

Vetni – orkuberinn hreini
-lesbók á íslensku um vetni-

Gefið út á vegum Íslenskrar NýOrku ehf handa íslenskum skólum og áhugafólki. Efnið er eingöngu birt á vefformi í fyrstu. Bestu þakkir fyrir yfirlestur fá Ingibjörg Hafstað og Bergur Jónsson.

Þýðing úr norsku, viðbætur og staðfærsla: María Hildur Maack. Ljósmyndir: Íslensk Nýorka, teikningar Fífa Finnsdóttir og Gagarín ehf.

Viða eru notuð nýyrði í textanum enda erfitt að finna lesefni um nýjustu vetnistækni á íslensku. Stundum var haft samband við íslenska málstöð og gluggað í íslensk tækniorðasöfn og var Bergur Jónsson ákaflega hjálplegur í þessum efnum. Með þýðingunum eru gefin enskar útgáfur hugtakana til að auðvelda lesendum nánari leit að viðeigandi tækni. Vinsamlega virðið viljan fyrir þetta verk sem hér er fært nær áhugasömum lesendum en er ef til vill ekki fullkarað. Sendið hjálplegar athugasemdir og tillögur að breytingum eða lagfæringum á pósthfangið: maria.maack@newenergy.is.

ORKA



Þjónusta orkuveitanna við að skila neytendum orku á því formi sem þeim hentar er seinasti hlekkur í langri keðju þar sem orkan tekur á sig ýmsar myndir. Bensín er til dæmis eldsneyti eða efni sem ber orku í efnatengjum sameindanna. Upprunalegt form bensíns er hráolía úr olíulindum. Það er hugsanlega flutt fyrst í leiðslum, unnið og hreinsað í olíuhreinsistöðvum og síðan dælt um borð í olíuskip sem flytur hana milli landa og frá olíuhöfnum í tankbílum á bensínstöðvar þar sem neytandinn getur fengið áfyllingu á farartæki sitt. Rafmagn er annað form orku sem dreift er um rafklínur frá til dæmis vatnsaflsstöðvum inn á flest heimili.

Mynd 1 Vetni er hægt að búa til úr vatni og vantsföll geta knúið ferlið. Vatn og vetni eru því nátengder það sem heldur okkur og samfélaginu gangandi. Fyrir utan orku sem við fáum úr fæðu erum við orðin háð orku til að knýja alls kyns tæki og tól sem léttu okkur lífið. Orka er notuð til að knýja vélar, hvort sem er í flugi eða siglingum, hugbúnað í tölvum og farsímum. Jafnvel kæling og isgerð er óframkvæmanleg án orku.

Vetni

getur orðið mikilvægt eldsneyti (orkuberi) eins og bensín, sem neytendur nota samhliða rafmagni. Orkuberinn gegnir sama hlutverki og eldsneyti, hann inniheldur orku á formi efnatengja sem losnar úr læðingi við efnahvarf. Efnahvarf sem felur í sér samruna við súrefni og þannig að varmi losnar köllum við vanalega bruna. Ein helsta nýjungin í vetnistækni er notkun efnarafala (sjá síðu 18) þar sem ekki á sér stað bruni eins og þegar bensíni eða dísilolíu er brennt í sprengihólfi bílvéla eða um borð í skipum. Þess vegna er vetni nefnt hér orkuberi fremur en eldsneyti. Notkun vetnis fylgir ekki koltvísýringsútbástur, því það inniheldur ekkert kolefni. Vetni er bæði hægt að vinna úr vatni með endurnýjanlegri orku en einnig úr gasi eða kolum. Vetni getur hentað sem eldsneyti á farartæki og til framleiðslu rafmagns fyrir heimahús. En vetni er að ýmsu leyti vandmeðfarið og því er rétt að gera grein fyrir sérstöðu þess og bera saman við þá orkubera sem nú er almennt í notkun. Fyrirsjáanlegar eru miklar breytingar á orkukerfum í

heiminum og því verður hér þess freistað að gefa hér fyrst innsýn í orkumál og hvernig þau fléttast inn í lifnaðarhætti okkar og samfélagsmál.

Orkunotkun í heiminum

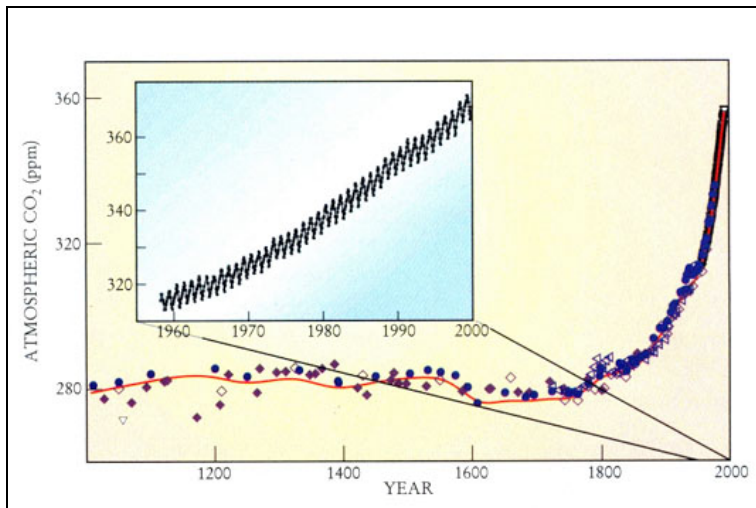
Orkulindir geta verið með ýmsu móti, hráorka er t.d. fólgin í efnatengjum kola og olíu, en orka jarðhita, sólargeisla og óbeislaðra fallvatna er ekki eins áþreifanleg. Við beislun hennar er orkunni breytt í rafmagn sem við getur látið vinna fyrir okkur með því að knýja raftæki.

Þær orkulindir sem mest eru nýttar nú á dögum eru ýmist leifar steingerðra plantna frá forsögulegum tíma (olíu, gas og kol, ein nafni jarðefnaeldsneyti) eða kjarnorka sem losnar við kjarnahvörf úraníums. Þótt Íslendingar séu alvanir að nota endurnýjanleg orku er hlutur hennar í heildarorkubúskap manna ennþá afar smár en hefur þó tekið kipp frá því um nýliðin aldamót. Eins og sjá má á töflu 1 á mestur hluti orku sem nú er nýtt í heiminum upphaf sitt í jarðefnaeldsneyti og kjarnorku en samanlagt koma einungis um 14% frumorkunnar frá endurnýjanlegri orku.

Tafla 1 Orkunotkun í heiminum árin 1998 og 2001. Athugið að magn eldsneytis úr hverjum flokki er fyrst sýnt sem heild en síðan er gerð grein fyrir magni af hverri gerð. Þannig er magnið sem notað er af olíu, jarðgasi og kolum innifalið í tölunum um jarðefnaeldsneyti. (Heimild: World Energy Assessment, 2000 og 2004)

Uppruni	Frumorka (exajoules x 10 ¹⁸)		Hlutfall af heild (%)	
	1998	2001	1998	2001
Jarðefnaeldsneyti í heild	320	332	79.6	79.4
Olía	142	147	35.3	35.1
Jarðgas	85	91	21.1	21.7
Kol	93	94	23.1	22.6
Endurnýjanleg orka	56	57	13.9	
Stórar vatnsaflsvirkjanir	9	9	2.2	2.3
Hefðbundinn lífmassi (timbur, tað ofl)	38	39	9.5	9.3
Önnur endurnýjanleg orka (úr lífrænum massa, sólarorku, jarðvarma, litlum vatnsaflstöðvum, vindorku og sjávarvirkjunum)	9	9	2.2	2.2
Kjarnorka	26	29	6.5	6.9
Alls	402	418	100	100

(heimild: Samantekt sameinuðu þjóðanna (UNDP) um orkumál, 2000 og 2004)



Mynd 1 Styrkur koltvísýrings í andrúmslofti, eins og hann er mældur á Hawaii, vex stöðugt vegna notkunar okkar á jarðefnaeldsneyti. Gróður jarðar hefur ekki undan við að taka hann upp og nota í ljóstillífum

Jarðefnaeldsneyti er til í takmörkuðum námum sem endurnýjast ekki í takti við notkunina, þær munu því hverfa endanlega innan tíðar. Víða er nú farið að rækta plöntur sem gefa af sér jurtaolíu sem hentar til að knýja dísilvélar, enda kveður tilskipun evrópusambandsins á um að 10% dísilolíu og bensíns skuli vera unnin úr plöntum árið 2010. Í Austur – Evrópu eru allt að 10% dísilolíu upprunnin í landbúnaðarafurðum landanna. Hraðvaxta jurtir og úrgangur frá landbúnaði eru einnig látin gerja og mynda etanól og metanól sem síðan er notað í stað bensíns. Þetta hefur verið nefnt lífmassi, lífeldsneyti¹ og lífdisill. Lýsi hefur verið notað á dísilbíla hér á landi og er ágætt dæmi um eldsneyti sem ekki hefur legið í jarðlögum fyrir notkun heldur kemur beint úr lífríkinu. Lífeldsneyti telst endurnýjnalegt því kolefnið er tekið úr andrúmsloftinu þegar plönturnar vaxa til að mynda þennan lífmassa og orkan binst í efnatengjaorku í vefjum plantanna.

Hins vegar eiga flestar gerðir endurnýjanlegrar orku uppruna sinn í sólinni og eru taldar óþrjótandi. Orkulindin þverr ekki þrátt fyrir nýtingu á ýmsum birtingarmyndum sólarorkunnar. Dæmi um hana er sólarljós, vindur og vatnsorka, ölduhreyfingar og lífmassi sem áður er nefndur. Hófllega nýttur jarðvarmi telst líka endurnýjanleg orka en hann stafar frá kjarhvörfum í iðrum jarðar og bráðinni kviku í möttli hennar. Sjávarföll eiga upphaf sitt í áhrifum aðdráttarafls tunglsins á jörðina og hreyfingar sjávar er einnig hægt að virkja. Á Íslandi er notuð endurnýjanleg orka frá fallvötnum og jarðhita. Notkun innlendra orkugjafa jókst mikið eftir oliukreppuna upp úr 1970. Á Íslandi voru hitaveitur stofnaðar, en áður höfðu risið margar vatnsaflsvirkjanir um allt land. Menn óttuðust að olían yrði uppurin á stuttum tíma og ljóst var að mannkynið yrði að breyta áherslum og minnka notkun jarðefnaeldsneytis en auka notkun endurnýjanlegrar orku. En vinnsla hennar er dýrari og nýtnin í kerfinu ekki eins há og í oliunkerfunum sem flestar þjóðir hafa lagt mikla peninga í um það bil heila öld. Olíulindir minnkuðu þó ekki eins hratt og óttast var á tíunda áratug síðustu aldar og nýjar lindir fundust sem þó eru erfiðari í vinnslu. Segja má að nokkrir áratugir hafi bæst við tímann sem mannkynið getur notað til

¹ Lífeldsneyti, e. biofuels. Lífdisill hefur verið framleiddur á Íslandi úr úrgangi frá sláturhúsum ofl. Heimild: Guðmundur Ólafsson, Sorpstöð Suðurlands.

að breyta neysluvenjum sínum. En nú eru stórar þjóðir í Asíu til dæmis óðum að iðnvæðast og búast má við að eftirspurn og orkunotkun í heiminum fari stöðugt vaxandi. Olíuverð hefur hækkað vegna eftirspurnar og kröfur um mengunarvarnir eru strangari. Á sama tíma þarf jafnframt að sækja olíu dýpra og með meiri tilkostnaði.

Mikið magn jarðefnaeldsneytis er enn að finna í kolanámum og gasi, bruna kola fylgir meiri loftmengun en bruna olíu en bruni jarðgass er talsvert hreinni.

Steinöld lauk ekki vegna skorts á grjóti. Olíuöld mun einnig renna sitt skeið þrátt fyrir að ekki skorti olíu á næstu árum. Þessu eru jafnvel olíufélögin sammála. Lönd sem ekki eru sjálfum sér næg hvað varðar orku verða að treysta á öruggt framboð á alþjóðamörkuðum. En þróun orkumála og krafan um hreinni orkugjafa ræðst ekki hvað síst af umhverfisáhrifum jarðefnaeldsneytis. Á undanförunum áratugum hefur styrkur koltvísýrings í andrúmslofti stóraukist.

Umhverfið

Alvarlegasta vandamálið við notkun jarðefnaeldsneytis er það, að námuvinnsla og flutningum fylgir staðbundin mengun og við bruna þess verða til lofttegundir sem m.a. auka á gróðurhúsaáhrif lofthjúps jarðarinnar. Afleiðingar þess geta orðið mjög víðtækar loftslagsbreytingar. Gróðurhúsaáhrifin vaxa mest vegna þess hve mikið losnar af koltvísýringi, CO₂, en aðrar lofttegundir koma einnig við sögu svo sem metangas, flúrkolefni, nituroxíð ofl. Koltvísýringur hefur vaxið um 15% á síðustu 50 árum en um 30% síðan fyrir iðnbyltinguna um 1850. Enginn vafi leikur nú á að aukningin er af manna völdum, einkum vegna notkunar á jarðefnaeldsneyti.



Mynd 2 Hér sjást áhrif gróðurhúsalofttegunda í lofthjúp jarðar. Á meðan styrkur þeirra helst lágur er hitastig og loftslag svipað og verið hefur frá síðustu isöld.

Á mynd 3 sjást hver áhrif af gróðurhúsalofttegundunum eru. Þegar þær safnast fyrir í lofthjúpi jarðar koma þær í veg fyrir að hitageislun hverfi út í geiminn en lokast inni og veldur hækkandi hitastigi á jörðu. Afleiðingarnar eru enn ófyrirsjáanlegar og verða mismunandi og mismiklar eftir svæðum. Þannig er alls óvíst að hækkandi meðalhiti þýði að öll svæði jarðar hitni, líklegra er að sums staðar kólni en annars staðar hitni verulega.

Erlendis eru það ekki einvörðungu bílar og bátar sem nota olíu heldur er framleitt rafmagn með brennslu jarðefnaeldsneytis í þar til gerðum olíurafstöðvum. Oft er einnig sorpi brennt í leiðinni og rafmangi og hita síðan veitt til neytanda. Til að draga úr loftmengun þarf að fylgjast mjög náið með brunanum svo ekki myndist önnur enn verri mengunarefni en koltvísýringur.

Meðalhiti á jörðinni hefur hækkað undanfarna áratugi, ekki síst á nyrstu svæðunum og allt bendir til að þrátt fyrir náttúrulegar sveiflur sé þessi hækkun mest af völdum mannglegra athafna. Þótt hlýnun geti hljómað vel í eyrum veðurbarðra Íslendinga er tilhugsunin um að jöklar bráðni, sjávarstaða hækki og að breyting geti orðið á stefnu og krafti sjávarstrauma allt annað en skemmtileg.

Helst verður brugðist við þessari vá með því að draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda sem er koltvísýringur, metangas, nituroxíð, brennisteinshexaflúor og fleiri. Sameinuðu þjóðirnar áttu árið 1997 frumkvæði að alþjóðlegri samþykkt sem nefnist Kyotobókunin. Þar eru allar iðnaðarþjóðir hvattar til að taka þátt í sameiginlegu átaki til að minnka verulega útblástur koltvísýrings á nýhafinni öld. Bókunin varð bindandi 16. febrúar 2005 og er Ísland aðili að þessu samkomulagi. Gert er ráð fyrir að lönd sem eru í hraðri iðnvæðingu verði undanskilin koltvísýringsvörnum þar til árið 2012.

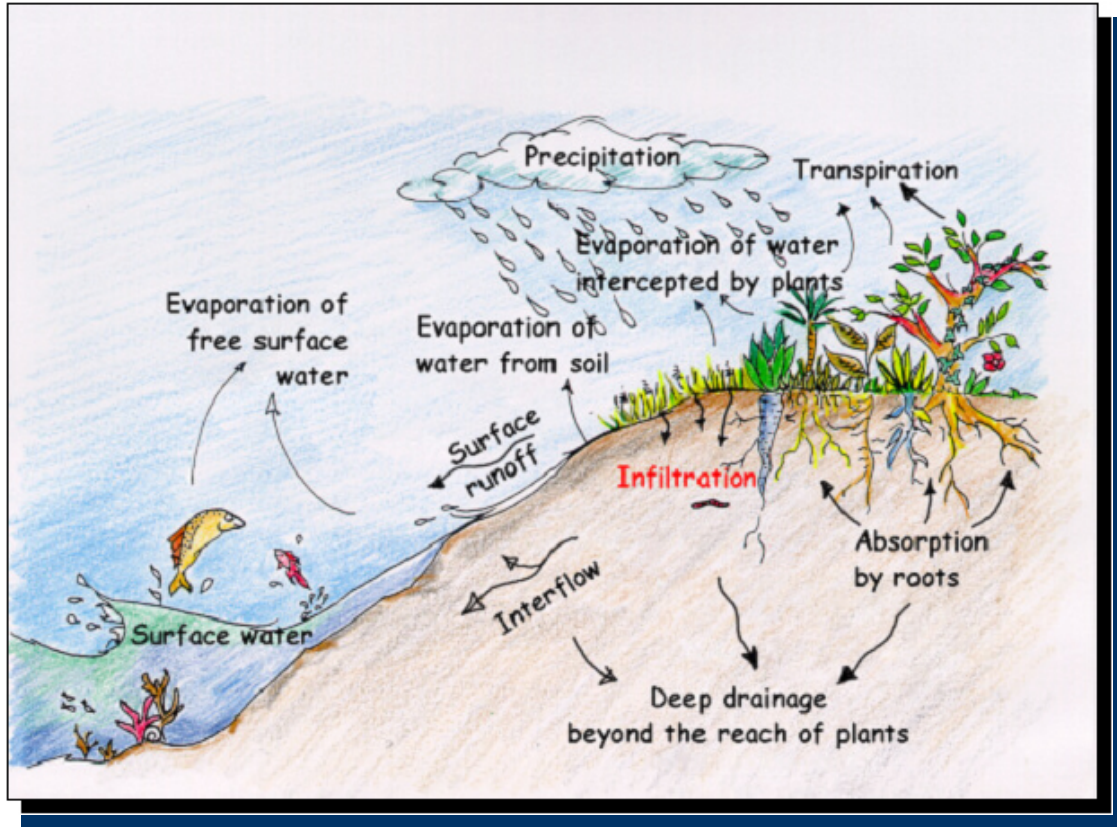
Brúni

vetnis losar ekki lofttegundir sem hafa teljandi áhrif á loftslag² jarðar að því er talið er. Úrgangur frá bruna vetnis er vatn. Þetta er sýnt með efnajöfnunni:



Vetni hvarfast við súrefni og myndar vatn um leið og orka losnar. Vetni er ýmist notað rétt eins og annað eldsneyti í vélum eða brennurum, til að mynda varma eða hreyfíkraft. En vetni getur einnig hvarfast við súrefni í efnarafölum og þá myndast rafmagn en lítill hiti (sjá bls 14). Við bruna vetnis við hátt hitastig myndast einnig nituroxíð (NO, NO₂, NO₃ oft ritað í heild sem NO_x) eins og við bruna jarðefnaeldsneytis. Ef vetnisbruna er stýrt með efnahvötum brennur það við lægra hitastig og þá myndast eingöngu vatn.

² Vatnsgufa hefur svipuð áhrif og koltvísýringur og lokar varma inni í lofthjúpi jarðar ef vatnsgufan kemst upp í heiðhvolfið. En þangað er ólíklegt að vatnsgufan komist ef hún myndast við yfirborð jarðar

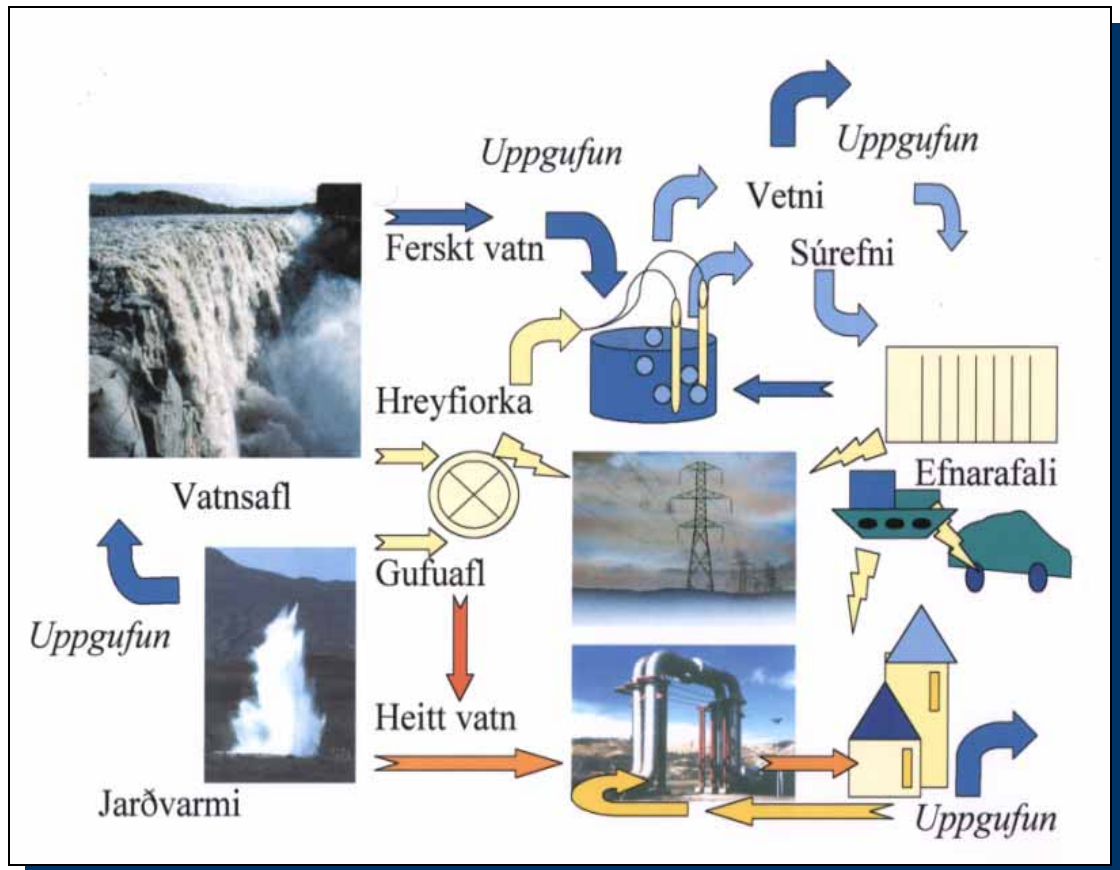


Mynd 3 Streymi vatns um vistkerfi. Vatn er hræfni til ljóstillífunar, vatn heldur plöntum stinnum, vatn er mikilvægur leysir í efnskiptum dýra. Vatn kemur því víða við í lífheiminum. Vatn gufar upp úr hafinu og berst á land sem úrkoma með vindum. Það geymist lengi í formi íss á jökulhettum og getur dvalist í stöðuvötnum eða í grunnvatni. En ferskt vatn er aðeins brot af þeim birgðum sem fólgnar eru í hafinu. Ef vatn verður notað til að mynda vetni er þannig verið að bæta við enn einum þætti í vantsbúskap vistkerfa. Teikning: Fífa Finssdóttir 1997 fyrir erlenda fyrirlestra um vatnsbúskap

Vatnið gengur inn í hringferli náttúrunnar eins og sem sýnt er á mynd 4. Ef vetni er unnið með rafgreiningu úr vatni samkvæmt efnajöfnunni sem hér sést:



Þá þarf jafnmikið vatn við rafgreininguna eins og búast má við að myndist við notkun þess í efnarafala. Vatn, vetni og súrefni endurnýtast þannig í lokuðum orkuferlum og engin aukaefni hlaðast upp sem úrgangsefni. Ef endurnýjanleg orka er notuð við vinnsluna má þar með segja að vetni beri endurnýjanlega orku frá orkulindinni til notandans.



Mynd 4 Hér sést hvernig vatn kæmi við sögu í framtíðar-orkukerfi Íslands. Kraftur úr fallvötnum og gufuafli (eða vindi og sjávarföllum) er notaður til þess að snúa hverflum í raforkuverum. Rafmagnið er notað til að rafgreina vatn í vetni og súrefni. Þegar vetnið er notað í efnarafala til að knýja farartæki verður það að vatnsgufu sem berst út í andrúmsloftið og verður að úrkomu. Heita vatnið sem kemur frá gufuafsvirkjunum er nýtt til húshitunar áður en það sameinast aftur vatnsbirgðum jarðar í hafinu.

Ef hins vegar er notast við endurnýjanlega orku og vetni sem orkubera verður orkukerfi okkar hluti af hringrásum jarðar og þar með hreint ferli, endurnýjalget og sjálfbært. Mannkynið stefnir á sjálfbæra þróun og því leikur enginn vafi á að orkunotkun verður að taka mið af því. Spurningin er því ekki hvort, heldur hvenær breytt verður úr notkun jarðefnaeldsneytis og reynt að nýta betur endurnýjanlega orkugjafa og nýjar gerðir eldsneytis.

Vetni mun gegna mikilvægu hlutverki við að auðvelda nýtingu alls kyns endurnýjanlegrar orku. Oft fellur mesta eftirspurnin ekki saman við sveiflukennt rafmagnsframboð frá óstöðugum uppsprettum eins og vindi og sólargeislum. Tökum sem dæmi, að logn getur aukið eftirspurn á rafmagni til kælingar á sama tíma og vindaflostöðvar eru óstarfhæfar.

Vatnsbirgðir í fallvirkjunum eru minnstar á veturna þegar eftirspurnin eftir rafmagni er mest. Þegar þannig háttar er hægt að geyma orku á formi vetnis frá úrkomusamari tímum og breyta því í rafmagn í efnarafölum þegar þess er þörf. Orkuuppsprettur eru oft langt frá helstu mörkuðum og því þarf að vera unnt að flytja hana. Það er auðveldara að geyma orku á formi vetnis en rafmagns, en flutningur rafmagns er auðveldari en flutningur vetnis. Vetni og rafmagn sem bæði eru mengunarlaus orkuform eru umbreytanleg hvort í annað og geta verið uppistaða í sjálfbæru, hreinu orkukerfi framtíðarinnar eins og sýnt er á [Mynd 4](#)

Vetni og vinnsla þess

Vetni er einfaldast og léttast allra frumefna jarðar. Það hefur sætistöluna 1 og er fremst í lotukerfinu. Af vetni eru til þjár mismunandi samsætur: Sú algengasta er samsett úr einni róteind og einni rafeind (táknað H). Aðrar samsætur eru tvívetni (deuterium, D) sem inniheldur eina róteind, eina rafeind og að auki eina nifteind sem gerir tvívetni nær tvöfalt þyngra en H. Síðast skal nefna þrívetni (tritium, T), geislavirka samsætu, sem hefur tvær nifteindir með róteindinni í kjarna en einungis eina rafeind. Þungu samsæturnar skipta helst máli í tengslum við kjarneðlisfræði og því verður ekki fjallað meira um þær hér.

Við vanalegar aðstæður er vetni afar létt lofttegund, eðlisþyngdin er einungis 0,09 kg/Nm³. Normalrúmmetri er rúmmálseining miðuð við eina loftþyngd og 0°C. Til að þetta vetni í vökvaform þarf að kæla það niður fyrir suðumark þess, -253°C (20K) sem er bæði dýrt og orkufrekt. Upplýsingar um nokkra efnis- og eðliseiginleika vetnis eru gefnar innan á kápu bæklingisins.

Vetni er ekki aðeins einfaldast heldur einnig algengast allra efna í sólkerfinu. Það gengur auðveldlega í samband við önnur efni, en hverfandi lítið vetni er að finna á hreinu formi. Vetnislindir eru því ekki til heldur þarf að vinna það úr vetnisríkum efnasamböndum, svo sem kolvetnum, eða lífrænum úrgangi. Langalgengasta vetnisríka efnasambandið er þó vatn.

Vatn, H₂O

Mestu vatnsbirgðir jarðar eru í hafinu svo við getum sagt að vetni sé til í ótakmörkuðu magni. Vatns-sameindin (tvær vetnisfrumeindir sem tengjast einni súrefnisfrumeind) er kljúfanleg í vetni og súrefni með hjálp orku eins og sýnt er í efnajöfnu á síðu 10. Ef notað er rafmagn til þessa, kallast það rafgreining vatns³. Aðferðin var notuð í áratugi í

³ Rafgreining -e. electrolysis



Áburðarverksmiðjunni í Gufunesi við framleiðslu tilbúins áburðar. Vatnsorkan sem notuð var til að mynda rafmagn í þessu samhengi var endurnýjanleg og því má segja að löng reynsla sé fyrir því að framleiða vetni á sjálfbæran hátt á Íslandi.

Mynd 5 Hér sést líkan af byggð og orkukerfi lítillar eyju, Utsira við strönd Noregs. Þar var gerð tilraun með orkukerfi sem er óháð rafmangsveitu meginlandsins. Rafmangið fæst úr vindmyllu. Þegar rafmangsnotkun er lítil, t.d. á nóttinni, er það notað til að kljúfa vatn í vetni sem síðan er notað sem eldsneyti á bíla í eyjunni og til að framleiða aukalega rafmagn á daginn. Mikill áhugi er einnig fyrir því að nýta vetni til að knýja ferjur sem flytja fólk millilands og eyja

Rafgreinir sendir straum í gegnum raflausn, en það er vatn með uppleystu salti. Sölt nefnast þau efni sem mynda jónir í vatnslausn og gera þær lausninni kleift að leiða rafmagn. Dæmi um raflausn sem hefur verið notuð í rafgreiningu er vatn með kalíumhydroxíði (KOH) og er rafgreinirinn þá sagður alkalískur. Alkalískir rafgreinar hafa verið búnir til um langt skeið t.d. í Noregi og eru víða notaðir í iðnaði einmitt til vinnslu vetnis. Nýrri gerðir af rafgreinum hafa fastar fjölliður sem leiða rafmagn í stað raflausnarinnar. Þær mætti kalla fjölliðurafgreina eða fóðraða rafgreina. Þeir eru afkastamiklir og geta unnið við háan þrýsting. Enn eru þeir talsvert dýrari en alkalískir rafgreinar. Rafgreinir klýfur vatn í lofttegundirnar vetni og súrefni, en þegar efnaferlinu er snúið við myndast vatn. Við það losnar orka í formi rafmagns. Tæki til hins síðarnefnda nefnist efnaarafali og verður honum lýst á síðu 18.

Rafgreining vatns hefur langmest farið fram með rafmagni frá vatnsaflsvirkjunum. En ýmsar aðrar tæknilausnir eru nú í þróun þar sem blandað er saman háum hita, miklum þrýstingi og rafgreiningu. Við það sparast rafmagn en hitinn er nýttur til að klúfa vatnið.

Ljós og hiti

eru einnig brúklegr til að kljúfa vatn. Við mjög hátt hitastig ($>2000^{\circ}\text{C}$) er auðvelt að kljúfa vatn í vetni og súrefni. Þetta er nefnt hitagreining⁴. Ofurhitinn er myndaður með því að safna sólargeislum með linsum og speglum en erfitt getur reynst að aðgreina myndunarefnin vetni og súrefni. Ef þeim er ekki haldið aðskildum hvarfast lofttegundirnar strax aftur er þær kólna og vatn myndast. Þess vegna hefur hitagreining ekki enn náð fótfestu við vinnslu vetnis, en framfarir eru stöðugar á þessu sviði einkum í löndum við Miðjarðarhaf.

Mynd 6 Sólarhlaða á húspaki til vinstri, sólahitari⁵ til hægri. Orku sólargeislanna er umbreytt í rafmagn annars vegar og síðan er því hlaðið á rafgeyma. Í sólahitara er vatn hitað í sólarljósi í gildum svörtum pípum. Það er síðan leitt um húsið og notað til hitunar, þvotta eða annarra þarfa. Neðri myndin sýnir vatnsgufu úr útblástursröri vetnisstrætisvagns.



Sólargeisla má einnig nota til að kljúfa vatn í svonefndu ljósrofi eða geislagreiningu⁶. Þar nýtist orka ljóseindanna sem er þá í formi rafsegulbylgna. Nokkrar leiðir eru færar í þessu samhengi, svo sem ljósefnahvörf⁷; ljósröfun⁸ og lífljómun⁹. Ljósröfun er eiginlega sambland af vinnslu rafmagns með ljósspennuhrifum¹⁰ og rafgreiningu vatns. Rafmagnið frá sólarhlöðum¹¹ sem gerð eru úr hálfleiðurum notar síðan strauminn til að kljúfa vatn. Þegar notaðir eru hálfleiðarar í skaut rafgreinisins má slá þessari tækni saman í eitt tæki og nýta sólarljós til að knýja hvarfið. Betri orkunýting fæst með því að nota rafmagnið beint, en ef geyma þarf orkuna getur verið hentugt að geyma hana í vetni og til dæmis nýta síðar

4 Hitagreining- e. pyrolysis

5 Sólahitari – e. solar thermal device

6 Ljósrof – e. photolysis

7 Ljósefnahvarf – e. photochemical reaction

8 Ljósröfun -

9 Lífljómun – e. bio-luminescence

10 Ljósspennuhrif – e. photo voltaic effect

11 Sólarhlaða – e. solar cell, photovoltaic cell

til að knýja bíl. Í gangi er mikil þróunarvinna við þessa tækni því að ljósspennurafgreinir með sæmilegri nýtingu kæmi sér vel í sólríkum löndum.

Sólarljós nýtist einnig við lífeflda geislagreiningu¹² vatns. Sumar bakteríur og einfrumungar geta klofið vatn í þekktum lífefnaferlum. Ef tekst að rækta upp afbrigði þessara lífvera með góðri skilvirkni þá getur vetni losnað með örvun sólargeisla. Myndunarferlið er afbrigði af ljóstillífun sem frumbjarga lífverur nota til að mynda sykrur úr vatni og koltvísýringi. Lífverurnar nota ýmsa lífefnahvata¹³ við hvörfin og losa sig síðan við vetni. Með erfðataækni og framræktun væri unnt að ala stofna af lífverum sem skila meira vetni en gerist í náttúrunni en orkunýtnin hefur verið lág til þessa.

Ljóstillífandi lífverur umbreyta sólarorku og geyma hana síðan í aðgengilegu formi í efnatengjum lífrænna efna, svo sem sykrum og fitu eða byggingarefnum vefja. Orkan losnar úr lífræna efninu t.d. við frumuöndun eða venjulegan bruna, en lífmassa má einnig nota sérstaklega til að mynda vetni. Þá er beitt gufutækni og orkan í lífmassanum notuð. Þetta skilar miklu vetni og er auðvelt að aðgreina það frá öðrum myndunarefnum. Mikill lífmassi leggst oft til í iðnaði og landbúnaði, t.d. timbur- fisk- og pappírsiðnaði og við kornrækt, þar sem hálmurinn gengur af. Þessar aðferðir eru enn í tækniþróun og gæti kostnaður þessarar framleiðsluáferðar lækkað verulega á næstunni.

Algengasta og ódýrasta vinnsluáferð vetnis er þó enn sú að nota jarðefnaeldsneyti, einkum

jarðgas

Af þeim 500 milljörðum Nm³ vetnis¹⁴ sem unnin eru árlega koma um 90% úr jarðefnaeldsneyti, helst jarðgasi (metan) en jafnframt frá kola- og oliuvinnslu. Þetta er fastur liður í starfsemi olíuhreinsistöðva og er vetnið selt til ýmiskonar iðnaðar. Algengasta efnahvarfið í þessu samhengi er nefnt gufubæting¹⁵ og hún gerist á svipaðan hátt með flestum kolefnisgjöfum. Efnajafna fyrir metangas sem er meginhluti jarðgass, er þannig:



Helmingur þess vetnis sem myndast kemur úr vatnsgufu sem er annað hvarfefnanna. Fjórum sinnum meira myndast af vetni en koltvísýringi. Til að reka hvarfið til hægri þarf að hita hvarfefnin og er það gert með því að brenna hluta gassins. Því er útblástur koltvísýrings meiri í reynd en vetnismyndunarjafnan gefur til kynna. Jafnvel þótt notkun á vetni hafi ekki í för með sér staðbundinn koltvísýringsútblastur þá getur svo orðið á vinnslustað vetnisins, ef gasbætingu, sem er ódýrasta vinnsluáferðin, er beitt. Því má

12 Lífefld geislagreining – e. biophotolysis

13 Lífefnahvati - enzyme

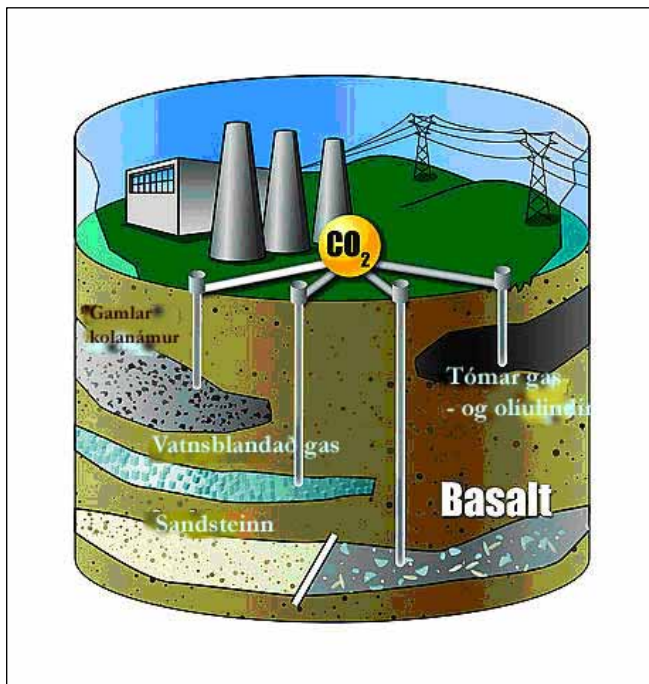
14 Nm³ er eining sem einkum er notuð um rúmmál vetnis. Miðað er við einn rúmmetra við 0°C og eina loftþyngd eins og getið er á bls 1

15 Gufubæting - e. steam reforming. Sérstakir brennarar sjá um að umbreyta kolefniseldsneyti í vetni og koltvísýringi með gufubruna í stað bruna í andrúmslofti eða súrefni.

bæta við að eins er farið um myndun vetnis með rafgreiningu ef rafmagnið fæst með bruna á jarðefnaeldsneyti.

En getur vetni myndast úr kolefnaríku eldsneyti án þess að koltvísýringur losni út í andrúmsloftið? Já, það er hægt!

Koltvísýringinn má skilja frá lofttegundunum sem myndast. Það er jafnvel einfalt með því að nota valvísar¹⁶ himnur. Frágangur, niðurdæling eða förgun koltvísýrings¹⁷ getur orðið með ýmsum hætti: Reyndar má nota koltvísýring litillega sem hráefni í iðnaði eða til að auka vöxt í gróðurhúsaræktun. Hann nýtist einnig til að hækka þrýsting í olíu- og jarðgaslindum og auðveldar þannig fullnýtingu þeirra. Koltvísýringurinn er síðan lokaður inni. Einng hefur honum verið sums staðar dælt niður í gamlar námur eða tómarými sem hefur skapast t.d. eftir olíu- eða saltnám undir hafsbotni. Við borpallinn Sleipni í Norðursjó hefur verið dælt niður milljónum tonna af koltvísýringi. Mun þessi tilraun gefa vísbendingar um hvernig aðferðin reynist til lengdar. Verkefnið er liður í tilraun með gróðurhúsalofttegundir sem alþjóðlega orkuráðið¹⁸ stýrir. Eru miklar vonir bundnar við þessa þróun en ekki hefur mikið miðað í þá átt að fullreyna allar þær hugmyndir um notkun hella, djúpála í hafinu og djúplægar vatnsæðar til að geyma koltvísýringinn þótt hugmyndin sé víða nefnd í framtíðarsýn við nýtingu jarðefnaeldsneytis. Koltvísýringur er notaður í gosdrykki og veldur því að í vökvanum myndast sýra. Því er ekki enn fyrirséð hvort urðun koltvísýringsins sé með öllu skaðlaus.



Mynd 7 Hugmyndir banda-rískra vísindamanna um geymslustaði fyrir koltvísýring

Förgun koltvísýrings hækkar kostnað við vetnisvinnlu, þó ekki óyfistiganlega mikið. Útreikningar sýna að verð vetnis mun hækka um 25% að förgunarkostnaði meðtöldum. En þar sem ferlið er ódýrt má ætla að vetni unnið á þennan hátt sé líklegur fyrirrennari vetnis úr vatni og endunýjanlegri orku, eins og æskilegt væri þegar til lengri tíma er litið og gas og olía verða torfengnari en nú er. Eins og sakir standa er vinnsla vetnis úr gasi ásættanleg bæði frá sjónarhóli umhverfisverndar og kostnaðar.

Verðið á jarðgasi annars vegar og rafmagni til rafgreiningar hins vegar ræður miklu um val á vinnsluferli og verð vetnis til neytenda.

16 Valvís himna – e. selective membrane. Einnig er talað um valgegndræpar himnur.

17 Förgun koltvísýrings – e. carbon sequestration

18 International Energy Agency, verkefnið er skammstafað: SACS

Olíufélög hafa jafnan sýnt vetnisvinnslu úr jarðgasi mikinn áhuga. Kleift er einnig að ná kolefni úr jarðgasi og öðru jarðefnaeldsneyti. Ef hráefnið er hitað verulega með efnahvötum í ferli sem nefnist hitagreining¹⁹ myndast hreint kolefni ásamt vetni. Efnajafnan er þannig:



Kolefnið kemur úr hvarfinu sem finlegt kolsvart duft og nefnist svart kolefni. Það er notað í dekk, plast ofl. Þessi aðferð hefur verið tekin í notkun t.d. í Kanada.

Afkolun²⁰ má kalla þær aðferðir sem miða að því að losa eldsneyti við kolefnisþáttinn. Ef stefnt er að því í framtíðinni að nýta eldsneyti sem engin koltvísýringsútblástur fylgir er líklegt að vetnisrík efnasambönd komi í stað afkollaðra jarðefna.

Til að beina orkuvinnslu og -notkun frá bruna olíu og kola og í átt að vetnisríkari samböndum hefur verið stungið upp á því, að gjöld yrðu lögð á koltvísýringsútblástur vegna áhrifanna, sem hann hefur í lofthjúpi jarðar. Sjóðina sem þannig yrðu til ætti síðan að nýta til að efla þá starfsemi sem nýtir endurnýjanlega orku og hreina orkubera. Yfirvöld hafa allmikið að segja um stefnu í orkumálum, mengunargjöld eða ívilnanir gagnvart breytingum. Ef Kyoto – bókunin um varnir gegn breytingum á lofthjúpi jarðar verður tekin inn í stefnu stjórnvalda víða um heim má búast við að gjöld verði lögð á koltvísýringsútblástur þegar á árunum 2005 – 2008. Það gæti orðið um leið mikil lyftistöng fyrir endurnýkanlega orku, vetnisvinnslu og vetnisnotkun.

Þess má vænta að vetni verði bráðlega mikilvægt við vinnslu og geymslu á rafmagni til að jafna út sveiflur í framleiðslu og efrislpurn. Hlutverk vetnis getur einnig ráðist af kerfi hvers lands og hvort tekin verði upp



dreifð rafmagnsvinnsla

í staðinn fyrir ríkisreknar rafstöðvar. Sá háttur hefur til dæmis verið hafður á héraðslandi að Landsvirkjun hefur séð um að vinna rafmagn á hagkvæman hátt en dreifingar fyrirtækin, sem oftast nefnast rafveitur, eru oft í eigu sveitarfélaga. Reistar hafa verið stórar virkjanir sem miðaðar eru við notkun stórra kaupenda sem krefjast stöðugrar orku, einkum til málmbræðslna. Minni notendur sem nýta mismikið rafmagn í samræmi breytilega starfsemi greiða að jafnaði hærra verð fyrir hverja orkueiningu.

Ef virkjanir eru reistar nær notendum getur verið að hægt sé að taka upp hagkvæmari dreifingu en þá sem miðast við landið allt.

19 hitagreining – e. pyrolysis

20 Afkolun – e. carbon sequestration

Margt bendir til þess að vinnsla rafmagns muni dreifast á mörg fyrirtæki. Í iðnvæddum ríkjum er það alþjóðavæðingin og markaðsbúskapur sem knýr þessa þróun. Stórar einingar eiga erfiðara með að bregðast jafnharðan við breytingum og sveiflum og orkusala yfir landamæri verður algengari. Nýting umframafis er ekki alltaf eins og best verður á kosið, einkum þar sem rafmagn er framleitt með kolum og olíu, því erfitt reynist að fullnýta varmann sem myndast. Dreifikerfið er einnig stundum fullnýtt og viðbætur reynast dýrar í lagningu og viðhaldi auk þess sem þær raska umhverfi ef leggja þarf línur um langan veg.

Hagkvæmara er að reisa blönduð orkuver²¹ þar sem þörf er fyrir bæði hita og rafmagn. Þar með hækkar einnig nýting orkunnar til muna. Brugðið hefur verið á þetta ráð víða þar sem kol, olía og gas eru notuð við rafmagnsvinnslu og er borgarsorpi þá brennt í leiðinni sem og úrgangi frá landbúnaði. Stór vatnsorkuver eru farin að mæta nokkurri andstöðu þar sem áhrif miðlunarlóna eru talsverð á landslag og gróðurfar, þótt áhrif á andrúmsloftið séu óveruleg. Þetta gæti orðið til þess að minni virkjanir verði reistar til að þjóna næsta nágrenni, en líklegt er jafnframt að verð orkunnar hækki.

Þegar jarðvarmi er notaður til raforkuvinnslu (eins og á Nesjavöllum²²) þá er afl borholanna nýtt í rafmagn en varminn í vatninu til húshitunar eða iðnaðar, t.d. suðu eða þurrkunar. Í framtíðinni verður varmi einnig notaður sem orkugjafi við vetnisvinnslu. Varmaraf hf²³ er fulltrúi þeirra sem vinna raforku úr jarðhita í litlum einingum hér á landi. Umhverfisáhrif jarðvarmavirkjana eru umfangsminni en vatnsmiðlunarlóna, en ekki er vitað hvort brennisteinsvetni (H₂S) losni hraðar í meira mæli út í andrúmsloftið við virkjunina eða hver afdir hans verða í náttúrunni en brennisteinsvetni finnst á náttúrulegum hverasvæðum. Brennisteinsvetni veldur eitrun í háum styrk og myndar ýmis konar brennisteinssambönd.

Mynd 8 Jarðvarmi er nýttur hér á landi bæði til rafmangs- og varmavinnslu

Þar sem komið verður við sveigjanlegri raforkuvinnslu fyrir notendur með breytilegar þarfir getur vetni gegnt lykilhlutverki sem orkugeymsla. Því er hleypt á efnarafala, til að bæta rafmagni inn á dreifikerfið um leið og eftirspurn eykst. Vetnið mætti að öðru leyti búa til í litlum rafgreinum



21 Blönduð orkuvinnsla – e. cogeneration

22 Um Nesjavelli er hægt að fræðast á vef Orkuveitu Reykjavíkur; www.or.is

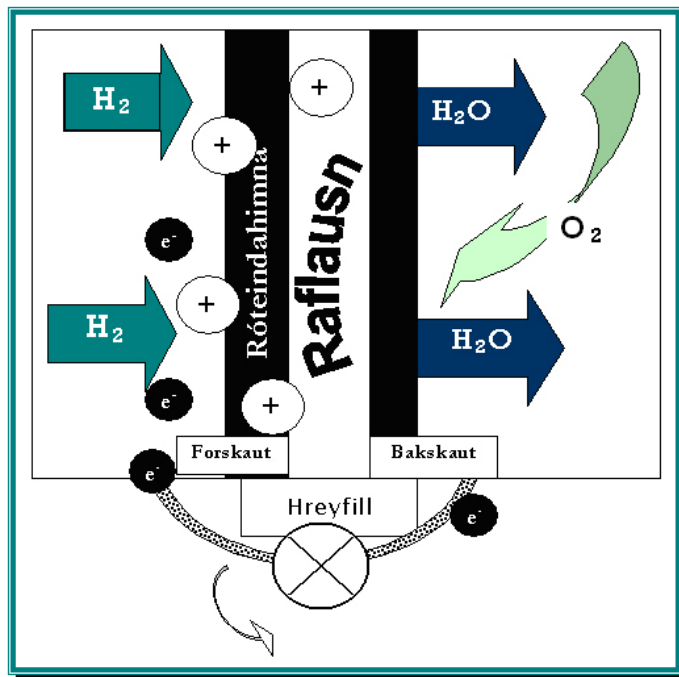
23 Varmaraf er sprotafyrirtæki sem stofnað var árið 2000. Sjá nánar á vefsíðunni: www.varmaraf.is

Þegar álag á kerfinu er lítið eða í gufubætum²⁴ Síðan er vetnið flutt ýmist hreint eða blandað jarðgasi á áfangastað. Blanda af þessu tagi er nefnd Hytan. (sbr **Hy** drogen + **Me tan**). Í Þýskalandi, Bandaríkjunum og Japan eru nú þegar í framleiðslu staðbundnir efnarafalar sem geta séð heimilum fyrir rafmagni og hita í stað dísilrafstöðva ef þeir eru mataðir með vetni.

Í þróunarlöndum er gert ráð fyrir að orkunotkun muni margfaldast á næstu árum. Þá mun dreifið orkuvinnsla geta stuðlað að betri nýtingu. Ef stefnt væri að miðstýrðum orkukerfum og landsdreifikerfum sem næðu til allra landsmanna gæti það orðið mun dýrara og óhagkvæmt fyrir mikinn hluta fátækra þjóða.

Í fátækustu ríkjum heims hafa mörg lönd góða möguleika á að nýta endurnýjanlega orku, til að mynda sólargeislun, lífmassa, vind og vatnsorku. Æskilegt er að nýta þessar auðlindir á staðbundinn hátt í hæfilega stórum einingum og draga þannig úr þörf fyrir dreifingarkerfi sem geta verið dýr í viðhaldi. Vetni er þar með góður kostur til að geyma og flytja orku um takmarkaðan veg eða til að jafna rafmagnsvinnslu. Nú þegar notfæra lítil samfélög sér sjálfstæð orkukerfi, til dæmis á eyjum í Noregi og Skotlandi. Þar er áformað að auka enn notkun endurnýjanlegra orkugjafa (t.d. frá öldu- og straumvirkjunum) og vetni til geymslu og flutninga, þrátt fyrir að enn séu vetniskerfi dýrari en þau sem hafa verið notuð fram að síðustu aldamótum.

Þótt þess sé vænst að vetni muni verða mikilvægt sem eitt af tannhjólum í úrverki framtíðarorkukerfa er þó annað svið þar sem vænta má að vetni verði tekið í almenna notkun innan skamms. Það er innan samgöngugeirans, til þess að knýja almenningsvagna, bíla og skip. Vetnisfarartæki eru í framrás þau nota léttari efnarafala og hreint vetni. Rafali virkar eins og sýnt er á Mynd 9.



Mynd 9 Rafmagn myndast í efnarafala. Við forskautið (anóðuna) klofnar vetnis-sameindin í tvær rafeindir og tvær róteindir (sýnt sem e- og (+). Rafeindirnar eru leiddar um rafleiðslu inni aftari hluta rafalans að bakskautinu (katóðunni) og þar sameinast þær súrefni og vetnisróteindunum; vatn myndast. Hvarfið er í reynd oxunar og afoxunarhvarf en skrefunum er haldið aðskildum og rafeindirnar látnar framkvæma vinnu áður en þær tapa orku og sameinast myndefnunum. Straumurinn í fyrrnefndri rafleiðslu getur knúið hvaða raftæki sem er, allt eftir því hve straumurinn er sterkur eða efnarafalinn öflugur.

24 Gufubætir - e. Steamreformer sjá lýsingu á ferlinu á bls11

Efnarafalar

Í reynd er efnarafali²⁵ andhverfa rafgreinis. Honum má líkja við rafhlöðu, sem breytir efnaorku í raforku. Munurinn er sá að í rafhlöðunni er efnaorkan fólgin í efnunum sem geymd eru í henni en efnarafali er háður því að efnin sem geyma orkuna berist honum stöðugt frá einhvers konar geymslu. Þetta þýðir jafnframt að efnarafali hættir ekki að virka nema hvarfefnið, þ.e. vetnið, gangi til þurrðar. Því er það hleðslugeta geymslunnar eða hversu ört er hægt að skipta henni út sem takmarkar virkni efnarafalans. Um geymslutæknina er fjallað á bls 22. Himnurnar sem vetnið smýgur þannig í gegn um er komið fyrir í röðum eða stöflum. Smám saman eyðist vetnið, sem auðvitað er miklu orkuríkara en vatnið sem myndast eftir hvarfið.

Geisladiskur með margmiðlunarefni²⁶ sem útskýrir orkuferlið frá því að fallorka er virkjuð, hvernig rafgreining fer fram og hvernig hvörf eiga sér stað í rafala var gefinn út vorið 2003 á vegum Íslenskrar NýOrku og var þá sent til allra skóla á landinu.



Mynd 10

Framþróun hefur verið hröð á PEM efnarafölum frá því um 1990. Fyrstu sendiferðabílamir gátu ekki tekið neina vöru í flutningsrýmið (sbr mark 5 staflann) en á vetnisstrætisvögnunum sem prófaður voru í Reykjavík 2003 – 2006 eru 150 kW rafali á stærð við einn eplakassa.

Rétt eins og rafgreinar, eru rafalar útbúnir rafskautum, forskauti og bakskauti (anóðu og katóðu) með

raflausn á milli sín eða öðru sem leiðir straum. Raflausnin getur innihaldið K^+ eða H^+ jónir og OH^- jónir og er efnarafalinn þá sagður alkalískur. Hins vegar er líka til flokkur af efnarafölum sem notast við súrar raflausnir eða föst rafleiðandi efni²⁷ í stað raflausna. Til eru nokkrar gerðir efnarafala sem eru nefndir eftir gerð þeirra. En hér verður helst fjallað um þá gerð sem er notuð í bíla, eða PEM rafala. sem hafa í stað vökva eins konar fjölliðupynnu, líkan plasti, sem einnig leiðir rafmagn.

25 Efnarafali – e. fuel cell

26 Kennsludiskurinn sem um ræðir kom út í mars 2003 og nefnist: Vetni hreint orkuferli. Hann var sendur öllum framhaldsskólum haustið 2003 og efnið má einnig skoða á veffanginu www.newenergy.is

27 Föst rafleiðandi efni – e. Solid Polymer Electrolyte (SPE – fuel cells)

Þessa gerð má nefna rafala með róteindahimnu í samræmi við gerð þeirra oftast skammstafað PEM-rafalar²⁸. PEM-rafalar eru tiltölulega léttir og vinnslan fer fram við minna en 100°C. Aðrir rafalar vinna við afar hátt hitastig t.d. fosfórsýrurafalar²⁹ og storkuoxíð-rafalar³⁰. Þeir síðastnefndu geta nýtt blöndu af hvarfefnum (til dæmis blöndu af vetni, koltvísýringi og kólmónoxíði) en þeir vinna við um 1000°C hita. Þeim er komið fyrir í stærri byggingum eða byggðakjörnum til að sjá fyrir hita og rafmagn. Kostur við notkun þeirra er að þeir nýta betur orkuinnihald hvarfefnanna við að vinna rafmagn en olíubrennarar. Efnaraflar af þessu tagi eru nú þegar í notkun í nokkrum borgum og hent.



Ramma 1 Um orð og merkingar

Athugið að í bæklingnum er notast við orðið efnarafali, eða sá sem elur af sér rafmagn. Orðið beygist veikt á eftirfarandi hátt:

Eintala: nf: efnarafali, þf: efnarafala, þgf: efnarafala, ef: efnarafala. Í fleirtölu: nf: efnarafalar, þf: efnarafala, þgf: efnarafölum, ef: enfarafala.

Til samanburðar eru hér einnig gefin föll orðsins rafall sem beygjast á svipaðan hátt og orðið trefill:

Í eintölu: nf: rafall, þf: rafal, þgf: rafli, ef: rafals og í fleirtölu: nf: raflar, þf: rafla, þgf: röflum, ef: rafla.

Gæta verður samræmis allt eftir því hvor orðmyndin er valin en báðar eiga rétt á sér.

Þeir rafalar sem vinna rafmagn úr vetni við fremur lágt hitastig hafa fest sig í sessi að undanfögnu. Alkalískir efnarafalar hafa verið notaðir í geimferðum til vinnslu rafmagns og drykkjarvatns. Einnig hafa þeir verið reyndir í faratækjum, einkum á landi. En það eru PEM-rafalarnir sem sækja mest á. Líkleg skýring er sú að þeir eru léttari miðað við afköst, vinnslan er jöfn, þeir eru snöggir í gang og hafa reynst áreiðanlegir, jafnvel við lágt hitastig. Þekktasti brautryðjandi í framleiðslu PEM-rafala er líklega kanadíska fyrirtækið Ballard, en mörg önnur hafa náð umtalsverðum árangri eftir áratuga þróunarvinnu til að mynda í Asíu. Flestar bílaverksmiðjur hafa snúið sér að því að reyna rafala í farartækjum og að þeirra sögn eru efnarafalabílar á almennum markaði um 2010.

28 PEM er skammstöfun á enska heitinu :Proton Exchange Membrane. Bein þýðing er róteindahimnurafalar.

29 Fosfórsýrurafalar e. Phosphoric acid fuel cells

30 Storkuoxíð – rafalar e. solid oxide fuel cells

Hreint eldsneyti í tankinn

Við notkun vetnis í efnarafölum myndast einungis vatn. Ef því er brennt í brunahólfsvélum myndast örlítið af nitroxíðum (NO_x) en miklu minna en við bruna jarðefnaeldsneytis. Það er með öðrum orðum unnt að nota vetni á vanalegar bílvélar og ein af fyrstu bílvélunum var einmitt knúin fljótandi vetni. Enn í dag eru nokkrar bílaverksmiðjur sem leggja áherslu á að aðlaga brunahreyfla fyrir vetni, til dæmis BMW. En í orkukeðju þar sem orkunýting er í hámarki en útblástur í lágmarki eru eftirfarandi hlekkir: Endurnýjanleg orka, rafgreint vetni, efnarafalar og rafknúnar vélar. Bifreiðar sem eru búnar þessari driftækni verða væntanlega svipaðar að stærð, ná sömu vegalengd á hverri tankfylli og þurfa jafnstuttan tíma til áfyllingar og þær sem við nú eigum að venjast. Þetta eru framfarir miðað við rafbíla, sem þó eru útblásturslausir, en nota fyrirferðarmikla rafgeyma sem innhalda efni sem eru hættuleg umhverfinu. Miklar vonir voru bundnar við framfarir í rafgeymatækni á síðustu öld en þær vonir hafa ekki ræst því að málmar sem koma fyrir í nýjum gerðum rafhlaða eru fullt eins eitraðir og kvikasilfur hinna eldri gerða. Afl þeirra er í réttu samræmi við þyngdina þannig að kröftugari bílar hefðu litla burðargetu nema fyrir rafgeymana. Enn fremur þykir taka langan tíma að endurhlaða rafbíla (10 – 12 klst) og jafnframt dugir hleðslan tiltölulega skammt (150 – 200 km en það fer eftir krafti og þyngd bílsins). Þó er enginn vafi að í framtíðinni verða í notkun rafbílar, gasbílar, þrýstiloftsbílar og fleiri gerðir sem enn eru ekki komnir fram.



Mynd 11 DaimlerChrysler hefur lagt áherslu á að framleiða nokkrar gerðir farartækja þar sem yfirvagninn er staðlaður en vélarbúnaðurinn aðlagður að því að nýta mismunandi eldsneyti, þar á meðal vetni, metangas eða metanól. Hér sjást tvö þeirra framan við Bessastaði. Þetta er vetnisknúinn vagn af gerðinni Citaro og Aclass F-cell smábíll.

Á síðustu árum hafa flestir bifreiðaverksmiðjur í Asíu, Evrópu og Bandaríkjunum tekið mark á kröfum yfirvalda um hreinni útblástur frá bifreiðum og sýnt ýmsar nýjungar í framleiðslu sinni; tvinnbíla³¹, gasbíla og þá sem ganga fyrir metanóli og etanóli sem unnið er úr lífrænum úrgangi eða orkuplöntum. Þeir sem áhuga hafa á þróun nýrra farartækja ættu að skoða tímarit og vefsíður þar að lútandi.

Það sem eflir þessa þróun er meðal annars strangari löggjöf um útblástur bifreiða og áhugi almennings á umhverfisvernd. Oft er litið til frumkvæðis Kaliforníuríkis í Bandaríkjunum en þar voru sett lög með nokkurra ára fyrirvara um það að árið 2003 skyldu 10% af seldum ökutækjum vera lausar við loftmengun. Átt var við að enginn koltvísýringur, nituroxíð eða brennisteinsoxíð skyldu mælast í útblæstri þeirra. Hefur þetta ákvæði þrýst á hraðari framþróun vetnis- og rafbíla og sumarið 2003 fékk fyrsti útblásturslausni fjölskyldubílinn vottun frá bandarísku umhverfisstofnuninni en hann var frá Honda í Japan. Þegar til lengra tíma er litið þykja efnararfalar og vetni líklegustu aftakar þeirrar tækni sem við notum núna, en allt eins getur farið svo að drifttækni framtíðarinnar og eldsneyti verði með ýmsu móti, eftir því hvað er heppilegast fyrir staðbundnar aðstæður.



Mynd 12 Í bakgrunni til hægri sér á láréttan tank sem inniheldur vetni í vökvaformi. Pípurnar fyrir miðju er þrýsti- og kælibúnaður. Hylkin fremst á myndinni taka við vetninu sem gufað hefur upp. Hylki eru einnig notuð án kælibúnaðarins. Pípubúnað-urinn er um 2m á hæð. Myndin er tekin nálægt Tokyo í Japan þar sem opnaðar hafa verið yfir 10 vetnisstöðvar

Þrátt fyrir framfarir í vetnistækni eru enn þó nokkur vandkvæði á því að nota vetni í stórum stíl. Þar sem vetnið er afar umfangsmikið er orkuinnihald hverrar rúmmálseiningar lágt eða um það bil $3\text{kWh}/\text{Nm}^3$. Í jafnstóru rúmmáli af vetni og metangasi er fjórum sinnum meiri orka í gasinu. Á sama hátt ber fljótandi vetni aðeins fjórðung þeirrar orku sem felst í sambærilegu rúmmáli af bensíni. Þetta felur í sér að það þarf afar stórt rúmmál af vetni til að mæta kröfum um langt úthald á hverri vetnisáfyllingu. Miðað er við að fyrir 500 km akstur þurfi um 5 kg af vetni. Sem stendur er því allt kapp lagt á að leysa vandamál er varða hentugar

31 Tvinnbílar –e. hybrid

vetnisgeymslur

fyrir ökutæki. Jafnvel þótt efnarafalar vinni betur úr orkuinnihaldi vetnis en venjulegar brunahólfsvélar þarf vetnisgeymslan að geta innihaldið meiri orku en nemur því rúmmáli sem vanalegur bensíntankur tekur ef framtíðarbillinn á að komast jafnlangt og þeir sem við notum nú. Því hefur verið brugðið á það ráð að þetta vetnið. Þrýstihylki geyma vetni undir 200 – 450 bara þrýstingi³² og er þá táknað³³ CH2. Einng er vetni geymt sem kældur vökvi og er þá er táknað³⁴ LH2. Búnaður til að vökvagera vetni er sýndur á Mynd 12.

Þéttingin er orkukræf og þrýstingshylkin þurfa að vera afar þétt og sterk en jafnframt létt ef til stendur að flytja vetnið á þessu formi. Við þéttingu eykst hlutur vetnisins í heildarþyngd geymslunnar; svonefndur þyngdar-stuðull eykst³⁵. Í vetnisstefnu Bandaríkjamanna um „Freedom car“ er miðað við að þyngdarstuðull vetnisgeymslna verði kominn í 9% árið 2015 og er enn langt í land.



Mynd 13 Geymslutankur fyrir vökvagert vetni sem ætlað er farartækjum. Framleiðandinn er í Austurríki

Þrátt fyrir framfarir í geymslutækni er hlutfallsleg þyngd vetnis í hylkjum almennt um 1.5 - 4% en í athugun eru ýmis efni og efnasambönd sem draga í sig svo mikið vetni að hver rúmmálseining inniheldur meira vetni en sem nemur vetni undir þrýstingi. Þetta eru til dæmis málmvampar, eins

konar sápuvökvar og kolefnisgrindur í þeim dúr er sýndar eru á Mynd 14.

Mikil orka fer í að vökvagera vetni og að halda því undir suðumarki (-253°C). Vökvatankarnir hafa margfalda einangrun og þrýstistýribúnað til að halda vetninu stöðugu og er smíði þeirra dýr sem og notkunin. En í þeim tilfellum sem flytja skal vetni um langa leið getur vökvagerð borgað sig, einkum ef unnt er að nýta orkuna sem losnar þegar vetnið gufar upp til dæmis um borð í skipum. LH2 er talsvert notað í geimflugum og í iðnaði.

32 Reyndar eru nýjustu hylkin samþykkt fyrir 700 bara þrýsting og hafa prófanir sýnt að þau þola meira en 1200 bör.

33 Þetta er skammstöfun en ekki efnatákn. Hún stendur fyrir Compressed Hydrogen Gas eða samþjappað vetni á gasformi.

34 Á sama hátt er LH2 skammstöfun fyrir Liquid Hydrogen Gas eða fjótandi vetni.

35 Þyngdarstuðull – e. masspercentage

Fyrr var minnst á málmsvampa og kolefnisörþræði³⁶ eða -duft sem kemur einnig til greina við að geyma vetni. Margir málmar binda einnig vetni og mynda málmhýdrið. Lýsa má hvarfinu almennt á eftirfarandi hátt þar sem M stendur fyrir ýmsa málma:



Hvarfinu má snúa við með því að stilla hitastigið sem ríkir í kerfinu. Þeir málmsvampar sem sleppa síðan vetninu við lágt hitastig (um og undir 100°C) gætu hentað í eldsneytisgeymslum farartækja, en aðrar gerðir sem gefa vetnið frá sér við herra hitastig henta betur stærrí og staðbundnum efnarafólum. Málmsvampar sem gerðir eru úr blöndu málma hafa reynst betur en þeir sem gerðir eru úr hreinum málmum. Efnasamsetningar úr tini, áli, magnesíum, járni, nikkell, bóri sem og fleiri sjaldgæfum málmum hafa verið reyndar og stöðugt eru í þróun betri málmsvampablöndur. Rannsóknir þar að lútandi fara fram meðal annars við Háskóla Íslands í raunvísindadeild³⁷.



Mynd 14 Myndin sýnir gerð kolefnisgrinda (knattkol) og pípur sem gætu hentað til að geyma vetni

Þar sem notast er við eðlislætta málma, svo sem magnesíum er kelift að ná hærri þyngdarstuðli, en á móti kemur að vetnið losnar fyrst úr málmsvampinum við herra hitastig (um 300°C). Málmarnir mynda grind þar sem mikið rýmist af vetni. Nýtingin er því ágæt ef miðað er við rúmmál, en þar sem málmurinn sjálfur vegur mikið verður þyngdarhlutfall vetnis í þessu geymsluformi því miður ekki ýkja hátt. Einng má spyrja sig hvort það henti að neam svo mkið af málmum úr jörðu og hafa svo mikið magn málma dreift um samfélagið þótt gætt sé ítrustu aðgæslu í meðferð þeirra. Sumir málmar hafa skaðleg áhrif á heilsu manna og umhverfi en á móti kemur að þá er hægt að endurnota í margar áfyllingar. Markmiðið er að komast upp í 5% þyngdarstuðul með málmum sem þó ekki krefjast herra en 100°C til að sleppa vetni. Dæmi um blöndu sem hefur góðan þyngdarstuðull er t.d. Al(BH₄)₃.

Á vormánuðum árið 2005 sendu vísindamenn við danska tækniháskólann frétt um að þeir hefðu fundið upp saltkökkla sem gætu geymt vetni í formi ammoníaks og nota mætti til að knýja vetnisfarartæki. Á svipuðum tíma sendu vísindamenn í Kóreu frá sér tilkynningu í vísindatímaritinu Nature um að vel gangi að geyma vetni í eins konar sápublandaðri vatnslausn en nánari upplýsingar voru ekki gefnar eftir fyrstu tilraunir

36 Örþræðir e. microtubules og microfibers

37 Forsvarsmenn vetnisrannsókna innan Háskóla Íslands er Hannes Jónsson, Sveinn Ólafsson, Bragi Árnason og Þorsteinn I Sigfússon

þeirra. Kolefnisduft getur einnig dregið í sig vetni við lágt hitastig. Til að auðvelda notkun þess hafa verið mótaðar kolefnispíplur og knattkol með hlutfallslega stórt yfirborð sem geta dregið að sér vetni við nánast herbergishita og fremur lágan þrýsting. Nokkrar gerðir kolefnisgrinda eru sýndar á Mynd 14. Í dag bera bílar auðveldlega 50 kg af bensíni þannig að 50 kg vetnistankur væri engin afturför, en búast má við að útbúnaðurinn sjálfur vegi meira en eldsneytið um nánustu framtíð. Útlit er fyrir að fyrsta kynslóð vetnisfarartækja notist við samþjappað vetnisgas eða vetni á vökvaformi. Enn ein geymsluaðferð hefur þó enn ekki verið nefnd eða

vetnisvinnsla um borð í farartæki

Nokkur fyrirtæki hafa reynt tækni við að vinna vetnið um borð í ökutækjum. Þetta fer þannig fram að metanóli, metangasi eða jafnvel bensíni er breytt í vetni í svokölluðum gasbæti³⁸. Þetta er lítið tæki sem getur tekið við vetnisríku vökvaeldsneyti s.s. metanóli, etanóli eða bensíni klipt af því kolefnishlutann og myndað úr því vetni sem síðan fer í efnarafala. Koltvísýringurinn sem einnig myndast sleppur út í andrúmsloftið. Örfáar bílategundir með gasbætum hafa verið reyndar, einkum fyrir metanól sem er auðvelt að dreifa með svipuðum hætti og bensíni. Hins vegar er metanól varhugavert vegna þess að það er lyktarlaust og litlaust og hættulegt heilsu manna (veldur blindu). Aðrir hafa notað gasbæta og efnarafala með bensíni og auðveldar það aðföng innan núverandi dreifingarkerfis, þó svo að tæknin krefjist hreinna bensíns en notað er nú. Ef gasbætar gætu náð fótfestu á markaðnum drægi það úr þeirri fjárfestingu sem fyrirsjáanleg er innan dreifikerfis fyrir eldsneyti, jafnvel þótt vetnisrík sambönd taki við af bensíni sem eldsneyti. Í Þýskalandi hefur tækniþróun er varða gasbæat nú verið hætt.

Vetnisafyllingarstöðvar hafa verið reistar í tilraunaskyni í Japan, Kaliforníu, Þýskalandi og nokkrum öðrum Evrópulöndum. Vetnisstöð var opnuð í Reykjavík í apríl 2003 (sjá bls 21) og á árunum 2003 – 2005 verða reyndir þrjár vetnisstrætisvagnar á götum Reykjavíkur til að kanna hvernig þessi tækni hentar við íslenskar aðstæður. Þótt flest tækniatriði hafi verið leyst er varða útbúnað við að nýta vetni, þá er ekki víst að vetni verði sjálfkrafa arftaki bensíns í umferðinni. Þegar vetni er nefnt ber jafnframt oft á góma

öryggismál

við meðhöndlun þess. Margir kannast við hvellinn sem heyrir þegar tilraun er gerð með að kveikja í vetni. Einnig getur myndin frá 1937 af Hindenburg loftfarinu í ljósum logum leitað á hugann. Slys varð einnig árið 1986 við geimskot Challenger. Ekkert þessara slysa átti þó beinlínis upptök í vetni. Líkega kveikti elding í eldfimri málningu sem notuð var til að húða belg loftfarsins. Síðan kviknaði í vetninu og það hélt loftfarinu svífandi en það sprakk ekki vegna þess að styrkur vetnisins var of hár og súrefnið komst ekki að. Nokkrir létust af bruna í dísilolíu sem notað var til að knýja loftfarið. Þó létust flestir er þeir stukku frá borði. Þeir sem hins vegar biðu þar til loftfarið náði að snerta jörð lifðu slysið af. Slysið sem varð við geimskot Challengers varð vegna leka úr eldsneytisgeymi og hefði líklega gerst þó svo að notað hefði verið annars konar eldsneyti.

38 Gasbætir e. reformer



Mynd 16 Myndin sýnir tilraun sem var framkvæmd við Háskólann í Florida. Til vinstri er vetnisbíll, til hægri er bensínbíll. Orkuinnihald beggja tanka er það sama. Hvellhettu er komið fyrir í tönkunum og eldur brýst út. Vetnið brennur hratt og loganum er beint upp á við (sjá texta um gerð vetnistanka). Vetnið klárast á 2 mínútum. Bensínið logar undir hinum bílnum og eldurinn læsir sig smám saman í aðra hluta hans. Þá verður sprengingog bíllinn stendur í logum í 20 mínútur.

Enginn vafi leikur á því að vetni getur valdið sprengingu og slysum. Blanda andrúmslofts og vetnis í flestum hlutföllum er eldfim og getur auðveldlega sprungið. Einungis þarf lítinn neista, jafnvel höggbylgju til að kveikja eldinn. Loginn breiðist leifturhratt og bruninn er ósýnilegur mannsauganu og er afar heitur. Loginn er útfjólublár og það þarf sérstök tæki nema hann. Vetni á líka auðvelt með að smjúga gegnum umbúðir, sprungur eða göt sökum þess hve sameindin er smá en er það dreifist minnkar eldhætta. Sum efni eins og málmar verða stökk af snertingu við vetni. Stál sem inniheldur snefil af kolefni er því ekki nothæft í vetnispípum til dæmis. Allt kapp lagt á varúðarráðstafanir með hliðsjón af þessum eiginleikum til þess að koma í veg fyrir óþarfa áhættu og slys. Velja þarf réttu efnið í tæki og verkfæri við vetnisnotkun, vinnslu og geymslu. Gæta þarf sérstakrar varúðar í lokuðu rými þar sem vetni hefur sloppið út og króast inni í stærra rými. Því eru settir upp næmir ljósnemar þar sem vetni er notað eða geymt, t.d. á vetnisstöðvum í kringum rafgreina og efnarafala. Þeir gefa frá sér viðvörunarhljóð ef kviknar í vetninu og nemarnir finna útfjólubláa geislun. Bannað er að reykja eða nota tæki sem neisti getur hrokkið úr rétt eins og á bensínstöðvum.

Í tönkum sem notaðir eru til að geyma vetni á farartækjum er hafður einskonar veikleiki eða örlítið þynnri blettur sem þolir þó þann þrýsting sem tankurinn er prófaður fyrir. Algenganst er að þrýstingur sé hafður um 450 loftþyngdir á tönkum sem eru prófaðir fyrir 700 bör og þeir sem eiga að halda um 700 loftþyngda þrýstingi eru prófaðir fyrir 1200 bör; eitt bar og ein loftþyngd eru nærri því jafnstór. Ef tankurinn yrði fyrir gifurlegu hnjaski er því líklegast að þessi veikleiki gefi sig og vetnið leki í þá átt sem æskilegast er, nefnilega upp á við, vetnið dreifist út í andrúmsloftið eða ef kviknar í því þá beinist loginn frá farþegarýminu. Þannig eru varúðarráðstafanir byggðar inn í búnaðinn.

Úti við er lítil hættu á sprengingu því að létt vetnið dreifist afar hratt. Þetta er andstætt við annað gas svo sem própan eða bensínufu sem sigur til jarðar og getur valdið sprengihættu eða eitrun. Í flugvéllum ætti það sama við, menn telja að (fljótandi) vetni gæti jafnvel verið heppilegra en það eldnseyti sem núna er notast við í flugi. Vetni hefur verið notað í áratugi hjá Geimferðastofnun Bandaríkjanna (NASA) og öryggisráðstafanir

hafa verið mótaðar smám saman með mjög góðum árangri. Vegna vaxandi áhuga á að nota vetni sem eldsneyti er unnið að því í mörgum löndum að móta öryggisreglur fyrir vetnisnotkun og samræma þær³⁹. Mikilvægt er til dæmis að iðnaðurinn samræmi gerð á dælustútum og tengingum milli ökutækja, vetnisdæla og geymsluhlykja.

Vetni hefur verið notað í heila öld í ýmsum iðnaði meðal annars til að herða lýsi og aðrar oliur og við gerð tilbúins áburðar. Erlendis hefur því einnig verið blandað í heimilisgas og er það nefnt borgargas⁴⁰. Almennt má álykta að vetni sé jafnhættulegt og annað eldsneyti, en hætturnar leynast í öðrum þáttum en til að mynda hjá bensíni sem við erum vön að höndla. Bensín rennur niður á götu eða í jarðveg, getur mengað vantsból, sogast inn í fatnað og hætt er við sjálfikveikju í sólarhita.

Af þessu sést að eiginleikar vetnis eru aðrir en þeir sem við eigum að venjast í gasi sem notað er í sumarbústöðum og bensíni, en öll eru þau vandmeðfarin og fylgja verður ætíð varúðarreglum sem gilda um hvert og eitt.

Oft er spurt hvað gerist ef bílar lenda í árekstri þegar annar ber bensín en hinn vetni í þrýstihylkjum. Best er að fylgjast með atburðarrásinni á kvikmynd. Sýnt hefur verið að bensínbílnum er hættara við íkveikju því að vélarhlutar hans eru svo heitir og getur eldurinn breiðst út frá vélinni í farþegarými og eldsneytistank. Vegna þess hve mikið er lagt í öryggisútbúnað vetnisbilsins er ólíklegt að hann springi, en rifa getur komið á tankana ef áreksturinn er mjög harður og út úr sprungunum þrýstist þá vetni. Mesta hættan skapast ef vetnið lokast inni t.d. í aðþrengdu rými efst í jarðgöngum sem síðan halda niður á við. Ef hins vegar vetnið kemst óhindrað í burtu eru mestar líkur á því að það dreifist afar hratt og því dregur úr hættu á íkveikju, en vissulega er hún fyrir hendi. Hins ber að geta að gerðar eru strangari kröfur um styrk vetnistankana hafa þeir því komið vel út í prófunum.

39 Öryggiseftirlit í Bandaríkjunum birtir niðurstöður sínar jafnóðum á vefsíðunni: www.hydrogensafety.info

40 Borgargas e. City gas

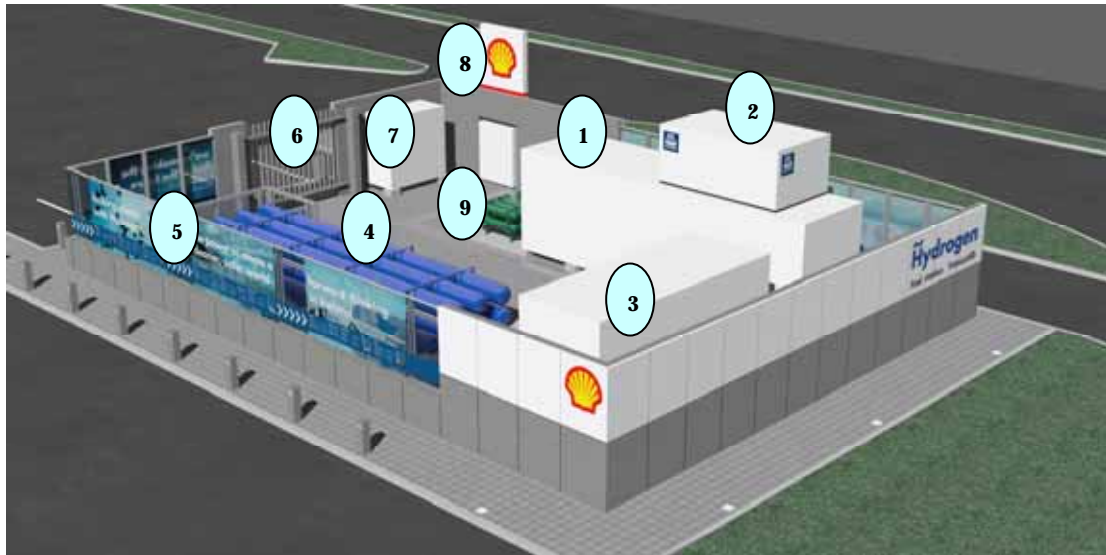


Mynd 2 Disildrífningar vélar eru sparneytnari en jafnaflmiklar bensínvélar. Hins vegar kemur meira af bæði nitroxíðum og brennisteinsoxíði frá dísilbílum ef ekki krafist sérstakrar hreinsunar á eldnseytinu. Sót og svifrik Reykjavíkurborgar eru þó fremur afleiðing af mikilli notkun nagladekkja sem rífa upp tjöru og steinefni sem notuð eru í malbikun.

Því hefur verið haldið fram að vetni sem sleppur út í andrúmsloftið geti haft áhrif á ósonlag jarðarinnar og þar með nefnd enn ein ástæða til að fara að öllu með gát eins og með svo mörg önnur efni sem sýslað er með í iðnaði og daglegu lífi. Þó bera að hafa í huga að á meðan bensín og olía er hreinsað í olíuhreinsistöðvum þá sleppur mikið út af vetni eins og sakir standa. Búast má við að frekar muni draga úr vetnislosun í lofthjúpinum af mannavöldum ef öll meðhöndlun vetnis í iðnaði og á vetnisstöðvum verður háð sömu ströngu skilyrðin og sett hafa verið fram til þessa. Ef vetnið er selt eins og eldsneyti er ekki ólíklegt að reynt verði að koma því í notkun í stað þess að lofta það út um útblásturspípur.

Vetni á Íslandi

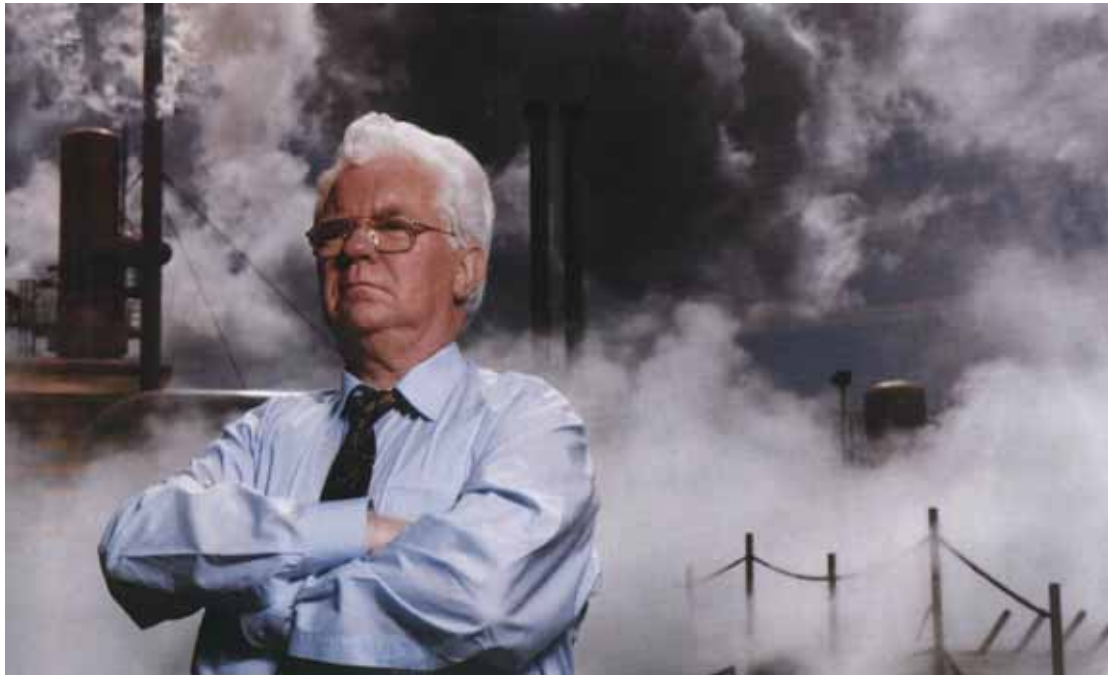
Í apríl árið 2003 var opnuð fyrsta vetnisvinnslu- og áfyllingarstöð á Íslandi við Grjótháls í Reykjavík. Líkan af stöðinni sést á mynd 17.



Mynd 17 Vetnisstöð Skeljungs og Íslenskrar NýOrku að Grjóthálsi býr til eldsneyti fyrir ökutæki. Í eftirfarandi töflu er hlutum hennar lýst.

1. Rafgreinir. Í kleanum er vatn kolfið og þá myndast súrefni og vetni
2. Kæliturn. Þarna sleppur út hiti og súrefni frá rafgreiningunni.
3. Þrýstipjappa. Vetninu er þrýst saman áður en það fer í geymsluhylkin.
4. Þrýstingshylki. Þau geyma vetnisbirgðir undir 450 bara þrýstingi.
5. Skýringar. Á veggjum stöðvarinnar eru skýringar-myndir og texti á íslensku og ensku um það hvernig rafgreining fer fram, efnarafali vinnur og hvaða umhverfisáhrifum má búast við.
6. Hlið. Allir hlutar töðvarinnar sjást í gegnum rimlahlið. Hliðið er þó ætíð læst af öryggisástæðum.
7. Slökkvibúnaður. Þar sem vetni er höndlað er gert ráð fyrir slökkvi- og augn-skolunarbúnaði.
8. Eldsneytidæla. Ökutæki leggja við þessa hlið stöðvarinnar þegar áfylling á sér stað. Dælan er búin þéttum klemmum og gjaldmæli.
9. Grænu hylkin geyma nitur köfnunarefni undir þrýstingi. Það er notað til þess að blása vetni úr kerfinu ef nauðsyn ber til að rjúfa vetnis-vinnsluna. Hlutverk nitursins er að vera eins konar skolunarefni til að hreinsa burtu allt afgangsvetni úr kerfinu. Gestum er velkomið að líta inn um hliðið en vegna varrúðarráðstafana er ekki ætlast til að fólk fari inn á milli stöðvarhlutanna.

Við könnun sem gerð var í desember árið 2003 kom í ljós að Íslendingar hafa almennt jákvætt viðhorf til vetnis. Vera kann að ein ástæða þess sé sú að rætt hefur verið um þann möguleika að vinna og nýta vetni á Íslandi allt frá því í olíukreppunni upp úr 1970. Bragi Árnason, prófessor í efnafræði við Háskóla Íslands ritaði greinar í dagblöð og tímarit um málið á 8. 9. og 10. áratug liðinnar aldar. Einnig hefur hann verið óþreytandi við að fræða nemendur sína um vetni undanfarna áratugi. Því eru mörgum Íslendingum ekki með öllu ókunnugar hugmyndir um vetnisvinnslu og notkun þess hér á landi.



Mynd 18 Einn af frumkvöðlum vetnisumræðu og rannsókna á Íslandi, prófessor Bragi Árnason. Myndin er notuð með góðfúslegu leyfi Ara Magg, ljósmyndara.

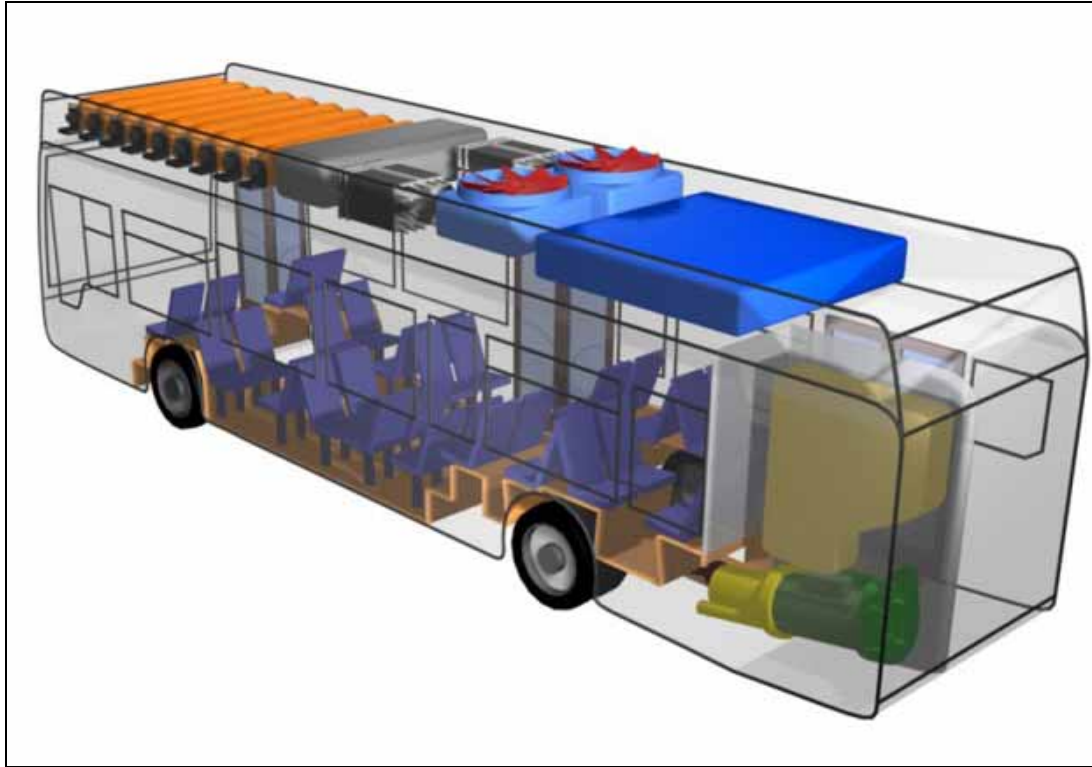
Fyrsta alþjóðlega vetnisnámskeiðið á Íslandi var haldið fyrir doktorsefni í Reykjavík vorið 2003. Þar komu saman helstu sérfræðingar um vetnisframleiðslu og dreifingu og var námskeiðið vel sótt. Með þessu námskeiði skipaði Háskóli Íslands sér í sæti þeirra sem leiða umræðu um notkun vetnis og endurnýjanlegra orkugjafa.

Tilraunir með vetni á Íslandi

Fyrsta raunverulega skrefið til að reyna vetnistækni við íslenskar aðstæður var tekið með því að hleypa af stokkunum reynsluverkefni sem styrkt var af Evrópusambandinu og kallaðist ECTOS (Ecological City TranspOrt System) eða vistvænar borgarsamgöngur. Um leið og fylgst var með frammistöðu tæknibúnaðar, aksturseiginleikum og bilanatiðni vagnanna var jafnframt fylgst náið með vetnisstöðinni. Einnig fóru fram ýmsar mælingar og rannsóknir í tengslum við tilraunina. Kannaðar voru viðtökur farþega, hávaði og loftmengun frá vetnisvögnunum mæld og borin saman við mengun frá hefðbundnum almenningssamgöngutækjum.

Strætisvagnar sem aka innan almenningssamgöngukerfisins eru útbúnir þannig að efnarafalanum er komið fyrir á sérstyrktri þakgrind vagnsins ásamt þeim tölvustýribúnaði

og þrýstjöfnurum sem til þarf. Vetnishylkin eru höfð aftast á þakgrindinni og rúma þau eldsneyti til aksturs um 200-250 km. Vetnið er haft undir 315 bara þrýstingi á þaki vagnanna og vegur um 6kg, þótt hylkin í heild vegi miklu meira. Búnaðnum er komið fyrir á þennan hátt með hliðsjón af eðli vetnisins, - ef leki skyldi koma að því þá leitar það upp á við. Efnarafalinn vinnur síðan rafmagn úr vetninu og rafmagnið er notað í rafhreyfil aftast í vagninum. Tónninn í vélinni er talsvert frábreyttur þeim vélarhljóðum sem fylgja brennsluhólfvélum.



Mynd 19 Búnaði vetnisstrætisvagna er komið fyrir á þakgrind

Vagnarnir sem eru í borgarumferðinni eru frá EvoBus, og er almenn gerð þeirra sýnd á mynd 19. Þrjátíu og þrír vetnisvagnar lögðu skömmu síðar af stað í tilraunaakstur í almennri borgarumferð víðs vegar í Evrópu, Ástralíu og í Peking í Kína árið 2003. Þrír þeirra voru á götum Reykjavíkur í leiðakerfi Strætó.

Tæknibúnaði vagnsins, er komið fyrir á þakgrind. Á teikningunni eru vetnishylkin sýnd sem appelsínugulir sívalningar. Aftan við þau er þrýstijöfnunarbúnaður (grár kassi). Fyrir miðju eru tveir efnarafalar (gráir og svartir). Vifturnar (rauðar) eru til að kæla búnaðinn en aftan við þær er blár kassi sem inniheldur tölvustýribúnað, loftræstingu fyrir vagninn og ýmsar leiðslur og tengingar. Rafmagnið frá rafölunum knýr rafhreyfil (grænn aftast í vagninum) sem aftur snýr drifskafinu (gult). Það má búast við annars konar hljóðum frá þessum vögnum en þeim dísildrifnu og útblásturinn verður einungis vatnsgufa.

Allar skýrslur frá ECTOS eru fáanlegar á neti Íslenskrar NýOrku frá og með 2006.

Á Íslandi þykja aðstæður sérlega ákjósanlegar til að nýta vetni sem orkubera í samgöngum. Hér er mikið af endurnýjanlegri orku, til dæmis jarðvarmi og fallvötn, vindur og sjávarföll. Einnig höfum við nægt ferskt vatn. Vetni sem hér væri framleitt með rafgreiningu yrði þannig gert með endurnýjanlegri orku og yrði aftur að vatni eftir notkun í efnarafólum. Vetnið yrði þar með endurnýjanlegt!

Áætlað hefur verið að raforka sem unnin verður í Kárahnjúkavirkjun myndi nægja til að drífa allan bíla- og fiskiskipaflota Íslendinga árið 2030⁴¹ ef efnarafalar væru nýttir í stað sprengihólsvæla. Þar með yrðu Íslendingar jafnframt sjálfir sér nægir um orku og allar greinar þjóðfélagsins væru reknar á innlendum orkugjöfum nema flug og kaupskipaflotinn. Þetta er snotur framtíðarsýn en hversu raunhæf hún er, hve langan tíma slíkt myndi taka eða hve mikinn kostnað hún hefði í för með sér skal hér ósagt látið. Eitt er þó víst, ef viljinn er fyrir hendi og hugmyndinni yrði hrint í framkvæmd með samstilltu afli þjóðarinnar þá mun ekki skorta tæknilegar lausnir á þeim hindrunum sem verða á vegi okkar.

Heimildir:

UNDP, World energy assessment – skýrslan er á heimasíðunni: www.undp.org

Tilskipun EB no 2030 árið 2003

International Energy Agency, Hydrogen implementation agreement. Heimasíða þeirra er: www.ieahia.org

Orkuveita Reykjavíkur; www.or.is

Varmaraf www.varmaraf.is

Háskóli Íslands www.hi.is

Vetnisöryggiseftirlit Bandaríkjanna: www.hydrogensafety.info

Orkustofnunar, Orkuspá 2001 www.os.is

Íslenskar orkurannsóknir www.isor.is

41 Þetta ár er notað til viðmiðunar, enda eru útreikningarnir í samræmi við framtíðarspá Orkustofnunar um þörf fyrir eldsneyti. Rit Orkustofnunar, Orkuspá 2001