Lokaverkefni til BS-prófs
í viðskiptafræði

Fjárfestingar í orkusparandi lausnum

Úttekt á niðurgreiðslum til húshitunarkostnaðar og varmadælum

Fannar Freyr Ásgeirsson

Leiðbeinandi: Gylfi Magnússon, dósent

Júní 2017

HÁSKÓLI ÍSLANDS
FÉLAGSVÍSINDASVIÐ
VIÐSKIPTAFRÆÐIDEILD

Fjárfestingar í orkusparandi lausnum

Úttekt á niðurgreiðslum til húshitunarkostnaðar og varmadælum

Fannar Freyr Ásgeirsson

Lokaverkefni til BS-prófs í viðskiptafræði

Leiðbeinandi: Gylfi Magnússon, dósent

Viðskiptafræðideild

Félagsvísindasvið Háskóla Íslands

Júní 2016

Fjárfestingar í orkusparandi lausnum.

Ritgerð þessi er 12 eininga lokaverkefni til BS-prófs við Viðskiptafræðideild, Félagsvísindasviði Háskóla Íslands.

© 2017 Fannar Freyr Ásgeirsson

Ritgerðina má ekki afrita nema með leyfi höfundar.

Prentun: Svansprent

Reykjavík, 2016

Formáli

Þessi ritgerð er 12 ECTS eininga lokaverkefni í B.S. námi við fjármálasvið viðskiptafræðideildar Háskóla Íslands. Leiðbeinandi minn við gerð þessarar ritgerðar var Gylfi Magnússon, dósent við Háskóla Íslands og þakka ég honum kærlega fyrir. Einna helst vil ég þakka Sæþóri Ásgeirssyni, bróður mínum, innilega fyrir ómetanlega aðstoð við mótun hugmyndarinnar og innsýn inn í heim endurnýjanlegrar orku á Íslandi. Síðast en ekki síst vil ég þakka Jóni Ragnari Guðmundssyni, sérfræðingi hjá Orkustofnun, fyrir skjót svör og góðar upplýsingar.

Reykjavík, 12.maí 2017

Fannar Freyr Ásgeirsson

Útdráttur

Háum fjárhæðum er varið ár hvert í niðurgreiðslur ríkisins á húshitunarkostnaði til þeirra aðila sem styðjast við rafhitun á sínum heimilum. Ríkið býður þessum aðilum upp á eingreiðslu niðurgreiðslna, hafi þeir hug að því að fjárfesta í orkusparandi lausnum. Markmið ritgerðarinnar var að kanna hversu miklum orkusparnaði var mögulegt að ná með fjárfestingu í orkusparandi lausnum og hvort þær séu yfir höfuð arðbærar.

Teknar voru fyrir fjórar sviðsmyndir þar sem aðstæðum var breytt hverju sinni til að endurspegla mismunandi aðstæður ólíkra heimila og til að bera saman orkusparnað mismunandi gerða varmadælna. Einnig var stuttlega fjallað um fjárfestingar einstaklinga í endurnýjanlegum orkugjöfum, kerfislægar hindranir og mögulega uppsetning á efnahagslegum hvötum til orkuframleiðslu einstaklinga.

Meginniðurstöður ritgerðarinnar eru þær að með fjárfestingu í orkusparandi lausnum má ná gríðarlegum orkusparnaði. Raforkureikningur viðkomandi lækkar töluvert en sökum fastra gjalda er hann ekki að öllu í samræmi við minni orkunotkun. Samkvæmt útreikningum eru fjárfestingar í varmadælum í flestum tilfellum arðbær fjárfesting. Jákvætt núvirði skapast yfir líftíma varmadælunnar ef stofnkostnaður helst undir tveimur milljónum króna. Eingreiðsla niðurgreiðslna fer eftir áætluðum orkusparnaði og meðalraforkunotkun síðustu fimm ára og getur hún því gengið langleiðina upp að tveggja milljóna króna stofnkostnaði.

Áhugaleysi stjórnvalda að standa við skuldbindingar sínar um eingreiðslu niðurgreiðslna gæti verið ein af ástæðum þess að ekki sé búið að varmadæluvæða köld svæði á Íslandi meira en raun ber vitni. Svo virðist sem málaflokkurinn sé fjársveltur líkt og aðrir flokkar og reikna má með að fjárlög 2017 dugi rétt til lögbundinna niðurgreiðslna á húshitunarkostnaði.

Efnisyfirlit

Formáli 3

Útdráttur 4

Efnisyfirlit 5

Myndaskrá 7

Töfluskrá 7

1 Inngangur 8

2 Fræðilegt yfirlit 9

2.1 Jarðfræði 9

2.1.1 Lághitasvæði 9

2.1.2 Háhitasvæði 9

2.2 Orkulindir 9

2.2.1 Jarðvarmi 11

2.2.2 Vindorka 12

2.2.3 Sólarorka 12

2.3 Búnaður 13

2.3.1 Varmastuðull 13

2.3.2 Varmadælur 13

2.3.3 Vindhverflar 16

2.3.4 Sólarrafhlöður 17

2.4 Hagkvæmismat 18

2.4.1 Arðsemismat 18

2.4.2 Ávöxtunarkrafa 18

2.4.3 Heildarnúvirði (NPV) 18

2.4.4 Innri Vextir (IRR) 19

2.5 Raforkukerfi 20

2.5.1 Ísland 20

2.5.2 Feed-in Tariff 21
2.5.3 Net Metering 22
2.6 Niðurgreiðslur 24
2.6.1 Lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar 25
3 Fjárfesting 26
3.1 Sviðsmynd 1 27
3.2 Sviðsmynd 2 32
3.3 Sviðsmynd 3 33
3.4 Sviðsmynd 4 36
3.4.1 Innmötun á dreifikerfið 39
4 Niðurstöður & Umræður 42
5 Lokaorð 45
Viðauki A – Teikning af húsnæði 46
Viðauki B - Sviðsmynd 1 47
Viðauki C – Sviðsmynd 2 48
..... 48
Viðauki D – Sviðsmynd 4 49
..... 49
..... 49
6 Heimildaskrá 50

Myndaskrá

Mynd 1: Orkunotkun Íslands, 1987-2014. 11

Mynd 2: Ferli vatn í vatn varmadælu..... 14

Mynd 3: Tvær uppsetningar á jarðvarmadælum, lóðrétta og lárétta uppsetningu..... 15

Mynd 4: Raforkukerfi Landsnets árið 2010. 20

Mynd 5: Samband varmastuðulsins við útihitastig og hitastig þess vatns sem dælt er inn á ofnakerfið. 32

Mynd 6: Fjárflæði og núllpunktsgreining sviðsmyndar 3. 35

Mynd 7: Fjárflæðis og núllpunktsgreining sviðsmyndar 4..... 38

Mynd 8: Samanburður á ársnotkun á raforku fyrir og eftir fjárfestingu í varmadælu..... 43

Töfluskrá

Tafla 1: Ráðstöfun fjárlagaliðar 11-373 á árinu 2014. 25

Tafla 2: Keyrsla varmadælna 28

Tafla 3: Framlag hverrar varmadælu í formi varmaorku. 28

Tafla 4: Kostnaðaráætlun sviðsmyndar 1. 28

Tafla 5: Kostnaðaráætlun sviðsmyndar 4 37

Tafla 6: Tenging við rafgeymi..... 40

Tafla 7: Tenging við dreifikerfið 40

Tafla 8: Upphæð greiðslu frá RARIK við innmötun raforku. 41

1 Inngangur

Þegar kemur að húshitun og framleiðslu á raforku hefur Ísland mikla sérstöðu. Um 99% af allri framleiddri raforku hér á landi kemur frá endurnýjanlegum orkugjöfum, vatnsafli og jarðhita (MIT Energy Initiative, 2017). Við virkjun á jarðhita er mögulegt að veita heitu vatni til byggðar og hita þannig upp heimilin í landinu. Þessi jarðhiti takmarkast þó við legu landsins á Atlantshafshryggnum, flekamótum Norður-Ameríkuflekans og Evrasíuflekans (Guðmundur Pálmason, 2005). Vegna dreifingar byggðar hér á landi búa ekki allir við þann kost að geta nýtt sér jarðhita til húshitunar. Heilu byggðarfélögin á Vestfjörðum og Austurlandi styðjast við rafhitun á sínum heimilum en þessi rafhitun getur orðið gríðarlega kostnaðarsöm. Íslenska ríkið niðurgreiðir húshitunarkostnað heimila á þessum svæðum til að koma til móts við þá íbúa sem þar búa (Orkuspárnefnd, 2016). Á árinu 2015 varði hið opinbera 1.479,5 m.kr. til málaflokksins og því sést að um töluverða fjármuni er að ræða ár hvert. Mögulegt er að sækja um eingreiðslu þessarra niðurgreiðslna og fjárfesta í orkusparandi lausnum til húshitunar. Samanborið við hefðbundna rafhitun, notar varmadæla mun minna rafmagn til að framleiða jafn mikla varmaorku (Hadorn, 2015). Í þessu verkefni er leitast eftir því að kanna hve miklum orkusparnaði má ná með fjárfestingu í varmadælum og hvort sjá megi breytingar á raforkureikningnum fyrir og eftir fjárfestingu. Einnig er miðað að því að kanna hvort skuldbindingar ríkisins til bæði niðurgreiðslna og eingreiðslna séu raunhæfar.

Uppsetning ritgerðarinnar er nokkuð hefðbundin. Í upphafi ritgerðarinnar er farið yfir fræðilega þætti og gerð góð skil á þeim hugtökum sem stuðst er við í ritgerðinni. Að loknu fræðilegu yfirliti verður farið stuttlega yfir hvernig niðurgreiðslum ríkisins á húshitnarkostnaði er háttað. Í fjórða kafla verða fjórar sviðsmyndir kynntar til sögunnar. Sviðsmyndirnar samanstanda af fjárfestingum í orkusparandi lausnum og er aðstæðum í hverri og einni breytt til að endurspegla ólíkar aðstæður sem einstaklingar kunna að búa við. Í lok hverrar sviðsmyndar mun útreikningur á hagkvæmni og arðbærni fjárfestingunnar eiga sér stað. Að lokum verður farið stuttlega yfir fjárfestingar einstaklinga í endurnýjanlegum orkjugjöfum, uppsetningu á fjölorkukerfi (e. *hybrid power system)* og þær kerfislægu hindranir sem einstaklingar standa frammi fyrir þar.

2 Fræðilegt yfirlit

2.1 Jarðfræði

2.1.1 Lághitasvæði

Lághitasvæði á Íslandi eru um 250 talsins og liggur meginþorri þeirra beggja megin við gosbeltið þar sem jarðskorpuflekarnir reka frá flekamótum og kólna. Svæðin einkennast af heitum laugum, volgrum og hverum þar sem regnvatn hefur seytlað niður berggrunninn, hitnað og þrýst sér upp á yfirborðið (Guðmundur Pálmason, 2005). Talsverðan hita er að finna á þessum svæðum en sökum lélegrar vatnsleiðni í bergi teljast þessi svæði ekki fýsileg til virkjunar. Þessi svæði eru því oft kölluð þurr eða köld svæði og teljast Austurland og Vestfirðir einkum til kaldra svæða. Sökum flekahreyfinga í aldanna rás hafa gosbelti færst til og jarðhitavirkni flust. Það er af þeim ástæðum sem finna má jarðhita á Vestfjörðum, en talið er að sá hiti sé eftirhreytur gamals gosbeltis sem lá yfir suðaustanverðum Vestfjörðum (Guðmundur Pálmason, 2005).

2.1.2 Háhitasvæði

Samkvæmt mati Íslenskra orkurannsókna eru á milli 25-40 háhitasvæði á Íslandi og liggja þau öll á gosbeltinu frá Reykjanesskaga, norður í Þingeyjarsýslu (ÍSOR, e.d.). Guðmundur Pálmason skilgreindi háhitasvæði í jarðhitabók sinni sem svæði þar sem hiti á á 1000 metra dýpi væri yfir 200°C. Þessi svæði hafa takmarkaðan líftíma og er líftími þeirra háður kvikumagni og vatnsleiðni bergs á hverjum stað. Talið er að líftími háhitasvæða séu aðeins fáein hundrað þúsund ár sem telst örskammur tími í augum jarðfræðinnar. Háhitasvæðin liggja langflest á mótum Norður-Ameríku- og Evrasíuflekans en þar eru skilyrði einstaklega góð til öflunar jarðvarma. Þessi svæði eru rík af varma í heitum kvikuinnskotum og vantsgengri jarðskorpu (Guðmundur Pálmason, 2005).

2.2 Orkulindir

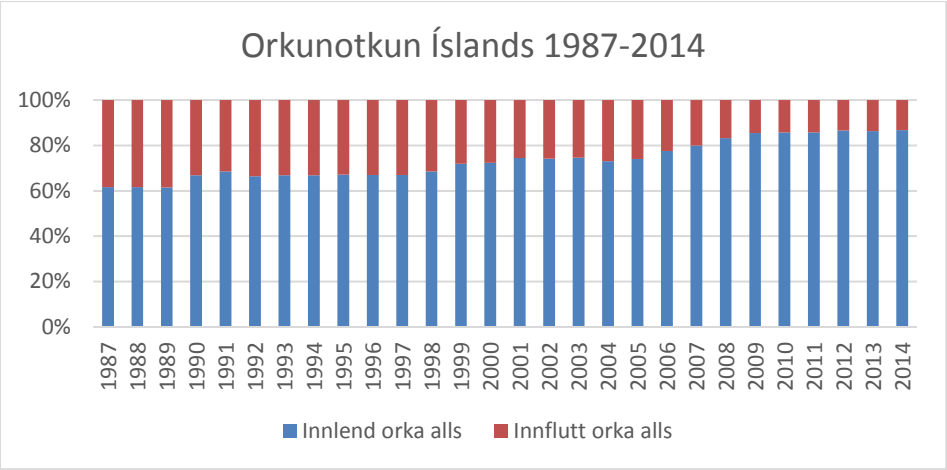
Tækniframfarir dreifileiðna og endurnýjanlegra orkukerfa hafa, ásamt auknum áherslum á minnkun gróðurhúsalofttegunda, leitt til vaxandi áhuga og þróunar á endurnýjanlegum og orkusparandi lausnum (Pehnt, 2006). Áreiðanlegt framboð á orku er nauðsynlegt til að hagkerfi heimsins gangi á skilvirknislegan hátt. Í þróuðum hagkerfum nema orkukaup á milli fimm og tíu prósent af þjóðarframleiðslu ár hvert. Ólíklegt er að þessar tölur muni lækka en orkunotkun heimsins jókst tífalt á tuttugustu öldinni. Aukin iðnvæðing og

eftirspurn vanþróaðra landa eftir jarðefnaeldsneyti veldur óhug og skýrt er að yfirþyrmandi þörf er á skilvirkni og sjálfbærri orkuþróun (Twidell & Weir, 2015).

Þegar talað er um hugtakið sjálfbæra þróun er átt við að lifa, framleiða og neyta á þann hátt sem uppfyllir þarfir nútímans en skerðir ekki möguleika komandi kynslóða að uppfylla sínar þarfir (Twidell & Weir, 2015). Orkulindum er oftast skipt upp í tvo flokka, endurnýjanlegar og endanlegar orkulindir. Endurnýjanlegar orkulindir á borð við sólarorku, vindorku og vantsafl skerða ekki tækifæri afkomenda okkar til að nýta sér sömu orkulindar. Þessar orkulindir endurnýja sig sjálfar á sama tímakvarða og á sama stað er af þeim er tekið (Guðmundur Pálmason, 2005).

Endanlegir orkugjafar á borð við jarðefnaeldsneyti hafa fylgt mannkyninu í tímans rás og eru enn í dag ein helsta uppspretta okkar af orku. Viðskipti með jarðefnaeldsneyti nemur milljörðum dollara ár hvert og hefur verð á olíu efnahagsleg áhrif á nærri öll lönd heims (Curley, 2012). Lönd á borð við Bandaríkin og Kína hafa stuðst hvað einna mest við olíu síðastliðna áratugi og jókst olíunotkun Kína á árunum 2000 til 2014 úr 4.689 tunnum á dag í 11.493 (EIA, 2017). Þessi aukna notkun jarðefnaeldsneytis hefur í för með sér gríðarlegar afleiðingar á loftslag heimsins með losun gróðurhúsalofttegunda. Aukin losun lofttegunda á borð koltvíoxíð og metan hefur í för með sér hækkandi hitastig jarðarinnar, bráðnun jökla og hækkun sjávarmáls. Ógna þessi áhrif lífsgæðum hér á jörðinni og hafa fjölmargar þjóðir heimsins nú gert breytingar á orkustefnum sínum. Með Parísarsáttmálanum hafa þær sameinast á það að draga úr mengun og halda hlýnun jarðar undir 2°C (Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins, 2015).

Eins og sjá má á mynd 1 voru yfir 86% af orkuþörfum Íslendinga árið 2014 mætt með grænni orku, jarðhita eða vatnsafli. Notkun jarðefnaeldsneytis, kola eða olíu hefur á sama móti minnkað um 25% frá árinu 1987 og fluttu Íslendingar aðeins inn 13,2% af orku í formi kola og olíu árið 2014 (Hagstofa Íslands, 2017). Áætlað er að orkunotkun Íslendinga í formi olíu muni standa í stað á næstu árum eða til ársins 2020. Eftir það mun hún lækka og nýjir orkugjafar munu taka við (Orkuspárnefnd, 2016).



Mynd 1: Orkunotkun Íslands, 1987-2014.
Heimild: Hagstofa Íslands.

2.2.1 Jarðvarmi

Ef við skoðum jarðhita er hann almennt flokkaður sem endurnýjanleg orkulind en við nánari athugun kemur að ljós að annað er uppi á teningnum. Í jarhitageymum í iðrum jarðar safnast varmaorka saman í vatni og bergi á tugum eða hundruðum þúsundum ára. Vegna þess gríðarlega hita og þrýstings sem vatnið verður fyrir á svo miklum dýpi rýs það upp til yfirborðs, hvellsýður og myndar gufu. Virkjun jarðvarma felst í að fanga þessa gufu og nýta hana til þess að knýja hverfil sem síðan knýr rafal og framleiðir rafmagn (Guðmundur Pálmason, 2005). Ef vinnsla reynist of mikil og vatnsbyrðir jarðhitageymisins fara að þrjóta er nauðsynlegt að draga úr vinnslu tímabundið. Flestar jarðvarmavirkjanir hafa þó brugðið á það ráð að dæla vatni aftur niður í jörðina eftir það hefur kólnað til að halda bæði þrýstingi uppi og hringrásinni gangandi (Guðmundur Pálmason, 2005). Einnig er niðurdælingin notuð til að dæla aftur niður óæskilegum efnum á borð við koldíoxíð(CO_2) og brennisteinsvetni(H_2S) sem koma upp með gufunni. Mikill meirihluti eða 75-80% af því brenniseinsvetni sem dælt er aftur niður binst verður að steind innan sex mánaða og bindst berginu (Orkuveita Reykjavíkur, 2015).

Háhiti á gosbeltinu endurnýjast upp að vissu marki. Myndun nýrra háhitasvæða og endurnýjun kvikuinnskota á sér stað öðru hverju í jarðfræðilegu samhengi. Langan tíma tekur hinsvegar fyrir ný háhitasvæði að myndast og í ljósi þess hefur neyslumynstur okkar í dag áhrif á neyslumöguleika næstu kynslóða. Niðurstaðan er sú að við áframhaldandi hraða í orkuvinnslu er jarðvarminn ekki endurnýjanleg orkulind. Varmaforðinn sem sótt er í er hinsvegar gríðarlega mikill og því ólíklegt að forðinn gangi til þurrðar í náinni framtíð

(Guðmundur Pálmason, 2005). Eins og allt annað í náttúrinni er það undir móður jörð komið hversu langt við getum gengið.

2.2.2 Vindorka

Vind- og sólarorka eru tvær af fáum endurnýjanlegum orkugjöfum sem nóg er af á jörðinni og geta séð öllu mannkyninu fyrir orku (Ahrens, Diehl, & Schmehl, 2014). Vindur eða vindorka er til staðar nánast hvar sem er í heiminum en er þó mismikil milli svæða. Umbreyting á sólarorku í vindorku skilur ekki eftir sig neitt kolefnisfótspor nema það sem verður til við uppsetningu og framleiðslu á vindhverflum. Vindorka verður til þegar tvö svæði, t.d. pólarnir og miðbaugur, fá mismikla orku frá sólinni. Er þau fá mismikla orku hitna þau mismikið sem leiðir til ójafns loftþrýstings. Heita loftið rís upp og það kalda leitar niður. Til verður ákveðið munstur eða hringrás þar sem heitt loft leitar frá miðbaug í átt að pólunum tveimur. Flutningur lofts er hinsvegar ekki svona einfaldur og lýst var hér að ofan og flækjast hlutirnir örlítið sökum snúnings og lögun jarðarinnar. Snúningurinn og legan kynna til sögunnar Coriolis kraftinn sem veldur því að vindar og veðurkerfi hreyfast eins og þau gera (Landberg, 2016). Ekki verður farið í frekari útleiðslu eða útskýringar á vind og vindorku að svo stöddu en höfundur bendir áhugasömum á bók Lars Landberg, *Meteorology for Wind Energy.*

2.2.3 Sólarorka

Sólin gefur frá sér geislun með því að umbreyta massa í orku í gegnum kjarnasamruna. Er vetniskjarnar brenna saman í iðrum sólarinnar og mynda helíum tapast lítilháttar magn af massa en til verður gríðarlegt magn af orku. Þessi orka berst til jarðarinnar í formi geislunar, hita og ljóss. Þrátt fyrir það að sólin framleiði þetta mikla magn af orku dag hvern og geti fullnægt orkuþörfum heimsins á rúmri klukkustund styðst meirihluti jarðarbúa við jarðefnaeldsneyti til orkuframleiðslu (Mackay, 2015). Helstu vandamálin við sólarorku er óstöðugt framboð hennar og erfiðleikar við nýtingu. Þrátt fyrir að þéttleiki þeirrar geislunar sem berst hér til jarðar frá sólinni sé 1,3 kW/m^2 við miðbaug er skilvirkni sólarrafhlaðna aðeins rúm 20% (Mackay, 2015).

2.3 Búnaður

2.3.1 Varmastuðull

Varmastuðull fyrir varmadælur er hlutfallið á milli varmans, eða orkunnar sem dælan gefur frá sér, og því rafmagni sem hún notar. Varmastuðullinn lýsir því hversu skilvirk varmadælan er. Skilvirknin fer mestu leiti eftir gerð varmadælunnar og hitastigi utandyra. Eftir því sem hitastig er kaldara, því minni varma fær varmadælan úr umhverfinu, varmastuðullinn lækkar og skilvirkni hrapar. Varmastuðull verður því hærri eftir því sem hitamunur á varmauppsprettu og vinnslumiðlinum er minni. Vandamál á borð við ísingu í viftum og frost í jörðu hafa hrjáð hönnuði varmadælna í áratugi en tækninni fleytir sífellt fram og eru þessu vandamál að mestu úr sögunni í dag (Cengal & Boles, 2002).

$$Coefficient\ of\ Performance_{HP} = \frac{Q_H}{W_{net,in}}$$

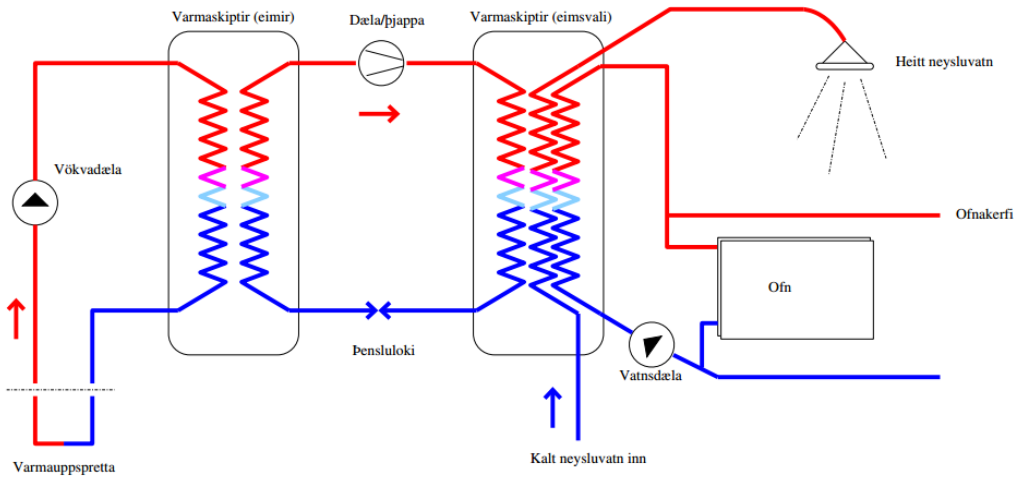
Jafna 1
Heimild: Cengal & Boles, 2002.

Varmastuðullinn er mikilvægar þegar rætt er um varmadælur því í raun fer húshitunarsparnaður eftir varmastuðlinum. Eftir því sem hann er hærri því meiri verður sparnaðurinn. Tökum sem dæmi varmadælu með COP 4. Fyrir hverja kílóvattstund af raforku sem notuð er fást 4 kílóvattstundir af varma og þar af leiðandi má draga úr 75% af kostnaði við húshitun (Cengal & Boles, 2002).

2.3.2 Varmadælur

Eins of flestum er kunnugt leitar hiti í átt að minnkandi hitastigi, frá svæðum þar sem hitastig er hærra, til þeirra svæða þar sem hitastig er lægra. Það er á þessum fræðum sem varmadælan byggir. Markmið varmadælna er að halda stöðugu hitastigi innan ákveðins rýmis og er þessu náð með að veita hita frá nærliggjandi umhverfi að varmadælunni og þaðan inn, þar sem heitara eða kaldara lofts er þörf (Cengal & Boles, 2002). Varmadæla flytur varma frá umhverfinu inn í húsnæði með hjálp eimis (e. *evaporator*), eimsvala (e. *condenser)* og vinnslumiðils (e. *refrigerant).* Við upphaf ferilsins er vinnslumiðillinn kaldur vökvi undir lágum þrýstingi. Vökvinn flæðir í gegnum leiðslur sem varminn úr umhverfinu streymir um. Vinnslumiðillinn er kaldari en varminn úr umhverfinu og því streymir varminn yfir í vinnslumiðilinn. Er vinnslumiðillinn hitnar verða hamskipti og hann breytist í gas undir lágum þrýstingi. Gasið safnast saman í þjöppu (e. *compressor)* sem eykur

þrýstinginn sem gasið er undir og við það hækkar hitastig þess til muna. Er vinnslumiðilinn er orðinn nógu heitur, dælir þjappan gasinu í átt að eimsvalanum þar sem varmaskipti eiga sér stað milli vinnslumiðilsins og loftsins eða vatnsins sem veita á inn í svæðið til hitunar. Á þessu stigi er vinnslumiðillinn búinn að eiga varmaskipti og því kominn aftur í vökvaform. Vökvinn rennur nú í gegnum þennsluloka (e. *expansion valve)* þar sem hiti og þrýstingur vökvans lækka. Vinnslumiðillinn er nú orðinn nógu kaldur og undir það litlum þrýstingi að ferlið getur hafist upp á nýtt (Cengal & Boles, 2002). Lykillinn að virkni varmadælunnar er í raun virkni vinnslumiðilsins, þ.e.a.s. eiginleikum hans við að gufa upp og verða að gasi við lágt hitastig. Algengasti miðillinn er R-134a og gufar hann upp eða sýður við -26°C sem gerir það að verkum að hægt er að setja miðilinn undir þrýsting og þannig hækka suðumark hans. Mögulegt er því að láta vökvann draga í sig orku í formi hita úr umhverfinu þrátt fyrir það að kalt sé úti og láta hann skila orkunni af sér inn í húsið (Hundy, Trott, & Welch, 2016).

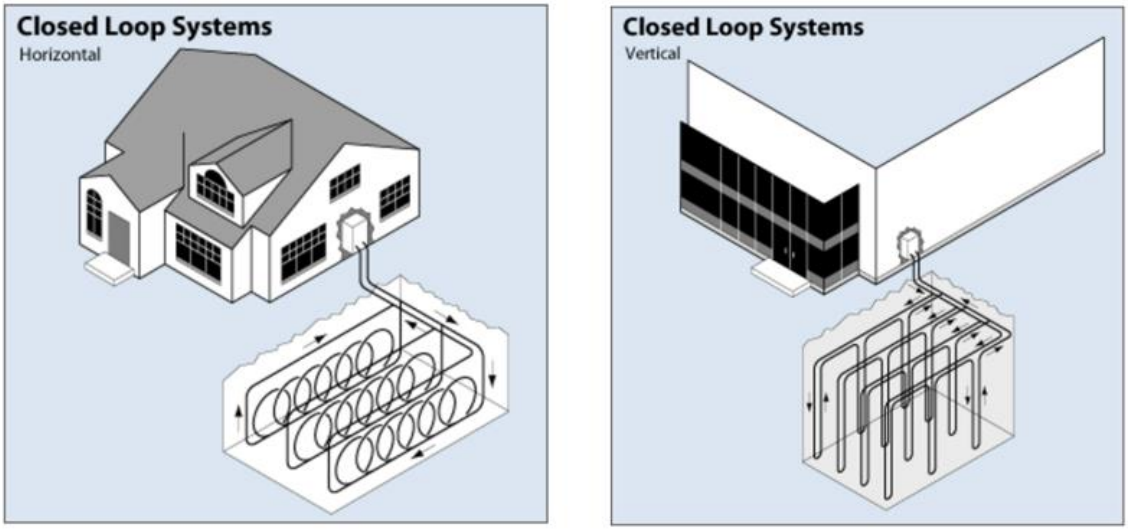


Mynd 2: Ferli vatn í vatn varmadælu.
Heimild: Ragnar Ásmundsson, 2005.

2.3.2.1 Jarðvarmadæla

Jarðvarmadælur nýta sér tiltölulega stöðugan hita jarðvegsins sem hitauppsprettu og skiptimiðil og eru því ekki jafn háðar veðri og aðrar varmadælur. Dælan er þannig sett upp að allur viðkvæmur búnaður er staðsettur innanhús en leiðslur liggja út þar sem þær eru grafnar niður í jörðina. Hversu djúpt þarf að grafa leiðslurnar fer eftir hitastigi jarðvegsins og hvort leiðslurnar eru lagðar lóðréttar eða láréttar. Dýptin er venjulega á milli eins og

tveggja metra en getur farið upp í 100 metra við lóðrétta lagningu (Cengal & Boles). Ef skoðuð eru jarðhitagögn frá sjálfvirkri veðurstöð frá Veðurstofu Íslands á Hallormsstað frá árunum 2011 til 2017 má sjá að hitastig í jörðu á hálfs meters dýpi eru að meðaltali 4,13°C (Veðurstofa Íslands, 2017). Mögulega væri því óþarfi að standa í umfangsmiklum jarðvegsborunum við uppsetningu á lóðréttum leiðslum.



Mynd 3: Tvær uppsetningar á jarðvarmadælum, lóðrétta og lárétta uppsetningu.
Heimild: U.S. Department of Energy, e.d.

Heitar laugar eða volgrur í nágrenni koma sér einstaklega vel við nýtingu jarðvarmadælna en einnig er mögulegt að nýta stöðuvötn, tjarnir og hafið. Þar er leiðslunum komið fyrir og varmadælan getur átt varmaskipti við vatnið. Við það eykst nýtni hennar til muna. Hér á landi eru víða heitar uppsprettur sem ekki eru nægilegar heitar til virkjunar en nýtast einstaklega vel við uppsetningu á jarðvarmadælu. Upp geta hinsvegar komið vandamál með hreinleika vatnsins og seltuna í sjónum. Saltið getur valdið tæringu í leiðslum og óhreinindi í sjó geta stífað leiðslur (Ragnar Ásmundsson, 2005).

Helstu ókostir jarðvarmadælna er hár stofnkostnaður þeirra. Kerfið sjálft og umfangsmiklar jarðvegsborarnir geta verið gríðarlega kostnaðarsamar. Upp á móti vegur langur líftími og gríðarleg hagkvæmni ef aðstæður eru réttar (Ragnar Ásmundsson, 2005).

2.3.2.2 Loft í vatn

Loft í vatn varmadælur sækja varma sinn frá lofti utandyra og nota þann varma til að hita upp vatn með varmaskiptum. Vatninu er veitt á ofna eða neysluvatnskerfi sem hefðbundin hitaveita hefði annars séð um. Mun ódýrara að fjárfesta í Loft í vatn varmadælu en jarðvarmadælu þar sem ekki er nauðsyn að bora né grafa. Þar af leiðandi er fjárfestingin tiltölulega fljót að borga sig upp í sparnaði á rafmagni (Langley, 2002).

2.3.2.3 Loft í loft

Loft í loft varmadælur eru þær allra vinsælustu á heimsvísu. Vinsældir þeirra stafa einna helst af því hversu ódýrar þær eru og auðveldar í uppsetningu (Langley, 2002). Varmadælan sækir varma sinn, líkt og loft í vatn varmadælur, í loftið utandyra. Loftið fer þá í gegnum ferlið sem fjallað var um hér að ofan og blæs þannig heitu lofti inn í húsnæðið. Þar til fyrir nokkrum árum voru loft í loft varmadælur eingöngu notaðar á stöðum þar sem hitastig fór aldrei niður fyrir frostmark. Er hitastig fór niður fyrir 0°C hrapaði skilvirkni varmadælnanna til muna og voru jarðvarmadælur því augljós kostur (U.S. Deparment of Energy, án dags.). Mikil þróun hefur hinsvegar átt sér stað á seinustu árum og er nú möguleiki að fá loft í loft varmadælur sem hannaðar eru sérstaklega með afþýðingarbúnaði fyrir norrænar slóðir. Afþýðingarbúnaðirinn minnkar hinsvegar skilvikni varmadælunnar er hann er í notkun því varmadælan nýtir meiri raforku án þess að gefa aukinn varma í rýmið sem ætlað er að hita (Langley, 2002).

2.3.3 Vindhverflar

Sökum loftslagsbreytinga er vindorka að verða sífellt mikilvægari þáttur í orkustefnum ríkja heimsins. Ekki er einungis um að ræða fjárfestingar stórra orkufyrirtækja í vindhverflum heldur stendur almenningi einnig til boða að fjárfesta í vindhverflum og að framleiða sína eigin raforku. (Howell, Qin, Edwards, & Durrani, 2010).

Vindhverflum má skipta í tvennt, þeim sem snúast á lóðréttum ás (e. Vertical Axis Wind Turbine) og þeim sem snúast á láréttum ás (e. Horizontal Axis Wind Turbine). Báðir hafa þessir hverflar sína kosti og galla en þeir láréttu hafa verið vinsælli kostur á síðustu árum og eru notaðir í öllum stærstu vindorkuverum heims (Howell, Qin, Edwards, & Durrani, 2010). Líkt og með varmadælurnar fer val á fjárfestingu í hverflum til raforkuframleiðslu eða húshitunar eftir aðstæðum að hverju sinni. Aðstæður á Íslandi má telja heldur öfgafullar þegar kemur að veðráttu. Vindhraði og vindátt er margbreytileg og sjaldan eins

yfir daginn og hvað þá daga á milli. Hverflar sem snúast á lóðréttum ás hafa tvo eiginleika sem henta íslenskum aðstæðum einstaklega vel. Í fyrsta lagi geta þeir framleitt rafmagn í hvaða vindátt sem er sökum legu og lögun blaðanna. Í öðru lagi, þar sem hverfillinn snýst lóðrétt, lendir vindurinn á tveimur blöðum í einu og hamlar þannig yfirsnúning við mikinn vindhraða eða sviptivinda. Annað blaðið er íhvolft og grípur vindinn en hitt er kúpt og dempar snúninginn á hverflinum (Howell, Qin, Edwards, & Durrani, 2010).

2.3.4 Sólarrafhlöður

Í grunninn umbreyta sólarrafhlöður ljóseindum sem berast frá sólinni beint í raforku. Er ljóseindirnar lenda á rafhlöðunum draga hálfleiðarar (*e. semiconductors)* á borð við silíkon þær í sig og jafnvægi rafeinda raskast, ákveðið ferli hefst og til verður raforka (Mackay, 2015).

Til að útskýra ferlið aðeins nánar er líklega best að byrja á byrjuninni. Hvert silíkon atóm í hálfleiðaranum er tengt við önnur silíkon atóm með fjórum sterkum tengslum. Þessi tengsl halda rafeindum (*e. electrons)* á sínum stað og passa það að engin straumur geti flætt á milli þeirra. Sólarrafhlöður nota tvær gerðir hálfleiðara. Annar hálfleiðarinn er með n-leiðni og hinn með p-leiðni. Hálfleiðarinn með n-leiðni státar af auka rafeindum en sá með p-leiðni er snauður af hleðsluberum (Mackay, 2015). Þegar þessum hálfleiðurum er skeytt saman myndast svokölluð pn-skeyti þar sem rafeindir geta flætt á milli og skilið eftir jákvæða hleðslu öðru megin og neikvæða hleðslu hinum megin. Þegar ljóseindir berast frá sólinni og lenda á sólarrafhlöðunum getur jafnvægi raskast og rafeind getur losnað úr tengingu sinni og skilið eftir holu eða laust pláss þar sem hún áður sat. Neikvætt hlaðna rafeindin og jákvætt hlaðna holan geta nú flætt frjáls um en vegna rafsviðsins á p-n skeytunum flæða þau í sitthvora áttina. Rafeindirnar flæða í átt að n-svæðinu þar sem þeim er safnað saman, þeim veitt í gegnum rafrás og rafstraumur myndast. Holurnar flæða á p-svæðið og bíða þar eftir nýjum rafeindum. Að ferlinu loknu flæða rafeindirnar aftur í p-svæðið þar sem þær fylla í holurnar sem standa lausar og ferlið getur átt sér stað á ný (Mackay, 2015).

2.4 Hagkvæmismat

2.4.1 Arðsemismat

Til að meta fjárfestinguna og mæla arðsemi hennar mun ég greina heildarnúvirði fjárfestingarinnar (e. Net Present Value) og afkastavexti eða öðru nafni, innri vexti (e. Internal Rate of Return, IRR).

2.4.2 Ávöxtunarkrafa

Ávöxtunarkrafa er eins og orðið gefur til kynna sú ávöxtun sem fjárfestir krefst yfir tilsettan líftíma fjárfestingar. Krafan er breytileg milli einstaklinga vegna væntinga þeirra og mismunandi mats á áhættu. Ávöxtunarkrafa endurspeglar því áhættu fjárfestingar og krefjast fjárfestar alla jafna hærri ávöxtunkarkröfu eftir því sem fjárfesting er áhættusamari (Brigham & Houston, 2007). Ríkisskuldabréf eru almennt talin ein öruggasta fjárfesting sem hægt er að gera og jafnframt talin áhættulaus eign. Hinsvegar standa ríkisskuldabréf frammi fyrir sömu áhættum og önnur skuldabréf, vaxtaáhættu og áhættu á vanskilum. Með vaxtaáhættu er átt við að þegar vextir hækka, lækkar verð á útistandandi skuldabréfum og við vaxtalækkun, hækkar verð á útistandandi skuldabréfum. Þar af leiðandi, er möguleiki að verða fyrir hagnaði eða tapi ef viðskipti eru gerð með skuldabréfið áður en til gjalddaga kemur. Áhætta á vanskilum telst hins vegar heldur lítil vegna möguleika hins opinbera að hækka skatta og stjórna peningamagni í umferð (Bodie, Kane, & Marcus, 2014).

2.4.3 Heildarnúvirði (NPV)

Heildarnúvirði leggur mat á hversu mikils virði framtíðar peningagreiðslur úr fjárfestingum eru núna, miðað við ákveðna ávöxtunarkröfu. Núvirðið verkefnis er heldur einfalt að finna ef peningagreiðslur, stofn- og rekstrarkostnaður, ávöxtunarkrafa og líftími verkefnis er þekktur. Tiltölulega snúið getur verið að ákvarða ávöxtunarkröfu fjarfestingar eða verkefnis en oft er stuðst við útreikninga á veignum meðalkostnaði fjármagns (e. Weighted Average Cost of Capital) (Brigham & Houston, 2007). Í þessu verkefni verður hinsvegar stuðst við ávöxtunarkröfu á tuttugu ára ríkisskuldabréfi. Líftími varmadælna fer eftir gerð þeirra en að jafnaði er líftími þeirra fimmtán til tuttugu og fimm ár (Hadorn, 2015). Því má telja rökrétt að gera kröfu um að fjárfestingin skili að minnsta kosti sömu ávöxtun og áhættulaust ríkisskuldabréf með sambærilegan líftíma.

$$NPV = \sum_{t=0}^{N} \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Jafna 2: Heildarnúvirði
Heimild: Brigham & Houston, 2007, jafna 11-1.

CF_t = Greiðsluflæði tíma *t*

r = Ávöxtunarkrafa

N = Líftími verkefnis

t = ár

Vegna breytinga á verðmæti fé yfir tíma (e. Time Value of Money) er fé í dag meira virði en fé í framtíðinni. Þetta stafar bæði af þeim tekjum sem einstaklingur hefur möguleika á að afla sér við að fjárfesta fénu yfir tíma en einnig vegna verðbólgu (Bodie, Kane, & Marcus, 2014).

Rökin á bakvið notkun NPV eru einföld og ef niðurstöður útreikninga á heildarnúvirði eru jákvæðar gefur það góða vísbendingu um að fjárfesting verði arðbær (Brigham & Houston, 2007).

2.4.4 Innri Vextir (IRR)

Innri vextir (e. IRR) eru skilgreindir sem sú ávöxtunarkrafa sem gerir heildarnúvirði fjárfestingar jafnt og núll (Brigham & Houston, 2007).

$$NPV = \sum_{t=0}^{N} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

Jafna 3: Innri vextir
Heimild: .Brigham & Houston, 2007, jafna 11-2.

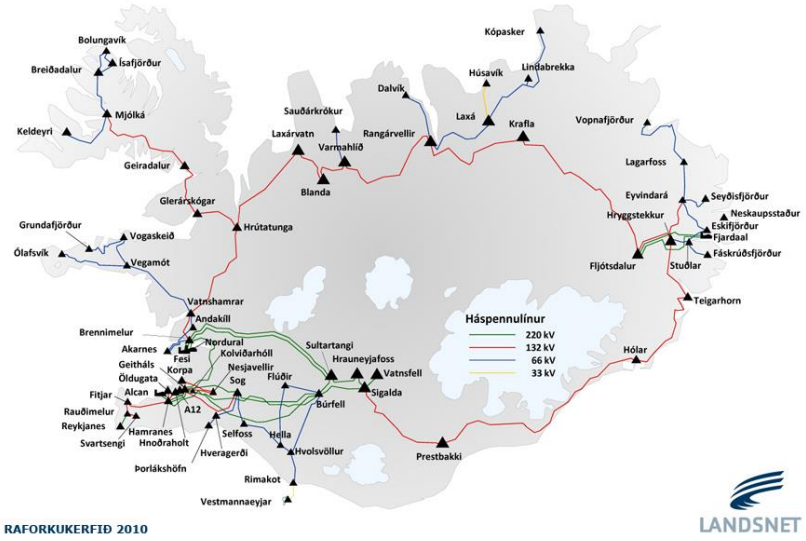
IRR sýnir vænta ávöxtun fjárfestingarinnar. Ef vænt ávöxtun er jákvæð og hærri en kostnaður við að fara út í fjárfestinguna má telja það svo að fjárfestingin sé arðbær. Ef hinsvegar ávöxtun er lægri en kostnaður sem hlýst af því að fara út í fjárfestinguna mun hún skila sér í tapi. Við mat á fleiri en einum fjárfestingarkosti kemur IRR sér vel og er venjan sú að velja þann kost sem hefur sem hæsta innri vexti. Huga þarf þó að því að líftími fjárfestingakostanna sé sá sami(Brigham & Houston, 2007). Erfitt getur reynst að reikna innri vexti í höndunum en töflureiknir eins og Excel einfalda reikninginn til muna.

2.5 Raforkukerfi

2.5.1 Ísland

Í íslenskum raforkulögum kveður á um að aðeins eitt fyrirtæki skuli annast flutning á raforku og kerfisstjórnun á landinu og megi það fyrirtæki ekki stunda neina aðra starfsemi sbr. 8 gr. raforkulaga nr. 65/2003. Viðskiptavinir þess skulu einungis vera dreifiveitur, stórnotendur og virkjanir. Lögin kveða einnig á um að ráðherra sé heimilt að veita sérleyfi til reksturs á dreifiveitusvæði en í leyfinu felst einkaréttur og skylda til raforkudreifingar á því svæði.

Landsnet er það fyrirtæki hér á landi sem annast flutning á raforku og tengir allan hringinn eins og sjá má á mynd 4. Landsnet tekur við orku frá virkjunum um allt land og selur til minni dreifiveitna á borð við Rarik og Orkubú Vestfjarða sem tengjast neti Landsnets og veita því til notenda. Eins og áður kom fram er dreifing á raforku sérleyfisþáttur og er notendum skylt að eiga viðskipti við dreifiaðilann í sínu sveitarfélagi. Hinsvegar er sala á rafmagni samkeppnismarkaður og stendur notendum til boða að kaupa rafmagn af einhverjum af þeim sex söluaðilum sem eru á markaðnum (Raforkulög nr. 65/2007).



Mynd 4: Raforkukerfi Landsnets árið 2010.
Heimild: Landsnet, 2010.

2.5.2 Feed-in Tariff

Feed-in Tariff eða FIT eins og það er oftast kallað er stefna sem byggir á fjárhagslegum hvötum til að auka fjárfestingar í endurnýjanlegri orku. Stefnan býður þeim aðilum sem fjárfesta í búnaði til framleiðslu á endurnýjanlegri orku að selja umframorku sem þeir nýta ekki, inn á kerfið (e. *grid)*. Í boði eru langtímasamningar sem veita viðkomandi aðgang að kerfinu og ákveðið sett verð fyrir selda orku. Þetta umsamda verð er að öllu jöfnu töluvert hærri en smásöluverð á markaði. Stjórnvöld reyna með þessum hætti að hvetja aðila til að fjárfesta í endurnýjanlegri orku og þannig minnka bæði gróðurhúsaáhrif og innkaup ríkisins á jarðefnaeldsneyti. Loforð stefnunnar um langtímasamninga og sett verð hafa aukið fjárfestingar og þannig skapað hundruði þúsunda starfa víða um heim ásamt því að efla tækniþróun í endurnýjanlegri orku (Cory, Couture, & Kreycik, 2009).

Til að gefa okkur betri skilning á stefnunni skoðum við dæmi frá Bandaríkjunum. Fyrirtækjaráð Virginíu-fylkis (e. *Virginia State Corporation Commission)* kom á FIT stefnu árið 2013. Aðilar sem fjárfestu í búnaði, einkum sólarrafhlöðum (e. *photovoltaic),* til framleiðslu á endurnýjanlegri orku og seldu hana inn á kerfið fengu fimm ára samning upp á $0,15 á hverja selda kílówattstund. Raforkuverð þessara aðila við kaup á raforku hélst þó stöðugt í $0,10/kWst fyrir einkaaðila og $0,8/kWst fyrir fyrirtæki (U.S. Energy Information Administration, 2013).

Undir lok níunda áratugarins byrjaði FIT stefnan að gera vart við sig í Evrópu. Lönd á borð við Portúgal(1988), Þýskaland(1990), Danmörk(1992) og Spán(1994) komu FIT stefnu á laggirnar með góðum árangri. Sökum þessa góða árangurs og lítils kostnaðar við uppsetningu jukust vinsældir stefnunnar víðsvegar í Evrópu og aðrar þjóðir fylgdu fordæmi þessara fjögurra þjóða. Á einungis níu árum hafði stefnan skapað verulegan vöxt í endurnýjanlegum orkugjöfum í Þýskalandi og námu heildaruppsetningar 4.400 MW. Fjárfestingar virtust vera að mestu í vindorku og vatnsafli og stafaði það af samblöndu af þáttum á borð við hámarksgreiðsluþak, verð á raforku og hvernig greiðslur voru reiknaðar. Löggjöfinni var breytt með nýju frumvarpi árið 2000 til að auka fjárfestingar í öðrum endurnýjanlegum örkugjöfum og minnka byrgði ríkisins. Árangur FIT í Evrópu má að miklu leyti rekja til þessarar breytingar á löggjöfinni í Þýskalandi árið 2000 og má telja að hún hafi lagt grunninn að aukinni notkun FIT (Mendonca, Jacobs, & Sovacool, 2010).

FIT stefna hefur sína kosti og galla og reynsla frá Evrópu hefur sýnt fram á það að vel hönnuð FIT stefna getur aukið fjárfestingar í endurnýjanlegri orku til muna. Stefnan býr til hagstæðar aðstæður til fjárfestinga og veitir möguleika á töluverðri tekjuöflun (Cory, Couture, & Kreycik, 2009). Hinsvegar þarf að huga að mörgu þegar hún er sett upp. Gera þarf ítarlega greiningu til að ákvarða hversu háar greiðslur skulu vera. Of lágar greiðslur geta leitt til minni fjárfestinga en áætlað var og þannig nær stefnan ekki markmiðum sínum. Of háar greiðslur geta leitt til of mikillar fjárfestingar og þannig sett mikla byrði á bæði ríkið og orkufyrirtæki sem fyrir voru á markaði. Orkufyrirtækin sem fyrir voru sjá kerfinu fyrir stöðugri orku allan ársins hring og eru því nauðsynleg til að kerfið gangi (Cornfeld & Sauer, 2010).

Þrátt fyrir að Feed-in tariff sé mögulega ein mest notaða stefna á heimsvísu til að auka fjárfestingar í endurnýjanlegri orku hefur velgengni hennar verið takmörkuð í Suður-Ameríku. Argentína, Brasilía og Ekvador komu öll FIT upp á laggirnar um aldamótin með mismunandi árangri en hafa öll lagt kerfið niður sökum vandamála sem upp komu eða breyttra áherslna. Argentína starfrækti kerfið í átta ár en sökum of lágs verðs sem gafst fyrir grænu orkuna urðu fjárfestingar ekki jafn miklar og búist var við og kerfið því lagt niður. FIT náði hinsvegar góðum árangri í bæði Brasilíu og Ekvador en talið er að kerfið hafi verið kveikjan að miklum fjárfestingum í vindorku í Brasilíu. Ekvador studdist við kerfið á árunum 2000-2014 og rekja má góðan árangur til hæfileika stjórnvalda til að aðlaga kerfið að þeim breytingum sem áttu sér stað í landinu á þessu fjórtán ára tímabili. Árið 2015 voru enn fjögur lönd sem studdust við FIT í Suður-Ameríku en það voru Bólivía, Nikaragúa, Perú og Úrúgvæ. (IRENA, 2015).

Stefnan hefur þann eiginleika að geta aðlagað sig að aðstæðum að hverju sinni og er það meginástæða fyrir vinsældum og velgengni hennar (Cory, Couture, & Kreycik, 2009). Með þessari velgengni og þróun á endurnýjanlegum orkugjöfum má telja að umsvið FIT muni einungis aukst á komandi árum og vonandi ná góðri fótfestu um allan heim.

2.5.3 Net Metering

Net Metering er stefna sem svipar mikið til Feed-in Tariff en er þó örlítið frábrugðin. Stefnan gerir aðilum kleift að veita þeirri umframorku sem þeir framleiða með endurnýjanlegum orkugjöfum og nýta ekki, aftur inn á kerfið og safna sér þannig upp nokkurs konar orkuinneign. Mikilvægt er að taka fram að Net Metering keppir ekki við FIT

sem stefnu og getur í raun verið notuð samhliða henni (Mendonca, Jacobs, & Sovacool, 2010). Ef viðkomandi hefur til dæmis fjárfest í sólarrafhlöðum hefur hann möguleika á að nýta sér inneignina á kvöldin þegar sólin hefur sest eða á þeim dögum þegar skýjað er og þannig jafnað stöðu sína út. Ef orkustaða viðkomandi í lok árs[1] er jákvæð, þ.e.a.s. viðkomandi hefur veitt meiri orku inn á kerfið en hann hefur tekið af kerfinu, fær viðkomandi mismuninn greiddan út. Upphæð sem viðkomandi fær greiddan er samkvæmt gjaldskrá hvers lands eða fylkis fyrir sig og því misjöfn (U.S. Energy Information Administration, 2012). Með því að verðlauna notkunaraðila Net Metering fyrir það að draga úr eftirspurn eftir raforku og veita umframframleiðslu sinni inn á kerfið er stefnan öflugt efnahagslegt hvatakerfi sem hjálpar löndum að auka fjárfestingar einstaklinga í endurnýjanlegri orku.

Líkt og með FIT þarf Net Metering stefnan að vera vel skipulögð og endurgreiðslur rétt verðlagðar. Áður en Net Metering var sett upp í Bandaríkjunum mátti sjá gríðarlega mismunun í verðlagningu með það kerfi sem stuðst var við og notaðist við tvímælingu. Tvímælingin gaf aðilum sem framleiddu endurnýjanlega orku og seldu hana inn á kerfið aðeins $0,013/kWst en rukkuðu þá $0,12-0,19/kWst fyrir þá orku sem þeir neyttu af kerfinu. Mikil skriffinnska og erfiðleikar við eftirlit fylgdu einnig tvímælingarkerfinu þar sem mikill tími fór í það að ferðast á heimili fólks og reikna út greiðslur. Net Metering er hannað til að koma í veg fyrir þessar flækjur og einfalda notendum að fylgjast með bæði notkun sinni á rafmagni og framleiðslu á einum mæli (Mendonca, Jacobs, & Sovacool, 2010).

Nýlega hafa þó komið upp vandamál bæði í Nevada fylki í Bandaríkjunum og á Hawaii eyjum. Á þessum stöðum var það verð sem gefið var fyrir græna orku of hátt, fjárfestingar og framleiðsla á grænni orku urðu of miklar og almenn orkufyrirtæki neyddust til að hækka verð á seldri raforku. Þeir íbúar sem höfðu ekki, eða gátu ekki fjárfest í endurnýjanlegum orkugjöfum, voru óbeint að borga þeim sem gátu það, í gegnum hærra rafmagnsverð. Yfirvöld í bæði Hawaii og Nevada neyddust því til að gera endurbætur á stefnu sinni til að koma í veg fyrir að óhóflegur kostnaður myndi leggjast á þessa íbúa (Edison Electric Institute, 2016).

[1] Hvort staða er könnuð í árslok eða ársfjórðungslega er samningsatriði og því mismunandi milli landa.

Net Metering hefur náð vinsældum víðsvegar um Suður-Ameríku og hafa ríkisstjórnir tíu landa sett þessa stefnu á laggirnar. Stefnan nær til íbúðabyggðar og smærri virkjana í öllum þessum tíu löndum en einnig til stærri virkjana og til iðnaðar í Mexíkó og Úrúgvæ (IRENA, 2015).

Stefnan veitir einstaklingum tækifæri á að hagnast á því að selja græna orku inn á kerfið og vera sjálfbærari í orkunotkun. Raforkufyrirtæki, sérstaklega í Bandaríkjunum og Kanada, hafa verið einstaklega andvíg þessari stefnu og lagt mikla pressu á yfirvöld að takmarka hagnaðarmöguleika Net Metering (Mendonca, Jacobs, & Sovacool, 2010).

2.6 Niðurgreiðslur

Raforka til húshitunar hefur verið niðurgreidd af ríkinu á einn eða annan hátt allt frá árinu 1983. Þeir íbúar sem búa ekki við hitaveitu og styðjast við húshitun með raforku eiga rétt á niðurgreiðslum á þeim kostnaði (Raforkulög nr. 65/2003*).* Fjárveiting til niðurgreiðslna samkvæmt fjárlögum 2013 nám 1.418 m. kr. en aðeins 17 m.kr. af þeim fjármunum var veitt til eingreiðslna. Dró heldur úr umsóknum það árið sökum eftirvæntingar um breytingu á lögum um niðurfellingu virðisaukaskatts á varmadælum. Rökin fyrir breytingunni voru þau að með afnámi virðisaukaskatts mætti auka fjárfestingar í varmadælum og þannig draga úr þörf niðurgreiðslna á húshitunarkostnaði á köldum svæðum (Orkustofnun, 2014). Sú breyting gekk í gegn 12. september 2014 og endurgreiðir ríkisskattsjóri virðisaukaskatt sem fellur til vegna fjárfestinga á varmadælum til ársins 2019 (Reglugerð um endurgreiðslu virðisaukaskatts vegna kaupa á varmadælu til upphitunar íbúðarhúsnæðis nr. 850/2014). Fjárveiting til málaflokksins samkvæmt fjárlögum 2014 nam 1.405,5 m.kr., 13 m. kr. minna en árið áður. Á sama tíma hækkaði hinsvegar dreifbýlisframlag sem gaf ákveðið svigrúm til lækkunar á niðurgreiðslum. Fjárveiting til fjárlagaliðar 11-373 skiptist í 5 verkefnaliði sbr. töflu 1. og fullnýtti Orkustofnun fjárveitinguna árið 2014. Úthlutanir til uppsetningar á hitaveitum eða eingreiðslur til einstaklinga námu 184.182.320 kr. sem er rúmum 57 milljónum meira en árið 2013. Þessa hækkun milli ára má að miklu leyti rekja til lægri beinni niðurgreiðslna en áætlað var eða um 27 milljónir. Mögulegt var því að standa við allar skuldbindingar gagnvart hitaveituvæðingu og bættrar orkunýtingar. Miklum meirihluta þessara 184 milljóna var hins vegar úthlutað til hitaveituvæðingar og aðeins 27 milljónum til

einstaklinga sem höfðu hug að því að bæta orkunýtingu sína með fjárfestingu í orkusparandi lausnum. Um 10 milljóna breytingu milli ára er að ræða og má telja þessa þróun mjög jákvæða (Orkustofnun, 2015). Nánar verður fjallað um reglugerðir og lagalegu hlið niðurgreiðslna hér að neðan en til að átta sig á þeim fjármunum sem eru í spili, höfðu árið 2015, 38 milljörðum að núvirði[2] verið varið til málaflokksins frá árinu 1983 (Orkustofnun, 2015).

Fjárlagaliður 11-373	2014 Áætlun	2014 Niðurstaða ársins
Fjárheimild skv. fjárlögum 2014	1.405.500.000	1.405.500.000
Beinar niðurgreiðslur til dreifiveitna	1.200.415.156	1.173.297.408
Olíu og heimarafstöðvar niðurgreiðslur	12.000.000	15.020.272
Orkusparnaður allt að 1,5%	21.000.000	21.000.000
Umsjón Orkustofnun	12.000.000	12.000.000
Jarðhitaleit	0	0
Stofnstyrkir (hitaveitur og eingreiðslur til einstaklinga)	160.084.844	184.182.320
Samtals	1.405.500.000	1.405.500.000

Tafla 1: Ráðstöfun fjárlagaliðar 11-373 á árinu 2014.
Heimild: Orkustofnun, 2015.

2.6.1 Lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar

Almenn lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar tóku gildi 17.maí 2002 en smávægilegar breytingar hafa átt sér stað á seinustu árum og tóku þær nýjustu gildi 2. júní 2016. Lögin kveða á um að íbúar á þeim svæðum sem eiga ekki kost á fullri hitun með jarðvarma eigi rétt á niðurgreiðslu á þeim kostnaði sem fellur við hitun á húsnæði sínu. Bænahús trúfélaga, söfn, félagsheimili og húsnæði björgunarsveita eiga einnig rétt á niðurgreiðslu húshitunarkostnaðar. Nauðsynlegt er að sækja um niðurgreiðsluna hjá Orkustofnun en samkvæmt 6. gr. laga um niðurgreiðslu húshitunarkostnaðar skal upphæð niðurgreiðslna á raforku til húshitunar vera jöfn þeim kostnaði sem fellur til við flutning og dreifingu raforkunar frá virkjun til neytanda (Lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 78/2002). Niðurgreiðsluþak upp á 40.000 kWst/ár er þó til staðar og getur einstaklingur aldrei fengið niðurgreiðslu út á meira en það magn (Orkustofnun, 2007).

[2] 36 milljarðar reiknaðir að núvirði ársins 2015.

Þeir íbúar sem njóta niðurgreiðslna vegna rafhitunar hafa kost á því að sækja um eingreiðslu, hafi þeir hug á því að ráðast í umhverfisvæna eða orkusparandi aðgerðir. Eingreiðslan miðast við gildandi gjaldskrá að hverju sinni og horft er á meðalnotkun síðustu fimm ára til að áætla sparnaðarhlutfallið sem notast er við til að reikna upphæð eingreiðslunnar. Ef fjárfestingin sem farið er út í felst í tækjabúnaði á borð við varmadælu, miðast eingreiðslan við 8 ár en 16 ár ef tekin er inn hitaveita (Orkustofnun, 2007).

3 Fjárfesting

Umtalsverður stofnkostnaður fylgir fjárfestingum í orkusparandi lausnum og endurnýjanlegum orkugjöfum og fer kostnaðurinn eftir vali á búnaði og aðstæðum að hverju sinni (Ragnar Ásmundsson, 2005). Í þessu verkefni samanstanda fjárfestingarnar af mismunandi gerðum varmadælna og fjárfestingu í endurnýjanlegum orkugjöfum á borð við vindhverfla og sólarrafhlöður. Ef við skoðum varmadælurnar fyrst stendur valið á milli jarðvarmadælu, loft í vatn og loft í loft varmadælna. Dælurnar sjálfar og annar búnaður tengdur þeim svo sem lagnakerfi og vatnskútar er óhjákvæmilegur kostnaður ásamt uppsetningarkostnaði. Allar hafa dælurnar sína kosti og galla og mismunandi kostnaðarliði. Valið fer einnig, eins og áður hefur komið fram, eftir aðstæðum á hverjum stað fyrir sig og þarf hver og einn að spyrja sig fjölmargra spurninga áður en farið er út í fjárfestingu og framkvæmdir. Svörin við þessum spurningum ráða því hvaða varmadæla verður fyrir valinu.

Eins og útskýrt var hér í fræðilega kaflanum á undan henta lóðréttir vindhverflar íslenskri veðráttu vel og verður fjárfesting í þess lags vindhverfli, ásamt fjárfestingu í sólarrafhlöðum tekin fyrir. Blanda af vindhverfli og sólarrafhlöðum hentar einstaklega vel og vega þessar fjárfestingar upp á móti annarri þar sem framboð á vind- og sólarorku er ekki alltaf tryggt (Bizon, Shayeghi, & Tabatabaei, 2013).

Í þessu verkefni verða teknar fyrir fjórar sviðsmyndir. Í öllum fjórum sviðsmyndunum munu fjárfestingar í varmadælum eiga sér stað við mismunandi aðstæður en í þeirri fjórðu mun fjárfesting í lóðréttum vindhverfli og sólarrafhlöðum einnig eiga sér stað. Í öllum sviðsmyndunum er miðast við 214 fermetra hús á einni hæð með bílskúr. Ef teikningar af húsinu eru skoðaðar má sjá stærð hvers rýmis fyrir sig. Húsið styðst við tvímælingu en það

þýðir að til staðar eru tveir mælar, einn sem mælir raforku sem nýtt er til húshitunar og annar sem mælir almenna notkun (Jón R. Guðmundsson, sérfræðingur hjá Orkustofnun, munnleg heimild, tölvupóstur, 23.mars 2017). Húsið er staðsett á köldu svæði á Íslandi og nýtur niðurgreiðslna húshitunarkostnaðar. Viðkomandi sækir um eingreiðslu niðurgreiðslna og nýtir það fjármagn til fjárfestingar. Þar sem sjaldgæfara er en ekki að volgra eða lækur sé í nágrenni við uppsetningu á varmadælu, munum við ganga út frá því að volgra sé ekki til staðar. Þar sem hún er ekki til staðar og víðtækar jarðvegsboranir gætu talist gríðarlega kostnaðarsamur liður í fjárhagsáætluninni (Ragnar Ásmundsson, 2005) munu jarðvarmadælur fá að sitja á hakanum að þessu sinni.

Meðalraforkunotkun þeirra heimila sem nýta sér rafhitun á Íslandi má telja um 30.000-32.000 kWst á ársgrundvelli (Ragnar Ásmundsson, 2005), hinsvegar munum við styðjast við 35.000 kWst á ársgrundvelli.

3.1 Sviðsmynd 1

Fjárfesting fyrstu sviðsmyndarinnar samanstendur af loft í loft varmadælum. Sökum lélegs varmastreymis í gegnum hús almennt má telja að ekki sé nóg að hafa eina 12 kW varmadælu staðsetta í miðju húsinu heldur sé nauðsyn að hafa margar smærri dreifðar víðsvegar um húsið (Þór A. Guðmundsson, verkfræðingur, munnleg heimild, viðtal, 10.apríl 2017). Eins og sjá má á teikningum hússins skiptist það upp í fimm rými. Sameiginlega borðstofu og eldhús, þrjú herbergi og tvö baðherbergi. Ein Daikin Siesta N25 5,5 kW varmadæla verður staðsett í opnasta rými hússins og þrjár minni Daikin Pixo 20 3,5 kW varmadælur verða staðsettar í herbergjunum þremur. Raforkunotkun heimilisins er eins og áður hefur komið fram 35.000 kWst á ári og þar af leiðandi er aflið sem þarf til að halda heimilinu heitu á hverjum tíma 4,0 kW.

$$\frac{35.000\ kWst}{8.750_{klst\ á\ ári}} = 4{,}0\ kW$$

Heildar upphitunarafl varmadælnana fjögurra er 16 kW, tólf kílóvöttum meira en heimilið þarf til að halda stöðugum hita. Því gefur auga leið að ekki er þörf á fullri keyrslu varmadælnana allan ársins hring. Eins og sést hér að neðan í töflum 2 og 3, er einungis þörf á 22% keyrslu Daikin Pixo varmadælnanna og 34% keyrslu Daikin Siesta N25.

Tafla 2: Keyrsla varmadælna

Varmadæla	kW	
Daikin Siesta N25	5,5	34%
Daikin Pixo	3,5	22%
Daikin Pixo	3,5	22%
Daikin Pixo	3,5	22%
	16,00	100%

Tafla 3: Framlag hverrar varmadælu í formi varmaorku.

Varmadæla		kW	kWst/ári
Daikin Siesta N25	4kW * 34%	1,36	11.900
Daikin Pixo	4kW * 22%	0,88	7.700
Daikin Pixo	4kW * 22%	0,88	7.700
Daikin Pixo	4kW * 22%	0,88	7.700
			35.000

[3]

Stofnkostnaður við fjárfestinguna nemur 910.600 kr. en þar af eru 93.000 kr. uppsetningarkostnaður. Verð á varmadælunum í töflu 4 voru fengin frá Verklögnum ehf., einum af mörgum söluaðilum varmadælna hér á Íslandi. Samkvæmt upplýsingum sem fengust hjá þeim getur uppsetning á búnaði tekið allt frá einum degi upp í þrjá eftir því hversu flókin uppsetningin er að hverju sinni. Mögulegt er að fá endurgreiðslu virðisaukaskatts af bæði varmadælunum og vinnu við uppsettningu þeirra. Átak á vegum Ríkisskattstjóra, *Allir Vinna*, heimilar 60% endurgreiðslu virðisaukaskatts af útseldri vinnu við endurbætur á heimili (Ríkisskattstjóri, án dags.) og reglugerð nr. 850/2014 heimilar fulla endurgreiðslu virðisaukaskatts af varmadælunum. Í þessari sviðsmynd nemur endurgreiðsla virðisaukaskatts 169.045 kr. en í þessari og komandi sviðsmyndum munum við styðjast við upphaflegan stofnkostnað þar sem það er jú, það fé sem viðkomandi þarf að leggja út í upphafi.

Tafla 4: Kostnaðaráætlun sviðsmyndar 1.

Varmadæla	kW	COP	Verð m/vsk
Daikin Pixo 20	3,5	4,24	185.900
Daikin Pixo 20	3,5	4,24	185.900
Daikin Pixo 20	3,5	4,24	185.900
Daikin Siesta N25	5,5	4,5	259.900
Samtals			817.600
Uppsetning			93.000
Heildarkostnaður			**910.600**

[3] 35.000 kWst/ári eru á þessu stigi hér í formi varmaorku.

Raforkusparnaður varmadælu miðast við orkunotkun hennar og raforkuverð sbr. jöfnu 1. Við fjárfestingu í varmadælum með varmastuðla á bilinu 4,24 og 4,5 má ná allt að 77% sparnaði. Þar sem húsið missir 4,0 kW af varmaafli og takmarkið er að halda stöðugum 21°C innandyra þarf varmadælan að framleiða varmaafl á sama hraða og húsið missir hann (Cengal & Boles, 2002). Varmatap húsa skiptist almennt séð í 25-30% varmatap í loftskiptum og 70-75% varmatap í gegnum byggingarhluta þ.e.a.s. í gegnum gólf, veggi og glugga og hurðir (Ferill Verkfræðistofa, e.d.). Varmaflutningur frá loftinu utandyra inn í varmadæluna og þar af leiðandi inn í húsnæðið verður eftirfarandi.

$$W_{net,in} = \frac{Q_H}{COP_{HP}} = \frac{35.000\ kWst}{4{,}326\ COP} = 8.091\ kWst$$

$$Q_L = Q_H - W_{net,in} = (35.000 - 8.091)\ kWst = 26.909\ kWst$$

Niðurstöður þessara útreikninga sýna að 26.909 kWst af þeim 35.000 kWst sem notaðar eru til að hita húsnæðið koma frá loftinu utandyra og aðeins 8.091 kWst koma í formi rafmagns. Ef við berum þetta saman við hefðbundinn rafmagnsofn, myndi hann nota rafmagn að fullu til að sjá fyrir þessum 35.000 kWst. Rafmagnsreikningur húsnæðis með varmadælu ætti þar af leiðandi að vera meira en fjórum sinnum lægri hjá einstaklingum sem fjárfesta í varmadælu, en er það raunin?

Það gefur auga leið að því minna rafmagn sem viðkomandi notar, því lægri verður rafmagnsreikningurinn. Við gefum okkur það að viðkomandi búi á Bolungarvík og njóti bæði orkudreifingar og raforkusölu frá Orkubúi Vestfjarða. Heildarrafmagnsnotkun húsnæðisins nemur 41.176 kWst/ári sem skiptast niður í 35.000 kWst/ári til húshitunar og 6.176 kWst/ári til almennra nota. Heildarrafmagnskostnaður á ári með niðurgreiðslum fyrir fjárfestingu á varmadælu nemur 374.593 kr. á ári sbr. Viðauka B.

Er viðkomandi sækir um eingreiðslu niðurgreiðslna gefur hann upp rétt sinn til niðurgreiðslna á rafmagni að mestu leyti[4]. Eingreiðslan ræðst af meðaltali raforkunotkunar síðustu fimm ára sem í okkar tilfelli eru 35.000 kWst/ári. Eingreiðslan ræðst einnig af áætluðum raforkusparnaði, sem í okkar tilfelli er 26.909 kWst, verði á

[4] Skv. upplýsingum frá Jóni Ragnari Guðmundssyni hjá Orkustofnun eru einhverjar umræður í gangi um að breyta fyrirkomulaginu. Viðkomandi fengi þá upprunalegt þak upp á 40.000 kWst að einhverjum árum liðnum. Þessar umræður eru þá á algjöru frumstigi.

kWst og hvort viðkomandi notast við einmælingu eða tvímælingu, en talsverðri upphæð getur munað á þessum tveimur mælingum (Orkustofnun, án dags.). Í okkar dæmi er miðast við að húsnæðið styðjist við tvímælingu og nemur heildareingreiðsla niðurgreiðslna 1.702.080 kr. sbr Viðauka B. Nýtt hámarksniðurgreiðsluþak myndast í 8.000 kWst á ári sem er örlítið lægra en þær 8.091 kWst á ári sem varmadælurnar munu nota og neyðist viðkomandi því til að borga 91 kWst/ári án niðurgreiðslna til að hita húsnæði sitt að fullu. Er búið er að ákvarða þetta kemur í ljós að viðkomandi mun geta fjármagnað kaup á varmadælunum að fullu með eingreiðslu niðurgreiðslna og átt umtalsvert fjármagn eftir til að standa undir óvæntum kostnaði á borð við viðgerðir og viðhald. Viðkomandi á þó enn rétt á niðurgreiðslu á rafmagnskostnaði upp að 8.000 kWst á ári eins og áður hefur komið fram sem er örlítið lægra en áætluð raforkunotkun (Jón R. Guðmundsson, sérfræðingur hjá Orkustofnun, munnleg heimild, tölvupóstur, 8.mars 2017).

Orkureikningur eftir fjárfestingu á varmadælunum fjórum mun standa í 196.175 kr. eða 47% lægri en hann var fyrir fjárfestingu. Árlegur sparnaður nemur 178.418 kr. á ári og 1.702.080 kr. að átta árum liðnum sbr. viðauka B. Upp vaknar þá sú spurning, ef orkunotkunin er 77% minni en hún var áður, hví er orkureikningurinn aðeins 47% lægri? Svarið við því er einfalt og stafar það aðallega af tveimur þáttum. Raforkunotkunin til almennra nota, alls 6.176 kWst/ári kemur húshitun lítið við og helst því stöðug í 50.524 kr. á ári. Ásamt stöðugri almennri notkun, breytist fastagjald við flutning og dreifingu að upphæð 28.378 kr. ekki og telja því þessir tveir föstu liðir 40% af orkureikningum eftir fjárfestingu.

Ekki er einungis um að ræða sparnað hjá viðkomandi heldur einnig sparnað hjá hinu opinbera. Við fjárfestinguna minnkar orkunotkun viðkomandi og þar af leiðandi minnka niðurgreiðslur ríkisins. Sparnaðurinn reiknast einfaldlega af mun notaðra kWst/ári fyrir fjárfestingu og notaðra kWst/ári eftir fjárfestingu. Hinsvegar takmarkast sparnaðurinn af nýju þaki niðurgreiðslna þ.e.a.s. ef hitunarþörf eftir fjárfestingu er hærri en nýtt hámarksþak niðurgreiðslna eftir eingreiðslu mun sparnaðurinn takmarkast í þakinu sbr. viðauka B. Í þessari sviðsmynd nemur mismunur þessara tveggja stærða 27.000 kWst/ári. Það margfaldað með 7,88 kr/kWst gefur okkur sparnað hins opinbera uppá 212.760 kr. ár ári.

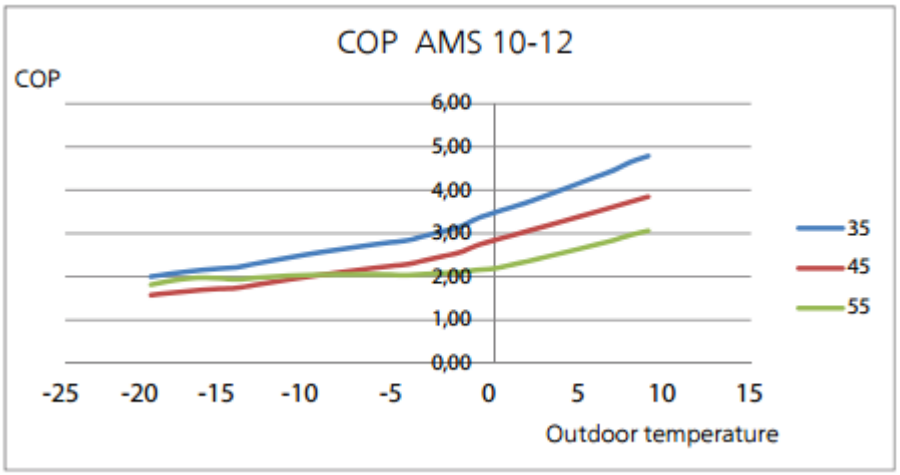
Þar sem kostnaður og sparnaður við fjárfestinguna hefur nú verið ákvarðaður geta hagkvæmnisútreikningar nú farið fram. Líta má á sparnaðinn sem hagnað sem verður til við fjárfestinguna og verður horft á hann sem svo við útreikninga á arðsemi fjárfestingarinnar. Til að ákvarða núvirði fjárfestingarinnar beitum við jöfnu 2. Ávöxtunarkrafan er ákvörðuð út frá ávöxtunarkröfu tuttugu ára ríkisskuldabréfs. Þar sem íslenska ríkið er talið einn besti skuldari á markaðnum má telja ríkisskuldabréf þá eign sem kemst næst því á íslenskum markaði að vera áhættulaus eign (Ólafur J. Hansson, 2010). Líftími varmadælna er að meðaltali fimmtán ár (Hadorn, 2015) og því er fjárfestingin skoðuð til fimmtán ára. Jákvætt núvirði bendir til þess að tekjur fjárfestingar séu meiri en áætlaður kostnaður og að jafnaði mun fjárfesting með jákvætt núvirði skila hagnaði (Brigham & Houston, 2007). Útreikningarnir sýna jákvætt núvirði upp á 941.318 kr. og gefur því góða vísbendingu um að fjárfestingin sé arðbær.

$$NPV = \frac{178.418}{(1+5\%)} + \frac{178.418}{(1+5\%)^2} + \frac{178.418}{(1+5\%)^3} \dots \frac{178.418}{(1+5\%)^{15}} - 910.600 = 941.318$$

Ef niðurstöður útreikninga á innri vöxtum fjárfestingar eru jákvæðar, er fjárfestingin einnig talin líkleg til að skila hagnaði (Brigham & Houston, 2007). Hér kemur í ljós að innri vextir verkefnisins eru jákvæðir um 17,95% og staðfestir þetta niðurstöður okkar í núvirðisútreikningum að fjárfestingin telst arðbær án þess að eingreiðslan sé tekin inn í myndina. Eins og kom hér fram að ofan nemur eingreiðslan 1.702.080 kr. og fjárfestingin aðeins 910.600 kr. sem gefur okkur mismun upp á 791.480 kr. Þetta fjármagn mætti því nota til viðhalds á varmadælunum, eins og áður kom fram, og lengja þannig líftíma þeirra.

3.2 Sviðsmynd 2

Í þessari sviðsmynd samanstendur fjárfestingin af 12 kW NIBE SPLIT HBS 05 loft í vatn varmadælu. Hér gefum við okkur að ofnakerfi sé til staðar og því óþarfi að fara út í kostnaðarsamar aðgerðir að svo stöddu. Kostnaður við kaup varmadælunnar eru 886.600 kr. m/vsk. og uppsetningarkostnað má telja að meðaltali um 93.000 kr. m/vsk Heildarkostnaður fjárfestingarinnar yrði því 979.600 kr[5].



Mynd 5: Samband varmastuðulsins við útihitastig og hitastig þess vatns sem dælt er inn á ofnakerfið.
Heimild: NIBE, e.d.

Raforkukostnaður sviðsmyndarinnar fyrir fjárfestingu er sá sami og í þeirri á undan, 374.593 kr., og verð á hverja kWst, 7,88 kr. Varmastuðull NIBE SPLIT varmadælunnar, eins og flestra annarra varmadælna, lækkar er útihitastig lækkar (Cengal & Boles, 2002). Samkvæmt Upplýsingum frá Veðurstofu Íslands var meðalhitastig á Bolungarvík árið 2016 5°C (Veðurstofa Íslands, 2016) og má því áætla að varmastuðull varmadælunnar sé að jafnaði 3,8 sbr. mynd 7. Miðað er við að viðkomandi noti 35.000 kWst til húshitunar á ári og má því áætla að raforkusparnaður á ári muni nema 25.790 kWst eftir fjárfestingu.

$$W_{net,in} = \frac{Q_H}{COP_{HP}} = \frac{35.000\ kWst}{3{,}8} = 9.210\ kWst$$

$$Q_L = Q_H - W_{net,in} = (35.000 - 9.210)\ kWst = 25.790\ kWst$$

[5] Endurgreiðsla virðisaukaskatts nemur hér 182.400 kr. og því raunverulegur kostnaður 797.200 kr. ef viðkomandi sækir um endurgreiðslu.

Eingreiðslan í þessari sviðsmynd er örlítið lægri en eingreiðslan í Sviðsmynd 1 og stafar það af lægri áætluðum raforkusparnaði. Það sést því hér hve miklu máli áætlaður árlegur sparnaður er og ákvarðar sparnaðurinn, upphæð eingreiðslunnar og greiðslugetu framkvæmdarinnar. Eingreiðsla að þessu sinni nemur 1.626.432 kr. og reiknast á eftirfarandi hátt hér að neðan en frekari útleiðslu og skilyrði má sjá í Viðauka C.

$$\left(35.000\ kWst - 9.200^{6}\ kWst\right) * 7{,}88kr * 8ár = 1.626.432\ kr$$

Áætluð heildarorkunotkun til húshitunar eftir fjárfestingu er 9.210 kWst/ári. Heildarrafmangskostnaður á ári eftir fjárfestingu skiptist í 100.992 kr. fyrir dreifingu og flutning og 101.927 kr. fyrir rafmagnið sjálft eða samtals 202.919 kr. Sparnaður viðkomandi á ári verður því 171.674 kr. og 1.373.391 kr. að niðurgreiðslutímabilinu loknu.

$$NPV = \frac{171.674}{(1+5\%)} + \frac{171.674}{(1+5\%)^2} + \frac{171.674}{(1+5\%)^3} \cdots \frac{171.674}{(1+5\%)^{15}} - 979.600 = 802.317\ kr$$

Við útreikninga á núvirði fjárfestingarinnar og innri vöxtum kemur í ljós að fjárfestingin er arðsöm, hefur jákvætt núvirði sem nemur 802.317 kr. og innri vextir upp á 15,51%. Eingreiðslan að upphæð 1.626.432 kr. greiðir fjárfestinguna að fullu og eftir verður afgangur upp á 646.832 sem viðkomandi getur nýtt í ýmiss konar viðhald. Sparnaður hins opinbera af útgreiðslu eingreiðslunnar verður 203.304 kr. á ári eða alls 1.626.432 kr. að átta árum liðnum. Hér er því um að ræða jákvætt núvirði við fjárfestingu, raforkusparnað upp á rúm 74% og lækkun á raforkureikningi um 46%.

3.3 Sviðsmynd 3

Í þriðju sviðsmyndinni samanstendur fjárfestingin af sömu varmadælu og í Sviðsmynd 2, 12 kW NIBE SPLIT HBS 05 loft í vatn. Að þessu sinni gefum við okkur það að ekki sé ofnakerfi til staðar í húsnæðinu og því nauðsynlegt að fara út í þær framkvæmdir ef fjárfesta á í loft í vatn varmadælu. Samkvæmt upplýsingum sem fengust hjá verkfræðistofunni Ferli er kostnaður við ofnakerfi 50 kr. á hvert Watt og þarf um 60 Wött á hvern fermeter. Hversu mörg Wött þarf á hvern fermeter er háð nokkrum þáttum á

[6] Nýtt hámarksþak niðurgreiðslna myndast í 9.200 kWst/ári.

borð við fjölda og stærð glugga í rýminu og hversu stórt rýmið er (Ferill Verkfræðistofa, e.d.). Stærð húsnæðisins er 214 m^2 og mun kostnaður við ofnakerfið því nema 642.000 kr. að undanskilinni vinnu við að setja kerfið upp. Vinna við uppsetningu á ofnakerfinu væri 2.850 kr. á hvern fermeter eða alls 609.900 kr.[7] Heildarkostnaður við uppsetningu, með vinnu myndi þá í þessu tilviki nema 1.251.900 kr.

$$50 \text{ kr} * 60 \text{ Wött} * 214\text{m}^2 = 642.000 \text{ kr}$$

$$2.850 \text{ kr} * 214\text{m}^2 = 609.900 \text{ kr}$$

Ef viðkomandi óskar eftir gólfhitakerfi í stað ofnakerfis flækist málið örlítið. Kostnaður við gólfhitakerfi er 70 kr. á hvert Watt í stað 50 kr. við ofnakerfi. Við uppsetningu þarf að skoða hvort flota þarf gólfið eða hvort gólfið sé uppstólað og nóg sé að setja krossviðsrenninga á milli röra. Flotunin er töluvert dýrari og kostar 6.000 kr. á hvern fermeter í stað 3.200 kr. ef gólfið er uppstólað. Heildarkostnaður við flotun myndi þá nema 2.182.000 kr. með vinnu. Kostnaðurinn við seinni kostinn myndi nema 1.583.600 kr. (Þór A. Guðmundsson, verkfræðingur, munnleg heimild, viðtal, 10.apríl 2017).

$$\text{Flotun} = (70 \text{ kr} * 60 \text{ Wött} * 214\text{m}^2) + 6.000 \text{ kr} * 214\text{m}^2 = 2.182.000 \text{ kr.}$$

$$\text{Uppstólað gólf} = (70 \text{ kr} * 60 \text{ Wött} * 214\text{m}^2) + 3.200 \text{ kr} * 214\text{m}^2 = 1.583.600 \text{ kr.}$$

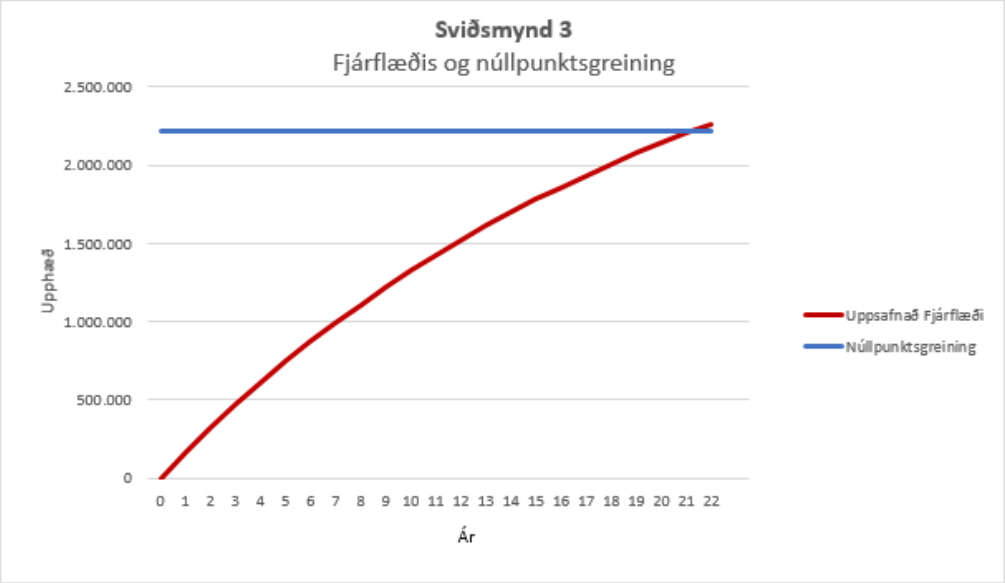
Hér sést að kostnaðarsamara er að fara út í uppsetningu á hita í gólfi en að setja upp ofnakerfi. Kostnaðurinn við NIBE SPLIT varmadæluna er 979.600 kr. með uppsetningu (Lárus Bjarnason, sérfræðingur hjá Fríorku, munnleg heimild, tölvupóstur, 16.febrúar 2017). Göngum við út frá því að viðkomandi velji ódýrasta kostinn hér að ofan, ofnakerfi, og mun þá heildarkostnaður við uppsetningu á ofnakerfi og fjárfestingu í varmadælu nema 2.231.500 kr. Þar sem um sömu vamadælu er að ræða og í Sviðsmynd 2 er áætluð heildarorkunotkun, eingreiðslan og orkusparnaðurinn sá sami. Eina breytingin sem á sér stað er uppsetning á ofnakerfi og tilheyrandi kostnaður.

$$NPV = \frac{171.674}{(1+5\%)} + \frac{171.674}{(1+5\%)^2} + \frac{171.674}{(1+5\%)^3} \dots \frac{171.674}{(1+5\%)^{15}} - 2.231.500\ kr = -449.583\ kr.$$

[7] Endurgreiðsla virðisaukaskatts upp á 70.827 kr. stendur til boða.

Núvirði fjárfestingarinnar reynist neikvætt um 449.583 kr. en rekja má þessa neikvæðu niðurstöðu beint til kostnaðarsamra aðgerða við uppsetningu á ofnakerfinu. Innri vextir verkefnisins reynast hinsvegar jákvæðir um 1,85% og við fjárflæðis og núllpunktsgreiningu kemur í ljós að fjárfestingin myndi ekki skila jákvæðu núvirði fyrr en eftir rúm 22 ár[8]. Þrátt fyrir að líftími varmadælna sé einungis metin til 15 ára má hinsvegar ætla að með góðu viðhaldi geti líftími þeirra orðið lengri (Hadorn, 2015).

Telja má að neikvætt núvirði í þessari sviðsmynd gefi ranga mynd af fjárfestingunni í heild sinni. Meirháttar framkvæmd er að fara út í uppsetningu á ofnakerfi, hvort sem það er gólfhiti eður ei og getur hún orðið kostnaðarsöm eins og raun ber vitni. Líklegt er að ofnakerfið endist út líftíma viðkomandi ásamt því að hækki virði húsnæðisins. Eingreiðsla niðurgreiðslna gengur þó langleiðina upp í kostnaðinn á framkvæmdunum. Viðkomandi þyrfti þó sjálfur að fjármagna þær 605.068 kr. sem eftir væru. Kostnaðinn ynni viðkomandi hinsvegar upp á rúmum 4 árum með sparnaði á raforkureikningnum.



Mynd 6: Fjárflæði og núllpunktsgreining sviðsmyndar 3.

[8] Miðað er við að sparnaður haldist stöðugur í 170.241 kr. á ári.

3.4 Sviðsmynd 4

Fjórða sviðsmyndin er örlítið frábrugðin þeim sem komu á undan. Hér gefum við okkur það að viðkomandi hafi hug á að vera sjálfbær í orkuframleiðslu og fjárfestir í CW-1000 vindhverfli frá Icewind og 1 kW sólarrafhlöðu ásamt NIBE SPLIT HBS 05 varmadælu til húshitunar líkt og í sviðsmyndum tvö og þrjú. Gefum okkur að ofnakerfi sé til staðar í húsinu og því upplagt að fjárfesta í loft í vatn varmadælu. Vindhverfillinn er 2,2 meter á breidd, 2,5 meter á hæð og snýst á lóðréttum ás en sá eiginleiki gerir honum kleift að þola íslenskar aðstæður einstaklega vel[9]. Sökum hversu stór hann er má telja að þessi lausn henti þeim aðilum vel sem hafa talsvert land til afnota. Vindhverfillinn er 1 kW og skilar rúmum 1.500 kWst/ári[10]. Líftími vindhverfilsins má áætla um 30 ár en samkvæmt upplýsingum frá Icewind hefur vindhverfillinn aðeins einn slitflöt og eru það legurnar sem gefa sig fyrst.

Sólarrafhlaðan eða réttara sagt, sólarrafhlöðurnar eru átta talsins, 125W hver og skila því 1 kW. Hentugast er að koma þeim fyrir á þaki húsnæðisins og myndu þær einungis þekja um 5,8 fermetra. Líftími sólarrafhlaðnanna má telja 20 ár (Hadorn, 2015) og áætla má að þær skili 750 kWst/ári[11]. Vindhverfillinn og sólarrafhlöðurnar veita húsnæðinu að meðtaltali 2.250 kWst/ári í formi raforku. Raforkuþörf húsnæðisins til húshitunar á ári fyrir fjárfestingu er 35.000 kWst/ári og 9.210 kWst/ári eftir fjárfestingu miðað við að varmastuðull varmadælunnar sé 3,8 (NIBE, e.d.).

$$W_{net,in} = \frac{Q_H}{COP_{HP}} = \frac{35.000\ kWst}{3{,}8} = 9.210\ kWst$$

$$9.210\ kWst - 2.250\ kWst = 6.960\ kWst$$

[9] Upplýsingar um eiginleika, kostnað ofl. í köflum 4.4 & 4.4.1 tengt vindhverflum, sólarrafhlöðum og tengingu við dreifikerfið var aflað frá Sæþóri Ásgeirssyni, forstjóra Icewind, bæði í gegnum tölvupóstsamskipti og með heimsókn í höfuðstöðvar fyrirtækisins. Um munnlega heimild er því hér að ræða og var upplýsingum aflað á fjögurra mánaða tímabili, frá febrúar fram í maí.

[10] 1.500 kWst/ ári er reiknað miðgildi. Framleiðsla vindhverfilsins er 1.000-2000 kWst/ári eftir því hversu vindasamt er. Upplýsingar fengnar hjá Sæþóri Ásgeirssyni, forstjóra Icewind.

[11] 750 kWst/ári er reiknað miðgildi. Framleiðsla sólarrafhlaðnana er 550-1200 kWst/ári eftir því hversu sólríkt er. Upplýsingar fengnar hjá Sæþóri Ásgeirssyni, forstjóra Icewind.

Við útreikninga kemur í ljós að brúa þarf bil upp á 6.960 kWst/ári til að halda húsinu heitu og því er nauðsynlegt að tengjast dreifikerfi Orkubús Vestfjarða eða annarra dreifiveitna. Heildarraforkusparnaður húsnæðisins að loknum fjárfestingum má áætla að nemi 28.040 kWst/ári eða rúmlega 80% af fyrri raforkunotkun. Er búið er að ákvarða sparnaðarhlutfallið er mögulegt að ákvarða eingreiðsluna. Eingreiðsla miðað við 80% sparnaðarhlutfall, átta ára eingreiðslu og 7,88 kr/kWst á veitusvæði OV í dreifbýli mun nema 1.777.728 kr sbr. Viðauka D. Hitunarþörf eftir eingreiðsluna og fjárfestingar stendur, eins og áður hefur komið fram, í 6.969 kWst/ári og af þeim verða 6.800 kWst/ári niðurgreiddar. Viðkomandi neyðist því til að borga fyrir 169 kWst ár hvert niðurgreiðslulaust til að halda húsnæðinu heitu.

Tafla 5: Kostnaðaráætlun sviðsmyndar 4[12]

Kostnaðarliður	Verð m/vsk
Varmadæla	886.600
Upps. varmadælu	93.000
Vindtúrbína	784.000
Upps. vindhverfils	50.000
Spennubreytir	230.000
Sólarrafhlöður	292.500
Upps. sólarrafhl.	157.500
Samtals	**2.493.600**

Ef við skoðum kostnaðarliðina við fjárfestinguna sjáum við að stofnkostnaður er tiltölulega mikill. Allur búnaður er heldur dýr en taka verður inn í myndina endingartímann á búnaðinum sem er að meðaltali 20 ár. Ásamt varmadælunni, vindhverflinum og sólarrafhlöðunum þarf einnig að fjárfesta í spennubreyti *(e. grid tie inverter).* Spennubreytirinn (*e. grid tie inverter)* er eitthvað sem hefur ekki verið fjallað um áður en eins og nafnið gefur til kynna, breytir hann jafnstraum (*e. direct current)* í riðstraum (*e. alternating current)* svo mögulegt sé að veita þeirri orku sem vindhverfillinn og sólarrafhlöðurnar framleiða inn á raforkukerfi húsnæðisins (Bizon, Shayeghi, & Tabatabaei, 2013).

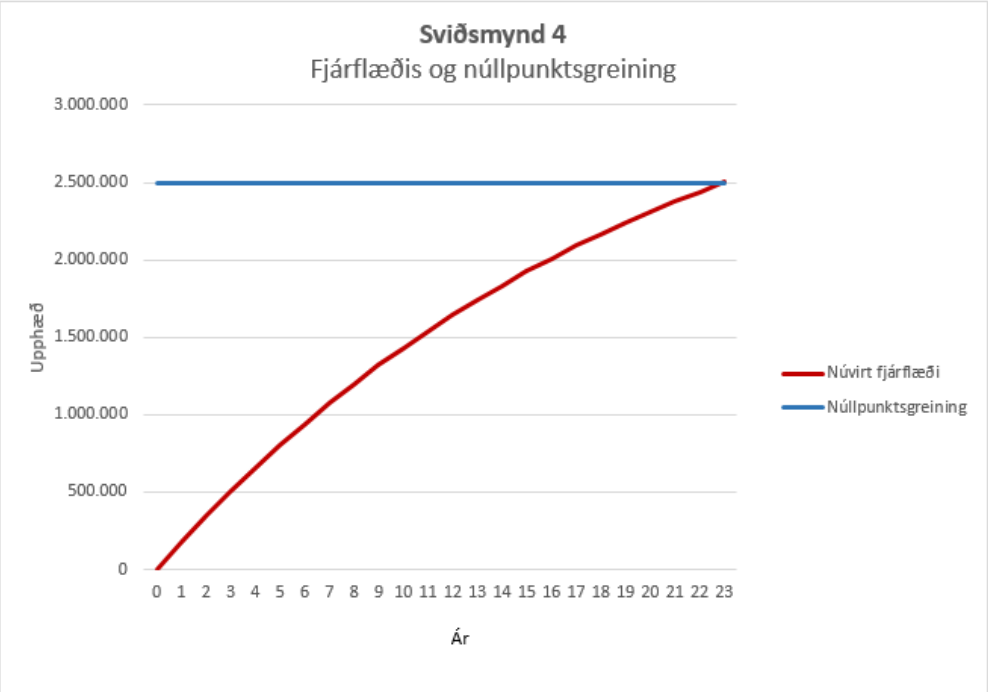
Orkureikningurinn að loknum framkvæmdum og fjárfestingu mun standa í 189.246 kr. á ári. Ef við berum það saman við orkureikninginn fyrir fjárfestingu, 374.593 kr., sjáum við

[12] Öll verð hér í töflu 5 á búnaði og uppsetningu er fengin frá söluaðilum hér á landi, Fríorku og Icewind.

sparnað upp á 49% ár hvert. Sparnaður ríkisins er einnig töluverður en hann mun nema 222.216 kr. á ári. Ef við kíkjum á arðsemisútreikninga fjárfestingarinnar sjáum við að núvirði fjárfestingarinnar er neikvætt um 569.762 kr. að fimmtán árum liðnum og innri vextir eru jákvæðir um 1,39%. Einnig má sjá að niðurgreiðslan upp á 1.777.728 kr. nægir ekki til að standa undir stofnkostnaðinum og þarf því viðkomandi að brúa bilið, alls 715.872 kr.

$$NPV = \frac{185.347}{(1+5\%)} + \frac{185.347}{(1+5\%)^2} + \frac{185.347}{(1+5\%)^3} \dots \frac{185.347}{(1+5\%)^{15}} - 2.493.600\ kr. = -569.762\ kr$$

Við fjárflæðis og núllpunktsgreiningu kemur í ljós að á rúmum 23 árum borgar fjárfestingin sig upp. Hér er gert ráð fyrir að raforkuverð, notkun og sparnaður sé fastur næstu árin. Allt eru þetta breytilegir þættir og að halda því fram að þeir haldist stöðugir er heldur mikil einföldun. Niðurstöðurnar gefa samt sem áður ágætis vísbendingu um raunverulega útkomu.



Mynd 7: Fjárflæðis og núllpunktsgreining sviðsmyndar 4.

3.4.1 Innmötun á dreifikerfið

Segjum sem svo að framleiðsla vindhverfilsins og sólarrafhlaðnanna værir meiri en raforkuþörf húsnæðisins á ári. Til að nýta þessa orku standa tveir valmöguleikar til boða. Annars vegar að selja orkuna inn á dreifikerfið og hins vegar að geyma hana á rafgeymum. Þar væri mögulegt að nota hana þegar ekki væri nægilegt framboð á orku. Helsta vandamálið við endurnýjanlega orku er að framboðið á henni er ekki áreiðanlegt og ómögulegt að hafa áhrif á það. Upp koma dagar þar sem sól skín ekki og vindur er lítill sem enginn. Þegar kemur að vindinum er þessi staða er þó heldur ólíkleg á Íslandi og var meðalvindhraði á Bolungarvík um 4,7m/sek á árunum 1995 til 2016 (Veðurstofa Íslands, 2016).

Fýsilegra er að tengjast raforkukerfinu heldur en að geyma raforku á rafgeymum sökum mikils auka kostnaðar sem skapast við kaup á rafgeymum og tilheyrandi búnaði. Samkvæmt upplýsingum frá Rotor, söluaðila rafgeyma hér á landi, er áætlaður líftími rafgeyma um 12 ár og kostnaður við kaup á milli 150.000-200.000 kr. eftir stærð. Líftími rafgeyma er hinsvegar háður notkun þeirra og hraða hleðslu. Máli skiptir hvernig rafgeymar eru hlaðnir því miklar sveiflur í hleðslu draga úr endingartíma. Tólf ár gæti talist líklegur endingartími sé streymi inn og út af rafgeyminum tiltölulega hægt. Í grænum orkukerfum á borð við vindafl og sólarorku er hleðsla háð vindi og sól og því hægar og stöðugar hleðslur ekki teknar sem sjálfsagðar (Greenwired, e.d.). Út frá þeim upplýsingum má áætla að líftími rafgeymis sem hlaðinn er með grænum orkukerfum hafi skemmri líftíma en annars eða ekki meira en tíu ár. Samkvæmt upplýsingum frá Icewind er einnig nauðsynlegt að fjárfesta í hleðslustýringu og áriðli en saman myndi þessi búnaður kosta um 200.000 kr.

Ef við skoðum nú kostnaðinn við fjárfestinguna í vindhverflinum, sólarrafhlöðunni og spennubreytinum við tengingu við dreifikerfið sjáum við að kostnaðurinn við búnaðinn nemur 1.514.000. Kostnaðurinn eykst um 145.000 kr. ef tengjast á við rafgeyma. Ekki er einungis kostnaðurinn meiri við tengingu í rafgeyma heldur verður viðkomandi einnig af hugsanlegum framtíðartekjum sem fást fyrir að veita raforku inn á kerfið.

Tafla 7: Tenging við dreifikerfið

Tenging við dreifikerfið

Kostnaðarliður	Verð m/vsk
Vindhverfill	784.000
Upps. vindhverfils	50.000
Spennubreytir	230.000
Sólarrafhlöður	292.500
Upps. sólarrafhlaðna	157.500
Samtals	**1.514.000**

Tafla 6: Tenging við rafgeymi

Tenging við rafgeymi

Kostnaðarliður	Verð m/vsk
Vindhverfill	784.000
Upps. vindhverfils	50.000
Rafgeymir	175.000
Áriðill	110.000
Hleðslustýring	90.000
Sólarrafhlöður	292.500
Upps. sólarrafhlaðna	157.500
Samtals	**1.659.000**

Þau heimili hér í landi sem tengjast dreifikerfi RARIK með 80 Amper heimtaug borga 17.998 kr. eða 28.378 kr.[13] eftir því hvort viðkomandi sé búsettur í þéttbýli eða dreifbýli (RARIK, 2017). Samkvæmt 2. mgr. 17. gr. raforkulaga er dreifiveitum heimilt að hafa sérstaka gjaldskrá á dreifbýlissvæðum þar sem kostnaður við dreifingu á þau svæði megi teljast hærri en í þéttbýli. Er aðili fjárfestir í búnaði til framleiðslu á endurnýjanlegri orku og óskar eftir því að tengjast dreifikerfinu þarf að hafa samband við dreifiveituna sína. Virkjanir sem tengjast dreifikerfinu greiða árlegt fastagjald samkvæmt verðskrá fyrir innmötun raforku að upphæð 125.687 kr. auk virðisaukaskatts og greiðist 1/12 af gjaldinu mánaðarlega (RARIK, 2017).

[13] Bæði verð eru gefin upp án 11% virðisaukaskatts sem rafmagn til húshitunar ber.

Tafla 8: Upphæð greiðslu frá RARIK við innmótun raforku.

			Vindhverfill 1 kW	Sólarrafhlöður 1 kW	
Aflþáttur	kr/kW/ári	6.006,05	6006,052	6006,052	
Orkuþáttur	kr/kWh	0,4349	652,35	326,175	
Tapaþáttur	kr/kWh	0,10874	163,11	81,555	
Framleiðsla	kr/kWh	2,5	3750	1875	
			10.572 ISK	8.289 ISK	**18.860 ISK**

Þær greiðslur sem viðkomandi á möguleika að fá fyrir selda raforku inn á kerfi RARIK teljast heldur litlar. Ef við miðum við álíka fjárfestingu og hér að ofan, 1 kW vindhverfil og sólarrafhlöðu sem framleiðir 1 kW, er hægt að reikna út þær greiðslur sem mögulegt er að fá sbr. töflu 8. Miðað er við að vindhverfillinn framleiði 1.500 kWst/ári og sólarrafhlaðan 750 kWst/ári og sé allri framleiðslu veitt inn á dreifikerfið. Öll verð hér að ofan fyrir utan framleiðsluverðið eru föst og má þau finna í gjaldskrá RARIK (RARIK, 2017). Framleiðsluverðið, 2,5 kr.[14] í okkar tilfelli, er samningsatriði milli framleiðanda og RARIK og því breytilegt milli aðila (RARIK, 2017). Ávinningur þess að tengjast netinu ár hvert og veita framleiðslu sinni inn á kerfið er neikvæður upp á 106.827 kr. Hér sést greinilega að ekkert hvatakerfi er til staðar til að veita grænni orku inn á dreifikerfið eins og víðsvegar annarsstaðar í heiminum. Gjöld eru há og greiðslur lágar. Lönd á borð við Bandaríkin, Úrúgvæ og Þýskaland hafa stuðst við Feed-in Tariff eða Net Metering kerfi seinustu ár við gott orðspor og hafa fjárfestingar í endurnýjanlegum orkugjöfum og grænni orku á dreifikerfinu aukist til muna (IRENA, 2015). Ekki er að sjá að tæknileg fyrirstaða sé í kerfinu hér á landi sem gerir að verkum að stefnur á borð við Net Metering muni ekki koma til með að virk. Breyting á regluverki og afnám fastagjalda á litlum orkukerfum fyrir heimili og sumarhús gæti skipt sköpum.

[14] 2,5 kr/kWh er hér gefið. Skv. gjaldskrá RARIK er orkugjald 5,12 kr/kWh. Það huglægt mat höfundar að dreifiveitan greiði samningsaðilum ekki meira en 2,5 kr/kWh við innmötun raforku. Framlegð RARIK væri þá 2,62 kr/kWh sem mætti telja ásættanlegt.

4 Niðurstöður & Umræður

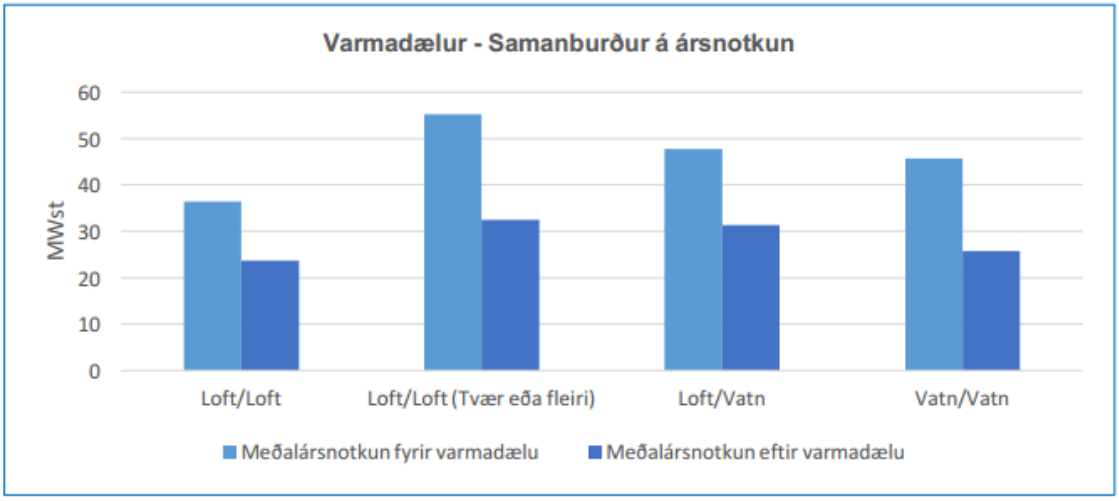
Raforkureikningur íbúa á köldum svæðum sem styðjast við húshitun með rafmagni getur orðið gríðarlega hár þrátt fyrir niðurgreiðslur ríkisins. Eingreiðsla niðurgreiðslna veitir einstaklingum hinsvegar tækifæri á að fjárfesta í orkusparandi búnaði og þannig lækka bæði raforkunotkun sína á ári og raforkureikninginn. Sjá má á sviðsmyndunum hér að ofan að gríðarlegum raforkusparnaði má ná með fjárfestingum í varmadælum. Meðalraforkusparnaður sviðsmyndanna fjögurra var um 77%. Sá hæsti, 80,11%, náðist í fjórðu sviðsmyndinni með fjárfestingu í varmadælu, vindhverflinum og sólarrafhlöðunni en sá lakasti þar sem einungis var fjárfest í loft/vatn varmadælu. Miklu máli skiptir að vanda val á þeim búnaði sem fjárfesta á í með það að leiðarljósi að hámarka áætlaðan raforkusparnað. Upphæð eingreiðslu niðurgreiðslna ræðst af áætluðum orkusparnaði og því er fjárhagslegur hvati að hámarka sparnað hvort sem það sé með varmadælum, vindhverflum, sólarrafhlöðum eða öðrum lausnum.

Þegar velja á varmadælu þarf að huga að mörgum þáttum og skoða þarf aðstæður á hverjum stað fyrir sig. Telja má að hönnun húsnæðis, ofnakerfi og volgrur séu ráðandi þættir í vali á varmadælu. Mikið niðurhólfuð hús á mörgum hæðum gera varmaflæði á milli herbergja og hæða erfitt fyrir og því loft í loft varmadælur ekki vænlegur kostur þar. Sé ofnakerfi til staðar í húsnæðinu má fjárfesta í loft í vatn eða jarðvarmadælu og hita þannig húsnæðið upp líkt og ef hitaveita væri til staðar. Staðsetning volgru í nágrenni eykur hagkvæmni varmadælunnar til muna og má ná fram gríðarlegum raforkusparnaði. Ekki er notkun jarðvarmadælna takmörkuð við volgrur því mögulegt er að nota stöðuvötn, læki og hafið sjálft sem varmauppsprettu. Sé ofnakerfi ekki til staðar má fjárfesta í loft í loft varmadælu eða leggja ofnakerfi í húsnæðið með tilheyrandi kostnaði og fjárfesta þá í loft í vatn varmadælu.

Varmadælur eru því ein sniðugasta lausnin á markaði í dag ef við skoðum húshitun og orkusparnað. Það má því spyrja sig að því hverjar séu helstu ástæður þess að aðeins 27 milljónum króna var úthlutað til aðila sem fjárfestu í orkusparandi lausnum árið 2014 (Orkustofnun, 2015). Samkvæmt þeim niðurstöðum sem komist var að hér, má ná rúmlega 47% lækkun á orkureikningnum ár hvert án þess að leggja út neitt fjármagn. Staðreyndin er sú að ríkinu skortir fjármagn til að geta staðið við þær skuldbindingar sem kveðið er á um í lögum um niðurgreiðslu á húshitunarkostnaði (Orkustofnun, 2017).

Samkvæmt ársskýrslu Orkustofnunar árið 2016 er þess getið að fjárlög til málaflokksins dugi rétt svo fyrir lögbundnum niðurgreiðslum á húshitunarkostnaði og ólíklegt sé talið að hægt verði að standa við 600 m. kr. skuldbindingar ársins 2017 (Orkustofnun, 2017).

Reynt var eftir bestu getu að hafa sviðsmyndirnar hér að ofan eins raunhæfar og hægt var. Útreikningur á orkusparnaði var hinsvegar einfaldur en ætti ekki að vera langt frá því sem gerist í raun. Orkustofnun hefur fylgst með orkunotkun notenda fyrir og eftir fjárfestingu í varmadælum og komist að sambærilegum niðurstöðum. Þar var um raunmælingar að ræða en niðurstöður mælinga Orkustofnunar á árunum 2009 til 2013 má sjá á mynd 8 (Orkustofnun, 2017). Vert er að taka fram að á seinustu árum hefur átt sér stað gífurleg þróun í varmadælum og skilvirkni þeirra aukist til muna. Raunverulegur orkusparnaður kynni því að liggja á milli mælinga Orkustofnunar og niðurstaðna úr útreikningum hér í þessari ritgerð.



Mynd 8: Samanburður á ársnotkun á raforku fyrir og eftir fjárfestingu í varmadælu.
Heimild: (Orkustofnun, 2017)

Víkjum nú aðeins frá eingreiðslum og húshitunarkostnaði og skoðum fjárfestingar í endurnýjanlegri orku. Telja má að þær háu upphæðir sem dreifiveitur rukka við innmötun raforku á kerfið, dragi úr fjárfestingum einstaklinga í endurnýjanlegri orkuframleiðslu og virki sem hindrun. Með árlegt fastagjald upp á 125.687 kr. (RARIK, 2017) sést að framleiðsla á raforku þarf að vera heldur mikil til þess eingöngu að geta borgað upp þetta gjald. Spyrja má sig að því hvort nýting jarðvarma á gosbeltinu hindri fjárfestingar og þróun í öðrum endurnýjanlegum orkugjöfum hér á landi og hvort að innmötun 100% kolefnislausrar orku inn á kerfið sé ekki alltaf af hinu góða. Þó svo að yfir 90% af

orkunotkun Íslands sé fullnægt með endurnýjanlegum orkugjöfum og kolefnisfótspor þjóðarinnar í orkuöflun til fyrirmyndar má sjá hag í því að minnka eftirspurn eftir orku. Minni eftirspurn eftir raforku gæti þýtt það að óþarfi sé að fara út í frekari virkjunarframkvæmdir. Draga megi þá úr niðurgreiðslum og veita megi fjármagni annað þar sem þess er þörf, svo sem til heilbrigðis- eða vegasamgöngukerfisins.

Hvatakerfi á borð við Feed-in Tariff og Net Metering hafa verið tekin upp víðsvegar í heiminum til að mæta aukinni orkuþörf og auka endurnýjanlega orku inn á dreifikerfinu. Með innleiðingu á þessum stefnum, eða einhverri útfærslu af þeim, má mögulega auka fjárfestingar einstaklinga í endurnýjanlegum orkugjöfum.

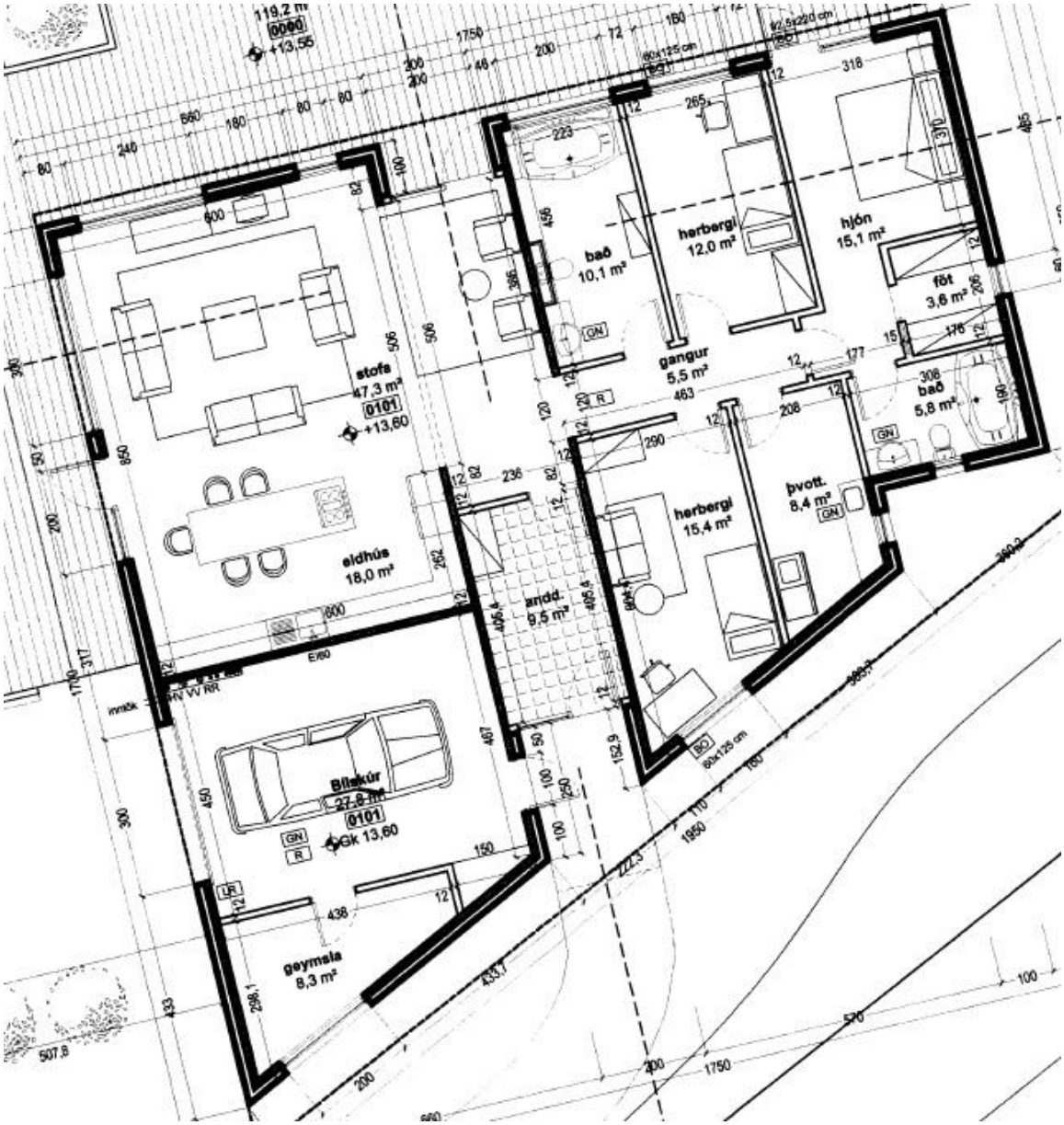
5 Lokaorð

Niðurstöðum ritgerðarinnar er ætlað að sýna fram á að bæði einstaklingar og samfélagið í heildsinni geti notið góðs af fjárfestingum í orkusparandi lausnum. Höfundur vonar að niðustöðurnar auki umtal um raforkusparnað og fjárfestingar einstaklinga í endurnýjanlegum orkugjöfum. Áhugavert verður að fylgjast með hvort fjárfestingar aukist á næstu árum og hvernig ríkisvaldið bregðist við aukinni eftirspurn eftir raforku.

Mikil vinna var lögð í öflun upplýsinga og heimilda en kostnaðarliðir og aðrar forsendur voru oft áætlaðar þar sem upplýsingar lágu (í sumum tilfellum) ekki svo auðveldlega fyrir. Niðurstöðum þessarar ritgerðar er því einungis ætlað að gefa góða vísbendingu um raunsannar niðurstöður.

Í framhaldi þessarar ritgerðar væri áhugavert að kanna skilvirkni og mögulegan orkusparnað jarðvarmadælna til húshitunar. Fyrri rannsóknir benda til þess að skilvirkni jarðvarmadælna sé mun meiri en þeirra varmadælna sem fjallað var um hér og væri því áhugavert að kanna fjárfestingar í þeim.

Viðauki A – Teikning af húsnæði



Viðauki B - Sviðsmynd 1

Raforkuverð á veitusvæði OV í dreifbýli:	10,06	kr/kWst
Dreifbýlisframlag ríkissjóðs:	2,18	kr/kWst
Niðurgreiðsla á veitusvæði OV í dreifbýli:	7,88	kr/kWst
Jöfnunargjald	0,30	kr/kWst
Raforkuskattur:	0,00	kr/kWst
Verð frá orkuseljanda:	5,70	kr/kWst
Fjöldi ára til útreikninga á eingreiðslu:	8,0	ár

Útreikningar miðast við tvímælingu (sér mælir fyrir hita)

Meðal ársnotkun til húshitunar síðustu 5 ár fyrir uppsetningu:	35.000	kWst/ári
Meðal ársnotkun til almennrar notkunar síðustu 5 ár fyrir uppsetningu:	6.176	kWst/ári
Niðurgreiðslustuðull	1,00	
Hámark til niðurgreiðslu	40.000	kWst/ári
Hlutfall orkusparnaðar	76,88%	
Áætlaður orkusparnaður	26.909	kWst/ári
Hitunarþörf eftir	8.091	kWst/ári
Hitunarþörf eftir, m.t.t. hlutfalls húshitunar af heildarnotkun	8.091	kWst/ári
Reiknaður nýr niðurgreiðslustuðull	0,20	
Eftirstandandi fjöldi kWst til niðurgreiðslu	8.000	kWst/ári
Árlegur sparnaður ríkisins	212.760	kr./ári
Eingreiðsla	**1.702.080**	kr.

OV dreifing og flutningur - Fyrir				
Áætluð heildarnotkun		41.176		
Til hitunar		35.000	8,18	286.300
Til almennra nota		6.176	8,18	50.524
Fastagjald /ári		77,75	365	28.378
Niðurgreiðsla		35.000	-7,88	-275.800
Samtals				89.402
VSK	24,00%	78.902		18.936
VSK	11,00%	10.500		1.155
Samtals dreifing og flutningur				**109.493**

OV - Fyrir				
Áætluð heildarnotkun		41.176		
Til hitunar		35.000	5,70	199.500
Til almennra nota		6.176	5,70	35.206
Samtals				234.706
VSK	24,00%	35.206		8.449
VSK	11,00%	199.500		21.945
Samtals orkusala				**265.100**
Samtals orkureikningur				**374.593**

OV dreifing og flutningur - Eftir				
Áætluð heildarnotkun		14.267		
Til hitunar		8.091	8,18	66.184
Til almennra nota		6.176	8,18	50.524
Fastagjald /ári		77,75	365	28.378
Niðurgreiðsla		8.000	-7,88	-63.040
Samtals				82.046
VSK	24,00%	78.902		18.936
VSK	11,00%	3.144		346
Samtals dreifing og flutningur				**101.328**

OV - Eftir				
Áætluð heildarnotkun		14.267		
Til hitunar		8.091	5,70	46.119
Til almennra nota		6.176	5,70	35.206
Samtals				81.325
VSK	24,00%	35.206		8.449
VSK	11,00%	46.119		5.073
Samtals orkusala				**94.847**
Samtals orkureikningur				**196.175**

Sparnaður notanda/ári	178.418
Sparnaður notanda á 8 árum	1.427.344
Sparnaður ríkisins/ári	212.760
Eingreiðsla	1.702.080

Viðauki C – Sviðsmynd 2

Raforkuverð á veitusvæði OV í dreifbýli:	10,06	kr/kWst
Dreifbýlisframlag ríkissjóðs:	2,18	kr/kWst
Niðurgreiðsla á veitusvæði OV í dreifbýli:	7,88	kr/kWst
Jöfnunargjald	0,30	kr/kWst
Raforkuskattur:	0,00	kr/kWst
Verð frá orkuseljanda:	5,70	kr/kWst
Fjöldi ára til útreikninga á eingreiðslu:	8,0	ár

Útreikningar miðast við tvímælingu (sér mælir fyrir hita)

Meðal ársnotkun til húshitunar síðustu 5 ár fyrir uppsetningu:	35.000	kWst/ári
Meðal ársnotkun til almennrar notkunar síðustu 5 ár fyrir uppsetningu:	6.176	kWst/ári
Niðurgreiðslustuðull	1,00	
Hámark til niðurgreiðslu	40.000	kWst/ári
Hlutfall orkusparnaðar	73,69%	
Áætlaður orkusparnaður	25.790	kWst/ári
Hitunarþörf eftir	9.210	kWst/ári
Hitunarþörf eftir, m.t.t. hlutfalls húshitunar af heildarnotkun	9.210	kWst/ári
Reiknaður nýr niðurgreiðslustuðull	0,23	
Eftirstandandi fjöldi kWst til niðurgreiðslu	9.200	kWst/ári
Árlegur sparnaður ríkisins	203.304	kr./ári
Eingreiðsla	**1.626.432**	kr.

OV dreifing og flutningur - Fyrir				
Áætluð heildarnotkun		41.176		
Til hitunar		35.000	8,18	286.300
Til almennra nota		6.176	8,18	50.524
Fastagjald /ári		77,75	365	28.378
Niðurgreiðsla		35.000	-7,88	-275.800
Samtals				89.402
VSK	24,00%	78.902		18.936
VSK	11,00%	10.500		1.155
Samtals dreifing og flutningur				**109.493**

OV - Fyrir				
Áætluð heildarnotkun		41.176		
Til hitunar		35.000	5,70	199.500
Til almennra nota		6.176	5,70	35.206
Samtals				234.706
VSK	24,00%	35.206		8.449
VSK	11,00%	199.500		21.945
Samtals orkusala				**265.100**
Samtals orkureikningur				**374.593**

OV dreifing og flutningur - Eftir				
Áætluð heildarnotkun		15.386		
Til hitunar		9.210	8,18	75.338
Til almennra nota		6.176	8,18	50.524
Fastagjald /ári		77,75	365	28.378
Niðurgreiðsla		9.200	-7,88	-72.496
Samtals				81.743
VSK	24,00%	78.902		18.936
VSK	11,00%	2.842		313
Samtals dreifing og flutningur				**100.992**

OV - Eftir				
Áætluð heildarnotkun		15.386		
Til hitunar		9.210	5,70	52.497
Til almennra nota		6.176	5,70	35.206
Samtals				87.703
VSK	24,00%	35.206		8.449
VSK	11,00%	52.497		5.775
Samtals orkusala				**101.927**
Samtals orkureikningur				**202.919**

Sparnaður notanda/ári	171.674
Sparnaður notanda á 8 árum	1.373.391
Sparnaður ríkisins/ári	203.304
Eingreiðsla	1.626.432

Viðauki D – Sviðsmynd 4

Raforkuverð á veitusvæði OV í dreifbýli:	10,06	kr/kWst
Dreifbýlisframlag ríkissjóðs:	2,18	kr/kWst
Niðurgreiðsla á veitusvæði OV í dreifbýli:	7,88	kr/kWst
Jöfnunargjald	0,30	kr/kWst
Raforkuskattur:	0,00	kr/kWst
Verð frá orkuseljanda:	5,70	kr/kWst
Fjöldi ára til útreikninga á eingreiðslu:	8,0	ár

Útreikningar miðast við tvímælingu (sér mælir fyrir hita)

Meðal ársnotkun til húshitunar síðustu 5 ár fyrir uppsetningu:	35.000	kWst/ári
Meðal ársnotkun til almennrar notkunar síðustu 5 ár fyrir uppsetningu:	6.176	kWst/ári
Niðurgreiðslustuðull	1,00	
Hámark til niðurgreiðslu	40.000	kWst/ári
Hlutfall orkusparnaðar	80,11%	
Áætlaður orkusparnaður	28.040	kWst/ári
Hitunarþörf eftir	6.960	kWst/ári
Hitunarþörf eftir, m.t.t. hlutfalls húshitunar af heildarnotkun	6.960	kWst/ári
Reiknaður nýr niðurgreiðslustuðull	0,17	
Eftirstandandi fjöldi kWst til niðurgreiðslu	6.800	kWst/ári
Árlegur sparnaður ríkisins	222.216	kr./ári
Eingreiðsla	**1.777.728**	kr.

OV dreifing og flutningur - Fyrir				
Áætluð heildarnotkun		41.176		
Til hitunar		35.000	8,18	286.300
Til almennra nota		6.176	8,18	50.524
Fastagjald /ári		77,75	365	28.378
Niðurgreiðsla		35.000	-7,88	-275.800
Samtals				89.402
VSK	24,00%	78.902		18.936
VSK	11,00%	10.500		1.155
Samtals dreifing og flutningur				**109.493**

OV - Fyrir				
Áætluð heildarnotkun		41.176		
Til hitunar		35.000	5,70	199.500
Til almennra nota		6.176	5,70	35.206
Samtals				234.706
VSK	24,00%	35.206		8.449
VSK	11,00%	199.500		21.945
Samtals orkusala				**265.100**
Samtals orkureikningur				**374.593**

OV dreifing og flutningur - Eftir				
Áætluð heildarnotkun		13.136		
Til hitunar		6.960	8,18	56.933
Til almennra nota		6.176	8,18	50.524
Fastagjald /ári		77,75	365	28.378
Niðurgreiðsla		6.800	-7,88	-53.584
Samtals				82.250
VSK	24,00%	78.902		18.936
VSK	11,00%	3.349		368
Samtals dreifing og flutningur				**101.555**

OV - Eftir				
Áætluð heildarnotkun		13.136		
Til hitunar		6.960	5,70	39.672
Til almennra nota		6.176	5,70	35.206
Samtals				74.878
VSK	24,00%	35.206		8.449
VSK	11,00%	39.672		4.364
Samtals orkusala				**87.691**
Samtals orkureikningur				**189.246**

Sparnaður notanda/ári	185.347
Sparnaður notanda á 8 árum	1.482.776
Sparnaður ríkisins/ári	222.216
Eingreiðsla	1.777.728

6 Heimildaskrá

Ahrens, U., Diehl, M., & Schmehl, R. (2014). *Airborne Wind Energy.* Berlin: Springer.

Ásmundsson, R. K. (2005). *Varmadælur - Hagkvæmni á Íslandi.* Reykjavík: Íslenskar Orkurannsóknir.

Bizon, N., Shayeghi, H., & Tabatabaei, N. M. (2013). *Analysis, Control and Optimal Operations in Hybrid Power Systems.* London: Springer-Verlag.

Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2014). *Investments 10th ed.* Berkshire: McGraw Hill Education.

Brigham, E., & Houston, J. (2007). *Fundamentals of Financial Management 11. útgáfa.* Mason, Ohio: Thomson South-Western.

Cengal, Y. A., & Boles, M. A. (2002). *Thermodynamics: An Engineering Approach, 4th Edition.* New York: McGraw-Hill.

Cornfeld, J., & Sauer, A. (2010). *Feed-in Tariffs.* Washington DC: Environmental and Energy Study Institute.

Cory, K., Couture, T., & Kreycik, C. (2009). *Feed-in Tariff Policy: Design, Implementation and RPS Policy Interactions.* Denver: National Renewable Energy Labratory.

Curley, R. (2012). *Engergy: Past, Presend and Future: Fossil Fuels.* New York: Britannica Educational Publishing.

Edison Electric Institute. (2016). *Solar Energy and Net Metering.* Washington D.C.: Edison Electric Institute.

EIA. (2017). *International Energy Statistics.* Sótt frá U.S. Energy Information Administration: https://www.eia.gov/beta/international/rankings/#?prodact=5-2&cy=2012&pid=5&aid=2&tl_id=2-A&tl_type=a

Ferill Verkfræðistofa. (e.d.). *Varmatap húsa.* Reykjavík: Ferill Verkfræðistofa.

Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins. (2015). *The Paris Protocol – A blueprint for tackling global climate change beyond 2020.* Brussel: European Commission.

Greenwired. (e.d.). *Battery Basics.* Sótt frá Greenwired: Renewable Energy Solutions: https://www.greenwired.com/media/wysiwyg/pdfs/battery-basics.pdf

Hadorn, J.-C. (2015). *Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings.* Berlín: Ernst & Sohn.

Hagstofa Íslands. (19. 4 2017). *Orkunotkun eftir uppruna 1987-2014.* Sótt frá Hagstofa Íslands: http://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Atvinnuvegir/Atvinnuvegir__orkumal/IDN02102.px/table/tableViewLayout1/?rxid=a3414389-65fd-421b-a840-7562949f16a5

Ólafur J. Hansson. (30. júlí 2010). *Nokkur atriði um ríkisskuldabréf*. Sótt frá Landsbankinn: https://www.landsbankinn.is/fjarhagur/2010/07/30/Nokkur-atridi-um-islensk-rikisskuldabref/?newsid=22b51c36-b67a-4752-9e2b-32006d2b2a65

Howell, R., Qin, N., Edwards, J., & Durrani, N. (February 2010). Wind Tunnel and Numerical Study of a Small Vertical Axis WInd Turbine. *Renewable Energy*, bls. 412-422.

Hundy, G. F., Trott, A. R., & Welch, T. C. (2016). *Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps 5th Ed.* Oxford: Buttersworth-Heinemann.

IRENA. (2015). *Renewable Energy in Latin America 2015: An Overview of Policies.* Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

Íslenskar Orkurannsóknir. (án dags.). *Háhitasvæði*. Sótt frá Íslenskar Orkurannsóknir: http://www.isor.is/hahitasvaedi

ÍSOR. (e.d.). *Háhitasvæði*. Sótt frá Íslenskar orkurannsóknir: http://www.isor.is/hahitasvaedi

Landberg, L. (2016). *Meteorology for Wind Energy: An Introduction.* Copenhagen: John Wiley & Sons Ltd.

Landsnet. (2010). *Raforkukerfið.* Sótt frá Landsnet: http://english.landsnet.is/raforkukerfid/

Langley, B. C. (2002). *Heat Pump Technology 3rd ed.* Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

Lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 78/2002. (án dags.).

Mackay, M. E. (2015). *Solar Energy: An Introduction.* Oxford: Oxford University Press.

Mendonca, M., Jacobs, D., & Sovacool, B. (2010). *Powering the Green Economy: The feed-in tariff handbook.* London: Earthscan.

MIT Energy Initiative. (2017). *Electricity Security of Supply in Iceland.* MIT.

NIBE. (e.d.). *NIBE SPLIT HBS 05.* Sótt frá NIBE Sustainable Energy Solutions: http://www.nibe.eu/nibedocuments/19059/M11999-1.pdf

Orkuspárnefnd. (2016). *Raforkuspá 2016-2050.* Reykjavík: Orkustofnun.

Orkustofnun. (2007). *Ársfundur Orkustofnunar 2007.* Akureyri: Orkustofnun.

Orkustofnun. (2007). *Raforkunotkun á köldum svæðum.* Reykjavík: Orkustofnun.

Orkustofnun. (2014). *Skýrsla Orkustofnunar til atvinnu- og nýsköpunarráðuneytis um niðurgreiðslur á húshitunarkostnaði.* Reykjavík: Orkustofnun.

Orkustofnun. (2015). *Niðurgreiðslur á húshitunarkostnaði - Skýrsla til iðnaðar- og viðskiptaráðherra.* Reykjavík: Orkustofnun.

Orkustofnun. (2017). *Ársskýrsla 2016.* Reykjavík: Orkustofnun.

Orkustofnun. (án dags.). *Umsókn um eingreiðslur*. Sótt frá Orkustofnun: http://www.orkustofnun.is/orkustofnun/umsoknir/eingreidslur/

Orkustofnun. (án dags.). *Umsókn um niðurgreiðslur*. Sótt frá Orkustofnun: http://www.orkustofnun.is/orkustofnun/umsoknir/eingreidslur/

Orkuveita Reykjavíkur. (2015). *Uhverfisskýrsla OR.* Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.

Pálmason, G. (2005). *Jarðhitabók. Eðli og nýting auðlindar.* Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.

Pehnt, M. (January 2006). Dunamic Life Cycle Assessment of Renewable Energy Technologies. *Renewable Energy*, bls. 55-71.

Raforkulög nr. 65/2007. (án dags.).

RARIK. (1. janúar 2017). *Tenging Virkjana.* Sótt frá RARIK: https://www.rarik.is/rafmagn/rafmagn/tenging-virkjana

RARIK. (1. apríl 2017). *Verðskrá fyrir dreifingu og flutning (nr. 22a - útg. 01.04.17).* Sótt frá RARIK: https://www.rarik.is/skjolrarik?DocumentScreen=detail&cl=523&ccs=754

Reglugerð um endurgreiðslu virðisaukaskatts vegna kaupa á varmadælu til upphitunar íbúðarhúsnæðis nr. 850/2014. (án dags.).

Ríkisskattstjóri. (án dags.). *Virðisaukaskattur*. Sótt frá RSK: https://www.rsk.is/einstaklingar/skattar-og-gjold/virdisaukaskattur/

Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable Energy Resources 3rd Ed.* Milton: Routledge.

U.S. Deparment of Energy. (án dags.). *Air-source heat pumps*. Sótt frá Energy.gov: https://energy.gov/energysaver/air-source-heat-pumps

U.S. Department of Energy. (e.d.). *Geothermal Heat Pumps.* Sótt frá U.S. Department of Energy: https://energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps

U.S. Department of Energy. (án dags.). *History of U.S. Wind Energy*. Sótt frá Energy.gov: https://www.energy.gov/eere/wind/history-us-wind-energy

U.S. Energy Information Administration. (9. Maí 2012). *Policies For Compensating Behind-the-Meter Generation Vary by State*. Sótt frá U.S. Energy Information Administration: https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=6190#

U.S. Energy Information Administration. (30. May 2013). *Feed-in tariff: A policy tool encouraging renewable electricity technologies*. Sótt frá Energy Information Administration: https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=11471

Veðurstofa Íslands. (2016). *Tímaraðir fyrir valdar veðurstöðvar.* Sótt frá Veðurstofa Íslands: http://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Stod_252_Bolungarvik.ArsMedal.txt

Veðurstofa Íslands. (2017). *Hallormstaður - Sjálvirkar veðurathuganir.* Sótt frá Veðurstofa Íslands: http://brunnur.vedur.is/athuganir/sjalfvirkar/hallm/