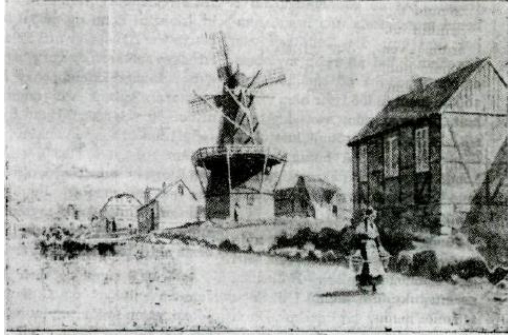


# Vindorkuauðlindin á Íslandi og atriði því tengd

Halldór Björnsson



Veðurstofa  
Íslands

# Almennt um vindorku

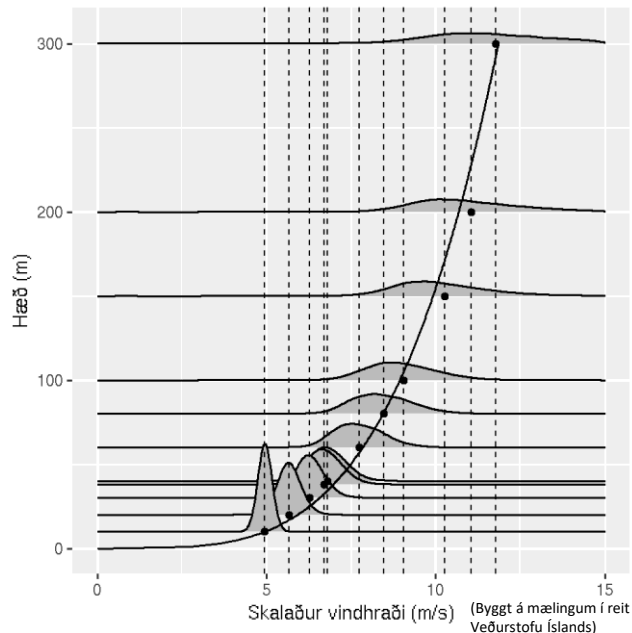
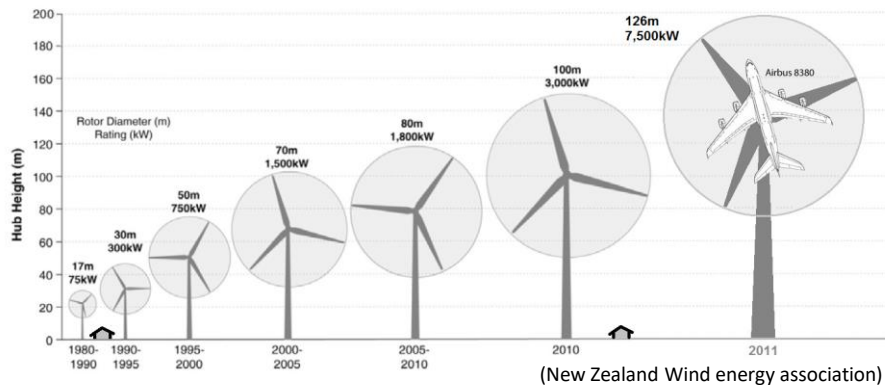
- Vindorka er háð vindhraða ( $v$ ) og eðlismassa loftisins ( $\rho$ ).
- Það afl sem vindmylla með þverskurðarflatarmál  $A$  getur náð að úr vindinum er

$$P = C_p \left( A \underbrace{\frac{1}{2} \rho v^3}_{\text{Aflþéttni (þéttleiki vindorku)}} \right)$$

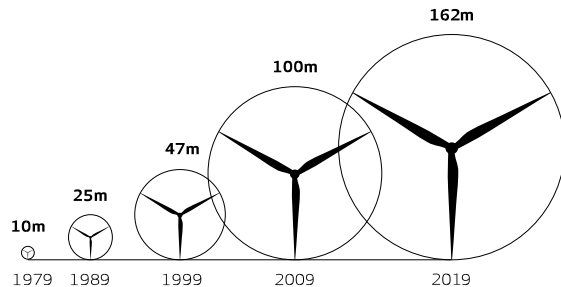
Þar sem  $C_p$  er nýtnistuðull.

- Hámarksnýtni (Betz mörkin) er  $C_p = 59.3\%$  **óháð** lögun eða tegund vindmyllu.
  - Fræðilegt hámark, harðar skorður tengdar varðveislu massa og skriðþunga.
  - Hönnun á vindmyllum snýst m.a. um að reyna að ná sem mestri nýtni. Skv. Nawri ofl (2014) ná nútímamyllur  $C_p = 40 - 50\%$ , háð vindhraða (Ragheb & Ragheb 2011).
  - Aflið má einnig auka með því að stækka  $A$  eða  $v$ . Þetta fer saman, því stærra  $A$  þýðir alla jafna hærri myllur og öflugri vinda

# Vindorka og hæð yfir landi

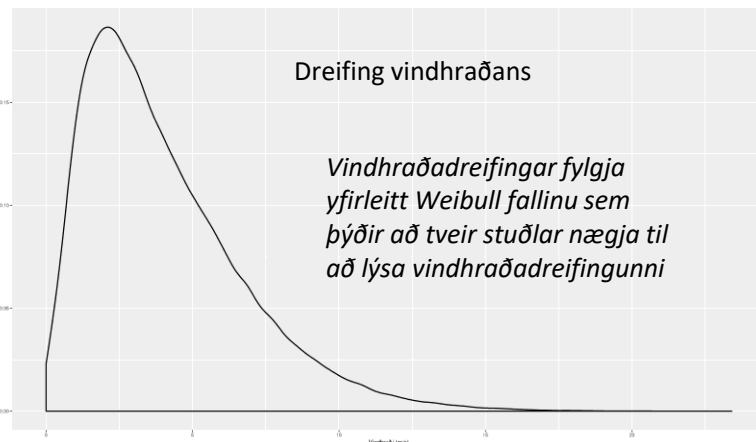
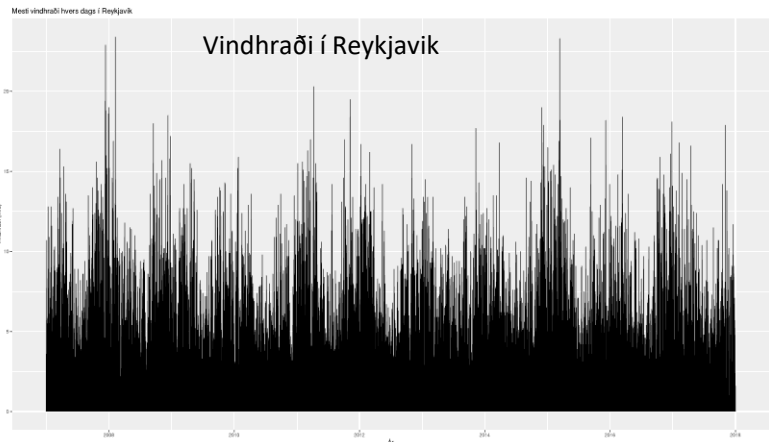


## Rotor size development



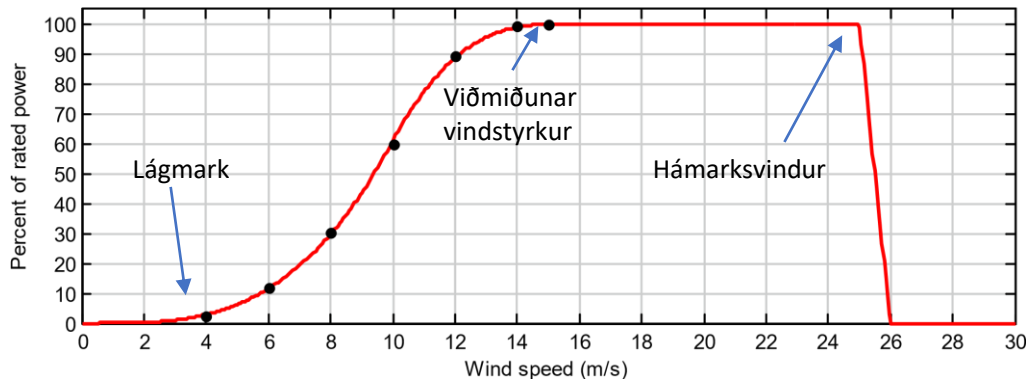
- Vindur vex með hæð og því er eftir eftir meiri vindorku að slægjast ofar ( $2 \times v \Rightarrow 8 \times P$ )
- Hægt að stækka myllublöðin og þannig stækka  $A$
- ➔ *Þróun í átt að hærri og stærri myllum*

# Hinn breytilegi vindur



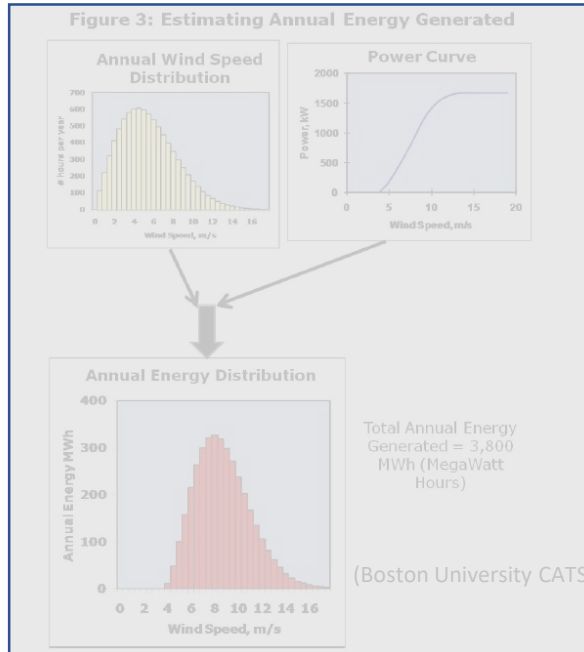
- Vindhraði er síbreytilegur og nýtingarhlutfall uppsettrar vindmyllu er háð breytileika í vindi
  - Dæmi: Landsvirkjun er með 2 x 900 kW myllur á Hafinu nærri Búrfelli. Ef þær keyrðu á fullum afköstum í heilt ár myndu þær framleiða tæplega 16 GWst. Árið 2014 framleiddu þær rúmlega 6 GWst og var nýtingarhlutfallið um 44%. Sem er reyndar mjög gott, því meðaltal á heimsvísu var þá um 28% (Landvirkjun, 2015).

# Aflgeta vindmylla og vindhraði



Dæmigerður aflferill vindmyllu í flokki IEC-1a

(Jón Blöndal ofl. Ví 2011)



- Vindmyllur vinna misvel eftir vindhraða. Þrjár helstu

kennistærðir eru:

- Lágmarksvindhraði sem þarf til að framleiða orku. Þegar þessu marki er náð vex framleiðslan með vindstyrk.
- Viðmiðunarvindstyrkur, - lægsti vindhraði þar sem orkuframleiðslan nær uppgefnu afli. Yfir þessum hraða skilar myllan uppgefnu afli jafnvel þó meira afl búi í vindinum.
- Hámarksvindstyrkur er sá hraði sem vindmyllan þolir. Ef vindur fer yfir þessi mörk snýr vindmyllan sér þannig að hún hættir að snúast.

Veðurstofa  
Íslands

# Aflgeta vindmylla og vindhraði

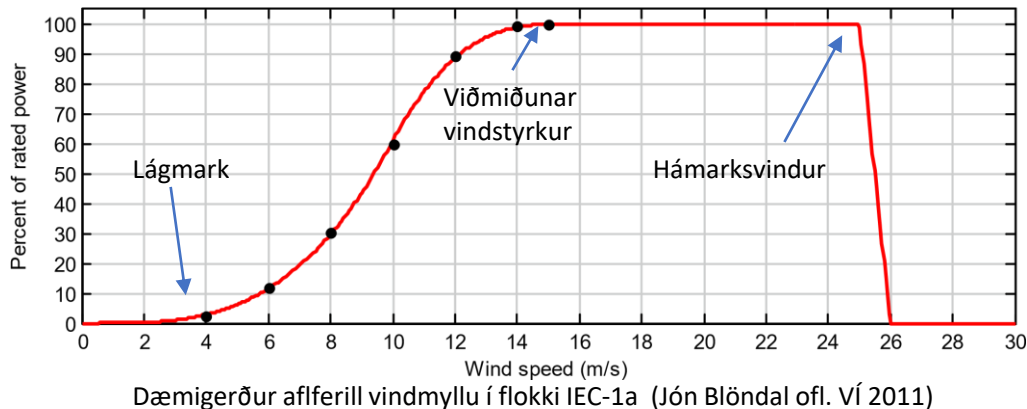
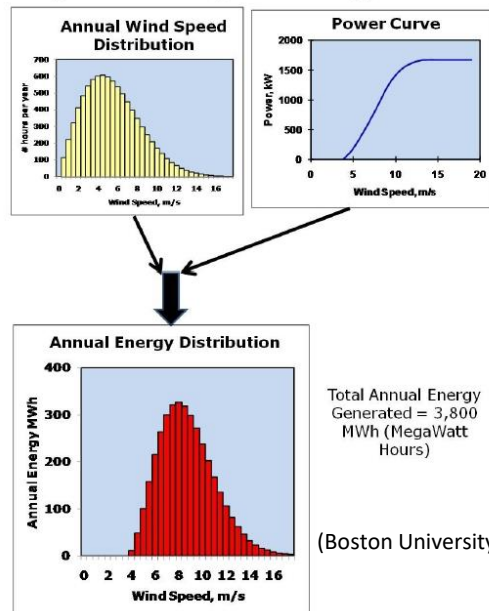


Figure 3: Estimating Annual Energy Generated



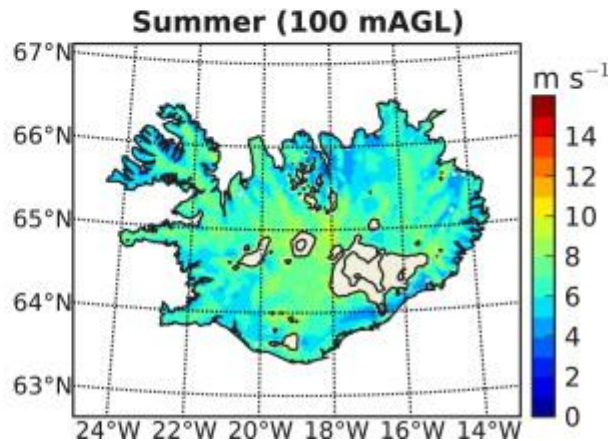
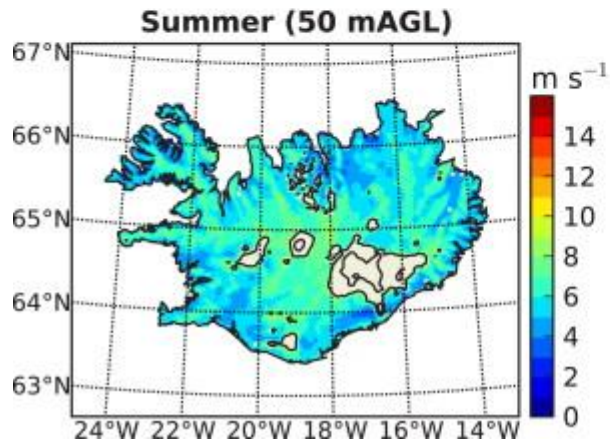
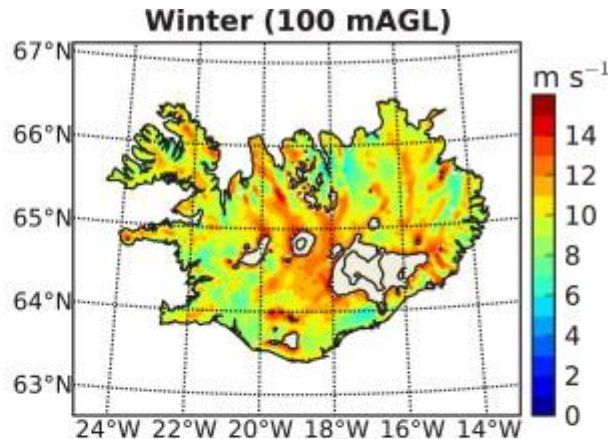
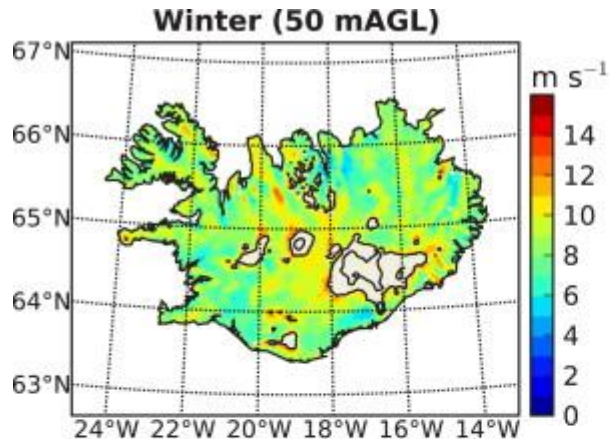
- Nota má afl-feril tiltekinnar vindmyllu og vindhraðadreifingu á tilteknum stað til að meta líklega orkuframleiðslu vindmyllu á þeim stað.
  - Þarna er ekki gert ráð fyrir töpum vegna viðhalds ofl.

# Kortlagning vindorkuauðlindarinnar á Íslandi

- Innan ICEWIND verkefnisins var vindorkuauðlindin á Íslandi kortlögð
  - Vindhraðadreifing í 3 km reiknineti var kortlögð og aflþéttni (vindorkuþéttleiki) reiknaður
  - Nokkur svæði voru skoðuð sérstaklega og vindorkan þar metin m.t.t. tveggja algengra vindmylla
  - Niðurstöður má nálgast í vindatlas veðurstofunnar ([vindatlas.vedur.is](http://vindatlas.vedur.is))
- Vindorka á sjó umhverfis landið var einnig metin



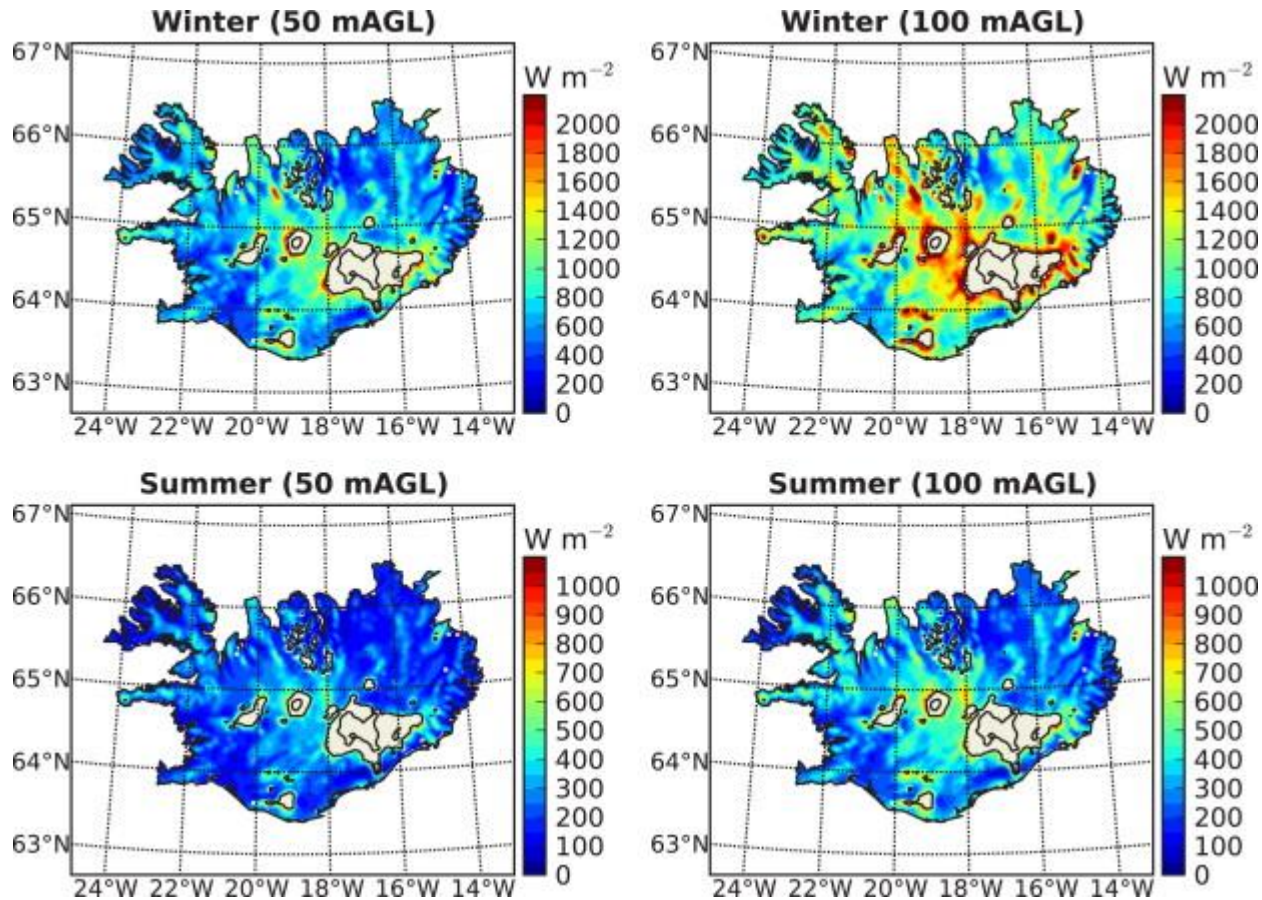
# Vindhraði í 50 og 100 m hæð að sumri og vetri



(Nawri ofl 2014)



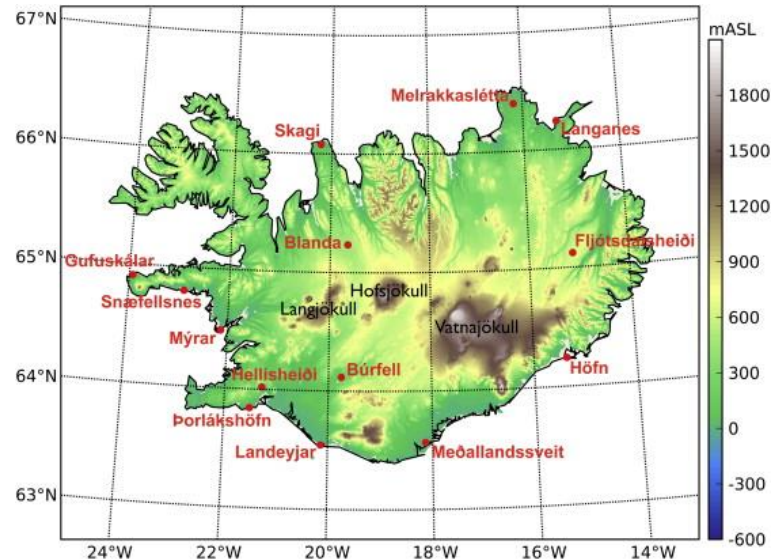
# Aflþéttni vindorku í 50 og 100 m, sumar og vetur



# Vindorka á nokkrum áhugaverðum stöðum

- Nokkrir staðir voru skoðaðir sérstaklega og framleiðslugeta reiknuð miðað við aflferla tveggja tegunda af vindmyllum
  - Sýni dæmi um niðurstöður Enercon 44.

	Enercon 44	Vestas V80
Þvermál snúningsflatar (m)	44	80
Hæð vélarhúss (m)	55	67
Uppgefið afl (kW)	900	2000
Lágmarkshraði (m/s)	3	4
Viðmiðunarhraði (m/s)	15	16
Hámarkshraði (m/s)	28	25



# Vindorka fyrir Enercon 44 vindmyllu (vetur/ár/sumar)

	Hæð [mASL]	Aflþéttleiki [ $W m^{-2}$ ]	Meðal afl [kW]	Nýtnihlutfall [%]
Blanda	450–550	2990/1610/650	510/450/320	11/19/32
Búrfell	200–400	2010/1230/510	520/440/290	17/23/38
Fljótsdalsheiði	600–700	1470/740/280	490/360/200	22/32/46
Gufuskálar	5–100	2370/1410/700	590/470/330	16/22/31
Hellisheiði	300–400	2210/ <b>1600</b> /750	630/ <b>540</b> /400	19/22/35
Höfn	5–100	1750/1070/390	460/340/180	17/21/31
Landeyjar	5–60	2140/1620/920	550/470/360	17/19/26
Langanes	5–100	1850/1130/460	570/440/260	20/26/37
Meðallandssveit	5–40	1810/1630/1200	520/500/430	19/20/23
Melrakkaslétta	5–100	1690/1030/450	570/440/280	22/28/41
Mýrar	5–20	1670/1040/460	540/430/280	21/27/40
Skagi	5–100	4400/ <b>2530</b> /1470	550/ <b>480</b> /370	8/12/17
Snæfellsnes	5–150	1690/1150/510	500/400/250	19/23/32
Þorlákshöfn	5–100	1870/1240/530	580/470/290	20/25/37

Ekki er tekið tillit til tapa vegna annarra þátta, s.s. ísingar og viðhalds

Takið eftir að þó aflþéttleiki á Skaga sé meiri en á Hellisheiði er færslu meira meðal afl á síðari staðnum. (m.v. Enercon 44).

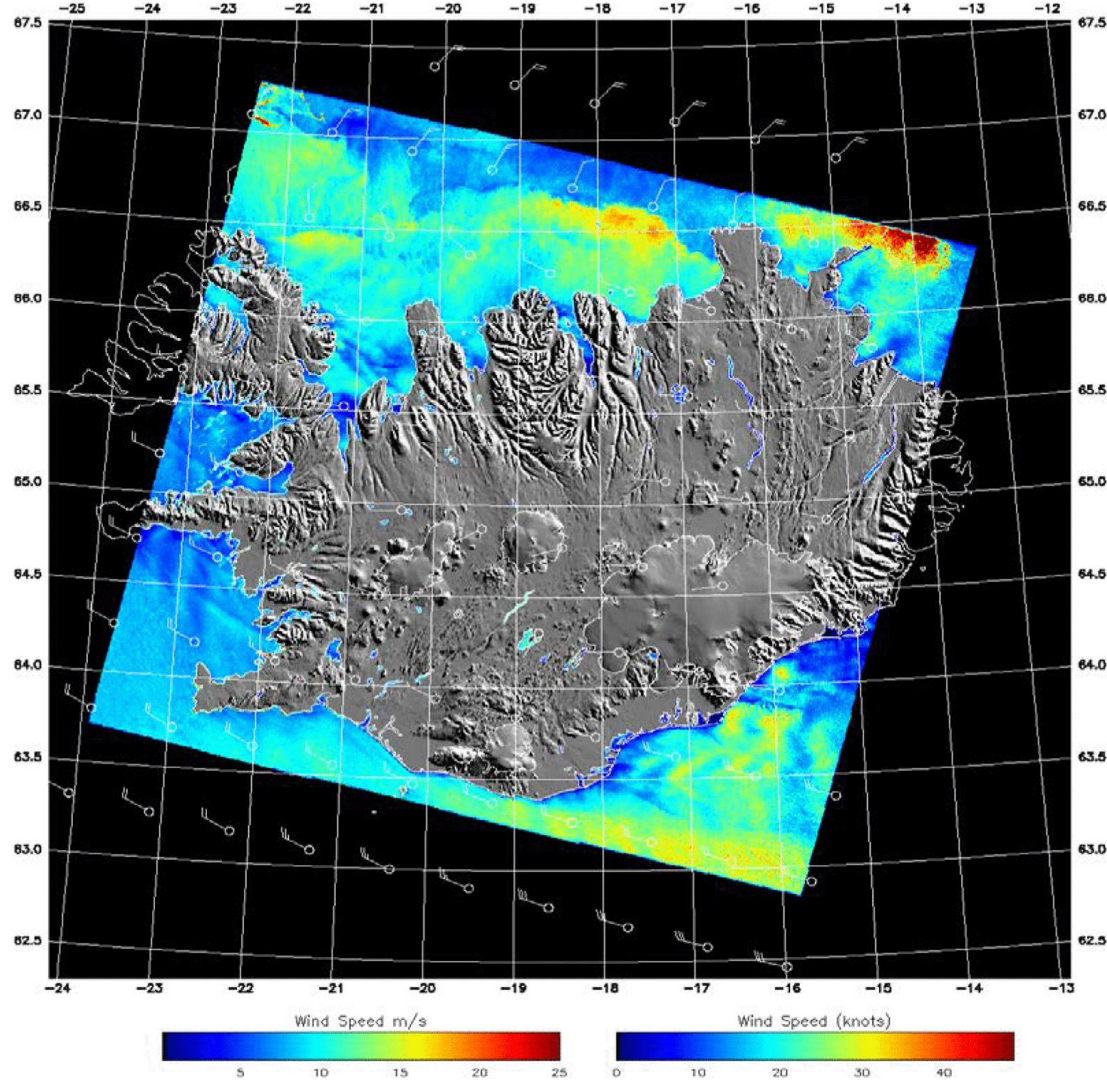
# Kortlagning vindorkuauðlindarinnar umhverfis Ísland

- Vindhraðamælingar á sjó eru fágætar.
- Við notuðum SAR gervihnattamyndir til að meta vindhraða umhverfis landið.
  - Bárum niðurstöður saman við mælingar á annesjum og eyjum auk veðurspárlíkans.
- Vindhraðadreifingin var notuð til þess að reikna aflþéttina umhverfis landið
  - Dæmi um vindhraða á gervihnattamynd
  - Niðurstöður fyrir vindhraða og aflþéttu, mælingar og líkan (frá Hasager ofl 2015).
- Niðurstöður **eru miðaðar við 10 m hæð** (ekki 55 eða 100m)



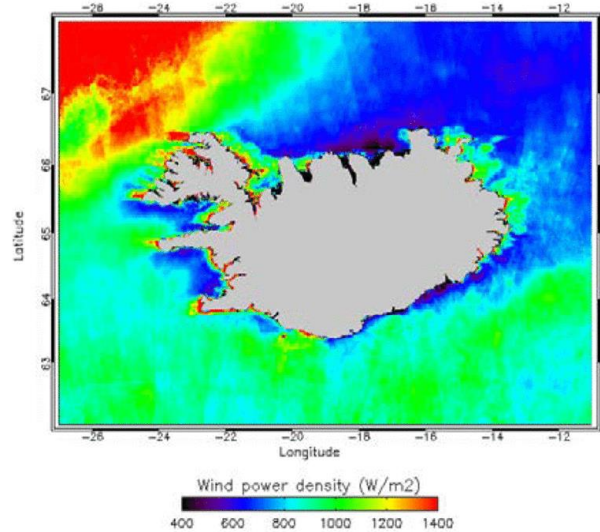
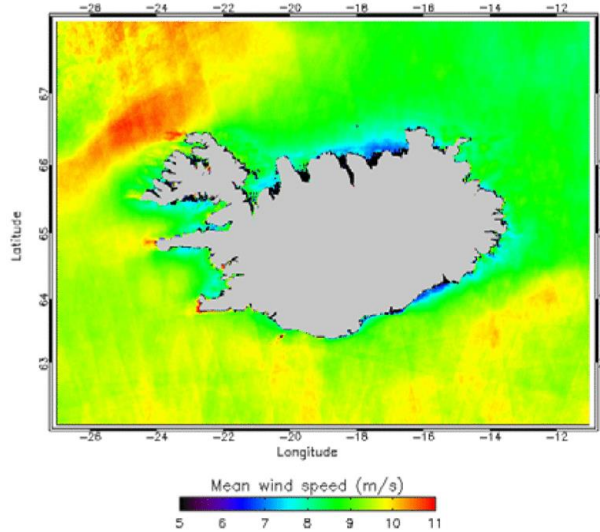
Dæmi um vind  
yfir hafi skv  
gervihnattamynd

Envisat ASAR  
þann 15 des  
2005 kl 11:35

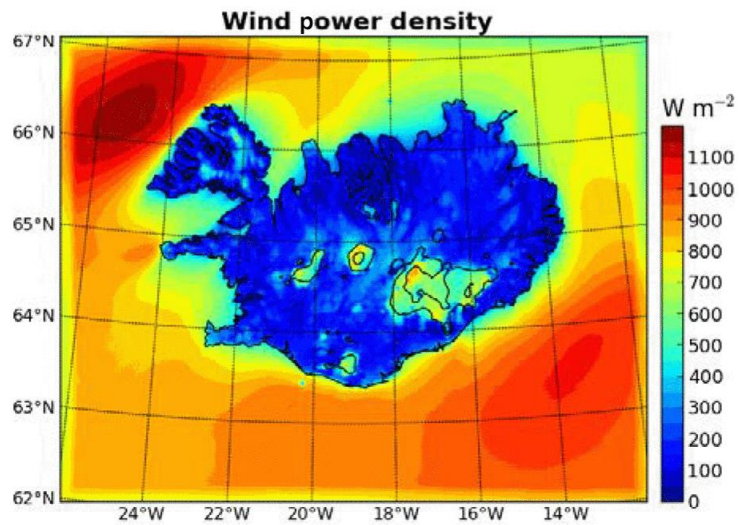
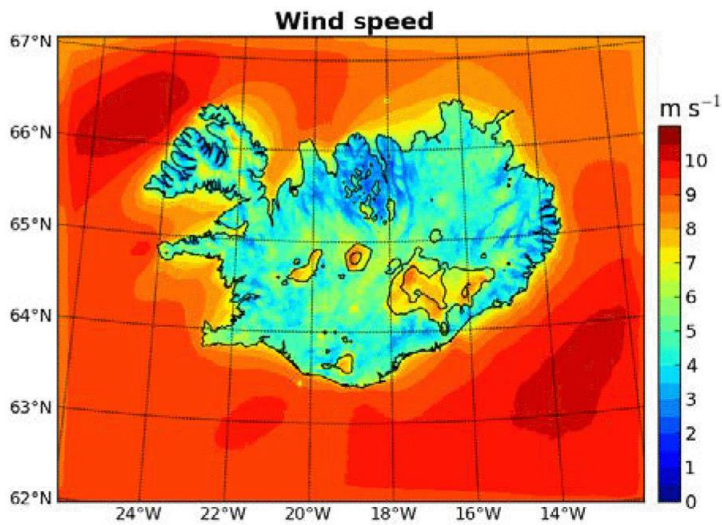


Veðurstofa  
Íslands

SAR, 2005 - 2012



Harmonie, 2010 - 2012



# Samantekt um niðurstöður ICEWIND og vindorkuauðlindina á Íslandi

- Samkvæmt evrópska vindatlasnum (Troen and Petersen, 1989) einkennir fyrsta flokks vindorkusvæði að aflþéttnin í 50 m hæð er meiri en  $250 \text{ W/m}^2$  þar sem skjóls gætir, yfir  $700 \text{ W/m}^2$  við ströndina og yfir  $1800 \text{ W/m}^2$  efst á hæðum og hryggjum.
- Ísland er vel innan þessa flokks og því er vindauðlindin á Íslandi vel samkeppnishæft við það sem best gerist hjá nágrannaþjóðum.
- Vindorka umhverfis Ísland er enn meiri, og því vindorkuauðlindin á strandsvæðum veruleg.



# Önnur atriði til að hafa í huga

- Kort af vindauðlind segja einungis hluta sögunnar
  - Hagnýt atriði, - ss. tengingar aðgengi og líkur á ísingu skipta líka miklu
  - Náttúruverndarsjónarmið skipta líka verulegu máli. Sérstaklega fuglabýggðir
  - Ýmiss sjónarmið tengd skipulagi, s.s. röskun á byggð, snjónmengun oþh. skipta líka miklu máli. Í mörgum tilvikum eru þetta ráðandi sjónarmið.
- Nýting vindorku á Íslandi takmarkast einnig af því “plássi” sem er á markaðnum fyrir vindorku.
  - Vindorka er breytilegri en vatns- og jarðvarmaorka. Því þarf að vera hægt að miðla raforku á móti sveiflum í vindorku. T.d. með vatnsorkuveri sem eykur eða minnkar framleiðslu. Rými til hagkvæmrar miðlunar í framleiðslukerfinu er takmarkað.
  - Vegna ólíkrar árstíðasveiflu vatnsorku og vindorku gæti slík samtenging skilað nokkru.
- Ef rafstrengur yrði lagður til Evrópu yrði mun meira pláss fyrir vindorku hér.
  - Komi ekki til strengur (eða hagkvæm tækni til að geyma orku) mun það hafa hamlandi áhrif á vöxt vindorku hér á landi.
  - Raforka frá Íslandi um streng gæti þurft að keppa við vindorku frá Evrópskum strandsvæðum.

- Sjá vef VÍ: [www.vedur.is/vedur/vedurfar/vindorka](http://www.vedur.is/vedur/vedurfar/vindorka)
- Lokaskýrsla Icewind verkefnisins. Sjá sérstaklega kafla 2 og 3  
[http://orbit.dtu.dk/files/138594774/IceWind\\_final\\_scientific\\_report\\_Oct\\_2017.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/138594774/IceWind_final_scientific_report_Oct_2017.pdf)
- Nawri, N., Petersen, G. N., Bjornsson, H., Hahmann, A. N., Jónasson, K., Hasager, C. B., & Clausen, N. E. (2014). The wind energy potential of Iceland. *Renewable energy*, 69, 290-299.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114002043>
- Hasager, C. B., Badger, M., Nawri, N., Furevik, B. R., Petersen, G. N., Björnsson, H., & Clausen, N. E. (2015). Mapping offshore winds around Iceland using satellite synthetic aperture radar and mesoscale model simulations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(12), 5541-5552.  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7154404>