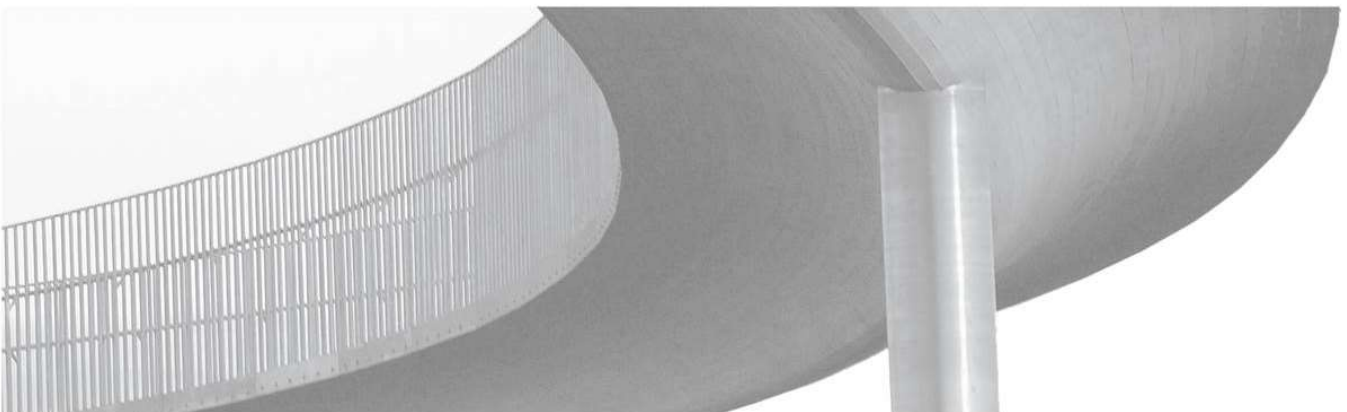




GRÆNAR RAFORKULAUSNIR FYRIR VITA BYGGÐAR Á EFNARAFÖLUM

Rannsóknarverkefni styrkt af Vegagerðinni

05.01.2022



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-392-SKY-001-V02

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01/42

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Greipur Gísli Sigurðsson

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Jón Heiðar Ríkharðsson

LYKILORÐ

Efnarafalar, vetni, vindmyllur, sólarorka, rafgeymar, varaafli, vitar

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
 Drög til yfirlstrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Grænar raforkulausnir fyrir vita byggðar á efnarafölum

VERKHEITI

Grænar raforkulausnir fyrir vita byggðar á efnarafölum

VERKKAUPI

Vegagerðin, Rannsóknasjóður

HÖFUNDUR

Atli Már Ágústsson, Helena Sveinborg Jónsdóttir, Jón Heiðar Ríkharðsson

ÚTDRÁTTUR

Vegagerðin rekur 104 vita víðsvegar um landið. Þar af eru tæpur helmingur eða 48 vitar á eyjum, skerjum eða þar sem ekki fært af landi. Af þessum 48 vitum eru 44 knúnir sólarsellum og rafgeymum, 3 sólarsellum, rafgeymum og vindmyllu og einn einungis rafhlöðum.

Vitar tengdir veitu eru 55, þar af 14 með ljósavélar sem varaafli og 41 með rafgeyma sem varaafli. Einn viti er knúinn sólarorku í stað aðgangs að veitu.

Markmið verkefnisins var að greina möguleika á umhverfisvænni orku- og varafslausnum fyrir vitanna með hagkvæmni og rekstraröryggi að leiðarljósi. Fýsileiki efnarafalslausna (e. *fuel cells*) með vetni sem orkubera var sérstaklega til skoðunar en einnig vindmyllur í ríkari mæli en nú er.

Hluti af verkefninu var að afla upplýsinga um framleiðendur á efnarafölum sem hentuðu sem varaafli og fengust upplýsingar um slíkar lausnir frá 8 framleiðendum.

Helstu niðurstöður eru eftirfarandi:

Fyrir þá vita sem eru tengdir veitu og eru með meiri búnað en einungis peru er fýsilegt að skipta út ljósavélum og rafgeymum fyrir efnarafala.

Fyrir sólarvita sem eru ótengdir veitu og einungis með peru og þar með lágmarksorkunotkun er fýsilegast að nýta vindmyllu í stað sólarsella og lágmarka þar með þörf fyrir rafgeyma.

Þar sem vitar eru staðsettir orkulega úr leið en þó tengdir veitu felst einna mest hagræði sjálfbærra orkulausna í því að aftengja slíka vita frá veitunni. Þar sem orkuþörf slíkra vita er meiri en einungis pera getur orkuþörf slíkra vita verið leyst með blönduðum orkulausnum sem byggir á vindmyllu og sólarsellu með efnarafal sem varaafli.

Næstu skref myndu vera að útfæra tilraunaverkefni fyrir þessi mismunandi tilvik og þróa framtíðarsýn umhverfisvænni og hagkvæmari orkulausna fyrir vita landsins.

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Atli Már Ágústsson, Helena Sveinborg Jónsdóttir, Jón Heiðar Ríkharðsson Ágrip v.ráðstefnu	10.10.21	Hávarður Finnbogason	15.10.21	Jón Heiðar Ríkharðsson	27.10.21
02	Atli Már Ágústsson, Helena Sveinborg Jónsdóttir, Jón Heiðar Ríkharðsson Rannsóknarskýrsla	29.12.21	Reynir Snorrason	04.01.22	Jón Heiðar Ríkharðsson	05.01.22

SAMANTEKT

EFLA verkfræðistofa fékk styrk á árinu 2021 frá Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar til að kortleggja möguleika á rafeldsneytislausnum fyrir vita landsins sem byggja m.a. á notkun efnarafala.

Verkefnið fólst í því að greina núverandi lausnir, hvað er gott og hvað má betur fara. Í verkefninu var vitum landsins skipt niður í flokka eftir núverandi orkulausnum og aðstæðum. Síðan voru mismunandi orkulausnir kortlagðar og fýsileiki þeirra greindur.

Vitar Vegagerðarinnar eru starfræktir um allt land og margir eru staðsettir á litlum skerjum eða eyjum langt frá byggð og raforkudreifingu. Allt frá upphafi reksturs vita hér á landi hefur þurft að útvega einhverja orku til að vitar geti sent frá sér ljósgeisla. Til að knýja vitana hafa flestir þeirra verið tengdir rafveitum og annars staðar hafa verið reistar smávatnsaflsvirkjanir, vindmyllur eða sólarcellur. Varaaflið er ýmist dísilvél eða rafgeymar.

Tafla 4 sýnir að 14 vitar eru með ljósavél og er nærtækast að horfa til þessara vita til að skipta út dísilknúnum ljósavélum fyrir grænar orkulausnir. Einnig er áhugaverð niðurstaða að samtals 25 vitar eru tengdir veitu en orkulega úr leið og oft frekar afskekktir. Önnur niðurstaða þessarar greiningar er að orkunotkun margra vita sem tengdir eru við rafveitu er mjög lítil. Það gæti því verið tækifæri til hagræðingar að aftengja hluta þessara vita frá veitukerfinu og knýja þá með staðbundnum grænum orkulausnum í staðinn. Tafla 2 sýnir síðan hámarksorkunotkun vitanna á dag eftir því hvaða búnaður er í vitunum. Þessar stæðir gefa þar með hönnunarforsendur varðandi varaafslausnir sem byggja á efnarafölum. Mesta orkuþörfin er þar sem fjarskiptabúnaður og veðurstöð eru til staðar og þar er ljósavél notuð í öllum tilvikum.

Hefðbundinn rekstur á aflmiklum ljósvitum keyrir 1.000W vararafmagn fyrir vitann þegar aflstrengur slær út. Nokkrar uppsetningar á vistvænni lausn koma til greina en sú sjálfbærasta inniheldur sólarcellur, rafgreini og efnarafal. Þá er hægt að nýta sólarcellurnar þegar næg sól er til staðar og umfram rafmagn er þá nýtt í rafgreiningu til að framleiða vetni. Vetnið er svo nýtt í efnarafalinn þegar sólarljós nægir ekki. Til eru staðlaðar samsettar lausnir sem innihalda alla þessa ferla. Mjög fýsilegt ef aðgangur að vatni er tryggður sem grunnhráefni þessarar orkulausnar en það er oft vandkvæðum bundið þar sem vitarnir eru staðsettir.

Í verkefninu var leitað fanga víða og haft samband við fjölda framleiðanda búnaðar. Margir framleiðaða staðlaðar efnarafalalausnir sem eru af stærðinni 500 - 1.000 W og nota ýmist vetni, ammóníak eða metanól sem eldsneyti. Hvaða eldsneytislausn er notuð mun síðan ráðast af framboði þess en einnig aðstæðum á hverjum stað. Helstu vandkvæðin voru að misjafnt var hve mikið frost lausnirnar þola.

Horft var til þriggja grunntilvika þar sem slíkar lausnir gætu leyst núverandi orkulausnir af hólmi.

1. Efnarafalalausn leysir rafgeyma af hólmi sem varaafli

Yfirleitt frekar lítill orkunotkun en getur þó verið veruleg yfir háveturinn. Vetnisgeymar ódýrari en rafgeymar. Getur verið fýsilegt þar sem afltóppur að vetri er hár og fjöldi rafgeyma þar með mikill.

2. Efnarafalalausn leysir ljósavél af hólmi sem varaafli

Efnarafalalausnin er að jafnaði fýsilegust við þessar aðstæður. Stofnkostnaður svipaður og heldur lægri rekstrarkostnaður við efnarafalalausnina. Í þessum 14 vitum sparast að meðaltali 860 lítrar af dísilolíu á ári sem gera 2.280 kg af CO₂ á ári. Auk þess er mengunarhætta af því að flytja olíu á staði sem eru oft á tíðum í ósnortinni náttúru.

3. Sólarvitar – eyjar og sker

Um er að ræða þá vita sem eru á eyjum og skerjum eða á landi en ekki í vegasambandi og hafa lágmarks orkuþörf. Ein pera eða LED. Hér er nærtækast að nýta vindmyllur (t.d. frá Icewind) sem sjálfbæran orkugjafa í stað sólarorku í flestum tilvikum. Þá má fækka rafgeymum verulega sem dregur úr heildarkostnaði. Vindmyllurnar eru á lóðréttum ási og eru hannaðar til að standast íslenska veðráttu. Ef rekstraröryggi þessara nýju vindmylla stenst væntingar mætti e.t.v. fækka heimsóknum í vitana.

4. Viti orkulega úr leið en í vegasambandi aftengdur veitu

Hér er um að ræða þær lausnir sem hafa líklega í för með sér mesta hagræðið í tengslum við heildarorkukerfi landsvitanna. Í grunninn sama lausn og fyrir sólarvitana en hér er orkuþörf og afltoppur hærri. Því þörf á samsettri orkulausn með vindmyllu, sólarsellu og efnarafali ásamt rafgeymum. Gæti átt við 25 vita en þyrfti frekari rannsóknar við til að meta fýsileka þessara lausna betur. Hér er gerð tillaga um að það verði gert með sérstöku „pilot“ verkefni sem yrði þá framhaldi af þessari kortlagningu.

Eins og áður sagði var víða leitað fanga við upplýsingaöflun fyrir þetta verkefni. Mikil þekking hefur þar með byggst upp á þessum geira og viðskiptasambönd komist á sem munu bæði nýtast við frekari verkefni tengd vitum landsins en ekki síður í annarri starfsemi þar sem fýsilegt er að skipta út varafli sem byggir á ljósavélum eða dýrum rafgeymalausnum. Á t.d. við um fjarskiptabúnað á afskekktum stöðum, jarðgöng og aðra viðkvæma starfsemi.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	5
1 INNGANGUR	10
2 VERKEFNIÐ – GRÆNAR LAUSNIR	11
2.1 Bakgrunnur	11
2.2 Umfang	12
2.3 Tækni – efnarafalar	12
2.4 Tækni – rafgreinar	13
3 LANDSVITAKERFIÐ - KORTLAGNING	14
3.1 Núverandi tæknilausnir	14
3.1.1 Sólarorka og rafgeymar	14
3.1.2 Sólarorka, vindorka og rafgeymar	14
3.1.3 Veita og ljósavél	14
3.1.4 Veita og rafgeymar	15
3.1.5 Rafhlöður	15
3.2 Orkunotkun	15
3.3 Greining – núverandi lausnir	19
4 KORTLAGNING Á SJÁLFBÆRUM TÆKNILAUSNUM	21
4.1 Mögulegar lausnir – varaafli	21
4.1.1 Veita og efnarafall	21
4.1.2 Veita og rafgeymar	22
4.2 Mögulegar lausnir – ótengt veitu „offgrid“	22
4.2.1 Sólarorka og rafgeymir	22
4.2.2 Vindorka og rafgeymir	22
4.2.3 Efnarafall	23
4.2.4 Efnarafall og sólarsella	23
4.2.5 Efnarafall, vindorka / sólarsella, rafgreinir og rafgeymir	23
4.3 Helstu framleiðendur og lausnir þeirra	24
4.3.1 PowerCell	24
4.3.2 Horizon	25
4.3.3 Intelligent Energy	25
4.3.4 Ballard	25
4.3.5 Gencell	26
4.3.6 Plug Power	26
4.3.7 SFC Energy	27
4.3.8 H2planet	28
4.4 Annar nauðsynlegur búnaður	28
4.4.1 Sólarsellur	28
4.4.2 Rafgeymar	29
4.4.3 Rafgreinar	29
4.4.4 Vindmyllur	29
4.4.5 Vetnistankar og vetni	29

4.5	Umræða um tæknilausnir	30
4.5.1	Almenn umræða	30
4.5.2	Tæknilausnir	31
5	REKSTRARÖRYGGI	33
6	UMHVERFI OG ÖRYGGISMÁL	34
7	STOFN – OG REKSTRARKOSTNAÐUR	35
7.1	Núverandi lausnir	35
7.2	Nýjar orkulausnir	36
7.3	Samanburður	37
7.3.1	Vetni í stað rafgeyma – almennar forsendur	37
7.3.2	Efnarafalar – varafl í stað dísilvéla fyrir vita tengdir veitu	37
7.3.3	Sólarvitar – eyjar og sker	37
7.3.4	Viti orkulega úr leið en í vegasambandi aftengdur veitu	38
8	NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA	39
9	HEIMILDASKRÁ	41

MYNDASKRÁ

MYND 1	Efnarafall _____	12
MYND 2:	Rafgreining vatns _____	13
MYND 3	Meðaltal áætlaðrar ársnotkunar raforku árin 2013-2021. _____	16
MYND 4	Áætluð ársnotkun í vitum sem eru með fjarskiptabúnað _____	17
MYND 5	Áætluð ársnotkun í vitum sem eru með veðurstöð _____	17
MYND 6	Áætluð ársnotkun í vitum sem eru einungis með peru _____	17
MYND 7	Áætluð ársnotkun í þeim vitum sem nýta ljósavél sem varaafll. _____	18
MYND 8	Áætluð ársnotkun þar sem veita er nýtt án ljósavélar. _____	18
MYND 9	Áætluð ársnotkun þar sem til skoðunar er að leggja veitu af. _____	19
MYND 10	Efnarafall _____	21
MYND 11	Sólarsella og rafgeymir sem varaafll _____	22
MYND 12	Vindorka og rafgeymir _____	23
MYND 13	Efnarafall og sólarsella _____	23
MYND 14	Efnarafall, sólarsella/vindorka, rafgreinir og rafgeymir _____	24
MYND 15	Power Generation System 5 frá PowerCell [7] _____	24
MYND 16	H-1000 PEM Fuel Cell 1000W frá Horizon [3] _____	25
MYND 17	IE-LIFT 1,2kW týpan frá Intelligent Energy [8] _____	25
MYND 18:	FCgen - H2PM 5,0kW lausnin frá Ballard [5] _____	26
MYND 19:	GenCell G5.5ox [2] _____	26
MYND 20	GENSURE E-1100 Fuel Cell frá Plug Power [4] _____	27
MYND 21:	Direct Methanol Fuel Cell EFOY Pro 12000 [9] _____	27
MYND 22	EFOY Hydrogen Fuel Cell 2,5 [9] _____	27
MYND 23	EFOY H2Cabinet Outdoor [9] _____	28
MYND 24:	HYinONE UPS frá H2planet [13] _____	28
MYND 25:	RW500 vindmylla frá Icelwind _____	29

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1	Hámarks aflþörf vitanna m.t.t. fjölda vita _____	15
TAFLA 2	Áætluð hámarks orkunotkun á dag í vitunum, út frá búnaði _____	16
TAFLA 3	Áætluð hámarks orkunotkun á dag í vitunum, út frá núverandi búnaði _____	19
TAFLA 4	Fjöldi vita og staðsetning _____	19
TAFLA 5	Fjöldi vita eftir búnaði _____	20
TAFLA 6	Verð vetnistanka frá Linde-gas _____	30
TAFLA 7	Kostnaður núverandi lausna, kr á ári _____	35
TAFLA 8	Kostnaður nokkurra mismunandi útfærsla á nýjum lausnum _____	36

1 INNGANGUR

Leitast er við að finna umhverfisvæna lausn til að framleiða rafmagn og/eða tryggja varaafli fyrir vita á stöðum þar sem erfitt er að tengjast inn á núverandi rafdreifikerfi orkuveitna. Í dag eru til dæmis notaðir hátt í 1.000 rafgeymar vítt og breitt um landið/eyjar/sker þar sem vitar eru notaðir til að leiðbeina sjómönnum og sjófarendum.

Vegagerðin starfrækir 104 vita um allt land sem margir eru staðsettir á litlum skerjum eða eyjum langt frá byggð og raforkudreifingu. Allt frá upphafi reksturs vita hér á landi hefur þurft að útvega einhverja orku til að vitar geti sent frá sér ljósgeisla. Til að knýja vitana hafa sumir þeirra verið tengdir við rafveitur og annars staðar hafa verið reistar litlar vatnsaflsvirkjanir, vindmyllur eða sólarsellur. Varaaflið er ýmist dísilvél eða rafgeymar.

Markmið verkefnisins er að bæta árangur Vegagerðarinnar í loftlagsmálum og miðla fjölbreyttum möguleikum rafvæðingu vita á þeim stöðum sem Vegagerðin er með búnað sem reiðir sig á rafhlöður sem orkugjafa eða sem varaafli. Enn fremur að Vegagerðin geti sýnt fram á að með sínu framlagi þá er fyrirtækið að leggja sitt af mörkum varðandi metnaðarfullar aðgerðir í loftlagsmálum sem eru í samræmi við markmið stjórnvalda.

Hefðbundinn rekstur á aflmiklum ljósvitum keyrir 1.000 W vararafmagn fyrir vitann þegar aflstrengur slær út. Nokkrar uppsetningar á vistvænni lausn koma til greina og má þar helst nefna efnarafal með sólarsellum. Þá er hægt að nýta sólarsellurnar þegar næg sól er til staðar og efnarafalinn þess á milli.

Ísland er eyja og sjávarútvegur undirstöðuatvinnugrein þjóðarinnar. Því er mikilvægt að öll aðstaða til siglinga við landið og þjónusta við skip sem koma að landinu þróist m.a. með prófunum á nýrri tegund aflgjafa fyrir leiðbeiningamerki fyrir öryggi siglinga.

Yfir tímabil verkefnisins var landsvitakerfið kortlagt og greint. Þá voru nokkrar tæknilausnir skoðaðar ásamt útfærslum nokkurra framleiðanda og dæmi um nýja möguleika sett fram. Því næst var rekstraröryggi slíkra lausna skoðað og umhverfis- og öryggismál einnig. Að lokum var kostnaður bæði núverandi lausna og mögulegra framtíðarlausna skoðaður og borinn saman.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

2 VERKEFNIÐ – GRÆNAR LAUSNIR

2.1 Bakgrunnur

Nú þegar rík áhersla er lögð á heimsmarkmið Sameinuðu þjóðanna eru fyrirtæki og stofnanir í meira mæli farin að horfa til samfélagsverkefna, s.s. umhverfismála og vistvænna lausna.

Tækifæri er fyrir Vegagerðina að auka þátt sinn í slíkum lausnum með því að þróa vistvænni orkulausnir fyrir vita landsins. Þá sérstaklega varaafslausnir.

Eitt af verkefnum Vegagerðarinnar í átt til grænni framtíðar er að þróa vistvænni orkulausnir fyrir vita landsins og þá sérstaklega varaafslausnir tengdar rekstri vitanna.

Þessar lausnir hafa einnig í auknum mæli komið til skoðunar í þeim verkefnum sem EFLA hefur komið að, þar sem varaafslausnir eru hluti af verkefninu. Auk þess má nefna að Neyðarlínan hefur hafið tilraunaverkefni í samvinnu við ísraelska fyrirtækið GenCell um notkun efnarafala knúna ammóníaki til lausna fyrir varaafli [1].

Erlendis hefur verið hröð þróun í þessum lausnum síðustu árin. Áðurnefnt GenCell [2] hefur e.t.v. lengstu sögu á sviði varaafli og „offgrid“ lausna byggðu á vetni enda tóku margir stjórnendur og lykilstarfsmenn þess fyrirtækis þátt í að þróa vetnisorkulausnir í Apollo geimferðaáætluninni á sínum tíma.

Mörg önnur fyrirtæki hafa sérhæft sig á þessu sviði eða eru með öflugar deildir sem sinna „offgrid“ orkulausnum. Má þar til dæmis nefna Horizon í Singapur [3] sem hefur þróað margvíslegar lausnir, m.a. fyrir flugvélar. Plug Power í Albany NY [4] sem hefur sérhæft sig í vetnislausnum fyrir lyftara en hafa nú m.a. þróað lausnir fyrir dróna. Ballard í Vancouver í Kanada [5] býður einnig breiðar lausnir á þessu sviði. Bloom energy [6] í Kaliforníu hefur sérhæft sig í orkulausnum á stórum skala sem varaafli eða „minigrids“ í straumleysi frá stóru raforkukerfunum. PowerCell í Svíþjóð [7] er einnig öflugt á þessu sviði með lausnir frá 5kW. Intelligent Energy [8] í Bretlandi framleiðir m.a. lausnir fyrir bifreiðar, flugvélar og dróna. SFC Energy [9] býður upp á efnarafala annars vegar fyrir vetni og hins vegar fyrir metan og hafa selt yfir 50.000 eintök af efnarafölum sínum um allan heim.

Einnig hefur verið horft til sjálfstæðra orkulausna þar sem orkan er framleidd á staðnum með sól eða vindi. Sænska fyrirtækið Nilson Energy [10] hefur þróað staðlaðar gámalausnir í þessum tilgangi.

Það er því mikil þekking til á þessum lausnum og þróunin er hröð. Þetta verkefni snýst um að yfirfæra tæknina og meta fýsileika þess að nýta þær við rekstur vita við Íslandsstrendur.

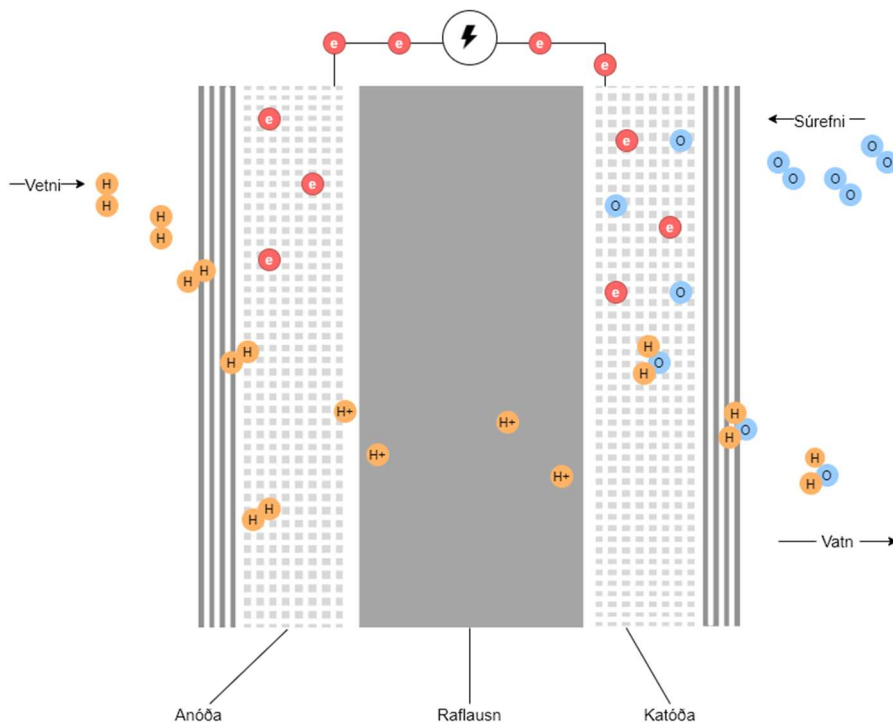
2.2 Umfang

Hér er um nokkuð viðamikilið verkefni að ræða þar sem Landsvitakerfið samanstendur af 104 ljósvitum, 11 siglingaduflum og 16 radarsvörum. Landsvitakerfið er í eigu ríkisins og rekstur þess á ábyrgð Vegagerðarinnar.

Hafnarvitakerfið er einnig umfangsmikið og er í eigu og umsjá sveitarfélaganna. Í því eru 20 ljósvitar, 90 innsiglingarljós, 80 leiðarljósálínur og 50 baujur. Það kerfi mun einnig njóta góðs af niðurstöðum þessa verkefnis.

2.3 Tækni – efnarafalar

Þegar vetni er notað til rafmagnsframleiðslu myndast engin skaðleg efni, einungis varmi og vatn. Efnarafall (*e. Fuel cell*) er notaður til að breyta efnaorku yfir í rafmagn með tveimur afoxunarhvörfum. Efnarafallinn er samsettur úr anóðu, katóðu og raflausn sem leyfir jónum að ferðast á milli hliða rafalsins. Í anóðunni hvarfast vetnið og myndar jónir og rafeindir. Jónirnar ferðast svo í gegnum raflausnina og yfir í katóðuna. Rafeindirnar fara hins vegar í gegnum vír og úr verður rafstraumur. Í katóðunni verður annað hvarf þar sem jónir, rafeindir og súrefni hvarfast og mynda vatn [11]. Mynd 1 sýnir skýringarmynd af efnarafali.

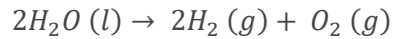


MYND 1 Efnarafall

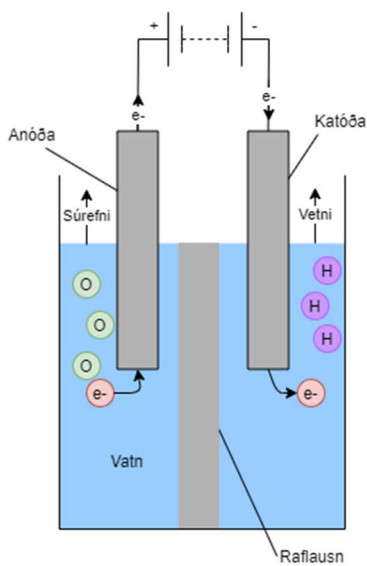
Einn efnarafall býr til takmarkaða spennu svo þeim er oft raðað saman til að ná fram þeirri spennu sem þarf [11].

2.4 Tækni – rafgreinar

Rafgreinar eru notaðir til að framleiða vetni. Þá er rafmagn nýtt til að hvarfa vatn í vetni og súrefni í ferli sem kallast rafgreining. Líkt og efnarafallinn þá er rafgreinirinn samsettur úr katóðu, anóðu og raflausn. Rafstraumi er hleypt frá straumgjafa gegnum vatnið og sameindir vatnsins klovna skv. eftirfarandi efnahvarfi [12]:



Mynd 2 sýnir skýringarmynd af rafgreiningu vatns.



MYND 2: Rafgreining vatns

3 LANDSVITAKERFIÐ - KORTLAGNING

3.1 Núverandi tæknilausnir

Í landsvitakerfinu í dag eru ýmsar lausnir notaðar. Ljósavél, sólarorka, rafgeymar, vindorka og bein tenging við veitu eða einhver blanda af fyrrnefndu er meðal þess sem nýtt er í dag. Hér að neðan er nánari útlistun á núverandi lausnum landsvitakerfisins.

3.1.1 Sólarorka og rafgeymar

Á ýmsum stöðum er sólarorka nýtt ásamt rafgeymum. Yfir bjartari mánuði ársins hlaða sólarsellurnar umfram rafmagni inn á rafgeyma sem eru svo nýttir þegar ekki næg sól er til staðar. Rafgeymarnir eru ýmist lút- eða sýrugeymar og eru frá 2 til 24 talsins á hverjum stað. Þessi lausn er nýtt þar sem aðgengi er erfitt og vitinn er orkulega úr leið.

3.1.2 Sólarorka, vindorka og rafgeymar

Meðal lausna sem nýttar eru í dag er samsetning sólar-, vindorku og rafgeyma. Sólarsella er þá nýtt þegar næg birta er til staðar og vindmylla þegar vindhraði er nægur. Öllu umfram rafmagni er svo hlaðið inn á rafgeyma sem eru nýttir þegar hvorki næg sólar- né vindorka er til staðar.

3.1.3 Veita og ljósavél

Þar sem aflþörf er einna mest er tenging við veitu nýtt með ljósavél sem varaafli. Dísilólía er þá notuð sem eldsneytisgjafi. Þá eru startgeymar til staðar og þeir eru annað hvort einn eða tveir. Í þessum vitum slær veitan að meðaltali út þrisvar sinnum á ári og varaaflið þarf að duga í þrjá sólarhringa í hvert skipti.

3.1.4 Veita og rafgeymar

Tenging við veitu er einnig nýtt með rafgeymum sem varaafli. Þá eru tveir rafgeymar á staðnum og það eru yfirleitt sýrugeymar. Þeir eru þá hlaðnir af veitunni og eru alltaf fullhlaðnir. Nokkrir þessara vita eru orkulega úr leið og þar er möguleiki á að koma upp nýrri lausn þannig hægt sé að aftengja veituna.

3.1.5 Rafhlöður

Í Norðfjarðarhornsvita eru einungis rafhlöður án sólarorku og þeim er komið á staðinn árlega. Þær eru einnota og þeim því fargað árlega. Æskilegt væri að breyta þessari lausn þannig að endurnýjanleg orka væri nýtt á staðnum, ekki þyrfti að koma rafhlöðum á staðinn og minni förgun ætti sér stað.

3.2 Orkunotkun

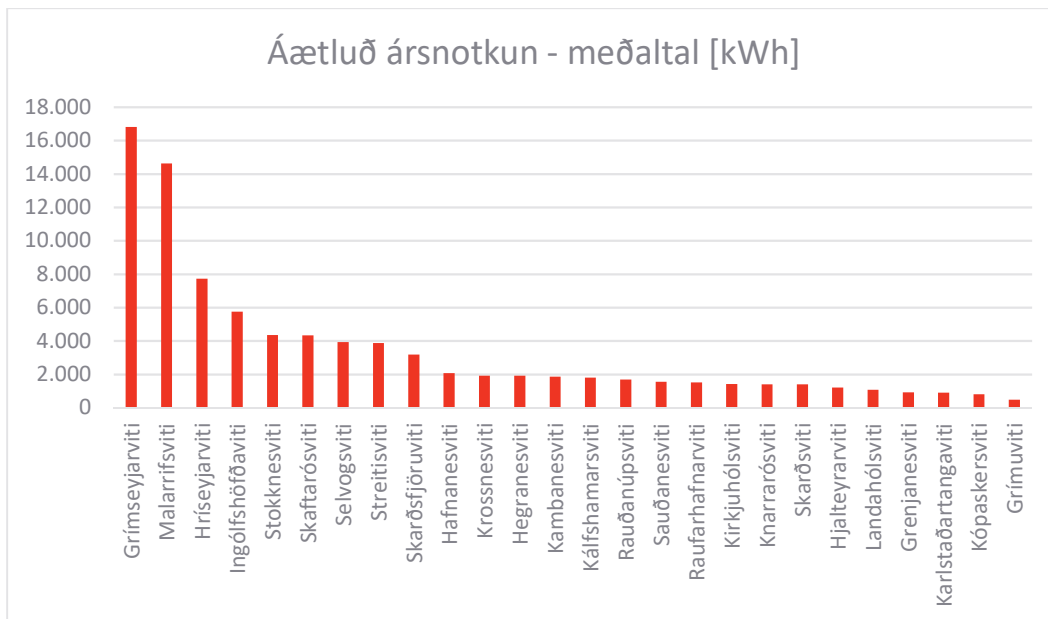
Orkuþörf vitanna er misjöfn en algengast er að hámarks aflþörf sé 1.000W og það er þannig í 46 vitum. Tafla 1 sýnir nákvæma útlitun á hámarks aflþörf vitanna og fjölda vita í hverri aflþörf.

TAFLA 1 Hámarks aflþörf vitanna m.t.t. fjölda vita

Hámarks aflþörf	Fjöldi vita	Tegund ljósgjafa
1000 W	46	Glópera
138 W	19	6 x 23 W 12 V ljós
72 W	6	6 x 1 A 12 V ljós
250 W	5	Ekki þekkt
210 W	5	6 x 35 W ljós
20 W	1	Ekki þekkt
120 W	5	6 x 20 W 12 V ljós
40 W	2	Ekki þekkt
Annað	4	Mismunandi

Eins og taflan sýnir er næst algengast að vitarnir hafi 6 x 23 W ljósgjafa en þeir vitar eru allir sólarvitar sem hafa LED perur sem nota minna afl.

Ársmótun vitanna var áætluð á árunum 2013 – 2021 en í þeim tilvikum sem orkunotkunin hafði breyst mikið frá fyrri hluta tímabilsins yfir á seinni var aðeins skoðað tímabilið 2018-2021. Mynd 3 sýnir meðaltal yfir áætlaða ársmótun nokkurra vita. Eins og sjá má er orkunotkunin áberandi mest í Grímseyjarvita og Malarrifsvita. Ástæðan er að þar er meiri búnaður en annars staðar, þ.e. fjarskiptabúnaður.



MYND 3 Meðaltal áætlaðrar ársnotkunar raforku árin 2013-2021.

Orkunotkun vitanna er mjög misjöfn eins og súluritið gefur til kynna. Til að geta sett upp dæmi var ákveðið að byrja á að skoða fjóra flokka út frá því hvaða búnaður er í vitunum. Flokkarnir eru: Vitar með peru og veðurstöð, peru og fjarskiptabúnað, einungis peru og loks með öllu þrennu, peru, veðurstöð og fjarskiptabúnaði. Þar sem búnaðurinn í vitunum þarf að duga undir öllum kringumstæðum var ákveðið að skoða hámarksorkunotkun í þeim vitum sem gögn eru til um. Meðaltal hámarksorkunotkunar í hverjum flokki var svo skoðað til viðmiðunar. Niðurstaðan er birt í töflu 2. Engin gögn voru aðgengileg um þá vita sem hafa bæði veðurstöð og fjarskipti svo gert var ráð fyrir að orkunotkun þar yrði samantöl orkunotkun veðurstöðvar og fjarskiptabúnaðar. Þar sem báðar tölurnar innihalda orkunotkun perunnar var hún dregin frá. Jafna 1 skýrir þetta betur.

JAFNA 1 Áætluð orkunotkun í vitum sem hafa veðurstöð, fjarskipti og peru

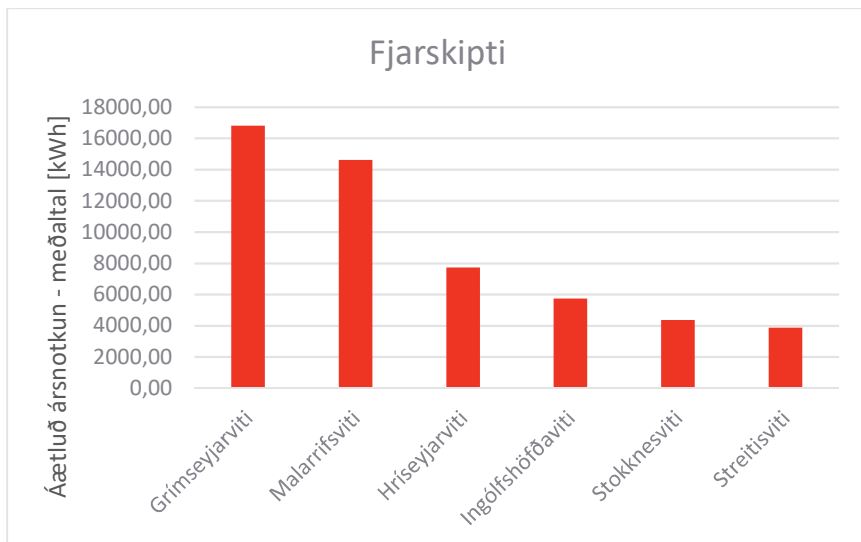
$$Veðurstöð + fjarskipti + pera = (Veðurstöð + pera) + (fjarskipti + pera) - pera$$

Tafla 2 sýnir áætlaða hámarksorkunotkun á dag í vitunum, út frá búnaði.

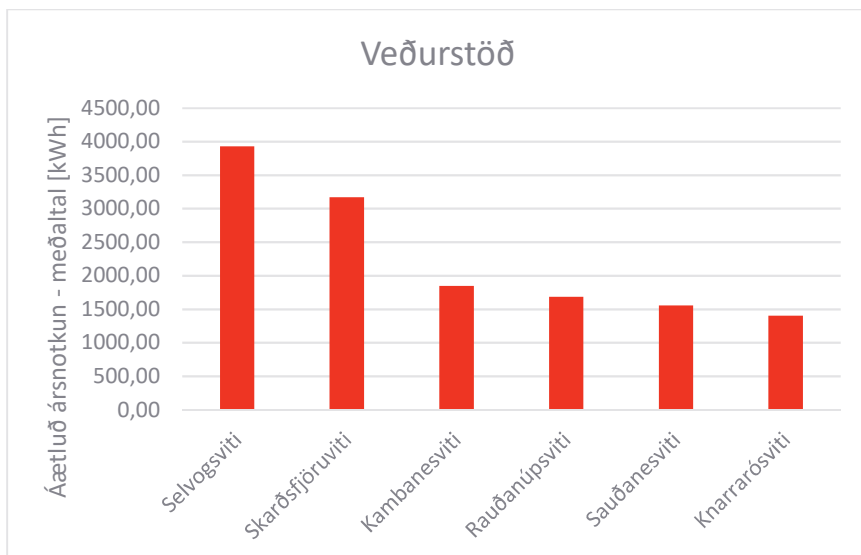
TAFLA 2 Áætluð hámarks orkunotkun á dag í vitunum, út frá búnaði

Búnaður í vita	Áætluð hámarksnotkun á dag [kWh]
Veðurstöð + pera	9,66
Fjarskiptabúnaður + pera	29,37
Veðurstöð + fjarskiptabúnaður + pera	32,91
Pera	6,12

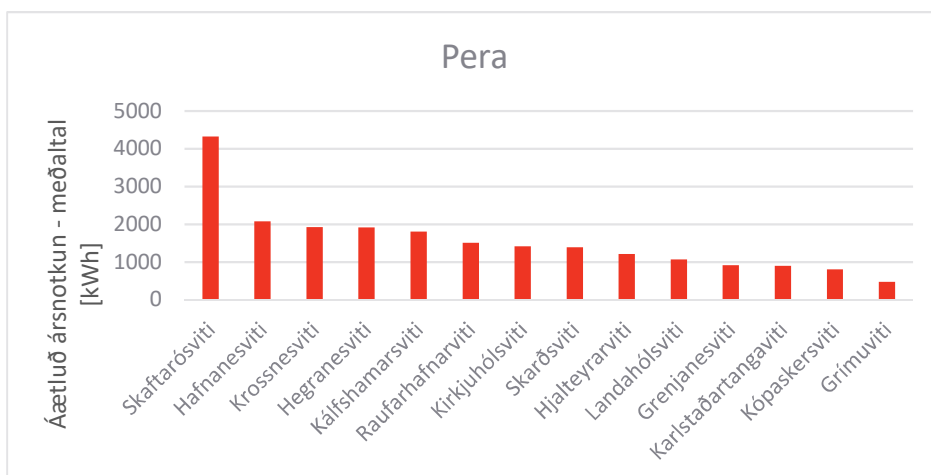
Myndir 4, 5 og 6 sýna meðaltal áætlaðrar ársnotkunar eftir að búið er að skipta upp í flokka.



MYND 4 Áætluð ársnotkun í vitum sem eru með fjarskiptabúnað

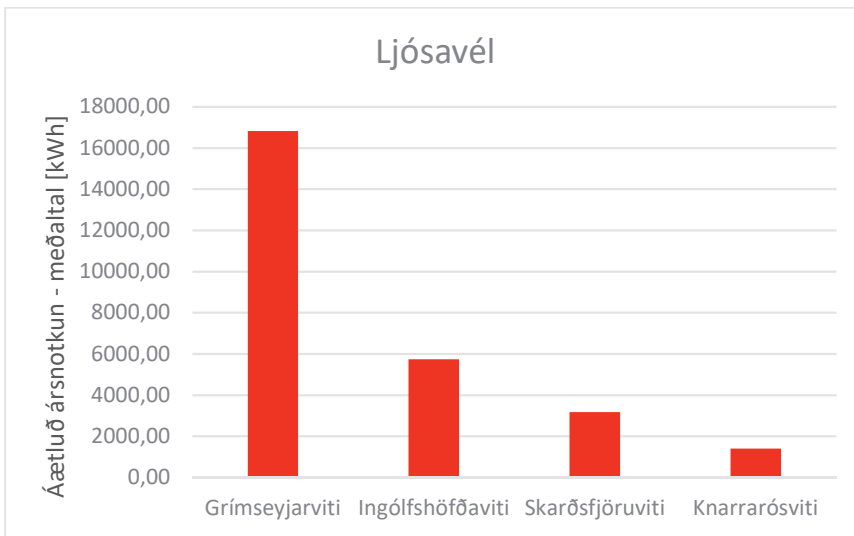


MYND 5 Áætluð ársnotkun í vitum sem eru með veðurstöð

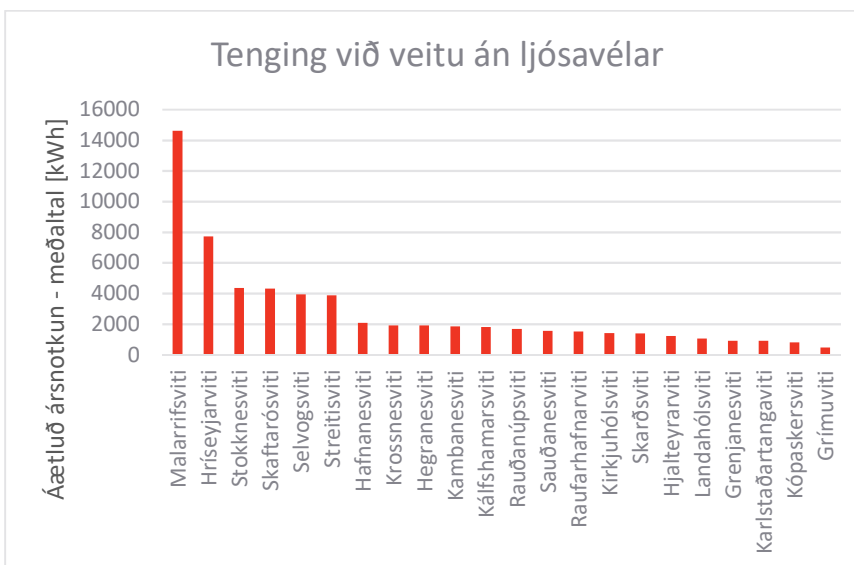


MYND 6 Áætluð ársnotkun í vitum sem eru einungis með peru

Vitunum var einnig skipt niður eftir því hvort um ljósavél sé að ræða eða ekki. Einnig voru skoðuð dæmi um vita þar sem til skoðunar er að aftengja frá rafveitu. Myndir 7, 8 og 9 sýna áætlaða ársnotkun þessara vita.



MYND 7 Áætluð ársnotkun í þeim vitum sem nýta ljósavél sem varaafli.



MYND 8 Áætluð ársnotkun þar sem veita er nýtt án ljósavélar.



MYND 9 Áætluð ársnotkun þar sem til skoðunar er að leggja veitu af.

Hámarksorkunotkun var einnig skoðuð fyrir þessa flokkun og meðaltal tekið fyrir hvern flokk. Tafla 3 sýnir niðurstöðurnar.

TAFLA 3 Áætluð hámarks orkunotkun á dag í vitunum, út frá núverandi búnaði

Flokkur	Áætluð hámarksnotkun á dag [kWh]
Veita og ljósavél	23,74
Veita án ljósavélar	9,86
Til skoðunar að leggja veitu af	9,43

Eins og sést á gröfum og töflum þessa kafla er orkunotkun í vitunum mjög mismunandi og því þarf að skoða hana frá nokkrum hliðum.

3.3 Greining – núverandi lausnir

Tafla 4 sýnir fjölda vita á hverja lausn fyrir sig, hvar þeir eru staðsettir og hvort þeir séu orkulega úr leið, þ.e. ekki nálægt byggð.

TAFLA 4 Fjöldi vita og staðsetning

Núverandi lausn	Á landi - vegur	Á landi - ófært	Eyja	Sker	Fjöldi	Þar af orkulega úr leið
Sólarorka og rafgeymar	9	15	1	20	45	44
Sólarorka, vindorka og rafgeymar	0	2	0	1	3	3
Veita og ljósavél	12	0	2	0	14	8
Veita og rafgeymar	38	0	3	0	41	17
Rafhlöður	0	1	0	0	1	1
Samtals	59	18	6	21	104	73

Tafla 4 sýnir svo fjölda vita út frá því hvaða búnaður er til staðar. Gert var ráð fyrir að ef ekkert er tekið fram sé einungis pera á staðnum.

TAFLA 5 Fjöldi vita eftir búnaði

Núverandi lausn	Veðurstöð	Fjarskipta- búnaður	Veðurstöð og fjarskipti	Einungis pera	
Sólarorka og rafgeymar	10	0	0	35	
Sólarorka, vindorka og rafgeymar	2	0	1	0	
Veita og ljósavél	4	4	4	2	
Veita og rafgeymar	5	8	1	27	
Rafhlöður	0	0	0	1	
Samtals	21	12	6	65	104

Eins og sést í töflu 4 eru 14 ljósavélar í notkun í landsvitakerfinu. Þarna er því tækifæri til að skipta yfir í endurnýjanlega orku sem þarf minna viðhald. Tafla 3 sýnir að orkunotkunin er mest þar sem um ljósavél er að ræða og ef gert er ráð fyrir hámarksnotkun á dag, eru það um 8.700kWh á ári. Minnsta orkunotkunin er þar sem það er til skoðunar að leggja veitu af, um 3.500kWh á ári. Þarna á milli eru svo þeir vitar sem eru tengdir við veitu en nýta rafgeyma sem varaafli og ef gert er ráð fyrir sömu forsendum eru það rúmlega 3.600kWh á ári. Núverandi búnaður skiptir máli þegar hugað er að nýjum lausnum þar sem aðstæður eru oft svipaðar í þeim vitum sem hafa sama búnað.

Í töflu 4 má einnig sjá að einn viti sem nýtir sólarorku er ekki merktur orkulega úr leið. Þetta gæti þótt óvanalegt en þetta er aukaviti á Reykjanesi og er því ekki úr leið. Taflan sýnir svo að tæplega helmingur vitanna sem eru tengdir við veitu eru orkulega úr leið, eða um 45%. Það getur verið dýrt að viðhalda línu í vita á þeim stöðum, þ.e. leggja þurfti langa línu í vitann. Því gæti verið gagnlegt að aftengja veituna og nota aðrar lausnir á þeim stöðum en það eru 25 vitar eins og taflan sýnir. Ljóst er að talsvert hagræði er af slíkum ráðstöfunum fyrir dreifikerfið og því mikilvægt að Vegagerðin hafi einnig hagræði af slíkum breytingum til að skapa hvata til að þróa hagkvæmar, öruggar og grænar orkulausnir sem kæmu þá í stað veitunnar.

Vegagerðin benti einnig á þrjá vita sem þau myndu helst vilja skipta tenginu við veitu út, en það eru Selvogsviti, Knarrarósviti og Tjörnsviti. Gott væri því að byrja þar og halda svo áfram í þeim vitum sem eru á afskekktum svæðum.

Í töflu 5 sést að í 21 vita eru veðurstöðvar og á þeim stöðum er aflþörf meiri en ef einungis er um peru að ræða, eins og tafla 2 gefur til kynna. Á nokkrum stöðum er fjarskiptabúnaður sem þarf einnig rafmagn og þar er meiri orkuþörf skv. töflu 2. Mesta orkuþörfin er svo þar sem allt þrennt er, veðurstöð, fjarskiptabúnaður og pera. Þessu þarf því að huga að þegar valin er ný orkulausn, þ.e. hvort um einhvern aukabúnað við vitann sé að ræða og þá hvaða.

4 KORTLAGNING Á SJÁLFBÆRUM TÆKNILAUSNUM

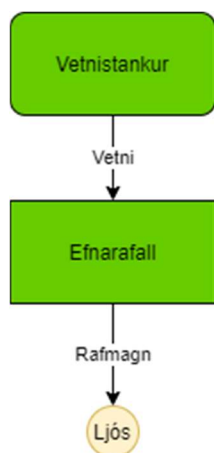
Nokkrar sjálfbærar tæknilausnir koma til greina, sumar eru í notkun nú þegar í landsvitakerfinu en aðrar ekki.

4.1 Mögulegar lausnir – varaafli

Varaafli er nýtt þegar aðalafgjafi slær út og þörf er á að það dugi í a.m.k. þrjá sólarhringa þegar það gerist. Á þeim stöðum þar sem varaaflið er á dísilvél fer það í gang u.þ.b. þrisvar sinnum á ári.

4.1.1 Veita og efnarafall

Notkun efnarafals kemur til greina sem varaafli. Þá myndi efnarafallinn vera ræstur þegar aðalafgjafinn slær út, veitan. Nægt vetni yrði þá að vera til staðar til að hægt væri að keyra efnarafalinn a.m.k. í þrjá daga í senn, þrisvar sinnum á ári.



MYND 10 Efnarafall

4.1.2 Veita og rafgeymar

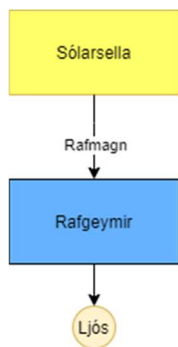
Veita er nýtt með rafgeymum í þó nokkrum vitum í landsvitakerfinu. Það er nýtt á þeim stöðum sem er talið ólíklegt að veitan detti út, en ef það gerist taka rafgeymarnir við. Rafgeymarnir eru hlaðnir af veitunni og eru alltaf með fulla hleðslu.

4.2 Mögulegar lausnir – ótengt veitu „offgrid“

Í þessum kafla er farið yfir ýmsar sambyggðar lausnir sem hægt er að nota í „offgrid“ lausnum, nánari skýringar á hverjum búnaði eru neðar í kafla 4.

4.2.1 Sólarorka og rafgeymir

Ein möguleg lausn sem er nú þegar nýtt í fjölda vita um landið er sólarsella og rafgeymir. Sólarsellan er þá nýtt þegar næg sól er til staðar og umfram magni er hlaðið inn á rafgeymi sem er svo nýttur þegar sólarljósið minnkar. Þessi lausn er nú nýtt í vitum sem eru orkulega úr leið og möguleiki væri á að umbreyta óhagkvæmum veitutengingum í þessa lausn, en hafa ber í huga þá vankanta sem þessi lausn hefur í för með sér er þörfin fyrir sólarljós / næga birtu til að hlaða rafgeyma.



MYND 11 Sólarsella og rafgeymir sem varaafli

4.2.2 Vindorka og rafgeymir

Annar möguleiki er að nýta vindmyllu og rafgeymi og það er nú þegar gert í vitum landsins. Vindmyllan eru þá nýtt þegar veðurskilyrði bjóða upp á það og rafgeymirinn þess á milli. Með því að nýta vindorku er fjöldi rafgeyma takmarkaður, því hægt er að nýta orkuna beint inn á álagið. Þetta er betri kostur heldur en sólarsella því vindur blæs á myrkustu dögum ársins.



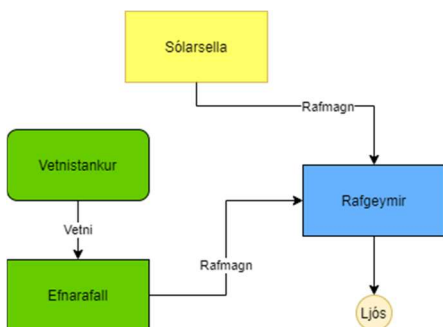
MYND 12 Vindorka og rafgeymir

4.2.3 Efnarafall

Efnarafal væri einnig hægt að nýta sem aflgjafa í „offgrid“ lausn. Forsendan yrði þá að nægt vetni sé til staðar til að hægt væri að keyra efnarafalinn í a.m.k. ár eða í þann tíma sem óskað er eftir. Nánari skilgreining á þessari lausn er í kafla 4.5.

4.2.4 Efnarafall og sólarsella

Möguleg „offgrid“ lausn væri að nýta sólarsellu þegar næg birta er til staðar og efnarafal þegar birtuskilyrði minnka. Þá þyrfti að tryggja að nægt vetni væri til staðar til að keyra efnarafalinn yfir myrkustu mánuðina. Hér yrði fjöldi rafgeyma lágmarkaður en einnig hægt að spila saman fjölda rafgeyma og stærð vetnisgeyma.

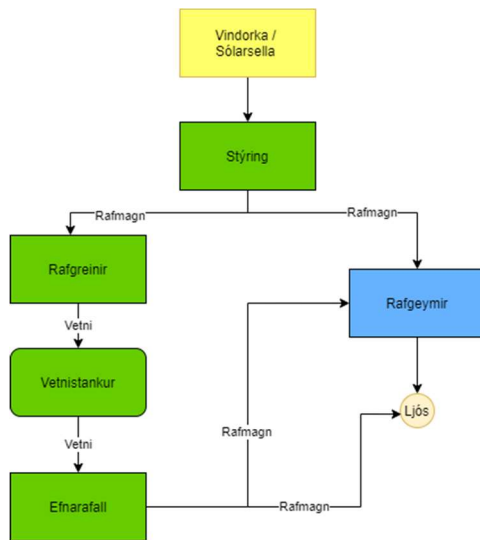


MYND 13 Efnarafall og sólarsella

4.2.5 Efnarafall, vindorka / sólarsella, rafgreinir og rafgeymir

Annar möguleiki væri að nýta rafgreini til að framleiða vetni á staðnum fyrir efnarafalinn. Þá þyrfti ekki að flytja vetni á staðinn árlega. Vindorka eða sólarsella yrði þá nýtt yfir björtustu mánuðina og öll umfram orka færi í rafgreinin sem framleiðir vetni sem efnarafalinn gæti svo nýtt yfir myrkustu mánuðina. Umfram rafmagn yrði hlaðið inn á rafgeyma. Gallinn við þessa útfærslu er að til að

framleiða vetni á staðnum þarf greiðan aðgang að vatni og þónokkra orku sem er óraunhæft í flestum vitum landsins. Mögulega væri hægt að safna regnvatni eða binda vatn úr andrúmsloftinu, sem er óstöðugt og gerir þessa lausn því í fæstum tilvikum fýsilega fyrir vita.



MYND 14 Efnarafall, sólarcella/vindorka, rafgreinir og rafgeymir

4.3 Helstu framleiðendur og lausnir þeirra

Mörg fyrirtæki hafa upp á ýmsar lausnir að bjóða þegar kemur að rafeldsneyti. Hér verður fjallað um þau sem talið er að geti nýst þessu verkefni. Öll verð sem minnst er á í þessum kafla eru án virðisauka nema annað sé sérstaklega tekið fram.

4.3.1 PowerCell

PowerCell er sænskt fyrirtæki stofnað árið 2008 eftir rannsóknir AB Volvo á efnarafölum síðan í upphafi tíunda áratugarins [7]. Þau sérhæfa sig í umhverfisvænum aflkerfum og bjóða upp á lausnir frá 5 kW upp í 1 MW. Verðið á 5 kW lausninni er 31.000 EUR og umhverfishitastigið þarf að vera á bilinu 5-45°C. Þessi lausn er því einungis möguleg innandyrá á Íslandi. Stærðin á efnarafalnum er 440x557x1218mm og uppgefinn endingartími er 10.000 klst.



MYND 15 Power Generation System 5 frá PowerCell [7]

4.3.2 Horizon

Horizon er með höfuðstöðvar í Singapúr og var stofnað árið 2003. Þau bjóða upp á efnarafala frá 12 W upp í 5.000 W og henta því nokkuð vel þörfum landsvitakerfisins [3]. Verðið á 1.000 W efnarafal er 5.970 EUR. Kosturinn er að þetta er lítið tæki, 219x268x123mm, og hentar orkuþörfinni vel. Aftur á móti þarf umhverfishitastigið að vera 5-30°C svo það hentar illa fyrir vetrarmánuðina á Íslandi nema ef efnarafallinn sé staðsettur innanhúss.



MYND 16 H-1000 PEM Fuel Cell 1000W frá Horizon [3]

4.3.3 Intelligent Energy

Intelligent Energy er með höfuðstöðvar í Bretlandi og er byggt á 30 ára þróun á efnarafölum [8]. Þau bjóða upp á ýmsar lausnir í bifreiðar, flugvélar og dróna en einnig staðbundnar lausnir. IE-LIFT týpan er sú sem myndi henta vitum landsins vel. Það eru litlar lausnir, 225x300x550mm, með aflstærð frá 1 kW-4 kW. Verð fyrir 1,2 kW er 7.800 EUR. Sú gerð þolir umhverfishitastig frá 5°C til 40°C, sem er ekki kjörið. Hins vegar er ný uppfærsla væntanleg í byrjun árs 2022 sem þolir -10°C til 40°C. Það ætti að duga í flestum vitum á Íslandi. Endingartíminn er uppgefinn 8.000 klst en ábyrgðin er í 3.000 klst. eða ár, það sem kemur á undan. Þegar rafallinn skilar ekki lengur því sem til er ætlast er hægt að skipta út hluta af tækinu fyrir 50% af fullu verði og tækið á þá að endast í aðrar 8.000 klst.



MYND 17 IE-LIFT 1,2kW týpan frá Intelligent Energy [8]

4.3.4 Ballard

Ballard er kanadískt fyrirtæki stofnað árið 1979 en þá með það að markmiði að rannsaka og þróa lípíum rafhlöður. Fjórum árum síðar hóf fyrirtækið að skoða efnarafala [5]. Fyrirtækið býður upp á margvíslegar lausnir, m.a. fyrir bifreiðar og skipaiðnað. Það sem hentar landsvitakerfinu eru hins vegar

smærri lausnir og þar býður Ballard upp á aflstærð frá 1,7-5 kW. Stærsta lausnin, 5 kW, var skoðuð nánar. Hún þolir hitastig frá -20°C til 46°C svo það hentar íslenskum aðstæðum mjög vel. Lausnin er aðeins stærri en frá Horizon og Intelligent Energy eða 500x567x617mm, sem er þó enn mjög hentug stærð.



MYND 18: FCgen - H2PM 5,0kW lausnin frá Ballard [5]

4.3.5 Gencell

Gencell er ísraelskt fyrirtæki sem býður upp á efnarafala sem nota ammoníak sem eldsneyti [2]. Lausnin sem tengiliður hjá Gencell mældi með fyrir þetta verkefni er 5kW og kallast GenCell G5.5ox. Verðið á henni er 41.000 USD en við þyrftum einnig orkubrú sem kostar 9.500 USD og IoT leyfi sem kostar 450 USD, samtals er þetta því 136.450 USD. Gencell efnarafallinn þolir -20°C upp í 55°C sem hentar vel fyrir íslenskar aðstæður. Tækið frá Gencell er töluvert stærra en fyrrnefndu eða 1900x750x1550mm.



MYND 19: GenCell G5.5ox [2]

4.3.6 Plug Power

Plug Power er bandarískt fyrirtæki sem hefur um 25 ára reynslu og er stærsti kaupandi fljótandi vetnis í heiminum [4]. Þau bjóða upp á margvíslegar lausnir, fyrir lyftara, flýgildi, bifreiðar og fleira. Fyrir þetta

verkefni myndi 1.100W kyrrstæða vetniskerfið líklega duga. Það er 438x610x180mm á stærð og þolir umhverfishitastig frá -5°C til 50°C.



MYND 20 GENSURE E-1100 Fuel Cell frá Plug Power [4]

4.3.7 SFC Energy

SFC Energy er þýskt fyrirtæki stofnað árið 2000. Fyrirtækið er leiðandi í efnarafölum og er með skrifstofur í fjórum löndum [9]. Tveir möguleikar koma til greina frá þeim, EFOY Hydrogen Fuel Cell 2,5 eða Direct Methanol Fuel Cell EFOY Pro 12.000. Eins og nöfnin gefa til kynna notar sú síðarnefnda metanól í stað vetnis. SFC Energy mælir með öðru hvoru tækinu ef um varaafli er að ræða en metanóltækinu með sólarcellum fyrir „offgrid“ lausn.

Vetnistækið þolir hitastig á bilinu -32°C til 50°C og metanóltækið á bilinu -20°C til 50°C. Það hentar því vel fyrir íslenskar aðstæður. Vetnistækið hefur aflgetu frá 2,5kW upp í 20kW. Metanóltækið er hins vegar frá 0,5 kW upp í 2,5 kW. Kostnaður við skáp sem er staðsettur utandyra er 70.000 EUR, en fyrir lausn innandyra er verðið 55.000 EUR. Vetnislausnin er 536x483x311mm og metanóllausnin 640x441x310mm. Metanóllausnin endist í um 3.000 klst. en vetnislausnin í 10.000 klst. Fyrirtækið býður einnig upp á heildarlausn sem getur verið utandyra, með pláss fyrir allt að 12x50L tanka. Hún er 2200x3000x900mm á stærð og þolir niður í -33°C.



MYND 21: Direct Methanol Fuel Cell EFOY Pro 12000 [9]



MYND 22 EFOY Hydrogen Fuel Cell 2,5 [9]



MYND 23 EFOY H2Cabinet Outdoor [9]

4.3.8 H2planet

Tengiliðurinn hjá Horizon benti á fyrirtækið H2planet en það er í eigu Hydro2Power SRL. H2planet er ítalskt fyrirtæki stofnað árið 2004 [13]. Þau bjóða upp á staka efnarafala fyrir vetni, metan og náttúrugös en einnig fyrirferðarlitlar „plug and play“ lausnir sem innihalda efnarafal fyrir vetni, rafgreini og vetnistanka með aflstærð frá 90 W upp í 800 W. Verð fyrir 800 W lausn er 30.400 EUR. Vetnistankarnir eru endurnýtanlegir, 3000 L hvor og vetnið er geymt við 5-10 bar.



MYND 24: HYinONE UPS frá H2planet [13]

4.4 Annar nauðsynlegur búnaður

4.4.1 Sólarsellur

Margs konar sólarsellur eru til. Vegagerðin hefur hingað til verslað við Skorra á Íslandi og því var ákveðið að skoða lausnirnar þeirra frekar. Þeir bjóða upp á sólarsellur frá 11 W upp í 185 W [14]. Ef farið yrði í stærstu selluna þyrfti 6 stykki og ef farið yrði í 100 W þyrfti 10 stk. Verðið á 185 W lausninni er 67.900 ISK með virðisauka og 100 W sellan er á 48.900 ISK með virðisauka.

4.4.2 Rafgeymar

Rafgeymarnir sem Vegagerðin notar í dag eru um 90% lútgeymar frá fyrirtækinu Sunica. Þá væri hægt að nota áfram þar til að þeir hætta að virka. Það væri skynsamlegt að fjarlægja alla rafgeyma og einungis styðjast við vetnistanka þar sem förgun rafgeyma getur verið skaðleg fyrir umhverfið sem og þá starfsmenn sem meðhöndla geymana. Verðið á rafgeymum frá Sunica er 0,6 EUR/Wh. En þessa ákvörðun þyrfti að taka með tilliti til staðsetningar á þeim vita sem um ræðir, þá greiningu þyrfti að taka nánar.

4.4.3 Rafgreinar

Tengiliðurinn frá Intelligent Energy benti á fyrirtækið Enapter sem framleiðir meðal annars rafgreina. Rafgreinir hjá þeim kostar 9.000 EUR og framleiðir 1,07 kg af vetni á dag [15]. Það er síðan hægt að tengja nokkra rafgreina saman ef þörf er á meiri framleiðslu.

4.4.4 Vindmyllur

Ýmsar vindmyllur eru til og í öllum stærðum og gerðum. Kostnaður við minni vindmyllur með aflgetu upp á 400 – 600 W var 98.500 kr með virðisauka [16], en þó virðist vera að þessi innflutningsaðili sé hættur starfsemi. Einnig er að koma á markaðinn ný vindmylla frá íslenska framleiðandanum Icewind [30]. Framleiðslugetan er um 1.000 kWh á ári miðað við 6 m/s. Þessi lausn verður komin á markað byrjun árs 2022 og efniskostnaður áætlaður um 1.000.000 kr. Þessar vindmyllur eru með láréttan öxul, sjá mynd 25. Þetta verða mjög ákjósanlegar vindmyllur fyrir erfiðar aðstæður. Þetta verð verður notað í útreikningum 7. kafla.



MYND 25: RW500 vindmylla frá Icewind

4.4.5 Vetnistankar og vetni

Á Íslandi er lítið um vetnisframleiðslu annars staðar en á Hellsheiði en þar er ekki hægt að kaupa vetni eins og er. Linde-gas (áður Ísaga) selur hins vegar vetni. Þau bjóða upp á eftirfarandi tegundir, tegund 4,0 (99,99% hreinleiki), tegund 5,0 (99,999% hreinleiki) og tegund 6,0 (99,9999% hreinleiki) vetni í 50L tönkum við 200 bar þrýsting. Í slíkum tanki eru um 800g af vetni. Verð á innihaldi er eftirfarandi, án virðisauka, hafa skal í huga að kútar eru leigðir annað hvort per dag eða ár, yrði þetta samningsatriði á milli Vegagerðarinnar og Linde-gas:

TAFLA 6 Verð vetnistanka frá Linde-gas

Tegund	Stærð	Verð í ISK	Athugasemd
4,0	12x50L	347.294	Aðeins fáanlegt í pakka
5,0	50L	56.457	
6,0	50L	157.857	

4.5 Umræða um tæknilausnir

4.5.1 Almenn umræða

Eins og fyrri kaflar sýna eru margvíslegar lausnir í boði. Sjálfstæðasta lausnin sem þarf minnst viðhald er samsetning á sólarcellu, efnarafal, rafgreini og rafgeymum. Þá þarf ekki að flytja vetni á staðinn þar sem það er búið til með rafgreiningu. Hins vegar, ef nýta á rafgreini til vetnisframleiðslu þarf hreint vatn og raforka að vera aðgengilegt á svæðinu. Á fæstum stöðum er það raunhæft og því verður sá möguleiki ekki skoðaður nánar eins og stendur.

Líftími efnarafals er yfirleitt í kringum 8.000 - 10.000 klst. Þegar sá tími er liðinn er oft hægt að skipta út hluta af honum og hann endist þá í aðrar 8.000 – 10.000 klst. Þegar það er liðið þarf að skipta honum öllum út. Til samanburðar eru 8.760 klst. í ári en efnarafallinn yrði í flestum tilvikum ekki keyrður allan ársins hring. Ef gert er ráð fyrir að hann sé keyrður í fjóra mánuði á ári væru það 2.880 klst. svo hver efnarafall myndi endast í þrjú ár áður en það þyrfti að skipta um íhluti í honum.

Þær lausnir sem nýta veitu með rafgeymi væri hægt að takmarka fjölda rafgeyma á móti fjölda vetnistanka. Þegar þeir rafgeymar sem Vegagerðin á nú þegar, eru komnir til ára sinna væri hægt að sleppa rafgeymum alveg og einungis geyma vetni á staðnum. Það dregur úr umhverfisáhrifum m.a. vegna minni förgunar á rafgeymum. NREL (National Renewable Energy Laboratory) telur einnig að ef geyma á aflið í 13 klst eða meira, þá sé hagkvæmara að geyma vetni en að nýta rafgeyma [17].

Orkuþörfin er minnst á þeim stöðum sem einungis hafa peru og ef reiknað er með hámarksorkunotkun á dag væru það tæplega 2.250 kWh á ári. Líklegast væri raunnotkun nokkuð lægri. Í þeim vitum sem eru með veðurstöð væri ársnotkunin rúmlega 3.500 kWh á ári ef miðað er við hámarksnotkun á dag. Þar sem fjarskiptabúnaður er til staðar væri ársnotkunin um 10.700 kWh á ári miðað við sömu forsendur. Þar sem allt þrennt er til staðar er áætluð ársnotkun um 12.000 kWh.

Þeir framleiðendur á efnarafölum sem EFLA var í samskiptum við og gáfu upp verð voru á svipuðu reiki eða í kringum 1.000.000 ISK/kW án virðisaukaskatts. Til að efnarafalalausnir geti nýst í vitum á Íslandi þurfa þær að þola a.m.k. -10°C þar sem lausnirnar þurfa annars vegar að vera utandyra eða innanhúss í óupphituðum vitahúsum. Þá standa eftir lausnir frá Ballard, Gencell, SFC Energy og tilvonandi lausn Intelligent Energy. Af þessum fer minnst fyrir lausninni frá Intelligent energy en ef gert er ráð fyrir að kaupa vetnistanka frá Linde-gas þyrfti um 85 tanka fyrir hverjar 1.000 kWh.

Samkvæmt gögnum úr rannsóknarverkefni sem framkvæmt var hjá EFLU árið 2019 var meðalsólgeislun á klukkutíma frá mars til og með október á árunum 2016-2018 í kringum 120 W/m², mest í júlí og

minnst í október [18]. Nýtni sólarsella er að meðaltali 16% [19] og því fengjust aðeins 19,2 W/m² á klukkustund nýtt. Ef gert er ráð fyrir að það náist í átta mánuði á ári, væru það 110,6 kWh/m². Til að ná 1.000 kWh þyrfti því 9 m² af sólarsellum.

Vindorka getur nýst þar sem er vindasamt og það á við hjá flestum vitum landsins enda eru þeir oft á afskekktum svæðum við sjó. Meðalvindhraði við strendur Íslands á veturna er í kringum 10 m/s og 6 m/s á sumrin [20]. Ef miðað er við að sumarið sé þrjú mánuðir og vindmyllan sé 2,2m há og um 1,5m í þvermál standandi öxull, væri heildarorka á ári 1.000 kWh ef vindmyllur gætu nýtt alla orkuna í vindinum. Samkvæmt tölum frá framleiðanda Icewind þá er nýtnin mjög góð miðað við 6 m/s.

4.5.2 Tæknilausnir

Í næstu undirköflum verður farið í gegnum ýmsar tæknilausnir sem væru mögulegar samkvæmt töflu 2. Þetta er ekki tæmandi listi en lausnir sem raunhæft væri að nýta í vitunum.

4.5.2.1 Dæmi um lausn í vitum sem hafa einungis peru og aftengja veitu

Vindmyllu frá Icewind sem kemur með grind og stýringu væri ákjósanlegt að nýta í þessa lausn. Aftengja veituna og takmarka rafgeyma niður í 2 – 6 stk. eftir orkuþörf.

Önnur lausn væri að skipta út núverandi 1.000 W perum fyrir LED perur sem krefjast minna afls. Það hefur verið gert nú þegar í flestum vitum sem hafa sólarsellur og afl þeirra er oftast á milli 120 W og 210 W. Ekki eru til gögn um orkunotkun þeirra vita en ef miðað er við 210 W toppa í stað 1.000 W og svipaða dreifingu má gera ráð fyrir um 520 kWh á ári með orkuminni peru.

4.5.2.2 Dæmi um lausn í vitum sem hafa veðurstöð og eða fjarskiptabúnað og peru án veitutengingar

Efnarafall frá Intelligent energy með 85 vetnistönkum sem framleiða þá 1.000 kWh á ári og vindmyllu sem framleiðir þá 1.000 kWh á ári. Með rafgeymum sem myndu þá geyma um 60 kWh.

Annar og raunhæfari möguleiki væri að skipta yfir í LED perur. Ef áfram er gert ráð fyrir 210 W toppum með svipaðri dreifingu er orkuþörfin um 740 kWh. Þá væri hægt að hafa einungis efnarafal með 63 vetnistanka eða samsetningu af t.d. 30 vetnistönkum og færri rafgeymum.

Önnur tæknilausn við þetta dæmi væri hægt að hafa staðbundna vindmyllu frá Icewind og rafgeyma sem myndi anna orkuþörfinni. Með þessu þyrfti ekki að taka tilliti til né fylla á vetnisgeyma.

4.5.2.3 Dæmi um lausn í vitum sem hafa ljósavél og eru tengdar veitu

Þar sem ljósavél er til staðar sem varaafli væri hægt að setja upp efnarafal í staðinn. Veitan yrði aðalafgjafi en nægt vetni yrði að vera til staðar til að hægt væri að keyra vitann í þrjú sólarhringa, þrisvar á ári. Ef miðað er við 23,74 kWh á dag, eru það 214 kWh á ári. Til að ná því þarf 18 tanka af vetni frá Linde-gas á ári. Fýsilegast væri að gera þetta í þeim vitum með gott aðgengi svo hægt sé að koma vetninu auðveldlega á staðinn.

4.5.2.4 Dæmi um lausn í vitum sem hafa tengingu við veitu

Þar sem veita er nýtt með rafgeymum væri möguleiki að fækka eða jafnvel sleppa alveg rafgeymum og koma inn vetnistönkum í staðinn. Sem dæmi væri hægt að hafa um 18 tanka af vetni sem framleiða þá 214 kWh á ári sem ætti að duga fyrir þau skipti sem veitan dettur út. Þá þyrfti enga rafgeyma.

Eins og nefnt hefur verið áður er hægt að hafa vindmyllu í stað veitu og takmarka rafgeyma í það magn sem orkuþörfin er hverju sinni.

4.5.2.5 Lausnir í stað veitutengingar

Þar sem skoðað er að leggja af veitu er möguleiki að koma upp efnarafali, með eða án sólarsella / vindmyllu. Ef efnarafall er nýttur einn og sér þyrfti um 298 vetnistanka á ári til að hægt sé að nota 9,43 kWh á dag. Ef sólarsellur væru nýttar með væri hægt að fækka vetnistönkunum í hlutfalli stærð sólarsellurnar. Ef gert er ráð fyrir 9 m² gætu þær framleitt 1.000 kWh á ári og þá þyrfti 213 vetnistanka til að framleiða 2.500 kWh. Ef vindmylla er sett með gæti hún framleitt 340 kWh sem minnkar þá vetnistankana í 184 stk. Raunhæfara væri að setja eitthvað magn inn á rafgeyma, t.d. 1.160 kWh og þá fækkar vetnistönkum niður í 85 stk. Hægt er að útfæra samsetningu af vetnistönkum og rafgeymum á hverjum stað fyrir sig eins og hentar.

Að koma rúmlega 200 vetnistönkum í vitana er hæglega fýsilegt og því væri skynsamlegt að skipta yfir í LED peru og þannig minnka orkuþörfina. Þá væri orkuþörfin tæplega 1.000 kWh í stað 3.500 kWh. Þá myndu 85 vetnistankar duga einir og sér en með sólarsellu af stærð 4,5 m² þyrfti aðeins 43 tanka sem er gerlegt magn.

Eins og sést í fyrri köflum eru margar leiðir til að setja saman lausn og þær má útfæra eins og hentar í hverjum vita fyrir sig. Þessi dæmi voru tekin með það að leiðarljósi að ekki sé of erfitt að koma vetninu í vitana. Á þeim stöðum sem greitt aðgengi er að væri hægt að hafa fleiri vetnistanka í notkun yfir árið og fylla á þá oftár, þ.e. ekki þyrfti að fara með alla í einu.

5 REKSTRARÖRYGGI

Í dag eru flestir vitarnir heimsóttir árlega. Erfitt er að heimsækja suma vitana þar sem þeir eru á skerjum eða á öðrum afskekktum svæðum og því er heimsóknnum haldið í lágmarki. Mikið hagræði væri að því að geta heimsótt vitana sjaldnar, á tveggja til þriggja ára fresti. Þar sem orkuþörf í vitum landsins er tiltöluleg lítil getur vetnisfylling enst lengi sem sparar þá viðhald og útskipti á rafhlöðum.

Efnarafalalausnir eru áreiðanlegri en dísilvélar þar sem minna er um færanlega íhluti sem veldur minni líkum á bilun [21]. Gensure lausnin frá Plug Power hefur áreiðanleika upp á 99,63% skv. prófunum sem voru framkvæmdar af þriðja aðila yfir þriggja ára tímabil. Dísilvélar hafa áreiðanleika allt upp í 88,4% [22].

Sólarsellur eru mjög áreiðanlegar og hafa 99,95% áreiðanleika skv. rannsókn NREL sem var framkvæmd á rúmlega 55.000 sólarsellum víðsvegar um heiminn á árunum 2000-2015 [23].

Vindmyllur hafa orðið áreiðanlegri með tímanum en ef þær eru í keyrslu allt árið um kring bila þær um einu sinni á ári að meðaltali [24]. Með nýrri tækni og reynslu af íslenskri vindmyllu er von um að þessar bilanir verði minniháttar og jafnvel engar. Reynsla er að koma með nýju myllunum með miklar vonir sem muni ganga vel í íslensku veðráttu og erfiðum aðstæðum.

Rafgeymar hafa verið notaðir víðs vegar og hafa reynst mjög áreiðanlegir [25]. Þeir eru hins vegar nokkuð óumhverfisvænir en það verður tekið betur fyrir í næsta kafla. Því er mikilvægt að velja umhverfisvæna rafgeyma sem Vegagerðin hefur verið að gera.

Ef vetni skal notað sem eldsneyti þarf að greina hversu mikið magn þarf að vera á staðnum þ.a. öruggt sé að það dugi þar til næst eigi að fylla á. Skv. upplýsingum frá Vegagerðinni fara ljósavélar af stað um þrisvar á ári og þurfa að duga í a.m.k. þrjá daga þegar það gerist. Ef nýta á efnarafala með sólarsellum í „offgrid“ lausnum þarf að huga að því að nægt vetni sé til staðar til að það dugi yfir vetrarmánuðina á meðan sólarljós er lítið. Efnarafalalausnir hafa misgóða nýtni og því þarf mismikið vetni fyrir hverja lausn. Dæmin sem voru tekin hér að ofan voru öll miðuð við lausn frá Intelligent energy svo auðvelt væri að bera þau saman en hún notar tæplega 60 g af vetni fyrir hverja kílóvattstund.

6 UMHVERFI OG ÖRYGGISMÁL

Ef dísilolía er tekin út sem orkugjafi fyrir varaafli erum við að stuðla að jákvæðari loftlagsáhrifum. Einnig er umhverfislegur ávinningur af því að hætta að flytja olíu til og geyma á þeim viðkvæmu svæðum sem vitarnir eru oft staðsettir á.

Notkun sýrurafgeyma getur leitt til slysa á fólki og umhverfi. Ef sýran kemst í snertingu við húð, augu eða aðra líkamshluta getur það haft slæmar afleiðingar. Þyngd geymanna er einnig svo mikil að bak- og axarmeisli geta komið fyrir og ef aðili missir geymi getur hann lent á fótum viðkomandi og ollið fótbroti sem dæmi [26]. Ef raflausnin hellist niður getur það ollið alvarlegum skemmdum á eignum og umhverfi [27]. Mikilvægt er að rafgeymum sé fargað á réttan hátt til að koma í veg fyrir skaðleg áhrif á umhverfið og heilsufar manna.

Flestir rafgeymanna sem notaðir eru í landsvitakerfinu í dag eru lútgeymar (NiCd) og þeir eru 100% endurvinnanlegir. Hins vegar er sömu sögu að segja af ertingu húðar og annarra líffæra ef þau komast í snertingu við raflausnina [28].

Vetni er ekki eitruð og miklu léttara en loft þ.a. ef það kemur upp leki þá gufar það fljótt upp. Dísilolía inniheldur hins vegar eitruð efni og þegar hún brennur myndast skaðleg gös. Orkuþéttleiki dísilolíu er 45,5 MJ/kg en vetni hefur orkuþéttleika í kringum 120 MJ/kg, svo það þarf minna magn af vetni fyrir sömu orkuþörf. Ef vetni lekur eða hellist niður mengast umhverfið ekki og heilsu manna og dýra er ekki ógnað. Jarðefnaeldsneyti getur hins vegar haft neikvæð heilsufarsleg áhrif á menn og dýr ef það lekur ásamt neikvæðum áhrifum á umhverfið. Vetni þarf meira súrefni til að springa en önnur jarðefnaeldsneyti, vetni getur sprungið með 18-59% súrefnisstyrk en bensín sem dæmi með um 1-3% styrk. Jarðefnaeldsneyti er því líklegra til að springa en vetni í súrefnisríku umhverfi [29]. En það þarf að flytja vetni í vitana og þar með eru umhverfisáhrifin einhver.

Vitarnir sem nýta ljósavélar sem varaafli nota mismikið dísil árlega og ekki eru til gögn um alla vitana. Samkvæmt þeim upplýsingum sem eru til þá hafa verið keyptir inn 15.420 L af dísilolíu frá árinu 2003, það er að segja um 860 L að meðaltali á hverju ári. Það gerir tæplega 41.000 kg af CO_2 þegar þeim er brennt eða 2.280 kg á ári. Það er ekki mikil eyðsla en með efnarafalalausn væri losun koltvísýrings hins vegar engin.

7 STOFN – OG REKSTRARKOSTNAÐUR

7.1 Núverandi lausnir

Tafla 7 sýnir kostnað núverandi lausna landsvitakerfisins. Stofnkostnaður er áætlaður út frá endurnýjunarverði búnaðar á verðlagi 2021. Þrátt fyrir að lútgymarnir geti náð 20 ára endingu er hér miðað við 15 ára afskriftatíma á öllum stofnkostnaði þar sem annar búnaður hefur skemmri endingu. Ekki er gert ráð fyrir fjármagnskostnaði.

Vegagerðin tók saman meðalrekstrarkostnað fyrir vita með ljósavélum annars vegar og eyja- og skerjavita hins vegar fyrir árin 2014 – 2020. Þessi kostnaður er án viðhaldskostnaðar mannvirkja. Rekstrarkostnaður eyja og skerjavita fyrir þessi ár er 311.889 kr. á ári og 609.337 kr. fyrir ljósavélarvitana. Þó þetta sé meðaltalið fyrir ljósavélarvitana skera fjórir vitar sig úr með mun hærri rekstrarkostnað en það eru Dyrhólaeyjarviti, Reykjanesviti, Grímseyjarviti-N og Dalatangi. Dyrhólaey er með hæsta rekstrarkostnaðinn eða ca. 1,6 millj. kr. á ári. Gert er ráð fyrir 20 % hærri rekstrarkostnaði þar sem vindorka er nýtt. Ekki bærust tölur fyrir vita sem eru tengdir veitu með rafgeyma sem varaafli en hér er gert ráð fyrir að árlegur rekstrarkostnaður þeirra sé 55 % af kostnaði við eyja- og skerjavita.

TAFLA 7 Kostnaður núverandi lausna, kr á ári

Núverandi lausn	Stofnkostnaður	Rekstrarkostnaður	Árlegur heildarkostnaður
Sólarsella og rafgeymir m.v. 60kWh á rafgeymi	8.637.423	311.889	887.717
Sólarorka, vindorka og rafgeymir m.v. 60kWh á rafgeymi	9.536.858	374.267	1.010.057
Veita og ljósavél	4.707.600	609.337	923.177
Veita og rafgeymar m.v. 60kWh á rafgeymi	6.094.600	171.539	577.846

Eins og sjá má í töflu 7 þá er heildarkostnaðurinn hæstur fyrir sólarvita með vindorku enda er orkuþörfin meiri þar en þar sem ekki er þörf á vindorku. Rekstrarkostnaðurinn er hins vegar hæstur þar sem ljósavélar eru varafl fyrir rafveituna. Einnig vekur athygli að heildarkostnaður er áþekkur fyrir ljósavélaþitana og sólarvitana.

Í þessu dæmi er hins vegar ekki reiknaður stofnkostnaður við að tengja vitana við rafveitu sem myndi hækka stofnkostnað verulega fyrir þær lausnir sem tengjast veitu.

7.2 Nýjar orkulausnir

Í töflu 8 má sjá nokkrar útfærslur af nýjum orkulausnum sem styðjast við efnarafala, vindmyllur og sólarsellur auk rafgeyma eftir því sem við á.

Fyrsta lausnin er sú nærtækasta en það er að skipta úr núverandi varaafli í veitutengdum vitum. Þ.e. að setja upp efnarafala og vetnistanka í stað ljósavéla og/eða rafgeyma. Stofnkostnaður er í efnarafali og vetniskútum ásamt uppsetningu. Kostnaður er árlegt viðhald og vetni.

Næsta lausn á við vita með frekar mikla orkunotkun þar sem hagstætt gæti verið að aftengjast veitunni. Þ.e. veðurstöð eða annar aukabúnaður við vitann. Hér er miðað við að vitinn verði að mestu orkulega sjálfbær með bæði sólarsellum og litla vindmyllu sem er spilað saman. Við þetta er hægt að lágmarka þörf fyrir rafgeyma miðað við rúmlega dægursveiflu en efnarafalar og vetni kæmu inn sem varaafli ef sól og vindur svíkja bæði í einu.

Í þriðja lagi kemur síðan lausn fyrir vita með lágmarksorkunotkun eða eina 1 kW peru. Hér miðast lausnin við vita sem nú eru tengdir veitu. Slíkir vitar yrðu þá sjálfbærir með nokkuð öflugri vindmyllu og lágmarks rafhlöðu. Með led perum minnkar orkuþörfin enn meira sem gerir mögulegt að minnka vindmyllu og/eða rafhlöðu. Sólarsella gæti einnig verið hluti af lausninni. Þetta er einnig fyrirkomulag sem vert er að skoða fyrir núverandi sólarvita þar sem rafgeymum yrði þá fækkað.

TAFLA 8 Kostnaður nokkurra mismunandi útfærsla á nýjum lausnum

Nýjar orkulausnir	Stofn- kostnaður	Rekstrar- kostnaður	Árlegur heildarkostnaður
Veita + 1kW efnarafall + 18 vetnistankar (214kWh) í stað ljósavélar og/eða rafgeyma	5.594.803	168.814	541.801
Stefnt að því að aftengja veitu - aukabúnaður við vita (1kW efnarafall+ 1.000kWh sólarsella+ 340kWh vindmylla+ 85 vetnistankar (1.000kWh)+ 24kWh rafgeymar)	11.870.062	195.855	987.192
Stefnt að því að aftengja veitu - einungis pera (1.000kWh vindmylla+ 32kWh rafgeymar)	7.156.160	144.161	621.238

Tafla 8 sýnir einnig mat á stofn og rekstrarkostnaði fyrir þessar lausnir. Þar sem þetta mat er byggt á takmörkuðum upplýsingum er óvissa hins vegar mikil í þessum tölum en þær ættu þó að gefa góða vísbendingu um kostnað við lausnirnar sem grunn að samanburði við kostnaðnúverandi lausna.

7.3 Samanburður

7.3.1 Vetni í stað rafgeyma – almennar forsendur

Í grunninn er verið að bera saman kostnað við rafgeyma sem orkugeymslu eða að geyma orkuna á formi vetnis í gaskútum. Hér skiptir stofnkostnaður því höfuðmáli.

Vegagerðin notar rafgeyma frá Sunice og er listaverð þeirra 0,6 EUR/Wh eða 90 kr. á Wh. Líklegt er að Vegagerðin njóti betri kjara og er því hér miðað við kostnaðinn 75 % af listaverði eða 67,5 kr. á Wh. Stofnkostnaður rafgeymanna er því hár en á móti kemur að rekstrarkostnaður er í lágmarki.

Ef tekið er dæmi af vetnistönkum fyrir 1.000 kWh ásamt tilheyrandi efnarafali þá er stofnkostnaðurinn 3,34 millj eða 3,34 kr á Wh miðað við þessa stærð eða margfalt minna en í rafgeymunum.

Ending rafgeyma og vetnistanka er svipuð eða um 20 ár. Ekki er reiknað með uppsetningarkostnaði hér en hann er eitthvað hærri fyrir vetnið en ferðirog futningur sambærilegt. Árlegur rekstarkostnaður er nánast enginn fyrir rafgeymana á meðan það þarf eina eftirlitsferð á ári fellur alltaf huti af þeim kostnaði á rekstur rafgeymanna. Það þarf hins vegar að fylla á vetni a.m.k. árlega en fyrir 1.000 kWh þarf u.þ.b. 60 kg af vetni sem kosta 35.000 kr. Á meðan heimsækja þarf vitana árlega er ekki aukaferð vegna vetnisins er þetta einnig lítil rekstrarkostnaður og því getur verið talsvert hagræði af útskiptingu rafgeyma fyrir efnarafala og vetni.

7.3.2 Efnarafalar – varafl í stað dísilvéla fyrir vita tengdir veitu

Hér er um að ræða eina nærtækustu breytinguna sem hefur möguleika á að skila talsverðri hagræðingu. Stofnkostnaður ljósavéla er heldur lægri en stofnkostnaður efnarafalalausna sem nemur u.þ.b. 20 % en rekstrarkostnaður er hins vegar metinn u.þ.b. 3,5 sinnum hærri fyrir ljósavél heldur en efnarafal með öllum fyrirvörum um óvissu. Árlegur heildarkostnaður er þá metinn tæplega helmingi hærri fyrir ljósavélina heldur en efnarafalinn, 920 á móti 540 þús kr. á ári.

Þessi efnarafala og vetnisláusn kemur líka til greina til að leysa rafgeyma af hólmi sem varafl fyrir vita tengda veitu. Þar er árlegur heildarkostnaður hins vegar nánast á pari. Stofnkostnaður eykst hins vegar með meiri orkuþörf sem gerir rafgeymana óhagstæðari.

7.3.3 Sólarvitar – eyjar og sker

Þetta eru vitar sem eru ekki tengdir veitu í dag og eru sjálfbærir með sólarorku. Flestir einungis með eina peru og margir komnir með LED peru og því lágmarksorkuþörf. Þrír af þeim sem hafa talsverða orkuþörf eru einnig með vindmyllu. Stofnkostnaður þessara núverandi lausna er talsverður eða á bilinu 8,5 – 9,5 millj. kr. sbr. töflu 7. Rekstrarkostnaður er hins vegar 3- 400 þús. kr. og heildarkostnaður tæplega ein milljón kr. á ári.

Fyrir vita með lágmarksorkuþörf er athugandi að setja upp 1.000 kWh á ári vindmyllu frá Icewind ásamt lágmarksorkugeymslu í rafgeymum. Ætti ekki að vera þörf á efnarafal. Ef þessi lausn gengur eftir með þessum hætti gæti árlegur heildarkostnaður lækkað í u.þ.b. 600 þús. kr. á ári eða um 40 %.

7.3.4 Viti orkulega úr leið en í vegasambandi aftengdur veitu

Hér er horft til lausna sem gera kleift að gera vita sem eru orkulega úr leið en með mun meiri orkuþörf en sólarvitarnir, sjálfbæra án veitutengingar. Hér er líklega um að ræða mesta heildarhagræðið ef hagræðing í dreifiveitu rafmagns væri einnig tekin með í dæmið. Gæti átt við allt að 25 vita.

Horft er til samsettrar orkuöflunarlausnar með bæði vindmyllu og sólarcellu sem meginorkugjafa. Með því að stilla þessar lausnir saman verður hlutverk rafgeymis í lágmarki eða aðeins rúmlega til að jafna dagsveiflu. Efnarafall og vetni koma hins vegar inn sem varafli ef vindur og sól bregðast bæði í einu.

Hér er stofnkostnaður nokkuð hár eða um 12 millj. kr. en árlegur rekstrarkostaður í lágmarki eða um 200 þús. kr. Þessi lausn er því í heildina dýrari en hinar tvær nýju orkulausnirnar nema Vegagerðin næði að njóta hluta þeirrar hagræðingar sem yrði í veitukerfinu við þessa breytingu.

8 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA

Helsta niðurstaða verkefnisins er að það eru nýjar og sjálfbærar orkulausnir í boði fyrir nánast allar aðstæður í vitum landsins sem eru umhverfissvænni en um leið jafnvel hagkvæmari en núverandi orkulausnir. Mismunandi lausnir hæfa hins vegar mismunandi aðstæðum en miða allar að auknu rekstraröryggi og lægri rekstrarkostnaði samhliða minni umhverfisáhrifum. Stór áfangi í því markmiði að lækka rekstrarkostnað er að auka orkulega sjálfbærni vitanna það mikið að fækka megi þjónustuheimsóknum verulega og jafnvel niður í þriðja hvert ár fyrir eyja- og skerjavita.

Hvað rekstraröryggi varðar þá er bilanatíðni efnarafalalausna einnig töluvert lægri, miðað við reynglutölur frá framleiðendum, en dísilvéla og vetni er talið öruggara meðferðar en dísilolía. Sólarsellur eru mjög áreiðanlegar og rafgeymar einnig. Vindmyllur ekki jafn áreiðanlegar en hafa orðið áreiðanlegri með tímanum og von er um að sú þróun haldist áfram. Eftir því sem lausnin verður flóknari því meiri líkur eru á bilun, þ.e. lausn sem inniheldur einungis efnarafal er ólíklegri til að bila en lausn sem inniheldur efnarafal, sólarsellu og vindmyllu. Skv. upplýsingum frá Vegagerðinni er bilanatíðni núverandi lausna lítil en hægt væri að takmarka hana enn frekar með því að skipta ljósavélum út fyrir efnarafalalausnir.

Mismunandi lausnir hafa verið dregnar saman í fjögur grunntilvik eftir mismunandi aðstæðum og tæknilausnum en þær eru:

1. Efnarafalalausn leysir rafgeyma af hólmi sem varaafi

Yfirleitt frekar lítill orkunotkun en getur þó verið veruleg yfir háveturinn. Vetnisgeymar ódýrari en rafgeymar. Getur verið fýsilegt þar sem afltoppur að vetri er hár og fjöldi rafgeyma þar með mikill.

2. Efnarafalalausn leysir ljósavél af hólmi sem varaafi

Efnarafalalausnin er að jafnaði fýsilegust við þessar aðstæður. Stofnkostnaður svipaður og heldur lægri rekstrarkostnaður við efnarafalalausnina. Í þessum 14 vitum sparast að meðaltali 860 lítrar af dísilolíu á ári sem gera 2.280 kg af CO_2 á ári. Auk þess er mengunarhætta af því að flytja olíu á staði sem eru oft á tíðum í ósnortinni náttúru.

Meðalrekstrarkostnaður fyrir ljósavélarvitana er um 600 þús. kr. á ári. Þó þetta sé meðaltalið fyrir ljósavélarvitana skera fjórir vitar sig úr með mun hærri rekstrarkostnað en það eru Dyrhólaeyjarviti,

Reykjanesviti, Grímseyjarviti-N og Dalatangi. Dyrhólaey er með hæsta rekstrarkostnaðinn eða ca. 1,6 millj. kr. á ári. Það er því nærtækt að þessir vitar verði í forgangi hvað varðar lausnir sem leysa ljósavélar af hólmi.

3. Sólarvitar – eyjar og sker

Um er að ræða þá vita sem eru á eyjum og skerjum eða á landi en ekki í vegasambandi og hafa lágmarks orkuþörf. Ein pera eða LED. Hér er nærtækast að nýta vindmyllur (t.d. frá Icewind) sem sjálfbæran orkugjafa í stað sólarorku í flestum tilvikum. Þá má fækka rafgeymum verulega sem dregur úr heildarkostnaði. Vindmyllurnar eru á lóðréttum ási og eru hannaðar til að standast íslenska veðráttu. Hingað til hefur rekstraröryggi vindmylla verið lakara en fyrir sólarcellur og rafgeyma sem kallar á fleiri þjónustuheimsóknir. Ef rekstraröryggi vindmylla stenst væntingar mætti e.t.v. fækka heimsóknum í vitana.

4. Viti orkulega úr leið en í vegasambandi aftengdur veitu

Hér er um að ræða þær lausnir sem hafa líklega í för með sér mesta hagræðið í tengslum við heildarorkukerfi landsvitanna. Fýsilegar lausnir þar sem vegasamband er fyrir hendi. Í raun um að ræða sömu grunnlausn og fyrir núverandi sólarvita. Þ.e. meginorkan kemur frá vindmyllu. Hér er aftoppur að vetri hins vegar hærrí og orkuþörfin almennt meiri. Því gætu bæst við sólarcellur og vetnisgeymar sem varafl. Gæti átt við 25 vita en þyrfti frekari rannsóknar við til að meta fýsileika þessara lausna betur. Hér er gerð tillaga um að það verði gert með sérstöku „pilot“ verkefni sem yrði þá framhaldi af þessari kortlagningu. Mikilvægt að vinna slíkt verkefni í samstarfi við Rarik.

Nú þegar íslenskt fyrirtæki er komið með vindmyllu sem virðist standa þær kröfur í ofsaveðrum sem við upplifum á Íslandi er líklega fýsilegt að líta til þeirrar lausnar. Kostnaðurinn miðað við efnarafal er minni og rekstrarkostnaður er lægri. Því er Icewind vindmylla líklega besti kosturinn á stöðum þar sem einungis er ljós og ekki krafa á varaafli. Aftengja veitu, setja upp vindmyllu og rafgeyma sem myndi nægja orkuþörfina eða skipta út sólarcellum og fækka rafgeymum fyrir sólarvitana. Þar sem orkuþörfin er meiri en ein pera og krafa á varaafli er vert að skoða efnarafal og jafnvel sólarcellu með vindmyllu frá Icewind.

Næstu skref í því verkefni að þróa umhverfisvænni og hagkvæmari orkulausnir fyrir vita landsins eru því eftirfarandi:

1. Skipta út ljósavélum og byrja á þeim fjórum vitum sem nefndir eru hér að framan.
2. Prófa Icewind vindmyllulausn í stað sólarvita
3. Pilot verkefni með fjölþættri sjálfbærri orkulausn í stað tengingar við veitu
4. Kortleggja hvar á að aftengja veitu og hvar ekki
5. Þróa áætlun um umbreytingu varaafls annars vegar (veita) og orkulega sjálfbærra vita hins vegar í umhverfisvænni og hagkvæmari orkulausnir.

Eins og áður hefur komið fram var víða leitað fanga við upplýsingaöflun fyrir þetta verkefni. Mikil þekking hefur þar með byggst upp á þessum geira og viðskiptasambönd komist á sem munu bæði nýtast við frekari verkefni tengd vitum landsins en ekki síður í annarri starfsemi þar sem fýsilegt er að skipta út varaflum sem byggir á ljósavélum eða dýrum rafgeymalausnum. Á t.d. við um fjarskiptabúnað á afskekktum stöðum, jarðgöng og aðra viðkvæma starfsemi.

9 HEIMILDASKRÁ

- [1] Kristinn Haukur Guðnason. „Neyðarlínan gerir tilraunir með notkun ammoníaksorku“, Fréttablaðið, 2021. Aðgengilegt á: <https://www.frettabladid.is/frettir/neydarlinan-gerir-tilraunir-med-notkun-ammoniaksorku/> [Sótt 8. jún 2021]
- [2] GenCell, „GenCell“, GenCell Ltd, 2014-2021. Aðgengilegt á: <https://www.gencellenergy.com/> [Sótt 8. jún 2021]
- [3] „Horizon Fuel Cell Technologies“, TW Horizon Fuel Cell Technologies. <https://www.horizonfuelcell.com> [sótt jún. 08, 2021].
- [4] „Plug Power“, Plug Power. Aðgengilegt á: <https://www.plugpower.com/> [Sótt 8. jún 2021]
- [5] „Ballard“, Ballard Power Systems. Aðgengilegt á: <https://www.ballard.com/> [Sótt 8. jún 2021]
- [6] „Bloom energy“, Bloom energy. Aðgengilegt á: <https://www.bloomenergy.com/> [Sótt 8. jún 2021]
- [7] „Hydrogen fuel cell stacks & systems“, jún. 17, 2020. <https://powercell.se/en/start> [Sótt 5. júl 2021]
- [8] „About IE / Company overview | Intelligent Energy“. <https://www.intelligent-energy.com/about-ie/company-overview/> [Sótt 5. júl 2021]
- [9] „Company“, SFC Energy. <https://www.sfc.com/en/company/> [Sótt 29. júl 2021]
- [10] „Nilsson Energy“, Nilson Energy. Aðgengilegt á: <https://nilssonenergy.com/> [Sótt 8. jún 2021]
- [11] „Fuel cell“, Wikipedia. maí 30, 2021. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fuel_cell&oldid=1025923495 [Sótt 9. jún 2021]
- [12] „Hversu mikla orku þarf til að rafgreina vetni úr vatni? Við hvaða straum næst besta nýtnin?“, Vísindavefurinn. <http://www.visindavefur.is/svar.php?id=1647> [Sótt 6. júl 2021]
- [13] „HYinONE | Professional | Catalogue | H2Planet - Re-evolution started - Hydrogen & fuel-cell experience“. <https://www.h2planet.eu/nl/products/professional/HYinONE> [Sótt 5. júl 2021]

- [14] „Vefverslun Skorra“. <https://Skorri.is> [Sótt03. ágú 2021]
- [15] „Configure Your System | Personalised Quotes“, *Enapter*. <https://www.enapter.com/configure-your-system> [Sótt 03. ágú 2021]
- [16] „Vindmylla 400w – 600w / 12 volt | Brattur.is“. <https://brattur.is/vara/vindmylla-400w-600w-12-volt/> [Sótt 03. ágú 2021]
- [17] M. Penev, C. Hunter, og J. Eichman, „Energy Storage: Days of Service Sensitivity Analysis“. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73520.pdf> [Sótt 12. júl 2021]
- [18] Aron Óttarsson, „Sólarorka fyrir afskekkt notendur á norðlægum slóðum“, EFLA, Reykjavík. 2019.
- [19] „Solar cell efficiency“, *Wikipedia*. jún. 02, 2021. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Solar_cell_efficiency&oldid=1026458750 [Sótt 19. júl 2021]
- [20] „Vindauðlindin á Íslandi“, *Veðurstofa Íslands*. <https://www.vedur.is/vedur/vedurfar/vindorka/audlindin/> [Sótt 27. júl 2021]
- [21] „Fuel Cell Basics“, *Fuel Cell & Hydrogen Energy Association*. <https://www.fchea.org/fuelcells> [Sótt 7. júl 2021]
- [22] Plug Power, „Comparing backup Power Options for Communications“. Sótt: júl. 07, 2021. Plug Power. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: https://www.plugpower.com/wp-content/uploads/2015/07/FCvGen_Stat_F1_101416.pdf
- [23] „Researchers at NREL Find Fewer Failures of PV Panels and Different Degradation Modes in Systems Installed after 2000“. <https://www.nrel.gov/news/program/2017/failures-pv-panels-degradation.html> [Sótt 16. júl 2021]
- [24] „Wind Turbine Reliability“. <https://www.exponent.com/knowledge/alerts/2017/06/wind-turbine-reliability> [Sótt 16. júl 2021]
- [25] G. J. May, A. Davidson, og B. Monahov, „Lead batteries for utility energy storage: A review“, *Journal of Energy Storage*, b. 15, bls. 145–157, feb. 2018, doi: 10.1016/j.est.2017.11.008.
- [26] „1417.pdf“. Sótt: júl. 06, 2021. [Rafrænt]. Aðgengilegt á <http://safety.ucanr.edu/files/1417.pdf>
- [27] S. SA, „Lead acid batteries“, *SafeWork SA*, apr. 06, 2020. <https://www.safework.sa.gov.au/workplaces/chemicals-substances-and-explosives/lead-acid-batteries> [Sótt 6. júl 2021]
- [28] „Nickel-cadmium Batteries: Basic theory and maintenance procedures“, *Aviation Pros*, maí 2002. <https://www.aviationpros.com/engines-components/article/10387569/nickelcadmium-batteries-basic-theory-and-maintenance-procedures> [Sótt 09. ágú 2021]
- [29] Christian Tae, „Hydrogen Safety: Let’s Clear the Air“, *NRDC*. <https://www.nrdc.org/experts/christian-tae/hydrogen-safety-lets-clear-air> [Sótt 6. júl 2021]
- [30] „Vindmylla 500W | Icewind.is“. <https://www.icewindusa.com/njord/> [Sótt 1. Nóv 2021]