

Kütused homme

Sissejuhatus

Laialt levinud ja lihtsalt kasutatav energia on saanud suuremas osas maailmast enesestmõistetavaks ning on ühtlasi ka seotud tänapäevase üsnagi kõrge elatustasemega. Teisalt, arvestades keskkonnamõjusid, on inimkond võtnud suuna fossiilsete kütuste vabale maailmale. Lisaks on Euroopa Liit (EL) otsustanud jõuda aastaks 2050 süsinikuneutraalsuseni ja kehtestanud CO₂ kvoodikaubanduse süsteemi, mis peaks aitama seatud eesmärki saavutada. Nii ongi Eesti kontekstis märgata energiatootmise nihkumist põlevkivilt taastuvate energiaallikate suunas ja samas ka energiapuuduse vähenemist. Nii lokaalsel kui ka globaalsel tasandil vajavad vastust küsimused, kuidas saadakse tulevikus energiat ja millised võiksid olla tulevikukütused? Enne kui nimetatud küsimustele potentsiaalseid vastuseid otsima asuda, on põgusalt vaatluse all fossiilsete kütuste praegune seis.

Maailm ja fossiilsed kütused

Hinnanguliselt on praeguseks tõestatud tehniliselt kasutatavad fossiilsete kütuste varud umbes 1,8 triljonit tonni naftaekvivalendis (1) ja ennustatav üleilmne energiatarve aastal 2040 umbes 18 miljardit tonni naftaekvivalendis. Sellest järeldeb, et **inimkonnal on 2040. aasta tarbimise juures kõigest 100 aastat fossiilsete kütuste kasutamise aega**. Ajaloolisi andmeid prognoosidega kõrvutades on selgelt näha, et viimasel viiekümnel aastal on energiatarbimine igas sektoris kasvanud (nt 1970. a oli energiatarve 5000 mln toe, aga 2010. a juba 14 000 mln toe) ja kasvab jätkuvalt. Kui veel võtta arvesse ka populatsiooni kasvu ja elatustaseme tõusu, kasvab energiatarbimine tõenäoliselt ka pärast 2040. aastat.

Millised on alternatiivsed energiaallikad?

Üleüldise energiavajaduse rahuldamiseks on fossiilsetele kütustele nüüdisaegseid alternatiive laias laastus kaks: taastumatud energiaallikad, nagu tuumakütus, ja taastuvad energiaallikad, nagu päike, tuul, lained ja biomass. **Tuumaenergeetikaga kaasneb alati ka radioaktiivsete jäätmete ja saaste probleem, mis ei ole tänapäevani päris adekvaatset lahendust leidnud ega oma seetõttu ka ühiskonnas laiemat poolehoidu**. Seevastu päikese ja tuule kasutamine on eriti viimastel kümnenditel hoogsalt edenenud ning eeldatavasti kasvab nende kasutamine veelgi. Biomass on inimkonna kasutuses olnud teadupärast aastatuhandeid soojusallikana ja toidu küpsetamiseks, aga ka puusöe valmistamiseks, et metalle, eriti rauda sulatada.

Taastuvate energiaallikate laialdaseks kasutuselevõtuks on vaja lahendada energiasalvestuse probleem. Nimelt ei taga alternatiivsetel meetoditel (päikesest ja tuulest) energiatootmine pidevat nõudlusele vastavat energiavoogu, vaid toodetud energiahulk varieerub suuresti päevade ja aasta-aegade lõikes. Lahenduseks on tänapäevastega võrreldes kordades suurema energiatihedusega akud, mida aga paraku veel tootmises ei ole, kuigi ehk laboritest on juba positiivseid uudiseid kuulda. **Praegu valikus olevad lahendused on seotud elektrienergia muundamisega mehaaniliseks energiaks**, näiteks vee pumpamine reservuaari, kust see läbi turbiinide allavoolu tagasi juhitakse, **või keemiliseks energiaks**, näiteks vesinikuks või metanooliks.

Tähelepanuväärne on asjaolu, et küllaltki suur osa fossiilsetest vedelkütustest (10–15%) kulub keemiatööstuse tooraineiks, mis tuleks jätkusuutliku

(1) toe – „tonne of oil equivalents“ (tonni naftaekvivalendis) on defineeritud kui energiahulk, mis saadakse ühe tonni toornafta põletamisel; IEA publikatsioonides 1 toe = 41,868 GJ.

ühiskondliku majandamise nimel samuti asendada. Seepärast ei piisa tuleviku energeetikalahenduseks ainult energia salvestamisest mehaanilise energiana, millest johtuvalt on välja pakutud kaks alternatiivset vaadet energeetika, vedelkütuste ja keemiatööstuse tulevikku: vesinikumajandus ja metanoolimajandus. Lähemal vaatlusel selgub, et tegemist on kahe teineteisega tihedalt seotud lahendusega.

Vesinikumajandus

Vesinik on vähima molekulmassiga (kergeim) element, mis moodustab diatomaarse gaasilise ühendi (H_2) ja on tuntud juba aastast 1766 (avastajaks Henry Cavendish). **Arvestuslikult moodustab vesinik umbes 70% kogu universumi massist ja 90% aatomite arvust, olles sellega kõige levinum element universumis.** Vesiniku energiatihedus on 143 MJ/kg, ületades süsinikul põhinevate kütuste vastavaid näitajaid 2–3 korda. Näiteks metaani energiatihedus on 55,6 MJ/kg ja bensiini energiatihedus 46,4 MJ/kg. Seega, massiühiku kohta pole vesinikust paremat kütust. Asjalood muutuvad, kui vaadelda nimetatud kütuste energiatihedust mahuühiku kohta. Vesiniku energiatihedus on kõigest 0,0107 MJ/l normaalrõhul ja 10,1 MJ/l, kui vesinik on veeldatud kujul, ning 5,6 MJ/l rõhul 750 baari. Samal ajal on metaani näitajad 0,0378 MJ/l normaalrõhul ja 22,2 MJ/l veeldatud kujul ning 9 MJ/l rõhul 250 baari. Normaalingimustel on bensiin vedelik, mistõttu ei ole vaja seda transportimiseks veeldada ja kokku suruda. Bensiini energiatihedus mahu järgi on 34,2 MJ/l.

Selgelt on vesiniku kasutuselevõtu kitsaskohaks tema väike mass. Sellisel juhul on lahenduseks vesiniku veeldamine või kokkusurumine (sama kehtib ka muude normaalingimustel gaasiliste kütuste puhul). Kuid vesiniku veeldamiseks on vaja küllaltki madalat temperatuuri, alla -250 °C , mis teeb antud tegevuse energiamahukaks.

Vesinikumajanduse mõiste autoriks peetakse John Bockrist (1923–2013), kes kasutas seda väljendit 1970. aastal General Motorsi tehnikakeskuses ettekannet pidades. Kuigi samal aastal pidas ka Lawrence W. Jones (sündinud 1925) loengu Michigani Ülikoolis vesinikust kui vedelkütusest, millel võiks majandus tulevikus põhineda. Et majandus saaks mingil energiakandjal põhineda, siis peab seda ka mingil viisil tootma.

Tänapäeval toodetakse vesinikku põhiliselt kahel viisil – metaanist üle sünteesigaasi (vingugaasi ja vesiniku segu) ja elektrolüüsi teel. Esimene meetod on lihtsalt ülekantav biomassile, kuid teine meetod vajab keerukamaid lahendusi, näiteks päikesepaneelid ja tuulegeneraatorid, et tehnoloogia ei sõltuks fossiilsetest kütustest. Samuti on elektrolüüsiks tarvis ülipuhast vett, mille tootmine on teadagi kulukas, nagu ka päikese- ja tuule-

energia. Seetõttu on hakatud otsima lihtsamaid lahendusi vesiniku tootmiseks taastuvatest energiaallikatest. **Praeguseks on välja töötatud meetodid, millisel juhul membraanile kantud katalüsaator lõhustab päikesevalguse toimele vee hapnikuks ja vesinikuks, seejuures pole enam alati vaja ülipuhast vett kasutada. Vesinik salvestatakse mahutisse, kust seda saab hiljem kasutada elektri tootmiseks kütuseelemendis.** Ka tsüanobakterid (biomass) suudavad toota vesinikku päikesevalgusest ja CO₂-st, mis juhul, kui vesinikumajandus peaks ühel päeval saama reaalsuseks, võib saada inimkonna energiavõtaks.

Kui võrrelda vesiniku tootmiskulusid allikapõhiselt, siis Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) aruande väitel kulus 2018. aasta seisuga ühe kilogrammi vesiniku tootmiseks maagaasist 0,8–2,9 €, kasutades seejuures CO₂ kinnipüüdmist 1,35–2,6 €, kivisöest 1,1–2,0 € ja taastuvatest energiaallikatest 2,7–6,75 €. Regiooniti maagaasist tootmise kulude võrdluses saadi vesiniku hinnaks Ameerika Ühendriikides 0,9 €/kg ja CO₂ kinnipüüdmisega 1,37 €/kg, Euroopas vastavalt 1,56 €/kg ja 2,09 €/kg, Lähis-Idas 0,85 €/kg ja 1,31 €/kg, Venemaal 1,0 €/kg ja 1,48 €/kg ning Hiinas 1,60 €/kg ja 2,14 €/kg. **Iseloomustamaks vesinikumajanduse ees seisvat väljakutset, võib samast aruandest tuua välja praegusel ajal (2018. a seisuga) maailmas toodetava vesiniku tootmiseks vajaliku elektrienergia hulga 3600 TWh, mis on võrdne ligikaudu kogu EL-i aastase elektritoodanguga.**

Vesiniku olulisust inimkonnale iseloomustab järgmine näide. Haber-Boschi meetodil saadakse vesinikust ja lämmastikust ammoniaaki, mida kasutatakse lämmastikväetiste ja lõhkeainete tootmiseks. Nimetatud tööstusliku protsessi „panus“ keskkonda on umbes 1,4% globaalsest süsinikdioksiidi heitmest ja umbes 1% kogu maailma energiatarbust. Seetõttu on otsustatud ka Haber-Boschi protsessi suunata vesinik toota taastuvaid energiaallikaid kasutades. See tähendab, et toodetakse maa- või biogaasist vesinikku kasutades tuule ja/või päikese abil toodetud elektrit ja uudset keraamilist membraanreaktorit. Väidetavalt suudetakse sellisel kombel vähendada nimetatud protsessi CO₂ emissiooni peaaegu 50% ja kulutada ligi neli korda vähem energiat.

Metanoolimajandus

Üks tuntumaid metanoolimajanduse pooldajaid ja edendajaid on olnud Nobeli preemia laureaat George A. Olah (1927–2017), kes võttis jätkata metanoolimajanduse pionieri Friedrich Asingeri 1986. aastal alustatud. **Põhjuseks, miks metanoolimajandust peetakse atraktiivseks, tuleb pidada metanooli tootmise tehnoloogilist küpsust. See tähendab, et juba praegu olemasolevad tehnoloogiad võimaldavad metanooli toota väga suurtes mahtudes sünteesigaasist. Viimane kujutab endast vingu-**

gaasi ja vesiniku segu, mis saadakse süsinikurikka materjali kõrgel temperatuuril kuumutamisel. Näiteks toodeti 2014. aastal 65 mln t metanooli (2020. a on eeldatav toodangumaht umbes 100 mln t), mis on küll umbes 15 korda väiksem aastastest bensiinitoodangust, kuid tehnoloogia on tuntud ja skaleeritav.

Praegu on metanooli tarbimine umbes 75% ulatuses keskendunud kemikaalide tootmisele ja umbes veerand kulub kütusteks ja kütuselisanditeks. Metanool on toormeks paljudele materjalidele erinevates majandusharudes, näiteks ehituses, auto-, elektroonika-, farmaatsia- ja värvitööstuses ning pakendite ja isolatsioonimaterjalide tootmises. Metanooli laialdane kasutamine autokütusena nõuab teatud kulutuste tegemist – praeguse aja infrastruktuuri loomisel kasutatavad materjalid pole metanooli suhtes vastupidavad. Samuti vajaksid mootorid ümberseadistamist, kuna tänapäeval puuduvad puhtal metanoolil töötavad laiatarbesõidukid. Siiski lisatakse metanooli niinimetatud tavakütustesse nende põlemisomaduste parandamiseks ja heitmete vähendamiseks. Teisalt pole puhta metanooli kasutamine kütusena sugugi ennekuulmatu, seda on tehtud juba mõnda aega – nimelt võidusõidumaailmas alates 1965. aastast. Seoses etanooli kasutuselevõtuga lõpetati metanooli kasutamine küll aastal 2007. Tänapäeval on metanooli kasutatud rallimaailmas võistlusautode kütuse-segudes.

Tänapäeval toodetakse metanooli peamiselt metaanist või kivisöest üle sünteesigaasi, kuid tulevikku silmas pidades tuleb metaan ja kivisüsi asendada kas biomassi, süsinikurikaste jäätmete või süsinikdioksiidiga (CO₂). **Kui biomassi ja süsinikurikaste jäätmete korral saab metanooli tootmiseks kasutada juba olemasolevaid tööstuslikke tehnoloogiaid, siis CO₂ korral tuleb tehnoloogia alles välja töötada.** Laboriskaalas on tehnoloogiad küll olemas, kuid suuremastaabilise tööstusliku tootmise tarbeks pole need veel küpsed. **Siin peituvad erakordsed tulevikuvõimalused, sest kes suudab välja mõelda efektiivse tehnoloogia, see saab ka edu kogu muu maailma ees.** Kuna süsinikdioksiidist metanooli tootmiseks on vaja suurt hulka vesinikku, on kokkupuutekohaks vesinikumajandus. Tootes vesinikku taastuvaid energiaallikaid kasutades, toodetakse ka niinimetatud taastuvat metanooli. Sõltumata sellest, milleks metanooli edaspidi kasutatakse – kas keemiatööstuse toormena või kütusena. Tulevikku vaadates võib CO₂ ja vesiniku kombineerimine osutada väga tähtsaks, sest isegi siis, kui metanoolist ei saa tulevikukütust, on tööstuses genereeritud süsinikdioksiidi sidumiseks ja taaskasutuseks selline meetod justkui loodud. Eriti oluliseks võib osutada metanooli tootmine CO₂-st süsinikuneutraalsuse kontekstis. Marginaalsema kasutusvõimalusena võib esile tuua metanooli kasutamise sarnaselt vesinikuga elektri tootmiseks kütuseelementides, mis on selleks spetsiaalselt kohandatud. Kuigi võrreldes vesinikku kasutavate kütuseelementidega on saavutatav võimsus väike,

on need juba rakendust leidnud portatiivsete energiaallikatena näiteks sülearvutites ja raadiosaatjates.

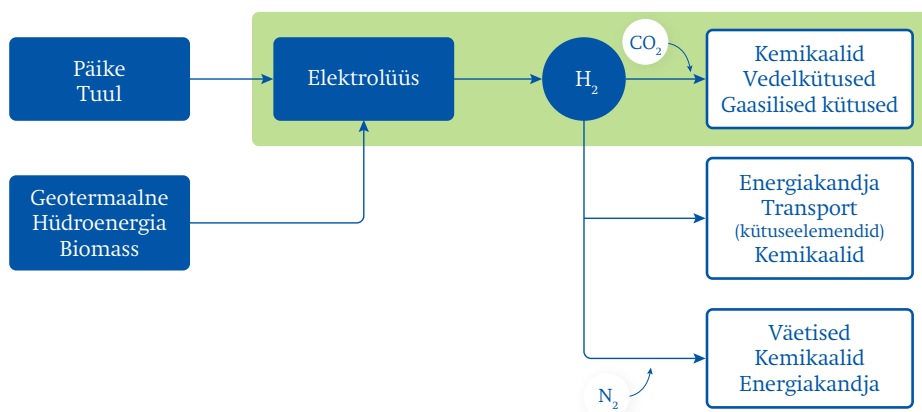
Konkurendina vesinikule on metanoolil baaskütusena mõned eelised. Nimelt on metanooli energia mahttihedus veeldatud vesiniku omast ligi kaks korda suurem, olles seejuures vedelik kuni temperatuurini 65 °C. Mistõttu ei vaja metanooli kasutamine erinevalt vesinikust erakordselt madalaid temperatuure ega ka surveanumaid säilitamiseks. Samuti pole metanooli tule- ja plahvatusohtlikkus kaugeltki võrreldav vesiniku vastavate omadustega. Samuti ei tohiks unustada hinda, mis on praegu vahemikus 0,22–0,28 €/kg, seda juhul, kui toodetakse maagaasist. Seetõttu sõltub metanooli hind tulevikuga peamiselt vesiniku ja süsihappegaasi hinnast.

Metanoolimajanduse osaks võib pidada ka suuremahulist metanoolist dimetüüleetri tootmist, mis võimaldaks kasutada veeldatud propaanile kohandatud taristut ja vajaks seetõttu laialdasemaks kasutuselevõtuks väiksemaid kulutusi. Dimetüüleetri turvaline käitlemine nõuab metanooliga võrreldes karmimate ohutusmeetmete kasutamist, mis ilmselt mõjutab massitarbimise väljavaateid negatiivselt.

Vesiniku- ja metanoolimajandus – ühine teekond?

Soovides vältida fossiilsete kütuste kasutamist tulevikus, on inimkond sunnitud leidma pikas perspektiivis uue süsinikuallika. Praegu pole selleks paremat kandidaati kui CO₂, mis toobki kokku vesiniku põhineva ühiskonna ja metanoolimajanduse (Joonis, roheline kastiga piiritletud ala).

Joonis. Vesinikumajandus ja metanoolimajandus



Kui mitte muuks, siis selleks, et toota süsinikupõhiseid kemikaale, peavad vesiniku- ja metanoolimajandus kokku saama. See tähendab, et metanoolimajandus saab olema vähemalt oluline osa vesinikumajandusest. **Miks eelistada süsihappegaasi? Sest vastasel korral ollakse sunnitud süsinikku hankima biomassist ning sellisel juhul asub keemia- ja kütusetööstus otseselt konkureerima inimeste toidulauaga. Inimpopulatsiooni jätkuva kasvu tõttu ei ole selline suund sel sajandil tõenäoliselt jätkusuutlik. Erisuse võiks teha ilmselt biojätmete puhul.**

Vedelkütused biomassist – tuleviku jäätmekäitluse osa?

Tänapäeval kasutatakse biomassi ka vedelkütuste tootmiseks, mida saab kasutada kas puhtalt või segus konventsionaalsete kütustega, näiteks transpordivahendite või elektrigeneraatorite käitamiseks. **Põhilisteks vedelkütusteks on etanool ja biodiisel, mõlemaid on võimalik toota erinevatest suhkru- või õlirikastest taimedest.** Etanooli allikateks on põhiliselt kasutatud maisi (Ameerika Ühendriikides) ja suhkruroogu (Brasiilias). Ameerika Ühendriigid ja Brasiilia on ka maailma suurimad bioetanooli tootjad. Võrreldes biodiisliga oli bioetanooli toodangumaht 2018. aasta andmetel veidi enam kui viiendiku võrra suurem. Biodiisli tootmiseks kasutatakse peamiselt rapsi ja õlipalmi. Seejuures on Euroopa üks suurimaid biodiisli tootjaid, tootes ligi 37% kogu biodiislist maailmas. **Summariselt oli biokütuste tootmismah 2018. aasta seisuga umbes 95 Mtoe-d, mis on ligi kaks korda suurem kui aastal 2008 (49 Mtoe).** Võrdluseks olgu toodud, et 2020. aasta eeldatav globaalne energiatarve ulatub umbes 14 000 Mtoe-ni ja hinnanguliselt see suureneb.

Biokütuste puhul tuleb rääkida esimese ja teise põlvkonna tehnoloogiast, sest neil on erinev mõju looduskeskkonnale ja ressursitõhususele. Bioetanooli esimese põlvkonna tehnoloogia tähendab biomassis leiduvate ja tärglise eeltöötlemisel saadud suhkrute kääritamist sarnaselt alkoholitöötuses kasutatavaga. Paraku saadakse sellisel kombel küllaltki väike osa biomassis leiduvast energiast ja see on viinud teise põlvkonna tehnoloogiate väljatöötamiseni, kus kasutatakse fermentatsiooniks niinimetatud ensüümikokteile, et lõhustada tselluloosi, mida on tüüpiliselt kogu biomassis märkimisväärselt rohkem kui tärglist või suhkrut. Oma olemuselt on tselluloos samuti sahhariididest koosnev polümeer nagu tärgliski, kuid on biokeemiliselt üsna raskesti lagundatav ja seetõttu pole tselluloosil põhinevat biomassi varasemalt etanooli tootmiseks kasutatud. Tselluloosi lagundamine võimaldab toormena kasutada ka inimese toidulauaga mittekonkureerivaid taimi, näiteks preeriarohtu, energiavõsa või puidujätmeid ja toiduks kõlbulike taimede töötlemisjääke (bagass, õled jne).

Biodiisli esimese põlvkonna kütusteks on niinimetatud FAME (Fatty Acid Methyl Ester) kütused ehk rasvhapete metüülestrid, mida saadakse looduslikest õliallikatest, näiteks rapsi-, soja-, palmi- ja teiste õlide keemilise ja ensümaatilise töötlemise teel. Esimese põlvkonna biodiisel pole paraku kasutatav talvistes oludes ilma fossiilsetest allikatest pärit kütusega segamata ega võimalda seega täielikult asendada tänapäevaseid kütuseid. Samuti ei ole esimese põlvkonna biodiisli põlemis- ja säilimisomadused võrreldavad nii-öelda tavalise kütusega. Teise põlvkonna biodiislid saadakse sama toorme vesinikuga töötlemisel, mille käigus saadakse tootena kütus, mis on oma omadustelt vähemalt sama hea kui tavakütus. Kõrvalsaaduseks tekib propaani, mida üldjuhul kasutatakse tootmisprotsessi soojuse viimiseks, kuid mida on põhimõtteliselt võimalik kasutada ka autokütusena.

Ka biodiisli puhul ei ole kõik toormeallikad võrdväärsed – seda ei energia- sisalduse, saagikuse ega toidulauaga konkureerimise mõttes. Biodiisli ligikaudne toodang varieerub liikide lõikes suurusjärguti, näiteks umbes 172 l/(ha*a) maisi ja 6000 l/(ha*a) õlipalmi puhul ning kuni 59 000 l/(ha*a) mikrovetikate puhul. Seejuures ei konkureeri vetikas toiduainete tootmiseks tarviliku põllumaaga, mis võib osutuda väga oluliseks tulevikukütuse toorme valikul. Vetikad on vägagi huvipakkuvad biokütuste allikas, sest sellest saab toota nii etanooli kui ka biodiislit. Samuti tarbivad vetikad väga erinevaid toitaineid – eelistatult süsinikdioksiidi, kuid ka suhkruid ja muud orgaanilist materjali sisaldavat tooret (nt filtritud reovett).

Biokütuseid saab toota ka termokeemiliselt. Selleks biomass peenestatakse ja kuivatatakse ning kuumutatakse hapnikuvaeses keskkonnas temperatuuril 400–900 °C. Tulemuseks saadakse põhiliselt vesinikust ja süsinikmonoksiidist koosnev gaas (sünteesigaas) ning veidi tahket jääki. Saadud gaasist saab Fischer-Tropschi meetodil toota diislit, mis on parema kvaliteediga kui naftast toodetud diiselkütus. Samuti saab sünteesigaasist toota metanooli, etanooli ja teisi alkohole, dimetüületrit ning metaani, mis kõik sobivad kütusteks ja keemiatööstuse tooraineteks. Viimane on erakordselt oluline aspekt, sest fossiilsete kütuste lõppemisega saab otsa ka toore näiteks värvi-, plasti- ja rehvitööstusele. Termokeemilise protsessi eeliseks on võimekus tarbida biomassi kogu ulatuses kütuse tootmiseks, seejuures pole tähtis, millise biomassiga on tegemist. Sarnast tehnoloogilist skeemi saab kasutada ka prügis sisalduva orgaanilise osa (biojätmed, plastid, rehvid, paber jmt) muundamiseks metanooliks, vedelkütusteks või kemikaalideks. Sellega avaneks võimalus kasutada ringmajandust globaalses mastaabis peaaegu kogu tööstusliku tootmise ulatuses. Kui siia lisada ka süsinikdioksiidi kasutamine toormena, siis avaneks inimkonnal esimest korda ajaloos võimalus pelgalt CO₂ tekitamise asemel osaleda aktiivselt selle ringluses.

Lokaalsed mõjud Eesti kontekstis

Statistikaameti andmetel toodeti Eestis 2018. aastal elektrienergiat 12,322 TWh ja soojusenergiat 4,718 TWh (kokku 17,04 TWh energiat). Eurostati andmetel toodeti 2018. aastal EL-is energiat 17 708 TWh, mis tähendab, et Eesti osakaal selles oli ligikaudu 0,1%. Arvestades EL-i võrdluses küllaltki väikest energiatootmise osakaalu, võiks Eestist saada energiasirde katselava. Seda seepärast, et investeringud siinsetesse tootmisvõimsustesse oleksid ühiskonnale talutavad küllaltki lühikeses perspektiivis, eriti EL-i roheleppe kontekstis, mis võimaldaks paljudele investeringutele soodsat kaasrahastust leida.

Millised võiksid olla järgmised sammud? Esiteks, vesiniku tootmise võimekuse loomine Eestis. Teiseks, metanooli või mõne muu sobiva kemikaali tootmise alustamine CO₂-st ja/või biojäätmetest, kuna CO₂ ja biomass on Eestis ulatuslikult kättesaadavad kasvõi põlevkiviõli või elektritootmisest ning biomass on metsatööstuse ja põllumajanduse kõrvalsaadus. Antud tehnoloogiate katsetamine (katsetehaste rajamine ja käitamine) ja hiljem täismahus rakendamine peaksid olema nimetatud tegevuse osa. Eelnevat arvestades on Eestil võimalus astuda uute tehnoloogiate arendamise ja juurutamise esirinda.

Kokkuvõtteks

IEA andmetel saadi aastal 2017 9% primaarenergiast biokütustest, 2% päikesepaneelidest ja tuulegeneraatoritest ning 3% hüdroelektrijaamadest. Seega on fossiilsete kütuste osakaal globaalses energiamajanduses ikka veel kõrge, mistõttu on käesoleva sajandi jooksul võimalik näha kiiret ja mastaapset tehnoloogilist ja teaduslikku arengut alternatiivsete kütuste ja energiaallikate kasutuselevõtmiseks. Kas tulevikus on põhilisteks energiaallikateks vedelkütused metanool, etanool ja biodiisel või gaasilised kütused biometaan, biopropan ja vesinik? Täpset vastust ei tea hetkel ilmselt keegi. Kuid kindlasti saab näha erinevate tehnoloogiate omavahelist võistlust, et üle võtta fossiilsete kütuste koht.



Allan Niidu

TalTechi rakendusliku keemia professor

Kasutatud allikad

- ¹ Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes Ed. A. Pandey et al. Academic Press, 2011, pp. 642.
- ² Beyond oil and gas: the methanol economy G. A. Olah et al. Weinheim: Wiley-VCH, 2012, pp. 334.
- ³ Tomorrow's Energy. Hydrogen, Fuel Cells, and the Prospects for a Cleaner Planet P. Hoffmann The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 2012, pp. 384.
- ⁴ [International Energy Outlook](#). U.S. Energy Information Administration. 2013.
- ⁵ [Data](#). U.S. Energy Information Administration. 2020.
- ⁶ World Energy Assessment. USGS. 2012.
- ⁷ World Energy Assessment. USGS. 2000.
- ⁸ T.S. Ahlbrandt, Future petroleum energy resources of the world *International Geology Review*, 2002, 44 (12), 1092–1104.
- ⁹ [What happened to biofuels?](#) The Economist. 2013.
- ¹⁰ GEA. 2012, *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- ¹¹ BP Statistical review of world energy 2019 68th ed.
- ¹² Peter J. Lammers, et al, [Review of the cultivation program within the National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts](#). *Algal Research*, (22), 2017, 166-186.
- ¹³ [INENTEC](#). (külastatud 20.10.2020).
- ¹⁴ Pradhan, A., Shrestha, D. S., McAloon, A., Yee, W., Haas, M., Duffield, J. A. Energy Life-cycle Assessment of Soybean Biofuel Revisited, *Trans. ASABE*, 2011, 54(3), 1031-1039.
- ¹⁵ Chen, J.; Wagner, P.; Tong, L.; Boskovic, D.; Zhang, W.; Officer, D.; Wallace, G. G.; Swiegers, G. F. *Chem. Sci.* 2013, 4 (7), 2797–2803.
- ¹⁶ Lutterman, D. A.; Surendranath, Y.; Nocera, D. G. *J. Am. Chem. Soc.* 2009, 131 (11), 3838–3839.
- ¹⁷ [American Physical Society](#). (külastatud 20.10.2020).
- ¹⁸ [World Energy Outlook 2019](#). International Energy Agency. 2019.
- ¹⁹ World Energy Council World Energy Report 2013.
- ²⁰ World Energy Council World Energy Resources 2016.
- ²¹ Jones, L. W. *Toward a Liquid Hydrogen Fuel Economy*. A Technical Report, 1970, pp. 23.
- ²² Stefania Rocca, Alessandro Agostini, Jacopo Giuntoli, Luisa Marelli, Biofuels from algae: technology options, energy balance and GHG emissions 2015, *Insights from literature review*, doi 10.2790/125847.
- ²³ Capdevila-Cortada, M. Electrifying the Haber-Bosch. *Nat. Catal.* 2, 1055–1055 (2019).
- ²⁴ Kyriakou, V.; Garagounis, I.; Vourros, A.; Vasileiou, E. & Stoukides, M. An Electrochemical Haber-Bosch Process. *Joule* 4, 142–158 (2020).
- ²⁵ Olah, G. A. Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. *Angew. Chem. Int. Ed.* 44, 2636–2639 (2005).
- ²⁶ Asinger, F. *Methanol – Chemie- und Energierohstoff*. (Springer Berlin Heidelberg, 1986). doi:10.1007/978-3-642-70763-6.
- ²⁷ *Methanol: The Basic Chemical and Energy Feedstock of the Future*. (Springer Berlin Heidelberg, 2014). doi:10.1007/978-3-642-39709-7.
- ²⁸ [Library of Past Questions and Answers](#). NASA. (külastatud 17.07.2020).
- ²⁹ [Periodic Table](#). Royal Society of Chemistry. (külastatud 17.07.2020).
- ³⁰ [The Future of Hydrogen](#). International Energy Agency. 2019.
- ³¹ [Eesti energiatootmine ja tarbimine](#). Statistikaamet. (külastatud 12.10.2020).
- ³² [Complete energy balances](#). Eurostat. (külastatud 12.10.2020).
- ³³ *Mente et Manu*, veebruar 2020, 38–41.