



## Ræsvægistýring fyrir vindtúrbínur – Styrkt af Orkusjóði 2013-2015

### Inngangur

Verkefnið hófst formlega í janúar 2014 þar sem Helgi Hafnar Gestsson tók verkefnið að sér í samstarfi við IceWind sem lokaverkefni í BSc gráðu í Rafmagns og tölvuverkfræði við Háskóla Íslands.

**Fyrsti hluti** verkefnisins var unninn frá janúar 2014 til maí 2014 þar sem rásin var hönnuð á pappírnum og lokaritgerð skrifuð.

**Annar hluti** verkefnisins var frá maí 2014 til ágúst 2014 þar sem frumgerð af stýringunni var smíðuð í samstarfi við IceWind. „Proof of Concept“

**Síðasti hluti** verkefnisins átti að hefjast í október 2014 en vegna seinkana hófst verkliðurinn í mars 2015. Loka verkliðurinn snerist um að smíða stýringuna í fullri stærð og gera hana tilbúna fyrir prófanir á 1000W lóðréttis ás vindtúrbínu frá IceWind.

Athuga skal að þar sem um er að ræða einkaleyfishæfa lausn þá verður ekki farið í smáatriði, líkt og rásamyndir, burðartíðnir, yfirskotspennur og púlsvíddarmótun.

### Verkefnið

Í þessu verkefni er unnið að tölvustýrðum vægisléttir fyrir vindrafstöðvar. Tölvustýrður vægisléttir er rás sem stillir rafmagni úr spennugjafa út í álag með hjálp forritaðrar örtölvu. Hér er miðað við að rafall í vindrafstöð sé spennugjafinn. Til þess að stilla rafmagni milli rafals og álags er tekið mið af snúninghraða vindrafstöðvarinnar. Lítil snúningshraði vegna lítills vinds gefur litla eða enga leiðni milli rafals og álags en mikill vindur, sem gefur mikinn snúningshraða, gefur mikla eða fulla leiðni milli rafals og álags. Aðferðin, sem vægisléttirinn notar, heitir púlsvíddarmótun, sem er skammstafað PWM ("Pulse Width Modulation"). Púlsvíddarmótun er framkvæmd með því að kveikja og slökkva á rafmagni á víxl, líkt og gildir t.d. um straujárn og rafgeymi.

### Eðli vindrafstöðva og annarra rafstöðva

Um leið og öxull rafals vindrafstöðva, vatnsaflstöðva eða annarra tegunda rafstöðva fer að snúast, myndast span (inductance), sem byggir upp spennu í spanspólum rafalsins vegna spans, sem myndast við hreyfingu fastra segla fram hjá spanspólunum. Álagið, sem hvílir yfir rafalinum, lætur straum fara um vafninga spanspólanna þegar spenna hefur byggst upp í spólunum vegna spans. Þetta span, sem myndast við strauminn út frá álaginu, byggir upp nýtt segulsvið. Þetta nýja segulsvið eykst eftir því sem álagið yfir rafalinum dregur meiri rafstraum. Með öðrum orðum: Til verða þyngsli í gangverki vindrafstöðva, sem stafar sérstaklega út frá rafspennu, sem spanast upp í spanspólum út frá álagi.

Þessi rafspenna myndar nýtt segulsvið um leið og rafstraumur flæðir um vafninga spólanna og áfram í hringrás um álag, sem tengt er við rafalinn. Þetta nýja segulsvið er fráhrindandi gagnvart segulsviði frá föstum seglum í rafalinum. Því meiri sem álagið verður (lægri viðnám í álaginu), því meira eykst straumurinn í gegnum spanspólurnar sem um leið búa til enn sterkara segulsvið. Þetta sterka segulsvið veitir enn meiri viðnám, sem gerir rafalinn enn þyngri til að snúast. Þetta eru eðlileg viðbrögð við auknu álagi, því að meiri vinnu þarf að skila til þess að veita meira rafstraum í gegnum aukið álag. Það er að segja: vindrafstöðin þarf meiri vind til þess að geta framleitt meira rafmagn eða nægilegt rafmagn út í aukið álag.

## Ræsivægi og tregða í vindrafstöðvum

Í logni framleiðir vindrafstöð ekkert rafmagn. En ef vindurinn fer upp í ákveðið lágmark, þá byrjar rafmagnsframleiðsla í litlum mæli, sem eykst með auknum vindhraða. Vindrafstöðvar þurfa einhvern lágmarks vindhraða til þess að geta framleitt rafmagn. Það er ræsivægi eða þröskuldur, sem yfirstíga þarf. Best er að hafa slíkt ræsivægi eins lágt og hægt er. Með lágu ræsivægi tekur vindrafstöðin fyrir við sér við lágan vindstyrk og framleiðir rafmagn.

Núningur í vélbúnaði er einn sá þáttur sem gæti haft hamlandi áhrif á vindrafstöðvar, eins og tannhjól í girkassa og aðrir slitfletir í vélbúnaði. En aðalviðnámið, sem yfirstíga þarf, er álagið sem hvílir yfir rafalinn. Með öðrum orðum: Til verður hömlun í gangverki vindrafstöðva, sem stafar sérstaklega frá álagi, sem hvílir yfir rafalinum eins og til dæmis rafgeymir, rafmagnstæki og fleira, sem þyngir gang rafstöðvarinnar. Það er eðlilegt, því að vinnu þarf til þess að skila orku, og það er stundum viss tregða við að koma kyrrstæðum hlut af stað. Sama gildir um vindrafstöðvar. Þessi tregða er þröskuldur eða ræsivægi, sem þarf að lækka til þess að koma í gang rafmagns-framleiðslu sem fyrst og geta nýtt sem allra mest allan þann vind, sem í fang vindrafstöðvarinnar kemur.

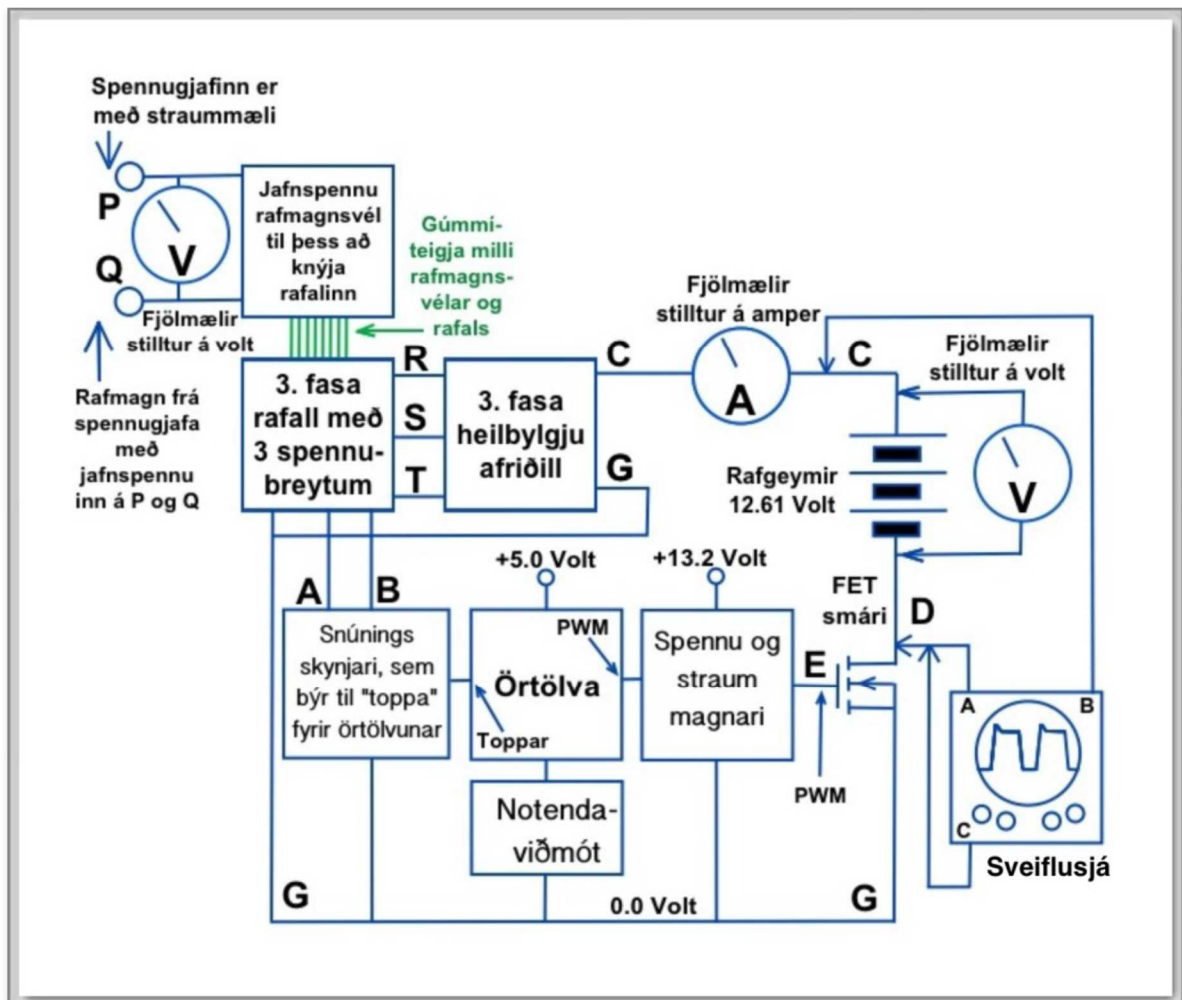
Með öðrum orðum: Um leið og þessi þröskuldur, sem er ræsivægi vindrafstöðvarinnar, hefur verið yfirstigin og álagið (sérstaklega rafgeymir) byrjar að taka við rafmagni frá vindrafstöðinni, kemur fram áhrif á rafalinn í formi hökts.

## Virgni

Vægléttirinn gerir það að verkum að hægt er að hefja orkuframleiðslu með vindorku fyrr en ella. Stýringin virkar eins og sjálfvirkur skammtari milli vindtúrbínu og álags þegar vindur er lágur. Þar með kemur hún í veg fyrir að vindtúrbínun sé að reyna að ná meiri orku úr vindinum en er til staðar. Þegar túrbínun reynir það lækkar snúningur vindtúrbínunar og hún dettur undir framleiðslu snúning sem veldur því að hún framleiðir ekki neitt. Í lágum vindi er hægt að líkja snúningnum við öldutoppa á vatni, þar sem hún reyndir að komast upp í framleiðslu snúning en nær því aldrei vegna þess að álagið á túrbínunni er of mikið. Stýringin léttir því á þessu álagi og hjálpar túrbínunni að komast upp í og yfir framleiðslu snúning og framleiðir þannig orku. Verkpátturinn hefur gengið vel og smíðuð var stýring sem getur tekið allt að 2000W í gegnum sig. Ákvörðun var tekin um að smíða 2000W í stað 600W stýringar vegna þess að þá væri hægt að prufa hana á mun stærri túrbínum og væri því ekki takmörkuð við litlar túrbínur. Stýringin er tilbúin og verður hún í prófunum í sumar og haust á 1000W túrbínu hjá IceWind í Elliðaárdalnum. Nokkur vandamál komu upp á leiðinni. Þar má helst nefna óstöðugleika lítillar iðntölvu sem sér um tímasetningu á púlsum í stýringunni. Tölvun reyndist næm fyrir hitabreytingum. Það vandamál verður leyst með því að finna öflugri tölvu. Myndir af stýringunni má sjá hér að neðan.

Hugmyndin er að nýta spaneiginleika rafalsins. Það er hægt með því að láta rafalinn vinna á tveimur tíðnisviðum. Fyrsta tíðnisviðið væri tíðni rafmagnsins, sem væri samkvæmt snúningshraða vindrafstöðvarinnar. Hitt tíðnisviðið væri burðartíðni púlsvíddarmótunarinnar. Engir árekstrar verða vegna þess að tíðni rafmagnsins, sem framleitt er með snúningi rafalsins, er miklu lægri en burðartíðni púlsvíddarmótunarinnar. Með öðrum orðum er verið að láta spanspólur rafalsins sinna tveimum hlutverkum:

1. Framleiða rafmagn með því að láta fasta segla spana upp rafmagn í spanspólum rafalsins.
2. Nýta spaneiginleika spanspólurnar til þess að þjóna hlutverki rafstillingarinnar líkt og gormur, sem gefur eftir og brúar að einhverju leyti bilin á milli þess að rafmagn sé hleypt á milli rafals og álags með miklum en jöfnum hraða.

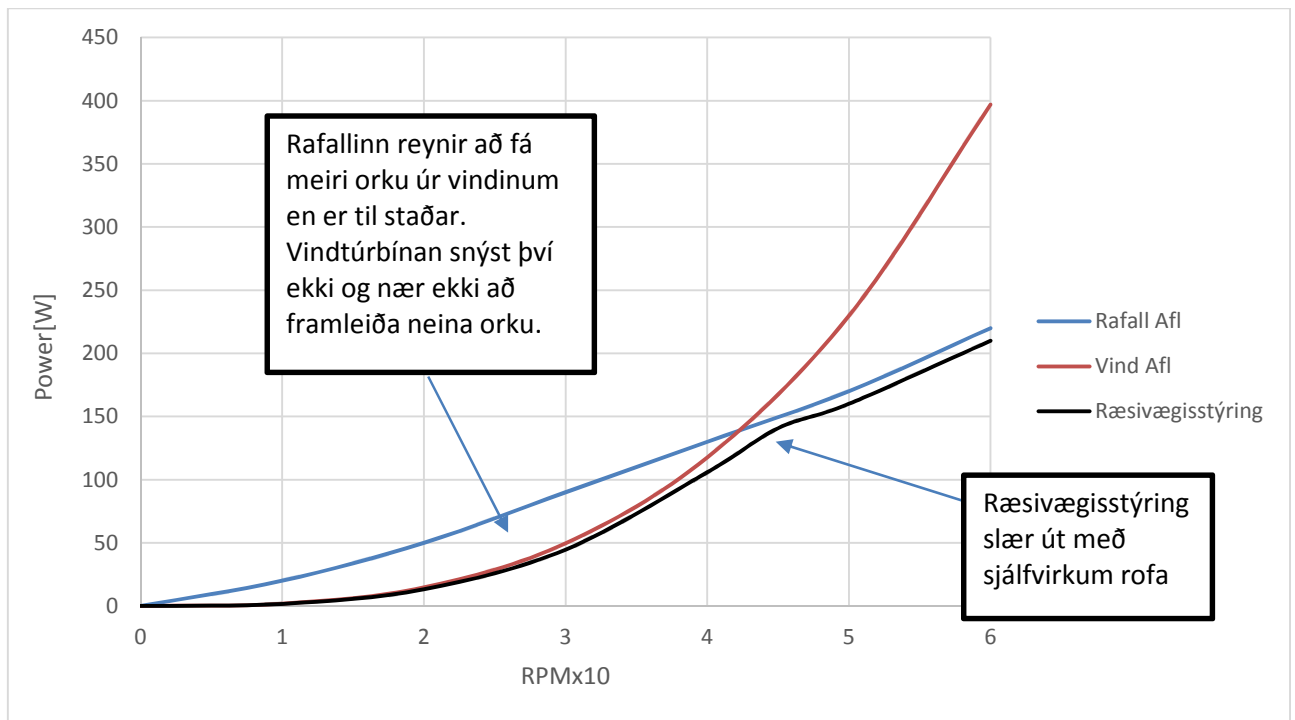


Mynd 1. Yfirlitsrásamynd af líkani af rafstöð sem tveggja rása sveiflusjá er tengt við. Tveir fjölmælar ofarlega á myndinni og ein sveiflusjá neðst til hægri eru notuð til þess að framkvæma allar mælingar.

## Smíði

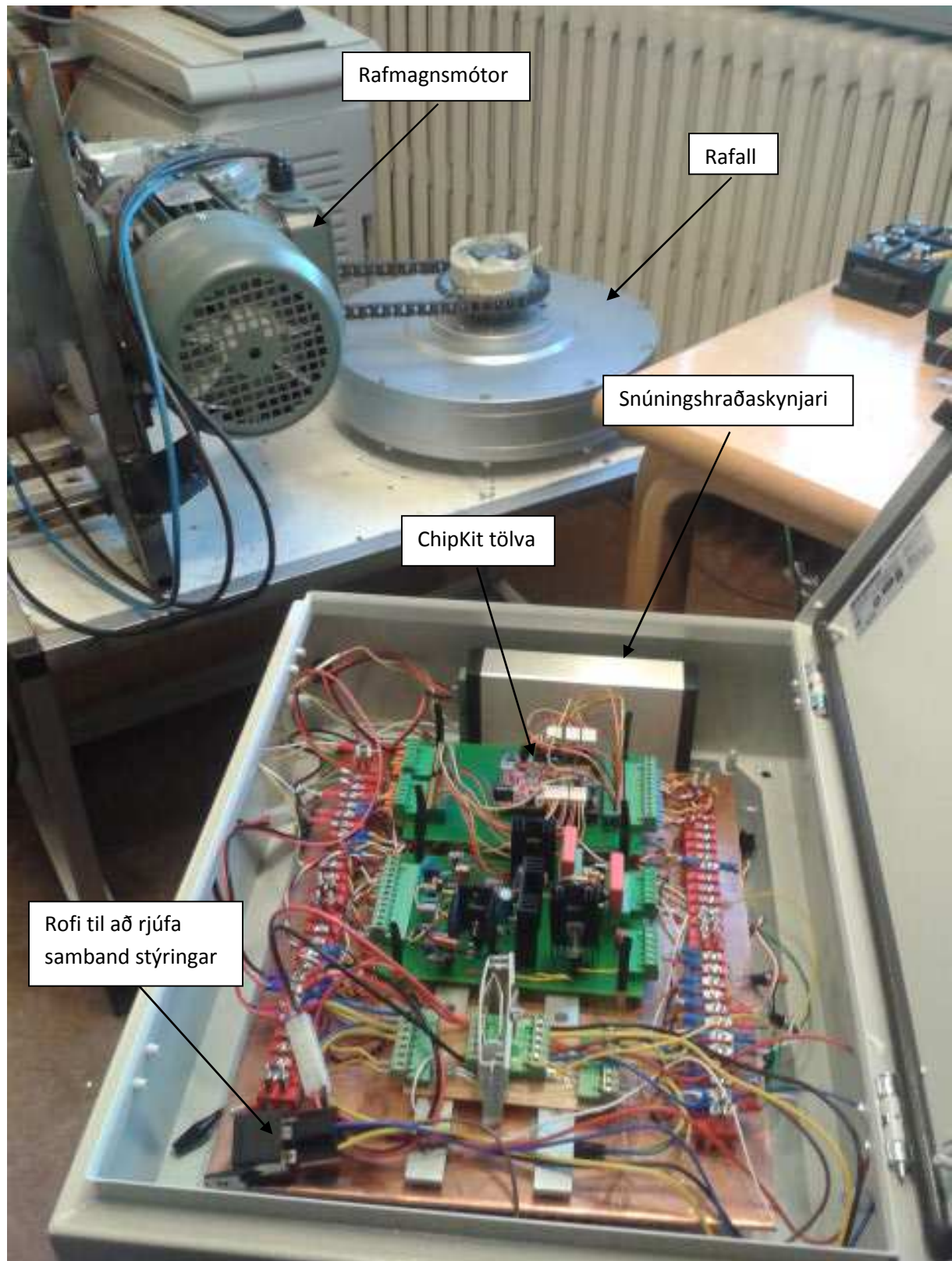
Smíði ræsivægisstýringarinnar hófst veturinn 2014-2015 og lauk smíðinni í maí 2015. Eftir það hófust mælingar og prófanir. Stýringin var tengd við rafal sem tengdur var við rafgeyma og var því undir álagi. Rafalinn sem hannaður er fyrir vindtúrbínur var knúin áfram af rafmagnsmótor með

hraðastýringu. Með þessu móti var hægt að finnstilla stýringuna við rafalinn og láta hana virka á réttu hraðasviði. Mikilvægt er að stýringin gefi fullt samband þegar aflið í vindunum er orðið nægilegt til að viðhalda snúningi vindtúrbínunnar. Myndræna ústkýringu má sjá á grafi 1.



Graf 1. Ræsivægisstýring virkni.

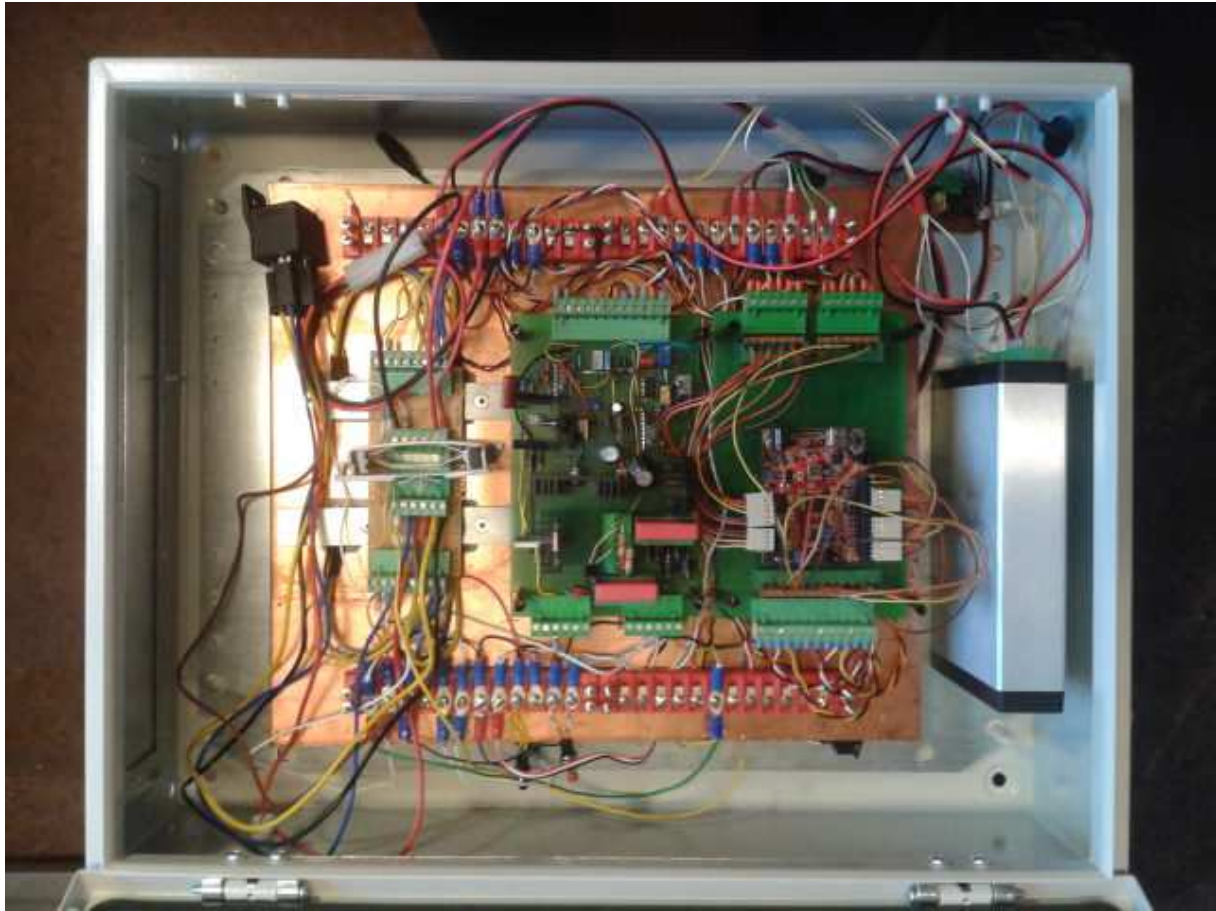
Eins og sést á myndinni skammtar álagsstýringin afl ferlinum þannig að ferillinn fylgir afl ferli vindorkunnar. Það er að segja gerir afl feril rafalsins ólínulegann sem gerir það að verkum að rafallinn reynir ekki að ná í meiri orku úr vindinum en er til staðar. Þar með nær túrbínan að halda snúningi sínum og byrjar að framleiða orku.



*Mynd 2. Ræsvægisstýring tengd við rafal í keyrslu.*

Ræsvægisstýringin er tengd á milli rafals og álags. Í þessi tilfalli milli rafals og rafgeyma. Þegar snúningur rafalsins er orðinn nægur eða í um 45rpm þá slær rofinn ræsvægisstýringuna út og fullt

samband er þá milli rafals og rafgeyma. Á þeim punkti er nægilegt afl í vindinum til að viðhalda snúningi túrbínunnar. Snúningsskynjarinn er viðbót við verkefnið. Skynjarinn nemur spennutoppa hvers fasa í rafalnum og eru þeir taldir. Þetta var gert í staðin fyrir að notast við vindhraðamæli, sem getur verið mjög sveiflandi. Spennutoppar túrbínunnar eru hinsvegar jafnari og áreiðanlegri en vindhraðamælar.



*Mynd 3. Ræsvægisstýring.*

Ræsvægisstýringin er komin í prófanir í aðstöðu IceWind. Þar er hún tengd við 1000W túrbínu. Gert er ráð fyrir að rauntíma prófanir og betrubætur, ef þess gerist þörf, taki frá 6-12 mánuði.

Verkefnið var unnið af Sæþóri Ásgeirssyni, Helga Hafnari Gestssyni og Rúnari Unnpórssyni

Sæþór Ásgeirsson

IceWind ehf