti Energia	Eesti Energia	Tallinna Sadam	Thara	TLT	XFly	Tallinna Sadam
				Eesti Energia	Tallinna Linn	
Väärindamine	Arendus			Väljaõpe		
SkyNRG	XFly	KBFI	ZeroAvia	XFly	KBFI	
		TalTech		TalTech		
		Universal Hydrogen				

Joonis 3. Tallinna terviklahenduse kaardistamine terviklahenduste osapoolte rollide lõikes.

Teostatavusuuringus arvesse võetud vesinikutankla kapitalikulud

Vesinikutankla rajamiseks vajalike kapitalikulude prognoosimisel on arvestatud Linde Engineering poolt projekteeritavate tanklate optimaalsete hindadega, mis varieeruvad

sõltuvalt tankla tehnilistest parameetritest. Linde on juhtiv vesinikutanklate tootja maailmas, kes on tänaseks projekteerinud ja paigaldanud 200 tanklat erinevatesse riikidesse. Sel põhjusel on valitud teostatavuse uuringusse erineva tankimisvõimsusega Linde tanklad, mille praegune hinnaklass on tootjafirmaga kooskõlastatud. Tanklate hinnad võiksid seoses tehnoloogiate kiire arenguga lähiaastatel langeda ca 10%, aga võttes arvesse ülisuurt nõudlust ei pruugi see ootus realiseeruda.

Narva ja Tartu teostatavusuuringu kalkulatsioonide aluseks on võetud automaattankla **Twin IC 90/60-L**, mille optimaalne tankimisvõimsus on 56 kg/tunnis. Linde poolt projekteeritav tankla mudel on kompaktse disainiga konteinertankla, mis suudab teenindada vesinikbusse tankimisvõimsusega kuni 1344 kg/päevas (kuni 45 tankimiskorda ööpäevas). Tankla töötab 24 tundi ööpäevas ja tankla maksimaalne väljalaskerõhk on kuni 900 baari. Tankimiseks kasutatakse Linde ioonkompressorit, mis surub gaasilise vesiniku busside jaoks vajaliku 350-baarise rõhuni.

Konkreetselt tankla hinnaks on arvestatud 700 000€², tankla hinnale lisanduvad vesiniku mahutite soetuskulud suurusjärgus 50 000€. Metallist mahutite suurus on piisav kuni 500 kg vesiniku salvestamiseks ööpäevas. Kahe bussi tankimiseks Narvas või kolme bussi tankimiseks Tartus on optimaalne tagada tanklas vesiniku tankimisvarud vähemalt 3 ööpäevaks. Kalkulatsioonide aluseks olevate vesinikbusside puhul on arvestatud, et vesiniku kulu ühe bussi tankimiseks päevas on 21,92 kg. Seega vajalik vesiniku salvestamismaht tanklas kuni 3 bussi tankimiseks peab olema vähemalt 65,76 kg ööpäevas. 3-päevase varu salvestamine tähendab vähemalt 197,28 kg vesiniku salvestamist ööpäevas. Siin analüüsis on arvestatud sellega, et mahutid soetatakse varuga, mis võimaldab tulevikus vajadusel suuremaid vesiniku koguseid tanklas salvestada.

Vesiniku mahutite soetuskulud sõltuvad seega otseselt tanklas salvestatava vesiniku koguse vajadusest. Vesinikutankla amortisatsioonijaks on arvestatud 15 aastat ja kompleksi amortisatsioon aastas moodustab 50 000€.

² Info pärineb suhtlusest Linde Engineering esindajaga

Tankla capex:	EUR
tankla maksumus (2-3 bussi tankimiseks)	700 000,00
vesiniku mahutid (kuni 500 kg vesiniku mahutamiseks)	50 000,00
Capex kokku:	750 000,00
tankla amortisatsiooniaeg aastates	15,00
kompleksi amort aastas	50 000,00

Tallinna teostatavusuuringu kalkulatsioonide aluseks on võetud automaattankla **IC P/140-XL**, mille optimaalne tankimisvõimsus on 140 kg/tunnis. Linde poolt projekteeritav tankla on kompaktse disainiga konteinertankla, mis suudab teenindada vesinikbusside tankimisvõimsusega kuni 3360 kg/päevas ja 140 kg/tunnis (kuni 74 tankimiskorda ööpäevas). Tankla töötab 24 tundi ööpäevas ja tankla maksimaalne väljalaskerõhk on kuni 500-700 baari. Tankimiseks kasutatakse Linde ioonkompressorit, mis surub gaasilise vesiniku busside jaoks

vajaliku 350-baarise rõhuni. Tanklas on võimalik tankida ka väikeautodel, kuna väljalaskerõhku on võimalik optimeerida kuni 700 baarini. Konkreetset tanklat iseloomustavateks näitajateks on ka madalad hoolduskulud, madal müratase ja kõrge töökindlus.³

200 vesinikubussi igapäevase tankimise korraldamiseks oleks vajalik rajada 3 analoogset tanklat Tallinnas, sest 200 bussi tankimiseks vajaminev vesiniku kogus on 4384 kg ööpäevas ja seda ei ole võimalik kahes tanklas tagada, kuna busse on vaja tankida kord ööpäevas ja üks tankla võimaldab kuni 74 tankimiskorda ööpäevas. Kolmes analoogses saab tankida kokku 222 bussiliini ööpäevas.

Ühe tankla hinnaks on arvestatud 1 300 000€⁴, tankla hinnale lisanduvad vesiniku mahutite soetuskulud suurusjärgus 600 000€. Metallist mahutite suurus on piisav kuni 6000 kg vesiniku salvestamiseks ööpäevas ühes tanklas. Arvestatud on sellega, et üks tankla teenindab kuni 74 bussi ööpäevas ja vastava arvu busside tankimiseks on optimaalne tagada kõigis tanklates vesiniku tankimisvarud vähemalt 3 ööpäevaks. Kalkulatsioonide aluseks olevate vesinikbusside puhul on arvestatud, et vesiniku kulu ühe bussi tankimiseks päevas on 21,92 kg. Seega vajalik vesiniku salvestamismaht ühes tanklas kuni 74 bussi tankimiseks peab olema vähemalt 1622 kg ööpäevas. 3-päevase varu salvestamine tähendab vähemalt 4866 kg vesiniku salvestamist ööpäevas.

Tankla amortisatsiooniajaks on arvestatud 15 aastat ja kompleksi amortisatsioon aastas moodustab 126 666€.

³ Tankla orienteeruv maksumus baseerub personaalsel konsulteerimisel Linde Engineering esindajaga.

⁴ Tankla orienteeruv maksumus baseerub personaalsel konsulteerimisel Linde Engineering esindajaga.

Ühe vesinikutankla capex:	EUR
tankla maksumus (optimaalne kuni 75 bussi tankimiseks)	1 300 000,00
vesiniku mahutid (kuni 6000 kg vesiniku mahutamiseks)	600 000,00
Capex kokku:	1 900 000,00
tankla amortisatsiooniaeg aastates	15,00
kompleksi amort aastas	126 666,67

Teostatavusuuringus arvesse võetud tankla opereerimiskulud

Tartu ja Narva tankla aastaste opereerimiskuludena on arvestatud analüüsi aluseks olevas mudelis 20% tankla capex-ist, mis moodustab 148 000€ aastas. Analoogselt on Tallinna ühe tankla opereerimiskuludena aastas arvestatud 20% konkreetse tankla capex-ist, mis moodustab 380 000€ aastas. Opereerimiskulude hulka on arvestatud kõik tankla ja salvestusega seotud hoolduskulud, sh tööjõukulud.

Vesinikubusside investeeringukulud

Kuna nõudlus ühistranspordis kasutatavate vesiniku kütteelemendil sõitvate busside järele on Euroopa suurlinnades ja mujal maailmas pidevas tõusutrendis, võib oodata tootmismahutade kiiret suurenemist ning mahuefektis tulenevat vesinikubusside hindade langemist ning seega lähenemist diiselmootoriga busside ja CNG-busside hinnale. Põhja-lirimaa vesinikubusside tootja Wrightbus plaanib juba sel aastal tuua turule vesiniku kütteelemendil sõitvad bussid mille hind jääb 375 000€ juurde. See on selge märk sellest, et busside hinnad on langustrendis ja tehnoloogiate areng annab aluse optimeerida vesinikubusside hinda juba lähima 2-3 aasta perspektiivis. Teisalt võib kiire nõudluse kasv muuta busside kättesaadavust keerulisemas ning hinnastamist volatiilseks.

Analüüsis on võetud aluseks Wrightbus poolt toodetav bussi mudel GBKite Hydroliner (FCEV), mille maksumus algab 375 000 eurost. Bussi hinda määravateks teguriteks on muuhulgas selle pikkus, maksimaalne sõitjate arv ning vesiniku paagi täismaht kilogrammides, mis varieeruvad erinevate bussi mudelite parameetrite juures.

Vesinikubusside tehnilised parameetrid

Kõnealune bussi mudel GBKite Hydroliner⁵ on 10,97 meetrit pikk, mahutab kuni 82 reisijat ja selle katusele on paigaldatud 4 vesiniku paaki kogumahuga 32 kg. Bussi energiaefektiivsuse tagamiseks kasutatakse Ballardi kütuseelemente ja Hexagoni vesinikupaake. Bussi sõiduulatus ühe tankimisega +10 kraadi Celsiuse juures on vähemalt 450 km. Arvestades meie kliimat on optimaalne võtta bussi sõiduulatuseks maksimaalselt 320 km ühe tankimisega. Konkreetset bussi on võimalik tankida 10 minuti jooksul, samas sõltub busside tankimisaeg

⁵ <https://wrightbus.com/en-gb/gb-kite-hydroliner-fcev>

tanklas konkreetse tankla tehnilisest võimsusest. Tartu ja Narva analüüsi aluseks võetud tankla tankimisvõimsus on 56 kg/tunnis, mille puhul on bussi tankimisaeg 30 minutit (bussi päevane vesiniku kulu on 21,92 kg) ja kahe bussi tankimisajaks 1 tund (kahe bussi päevane vesiniku kulu on 43,84 kg). Kolme bussi puhul on optimaalne tankimisaeg 1 tund ja 30 minutit. Tallinna terviklahenduse analüüsi aluseks võetud tankla mudeli tankimisvõimsus on kuni 140 kg/tunnis, mille alusel on võimalik arvestada, et ühe tunni jooksul saab tankida 6 bussi (bussi päevane vesiniku kulu on 21,92 kg).

GBKite Hydroliner kasutab ära kütuseelemendi poolt toodetud soojust, mis suurendab süsteemi efektiivsust ja välistab vajaduse täiendava diiselkütteseadme järele, seega on tegemist null-heitega bussiga. Ühe bussiliini aastaseks läbisõiduks on arvestatud 80 000 liinikilomeetrit ja bussi amortisatsiooni ajaks 8 aastat, läbisõit selle perioodi jooksul on 640 000 km. Bussi kütuse tarbeks on arvestatud 10 kg vesinikku 100 km kohta. Bussi paagi täismahuks on sõltuvalt konkreetsest bussi mudelist arvestatud 32 kg ja bussi sõiduulatus ühe tankimisega on seega 320 liinikilomeetrit. Seega tuleb vesiniku kuluks ühele bussiliinile aastas 8000 kg, kahele bussiliinile 16 000 kg, kolmele bussile 24 000 kg ja 74 bussile 592 000 kg.

Vesinikukulu ööpäevas kahe bussi tankimiseks on 43,84 kg ja see on ühtlasi minimaalne ööpäevane vesiniku salvestamismaht Narva tanklas. Tartu puhul tuleb arvestada, et vesiniku kulu ööpäevas kolme bussi tankimiseks on 65,76 kg, mis on minimaalne ööpäevane vesiniku salvestamismaht tanklas. Vesiniku kulu ööpäevas kuni 74 bussi tankimiseks ühes Tallinna tanklas on 1622 kg. See on minimaalne vesiniku salvestamismaht, mis peab olema tanklas tagatud ööpäevaringselt.

Vesinikubusside hoolduskulud võrrelduna diiselbusside hoolduskuludega

Vesinikubusside hoolduskulu arvestamisel ühe liinikilomeetri kohta on lähtutud vesinikubusside konsortsiumi veebilehel (<https://h2bus.eu/deployment>) toodud andmetest. Wrightbus pakub enda poolt toodetavatele bussidele hoolduspaketti hinnaga 0,25-0,35€/km. Tootja poolt pakutav hooldus tagab kohapeal piisavava hulga standard- ja jõuülekande komponentide varuosade olemasolu ning kohustub kõik muud vajalikud komponendid õigeaegselt tarnima. Tootja pakub ühtlasi koolitust kohaliku bussioperaatori depoo töötajatele vesinikubusside hoolduse teostamiseks.

Võrdlusena olid diiselbusside hooldus- ja remondikulud 0,27 €/km kohta aastas Tartu linna poolt 2014 a. tellitud uuringu „Ühistranspordis kasutatavate diisel, (bio)gaasi-, gaasihübriid-, diiselhübriid-ja elektribusside tasuvusuuring“ alusel. Kuna uuring on koostatud 8 aastat tagasi, siis on siin analüüsis arvestatud 2014 a. prognoositud diiselbusside hooldus- ja remondikulude määra 50%-lise kallinemisega, mis võtab arvesse nii inflatsiooni kui sisepõlemismootoriga busside varuosade hinnatõusu. Selle kalkulatsiooni alusel arvestame diiselbusside hooldus- ja remondikuludena ühe liinikilomeetri kohta 0,4€.

Eeltoodu põhjal saab väita, et vesinikubussi hoolduskulud 0,25-0,35 eurot liinikilomeetri kohta on võrreldes diiselbusside hooldus- ja remondikuludega konkurentsivõimelised ning

isegi odavamad. Ühe vesinikubussi hoolduskulud arvestades 80 000 km läbisõitu moodustavad 28 000€ aastas.

Vesinikubussi hoolduskulude arvestus aastase läbisõidu alusel:	EUR
bussi läbisõit aastas (km)	80 000,00
vesinikubussi hoolduskulud (€/km kohta)	0,35
bussi hoolduskulud aastas (läbisõit 80 000 km)	28 000,00

Vesiniku müügihinna kujunemist tanklas mõjutavad tegurid

Vesiniku kilogrammi hinna kujunemist tanklas mõjutavateks peamisteks teguriteks on tankla maksumus (*capex*) ja vesiniku tootmiseks kasutatava sisendelektri hind.

Lisaks tankla maksumusele (*capex*) on võetud arvesse amortisatsiooniga (15 a.) ja lisatud arvutustesse tankla hoolduskulud aastas. Komponendi omahinna arvutamiseks on arvesse võetud 2, 3 ja 74 bussi poolt tangitavat vesiniku kogus aastas (vastavalt 16 000 kg, 27 000 kg või 592 000 kg). Selle tulemusena saame välja arvutada tanklast väljuva vesiniku kilogrammi hinna, mis sisaldab tankla capexit ja opexit aastas tangitud vesiniku kg kohta.

Komponendi omahinna kujunemine tanklas:	2 bussi (Narva)	3 bussi (Tartu)	74 bussi (Tallinn)
tankla capex aastas + hoolduskulud aastas	200 000,00	200 000,00	506 666,00
tangitava vesiniku kogus aastas (kg)	16 000,00	27 000,00	592 000,00
tankla capex ja opex aastas tangitud 1 kg vesiniku kohta (eurodes)	12,50	7,41	0,86

Lisaks tuleb arvestada vesiniku tootmiseks vajaliku roheelektri kuluga. Analüüsis tuginetakse NEL'i poolt 2021 aastal tehtud prognoosile, et 2025 aastaks maksab kilogrammi rohevesiniku tootmine 1,5 USD (ehk 1,48€) eeldusel, et selle tootmiseks kasutatava taastuvelektri hind on 20 USD/MWh (ehk 19,56 EUR/MWh).⁶

Hindamaks, kuidas sisendelektri hinna muutus mõjutab selle prognoosi alusel eeldatavat vesiniku omahinda, tegime ekstrapoleerivad arvutused kolme erineva elektri hinnataseme kohta: 19,56 EUR/MWh, 100 EUR/MWh ja 120 EUR/MWh kohta.

Vesiniku hinna kujunemine kg kohta erinevate sisendelektri hindade alusel:			
1 MWh teisaldatuna KWh-dena	1 000,00	1 000,00	1 000,00
elektrikulu 1 kg vesiniku tootmiseks (KWh)	50,00	50,00	50,00
sisendelektri hind EUR/MWh	19,56	100,00	120,00
kui palju vesinikku saame toota (kg)	20,00	20,00	20,00
elektrikulu osakaal hinnas eeldusel, et toodetakse 20 kg vesinikku	0,98	5,00	6,00
fikseeritud kulu 1 kg vesiniku tootmiseks (0,5 €/kg)	0,50	0,50	0,50
vesiniku hind kg kohta (eurodes)	1,48	5,50	6,50

Sellisele arvutusele toetudes on vesiniku tootmise omahind kg kohta 1,48€ eeldusel, et vesiniku tootmiseks kasutatava elektri hind on 19,56€/MWh (NEL'i prognoos). Sisendelektri

⁶ <https://nelhydrogen.com/press-release/nel-cmd-2021-launches-1-5-usd-kg-target-for-green-renewable-hydrogen-to-outcompete-fossil-alternatives/>

hinna juures 100€/MWh kohta on elektrolüüsi teel toodetava vesiniku kg hind 5,5€ ja 120€/MWh puhul 6,5€.

Kokkuvõte

KIK projekti nr Kliima.7.01.21-0029 eesmärgiks oli alandada barjääre rohevesiniku majanduse käivitamiseks Eestis. Rohevesinik on oluline tegur Eesti energiaportfellis ning ainus suureskaalaline vahend salvestamiseks ja transportimaks suuremahulisi energiahulkasid, mis on vajalik Euroopa energiasõltumatuse ja energiaturvalisuse tagamiseks.

Projekti raames viidi läbi terviklahenduste osapoolte kaardistus ning rohevesiniku tootmise ja tarbimisjuhtude analüüs pakkudes infot teostatavuse kohta erinevates sektorites ja lahenduste korral. Projekti tulemused näitavad, et kuigi rohevesiniku lahenduste vastu tuntakse suurt huvi ja tegemist on juba lähitulevikus väga potentsiaalse energiakandjaga, on täna rohevesiniku majanduse käivitamise ees mitmed barjäärid (finantsilised, seadusandlikud, keskkonnatemaatilised, jne), mis vajavad sügavamat lahendamist ning diskussiooni jätkamist seotud osapooltega. Rohevesiniku terviklahenduste käivitamine vajab jätkuvat koordineerimist toomaks kokku olulisi osapooli, koostöö tõhustamist teiste riikidega koordineerimaks suuremahulisi tegevusi ning samuti toetusmeetmeid alandamaks kõrgeid barjääre.