

Eesti vesiniku teekaardi 2021 – 2050 ettepanek: lisad

November 2021

Adil Aslam
Tayyab Ehsan Butt
Kerli Kirsimaa
Merlin Rehema
Karina Suik
Lauri Tammiste

Sisukord

1	Eesmärkide kirjeldus	4
1.1	Kohesed tegevused (2021 - 2025)	4
1.1.1	Tarbimise eesmärgid	4
1.1.2	Tootmise eesmärgid	5
1.1.3	Ladustamise ja jaotamise eesmärgid	5
1.2	Edasine skaleerimine (2025 - 2030)	5
1.2.1	Tarbimine	5
1.2.2	Tootmise eesmärgid	7
1.2.3	Ladustamise ja jaotamise eesmärgid	7
1.3	aiaulatuslik kasutuselevõtt (2030-2050)	8
1.3.1	Tarbimine	8
1.3.2	Tootmise eesmärgid	10
1.3.3	Ladustamise ja jaotuse eesmärgid	11
2	Vesiniku väärtusahel	12
2.1	Tootmine	12
2.2	Ladustamine ja jaotus	13
2.2.1	Gaasilise vesiniku ladustamine kõrge rõhu all olevates mahutites	14
2.2.2	Maa-alune gaasilise vesiniku ladustamine	14
2.2.3	Veeldatud vesiniku ladustamine	15
2.2.4	Vedelate orgaaniliste süsivesinike (LOHC) ladustamine	16
2.2.5	Vesiniku jaotus	17
2.2.6	Surugaasiballoonid või krüogeense vedeliku paakautod	17
2.2.7	Torustikud	17
2.3	Tarbimine	17
2.3.1	Transpordisektor	18
2.3.2	Energiasektor	20
2.3.3	Tööstus	21
2.4	Vesiniku tootmistehnoloogiate valmisoleku tase (TVT)	21
3	Euroopa liit ja vesinik	23
3.1	Strateegilised teetähised	25
3.2	Tootmise eesmärgid	26
3.2.1	Kasutuselevõtu ajakava	27
3.2.2	Kvaliteedistandardite määrused	28
3.2.3	Investeerimiskava	28
3.3	Ladustamise ja jaotuse eesmärgid	29

3.4	Tarbimise eesmärgid.....	30
3.4.1	Kasutuselevõtu ajakava ja investeerimiskava.....	32
4	Vesiniku tootmine ja kasutamine Eestis	34
4.1	Olemasolev poliitiline ja strateegiline raamistik.....	34
4.2	Tänane võimekus ja tulevikupotentsiaal	36
4.2.1	Tootmine.....	36
4.2.2	Ladustamine ja jaotus	37
4.2.3	Tarbimine.....	38
4.3	Teadus ja arendustegevus ning erasektori valmisolek	38
4.4	Piirkondlik koostöö	42
5	Vesiniku väärtusahela barjäärid Eestis	43
5.1	Väärtusahela ülesed barjäärid	44
5.2	Vesiniku tootmine ja ladustamine	45
5.3	Vesiniku jaotus.....	45
5.4	Vesiniku kasutus	46
5.4.1	Transport.....	46
5.4.2	Hooned.....	46
5.4.3	Tööstus.....	47
5.4.4	Elektritootmine	47
6	Arvutustegurid	48

1 Eesmärkide kirjeldus

1.1 Kohesed tegevused (2021 - 2025)

1.1.1 Tarbimise eesmärgid

Transport

Pilootprojektideks sobivad sel perioodil (2021-2025) tänu suurele potentsiaalile ja tehnoloogilisele valmisolekule eeskätt raskeveokid, eriti riigihangetega soetatavad bussid ja parvlaevad. Viimaste puhul sobib piloodina käivitada üks liinidest, kus vananev laevastik tuleb asendada ja akuelektrilised variandid on liiga rasked madalate veeteede jaoks. Täiendavalt sobiks pilootprojektide käivitamiseks kohalikes omavalitsustes kommunaalteenuste raames avalikult hangitavad veokid. Pilootprojektid aitavad hinnata transpordiliikide kasutuselevõtu teostatavust ja elujõulisust Eesti kontekstis (tanklavõrgu, tarneahela marsruutide, kohaliku käitus- ja hooldussuutlikkuse jne arendamise seisukohalt). Eestis on juba alustatud vedurite (manööver- ja kaubavedurid) ümberehitamist vesinikukütusele.¹ Eestis on olemas kodumaine teadus- ja arendustegevuse ning kütuseelementide suurenemise suutlikkus. Näiteks pakub Stargate Hydrogen vesinikukütuseelementidel põhinevaid lahendusi raudteerakenduste jaoks ning kavatses koostöös raudtee-ettevõttega Operail järk-järgult suurendada moderniseerimisprojektide arvu läbiseeriatootmise, jõudes 2025. aastaks 20 vedurini aastas².

Tööstus

Eestis kasutatakse halli vesiniku praegu vähesel määral (nt Eesti Energia poolt, kuigi vesiniku tarbimine väheneb tõenäoliselt põlevkivijaamade järkjärgulise tegevuse lõpetamise tõttu). Üheks võimalikuks lähtepunktiks tööstussektoris vesiniku kasutamiseks oleks halli vesiniku asendamine rohevesinikuga³.

Hooned

Vesinik pakub elamute ja ärihoonete kütmiseks mitmeid erinevaid võimalusi asendamaks biomassil põhinevaid kaug- ja kohalikke kütelahendusi. Mõned lahendused, mida võiks kaaluda, on vesiniku segamine maagaasiga, kütuseelementidel põhinevate koostootmisjaamade kasutamine (suured ja mikro) ning sünteetilise maagaasi kasutamine rohelisest vesinikust ja CO₂st. Samas mängib vesinikukasutus hoonetes eriti esimeses etapis pigem piiratud rolli arvestades selle madalat konkurentsivõimet muude alternatiivide (otsese elektrienergia või biomassi kasutamine) kättesaadavuse ja vesiniku kasutamise eelistamise tõttu pigem raskesti dekarboniseeritavates sektorites. Sellest olenemata on oluline kindlaks teha gaasi segamise, kütteõli ja gaasi asendamise rahaline ja tehnoloogiline teostatavus hoonetes soojuse tootmiseks ning kütuseelementidel koostootmise sobivus kütusesektori dekarboniseerimiseks.

Elektrienergia

Vesinikul võiks olla oluline roll Eesti elektrivõrgu vähese CO₂ heitega kütuse näol, kas elektrienergia tootmisel kütuseelementide abil või gaasi põletamise kaudu moderniseeritud elektrijaamades. Seetõttu võiks vesinik elektrienergia pakkujana mängida olulist rolli olukordades, kus tuule- ja päikeseenergia toodang ei ole tarbimise katmiseks piisav. Kuna vesiniku tootmine esimeses

¹ [Stargate to deliver hydrogen locomotives to international rail company Operail, 2021](#)

² Eestis võib arvestada 20 tonni vesiniku tarbimist veduri kohta aastas: Konsultatsioonid Stargate Hydrogeni ekspertidega

³ Estonian Energy H₂ Projects, H. Sutter 2021

perioodis on kõrgete kuludele tõttu piiratud, on selles perioodis elektritootmisettevõtetel sobilik analüüsida ja kindlaks määrata vesiniku abil toodetud elektrienergia otstarbekus kas olemasolevate elektrijaamade ümberehitamise või kütuseelementide paigaldamise teel järgnevas aastakümneks. Lisaks sellele sobib vesinik Eestis ka isoleeritud piirkondade/hajaasustuste elektrienergia varustusallikaks.

1.1.2 Tootmise eesmärgid

Pilootprojektide rohelise vesinikunõudluse rahuldamiseks on vaja sobivaid väikesemahulisi elektrolüüsistehaseid. Sel perioodil on ette nähtud, et vajalik vesinik toodetakse kohapeal vesiniku tarbimiskohtade läheduses. Toodetud vesinik teenib pilootide esialgset väikesemahulist vesiniku vajadust, peamiselt transpordisektoris. Vesiniku tootmine kohapeal tähendab, et pilootide asukohas tuleks paigaldada ka vajalikud taastuenergia võimsused. Seejuures, peaks tulevase vesiniku tootmise jaoks vajaminev taastuenergia tootmisvõimsuse, samuti SAFi lennukütustesse lisamise nõue olema esitatud ka uuendatud ENMAKis.

Eestil on vesiniku käitlemiseks vajalikud kogemused tööstuses (Eesti Energia põlevkivitehas, Linde Gas Estonia) ning teadus- ja arendustegevuses (nt Tartu Ülikool, Elcogen, Stargate jne), mida saab laiendada ja rakendada ka taastuenergiaga töötavate elektrolüüsistehaste kasutuselevõtul. Kodumaine pädevus on piisav, et otsustada elektrolüüsistehaste tehnoloogia ja selle laiendamise üle. Pilootprojektid tuleks käivitada selle aja jooksul, kuna Eesti majanduse taastamise ja vastupanuvõime kava (RRF) kaudu on neid võimalik rahastada. Kuna PSO raames on tulemas uued riigihanked, tuleks vesinikutehnoloogiad nendesse võimalikult kiiresti integreerida.

1.1.3 Ladustamise ja jaotamise eesmärgid

Ladustamise ja jaotamise nõudluse rahuldamisel on esimesel viiel aastal kõige otstarbekam kasutada surugaasiballoone ja veokite haagiseid, kuna nõudlus ja jaotuskaugused on tõenäoliselt veel väikesed. Kütuseelemendiga sõidukite pilootprojektide algatamisel tuleb rajada ka tankimisjaamad strateegiliselt läbimõeldud asukohtadesse (nt bussipeoode, sadamate, veokite peamiste marsruutide lähedusse). Alternatiivina võivad esimesel perioodil olla potentsiaalselt võimaluseks ka mobiilsed vesinikutanklad, kus on võimalik väikest vesinikunõudlust rahuldada transporditava vesiniku tankimismooduliga.⁴

1.2 Edasine skaleerimine (2025 - 2030)

1.2.1 Tarbimine

Transpordi eesmärgid

Kaubaveosektor on raskesti dekarboniseeritav kui tegemist on pikamaavedusid teostavate raskeveokitega. Vesinikku saab kasutada viisil, mis on lähemal tänasele töömudelile - veoautod tangivad kiiresti sarnaselt praegusele diislikütusega tankimisele. Eestis on umbes 1000-1300 veoautot (mida kasutatakse teenuste osutamiseks, nt jäätmekäitlus jne.), mis riigihangete läbi kuuluvad kommunaalettevõtetele. Rakendades puhtaid sõidukeid käsitleva direktiivi 2030. aasta miinimumeesmärgi, võiks 9% avalikult hangitud veoautodest asendada vesinikukütuseelementidega puhtaid sõidukeid. Eesti Rahvusvaheliste Veoettevõtjate Liidu andmetel on Eestis rahvusvahelises kaubaveos ligikaudu 8000 veoautot, millest vähemalt 50% tuleks muuta CO₂-vabaks. Pärast seda, kui Rail Baltic on täielikult kasutusele võetud (enne 2030. aastat), läheb suur osa veoautode kaudu toimuvatest kaubavedudest üle raudteesektorile.

⁴ [Wystrach presents the mobile hydrogen refueling station, Fuel Cells Works 2020](#)

Praegu on Eestis 1400 avaliku ülesande täitmise kohustuse alla kuuluvat bussi. Kuna "Fit for 55" ei maini selgelt praeguse bussipargi CO₂ heite vähendamistjuhindume siin uuendatud keskkonnasõbralike sõidukite direktiivist⁵. Direktiivi kohaselt on Eesti eesmärk saavutada 2030. aastaks 43% ja 2050. aastaks 90% keskkonnasõbralike sõidukite osakaal ühistranspordi bussipargis (viimane on arvatud lineaarsete prognooside alusel kuni 2050. aastani). Direktiiv deklareerib ka, et pärast 2025. aastat keskendutakse nullemissiooniga sõidukitele. Kui FCEV-bussid lisatakse avaliku ülesande täitmise kohustuse alla 2025. aastaks, tuleks 2050. aastaks arvatud eesmärgi lineaarse jagamise korral 2030. aastaks lisada umbes 67 FCEV-bussi (4% praegusest avaliku ülesande täitmise kohustuse alla kuuluvast sõidukipargist). Seda eesmärki on võimalik täita busside elektrifitseerimisega, kuid akude jõudluse prognoositavus külmemas kliimas ja võimalik koormus võrgu ühele sõlmpunktile busside depoo poolt on kasutuselevõtu jaoks kriitiline ja seega on see põhjus, miks eeldatakse vesinikbusside ambitsioonikat eesmärki.

Eestis on olemas kodumaine teadus- ja arendustegevus ning kütuseelementide rakenduste suurendamise võimsus, nagu Stargate Hydrogen (Eesti idufirma), mis pakub kütuseelementidel põhinevaid moderniseerimislahendusi raudteerakenduste jaoks ja kavatseb järk-järgult projektide arvu suurendada, jõudes 2025. aastaks 20 vedurini aastas. Koos Stargate'iga on Operail (avalik-õiguslik raudtee-kaubaveoettevõtte) seadnud eesmärgiks moderniseerida 40 vedurit (manööver- ja liinivedurid) aastaks 2026.⁶

Vesiniku kütuseelementide rakendused on juba olemas ja neid arendatakse praegu välja reisijate mahu ja sõiduulatuse suurendamiseks, nagu ZeroAvia⁷ (Briti/Ameerika ettevõtte) on juba teatanud 19-kohalise vesinikulennuki turustamisest kuni 400 pikkuste reiside sooritamiseks. Enne 2030. aastat kavatseb Xfly ATR72-600 lennukite ümberehitamise teel luua kodumaise vesinikul põhineva lennutehnoloogia⁸. Projekt on arendusfaasis ja on praegu Euroopa Puhta Vesiniku Alliansi (ECH2A) menetluses.

Tööstusektori eesmärgid

"Eesmärk 55" (alates 2025. aastast) ReFuelEU⁹ lennundusprogrammi raames tehakse ettepanek, et 2030. aastaks peaksid lennuettevõtted enne iga ELi lennujaamast väljuvat lendu tankima vähemalt 5% säästvat lennukikütust (SAF). Lennundussektori energiapuudulikkuse ja sõltumatususe saavutamiseks peaks Eesti keskenduma kodumaisele säästvale lennukikütusetööstusele (SAF).

Väiksemaid tehaseid on nende tootmisvõimsusega võrreldes kulukas kasutusele võtta ja need meelivad ligi ka väiksemaid investeeringud, kuna nende tasuvusaeg on väiksema ekspordipotentsiaali tõttu pikem. Minimaalseid koguseid ei ole majanduslikult otstarbekas eesmärgiks seada, kuna lennukikütuse ja SAFi kasutamine koos lennundussektori väga tõenäolise laienemisega Euroopas suure tõenäosusega suureneb.

Samuti asjaolu, et suuremate naaberriikide poolt sõlmitakse pikaajalised lepingud suurte tellimustega ja väikeste koguste importimine ei ole kas võimalik või on väga kallis, mis osutub lennuettevõtjate jaoks äärmiselt riskantseks, et SAFi koguseid Eesti lennujaamades hoida. Teisest küljest loob selle ärivõimaluse ärakasutamine Eestile eksporditulu. Seda saab teha koostöös naaberriikidega, kuna neil on huvi SAFi tööstusse investeerida, arvestades, et biomassi

⁵ [Direktiiv 2009/33/EÜ keskkonnasõbralike ja energiatõhusate maanteesõidukite edendamise kohta](#)

⁶ [Stargate to deliver hydrogen locomotives to international rail company Operail, 2021](#)

⁷ [ZeroAvia Expands its Hydrogen-Electric Aviation program to 19-Seat Aircraft and Raises Additional \\$13 Million in Funding for Large Engine Development](#)

⁸ Hydrogen as Fuel for Aircrafts, M. Alliksoo 2021

⁹ [Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus, milles käsitletakse võrdsete võimaluste tagamist säästva lennutranspordi jaoks, 2021](#)

müügipotentsiaal ELi turul järk-järgult väheneb(põhineb lennundussektori ekspertide konsultatsioonil).

Ajavahemikul 2025-2030 ei ole vesiniku põletamine tõenäoliselt soojuse hankimiseks tööstustes teostatav.

Hoonesektori eesmärgid

Kohaliku vesinikutootmise tekkimisega Eestis võib vesiniku kasutamine hoonete kütmiseks osutada jätkusuutlikuks võimaluseks kütuseelemendipõhiste koostootmisjaamade (keskmise või mikrokütuse) kaudu juhtudel, kus elektrifitseerimine oleks kulukam või nõuaks rohkem aega. Demoprojektina oleks vesiniku segamine gaasivõrku hea samm, et määrata kindlaks, millises ulatuses on võimalik saavutada CO₂ heitkoguste vähendamine küttesektoris. Kui see on tehniliselt ja majanduslikult teostatav, võib gaasisalduse osakaalu suurendada. Kuna kütte- ja jahutussektori CO₂ heite vähendamine hakkab toimuma, samal ajal kui vesiniku hinnad langevad, on oluline kindlaks teha, kus vesinikku või selle derivaate saaks kütte sektoris kasutada kiireks CO₂ heite vähendamiseks.

Energiasektori eesmärgid

Vesiniku kütuseelementide eeliseks on see, et neil on palju vähem liikuvaid osi, nad on süsinikuvabad (eeldusel, et vesiniku tootmine on keskkonnasõbralik) ja säilitavad kütuse kvaliteedi pika aja jooksul võrreldes generaatorites kasutatava diislikütusega. Seega saab vesinikku ajavahemikul 2025-2030 kasutada väikesemahulistes võrguühenduseta ja varuvõimsuste rakendustes. Kuna ajavahemik 2025-2030 on vesiniku kasutuselevõtu ja kulude vähenemise seisukohalt ülioluline, peavad energiatootjad demonstreerima elektritootmist kütuseelementide abil ja kaardistama parimad äritegevuse võimalused. Selle perioodi jooksul tuleks alustada ka avarielektrijaamade CO₂ heite vähendamise pikaajast planeerimisprotsessi, et edukalt hankida kütuseelemente, arendada kriitilisi partnerlussuhteid ettevõtetega ja määrata ära tarneteed.

1.2.2 Tootmise eesmärgid

Antud ajaperioodil on transpordi- (veoautod, bussid, kaubavedurid, riigisisene ja rahvusvaheline lennundus), tööstus-, hoone- ja energiasektori kohaliku vesinikutarbimise rahuldamiseks ette nähtud kohalikud elektrolüüsissüsteemid¹⁰ võimsusega üle 300 MW. Kohaliku vesinikutarbimise rahuldamiseks on vaja ligikaudu 1 TWh+ taastuvenergiat. Osa kohaliku vesinikutootmise vajaduste jaoks tarvilikust elektrist saab katta konkreetsetest taastuvenergia projektidest saadava tootmisvõimsusega (nt Paldiski ja Keila päikeseparkidel põhinev vesinikuväli) ja tuuleparkidest¹¹, mis on kavas kasutusele võtta alates 2030. aastast. Odavama vesiniku tootmiseks, näiteks hajaasustatud piirkondades või saartel, võib kasutada kohalikke vesinikuklastreid (elektrolüüsrite võimsusega üle 20 MW¹²). Piirkondlikud ökosüsteemid on vesiniku tootmiseks olulised, kuna need on otseselt ühendatud detsentraliseeritud taastuvenergia tootmise ja kohalike nõudluskeskustega, mistõttu vesinikku transporditakse lühikeste vahemaade taha¹³.

1.2.3 Ladustamise ja jaotamise eesmärgid

Kasvava vesinikunõudluse rahuldamiseks ning FCEV-tehnoloogia kasutuselevõtu suurenemisel raskeveokite transpordis peab välja kujunema määratletud marsruutidega jaotusvõrk. Eeldatakse, et sel perioodil on kõrgsurvemahutid (üle 1000 baari) saadaval väiksema alginvesteeringuga

¹⁰ Täiskoormuse tundide arv on umbes 3250 tundi (65000 eluiga 20 aasta jooksul), kasutegur on 67%.

¹¹ [Arendusprojektid, Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon](#)

¹² [Eesti Vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüs, Civitta, SEI Tallinn, KBFI 2021](#)

¹³ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

võrreldes praeguste kõrgete alginvesteeringute kuludega, mis on tingitud kasutatava materjali kõrgest hinnast. 2030. aastaks võiks üleeuroopalisel transpordivõrgus (TEN-T) raskeveokite jaoks vesinikutanklaid olla iga 150 km tagant; nagu on esitatud dokumendis "Eesmärk 55"¹⁴.

1.3 Laiaulatuslik kasutuselevõtt (2030-2050)

1.3.1 Tarbimine

Transpordisektori eesmärgid

Kuna üksikute transpordilahendustega on keeruline kogu sektorit dekarboniseerida, on pikemas perspektiivis vesiniksõidukid transpordisüsteemi lahutamatud osad. PSO-s tuleks kütuseelementidel põhinevaid transpordivõimalusi kasutada eelkõige seal, kus elektrifitseerimise võimalused ei ole majanduslikult teostatavad.

Lisaks muutub vesiniksõidukite kasutuselevõtt pikemas perspektiivis veelgi teostatavamaks tänu vesiniku hinna langemisele (1.9 euron/kg)^{15,16}. Tänu kõrgete süsinikmaksude kehtestamise fossiilsete kütuste suhtes muutuvad vesiniksõidukid erasõidukite omanikele veelgi atraktiivsemaks.

Statistikaameti andmetel on Eestis kasutusel 600 000-800 000 sõiduautot¹⁷. Võimaliku CO₂ heite vähendamise stsenaariumi kohaselt võib eeldada, et 2050. aastaks on maksimaalselt 50% autodest vesinikupõhised.

Hetkel on Eestis 1400¹⁸ PSO alla kuuluvat bussi. Uuendatud [Puhta Sõidukite Direktiivi](#) kohaselt on Eesti eesmärgiks saavutada 2030. aastaks 43% keskkonnasõbralike sõidukite¹⁹ osakaal ühistranspordi bussipargis ja 90% 2050. aastaks (viimane on arvatud lineaarsete prognooside alusel kuni 2050. aastani). Direktiiv deklareerib ka seda, et pärast 2025. aastat keskendutakse nullemissiooniga sõidukitele.

Kuna kütuseelementide ja akuelektrilised sõidukid on osa maanteetranspordisektori täielikust CO₂ heite vähendamisest, võib 2030 + aastateks prognoosida nii rahvusvaheliste kaubaveoautode kui ka kodumaiste veoautode täielikku dekarboniseerimist.

Isegi pärast raudteeliinide ulatuslikku elektrifitseerimist saab Tallinn-Viljandi ainsa mitteelektrifitseeritud liini ja madalaima kasutusmääraga raudteelõike (Koidula-Valga, Valga-Koidula ja Tartu-Valga) dekarboniseerida kütuseelementide tehnoloogia abil pärast 2030. aastat, kui vesiniku hinnad ja tehnoloogiakulud kõigi eelduste kohaselt järsult langevad. Pikemas perspektiivis võib Eesti keskenduda tehnoloogia jagamisele ja ekspordile ka teistesse naaberriikidesse (nt. rasketehnika, meretransport, veoautod).

Alates 2035. aastast tulevad turule FC reisilennukid (100-200 reisija mahutavusega). Pärast 2030. aastat saab kesk- ja pikamaalende dekarboniseerida akuelektrilise ja kütuseelementide tehnoloogia kombinatsiooniga, kuna mõlemad on osa lennunduse dekarboniseerimise lahendustest. mandritevahelised lennud hakkavad endiselt toimima SAFi abil, kuid 100% SAFi talitlusvõimsuse sertifitseerimisega.

¹⁴ [Keskonnahoidlikum Transport - teabeleht, Euroopa Komisjon 2021](#)

¹⁵ [US DOE to slash cost of clean hydrogen by 80% to \\$1 this decade, M. Burgess 2021](#)

¹⁶ [DOE Technical Targets for Hydrogen Production from Electrolysis, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office 2021](#)

¹⁷ [TS32: Sõidukid ja erasõidukid, Statistikaamet 2020](#)

¹⁸ Isiklik kirjavahetus transpordi arengu ja investeeringute osakonnaga (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Eesti).

¹⁹ Puhas raskeveok: veoauto või buss, mis kasutab ühte järgmistest alternatiivsetest kütustest: vesinik, akuelektrikütus (sealhulgas pistikhübridid), maagaas (nii surumaagaas kui ka veeldatud maagaas, sealhulgas biometaan), vedelad biokütused, sünteetilised ja parafiinsed kütused, veeldatud naftagaas. (Allikas CVD)

Esimese 5 aasta jooksul, pärast 2030. aastat, võivad kütuseelemendiga elektrilised parvlaevad olla osa riigihangete tellimustest, kuna parvlaevade riigihanked on kavandatud kuni 2036. aastani. 3-e PSO1 all olevat diiselparvlaeva ei saa elektrifitseerida, kuna akupakid on liiga rasked ja veeteed liiga madalad²⁰. PSO 2 all sõidavad 4 parvlaeva (Kihnu Veeteede poolt opereeritavad parvlaevad) pikkadel liinidel, seega ei ole elektrifitseerimine neil liinidel sobiv lahendus. Kuna Tallinna Sadamal on olemas oma vesinikustrateegia, milles raames käiakse välja ideid vesinikutehnoloogial parvlaevade käitamiseks, mis ühendaks Eesti kahte suuremat saart mandriga võib nimetatud eesmärk suure tõenäosusega realiseeruda esimese 5-aastase perioodi jooksul pärast 2030. aastat.²¹

Tööstussektori eesmärgid

Ammoniaak ja metanool on kaks EL-is laialdaselt toodetavat ja tarbitavat tööstuskemikaali. Aastaks 2050 on seoses odava ja keskkonnasõbraliku vesiniku tekkimisega majanduslikult otstarbekas rajada kodumaine* ammoniaagi ja metanooli tootmisvõimekus. Ka "Eesmärk 55" pakettis on mainitud, et EL-is kehtestatakse CO₂ piirnorm ja sellest tulenevad maksud imporditud ning eksporditud toodetele²². Kasutades rohelist vesinikku roheliste/süsinikuneutraalsete toodete tootmiseks, võib Eesti saada ELi turul rohelisteks eksportijaks ja samal ajal vältida kõrgeid CO₂ hindu. Kodumaist ammoniaaki ja metanooli kavatakse pärast kohaliku nõudluse katmist ka ekspordida. Lisaks metanooli ja ammoniaagi kodumaisele tootmisvõimsusele pakub see periood tulusat võimalust laiendada e-kütuste tootmisvõimsust, kuna õhust CO₂ eraldamise hind langeb järsult ja CO₂ hind jõuab 2030. aastaks 200+ eur/t²³.

Biokütuse ja fossiilkütuse katlad toodavad 4500 GWh soojust, et rahuldada tööstussektori küttevajadusi. Kuigi eelistatud on otsene elektrifitseerimine madala ja keskmise temperatuuriga (kuni 500 kraadi) soojuse tootmiseks, on ka vesinikupõhised derivaadid (nt sünteetiline maagaas) sobilikud selle kütteviisi dekarboniseerimiseks (kui ambitsioonikas eesmärk).

**2018. aastal imporditi Eesti 5471 tonni ammoniaaki²⁴, 390 798 tonni karbamiidi ja 4810 tonni metanooli.²⁵²⁶²⁷*

Hoonesektori eesmärgid

Suurte ja keskmise suurusega koostootmisjaamade abil on võimalik kütta üksikelauid, suuri kontorihooneid ja tööstuskomplekse. Kütuseelementidega koostootmisjaamad, mille kogutõhusus on kuni 95%²⁸, võivad vähendada sõltuvust tsentraalselt toodetud energiast ja CO₂ heitkoguseid. Lisaks sellele saab mikrokoostootmisjaamasid kasutada ka lokaalsete kütteallikatena elamutes või eraldatud piirkondades, sõltuvalt sellest, kas vesiniku kasutamine on majanduslikult ja tehniliselt otstarbekas muude CO₂ neutraalsete lahenduste (nt soojuspumpade) asemel. Suurte küttekatelde puhul, kus otsene elektrifitseerimine ei ole võimalik, võib vesiniku (sealhulgas selle derivaatide) kasutamine põletamisel pakkuda head võimalust soojuse tarnimiseks ja CO₂ heite vähendamiseks, eriti seoses uuemate tehnoloogiate arengu, moderniseerimise ja lokaalselt toodetud vesiniku hinna vähenemisega.

Energiasektori eesmärgid

²⁰ Isiklik kirjavahetus transpordi arengu ja investeeringute osakonnaga (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Eesti).

²¹ [Port of Tallinn is chasing a half-billion euro investment in its hydrogen project, R. Liive 2021](#)

²² „Eesmärk 55“: ELi 2030. aasta kliimaeesmärgi saavutamine teel kliimaneutraalsuseni

²³ Otsene kirjavahetus Marek Alliksooga (CEO, SKYKORP) (lennunduseksperit)

²⁴ Vedeliku ja veevaba kogu kogus

²⁵ [Estonia Alcohols; saturated monohydric, methanol \(methyl alcohol\) imports in 2018, WITS 2018](#)

²⁶ [Estonia Ammonia; in aqueous solution imports in 2018, WITS 2018](#)

²⁷ [Estonia Fertilizers, mineral or chemical; nitrogenous, mixtures of urea and ammonium nitrate in aqueous or ammoniacal solution imports in 2018, WITS 2018](#)

²⁸ [Homeowners' Willingness To Take Up More Efficient Heating Systems, Ipsos MORI; Energy Saving Trust 2013](#)

Kuna perioodil 2030-2050 langeb vesiniku hind, üle Eesti suurenevad vesiniku tootmismahud, välja on kujunenud vesiniku tarneahel ja kasumlikud ärivõimalused on kindlaks tehtud, nähakse vesinikus olulist potentsiaali avariitoite dekarboniseerimisel.

Kütuseelementidel põhinevat avariitoidet on võimalik kasutada gaasikütel töötavate elektrijaamade (nt Kiisa elektrijaam kuni 250 MW) täielikuks kõrvaldamiseks. Lisaks võivad vesinikkütuseelementid pakkuda võrku tasakaalustavaid ja abiteenuseid.

Kavandatakse ka välja arenenud turgu võrguvälistele ja reservvõimsuse rakendustele, kus kasutatakse kütuseelemente, mis asendavad täielikult kõik fossiilsetel energiaallikatel põhinevad elektrigeneraatorid.

Ekspordi eesmärgid

Kuna Eesti on antud perioodiks osa EL-I vesiniku selgroost (EU Hydrogen Backbone), saab tulevast vesiniku ülejääki eksportida, sest kogu EL-is on välja arenenud vesiniku torustik. Lisaks toimub veeldatud vesiniku transport meretranspordi kaudu.²⁹

1.3.2 Tootmise eesmärgid

Vesiniku tootmine muutub kõigis sektorites kulupõhiselt konkurentsivõimelisemaks³⁰. Seetõttu tuleb roheline vesiniku tootmiseks ette näha elektrolüüserite välja arenenud ja laiaulatuslikku kasutuselevõttu. Eestis peaks seadma eesmärgiks, et riigis oleks olemas täiemahuline vesiniku tootmise infrastruktuur, millel on suur elektrolüüserite võimsus. Tuuleenergia kaudu võib vesinik Eestis maksta vahemikus 4,5-5,2 €/kg³¹. Aastaks 2030, kui elektrolüüserite investeerimiskulud vähenevad 50%³² võrra, tuuleenergia kulud 20% võrra³³ ja elektrolüüserite tõhusus suureneb 8% võrra³⁴, väheneb vesiniku maksumus peaaegu 2-2,5 €/kg³⁵. 2030. aastaks võib Eesti toodetud vesinik maksta umbes 1.9 €/kg. Koos CO₂ kvoodi hinna tõusuga³⁶ muutuvad 2030. aastaks vesinikupõhised sõidukid konkurentsivõimelisemaks^{37,38} ning samal ajal kujuneb roheline vesinik tööstuses konkurentsivõimelisemaks kui hall vesinik. Vesiniku kasutuselevõtt erinevates sektorites muutub majanduslikult atraktiivseks, seega võib ette näha laiaulatuslikku tarbimist erinevates sektorites. Kavandatav elektrolüüsivõimsus katab 2050. aastaks tööstuse (E-kütused, ammoniaak ja metanool), transpordi ja avariitoite³⁹. Elektrolüüserite ja spetsiaalsete taastuenergia võimsuste laiaulatuslik kasutuselevõtt ning kulude vähendamise potentsiaal 2050. aastani aitavad kaasa hästi väljakujunenud vesinikumajandusele.

²⁹ [European Hydrogen Backbone, 2020](#)

³⁰ [Path to hydrogen competitiveness A cost perspective, Hydrogen Council 2020](#)

³¹ [Eesti Vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüs, Civitta, SEI Tallinn, KBFI 2021](#)

³² Suuremahulised ja innovatiivsed energiasalvestustehnoloogiad ning optimeeritud power-to-gas kontseptsioonid

³³ [Expert elicitation survey predicts 37% to 49% declines in wind energy costs by 2050, R. Wiser et. al. 2021](#)

³⁴ [The Future of Hydrogen, IEA 2019](#)

³⁵ [Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, IRENA 2020](#)

³⁶ [The EU's Carbon Market Is About to Enter Its Turbulent 20s, Bullard N. 2021](#)

³⁷ [US DOE to slash cost of clean hydrogen by 80% to \\$1 this decade, M. Burgess 2021](#)

³⁸ [DOE Technical Targets for Hydrogen Production from Electrolysis, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office 2021](#)

³⁹ Soovitused põhinevad konsultatsioonidel, mida viidi läbi sidusrühmadega ja "Eesti vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüsist" tulenevatel modelleerimissoovitustel.

Taastuenergia saab rohelse vesiniku tootmisel olulisel määral kasutada alles peale 2030. aastat, kui tuulepargid on 7 GW ulatuses täielikult kasutusele võetud⁴⁰. Lisaks võib kasutusele võtta ka spetsiaalseid PV-elektrijaamu.

1.3.3 Ladustamise ja jaotuse eesmärgid

Tehnoloogilise arengu, mastaabisäästu, äritegevuse ja tehnoloogia õppimiskõverate paranemise (CAPEXi vähenemine aja jooksul) tulemusena on ette nähtud, et Eestis kasutatakse üha rohkem ladustamisvõimalusi, mis suudavad hoida suuri vesinikukoguseid väikemas mahutis ja pakkuda paremaid jaotusvõimalusi. Samuti pakuvad maa-alused ladustamisvõimalused koos piirkondliku koostööga energiapuudust ja hooajalist taastuenergia ladustamisvõimalust.

Pikemas perspektiivis pakub spetsiaalne vesiniku torustik odavat võimalust vesiniku suuremahuliseks transpordiks. Lisaks ühendatakse see torustik kaubandusvõimaluste uurimiseks EL-i vesiniku selgrooga.

Vesiniku kui transpordikütuse suure tarbijaturu teenindamiseks on vaja hästi ühendatud tanklavõrku⁴¹. Selleks et rahuldada kütuseelemendil sõitvate autode, busside ja veoautode vesiniku nõudlust pakuvad tanklad vesinikku erinevatel rõhutasemetel. Prognoositud hinnalanguse ja vesiniku väärtusahela arenemise tulemusena liigub praegune tanklavõrk tõenäoliselt üle vesinikule ning kasvava nõudluse rahuldamiseks rajatakse Eestis täiendavaid tanklaid.

Sarnaselt veeldatud maagaasile nähakse, et veeldatud vesinikku eksporditakse teistesse EL-i riikidesse, kus on suur vesiniku tarbimine tööstussektoris.

⁴⁰ [Arendusprojektid, Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon](#)

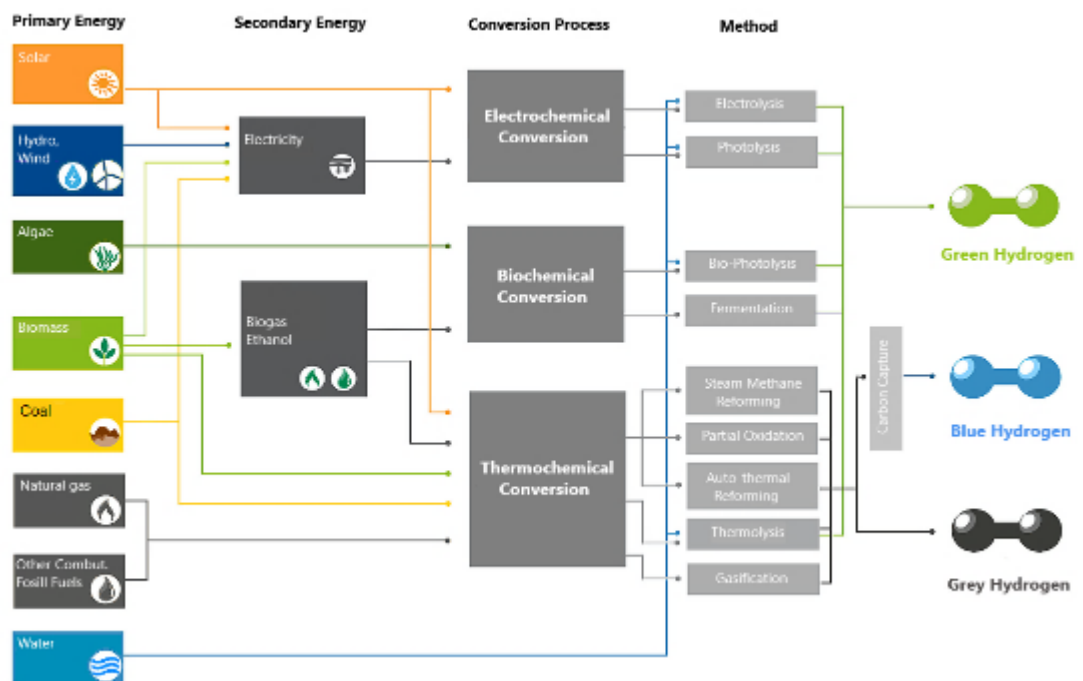
⁴¹ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

2 Vesiniku väärtusahel

Alljärgnevalt on kirjeldatud ja selgitatud erinevate kirjanduslike allikate põhjal maailmas enim levinud ja kasutusel olevaid vesinikutehnoloogiaid väärtusahela põhiselt. Kogu tsükli vesiniku tootmisest kuni tarbimiseni koos hoiustamise ja transpordiga nimetatakse vesiniku väärtusahelaks.

2.1 Tootmine

Vesiniku tootmisprotsesse on mitmeid, alates tavapära protsessidest (nt metaani aur-reformimine) kuni teadus- ja arendustegevuses olevate protsessideni (nt biofotolüüs). Joonis 1 on esitatud ülevaade vesiniku tootmistehnoloogiast, arvestades, et järgmises alapeatükis selgitatakse üksikasjalikult elektrolüüsi, mis on praegu ELis ja kogu maailmas kõige levinum vesiniku tootmisprotsess.



Joonis 1 Vesiniku tootmisprotsessid (kohandatud Shell Hydrogen Study'st)⁴²

Rohelise vesiniku tootmiseks kõige laialtlevitatavalt kasutatav tehnoloogia on taastuval elektrienergial (nt tuule-, hüdro- või päikeseenergia) põhinev elektrolüüs⁴³. Elektrolüüserite toimimine sõltub nende konkreetsest tüübist.

Erinevus tuleneb peamiselt erinevatest elektrolüütidest. Elektrolüüserid võib liigitada kolme järgmise kategooriasse:

- PEM elektrolüüserid
- Leeliselektrolüüserid
- Tahkeksiidelektrolüüserid

⁴² [Shell hydrogen study, 2017](#)

⁴³ [Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis – a review, Bhandari, R. et. al. 2014](#)

PEM-elektrolüüserid töötavad polümeermembraaniga, mis toimib elektrolüüdina, samas kui leeliselektrolüüserites kasutatakse vedelat lahust (tavaliselt KOH ehk kaaliumhüdroksaat) ja tahkeoksiidelektrolüüserites kasutatakse elektrolüüdina tahket keraamilist materjali.

2.2 Ladustamine ja jaotus

Vesiniku ladustamine ja jaotus on vesinikupõhises energiamajanduses ülimalt oluline. Vesiniku ladustamise tehnoloogiad mängivad olulist rolli vesinikuenergia kasutuselevõtmisel ja vesiniku müügihinna alandamisel. Praegu ladustatakse vesinikku gaasilisel või vedelal kujul spetsiaalsetes väikesemahulistes balloonides ja enamik vesinikust kasutatakse kohapeal, kus vesinikku toodeti. VesinikuenergiALE üleminekuks oleks tarnekindluse tagamiseks vaja suuremat ja mitmekesisemat vesinikuhoidlate võrgustikku, isegi kui kohapeal ei ole võimalik toota piisavalt vesinikku. Erinevates olukordades on vaja erinevaid tehnoloogiaid, näiteks võib olla vaja vaid mõne tunni pikkust ladustamist, kui vesinikku transporditakse edasi; paakvõrkudes võib olla vaja paari tunni kuni ühe päeva pikkust ladustamist, kuid pikemaajaline ladustamine, mis ulatub mõnest päevast kuni nädalateni, tagaks varustuskindluse. Sobivaima vesiniku ladustamise võimaluse valik sõltub ladustatavast kogusest, ladustamise ajast, väljavõtte kiirusest ja geograafilistest võimalustest erinevate ladustamisvõimaluste kasutamiseks. Üldiselt sobivad geoloogilised võimalused suuremahuliseks ja pikaajaliseks ladustamiseks, samas kui gaasilise või vedela vesiniku balloonid sobivad väikesemahuliseks ja lühiajaliseks ladustamiseks⁴⁴

Vesinikku võib ladustada füüsiliselt või keemiliselt. Vesiniku ladustamine gaasina nõuab tavaliselt kõrgsurve mahuteid (350-700 baari [5000-10 000 psi] mahuti rõhk). Vesiniku ladustamine vedelikuna nõuab negatiivset temperatuuri, sest vesiniku keemistemperatuur ühe atmosfääri rõhul on -252,8 °C⁴⁵. Keemiliste ühenditena võib vesinikku ladustada vedelates orgaanilistes vesinikukandjates (LOHC) või mitmesuguste keemiliste ühenditena. Teine keemiline ladustamisviis on vesiniku ladustamine tahke aine pinnale adsorbeerumise teel, kasutades ära van der Waalsi jõudusid vesiniku molekuli ja suure pinnaga materjali vahel.⁴⁶ Adsorptsiooniks sobivad mitmed materjalid, näiteks poorsed süsinikupõhised materjalid, metallorgaanilised raamistikud (MOF) ja tseoliidid. Vesiniku väiksemahulise ladustamise (kuni paar MWh) puhul saab kasutada rõhu all olevaid anu⁴⁷maid või tahkeid metallhüבריide, lisaks saavad nanotorud ladustada vesinikku väga suure tihedusega. Vesinikku saab väga suurtes kogustes ladustada maa-alustes soolakoobastes, mille maht võib olla kuni 500 000 kuupmeetrit 200 baari juures, mis on ligikaudu 100 GWh salvestatud elektrienergiat⁴⁸. Joonis 2 on näidatud vesiniku salvestamise tehnoloogiate valmidusastmed.

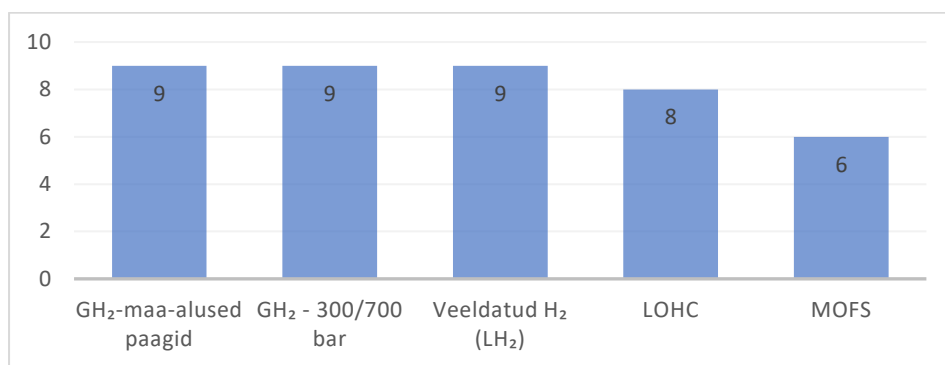
⁴⁴ [The Future of Hydrogen, IEA 2019](#)

⁴⁵ [Hydrogen Storage](#)

⁴⁶ [Physisorption, Diffusion, and Chemisorption Pathways of H₂ Molecule on Graphene and on \(2,2\) Carbon Nanotube by First Principles Calculations, Costanzo F. et. al. 2012](#)

⁴⁷ [Is the H₂ Economy Realizable in the Foreseeable Future? Part II: H₂ Storage, Transportation, and Distribution, Nazir H. 2020](#)

⁴⁸ [How Hydrogen Energy Storage Works](#)



Joonis 2 Vesiniku ladustamisviiside tehnoloogia valmidusastmed.⁴⁹

2.2.1 Gaasilise vesiniku ladustamine kõrge rõhu all olevates mahutites

Materjali omaduste ja tegevuskulude tõttu ei ladustata suuri koguseid gaasilist vesinikku tavaliselt maapealsetes mahutites rõhu all, mis ületab 100 baari ja maa-alustes hoidlates üle 200 baari. Kuna ladustamisrõhk on piiratud, siis on ka saavutatav vesiniku ladustamise tihedus piiratud: 100 baari ja 20°C juures on vesinikgaasi tihedus ligikaudu 7,8 kg/m³. Madal vesiniku tihedus toob kaasa suured erimahud ja seega suured investeerimiskulud. Madalam rõhk nõuab vähem survetööd ja seega väiksemaid tegevuskulusid. Esimesed kaubanduslikult kättesaadavaks tehtud FCVd on kasutanud 700 baarilist rõhku, kuid sobilikud mahutid sellise rõhu all vesiniku ladustamiseks on kallid, sest vajavad täiustatud mahutimaterjale, nt süsinikkiudu. Seetõttu ei peeta selliseid mahuteid elujõuliseks suurte statsionaarsete rakenduste puhul. Survestatud vesiniku ladustamine võib toimuda kas maapinnal või maa-all. Investeeringukulud on suuremates mõõtkavades maapealse ladustamise puhul oluliselt suuremad, nagu ka üldiselt gaaside ladustamise puhul, ja seetõttu ei eelistata neid tavaliselt.⁵⁰

2.2.2 Maa-alune gaasilise vesiniku ladustamine

Idee gaasi ladustamiseks maa-alustes geoloogilistes moodustistes tekkis vajadusest varustada tarbijaid gaasiga suure hooajalise nõudluse ajal. Praegu kasutatakse paljudes piirkondades kogu maailmas sobivaid geoloogilisi moodustisi maagaasi maa-aluseks ladustamiseks. Erinevalt pinnalähedastest gaasimahutitest võimaldavad maa-alused hoidlad saavutada palju suuremaid mahtusid ja rõhku. Maa-aluse ladustamise muud eelised on väike maakasutus vajadus ja suurem turvalisus välismõjude vastu. Maa-alune gaasihoidla võimaldab gaasi sisse- ja väljavoolu hooajalise ja tippnõudluse ajal. Ladustamise võimalused sõltuvad üldiselt piirkondlikust geoloogilisest ehitusest ja tegevusvajadustest. Maagaasi maa-alustest hoidlatüüpidest on tänapäeval kõige enam levinud ammendatud gaasi/õli reservuaarid, põhjaveekihid ja soolakoopad. Muud maa-alused hoidlad, nagu mahajäetud kaevandused ja vooderdatud kaljukoopad, ei ole maailma mastaabis väga olulised.⁵¹

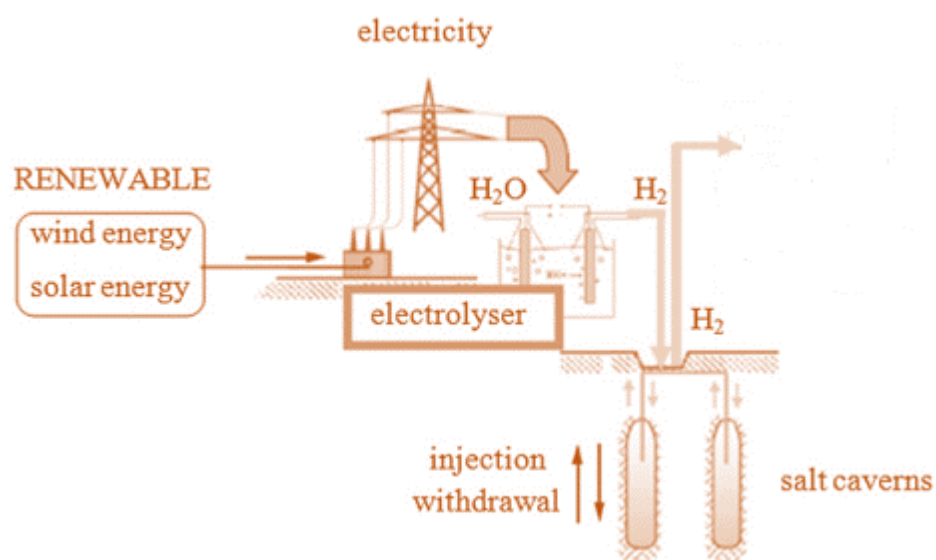
Igal maa-alusel gaasi hoidlatüübil on omad füüsikalised omadused ja majanduslikud näitajad (asukoha ettevalmistus, maht, nõuded, tarnekiirused, tsükli võime, hoolduskulud jne), mis määravad selle sobivuse konkreetseteks rakendusteks. Kaks kõige olulisemat omadust maa-aluste

⁴⁹ [Eesti Vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüs, Civitta, SEI Tallinn, KBFI 2021](#)

⁵⁰ [Large-scale storage of hydrogen, Andersson, J.; Grönkvist, S. 2019](#)

⁵¹ [Large-scale hydrogen energy storage in salt caverns, Ozarslan A. 2012](#)

gaasihoidlate puhul on nende gaasi ladustamise võimsus hilisema kasutuse tarbeks ja gaasitarnimise kiirus. Baasgaasi (*inglise k. cushion gas*)⁵² maht on määratletud kui gaasimaht, mis on vajalik hoidlas reservuaari haldamiseks ja piisava minimaalse hoidlarõhu säilitamiseks, et täita töögaasi tarne mahtu. Soolakoobastes on rõhu all olev baasgaas vajalik ka stabiilsuse tagamiseks. Töögaasi (*inglise k. working gas*) maht on gaas, mis on hoidlas üle kavandatud baasgaasi mahu, mida saab välja võtta või sisestada maa-aluste ja pinnalähedaste seadmetega, mis vastavad õiguslikele ja tehnilistele piirangutele.⁵³ Joonis 3 on näidatud soolakoopaga ühendatud vesiniku tootmissüsteemi skeem.



Joonis 3 Vesiniku tootmiseks ja gaasi ladustamiseks kasutatava soolakoobastesse ehitatud rajatiste skemaatiline vaade⁵⁴

2.2.3 Veeldatud vesiniku ladustamine

Veeldatud vesinik (LH₂) on suurema energiatihedusega kui gaasiline vesinik, kuid selleks on vaja vesinikku veeldada väga madalatel temperatuuridel (-235 °C atmosfäärirõhul), mis nõuab palju rohkem energiat kui selle survestamine või ladustamine keemilise ühendina. Veeldamise eeliseks on see, et juba atmosfäärirõhu juures on võimalik saavutada väga kõrge vesiniku salvestustihedus: küllastunud vedela vesiniku tihedus 1 bar juures on 70 kg/m³. Vedelat vesinikku on hinnatud peamiselt vesiniku jaotuskeskkonnana, kus selle suur tihedus on oluline eelis. Vedela vesiniku ladustamise peamine probleem on energiamahukas veeldamisprotsess. Vesiniku veeldamine (jahutamine) nõuab umbes 30% algsest energiast, samas kui vesiniku survestamine 1 baarist 350-700 baarini nõuab umbes 9-12% energiast. Vesinikuhoiuld peavad olema soojusisolatsiooniga, et vältida soojuse ülekandumist veeldatud vesinikule juhtivuse, konvektsiooni või kiirguse teel, mis võib põhjustada H₂ aurustumist. Vesiniku veeldamine on üsna hästi juurdunud: maailmas on

⁵² Gaasimaht, mis on ette nähtud alaliseks varuks säilitusmahutis, et säilitada piisav rõhk ja tarnitavus kogu ärajätmisshooajal, inglise keeles cushion gas.

⁵³ [Large-scale hydrogen energy storage in salt caverns, Ozarslan A. 2012](#)

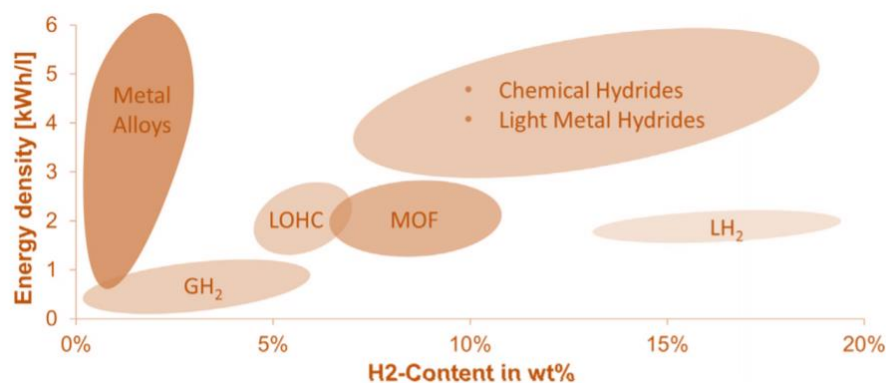
⁵⁴ [Large-scale hydrogen energy storage in salt caverns, Ozarslan A. 2012](#)

vesiniku veeldamise võimsus umbes 355 tonni päevas (tpd); suurim praegu töötav tehas on võimsusega 34 tonni päevas. Isegi kui veeldamise erienergiavajadust on võimalik oluliselt vähendada, moodustavad veeldamisseadme kapitalikulud siiski olulise osa veeldamise kogukuludest ka suuremate seadmete puhul. Näiteks on hinnatud, et kapitalinvesteeringud moodustavad umbes 40-50% uue 100-tonnise veeldamisjaama spetsiifilistest veeldamiskuludest.⁵⁵⁵⁶

Pärast vesiniku veeldamist on oluline, et seda saaks ladustada nii, et aurustumine oleks võimalikult väike. Vedela vesiniku aurustumine ei tähenda ainult vesiniku veeldamiseks kulutatud energia kaotust, vaid ka vesiniku kaotust, kuna aurustunud gaas tuleb surve kogunemise tõttu säilitamisanumates õhku lasta. Seda ladustatud vesiniku kadumist aja jooksul nimetatakse iseeneslikuks aurustumiseks ja seda väljendatakse sageli ladustatud vesiniku kadumise protsendina päevas(boil-off rate). Soojusülekanne ümbritseva keskkonna ja ladustatud vedela vesiniku vahel ehk aurustumise määra vähendatakse mahutite pindala ja ruumala suhte vähendamisega, muutes need sfääriliseks ja kasutades täiustatud isolatsiooni, mis minimeeribsoojusülekanne läbi mahuti seinte.⁵⁷

2.2.4 Vedelate orgaaniliste süsivesinike (LOHC) ladustamine

Vedelad orgaanilised vesinikukandjad (LOHC) on vedelad õlid, mis suudavad keemiliselt säilitada vesinikku suure ladustamistihedusega (Joonis 4) ümbritsevates tingimustes. LOHC-õli (nt dibensüül-tolueen) võimaldab suure võimsusega vesiniku ladustamist ja transportimist olemasolevas fossiilsete kütuste infrastruktuuris. LOHC-õli on raskesti süttiv ja mitteplahvatusohtlik, mis välistab vesiniku ulatusliku ladustamise ohu. Vesiniku pikaajaline säilitamine on võimalik vedela orgaanilise vesinikukandja (LOHC) abil, mis põhineb kaheastmelisel tsüklil: (1) vesiniku laadimine (hüdrokeenimine) LOHC-molekuli (st vesinik on seotud LOHC-ga) ja (2) vesiniku mahalaadimine (dehüdrokeenimine), kui seda on vaja ladustamiskohast välja saata.⁵⁸



Joonis 4 Erinevate vesiniku säilitamise tehnoloogiate võrdlus.⁵⁹

⁵⁵ [Large-scale storage of hydrogen, Andersson, J.; Grönkvist, S. 2019](#)

⁵⁶ [Industrial Perspective on Hydrogen Purification, Compression, Storage, and Distribution, Peschel, A. 2020](#)

⁵⁷ [Large-scale storage of hydrogen, Andersson, J.; Grönkvist, S. 2019](#)

⁵⁸ [Hydrogen Infrastructure Solutions](#)

⁵⁹ [Seasonal storage and alternative carriers: A flexible hydrogen supply, Reuß, M. et. al. 2017](#)

2.2.5 Vesiniku jaotus

Vesinikku on lihtne transportida nii lühikeste kui ka pikkade vahemaade taha ja seda saab transportida erinevates olekutes. Praegu kasutatakse peamiselt gaasilise või vedela vesiniku transporti veoautodega ja gaasilise vesiniku transporti torustiku kaudu. Kõige levinumad vesiniku jaotusvahendid, mis katavad erinevate vesinikuturgude vajadusi, on järgmised:

2.2.6 Surugaasiballoonid või krüogeense vedeliku paakautod

Vesiniku maantee- ja raudteetranspordi puhul võib kasutada surugaasiballoone, mis on ligikaudu 2000 l mahutavusega ja rõhuga umbes 180-250 baari (Joonis 5), või paakonteinereid (spetsiaalsed vedela vesiniku transpordikonteinerid), mis on 20 000-50 000 l mahutavusega, 6-10 baariga ja väga madalatel temperatuuridel (-252,8 °C). Sõiduaja jooksul krüogeenne vesinik soojeneb, mis põhjustab rõhu tõusu mahutis.⁶⁰



Joonis 5 Kõrgrõhu all olevad vesinikutoru haagised.⁶¹

2.2.7 Torustikud

Vesiniku suuremahuliseks jaotuseks oleks kõige konkurentsivõimelisem torustikuvõrk. Vesiniku jaotamine olemasolevate maagaasivõrkude kaudu võib olla potentsiaalne odav võimalus. Teisest küljest nõuavad spetsiaalsed vesinikutorustikud suuri alginvesteeringuid, mis võivad ennast ära tasuda, kuid ainult piisavalt suurte vesinikukoguste korral. Selleks, et muuta praegused maagaasitorustikud vesinikutorustikeks, tuleb vastata järgmistele tehnilistele küsimustele.⁶²

- Torustike valmistamiseks kasutatud terase ja keevisõmbluste vesinikuhooldumine.
- Vesiniku läbi imbumine ja lekked
- Usaldusväärsem ja vastupidavam vesiniku surveelamise tehnoloogia.

Võimalike lahenduste hulka kuulub kiududega tugevdatud polümeerist torustike kasutamine vesiniku jaotamiseks. Kiududega tugevdatud polümeerist torustikke on võimalik saada terasest palju pikemate sektsioonidena, mis vähendab seega keevitusnõudeid. Seetõttu on taoliste torustike paigalduskulud umbes 20% väiksemad kui terastorustike puhul.⁶³

2.3 Tarbimine

Vesinikku kasutatakse praegu peamiselt kahel viisil: 1) erinevates tööstuslikes protsessides, näiteks ammoniaagi tootmiseks, metallitööstuses või 2) kütusena kütuseelementides, et toota elektrit ja

⁶⁰ [Hydrogen transport and distribution](#)

⁶¹ [HyGear expands its Hydrogen Trailer fleet in Europe](#)

⁶² [Hydrogen pipelines](#)

⁶³ [Hydrogen pipelines](#)

soojust⁶⁴⁶⁵⁶⁶. Vähesel määral on vesinik rakendust leidnud ka fossiilset päritolu kütuste lisandina sise põlemismootorite efektiivsuse tõstmiseks⁶⁷. Vesiniku kasutamisel kütuseelementides muundatakse keemiline energia aga otse elektriiks ja soojuseks ning kui kütusena kasutada vesinikku, siis ainus jääkprodukt on veeaur, seega on tegemist potentsiaalselt süsinikuneutraalse tehnoloogiaga⁶⁸⁶⁹. Võrreldes sise põlemismootoriga on kütuseelemendid efektiivsemad, vaiksemad, vähese keskkonnamõjuga ning üksikuid elemente omavahel ühendades on neid võimalik eskaleerida mõnest vatist kuni mitmesaja megavatini. Harilik kütuseelement koosneb bipolaarsest plaadist, elektroodidest, katalüsaatorist, membraanist, gaasi difusioonikihist ja vajalikust riistvarast nagu voolukollektorid, tihendid.⁷⁰

2.3.1 Transpordisektor

Nagu eelnevalt kirjeldatud, siis on vesinikku võimalik kasutada kütusena kütuseelementides, mida saab rakendada transpordisektoris sise põlemismootorite alternatiivina. Kütuseelementidel põhinevad autod ei ole siiani leidnud laialdast kasutust eelkõige vesinikutanklate puudumise tõttu. Üle maailma sõitis 2019. aastal umbes 25 000 vesiniksõiduautot, kuid lähitulevikus prognoositakse kiiret kasvu, eriti Jaapanis ja Lõuna-Koreas. Seevastu kiiremat arengut prognoositakse raskeveokite, raudtee, laevanduse ja lennunduse valdkonnas, kuna praegu kasutusel olevad akutehnoloogiad ei ole kas suure massi tõttu või muudel põhjustel lihtsalt rakendatavad⁷¹. Samuti on võimalik vesinikku laialdaselt rakendada keemia- ja metallitööstuses, kuid probleemne koht on väikese süsinikujalajäljega vesiniku hind.⁷²

Praegu on suurim takistus vesiniksõidukite kasutamisele tanklavõrgustiku puudumine, sest pole võimalik kasutada olemasolevat võrgustikku ning tuleb ehitada uusi vesiniku tankimiseks mõeldud jaamu. Uus tankimisvõrgustik hõlmab vesiniku tootmise, salvestamise ja laialivedamise taristut. Akusõidukite puhul ei ole see nii suur takistus, sest laadijad on odavamad ning sõidukeid on võimalik laadida ka tavaelektrivõrgust.

Näited vesinikukasutusest transpordisektoris:

- Kosmoselennud - veeldatud vesinikku on pikka aega kasutatud raketikütusena. Näiteks NASA on kasutanud vesinikku raketikütusena Centaur, Apollo jt kosmosesüstikutes meeskonna ja kauba kosmosesse toimetamiseks. Koos veeldatud hapnikuga on see suurima efektiivsusega teadaolev raketikütus.⁷³⁷⁴
- Lennuduses - vesinikkütust on kasutatud lennukite generaatorites lennuki pardasüsteemide vajaduste katmiseks sarnaselt kosmoserakettidele. Airbus arendab hetkel nullemissioonidega kommertslennukit, mis peaks valmima aastaks 2035.⁷⁵

⁶⁴ [Hydrogen: A Renewable Energy Perspective, IRENA 2019](#)

⁶⁵ [Path to hydrogen competitiveness A cost perspective, Hydrogen Council 2020](#)

⁶⁶ [Shell hydrogen study, 2017](#)

⁶⁷ [Progress in hydrogen enriched compressed natural gas \(HCNG\) internal combustion engines - A comprehensive review, Mehra R.K. et. al. 2017](#)

⁶⁸ [Fuel cell application in the automotive industry and future perspective Olabi, A. G. et. al. 2021](#)

⁶⁹ [Development of a Novel Technological Readiness Assessment Tool for Fuel Cell Technology, Petrovic S. 2020](#)

⁷⁰ [Materials, technological status, and fundamentals of PEM fuel cells – A review, Y. Wang et. al. 2020](#)

⁷¹ [The Future of Hydrogen, IEA 2019](#)

⁷² [National Hydrogen Roadmap for Finland, 2020](#)

⁷³ [Space Applications of Hydrogen and Fuel Cells, 2021](#)

⁷⁴ [Liquid Hydrogen--the Fuel of Choice for Space Exploration, 2010](#)

⁷⁵ [Hydrogen - An important pathway to our zero-emission ambition, 2021](#)

- Merendus - allveelaevades on juba aastakümneid kasutatud elektrolüüsereid hapniku tootmiseks, näiteks Saksamaal arendatakse allveelaevu, mis kasutavad PEM-kütuseelemente ja metallhüdroid-salvestussüsteeme⁷⁶. Viimastel aastatel on hoogustunud vesinikul töötavate parv- ja väikelaevade arendustöö ning ehitus⁷⁷⁷⁸ Esimesed katsevesiniklaevad on juba merel liiklemas, kuid suuremahuliselt ei ole neid veel töös, kuigi tehnoloogiad on kaubanduslikult kättesaadavad.
- Raudteetransport - praegu on välja töötatud ja katsetatud kaht tüüpi kütuseelemendiga raudteesõidukeid: manöövervedureid kaubaveoks ja kohalikke liinironge reisijateveoks. Hiinas on välja arendatud ka kütuseelemendil põhinev tramm ning see on kasutusel Qingdao linnas⁷⁹. Esimene vesinikul töötav tramm on testimisse suunatud ka Lõuna-Koreas⁸⁰. Maailma esimene kütuseelemendil põhinev rong, Alstomi toodetud Coradia iLint, võeti esmakordselt avalikku kasutusse 2018. aastal Saksamaal. Rongi energiavarustuse tagamiseks kasutatakse nii kütuseelemente kui liitiumioonakusid⁸¹. Lisaks on Ühendkuningriigis Birminghami raudteeuuringute ja -hariduse keskus koos ettevõttega Porterbrook välja töötanud projekti nimega HydroFLEX, mille esimene edukas testimine raudtee pealiinil toimus 2020. aasta septembris.⁸²
- Laadimistehnika - 2018. aastal oli Ameerika Ühendriikides kasutusel umbes 20 000 ja Euroopas umbes 140 kütuseelemendil põhinevat materjalikäitlussõidukit ja Jaapanis väike arv prototüüpe⁸³⁸⁴ 2019. aastal esitles Toyota uut PEM-kütuseelemendiga tõstukit⁸⁵
- Bussid - bussid on vesiniku ja kütuseelementide kasutamisega seoses kõige rohkem testitud transpordivahend⁸⁶. Tänapäevastel kütuseelementidel põhinevatel bussidel on kaks kütuseelementide paketti ning veojõuaku, mis kasutab ära pidurdusenergiat. Lisaks on bussides 350 baarise rõhu all olevad surugaasimahutid, kus hoiustatakse 30–50 kg kokku surutud vesinikku⁸⁷. Aastal 2020 sõitis Euroopas ringi umbes 150 vesinikbussi, kuid aastaks 2025 plaanitakse rohkem kui 1000 busi lisandumist liiklusesse⁸⁸. Vesinikbusside suur eelis on nende pikaalisus, näiteks 2021. aastaks olid Londoni bussid sõitnud enam kui 30 000 tundi ning Californias rohkem kui 32 000 tundi⁸⁹⁹⁰
- Raskeveokid -Hyundai tarnis 2020. aasta oktoobris Šveitsi esimesed seitse vesinikveokit ja plaanib 2030. aastaks sinna tarnida kokku 1600 vesinikveokit, mis kasutavad energiaallikana kütuseelemente ja akupatareisisid ning hoiustavad korraka seitset

⁷⁶ [Shell hydrogen study, 2017](#)

⁷⁷ [Denmark and Norway team up to build world's largest hydrogen ferry, Morgan S. 2021](#)

⁷⁸ [Nation's first hydrogen fuel cell ferry to transport commuters across San Francisco Bay in early 2020, 2019](#)

⁷⁹ [Shell hydrogen study, 2017](#)

⁸⁰ [Hyundai Rotem Takes the Wraps Off Korea's First Hydrogen Tram Concept Car, Herh M. 2021](#)

⁸¹ [Coradia iLint™ – the world's 1st hydrogen powered train, Alstrom 2021](#)

⁸² [Rail decarbonisation, University of Birmingham 2021](#)

⁸³ [Shell hydrogen study, 2017](#)

⁸⁴ [There Are Now More Than 20,000 Hydrogen Fuel Cell Forklifts in Use Across the United States, U.S. Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program 2018](#)

⁸⁵ [HYDROGEN FUEL CELL FORKLIFTS: AN ALTERNATIVE ENERGY SOLUTION, 2019](#)

⁸⁶ [Developing Hydrogen for the French Economy A Prospective study, AFHYPAC 2018](#)

⁸⁷ [Shell hydrogen study, 2017](#)

⁸⁸ [Fuel cell bus projects in the spotlight: fleets, manufacturers, trends, 2021](#)

⁸⁹ [The Second Coming of Hydrogen? London's hydrogen buses, 2021](#)

⁹⁰ [Fuel Cell Electric Buses Enable 100% Zero Emission Bus Procurement by 2029, California Fuel Cell Partnership 2019](#)

vesinikumahutit⁹¹. 2020. aastal sõlmisid suurimad raskeveokite tootjad kokkuleppe, et aastaks 2030 sõidab Euroopa teedel umbes 80 000 vesinikrasveokit⁹².

- Mootorrattad - siiani on tehtud ainult mõned kütuseelementidega mootorrattaste prototüübid. Vesinikkütusega mootorrattastel on elektrimootorrattastega võrreldes suurem sõiduulatus, kuid need on kallid ja vesiniku infrastruktuur on alles arengujärgus.^{93 94}
- Sõiduautod - funktsionaalseid vesinikkütusega sõidukeid pakub juba mitu autotootjat nagu Toyota, Hyundai ja Honda, kuid ka paljud teised autotootjad on enda vesinikuautosid arendamas. Kõik kütuseelementidega sõiduautod on praegu varustatud PEM-kütuseelementidega ning nende sõiduulatus on ligikaudu 500–700 km. Tavaliselt hoitakse vesiniku survepaakides 700 bar juures, mis võimaldab autodel tankida korraga 4–7 kg vesiniku. Üks esimesi kommertskasutuseks välja töötatud kütuseelemendiga elektrisõidukeid oli Toyota Mirai. See auto kasutab nii kütuseelemente kui ka metallhüdroidakusid ja autos hoiustatakse korraga kolme vesinikupaaki. Uue vesinikuauto hind on umbes 60 000 eurot, kuid need on pikalt hooldusvabad, kuna puuduvad kiiresti kuluvad liikuvad osad nagu sisevälisõidumootoriga autodel. Lisaks eelnevalt nimetatutele arendatakse ka vesinikul põhinevaid mopeede, jalgrattaid, väikeseid paate, skuttreid, droone ja teisi transpordivahendeid.⁹⁵⁹⁶⁹⁷

2.3.2 Energiasektor

Vesinikuboilerid on hea alternatiiv maagaasipõhistele küttesüsteemidele, kuna suuresti on võimalik kasutada olemasolevat infrastruktuuri alates boileritest ning lõpetades gaasitorustikega, mis tuleks siiski ümber ehitada puhta vesiniku kasutamiseks. Lisaks puhta vesiniku kasutamisele on võimalik praegustes boilerites tarvitada kuni 20% vesinikusisaldusega maagaasi. Praeguseks on mitmed ettevõtted juba suutnud luua töötavaid vesinikuboileri prototüüpe, näiteks Giacomini Group, BDR Thermea Group, Worchester Bosch .

Elektri ja soojuse koostootmisjaam (CHP) on väikse süsinikuheitmega seadeldis, mis põhineb kütuseelementitehnoloogial. Kütuseelement toodab elektrit ning üleliigne soojus kasutatakse ära vee ja ruumide kütmiseks nii elu- kui ka ärihoonetes. Süsteemid on lihtsasti skaleeritavad, alates mikro-CHP-dest, mis on kuni 50 kW võimsusega ning mõeldud kodumajapidamistele, kuni suurte CHP-denid, mida oleks võimalik kasutada tööstuses. Jaapanis on juba paigaldatud 300 000 kütuseelementide CHP süsteemi ning Ameerika Ühendriigid ja Korea on alustanud 1 MW projekte. Praegu on kütuselemendipõhise mikro-CHP hind 10 000 €/kW ning aastaks 2020 on Euroopas paigaldatud vähem kui 2000 süsteemi. Järgmised 2500 plaanitakse paigaldada 2021. aasta jooksul.⁹⁸

Mobiilsetes elektrigeneraatorites kasutatakse kütuseelemente, et toota vesinikust elektrit. Sellistel generaatoritel on potentsiaalselt palju rakendusi, mis nõuavad võrguvälist elektrienergiat.

⁹¹ [XCIENT Fuel Cell, Hyundai 2021](#)

⁹² [Europe's truck giants to ditch diesel, as hydrogen's benefits come to fore, 2021](#)

⁹³ [Shell hydrogen study, 2017](#)

⁹⁴ [Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities, FCH 2017](#)

⁹⁵ [Hydrogen Cars - 2021 UK Guide to Fuel Cell Vehicles, 2021](#)

⁹⁶ [2021 MIRAI, Toyota](#)

⁹⁷ [Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities, FCH 2017](#)

⁹⁸ [SRIA Clean Hydrogen for Europe, Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research 2020](#)

Vesinikkütuseelement-generaatoritega saaks asendada diisielektrigeneraatoreid kohtades, kus on vaja kontrollitud, müra- ning muude heidete vaba elektritootmist, näiteks ehitussektoris või väliüritustel. Taolised generaatorid aitaks vähendada süsiniku- ja helireostust. Kütuseelementidel töötavad elektrigeneraatorid võiksid rakendust leida ka kriitilise elutähtsusega infrastruktuuride (mobiilside mastid, haiglad jne) toite- või tagavaratoiteallikatena. Selline lahendus on olemas juba ettevõtetel BOC, PowerUP Energy Technologies OÜ ja Intelligent Energy.⁹⁹

2.3.3 Tööstus

Vesinikku kasutatakse paljudes tööstuslikes tootmisprotsessides, näiteks toormaterjalina, et toota ammoniaaki, mida kasutatakse väetiste valmistamisel. Lisaks kasutatakse vesinikku metanooli tootmise lähteainena; redutseerijana metalli töötlemisel, rafineerimistehastes vaheproduktide töötlemisel, redutseerijana akn klaaside tootmisel, vesinikperoksiidi ja vesinikkloriidhappe tootmisel. 55% toodetud vesinikust kasutatakse praegu ammoniaagi tootmiseks Haber-Boschi meetodi abil. 90% sünteesisitud ammoniaagist tehakse väetisi, aga osaliselt kasutatakse seda ka külmutusseadmetes. Suuruselt teine vesiniku kasutusvaldkond on naftarafineerimistehastes toornaftast väävli eraldamisel¹⁰⁰. Lisaks kasutatakse vesinikku metanooli tootmiseks (u 10% kogu vesinikust), mida saab kasutada sisepõlemismootorites, PEMFC või otseselt metanoolkütuseelementides kütusena. Terase ja raua tootmisel kasutatakse vesinikku rauamaagi redutseerimiseks. Vesiniku kasutamine on energiaefektiivsem kui traditsiooniline metallurgia kõrgahju meetod. Taoline vesiniku kasutamine on siiski hetkel veel pilootprojektide etapis nagu HyBrit (UK) ja H2FUTURE (Austria).

Kogu maailmas toodetud vesinikust 90% on kasutusel ammoniaagi ja metanooli tootmisel ning nafta rafineerimisel, enamik tarbitavast vesinikust on hall vesinik, mistõttu rohelise või isegi sinise vesiniku kasutamine aitaks tööstussektorit dekarboniseerida ning kiirendaks ka teiste vesinikutehnoloogiate kasutuselevõttu.¹⁰¹

2.4 Vesiniku tootmistehnoloogiate valmisoleku tase (TVT)

Kuigi taastuval elektrienergial põhinev elektrolüüs on praegu kõige enam levinud tehnoloogia rohelise vesiniku tootmiseks, on siiski oluline võrrelda selle tehnoloogia valmisoleku taset ka teiste kaubanduslikult kättesaadavate ja teadus- ja arendustegevuses olevate tehnoloogiatega. Alljärgnevas Tabel 1 on esitatud elektrolüüseri tehnoloogilise valmisoleku tase (*inglise kl. technology readiness level ehk TRL eesti keeles TVT*) koos erinevate energiaallikatega ja ning võrreldud neid teiste konkureerivate tehnoloogiatega. Detailsema ülevaate leiab Eesti Vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüsist.¹⁰²

Tabel 1 Vesiniku tootmisviiside tehnoloogilise valmisoleku tasemed (TVT)¹⁰³

Number	Tehnoloogia nimetus	Lühend	TVT
1	Metaani aur-reformimine	SMR	9

⁹⁹ [Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities, FCH 2017](#)

¹⁰⁰ [The Future of Hydrogen, IEA 2019](#)

¹⁰¹ [Hydrogen - Industry as Catalyst, World Energy Council Netherlands 2018](#)

¹⁰² [Eesti Vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüs, Civitta, SEI Tallinn, KBFI 2021](#)

¹⁰³ [Uncovering the true cost of hydrogen production routes using life cycle monetisation, Qahtani, A.A. et. al. 2021](#)

2	Metaani aur-reformimine koos CCS-ga	SMR + CCS	7 – 8
3	Sõe gaasistamine	CG	9
4	Sõe gaasistamine koos CO ₂ kogumise ja säilitamisega	CG + CCS	6 – 7
5	Metaani pürolüüs	CH ₄ pürolüüs	3 – 5
6	Biomassi gaasistamine	BG	5 – 6
7	Biomassi gaasistamine koos CO ₂ kogumise ja säilitamisega	BG + CCS	3 – 5
8	Tuuleenergia elektrolüüs	Tuul	9
9	Päikeseenergia elektrolüüs	PV	9
10	Tuumaenergia elektrolüüs	Tuumaenergia	9

3 Euroopa liit ja vesinik

Euroopa rohelse kokkuleppe raames on EL seadnud endale siduvaks eesmärgiks saavutada 2050. aastaks kliimaneutraalsus, millest kõik liikmesriigid peavad kinni pidama. See eeldab, et praegused kasvuhooonegaaside heitkoguste tasemed vähenevad oluliselt järgmistel aastakümnetel. Vahepealse sammuna kliimaneutraalsuse suunas on EL suurendanud oma 2030. aasta kliimaeesmärke, kohustades vähendama heitkoguseid 2030. aastaks vähemalt 55% võrra. EL töötab oma kliima-, energia- ja transpordialaste õigusaktide läbivaatamisel äsja (14. juulil 2021) avaldatud nn "Eesmärk 55 paketi" raames., et viia praegused õigusaktid vastavusse 2030. ja 2050. aasta eesmärkidega. Läbivaatamine tähendab, et kõik liikmesriigid peavad oma riiklikud tegevuskavad kohandama vastavalt sellele, et 2030. aastaks oleks võimalik täita ambitsioonikamaid eesmärke. Pakett "Eesmärk 55" koosneb mitmest omavahel seotud ettepanekust, mis kõik püüavad saavutada sama eesmärki - tagada õiglane, konkurentsivõimeline ja keskkonnahoidlik üleminek aastaks 2030 ja pärast seda. Võimaluse korral muudetakse olemasolevaid õigusakte ambitsioonikamaks ja vajaduse korral esitatakse uusi ettepanekuid. Üldiselt tugevdatakse paketiga kaheksat olemasolevat õigusakti ja esitatakse viis uut algatust, mis hõlmavad erinevaid poliitikavaldkondi ja majandussektoreid: kliima, energia ja kütused, transport, hooned, maakasutus ja metsandus.¹⁰⁴

Tabel 2 "Eesmärk 55 paketi" põhijooned.¹⁰⁵

Hinnakujundus	Eesmärgid	Reeglid
Tugevam heitkogustega kauplemise süsteem, sealhulgas lennunduses	Ajakohastatud jõupingutuste jagamise (<i>inglise k. effort sharing</i>) määrus	Rangemad CO ₂ -sisalduse näitajad sõidukitele ja kaubikutele
Heitkogustega kauplemise laienemine merendusele, maanteetranspordile ja hoonetele	Ajakohastatud maakasutus Maakasutuse muutmine ja metsanduse reguleerimine	Uus infrastruktuur alternatiivkütuste jaoks ReFuelEU Aviation: Jätksuutlikumad lennukikütused
Uuendatud energia maksustamise direktiiv	Ajakohastatud taastuvenergia direktiiv	FuelEU Maritime – Euroopa keskkonnasäästlik mereruum
Uus süsiniku piiride kohandamise mehhanism	Ajakohastatud energiatõhususe direktiiv	
Toetusmeetmed		
Tulude ja määruste kasutamine innovatsiooni edendamiseks, solidaarsuse suurendamiseks ja haavatavate inimeste mõju leevendamiseks, eelkõige uue sotsiaalse kliimafondi ja täiustatud moderniseerimis- ja innovatsioonifondi kaudu.		

Õigusaktide ettepanekute aluseks on mõjuanalüüs, milles võetakse arvesse kogu paketi omavahelisi seoseid. Analüüs näitab, et liigne tuginemine tugevdatud reguleerivale poliitikale tooks kaasa tarbetult suure majandusliku koormuse, samas kui CO₂ hinnakujundus üksi ei

¹⁰⁴ „Eesmärk 55“: ELi 2030. aasta kliimaeesmärgi saavutamine teel kliimaneutraalsuseni

¹⁰⁵ „Eesmärk 55“: ELi 2030. aasta kliimaeesmärgi saavutamine teel kliimaneutraalsuseni

kõrvaldaks püsivaid turutõrkeid ja turuväliseid tõkkeid. Seetõttu on valitud poliitikameetmete kombinatsioon, mis kujutab endast hoolikat tasakaalu hinnakujunduse, eesmärkide, standardite ja toetusmeetmete vahel (Tabel 2).

Paketi nurgakivi on tugineda ELi heitkogustega kauplemise süsteemi olulistele saavutustele, tugevdades seda ja rakendades seda uutes sektorites, kus seni ei ole heitkoguseid vähendatud. Heitkogustega kauplemine võib olla väga tõhus mehhanism heitkoguste vähendamiseks kulutasuval viisil, samal ajal kui sellest saadavat tulu saab kasutada puhtamale tootmisele ülemineku toetamiseks ja innovatsiooni stimuleerimiseks.

Pakett sisaldab uusi nõudeid tööstustele tootmisprotsesside CO₂ heite vähendamiseks, kuid ka toetusmehhanisme uute tehnoloogiate kasutuselevõtuks. Innovatsioonifond, mis toetab ettevõtete ja VKEde investeringuid puhtasse energiasse, suurendab oma rahastamist uuenduslike projektide ja infrastruktuuri jaoks, et vähendada süsinikuheidet tööstuses. Võttes arvesse vajadust heitkoguste suurema vähendamise järele, **on ELi komisjon teinud ettepaneku, et 2030. aastaks peavad ELi läbivaadatud heitkogustega kauplemise süsteemiga hõlmatud tööstussektorid** (energiasektor, energiamahukad tööstussektorid, sealhulgas naftatöötlemistehased, terasetehased ning raua, alumiiniumi, metallide, tsemendi, lubja, klaasi, keraamika, paberimassi, paberi, kartongi, hapete ja orgaaniliste kemikaalide tootmine, samuti lennundus ja merendus) **vähendada oma kasvuhoonegaaside heitkoguseid 61% võrra võrreldes 2005. aasta tasemega.** Paketis "Eesmärk 55-le" käsitletakse ka **rahvusvahelist kaubandust väljaspool ELi**, kus rahvusvahelised partnerid ei jaga ELi ambitsioonidega võrreldavaid eesmärke. Seda on üksikasjalikumalt kirjeldatud paketi kommunikatsiooni dokumendi 4. jaos, kus komisjon teeb ettepaneku kehtestada nn. **CBAM**, millega kehtestatakse hind piiratud arvule suure saastekogusega kaupade impordile, mis põhineb nende süsinikusisaldusel.

Euroopa Komisjon on teinud ettepaneku laiendada heitkogustega kauplemise süsteemi ka merendusele ja lennundusele, mis edendaks säästvate kütuste kasutuselevõttu antud sektorites. Eesmärk 55 paketis on mainitud **ReFuelEU lennundusalaseid** õigusakte, mis kohustavad kütusetarnijaid segama ELi lennujaamades olemasolevasse lennukikütusesse üha rohkem säästvat lennukikütust ning tagavad turu valmisoleku stimuleerides sünteetiliste kütuste, nn e-kütuste kasutuselevõttu. Samuti kutsus Komisjon Euroopa Nõukogu ja Parlamenti üles kiiresti kokku leppima ühtses ajakohastatud Euroopa poliitikaraamistikus "Single European Sky regulatory framework" mis aitab hinnanguliselt vähendada kuni 10% lennunduse heitkoguseid. Samuti tuuakse Eesmärk 55 paketis välja **FuelEU merendusala** õigusaktid, mis aitavad edendada säästvaid merenduskütuseid. Õigusaktidega kehtestatakse uued nõuded ELi sadamatesse saabuvatele või sealt väljuvatele laevadele, olenemata nende lipuriigist, kehtestades nende kasutatava energia kasvuhoonegaaside sisalduse ülempiiri ja muutes need piirangud aja jooksul rangemaks. Tulevane Taastuvate ja Vähese CO₂ heitega Kütuste Väärtusahela Liit (*Renewable and Low-Carbon Fuels Value Chain Alliance*) hoogustab kõigi transpordiliikide jaoks kõige paljulubavamate kütuste tarnimist ja kasutuselevõttu.

Maanteetranspordis ja hoonetes kasutatavad fossiilkütused on olulised heite- ja saasteallikad. Eesmärk 55 pakett hõlmab ka heitkogustega kauplemist maanteetranspordi valdkonnas, kuna see suurendab stiimuleid olemasolevate sõidukite varustamiseks keskkonnasõbralikumate kütustega. Süsinikuhind iseenesest ei taga siiski kiiret üleminekut heitevabale liikuvusele, mille jaoks on vaja täiendavaid meetmeid, sealhulgas laadimis- ja tankimisinfrastruktuuri. Samamoodi aitab heitkogustega kauplemine ehitussektoris tuua turule puhtamaid kütuseid, lühendada renoveerimisinvesteeringute tasuvusaega ja kiirendada kütusevahetust olemasolevate hoonete kütmisel ja jahutamisel. Nagu paketis öeldud, täiendavad seda poliitilised meetmed hoonete ning energiaseadmete ja -süsteemide energiatõhususe parandamiseks, et vähendada ka kodude ning

kütte- ja jahutusseadmete üldist energiavajadust. **Komisjon teeb ettepaneku hakata alates 2026. aastast kohaldama heitkogustega kauplemist maanteetranspordis ja hoonesektoris.** Seda tehakse eraldi süsteemis, mis keskendub eelnevatele kütusetarnijatele, andes kütusetootjatele vastutuse süsteemi järgimise eest, selle asemel et nõuda üksikute kodumajapidamiste või maanteetranspordi kasutajate otsest osalemist. Maanteetranspordi ja ehitussektori heitkogustele kehtestatakse piirmäärad, mida aja jooksul vähendatakse nii, et heitkogused langeksid.

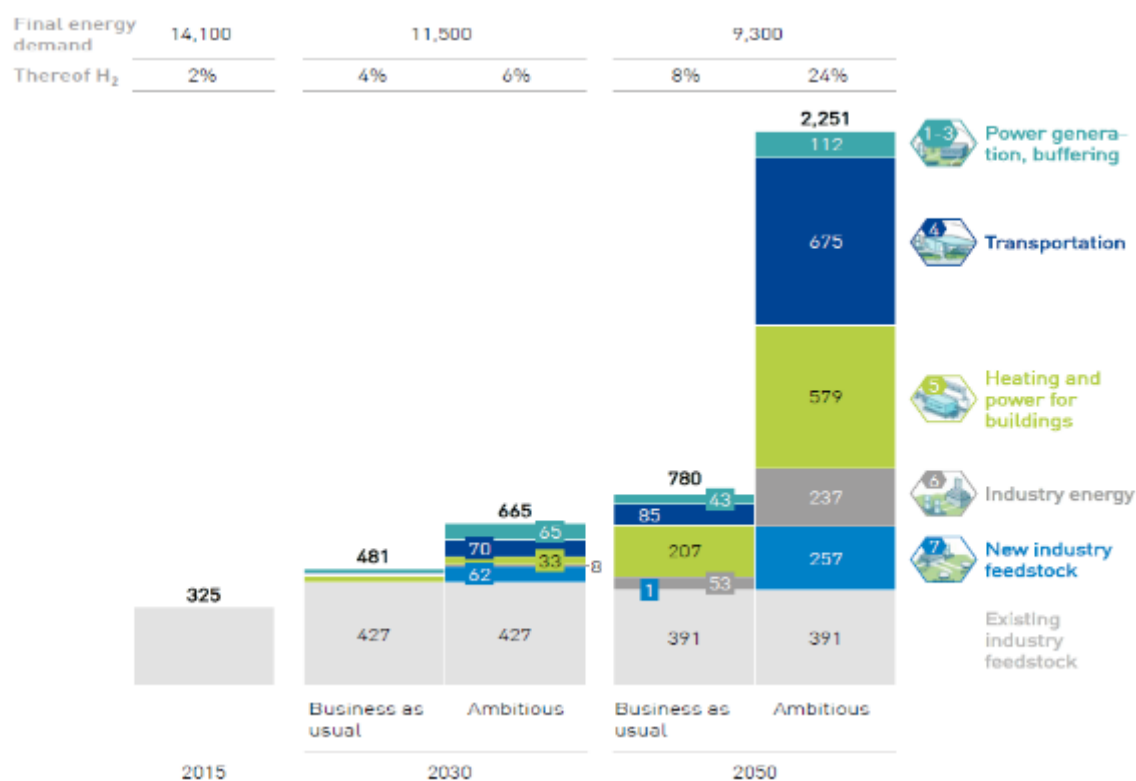
Lisaks CO₂ hinnakujundusele on vaja ka muid meetmeid, et viia transport kindlalt nullemissioonini ja vähendada õhusaastet, sest transport moodustab peaaegu veerandi ELi kasvuhoonegaaside heitkogustest ja on peamine õhusaaste põhjustaja linnades. Heitkogused on endiselt suuremad kui 1990. aastal ning kliimaneutraalsuse saavutamiseks on vaja vähendada 2050. aastaks transpordist tulenevaid heitkoguseid 90% võrra. **Eesmärk 55 sisaldab nelja ettepanekut, millega edendatakse keskkonnasõbralikumaid sõidukeid ja kütuseid tehnoloogiliselt neutraalsel viisil. Uute sõiduautode ja kaubikute CO₂-heite standardite läbivaatamise eesmärk on vähendada veelgi nende sõidukite kasvuhoonegaaside heitkoguseid, pakkudes selget ja realistlikku teed nullheitelise liikuvuse suunas.** Paketi kohaselt tagatakse alternatiivsete kütuste infrastruktuuri määrusega koostalitlusvõimelise ja kasutajasõbraliku infrastruktuuri vajalik kasutuselevõtt puhtamate sõidukite laadimiseks ja tankimiseks kogu ELis, järgides turu arengut ja tagades, et ka maapiirkonnad ja äärealad oleksid hõlmatud. Alternatiivkütuste infrastruktuuri jaoks kavandatud kohustuslikud eesmärgid on võtmetähtsusega, et toetada keskkonnasõbralikumate sõidukite levikut ja selle turu jätkuvat kasvu. Kõik need meetmed tugevdavad ja täiendavad üksteist. **Teades, et keskmine auto kestab 10-15 aastat, on maanteetranspordi CO₂ hinna kehtestamine hädavajalik, et olemasolev sõidukipark sõidaks puhtamalt.** Lisaks sellele aitavad ambitsioonikamad CO₂-normid kiirelt tuua teele rohkem saastevabasid sõidukeid, samal ajal kui infrastruktuurikohustused panevad paika vajalikud laadimis- ja tankimisjaamad, et teenindada miljoneid uusi sõidukeid, mida on oodata 2030. aastaks.

Vesinik on taastuvatest energiaallikatest üks perspektiivikamaid kütuseliike asendamaks tööstus-, energia- ning transpordisektoris fossiilsete kütuste tarbimist ning abistades kasvava energia nõudluse ning kliimasoojenemise vastu võitlemisel. Mitmed riigid on analüüsinud võimalusi vesiniku laiemaks kasutuselevõtuks. EL ja edumeelsemad riigid on astunud samme, et soodustada vesiniku tehnoloogiate kiiremat arengut, jõudmist tööstuse-, transpordi- ja energiasektorisse ning muudesse tegevusvaldkondadesse.

3.1 Strateegilised teetähised

Euroopa Komisjon on 2019. aastal avaldanud Euroopa vesiniku teekaardi, kus rõhutatakse vesiniku olulist rolli energiaüleminekul. Vesinikku nähakse potentsiaalse abivahendina mitmete sektorite dekarboniseerimisel, eelkõige rõhutatakse selle kasutust lähteainena tööstuslike protsesside CO₂ heite vähendamisel, hoonete- ning transpordisektoris (eriti raskeveokites) (Joonis 6). EL tervikuna peab vähendama CO₂ heidet aastaks 2050 tänaselt 3500 miljonilt tonnilt 770 miljonile tonnile. Olemasolevate tehnoloogiate kasutuselevõtt ning energia- ja kliimaga seotud kohustuste võtmine Euroopa liikmesriikides likvideeriks ligikaudu 60% tühimikust (ligikaudu 1700 miljonit tonni võrdlustehnoloogia stsenaariumis). Vesiniku kasutamine võib kõige ambitsioonikama stsenaariumi korral aidata vähendada järelejäänud umbes 560 miljonit tonni CO₂ heidet ehk umbes poolt sellest, mis on vajalik, et saavutada kahekraadise temperatuuritõusu stsenaarium. Lisaks annaks vesiniku kavandatud kasutuselevõtt 2030. aastaks tööd umbes miljonile kvalifitseeritud töötajale, 2050. aastaks 5,4 miljonile.

Euroopa vesiniku tegevuskavas on määratletud, et vesinik võib 2050. aastaks anda EL-is kuni 24% kogu energiavajadusest ehk kuni 2250 TWh energiat¹⁰⁶. Aastaks 2030 soovitakse suure stsenaariumi kohaselt sama näitaja tõsta 665 TWh-le. Baasstsenaariumi järgi prognoositi, et Euroopa saavutab 2030. aastaks 481 TWh ja 2050. aastaks 780 TWh vesinikutehnoloogia mahu.¹⁰⁷



Joonis 6 Vesiniku kasutuspotentsiaal Euroopas (TWh) aastaks 2030 ja 2050

Ambitsiooni realiseerimine nõuab aga kogu väärtusahela ulatuses olulist tegevust. Euroopa vesiniku tegevuskava kohaselt on soovitatud vahe-eesmärgid väärtusahela eri osade kaupa selgitatud alljärgnevas alapeatükis.

3.2 Tootmise eesmärgid

Vesiniku aastane kogutoodang Euroopas on umbes 9,756 miljonit tonni. Vesiniku kogutoodang jaguneb kolme kategooriasse: **kaubanduslik vesinik**, vesinik, mida tarnitakse teistele tööstustarbijatele; **omatarbe vesinik**, kus toodetud vesinik jääb kohapealseks kasutamiseks ning vesinikuks, mida ei kasutata enam jätkuprotsessides või kohapeal (st. **kõrvalsaadusena saadav vesinik**). Euroopas moodustavad naftatöötlemistehased ligikaudu 30% ja ammoniaak 50%. Koos metanooli tootmise (umbes 5%) ja metallitööstuses kasutamisega (umbes 3%) moodustavad need neli sektorit 90% kogu vesiniku tarbimisest Euroopas ning umbes kaks kolmandikku kogu tarbitud vesinikust on toodetud kohapealse vesinikuna.¹⁰⁸

¹⁰⁶Võttes arvesse tootva elektrolüüseri efektiivsust umbes 80%, tähendab see, et 2250 TWh vesinikuenergia tootmiseks läheb vaja umbes 20% rohkem energiat. (Autorite kommentaar.)

¹⁰⁷ [Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking 2019](#)

¹⁰⁸ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

Praegu toodetakse ELis umbes 8,2 miljonit tonni vesinikku fossiilsetest kütustest. Valdav tööstuslik viis vesiniku tootmiseks ELis on metaani aur-reformimine (SMR) maagaasist. Sellise vesiniku puhul kasutatakse terminoloogiat "**hall vesinik**". **Taalise halli vesiniku maksumus 2020. aasta kirjanduslike allikate põhjal on 1,60 \$/kg (~1,35 €/kg)**. Võrreldes halli vesinikuga toodetakse taastuvat vesinikku (või "**rohelist vesinikku**") elektrolüüsi teel, kasutades taastuvaid energiaallikaid (RES), ning see on peaaegu CO₂vaba tootmisviis, mille maksumus 2020. aasta seisuga on 6,00 \$ (5,09 €) kilogrammi kohta, seejuures 2030. aastal prognoositav maksumus on 2,50 \$ (2,12 €) kilogrammi kohta Euroopa keskmise tuuleenergia tootlikkuse korral.¹⁰⁹

ELi prioriteet on arendada taastuvatest energiaallikatest toodetud vesinikku, mille tootmiseks kasutatakse peamiselt tuule-ja päikeseenergiat. **Taastuv vesinik on pikemas perspektiivis kõige paremini kooskõlas ELi kliimanetraalsuse ja saastevaba eesmärgi ning integreeritud energiasüsteemiga**. Taastuva vesiniku eelistamine ja kasutuselevõtt tugineb Euroopa tööstuslikule tugevusele elektrolüüserite tootmises, loob ELis uusi töökohti ja majanduskasvu ning toetab kulutasuvat integreeritud energiasüsteemi loomist. Kuni 2050. aastani tuleks taastuvatest energiaallikatest toodetud vesinik järk-järgult suures mahus kasutusele võtta koos uue taastuvenienergia tootmise kasutuselevõtuga, kuna tehnoloogia on küps ja selle tootmistehnoloogiate kulud vähenevad. Lüh- ja keskpikas perspektiivis on aga eeldatavasti vaja muid vähese CO₂heitega vesiniku vorme, eelkõige selleks, et kiiresti vähendada olemasoleva vesinikutootmise heitkoguseid ja toetada paralleelselt tulevikus taastuva vesiniku kasutuselevõttu.¹¹⁰

ELi prioriteet on arendada taastuvatest energiaallikatest toodetud vesinikku, mille tootmiseks kasutatakse peamiselt tuule-ja päikeseenergiat. **Taastuv vesinik on pikemas perspektiivis kõige paremini kooskõlas ELi kliimanetraalsuse ja saastevaba eesmärgi ning integreeritud energiasüsteemiga**. Taastuva vesiniku eelistamine ja kasutuselevõtt tugineb Euroopa tööstuslikule tugevusele elektrolüüserite tootmises, loob ELis uusi töökohti ja majanduskasvu ning toetab kulutasuvat integreeritud energiasüsteemi loomist. Kuni 2050. aastani tuleks taastuvatest energiaallikatest toodetud vesinik järk-järgult suures mahus kasutusele võtta koos uue taastuvenienergia tootmise kasutuselevõtuga, kuna tehnoloogia on küps ja selle tootmistehnoloogiate kulud vähenevad. Lüh- ja keskpikas perspektiivis on aga eeldatavasti vaja muid vähese CO₂heitega vesiniku vorme, eelkõige selleks, et kiiresti vähendada olemasoleva vesinikutootmise heitkoguseid ja toetada paralleelselt tulevikus taastuva vesiniku kasutuselevõttu.¹¹¹

3.2.1 Kasutuselevõtu ajakava

2020. aasta juulis esitas komisjon ELi parlamendile "Vesiniku strateegia kliimanetraalse Euroopa jaoks", kus selgitatakse, et vesinikumajandus areneb Euroopas järk-järgult, eri sektorites ja tõenäoliselt eri piirkondades erineva kiirusega ning nõuab erinevaid poliitilisi lahendusi. Dokumendis esitatakse vesiniku tootmise kasutuselevõtu ajakava eesmärgid ELi jaoks. Teatatakse, et esimeses etapis, aastatel 2020-2024, on strateegiline eesmärk paigaldada ELis vähemalt 6 GW taastuvenienergia elektrolüüsereid ja toota kuni 1 miljon tonni taastuvatest energiaallikatest toodetud vesinikku, et vähendada olemasolevat vesinikutootmist, nt keemiasektoris, ning hõlbustada vesiniku tarbimist uutes lõppkasutustes, näiteks muudes tööstusprotsessides ja võimaluse korral raskeveokites. Teises etapis, aastatel 2025-2030, peab vesinik saama integreeritud energiasüsteemi lahutamatuks osaks, mille strateegiline eesmärk on paigaldada 2030. aastaks vähemalt 40 GW taastuvenienergia elektrolüüsereid ja toota ELis kuni 10 miljonit tonni taastuvatest energiaallikatest toodetud vesinikku. Arenevad kohalikud vesinikuklastrid, näiteks

¹⁰⁹ [Kliimanetraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

¹¹⁰ [Eesti Vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüs, Civitta, SEI Tallinn, KBFi 2021](#)

¹¹¹ [Kliimanetraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

hajapiirkonnad või saared või piirkondlikud ökosüsteemid -nn. "Vesiniku Orud" (*inglise k. Hydrogen Valleys*), mis tuginevad detsentraliseeritud taastuvenergia tootmisele ja kohalikul nõudlusel põhinevale vesinikutootmisele, mida transporditakse lühikeste vahemaade taha. Kolmandas etapis, alates 2030. aastast kuni 2050ni, peaksid taastuvenergia vesinikutehnoloogiad saavutama ulatuslikuma küpsuse ja neid hakatakse laialdaselt kasutama, et jõuda kõikidesse raskesti CO₂heidet vähendavatesse sektoritesse, kus muud alternatiivid ei pruugi olla teostatavad või on kallimad. Selles etapis peab taastuvelektri tootmine oluliselt suurenema, sest 2050. aastaks võib umbes veerand taastuvelektri tootmisest olla kasutatud taastuvvesiniku tootmiseks.^{112 113}

Elektrolüüside tootmis- ja tarneahelas tegutseb umbes 280 ettevõtet (60% neist on väikesed või keskmise suurusega ettevõtted) ning ettevalmistamisel on üle 1 GW elektrolüüsi projekti. Euroopa elektrolüüserite kogutootmisvõimsus on praegu alla 1 GW aastas. ELi strateegiline eesmärk on saavutada 2030. aastaks 40 GW elektrolüüserite tootmisvõimsus. Selleks on vaja kooskõlastatud jõupingutusi Euroopa Puhta Vesiniku Liidu (European Green Hydrogen Alliance), liikmesriikide ja eesrindlike piirkondade vahel ning toetuskavasid, et vesinik muutuks konkurentsivõimeliseks.¹¹⁴

3.2.2 Kvaliteedistandardite määrused

Selleks, et välja töötada toetav poliitiline raamistik vastavalt vesiniku CO₂ heitkoguste vähendamise eelistele üleminekufaasis ja teavitada turuosalisi, on ELi komisjon teatanud, et kavatses mõju hindamisele tuginedes kiiresti kehtestada kogu ELi hõlmavaid vahendeid. See hõlmaks terviklikku terminoloogiat ja üleeuroopalisi kriteeriume taastuva ja vähese CO₂ heitega vesiniku sertifitseerimiseks, mis võiks tugineda olemasolevale heitkogustega kauplemise süsteemi seirele, aruandlusele ja kontrollile ning taastuvenergia direktiivi sätetele. Raamistik võiks põhineda kogu elutsükli jooksul tekkivatel kasvuhooenergia heitkogustel, võttes arvesse juba olemasolevat CertifHy meetodikat, mis on välja töötatud tööstuste poolsete algatuste raames ning kooskõlastatud ELi säästva investeerimise taksonoomiaga. Päritolutagatised ja säästvuse sertifikaadid, mis on juba kasutusel taastuvenergia direktiivis võivad hõlbustada kõige kulutõhusamat tootmist ja kogu ELi hõlmavat kauplemist.¹¹⁵¹¹⁶

3.2.3 Investeerimiskava

Vesiniku tootmiseks vajaliku infrastruktuuri kasutuselevõtu eesmärkide saavutamiseks on tarvis tugevat investeerimiskava, mis loob sünergia ja tagab avaliku sektori toetuse sidususe erinevate ELi fondide ja Euroopa Investeerimispannga (EIP) rahastamise vahel.

ELi vesinikustrateegias on hinnatud, et praegusest kuni 2030. aastani võivad investeeringud elektrolüüseritesse ulatuda 24-42 miljardi euroni. Lisaks on sama ajavahemiku jooksul vaja 220-340 miljardit eurot, et suurendada päikese- ja tuuleenergia tootmisvõimsust 80-120 GW, et tagada vajalik elektrienergia otseseks ühendamiseks elektrolüüseritega. Investeeringud olemasolevate elektri jaamade moderniseerimiseks CO₂ kogumise ja säilitamisega on hinnanguliselt umbes 11 miljardit eurot. **Praegusest kuni 2050. aastani ulatuksid investeeringud tootmisvõimsustesse ELis 180-470 miljardi euroni.**¹¹⁷

¹¹² [Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative, 2020 Prof. Dr. Ad van Wijk, Chatzimakakis, Jorgo 2020](#)

¹¹³ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

¹¹⁴ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

¹¹⁵ [Direktiiv \(EL\) 2018/2001](#)

¹¹⁶ [CertifHy: Guarantee of origin for Hydrogen, 2021](#)

¹¹⁷ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

Nende investeeringute ja vesinikumajanduse edendamise toetamiseks esitas ja käivitas ELi komisjon 2020. aastal **Euroopa Puhta Vesiniku Liidu**, mis mängib olulist rolli ELi vesiniku strateegia elluviimisel ning investeeringute toetamisel, et suurendada taastuva ja vähese CO₂ heitega vesiniku tootmist ja nõudlust. **Liidu peamine eesmärk ning tegevus on vajalike investeeringuprojektide kindlakstegemine ja läbiviimine.** Komisjoni majanduse taastamiskava raames tugenevad järgmise põlvkonna ELi rahastamisvahendid, sealhulgas programmi InvestEU strateegiline Euroopa investeerimisfond ja heitkogustega kauplemise süsteemi innovatsioonifond, mis aitavad ületada COVID-19 kriisist tulenevat taastuvenergiaallikate investeerimislünka. Komisjon järgib ka Strateegilise Foorumi poolt koostatud aruandes **IPCEI** esitatud soovitusi, et edendada hästi koordineeritud või ühiseid investeeringuid ja meetmeid mitmes liikmesriigis, mille eesmärk on toetada vesiniku tarneahelat.¹¹⁸ Lisaks sellele on **Euroopa Regionaalarengu Fond ja Ühtekuuluvusfond** jätkuvalt liikmesriikide käsutuses, et toetada keskkonناسäästlikku üleminekut. **Samuti on see hästi integreeritud ELi vesiniku strateegiaga, et toetada vajaduse korral sellega seotud oskuste arendamist ja tööturu kohandamist.**¹¹⁹

3.3 Ladustamise ja jaotuse eesmärgid

2020. aasta juulis esitas komisjon ELi parlamendile "Vesiniku strateegia kliimaneutraalse Euroopa jaoks", kus selgitatakse, et vesinikumajandus areneb Euroopas järk-järgult, eri sektorites ja tõenäoliselt eri piirkondades erineva kiirusega ning nõuab erinevaid poliitilisi lahendusi. Esimeses etapis, alates 2020. aastast kuni 2024. aastani, võiks elektrolüüserid paigaldada olemasolevate nõudluskeskuste juurde suurematesse rafineerimistehastesse, terasetehastesse ja keemiakompleksidesse ning ideaalis saaks neid varustada otse kohalikest taastuvatest energiaallikatest saadava elektrienergiaga. Sel viisil saab kasutada lühiajalisi ladustamisvõimalusi. Vesiniku transportimiseks vajaliku infrastruktuuri vajadus on piiratud, kuna nõudlus rahuldatakse esialgu tootmise läheduses või kohapeal ning teatavates piirkondades võib toimuda segamine maagaasiga, kuid tuleks alustada keskmise ja laialdasema ulatusega vesinikuinfrastruktuuri kavandamist. Teises etapis, aastatel 2025-2030, tekivad kohalikud vesiniku klastrid, näiteks äärealadel või saartel, või piirkondlikud ökosüsteemid – nn. vesiniku orud (*inglise k. hydrogen valleys*) -, mis tuginevad detsentraliseeritud taastuvenergia tootmisele ja kohalikule nõudlusele põhinevale kohalikule vesiniku tootmisele, mida transporditakse lühikeste vahemaadega. Selles etapis tekib vajadus kogu ELi hõlmava logistilise infrastruktuuri järele ning võetakse kasutusele meetmeid vesiniku transportimiseks suure taastuvenegiapotentsiaaliga piirkondadest võimalusel teistes liikmesriikides asuvatesse nõudluskeskustesse, mistõttu tuleb kavandada üleeuroopaline võrk. Hinnanguliselt võib 2030. aastaks olemasolevat gaasivõrku osaliselt kasutada taastuva vesiniku transportimiseks pikema vahemaa taha ning vajalikuks muutub suuremahuliste vesinikusäilitamis rajatiste arendamine. Samuti võib areneda rahvusvaheline kaubandus, eelkõige ELi naaberriikidega Ida-Euroopas ning Vahemere Lõuna- ja Ida riikidega. Kolmandas etapis, alates 2030. aastast kuni 2050. aasta suunas, hakatakse vesinikku transportima pikemate vahemaade taha sektorite jaoks, mida peetakse raskesti dekarboniseeritavateks. Pikaajalise energiavarustuskindluse tagamiseks võetakse kasutusele suured maa-alused hoidlad ja mitu lühiajalist hoidlat, et rahuldada väiksemaid vajadusi.¹²⁰

Praegusest kuni 2030. aastani on vesiniku transpordiks, jaotamiseks ja säilitamiseks ning vesiniku tootmiseks vaja investeerida ca 65 miljardit eurot. Nende investeeringute ja kogu vesinikumajanduse tekkimise toetamiseks esitas ja käivitas ELi Komisjon 2020. aastal Euroopa

¹¹⁸ IPCEI projektide kontekstis tuleb märkida, et hetkel on käimas vesiniku IPCEI projektide "esimene ja teine laine", milles osaleb kolm Eesti ettevõtet üleeuroopaliste konsortsiumitega.

¹¹⁹ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

¹²⁰ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

Puhta Vesiniku Liidu. Liidu peamine eesmärk ja tegevus on vajalike investeerimisprojektide määratlemine ja elluviimine. Komisjoni majanduse taastamiskava raames tugevnevad järgmise põlvkonna ELi rahastamisvahendid, sealhulgas programmi InvestEU strateegiline Euroopa investeerimisfond ja heitkogustega kauplemise süsteemi innovatsioonifond, mis aitavad ületada COVID-19 kriisist tulenevat taastuenergiaallikate investeerimislünka. Komisjon järgib ka Strateegilise Foorumi poolt koostatud aruandes "Euroopa ühise huvi tähtsad projektid" (IPCEI) esitatud soovitusi, et edendada hästi koordineeritud või ühiseid investeringuid ja meetmeid mitmes liikmesriigis, mille eesmärk on toetada vesiniku tarneahelat. Lisaks sellele on Euroopa Regionaalarengu Fond ja Ühtekuuluvusfond jätkuvalt liikmesriikide käsutuses, et toetada keskkonnasäästlikku üleminekut. Samuti on see hästi integreeritud ELi vesiniku strateegiaga, et toetada vajaduse korral sellega seotud oskuste arendamist ja tööturu kohendamist.¹²¹

3.4 Tarbimise eesmärgid

Transport on peamine kliimamuutuste põhjustaja, moodustades 32% kogu CO₂ heitkogustest ELis. Selleks, et saavutada 2-kraadine stsenaarium Pariisi kliimakokkuleppe kohaselt, tuleb Euroopa territooriumil 2050. aastaks kõrvaldada umbes 72% ELi transpordipargist pärinevast CO₂-heitest, mis vastab ligikaudu 825 miljonile tonnile¹²². Selline suurusjärk nõuab suuri muutuseid, sest transpordisüsteemi üleminek naftast taastuvatele energiaallikatele ei nõua mitte ainult uusi jõuseadmeid sõidukites, vaid mõjutab ka muid väärtusahelaid.

Tehnoloogiline põhiküsimus on, kuidas salvestada suuri energiakoguseid väikese kaaluga ja piiratud ruumiga sõidukis. Kui mõningate transpordiliikide puhul on energiasalvestuseks aku, siis muud rakendused nõuavad suuremat energiatihedust, et säilitada pikka sõiduulatust ilma sõiduki massi suurendamata. **Teine põhiküsimus on seotud laadimis-/tankimisinfrastruktuuriga.** Ehkki praeguse elektrivõrgu abil on väikese hulga elektrisõidukite teenindamine võimalik, nõuab CO₂ heite edaspidine märkimisväärne vähendamine kas teistsugust energia jaotamise viisi või elektrivõrkude ulatuslikku ajakohastamist ja laienemist.

Vesinik võib olla kõige paljutootavam CO₂ heite vähendamise võimalus veoautodes, bussides, laevades, rongides, suurtes sõiduautodes ja tarbesõidukites neljal peamisel põhjusel. Esiteks on vesinik hea lahendus täieliku CO₂ vabastuse saavutamiseks, samas kui muud tehnoloogiad saavad toimida enamasti üleminekutehnoloogiana. **Teiseks** pakub vesinik oma paremale energiatihedusele suuremat kandevõimet ning piisavas mahus energiat pikkade vahemaade läbimiseks. **Kolmandaks** eeliseks on vesiniku infrastruktuuri, mis küll esmalt oma olematuse tõttu on suureks barjääriks, kuid omab võrreldes kiirlaadimisega märkimisväärsed eelised: kiirem tankimine, paindlikum laadimine, väiksem ruumivajadus ja sarnased investeerimiskulud. Euroopas oli 2020. aasta lõpuks 200 vesinikjaama, millest 100 paiknevad Saksamaal. Prantsusmaa on 34-a tegutseva jaamaga Euroopas endiselt teisel kohal ning oma 38-a kavandatava vesinikjaamaga näitab praegu Euroopas kõige suuremat kasvu. Pärast vesinikütuseelemendil töötavate rongide testimist, hakkab vesinikrong Saksamaal Hamburgi linna lähedal sõitma Buxtehude ja Cuxhaveni rannalinna vahel. Sel moel debüteerib Euroopa reisirongide nullsüsinikule üleminekut. Üksteist Euroopa linna ja piirkonda - Aberdeen (UK), Auxerre (FR), Barcelona (ES), Birmingham (UK), Emmen (NL), Groningen (NL), London (UK), Lõuna-Holland (NL), Lõuna-Tirool (IT), Toulouse (FR) ja Wiesbaden (DE) - ühinevad 2021. aasta lõpuks JIVE kaudu regioonidega, kus sõidavad vesinikbussid. ELi toetatud projektide JIVE ja JIVE 2 (Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe), mis on peamised Euroopa kütuseelemendil põhinevate busside toetusprojektid, kaudu on tellitud üle 200

¹²¹ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

¹²² [Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking 2019](#)

vesinikbussi. Kõik praegu Euroopas tegutsevad kütuseelemendid bussid on ostetud Euroopa poolt kaasrahastatud projektide raames. Hetkel on liikvel 50 busi.^{123124 125126}

Lennundus ja meretranspordis olevad raskeveokid on transpordiliigid, mis on väga olulised CO₂ heite vähendamiseks. Kuna kütuseelemendid ja varupatareid, millel on suur koormus, võivad hõivata palju ruumi, eriti lennukites, tuleb otsida muid vesinikupõhiseid kütuselahendusi. Seepärast on kütuseelementidel põhinevad kaubanduslikud õhusõidukid veel uurimis- ja arendustegevuse tasandil, eriti kuna reisijakohtade arv nendel on piiratud ja nad ei suuda konkureerida praeguste kaubanduslikel eesmärkidel kasutatavate õhusõidukitega. CO₂ heitkoguste vähendamise lahendusena on **ELi Komisjoni kõige hiljutisemas lennundusalases ettepanekus ReFuelEU (mis avaldati 2021. aasta juulis paketi "Fit for 55" osana) sätestatud kütusetarnijatele kohustus lisada alates 2025. aastast 2% säästvat lennukikütust (SAF) lennunduses kasutatavale kütusele, mis suureneb järk-järgult kuni 63%-ni 2050. aastaks.** Praegu põhineb SAF peamiselt biokütustel. Tulevikus võivad aga lisaks biokütustele täita suure osa lennunduses kasutatavatest SAF-kütustest ka vesinikupõhised sünteetilised kütused (e-kütused). Suurtes laevades mängivad lisaks sünteetilistele kütustele/e-kütustele suurt rolli vesiniku derivaadid, nt ammoniaagil või metanoolil põhinevad kütused, kuna taoline kütus on suurema energiatihedusega ja võtab vähem ruumi kui gaasilise vesiniku ladustamine pardal. Põhja-Euroopas on juba käimas läbirääkimised ammoniaagil töötava laevandusvõrgustiku loomiseks, kuna ViridisBulk Carriers sõlmis uue vastastikuse mõistmise memorandum (juulis 2021) viie lähimerevedude omanikuga (Elkem, Vestkorn, BioMar, FranzfossMinerals ja Saltimport), arendamaks CO₂ vaba laevandusvõrgustikku.^{127 128}

Hooned on suuruselt teine energiatarbija ELis, kasutades 2015. aastal rohkem kui 530 miljonit tonni energiat ja moodustades seega 15% kogu CO₂-heitkogusest. Et saavutada Pariisi kliimakokkuleppe järgi 2-kraadine stsenaarium, tuleb hoonete sektoris vähendada CO₂ heitkoguseid 57% võrra. Suurim osa - ligikaudu 90% - selle segmendi heitkogustest pärineb üle 25 aasta vanustest hoonetest, mis moodustavad umbes kolmveerandi kõigist ELi hoonetest. Energiatõhususe meetmete, näiteks parema isolatsiooni ja hooneautomaatika kasutuselevõtmine võib vähendada energiatarbimist uutes hoonetes, kuid vanades hoonetes on see sageli kulukas või ebapraktiline. Tegelikuses jäävad energiatootmise edusammud sageli ootustele alla. Süsteemsel tasandil näib soojuspumpade ja vesiniku muundamise seadmete kombinatsiooni kasutamine olevat ideaalne ning kulutõhusam lahendus kuna uuringud, mis käsitlevad täieliku otsese elektrifitseerimise infrastruktuurimõjusid näitavad, et kogukulud ületavad kasu. **Kütte täielik otsene elektrifitseerimine ilma vesiniku kasutamisetäi tooks kaasa olulise hooajalise erinevuse energiavarustuses. See tähendab, et energiaettevõtjad peaksid ehitama energiatootmisseadmeid, mis kataksid talvise nõudluse tipu, kuid suvel seisaksid need seadmed kasutuseta.** See mõju on juba praegu ilmne, kuid selle ulatus suureneks märkimisväärselt.¹²⁹

Gaasivõrgu dekarboniseerimine toimub mitmes etapis. Ettevõtjad võivad võrgu CO₂ heite vähendamiseks segada vesinikku maagaasiga, asendada maagaas biogaasiga või ajakohastada gaasivõrku ja kasutada puhast vesinikku. **Maagaasi segamisel vesinikuga on teatavad piirangud,**

¹²³ [Europe Debuts Hydrogen Passenger Trains in Zero-Carbon Push, 2021](#)

¹²⁴ [Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking 2019](#)

¹²⁵ [Fuel cell bus projects in the spotlight: fleets, manufacturers, trends, 2021](#)

¹²⁶ [Record Number of Newly Opened Hydrogen Refuelling Stations in 2020, 2021](#)

¹²⁷ [European Commission's ReFuelEU Aviation proposal details SAF blending obligation on fuel suppliers. 2021](#)

¹²⁸ [An ammonia-powered shipping network in northern Europe, Atchison J. 2021](#)

¹²⁹ [Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking 2019](#)

mis sõltuvad torustiku infrastruktuuri olemasolevast seisukorrast, kuid korraliku ümberehitusega on üleminek siiski võimalik. Näiteks Madalmaad on oma gaasivõrgus üle läinud madala kütteväärtusega gaasilt (Groningenist) kõrge kütteväärtusega gaasile (Venemaalt, Norrast ja veeldatud maagaasist). See üleminek nõuab sisuliselt infrastruktuuri uuendamist, mis on väga sarnane vesinikuvõrgu jaoks vajalike uuendustega. Sellisel juhul kehtestasi Madalmaad energiahinnale uuenduskulud - sarnane lähenemisviis võiks aidata rahastada praegust üleminekut. **Maagaasi asendamine biogaasiga võiks olla odav võimalus, kui see on kättesaadav, kuid see ei ole veel mastaapne lahendus. Lõpptarbimisseadmed võivad kanda 5-20% vesinikusisaldust, kuid 100%-i vesiniku kasutamiseks tuleb lõpptarbimisseadmed (katlad, gaasipliidid jne) asendada.**¹³⁰

Tööstussektoris võib lisaks praegustele lähteainete kasutusalaadele (nt rafineerimistehastes, ammoniaagis/väetistes, metanoolis jne) tekkida uued võimalused madala süsinikusisaldusega vesiniku kasutamiseks ja seega teiste, rohkem süsinikku nõudvate sisendite asendamiseks. **Näiteks võib vesinik asendada kivisütt, olles redutseerijaks terasetootmise protsessis. Samuti võivad erinevad tööstusharud kasutada vesinikku koos kogutud CO₂ või biomassist saadud CO₂-ga, et asendada fossiilkütuste lähteaineid süsivesinike baasil toodetud kemikaalide, näiteks metanooli ja sellest saadud toodete tootmisel. Seda kontseptsiooni nimetatakse CO₂ kogumiseks ja kasutamiseks (CCU).** Mitmed projektid on käimas või juba käivitatud vesiniku lähteaine dekarboniseerimiseks olemasolevates rakendustes, näiteks rafineerimistehastes. **2020. aasta oktoobris teatati, et Ørsted (maailma juhtiv avamere tuuleenergia arendaja) ja Yara (maailma juhtiv väetisekompanii) püüavad arendada Madalmaades teedrajavat rohelist ammoniaagi projekti.**¹³¹

Vesinikku saab kasutada ka kütuseelementide kaudu elektrienergiaga varustamiseks ja **energiasektoris 2030. aastaks muutuda reaalsuseks taastuvenergia "ülejääkide" mastaapne muundamine vesinikuks.** Need projektid võivad asendada avariielektrijaamad, et katta tippnõudlust, kasutades elektrienergia ülejäägist toodetud vesinikku hooajaliselt.¹³²

3.4.1 Kasutuselevõtu ajakava ja investeerimiskava

Vesinikumajandus Euroopas areneb järk-järgult, eri sektorites ning eri piirkondades erineva kiirusega ja nõuab mitmesuguseid poliitilisi lahendusi. Eelmisel aastal avaldas EL oma vesinikustrateegia kliimanetraalsuse saavutamiseks aastaks 2050. Järgnevalt on toodud EL-i peamised eesmärgid ja sihid vesiniku tarbimise valdkonnas.¹³³

Esimeses etapis, alates 2020. aastast kuni 2024. aastani, toimub suure tarbimisega sektorite (näiteks keemiasektor) dekarboniseerimine ja vesiniku tarbimise hõlbustamine uutes lõppkasutusrakendustes (eelkõige muud tööstusprotsessid, raskeveokid). Lisaks on vesiniku tankimisjaamad vajalikud vesinikkütuseelementidega busside ja hiljem ka veoautode kasutuselevõtuks. Seega on vaja ka elektrolüüsereid, et varustada üha suuremat arvu vesinikutankimisjaamu kohapeal.¹³⁴

Teises etapis, aastatel 2025-2030, peaks taastuv vesinik muutuma järk-järgult konkurentsivõimeliseks teiste vesiniku tootmisviisidega, kuid selleks, et tööstuslik nõudlus hõlmaks samm-sammult uusi rakendusi, sealhulgas terasetootmist, veoautosid, raudtee- ja mõningaid

¹³⁰ [Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking 2019](#)

¹³¹ [Ørsted and Yara seek to develop groundbreaking green ammonia project in the Netherlands, 2020](#)

¹³² [Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking 2019](#)

¹³³ [Kliimanetraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

¹³⁴ [Kliimanetraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

meretranspordi rakendusi ning muid transpordiliike, on vaja spetsiaalset nõudluspoolt käsitlevat poliitikat. Taastuv vesinik hakkab mängima rolli taastuvaltel energiaallikatel põhineva elektrisüsteemi tasakaalustamisel, muundades elektrienergia vesinikuks, kui taastuvelektri hind odavneb, ning tagades seeläbi suurema paindlikkuse. Vesinikku kasutatakse ka igapäevaseks või hooajaliseks säilitamiseks, tagavaraks ja puhverfunktsiooniks, mis suurendab varustuskindlust keskpikas perspektiivis. Poliitikavaldkondade puhul on sellise püsiva kasvu saavutamiseks suhteliselt lühikese aja jooksul vaja suurendada ELi toetust ja stimuleerida investeeringuid, et luua täieõiguslik vesinikul põhinev majandussüsteem. **Aastaks 2030 seab EL eesmärgiks luua avatud ja konkurentsivõimelise ELi vesinikuturu, mis võimaldab takistusteta piiriülest kaubandust ja vesinikutarnete tõhusat jaotamist sektorite vahel.** ¹³⁵

Kolmandas etapis, alates 2030. aastast kuni 2050. aastani, võivad vesinik ja vesinikust saadud sünteetilised kütused levida laiemalt paljudesse majandussektoritesse, alates lennundusest ja laevandusest kuni raskesti dekarboniseeritavate tööstus- ja ärihooneteni. Lisaks võib maagaasi asendamisel vesiniku tootmisrajatistes roll olla ka jätkusuutlikul biogaasil, kus koos CO₂ kogumise ja säilitamisega luuakse võimalusi dekarboniseerimiseks, tingimusel, et välditakse biometaani lekkeid. ¹³⁶

Nende investeeringute ja vesinikumajanduse edendamise toetamiseks esitas ja käivitas ELi komisjon 2020. aastal **Euroopa Puhta Vesiniku Liidu**, mis mängib olulist rolli ELi vesiniku strateegia elluviimisel ning investeeringute toetamisel, et suurendada taastuva ja vähese CO₂heitega vesiniku tootmist ja nõudlust. **Liidu peamine eesmärk ning tegevus on vajalike investeeringuprojektide kindlakstegemine ja läbiviimine.** Komisjoni majanduse taastamiskava raames tugevnevad järgmise põlvkonna ELi rahastamisvahendid, sealhulgas programmi InvestEU strateegiline Euroopa investeerimisfond ja heitkogustega kauplemise süsteemi innovatsioonifond, mis aitavad ületada COVID-19 kriisist tulenevat taastuvenergiaallikate investeerimislünka. Komisjon järgib ka Strateegilise Foorumi poolt koostatud aruandes **“Euroopa ühise huvi tähtsad projektid”** (IPCEI) esitatud soovitusi, et edendada hästi koordineeritud või ühiseid investeeringuid ja meetmeid mitmes liikmesriigis, mille eesmärk on toetada vesiniku tarneahelat. Lisaks sellele on **Euroopa Regionaalarengu Fond ja Ühtekuuluvusfond** jätkuvalt liikmesriikide käsutuses, et toetada keskkonnasäästlikku üleminekut. **Samuti on see hästi integreeritud ELi vesiniku strateegiaga, et toetada vajaduse korral sellega seotud oskuste arendamist ja tööturu kohendamist.** ¹³⁷

¹³⁵ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

¹³⁶ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

¹³⁷ [Kliimaneutraalse Euroopa vesinikustrateegia, 2020](#)

4 Vesiniku tootmine ja kasutamine Eestis

4.1 Olemasolev poliitiline ja strateegiline raamistik

Vesinikuturu käivitamiseks on vajalik muuhulgas ka toetava poliitilise ja strateegilise raamistiku olemasolu riigis.

Eesti kliimapolitiika arengudokumendi „Kliimapolitiika põhialused aastani 2050“ (vastu võetud 2017. aastal) ning Riikliku Energia ja Kliimakava (REKK 2030) kohaselt on Eesti pikaajaline siht vähendada Eesti KHG koguheidet 2030. aastaks 70% ja 2050. aastaks 80% võrreldes 1990. aastaga. Samas on aga arengustrateegiasse Eesti 2035, mis võeti Riigikogus vastu 12.05.2021, integreeritud kliimanetraalsuse saavutamine 2050. aastaks. Strateegia Eesti 2035 seab eesmärgiks, et aastaks 2050 on Eesti konkurentsivõimeline, teadmispõhise ühiskonna ja kliimanetraalse majandusega riik, kus on tagatud kvaliteetne ja liigirikas elukeskkond ning valmisolek ja võimekus kliimamuutustest põhjustatud ebasoodsaid mõjusid vähendada ja positiivseid mõjusid parimal viisil ära kasutada.

Lisaks on REKK 2030-es seatud järgmised detailsemad eesmärgid¹³⁸:

- Eesti kasvuhoonegaaside heite vähendamine 80% aastaks 2050 (sh 70% aastaks 2030): kasvuhoonegaaside (KHG) heide 1990. aastal oli 40,4 mln t CO_{2ekv} (va LULUCF14), 2017 oli Eesti KHG heide 20,9 mln t CO_{2ekv} (sh energiatööstuse sektorist 14,7 mln t CO_{2ekv}), REKK 2030-s toodud olemasolevate ja täiendavate meetmete rakendamisel prognoositakse 2030. aastal KHG heide 10,7-12,5 mln t CO_{2ekv}, (va LULUCF).
- Jagatud kohustuse määrusega kaetud sektorites (transport, väikeenergeetika, põllumajandus, jäätmemajandus, metsamajandus, tööstus) vähendada aastaks 2030 võrreldes 2005. aastaga kasvuhoonegaaside heidet 13%: 2019. aasta KHG inventuuri kohaselt oli 2005. aastal KHG heide jagatud kohustuse määruse sektorites kokku 6,3 mln t CO_{2ekv} ehk 2030. aastal võib sektori heide olla 5,5 mln t CO_{2ekv}. Siinjuures on oluline märkida, et *Fit for 55* paketi kohaselt tõuseks Eesti heitkoguste vähendamise kohustus 9 protsendipunkti võrra 24 protsendini. Samuti hallataks heitkogustega kauplemise süsteemiga sarnase süsteemi alusel nende majandussektorite heitkoguseid, mis praegu ei kuulu lubatud heitkoguste ühikutegalubatud heitkoguse ühikute kauplemise süsteemi.¹³⁹
- Taastuvenergia osakaal energia summaarsest lõpptarbimisest peab aastal 2030 olema vähemalt 42%: aastal 2030 toodetakse taastuvenergiat 16 TWh ehk 50% energia lõpptarbimisest, sh taastuvelekter 4,3 TWh (2018 = 1,8 TWh), taastuvsoojus 11TWh (2018 = 9,5TWh), transport 0,7 TWh (2018 = 0,3 TWh)
- Energia lõpptarbimine peab aastani 2030 püsima tasemel 32-33 TWh/a: Eesti majandus on kasvav ning seetõttu vajab juba tarbimise samal tasemel hoidmine olulisi meetmeid. EL energiasäästudirektiivi 2012/27/EL alusel rakendatav üldine energiasäästukohustus mahus 14,7 TWh perioodil 2020-2030 aitab hoida energia lõpptarbimist samal tasemel. Energiatarbe vähendamine saab toimuda primaarenergia tarbimise tõhusamaks muutmise läbi.
- Primaarenergia tarbimise vähenemine kuni 14% (võrreldes viimaste aastate tipuga): perioodil 2020-2030 on Eestil võimekus vähendada primaarenergia tarbimist mh seoses põlevkivitööstuse uuendustega.

¹³⁸ [REKK 2030](#)

¹³⁹ [Euroopa Parlamendi ja nõukogu otsus \(EL\) 2015/1814](#)

- Energiajulgeoleku tagamine hoides imporditud energiast sõltuvuse määra võimalikult madalal: hoitakse kohalike kütuste kasutust võimalikult kõrgel (sh suurendatakse kütusevabade energiaallikate kasutust), rakendatakse biometaani tootmise ja kasutuse potentsiaali.
- Elektrivõrkude riikide vahelise ühendatuse miinimumkriteeriumitele vastamine: Läti suunalise võimsuse suurendamine ja elektrivõrgu sünkroniseerimine Kesk-Euroopa sagedusalaga 2025. aastal.
- Teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni kasutamine meetmetes majanduse konkurentsivõime hoidmiseks: energiamajanduse teadus- ja arendusprogramm elluviimine võimaldab meetmeid rakendada teadus- ja innovatsioonisaavutusi kasutades.

Eestis on vesiniku laialdasema kasutamise toetamiseks viimastel aastatel tehtud järgmised strateegilised otsused.

- **18. märtsil 2016** asutati Eesti Vesiniku Tehnoloogiate Ühing, mis ühendab erinevaid Eestis tegutsevaid vesinikutehnoloogiatega seotud isikuid, ettevõtteid, teadusasutusi ning huvigruppe. Ühingu tegevus rajaneb liikmete initsiatiivil ja ühiskondlikul tegevusel. Loengute, seminaride, strateegilise kommunikatsiooni, lobitegevuse ning näidisprojektide kaudu suurendatakse inimeste teadlikkust vesinikutehnoloogiate arengust ja kasutusvõimalustest ühiskonnas.¹⁴⁰
- **17. septembril 2018** allkirjastasid mitmed EL-i liikmesriigid, sealhulgas Eesti, Austrias toimunud konverentsil *Charge for Change: Innovative Technologies for Energy-Intensive Industries* vesinikualgatuse dokumendi (The Hydrogen Initiative).¹⁴¹
- **3. oktoobril 2019** kiitis valitsus heaks Euroopa pikaajalise strateegilise visiooni „Puhas planeet kõigi jaoks“ seisukohad, millega Eesti toetab kliimaneutraalsuse eesmärgi seadmist kogu EL-is aastaks 2050.¹⁴²
- **25. oktoobril 2019** asutati Keskkonnaministeeriumi eestvedamisel vesiniku töörühm, mille eesmärk on vesiniku- ja kütuseelementide tehnoloogia rakendamine kliimaeesmärkide saavutamiseks. Lisaks paneb töörühm kokku Eesti vesiniku teekaarti.¹⁴³
- **2020. aasta juunis** kinnitas valitsus Eesti seisukohad Euroopa rohelise kokkuleppe kohta. Oluline valdkond Eesti jaoks on vesiniku- ja muude taastuvenergia ja -kütuste tehnoloogiate arendamine.¹⁴⁴
- **2020. aasta oktoobris** alustati Eesti vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüsiga, mille eesmärk on tuvastada Eestis rohelise ja sinise vesiniku tootmise, jaotamise ja tarbimise potentsiaal ning kasutuselevõtu võimekus. Uuring loob Eestis vesiniku tootmisest ja kasutusele võtmisest tervikkäsitluse, hinnates vesiniku tootmise ja kasutamise potentsiaali Eestis, kaardistades ära võimalused, kitsaskohad, turutõkked ja ohud ning nn strateegilised läbilöögisuunad tulevikuks, sh tuues välja ja hinnates potentsiaalseid ärimudeleid.
- **12. novembril 2020** otsustas valitsus toetada üleeuroopalist energiasüsteemide integreerimise ja vesinikustrateegiat. Vesinikustrateegiaga soovib komisjon anda tõuke puhta vesiniku tootmisele EL-is, mis võimaldab vähendada kasvuhoonegaaside heidet ja pakkuda alternatiivi fossiilkütustele. Strateegia

¹⁴⁰ [Eesti Vesinikuühing:](#)

¹⁴¹ [REKK 2030](#)

¹⁴² [Vabariigi Valitsus, Valitsus toetab Euroopa kliimaneutraalsuse saavutamist aastaks 2050:](#)

¹⁴³ [Eesti Vesiniku Tehnoloogiate Ühing, Vesiniku kick-off kohtumine](#)

¹⁴⁴ [Vabariigi Valitsus, Valitsus kinnitas Eesti seisukohad Euroopa rohelise kokkuleppe kohta](#)

eesmärk on toetada tuule- ja päikeseenergia rajaneva puhta vesiniku tootmist, ent lühiperspektiivis aktsepteeritakse ka teiste madala süsinikusisaldusega kütuste baasil vesiniku tootmist.¹⁴⁵

- **27. oktoobril 2020** algatati vesinikustrateegia väljatöötamise eelnõu.¹⁴⁶
- **23. novembril 2020** saadeti vesinikustrateegia väljatöötamise eelnõu esimesele lugemisele.¹⁴⁷
- **9. detsembril 2020** lükati vesinikustrateegia väljatöötamise ettepanek Riigikogu hääletusega tagasi.
- **17. detsembril 2020** allkirjastas Eesti koos 22 EL-i liikmesriigi ja Norraga vesiniku IPCEI manifesti.¹⁴⁸
- **11. veebruaril 2021** kiitis Kaja Kallase valitsus heaks 100 päeva plaani, mille üks alaeesmärk on töötada majandus- ja taristuministri eestvedamisel välja vesinikkütuste strateegia ja vesiniku pilootprojekt, et katsetada Eesti oludes vesiniku tervikahelat tootmisest kasutamiseni. Lisaks otsustati samal päeval koos Euroopa Komisjoniga suunata EL-i taaste- ja vastupidavusrahastusest (RRF) 50 miljonit eurot vesiniku terviktehnoloogiate kasutuselevõtu edendamisse.¹⁴⁹
- **23. veebruaril 2021** avalikustati Vabariigi Valitsuse tegevusprogramm (VVTP) perioodiks 2021–2023, mille üks eesmärk on töötada välja vesinikkütuste strateegia ja vesiniku pilootprojekti meede, et katsetada Eesti oludes vesiniku tervikahelat, mille raames tuleb vesinikku toota, tarnida ja tarbida.¹⁵⁰
- **8. märts -30. märts 2021** toimus EAS-is Vesiniku suurprojektide huvikorje – H₂-IPCEI vooru ettevalmistamine ja läbiviimine.
- **29. juuni 2021** võeti vastu määrus „Toetuse andmise tingimused ja kord rohevesiniku kasutuselevõtuks ühistranspordisektoris,“ mille raames sai 5 miljoni euro ulatuse toetust taotlema pilootprojektidele, kus võetakasutusele rohevesiniku tervikahel (tootmisüksus, tarnetaristu, transpordivahendid).
- **30. juuni 2021** avalikustati Eesti vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüs, mille koostas CIVITTA koostöös SEI Tallinna ja KBFI-ga.¹⁵¹

4.2 Tänapäevane võimekus ja tulevikupotentsiaal

4.2.1 Tootmine

Vesiniku tootmine Eestis toimub praegusel ajal ainult väga väikestes kogustes. Vesinikku toodetakse vähesel määral Tartus ja Narvas: Tartu Ülikool toodab ja tarbib rohelist vesinikku peamiselt teadus- ja arendustegevuse eesmärgil, Eesti Energia toodab halli vesinikku sisekasutuseks. Eestis ei ole ka väetise-/ammoniaagitööstust ega terasetööstust, mistõttu imporditakse Eesti oma nõudluse rahuldamiseks enamikku tooteid, mis hõlmavad vesiniku vahetootmist, nt väetised, ammoniaagi ja terase.

Tänu märkimisväärsetele põlevkivivarudele on Eesti tugevalt fossiilkütustele tuginev riik, kuid põlevkivi rafineerimistehase puudumine tekitab rafineeritud õli (kõrgema astme autokütused) suure impordivajaduse, s.o 1,82 miljardit USD. Eesti elektritootmine põhineb suures osas

¹⁴⁵ [Eesti toetab kahte rohepöördeks vajalikku üle-euroopalist strateegiat](#)

¹⁴⁶ [Eesti Vesiniku Tehnoloogiate Ühing, Eesti vesinikustrateegia](#)

¹⁴⁷ [Eesti Vesiniku Tehnoloogiate Ühing, Eesti vesinikustrateegia](#)

¹⁴⁸ [Eesti Vesiniku Tehnoloogiate Ühing, Vesiniku IPCEI](#)

¹⁴⁹ [Kaja Kallase valitsus kiitis heaks 100 päeva plaani](#)

¹⁵⁰ [Vabariigi Valitsus, Kaja Kallase valitsus kiitis heaks 100 päeva plaani](#)

¹⁵¹ [Eesti Vesinikuressursside kasutuselevõtu analüüs, Civitta, SEI Tallinn, KBFI 2021](#)

põlevkivil. Kuni 2018. aastani oli elektrivõrku antud elektrienergia peamiselt (2018. aastal 86%) taastumatut/fossiilset päritolu. Kuid viimaste aastate põlevkivi kasutamise järkjärguline vähenemine ja uute taastuvenergia tootmisvõimsuste kasutuselevõtt on toonud kaasa taastuvenergia osakaalu suurenemise Eesti üldises elektritootmises.

2019. aastal toodeti Eestis tsentraalselt 4518 GWh soojust (kaugküte). Eesti küttesektoris kasutatakse peamiselt biomassi, 2019. aastal pärines 59% (2676 GWh) kogu toodetud soojusest biomassist (hakkpuit ja jäätmed). Samas moodustasid põlevkivi, põlevkiviõli ja maagaas endiselt ülejäänud 41% toodetud soojusest ehk Eesti elektri- ja soojusmajandus on endiselt olulisel määral põlevkivist sõltuv.

Elektri- ja soojatootmisest tulenevad kasvuhoonegaaside heitkogused on osa EU ETS süsteemist. (EU Emissions Trading System (EU ETS), n.d.) Kuna heitkogustega kauplemise ülempiir väheneb jätkuvalt, suureneb CO₂ heitkoguste maksumus veelgi. Säästvatele alternatiividele keskendumine on oluline saavutamaks eesmärki 2035. aastaks täielikult lõpetada põlevkivielektri ja 2040. aastaks põlevkiviõli tootmine Eestis.¹⁵²

Kuna Eestis puudub praegu vesiniku tootmine, puuduvad suured tööstusharud, nagu nafta rafineerimistehased, E-kütuse-, väetise- ja terasetehased, ei vaja Eesti vesiniku tootmise puhul mitte niivõrd infrastruktuuri muutmist, vaid pigem uue infrastruktuuri rajamist.

4.2.2 Ladustamine ja jaotus

Praegu ladustatakse vesinikku gaasilisel kujul spetsiaalsetes väikesemõõtmelistes mahutites, mida veoautode haagistega transporditakse. Hetkel puudub Eestis vesiniku/gaasi maa-alune ladustamispotentsiaal. Eestil on küll maagaasitorustik, kuid praegune gaasitorustik ei sobi puhta vesiniku jaotamiseks ilma suuremahulise ümberehituseta. Tallinna Tehnikaülikooli poolt läbi viidud uuringu kohaselt saab maagaasitorustiku võrku lisada 2,5 % vesinikku ilma suuremate infrastruktuurimuudatusteta.

Üleminek vesinikuenergiale nõuaks varustuskindluse tagamiseks suuremat ja mitmekesisemat vesinikuhooldate võrgustikku, isegi kui kohapeal ei ole võimalik toota piisavalt vesinikku. Erinevates olukordades on vaja erinevaid tehnoloogiaid, näiteks võib olla vaja vaid mõne tunni pikkust ladustamist, kui vesinikku transporditakse edasi; paakvõrkudes võib olla vaja paari tunni kuni ühe päeva pikkust ladustamist, kuid pikemaajaline ladustamine alates mõnest päevast kuni nädalateni tagaks varustuskindluse.

Vesiniku ladustamine ja jaotamine on otseselt seotud vesiniku tootmisega, seega on need omavahelises sõltuvuses. Selleks, et määrata kindlaks konkreetne ladustamise ja jaotamise teekaart, tuleb arvesse võtta mitmeid erinevaid tegureid (kaod, maht, tehnoloogia, kulud, majanduslik elujõulisus, tarbimine jne).

Väikeses mahus ladustamise puhul on gaasimahutid kulutõhusad ja kõige lihtsamini kasutatavad (nii vesiniku kui ka ammoniaagi puhul). Pikaajalise ladustamise korral tuleks teha piirkondlikku koostööd naaberriikidega (nt Läti, Leedu). Muud meetodid, nagu absorbeerijad, LOHC, veeldatud vesinik ja krüotehnika, vajavad kas aega arendamiseks või ei ole Eesti kontekstis praegu teostatavad. Vesiniku jaotamine toimub praegu kahel viisil. Väikese mahu puhul on vesiniku veokid

¹⁵² [Estonia: from shale to gale, Vasser M. 2021](#)

koos paakhaagistega kõige otstarbekam võimalus, kuid mahu olulise suurenemise korral on vesiniku torustikud parimaks võimaluseks.

Majanduslikke võimalusi pakuvad ka vesinikutanklate ja -ladustamisrajatiste arendamine ja hooldus, veoautode haagiste jaotusvõrgu arendamine, gaasivõrgu arendamine ja laevakütuse punkerdamine (ammoniaak ja vesinik).

4.2.3 Tarbimine

Vesiniku tarbimine Eestis on samuti väikesemahuline, kuna riigis puuduvad naftatöötlemistehased ja suuremahuline keemiatööstus (metanool, ammoniaak, väetisetööstus). Vesinikku kasutatakse Eesti teadusasutustes ja erinevate idufirmade ning ettevõtete poolt vesinikkütuseelemendil põhinevate nutikate lahenduste välja töötamiseks (nt SKYCORP OÜ vesinikkütuseelemendi droonitehnoloogia, PowerUPi plug-and-play väikekütuseelemendi generaatorid). Vesinikku tarbitakse ka energiasektoris, Eesti Energia kasutab vesinikku nii Ida-Virumaa sisekasutuseks kui ka mitmete ülikoolide ja ettevõtete keemialaboratuuriumides üle riigi. Auve Tech'i ja Tartu Ülikooli autonoomse minibussi projekt on Eesti esimene vesinikul põhinev transpordilahenduse verstaapost, mis keskendub viimase miili lahenduse loomisele.

Suurim vesiniku tarbimise potentsiaal Eestis on keemiatööstusel tuginedes rohelisest vesinikust toodetud ammoniaagile ja metanoolile ning nende ekspordipotentsiaalile, mille järele on ka ELis kasvav nõudlus. Kuna Eestis on suur põlevkivi ja samal ajal ka biomassi tootja, saaks CO₂-te koguda põlevkivi töötlemise tehastest, põlevkiviõilil põhinevatest elektrijaamadest ja biogaasijaamadest ning kombineerida seda rohelise vesinikuga protsessi läbi, mida nimetatakse metanatsiooniks, et töödelda sünteetilist metanooli, mis on vajalik tooraine mitmesuguste tööstustoodete, nt polümeeride jaoks. Praegu impordib Eesti kõik vesinikupõhised kemikaalid/väetised (ammoniaak, metanool, karbamiid jne). Rohelise vesiniku lisamine võib teha võimalikuks nende tööstuskemikaalide kodumaise tootmise.

Transpordisektoris on kõige otstarbekam rohelise vesiniku ja selle derivaatide (rohelise ammoniaagi E-kütused jne) kasutamine raskeveokites, veoautotranspordis, meretranspordis ja lennunduses. Vesiniku laiaulatuslik tarbimine eeldab erinevates sektorites infrastruktuuri muutmist ning pakub majanduslikke võimalusi tuluartiklite ja töökohtade loomiseks. Potentsiaalsed kodumaised tehnoloogiaarendused, mis aitaksid kaasa majanduskasvule, on kütuseelementidel põhinevad autod, bussid, veoautod, lennundus, praamid, merelogistika, kütuseelementide kütteallikad, gaasi dekarboniseerimine, kütuseelemendid gaasist elektrienergiaks kasutamise lahenduste jaoks. Investeeringud nendesse tehnoloogiatesse aitavad kaasa uute oskuste arendamiseks suunatud programmidele ning tööturu mitmekesistamisele luues uusi töökohti erinevates valdkondades. Kodumaise tehnoloogia arendamise ja vesiniku ekspordi järkjärgulise suurenemisega saab riik astuda majandusliku revolutsiooni poole.

4.3 Teadus ja arendustegevus ning erasektori valmisolek

Eesti vesinikualase teadustegevuse valdkonnas on toimumas kiired arengud ning Eesti praegune võimekus ja oskused vesinikutehnoloogiate valdkonnas on väga paljulubavad. Tartu Ülikoolis on vesiniku kompetentsikeskus, kus tehakse uuringuid erinevatel vesiniku teemadel.

Olemas on teadmised ja oskused nii rohelise vesiniku kui ka halli vesiniku tootmiseks metaani aur-reformimisest, viimast Nitrofert AS ja Eesti Energia poolt. Elektrolüüserid, metaanireformerid ja

gaasistajad on praegused Eestis olemasolevad tehnoloogiad, mis tõstavad esile vesiniku tootmise potentsiaali. Ka jaotus- ja ladustamistehnoloogiate osas on Eestil olemas vajalikud oskused ja teadmised. Metallitööstus suudab toota selliseid komponente nagu mahutid, haagised ja torustikud. Tanklate võrgustiku rajamine ja hooldamine on hästi teada. Ülikoolid (Taltech ja Tartu Ülikool) võivad pakkuda teenuseid võrgu arendamisel ja analüüsimisel.

Vesinikku kasutatakse mitmetes Eesti teadusasutustes ning arvukad idufirmad on tutvustanud vesinikkütuseelemendil põhinevaid nutikaid lahendusi. Alljärgnevalt on toodud ülevaade teekaardi koostamise käigus kaardistatud erinevate ettevõtete praegusest tegevusest ning tulevikuplaanidest rohelise vesiniku tootmise valdkonnas.

Tabel 3 Ülevaade erinevate ettevõtete praegustest tegevustest ning tulevikuplaanidest.

Tartu Vesinikuorg	Tartu osaleb EL missioonil “100 kliimaneutraalset linna aastaks 2030” ning vesinikku nähakse Tartus kui üht tugevat lahendust selle eesmärgi saavutamiseks. Tartu soovib esimesena linnana Eestis alustada rohevesiniku tootmist ja kasutamist ning esimeseks sammuks selles oleks terviklahenduse loomine ühistranspordis. Vesiniku tootmise, tankimise ja busside hankimise tagavad koos Tartu linnaga rohevesiniku projektis osalevad partnerid AS Alexela, Eesti Energia AS ja AS GoBus. Projekti raames on kavas 2023 aastal linnaliine teenindama panna kolm vesinikul töötavat bussi, mille aastane hinnanguline läbisõit on kuni 240 000 kilomeetrit. Taotlus esitatakse Keskkonnainvesteeringute Keskusele ning projekti maksumus on 5 miljonit eurot.
Estiko	Estiko Energia kuulub Euroopa Puhta Vesiniku Liitu. Koos Tartu linnaga on Estiko esitanud EASI ideekorjele mõtte, kuidas Lõuna-Eestis võiks arendada vesinikutootmist rohelisest elektrist ja kuidas vesinikku kasutada. Raadile on kerkimas päikesejaam planeeritud võimsusega 50-60 megavatti ning selle peamiseks funktsiooniks saab olema vesinikutootmine, mille potentsiaalseks võimsuseks saab olema ca 750 t/H ₂ , mis hakkab varustama Tartu linna bussivõrku.
Stargate hydrogen	Stargate pakub täisteenuslahendusi rohelise vesiniku tootmiseks elektrolüüsi teel – aastaks 2026 on IPCEI esimese laine projekti raames plaanis rajada Eestisse gigavatt-skaalane leeliseliste elektrolüüsereid tööstus. Neid elektrolüüsereid saab kasutada kohaliku rohelise vesiniku, samuti rohelise ammoniaagi, e-metanooli ja SAF-i suuremahuliseks tootmiseks. Samuti loob Stargate võimalusi kütuseelemendil vedurite kasutuselevõtuks, tarnides vesinikavedureid rahvusvahelisele raudtee -ettevõttele Operail. Stargate plaaniks on muuta 40 diiselmootoriga

kaubavedurit kütuseelemendil veduriks. Esimese vesinikveduri prototüübi tarnimine on kavandatud 2022. aasta lõpuks.

Eesti Energia vesinikuplaanid

Eesti Energia toodab täna ettevõtte siseselt ca 30 t/H₂ aastas. Seejuures on hinnatud, et kohaliku tuuleenergia potentsiaal vesiniku tootmiseks oleks ca 10 000 t/H₂ aastas ning Riia lahe avamere tuuleenergia potentsiaal on ca 80 000 t/H₂ aastas. Eesti Energia soovib lähiaastail käivitada rohevesiniku tootmise pilootprojektid oma tuuleparkide läheduses ja koostöös teiste ettevõtetega viia toodang lõpptarbijateni, milleks võib olla nt raudtee-, linna- või maanteetransport.

Sky-Corp

Sky-Corp on Eesti ettevõte, kes on loonud Euroopa esimese kaubanduslikult kättesaadava vesinikdrooni -Drone Zero.

Keila vesinikuplaanid

4. septembril 2020 allkirjastasid Tartu Ülikool ja Keila linn koostööleppe, mille alusel aitab ülikool Keilal koolituste, konsultatsioonide ja linnale oluliste uuringute kaudu saada esimeseks vesinikutehnoloogiat kasutavaks omavalitsuseks Eestis. Keila soodne asukoht loob head eeltingimused vesinikutehnoloogiate kasutamiseks nii transpordis, energeetikas kui ka tööstusprotsessides. Lähedalasuva Paldiski tuulepargi abil saab kasutada vesiniku tootmiseks taastuvenergiat. Linna läbiv Balticconnector gaasitoru võimaldaks vesinikku transportida ja tänu suuremate tanklakettide olemasolule saab rajada kohapeale mugavad tankimisvõimalused. Keilas katsetati 2021 aasta aprillis ka ajutist vesinikutanklat.

Skeleton Technologies

Skeleton Technologies on Eesti ettevõte, mille eesmärgiks on grafeenipõhiste ultrakondensaatorite väljatöötamine, et muuta energiasalvestustööstust ja seeläbi aidata ettevõtetel energiat säästa. Skeleton Technologies liitus 2020 aastal Euroopa Puhta Vesiniku Liiduga, mille eesmärgiks on koondada kõik vesiniku väärtusahela sidusrühmad, sealhulgas tööstuses osalejad, riikide ja piirkondade valitsused, kodanikuühiskond, investorid ning teadus- ja tehnoloogiaorganisatsioonid. Vesiniku kui energiakandja toetamine on Skeletonis strateegiliseks fookuseks, kuna ultrakondensaatorid ei võimalda mitte ainult vesiniku tõhusamat tootmist taastuvenergia abil, vaid võivad toetada ka vesinikkütuseelementide tõhusamat toimimist, kiirendades oluliselt tehnoloogia kasutuselevõttu turul. Seeläbi toetab Skeleton Euroopa energiamaastikku, mis ei sõltu fossiilkütustest. Skeleton teeb juba koostööd vesinikusektori partneritega ja tarnib oma järgmise põlvkonna suure energiaga ultrakondensaatoreid Wrightbusile, juhtivale busside originaalseadmete tootjale, mille peakorter asub Põhja -lirimaal ja H₂Bus Consortiumile, et toita

vesinikkütuseelemendil busse Ühendkuningriigis. Osaleb projektiga vesiniku IPCEI esimeses laines.

Utilitas	Energiakontsern Utilitas plaanib ehitada Ruhnu ja Abruca vahele ja Sõrve poolsaare külje alla tuulepargid, kus hakatakse tootma ka vesinikku.
Elcogen	Elcogen on Eesti ettevõtte, mis arendab ja toodab maailma kõige tõhusamat tahke oksiid elektrolüüdiga kütuseelementide tehnoloogiat. Kütuseelemendid on vesinikutehnoloogia liik, mis võimaldab energiat toota ja vesinikuks salvestada elektrokeemilise reaktsiooniga, ilma kütuseid põletamata. Osaleb IPCEI esimeses laines.
Tartu Ülikool	Tartu Ülikooli keemia instituudil on vesinikutehnoloogia arendamisel Eestis peamine roll. Ülikooli eestvedamisel tegutseb teaduse tippkaksus, kus uuritakse energia salvestamiseks ja muundamiseks vajalikke uudseid materjale ja kõrgtehnoloogilisi seadmeid.
Keemilise ja bioloogilise füüsika instituut KBFI	KBFI teostab alus- ja rakendusuuringuid ning tegeleb arendustegevuse ja teadmussirdega mitmetes energia, füüsika ja keemiaga seotud valdkondades, sealhulgas ka vesinikuenergeetikas.
Tallinna Sadama vesinikuplaanid	Tallinna Sadam on välja töötanud oma Vesinikustrateegia. Sadama peamiseks plaaniks on ennekõike vesiniku ekspordi- ja imporditerminali rajamine, mis võimaldaks ka ülejäänud Euroopat vesinikuga varustada. Samuti otsitakse viise kuidas parvlaevad viia üle vesinikkütusele.
Atrado	Atrado töötab välja mitmeid variante vesiniku tankimisjaamadest ja jaotusest, mis põhinevad erinevate transpordivahendite väljundrõhu nõuetel.
PowerUp Energy Technologies	PowerUp Energy Technologies tutvustas 2021. aastal vesiniku jõul töötavaid võrguväliseid generaatoreid, mis on mõeldud saastavate ja mürarikaste diisलगeneraatorite asendamiseks.
Xfly	Xfly töötab 70-kohalise ATR 72-600, kahe mootoriga turbopropellermootori ümberehitamise kallal, mis töötaks koos vesinikkütuseelemendi infrastruktuuriga.

4.4 Piirkondlik koostöö

Tänu suurele taastuenergia potentsiaalile võib Eestist saada vesiniku eksportija lähiriikidele, kelle praegune tööstuslik vesinikutarbimine on suure nõudlusega. Eestil võib olla oluline roll kogu ELi hõlmavas koostöövõrgustikus, mis on tähtis ELi vesinikuturu loomise lihtsustamisel. Riikidevahelise koostöö hõlbustamiseks on loodud Euroopa vesiniku selgroog (EHB), mis kujutab endast 20 Euroopa riigi 20 põhivõrguettevõtte, sealhulgas Eleringi liitu. Liidu eesmärk on arendada paindlikke lahendusi erinevates sektorites (elektrienergia, gaasi, transpordi ja soojus) ja koostööd infrastruktuuri kasutuselevõtuks. EHB näeb ette mitmeid energiasalvestusvõimsuse ja energiakandjate lahendusi: elektrienergia muundamine gaasiks (vesinik, sünteetiline gaas), elektrienergia muundamine soojuseks, kütuseelemendid (gaasist elektrienergiaks) jne.

Eestil on märkimisväärne piirkondlik koostööpotentsiaal roheline vesiniku ladustamise ja jaotamise osas. Esmane, ning kõige kiirem ja kättesaadavam samm millest alustada, on koostöövõrgustiku loomine Põhjamaade ja Baltiriikidega vesiniku transpordi ja pikaajalise ladustamise osas. Eriti just Eesti-Läti koostöö tootmise (tuuleparkide kaudu) ning jaotamise ja ladustamise osas. ELi ühine gaasivõrk pakub Eesti jaoks samuti suurepäraseid võimalusi. Samuti tuleks keskenduda vesiniku tarnimisele EL-i suurimate tarbijateni (nt Saksamaa, Madalmaad jne) meretranspordi kaudu, mida hõlbustab uute veeldatud maagaasi sadamate arendamine.

5 Vesiniku väärtusahela barjäärid Eestis

Kuna Eestis seni vesinikku laiaulatuslikult ei toodeta ega tarbita, on puudunud vajadus ka seda reguleerida. Tabel 4 antakse ülevaade energeetikaga seotud riiklikest strateegiatest, seadustest ja määrustest ning vesiniku mainimisest või mittemainimisest neis käesoleva teekaardi konsultatsiooniprojekti koostamise ajal.

Tabel 4 Vesiniku mainimine energeetikaga seotud riiklikes strateegiates, seadustes ja määrustes

Riiklikud strateegiad	
ENMAK 2030	√
REKK 2030	√
Kliimaambitsiooni analüüs 2050	√
Seadused ja määrused	
Vedelkütuse seadus	-
Vedelkütuste erimärgistamise seadus	-
Kaugkütteseadus	-
Maagaasiseadus	-
Seadme ohutuse seadus	-
Toote nõuetele vastavuse seadus	-
Vedelkütusevaru seadus	-
Tuleohutuse seadus	-
Elektrituruseadus	-
Energiamajanduse korralduse seadus	-
Alternatiivkütuste taristu tegevuskava	√
Alternatiivkütuste taristu kasutuselevõtule esitatavad ohutusnõuded	√
Ohtlike veoste rahvusvahelise autoveo Euroopa kokkulepe (ADR)	-
Küttegaasi kasutavale gaasipaigaldisele, selle ehitamisele ja gaasiseadme paigaldamisele ning gaasiballooni ladustamisele ja gaasianuma täitmisele esitatavad nõuded	-
Kemikaaliseadus	-
Maagaasiseadus	-
Atmosfääriõhu kaitse seadus	√

Tabelist jäeldub, et erinevates Eesti riiklikes energeetikaga seotud strateegiates on vesinikku mainitud, kuid vesiniku käsitlus seadustes ja määrustes vajaks veel lisatööd.

- REKK 2030-s tuuakse vesinik välja kui üks efektiivsemad võimalusi liikuda vähese süsinikuheitega majanduse poole. Lisaks nimetatakse seda võimaliku energiasalvestuse variandina, rõhutades, et vesinik võiks olla üks põhilisi taastuvenergia salvestamise võimalusi ning üks soodsamaid võimalusi elektri päevadeks, nädalateks või kuudeks salvestamiseks. Puhtale energiale üleminekuks tuleb taastuvenergiast saadud vesinik võtta kasutusse transpordis, hoonetes ja elektri tootmisel, st muuhulgas teha vesinik kättesaadavaks kasutajatele.

- ENMAK 2030-s on vesinikku mainitud kui potentsiaalset tuleviku transpordikütust, lootes selle variandi võimalikule edaspidisele uurimisele teadus- ja arendustegevuses.
- Kliimaambitsiooni analüüsis 2050 töötati välja kaks vesinikupõhist meedet: vesinikutootmine 10% ulatuses tänasest maagaasivõrgu mahust ja vesiniksõidukite kasutuselevõtu toetamine (u 9000 perioodil 2040–2050).
- Alternatiivkütuste taristu tegevuskavas on vesinikku esitletud kui suure kasvuhooonegaaside heite vähendamise potentsiaaliga alternatiivkütust. Samas on välja toodud ka vesiniku senine kasutus maantee- ja meretranspordis, võttes kokku, et ei maanteetranspordis ega laevanduses seda praegu ei kasutata või puudub kasutuseks valmisolek. Seevastu aga on mainitud, et esimesed laadimistaristu osad on plaanimisel.
- Alternatiivkütuste taristu kasutuselevõtu ohutusnõuetes on sätestatud nõuded transpordi elektri ja vesinikuga varustamisele ehk mootorsõiduki vesinikutanklatele, mis peavad vastama direktiivi 2014/94/EL artikli 5 punkti 2 nõuetele.
- Atmosfääriõhu kaitse seaduses käsitletakse vesinikku kui energiakandjat, mida kasutatakse maantesõidukites ja väljaspool teid kasutatavates liikurmasinates, siseveelaevades, põllu- ja metsamajandustraktorites ning väikelaevades, kui need ei ole merel. Vesiniku tarnijat on seaduses käsitletud võrdväärselt elektrienergia ja gaasikütuse tarnijaga. AÕKS § 155 lg 1 kohases VV määruses “Kasvuhooonegaaside lubatud heitkoguse ühikutega kauplemise süsteemi kuuluvate käitajate tegevusalade loetelu” on vesiniku tootmine valdkonnana ära märgitud. See tähendab, et vesinikutootmine kuulub EL-i kasvuhooonegaaside lubatud heitkoguse ühikutega kauplemise süsteem kohaldamisalasse.

Allolevalt on esitatud peamised majanduslikud ja õiguslikud/barjäärid väärtusahela eri osade lõikes, mis takistavad vesiniku kasutuselevõttu tänases Eestis. Detailne kaardistus ning ülevaade on toodud Eesti vesinikuresursside kasutuselevõtu analüüsis.^{153 154}

5.1 Väärtusahela ülesed barjäärid

1. Poliitiliste eesmärkide senine ebapiisavus, sealhulgas vesiniku strateegia puudumine, **mis muudab vesiniku kui energiaallika kasutamise ja sellesse investeerimise investorite silmis ebaatraktiivseks lahenduseks.**
2. **Vajalik tõhusam koostöö erinevate turuosaliste ja otsustajate vahel.** Eestis on turuosalisi ja valitsusasutusi ühendav katusorganisatsioon – Eesti Vesiniku Tehnoloogiate Ühing – aktiivselt tegutsenud juba viimased kolm aastat. Selle aja jooksul on suudetud äratada riiklik huvi vesiniku kui paljutootava energiakandja ja kliimaprobleemidele lahendusi pakkuva võimaluse vastu. Ühing on küll näidanud, et on Riigikogule ja valitsusele tugev partner, aga vajab riigilt nii materiaalselt kui ka kommunikatsioonialast tuge ühise eesmärgi saavutamiseks.
3. Avalikkuse vähene kaasamine; üldsuse ja otsustajate vähene teadlikkus ja usaldamatus vesiniku suhtes. **Erinevate tehnoloogiliste lahendustega ja nendega seotud riskidega ei olda kursis ning vesinikku suhtutakse umbusaldavalt.**

¹⁵³ [Eesti Vesinikuresursside kasutuselevõtu analüüs, Civitta, SEI Tallinn, KBFi 2021](#)

¹⁵⁴ Ülevaade barjääridest põhineb erinevate kirjanduslike allikate (HYLaw projekt: <https://www.hylaw.eu/> ning erinevate riikide vesiniku teekaardid) ülevaatel mis on läbi töötoa 2021 aasta aprillis kohalike sidusrühmadega kohandatud Eesti olukorrale vastavaks.

4. Riigiabimeetmetest tulenevad piirangute vajalik kohandamine. **Riigiabimeetmete omaosaluse protsent on liialt kõrge ega motiveeri investoreid vesinikulahendustesse investeerima.**
5. Puuduvad teadmised vesinikutehnoloogiate kasutuselevõtuga seotud päästevõimekuse kohta. **See omakorda muudab tehnoloogia ettevõtjate ning ametnike silmis ebaatraktiivseks.**
6. Puuduvad vajalikud teadmised ja pädevused vesinikuseadmetele/tehnoloogiatele vajalike hooldusteenuste ja nende osutamise kohta, **muutes vesinikutehnoloogiatele ülemineku kasutajetele riskantseks.**

5.2 Vesiniku tootmine ja ladustamine

1. **Vesiniku tootmisel üheks suurimaks barjääriks on roheline vesiniku tootmiseks vajaminev taastuvenergia (tuule-, päikeseenergia) ebapiisavus**, mille edaspidisel suurendamisel tuleks ühtlasi luua sünergia vesinikuga (tuule- ja päikeseelektri tootmine kombineerituna vesiniku elektrolüüsi ja salvestamisega). Seetõttu on oluline jätkusuutlikuks muuta ka tuule- ja päikeseenergiaparkidele antavad taastuvenergia toetuskeemid jms rahalised vahendid ning leevendada õiguslikke piiranguid eelkõige tuuleparkide rajamiseks.
2. **Vesiniku tootmiseks ja ladustamiseks sobilike alade hulk on piiratud, mille tulemusel on planeerimis- ja ehituslubade taotlemise protsessid väga pikad.** Vesiniku senine käsitus tööstusliku gaasina piirab selle tootmiseks sobilike alade leidmist, kuna vesiniku tootmis- ja salvestamiseseadmeid lubatakse paigaldada maakasutuse planeeringutest lähtuvalt vaid tööstusaladele (sarnaselt teiste tootmis- ja tööstusrajatistega reguleeritakse vesiniku tootmiseks sobilikke alasid maakasutuse seadustega). Tihtipeale on investorite silmis ebamotiveeriv ka väga ajamahukaks kujunev planeerimis- ja ehituslubade taotlemine ning keskkonnamõjude hindamine. Kõik need on vajalikud tegevused, aga vesiniku kasutuselevõtu edendamiseks saaks riik neid veelgi leevendada ja lihtsustada, näiteks lubada väiksemaid vesiniku salvestamis- ja tootmisrajatisi rajada ka tööstusaladest väljapoole.
3. **Vesiniku tootmis- ja ladustamisrajatiste kõrged investeeringukulud.** Kuna Eestis tasuks vesiniku ladustamiseks eelkõige investeerida suurtesse, kas kokkusurutud või vedela vesiniku ladustamiseks mõeldud paakidesse on ilma vajalike investeeringutoetusteta ladustamiseks mõeldud rajatiste ehitamine üpriski keeruline, kuna nimetatud tehnoloogiad nõuavad keeruliste operatiivsete probleemide lahendamist.
4. **Vesinikku ja selle tootmiseks vajaminevaid elektrolüüsereid ei ole teiste alternatiivkütustega võrreldes riiklikes energiadirektiivides ja muudes asjakohastes seadustes või määrustes piisavalt käsitletud.**

5.3 Vesiniku jaotus

1. **Ebakindlus vesiniku lubatud mahuprotsendi osas olemasolevasse gaasivõrku lisamisel ning puuduvad rahalised stiimulid selle tegevuse soodustamiseks.** Ehkki TalTech on hiljaaegu Eleringi tellimisel koostanud uuringu¹⁵⁵, kus hinnatakse vesinikusisalduse võimalikku mahuprotsenti, mida saaks segada olemasolevasse gaasivõrku (uuringu kohaselt on mahuprotsent 2–5%), ei ole seda ametlikult kajastatud ega poliitiliselt või regulatiivselt kinnitatud. Kuna pole selge, milline on vesiniku võimalik mahuprotsent ja segatud maagaasi hind on kõrge, takistavad need asjaolud vesiniku laialdast kasutuselevõttu Eestis.

¹⁵⁵ [Vesiniku kasutamise potentsiaal ja ühenditest tulenev mõju ülekandetorustikele ja lõpptarbijate seadmetele, Agabus H. et. al. 2020](#)

2. Vesiniku jaotamiseks puudub spetsiaalne gaasivõrgustik, **mis teeb vesiniku jaotuse eelkõige tööstus- ja hoonetesektoris kasutamiseks väga keeruline.**
3. Puuduvad selged eestikeelsed määrused, koodeksid, standardid selle kohta, millise rõhu alla ja mis koguses on lubatud vesinikku mööda maanteed transportida
4. Puuduvad selged eestikeelsed transpordipiirangud, mida võidakse kohaldada maanteedranspordil (autojuhtide sertifikaadid; teepiirangud)
5. Vesiniku meretranspordi eeskirjade puudumine ja ebaselged piirangud

5.4 Vesiniku kasutus

5.4.1 Transport

1. **Vesinikkütuse standardite ja sertifikaatide puudumine; kütuse päritolu ja sertifitseerimine; kvaliteedinõuded ja eestikeelsed mõõtevahendid.** Puuduvad selged eestikeelsed vesinikkütuse standardid ja sertifikaadid, mis on aga hetkel väljatöötamisel CertifHy¹⁵⁶ (ülemaailmse rohelise ja vähese CO₂heitega sertifitseerimissüsteemi) projekti raames. Rohelise (taastuva) vesiniku päritolutagatise süsteemi puudumine takistab rohelise vesiniku turu arengut ning võib seeläbi soodustada hoopis fossiilsetel allikatel põhineva vesiniku tootmist, vähendades positiivset keskkonnamõju kõigis valdkondades.
2. **Vesiniku tanklavõrgustiku puudumine.** Vesiniksõidukite kasutuselevõtuks ning populariseerimiseks tuleks paralleelselt arendada ka nende tankimiseks vajaminevat infrastruktuuri. Vesinikutanklate rajamist takistavad osaliselt nii õiguslikud kui ka administratiivsed barjäärid, millest tingitult kulub loa taotlemisele ja plaanimisele kaua aega. Takistuseks on ka rahalise toetuse puudumine. Intervjueeritud ekspertide hinnangul on tegemist nõudluse ja pakkumise nn muna-kana probleemiga – vesiniksõidukid ei saa turule tulla, kui puuduvad vesiniktanklad, teisalt ei saa tekkida tanklaid, kui vesiniksõidukeid pole.
3. **Kütuseelemendiga vesiniksõidukeid ei eelistata suuremate kulude, keeruka registreerimise, ebaselgete hooldusprotseduuride jmt tõttu.** Kütuseelemendiga sõidukid on kasutajatele võõrad. Puudub selgus, kuidas sõidukit registreerida, ning vajalike hooldusprotseduuride kogemus. Samuti on argument vesiniksõidukite kõrgem hind/vajalik investeeringukulu võrreldes fossiilkütustel sõitvate sõidukitega.
4. **Fossiilkütuste vähene maksustamine**
5. **Hanketingimused ja hindamiskriteeriumite vajalik ülevaatamine, et eelistataks vesinikkütustel põhinevaid sõidukeid.** Hangete hindamiskriteeriumitele lähtudes eelistatakse seni veel CNG busse, mistõttu vesinikulahendused ei saa turule tulla.
6. Hanketingimused ja hindamiskriteeriumid eelistavad

5.4.2 Hooned

1. **Toetusmeetmete puudumine mikrokoostootmisjaamade kasutuselevõtuks.** Praegu kasutatakse kaugküttesüsteemist välja jäävates hoonetes peamiselt maagaasikatlaid. Vesinikul põhinevate küttesüsteemide laialdast kasutuselevõttu hoonetesektoris pärsib nii üldsuse vähene teadlikkus võimalike tehnoloogiliste lahenduste kohta kui ka kütuseelementidega mikrokoostootmisjaamade kõrged kulud.
2. **Kodused seadmed ei ühildu vesinikuga.** Erinevate põletite ja gaaside omaduste tõttu on tarvis üle vaadata ka koduseadmete olemasolevad ohutusnõuded, eriti kui vesinikusisalduse mahuprotsenti gaasivoos suurendatakse.

¹⁵⁶ [CertifHy: Guarantee of origin for Hydrogen, 2021](#)

5.4.3 Tööstus

1. **Turutõrked, odava fossiilsetel kütustel põhineva ammoniaagi/metanooli kättesaadavus naaberriikides.** Naaberriikidest (eelkõige Venemaalt) lihtsasti kättesaadavad odavad fossiilsete kütuste baasil toodetud ammoniaak ja metanool pärsvivad kõrgema hinnaga konkurentsivõimetu rohelisel vesinikul põhineva kodumaise metanooli- ja ammoniaagitööstuse teket.
2. **Puudulik oskusteave metanooli tootmiseks vajamineva CO₂ kogumistehnoloogiate ning võimaluste kohta.** Eri CO₂ tehnoloogiad on küll uuritud, kuid puuduvad konkreetsed katsetused Eestis ja lokaalne ülevaade võimalike CO₂ kogumistehnoloogiate kohta rohelise metanooli ja sünteetiliste kütuste tootmiseks.
3. **Rohelise metanooli tootmiseks vajalike CO₂ kogumis- ja säilitamistehnoloogiate kasutuselevõttu pidurdav poliitiliste eesmärkide ja õigusraamistiku puudumine.** Puudub õigusraamistik ja poliitilised suunised, mis abistaks ja reguleeriks rohelise metanooli tootmiseks vajalike CO₂ kogumis- ja säilitamistehnoloogiate kasutuselevõttu.

5.4.4 Elektritootmine

1. **Tehnilised probleemid, mis võivad tekkida statsionaarsete kütuseelementide ühendamisel elektrivõrku.** Puudub ühtne EL-i raamistik mikrokoostootmisüksuste hoonetesse paigaldamiseks või nende ühendamiseks gaasivõrkudesse.
2. **Võrguteenuse hind energiasalvestisse siseneva elektri puhul.** Taastuenergia osakaalu kasvu tingimustes omandab energia salvestamise võimekus senisest olulisema tähtsuse, mistõttu tuleks kõrvaldada regulatsioonid, mis muudavad Eestis energia salvestamise kallimaks kui teistes lähipiirkonna riikides. Näiteks on Leedus pumphüdroelektrijaamas elektri salvestamine võrguteenuse tasust vabastatud¹⁵⁷. Elektri salvestamisel võetakse Eestis võrguteenuse tasu kaks korda – esmalt maksab elektri salvestaja ja siis salvestatud elektri tegelik kasutaja. Salvestatud elektri võrku tagasi viimisel toimib elektri salvestaja elektrienergia tootjana, kelle võrku antud elektri eest maksab võrguteenuse tasu selle lõpptarbija. Elektri salvestamisel seda tegelikult ei tarbitud, vaid elektri tootmine viidi ühest kauplemisperioodist teise. Seega puudub põhjendus elektri tootmist edasi lükkava elektritootja koormamiseks võrguteenuse tasuga.

Elektrienergiast gaaskütuse tootmisjaamade (ing. k *power to gas*) ja energiasalvestite õiguslik raamistik ja nende roll elektrienergia tasakaalustamisel turul. Õigusraamistik on ebaselge ja puuduvad vajalikud eestikeelsed tegevusraamistikud. Lisaks on nende roll elektrienergia tasakaalustamisel turul täpsustamata.

¹⁵⁷ [Vabariigi Valitsus, Valitsus kinnitas Eesti seisukohad Euroopa rohelise kokkuleppe kohta](#)

6 Arvutustegurid

Teekaardis esitatud arvulised prognoosid põhinevad allolevates tabelites esitatud teguritel.

Tööstus

Ammoniaak (nõudlus) Import (t)	5471
Urea (nõudlus) Import (t)	390798
Metanool (nõudlus) import (t)	4810
Lennundus/lennukikütus (nõudlus) import (t)	~70000
Halli ammoniaagi emissioonifaktor (kg CO ₂ ekv./kg ammoniaaki)	3.03
Halli urea emissioonifaktor (kgCO ₂ ekv./kg Urea)	2.68
Halli metanooli emissioonifaktor (kgCO ₂ ekv./kg Metanool)	0.798
Fossiilne lennukikütus (lennukibensiin) Emissioonifaktor (kgCO ₂ ekv./kg lennukikütust)	3.25
Maagaasi emissioonifaktor (ton CO ₂ ekv./GWh)	210
Põlevkiviõli emissioonifaktor (ton CO ₂ ekv./GWh)	264.772
Põlevkivi emissioonifaktor (ton CO ₂ ekv./GWh)	386.9
Spetsiaalsed kapitaliinvesteeringud ammoniaagi ja karbamiidi tehasesse (€/t)	1787
Spetsiaalsed kapitaliinvesteeringud metanooli tehasesse (€/t)	1330
Keemiatööstuses loodud töökohtade arv (töökohti miljoni euro CAPEXi kohta)	0.5

Transport

H ₂ autohindade alandamise eesmärk kuni 2050. aastani	70%
Sõiduautode sõidukilomeetrid riigi territooriumil (miljonit km)	8670
Auto kütusekulu (kgH ₂ /km)	0.0088
Fossiilkütusel autode heitkogused kilomeetri kohta (kg CO ₂ ekv./km)	0.12
Parvlaevade sihtarv	7 ¹⁵⁸
H ₂ parvlaevahinna alandamise eesmärk kuni 2050. aastani	35%
Aastane läbitud vahemaa praami kohta (km)	76650 ¹⁵⁹
Praami kütusekulu (kgH ₂ /km)	1.9
Diisli heitetegur (kg CO ₂ ekv./l)	2.67
Diiselpraami kütusekulu (l/km)	18.3
PSO alla kuuluvate busside koguarv	1400 ¹⁶⁰
H ₂ bussi hinna alandamise eesmärk kuni 2050. aastani	70%
Busside läbitud kilomeetrid riigi territooriumil (miljonit kilomeetrit)	206
Bussi kütusekulu (kgH ₂ /km)	0.11
Heitkogused diiselpussidega läbitud kilomeetri kohta (kg CO ₂ ekv./km)	1
H ₂ veoautode hinna alandamise eesmärk kuni 2050. aastani	35%
Läbitud veoauto km riigi territooriumil (miljon km)	1463
Veoauto kütusekulu (kgH ₂ /km)	0.116
Heitkogused diiselveokiga läbitud kilomeetri kohta (kg CO ₂ ekv./km)	1
Diiseli-reisirongide arv (liinil Tallinn-Viljandi)	8 ¹¹⁹
H ₂ rongihindade alandamise eesmärk kuni 2050. aastani	35%
Reisirongide aastane liikumine (1000 km)	5392

¹⁵⁸ Isiklik kirjavahetus transpordi arengu ja investeeringute osakonnaga (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Eesti). See arv vastab nende parvlaevade arvule, mida võiks potentsiaalselt asendada..

¹⁵⁹ Arvestades keskmise vahemaana 70 km ja 3 reisi päevas, aastaringelt (365 päeva).

¹⁶⁰ Isiklik kirjavahetus transpordi arengu ja investeeringute osakonnaga (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Eesti).

Vedurite arv	85 ¹⁶¹
H ₂ Vedurite hinnaalandamise eesmärk kuni 2050. aastani	35%
Vedurite aastane liikumine (km/Vedurite)	30000
Rongi kütusekulu (kgH ₂ /km)	0.275
Kaubaveduri kütusekulu (kgH ₂ /km)	0.67
Diisli heitetegur (kg CO ₂ ekv./l)	2.67
Diiselrongi diislikulu (l/km)	1.62 ¹⁶²
Diiselvehuri diislikulu (l/km)	4 ¹⁶³
Heitkogused läbitud kilomeetri kohta (diisel-reisirong) (kg CO ₂ ekv./km)	4.33
Heitkogused läbitud km kohta (diiselvehur) (kg CO ₂ ekv./km)	10.68
FC auto ühiku hind (eur)	66,000
FC bussi ühiku hind (eur)	620,000
FC veoauto ühiku hind (eur)	230,000
FC reisirong ühikuhinna kohta (eur)	5,500,000
FC veduri moderniseerimine ühikuhinna kohta (eur)	4,000,000
FC parvlaev ühikuhinna kohta (eur)	47,000,000 ¹⁶⁴
Diislikütuse Euro 6 veoauto hind (eur)	157,200
Diiselbussi hind (eur)	165,000
Diiselrongi maksumus (eur)	4,300,000
Diiselparvlaeva hind	34,000,000 ¹²³
Diiselauto hind (eur)	30,000

Avariielektrijaam

Kütuseelementide kulude vähendamise eesmärk kuni 2050. aastani	40%
Täiskoormusega tunnid	200
Kütuseelemendi efektiivsus (%)	60%
Maagaasi heitetegur (kg CO ₂ ekv./kWh)	0.21
Kütuseelemendi CAPEX (€/kW)	1600
Töökohtade arv (paigaldus, hooldus ja juhtimine) miljoni euro investeringu kohta	0.47
Töökohtade arv (otsene ja kaudne), sealhulgas tootmistöökohad miljoni euro CAPEXi kohta	8 ¹⁶⁵

Vesiniku tootmine ja salvestamine

Elektrolüüseri efektiivsus (%)	67%
Kapitalikulu (€/kWel.)	900
Loodud töökohtade arv miljoni euro CAPEXi kohta	0.47
Töökohtade arv (otsene ja kaudne), sealhulgas tootmistöökohad miljoni euro CAPEXi kohta	8 6500
PEM eluiga (tundides)	0
Eluaeg aastates (töötunnid jagatakse kokku 20 aasta peale. PEM eluiga (65 000 tundi) kaetud 20 aastaga)	20
Elektrolüüseri täiskoormusega tunnid (tundide arv)	3250
Hoiumahuti maht (kg)	414

¹⁶¹ Operaili eksperdi poolt edastatud number. See arv vastab Operaili sõidukipargis praegu olevate vedurite koguarvule (Operail on suurim raudtee-kaubaveoettevõtja Eestis).

¹⁶² Andmed tulenevad konsultatsioonist Elroni ekspertidega.

¹⁶³ Andmed tulenevad konsultatsioonist Operaili kaubaveoekspertidega.

¹⁶⁴ Andmed pärinevad konsultatsioonist Civitta ekspertidega.

¹⁶⁵ Töökohtade arv miljoni euro suuruse tulu kohta on võetud (https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf) ja ümberarvestatud töökohtadeks miljoni CAPEXi kohta, lähtudes eeldusest, et CAPEX on 80% ettevõtte tuludest (<https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>).

Salvestuspaagii erikulu (€/kg)	375
Säilitamisaja pindlikkus (päev)	5 ¹⁶⁶
Elektrolüüserite kulude vähendamise eesmärk kuni 2050. aastani	75%
Salvestuspaakide kulude vähendamise eesmärk kuni 2050. aastani	30%

Taastuenergia kasutuselevõtt

Päikeseenergia täiskoormuse tunnid aastas (tundides)	900
	250
Maismaatuule täiskoormusega tunnid aastas (tundides)	0
	400
Avameretuule täiskoormusega töötunnid aastas (tundides)	0
Investeeringud päikeseenergiasse (mln €/MW)	0.50
Päikeseenergia investeeringute vähendamine kuni 2050. aastani	65%
Investeeringud maismaa tuuleenergiasse (mln €/MW)	1.23
Maismaa tuuleenergia investeeringute vähenemine kuni 2050. aastani	33%
Investeeringud avamere tuuleenergiasse (mln €/MW)	3.59
Avamere tuuleenergia investeeringute vähendamine kuni 2050. aastani	36%
Päikeseenergia kasutuselevõtu suurendamise läbi loodud töökohtade arv miljoni euro CAPEXi kohta	6.8
Maismaatuulega loodud töökohtade arv miljoni CAPEXi kohta	0.9
Avamere tuulega loodud töökohtade arv miljoni CAPEXi kohta	0.9

Vesiniku jaotamine

Veoauto ja haagise kapitali kogumaht (miljonit eurot)	0.71
Töökohtade arv miljoni euro investeeringu kohta	1.9 ¹⁶⁷
Vesiniku tanklate (HRS) projekteerimisvõimsus (kgH ₂ /päevas) 800 baari juures	850
HRS projekteeritud võimsus (kgH ₂ /päevas) 350 baari juures	500
CAPEX HRS kohta (miljonit eurot)	1.1-1.5 ¹⁶⁸
Torustike maksumus (miljonit eurot km kohta)	0.3-0.7 ¹⁶⁹

¹⁶⁶ Ladustamispäevad esindavad pakkumise pindlikkust

¹⁶⁷ Väärtus on võetud [Hydrogen Roadmap EU](#) ja [IEA Sustainable Recovery Report](#) arvatatud koondväärtusena

¹⁶⁸ Andmevahetus ekspertidega

¹⁶⁹ [Włodek et al.](#) and [Robinius et al.](#) hinnangulise nõudluse alusel arvatud koondväärtus.