Landsnet-25008 – apríl 2025

KERFISJÖFNUÐUR 2025

Staða og horfur orku- og afljöfnuðar raforkukerfisins 2025-2029

KERFISJÖFNUÐUR 2025–2029 - SAMANTEKT

Tilgangur Kerfisjöfnuðar er að greina frá stöðu og horfum jafnvægis framboðs og eftirspurnar orku í raforkukerfinu fyrir næstu fimm ár. Skýrslan veitir yfirsýn yfir helstu áskoranir sem kerfið stendur frammi fyrir og dregur fram mögulegar aðgerðir til að tryggja afhendingaröryggi, bæta nýtingu orkukerfisins og styðja við áframhaldandi orkuskipti. Niðurstöðurnar byggja á líkindagreiningum og mismunandi sviðsmyndum sem sýna hvernig staða kerfisins kemur til með að þróast með og án aðgerða.

Þröngt í búi og líkur á orkuskorti

Raforkukerfið stendur frammi fyrir vaxandi áskorunum á komandi árum þar sem eftirspurn hefur á undanförnum misserum vaxið hraðar en framboð. Ef ekki verður ráðist í nýjar framkvæmdir til að styrkja flutningskerfið og auka orkuvinnslu, mun hætta á skerðingum og orkuskorti aukast, m.a. sökum ónægrar aflgetu, langtíma orkuskorts sökum lakra vatnsára og takmarkana í flutningskerfinu. Greiningar sýna að staðan versnar hratt frá og með árinu 2026 og mun verða sérstaklega viðkvæm á þurrum vatnsárum.

Án aðgerða eru 7% líkur á orkuskorti árið 2026 og tæplega 70% árið 2029. Orkuskortur er metinn á bilinu 5 – 50 GWh og getur numið 200 GWh í verstu tilfellum í lok tímabilsins. Orkuskortur er líklegastur yfir háveturinn, eða frá október til apríl ár hvert.

Þessi þróun hefur áhrif á afhendingaröryggi, stöðugleika kerfisins og getu þess til að styðja við orkuskipti og efnahagsvöxt. Til að tryggja nægjanlegt rafmagn til allra notenda og lágmarka hættu á orkuskorti þarf þróun flutningskerfisins að fylgja nýrri orkuvinnslu.

Orkujöfnuður mælir hvort heildarframboð raforku sé nægjanlegt til að mæta notkun yfir árið og meta líkur á því að svo verði ekki. Greining fyrir tímabilið 2025–2029 sýnir að staðan er þröng þar sem meðalársframleiðsla í núverandi raforkukerfi dugar nær eingöngu við venjulegar aðstæður í dag og verður frekar viðkvæm þegar framboð minnkar eða eftirspurn eykst.

Þrýstingur á framleiðslugetu eykst

Í vatnsaflskerfi er raforkuframleiðsla háð aðstæðum í miðlunarlónum og innrennsli. Í þurrum vatnsárum getur orkujöfnuður raskast, og líkurnar á skerðingum og orkuskorti aukast. Þessi áhætta hefur farið vaxandi þar sem raforkueftirspurn hefur aukist hratt, en ný orkuvinnsla hefur ekki fylgt þeirri þróun.

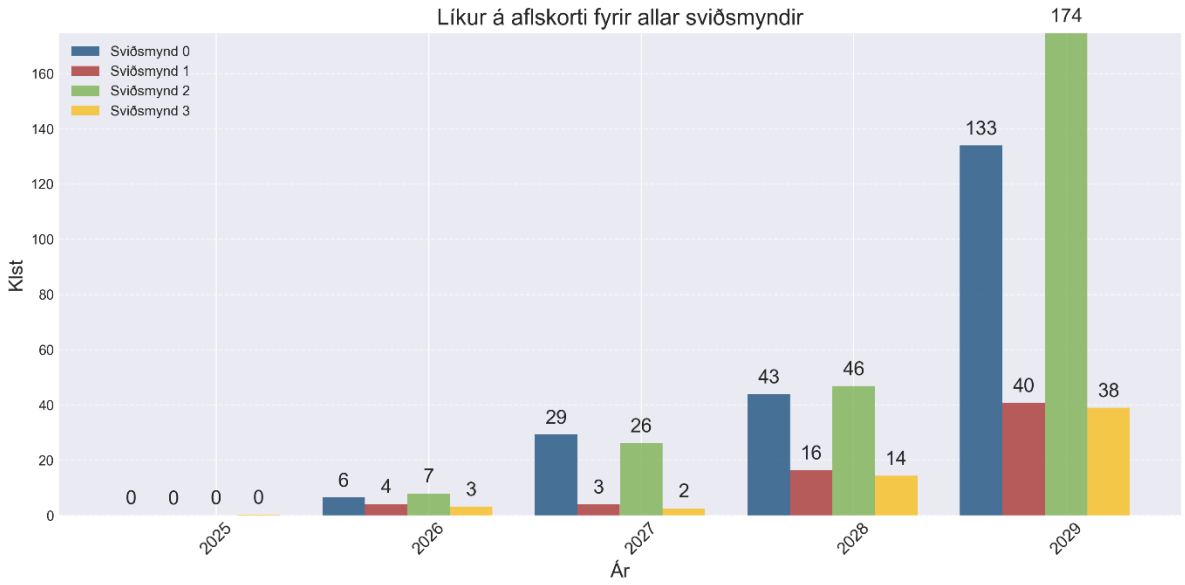
Til að tryggja orkujöfnuð til lengri tíma þarf m.a. að auka miðlunargetu, auka nýtingu endurnýjanlegra orkugjafa með því að m.a. draga úr flutningstakmörkunum og stuðla að sveigjanlegri notkun. Sveigjanleg notkun felst í þróun notkunarsvörunar (e. demand side response) hjá notendum í tæknilegu og markaðslegu tilliti og horfa til tækifæra sem orkugeymslur hafa fram að færa í tengslum við orkuöryggi.

Þörf á styrkingu kerfisins til að mæta álagstoppum

Afljöfnuður segir til um getu raforkukerfisins til að afhenda nægjanlegt afl á hverjum tíma, sérstaklega þegar álag er í hámarki, svo sem á köldum virkum dögum að vetri til. Útreikningar sýna að flutningskerfið er víða við hámarksafkastagetu sína á álagstímum sem eykur líkur á skerðingum vegna flöskuhálsa í kerfinu.

Með aukinni raforkunotkun, sér í lagi vegna orkuskipta og vaxandi eftirspurnar í iðnaði, mun staðan versna án frekari aðgerða. Sérstaklega er mikil hætta á aflskorti ef stórar framleiðslueiningar bila eða ef flutningstakmarkanir koma í veg fyrir afhendingu rafmagns milli svæða.

Líkur á aflskorti án aðgerða í raforkukerfinu er á bilinu 6 – 133 klst. sem nemur um 120 – 11.130 MWh yfir tímabilið 2025 – 2029. Með uppbyggingu flutningskerfisins og nýjum virkjunum eru líkur á aflskorti á bilinu 4 – 40 klst. sem nemur um 60 – 700 MWh yfir tímabilið.



Til viðbótar við aukna orkuöflun þarf eftirfarandi til að styðja við orkuöryggi kerfisins:

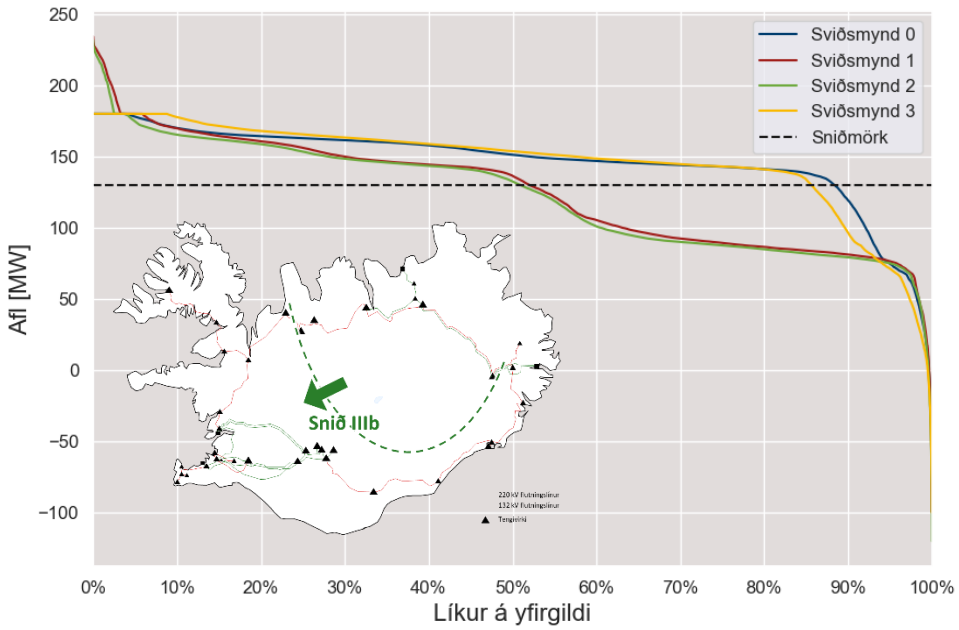
- Bæta sveigjanleika í eftirspurn með þróun notkunarsvörunar, þar sem m.a. stórnotendur geta dregið úr notkun þegar mest álag er.
- Efla flutningsgetu með nýjum línum og styrkingu tengipunkta til að dreifa álagi betur.
- Auka varaafl og raforkugeymslur til að jafna sveiflur í framboði.

Helstu flöskuhálsar og þörf fyrir umbætur

Takmarkanir í flutningskerfinu koma í veg fyrir að nýta megi orkuframleiðslu á skilvirkan hátt. Snið IIIb, sem tengir saman Suðurland og Norður- og Austurland, er enn eitt helsta vandamálið í kerfinu. Án aðgerða munu flutningstakmarkanir áfram koma í veg fyrir að nýjar virkjanir norðan sniðsins nýtist utan sniðs á Suðurlandi en þar er eftirspurnin mest. Ekki verður áfram hægt að bæta við vinnslu norðan sniðsins ásamt notkun þar sem stöðugleikavandamál fara ört vaxandi með slíku fyrirkomulagi. Það vandamál leysist ekki fyrr en komin er trygg, 220 kV, tenging milli Norður- og Suðvesturlands. Fram að því er hætta á því að einfaldar truflanir í kerfinu framkalli aflsveiflur milli þessara svæða. Nýjar vinnslueiningar norðan sniðs IIIb geta aukið á þessar sveiflur og þar með verða vaxandi líkur á því að kerfið skiptist í rekstrareyjar. Slíkar eyjar gætu haft ónægt afl til að sinna notendum tengdum því eða umframafl sem getur valdið óstöðugri tíðni, spennuvandamálum og röskun á gæðum raforkuafhendingar.

Snið VI á Vesturlandi er einnig yfirkeyrt, sérstaklega vegna aukinnar notkunar á Grundartanga. Þessar flutningstakmarkanir hamla eðlilegri þróun atvinnulífs og draga úr sveigjanleika kerfisins.

Þegar flutningskerfið er fullnýtt og nær mörkum sínum verður raforkuflutningur óhagkvæmari. Flutningstöp aukast og líkur á skerðingum verða meiri. Myndin að neðan sýnir flæði um snið IIIb sem er áhrifamesti flöskuhálsinn í raforkukerfinu og hafa takmarkanir sniðsins valdið þjóðhagslegum kostnaði upp á 11-15 makr árlega. Þessi kostnaður mun fara hækkandi og hamla tækifærum í atvinnusköpun.



Skilvirkir markaðir með virkum viðskiptum leika lykilhlutverk í raforkuöryggi þjóða. Til skemmri tíma dregur verðlagning sem tekur virkt mið af stöðu framboðs og eftirspurnar úr orkusóun þegar framboðsstaða er slæm og hvetur til aukinna umsvifa þegar hún er góð. Virkur markaður með skýrum og kvikum verðmerkjum eykur þannig aflöryggi með því að skapa hvata til þess að notendur raforku hniki til notkun sinni og framleiðendur auki framboð af afli með ýmsum leiðum. Með sama hætti eykst orkuöryggi í slæmum vatnsárum ef virk verðmerki dragi úr orkunotkun yfir lengri tíma rekar en að skortur leiði til skömmtunar þegar í óefni er komið. Verðmerki og hegðun á markaði veita einnig mikilvægar upplýsingar og fjárfestingahvata til lengri tíma. Með því er virkur raforkumarkaður lykilatriði í raforkuöryggi þjóða.

Lágmörkun flutningstapa auka skilvirkni raforkukerfisins

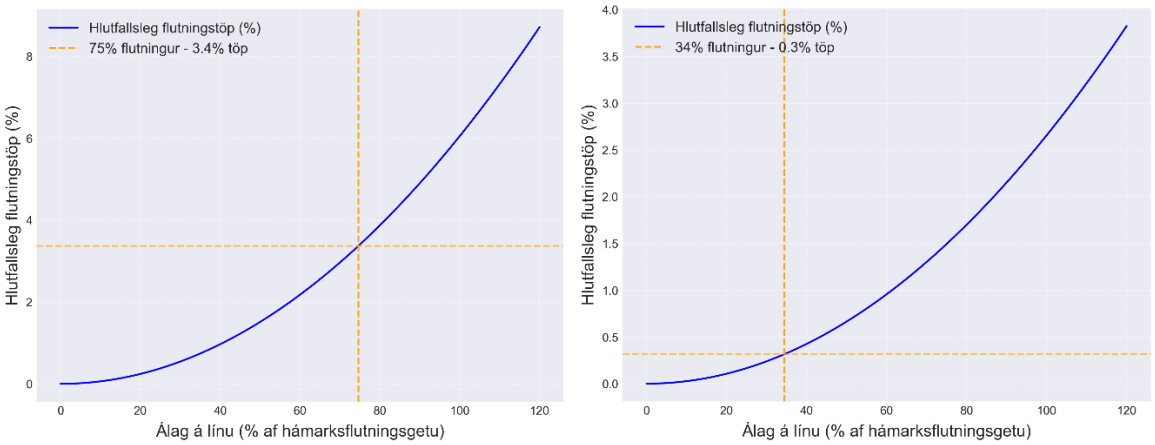
Flutningstöp hafa farið vaxandi undanfarin ár, sérstaklega í eldri og þungt lestuðum línum. Töp eru mest í löngum línum með miklu álagi, þar sem töpuð orka í leiðara eykst í hlutfalli við straumflæði í öðru veldi.

Laxárvatnslína 1, sem er 73 km löng, er dæmi um línu þar sem töp geta farið yfir 5% þegar hún er rekin við hámarksafkastagetu. Á þeim tíma sem núverandi byggðalína var byggð voru flutningstöp hlutfallslega lág, en nú er hún keyrð nær stöðugt óæskilega nærri hámarksgetu, sem leiðir til aukinna tapa. Til samanburðar eru hlutfallsleg töp í flutningskerfinu sem heild um 2%. Stakar línur sem oft fara yfir þetta meðaltal eru tækifæri til aukinnar skilvirkni raforkuflutnings.

Hagkvæmustu leiðirnar til að draga úr flutningstöpum eru:

- Hækka spennu í flutningskerfinu þar sem hærri spenna dregur úr straumflæði og þar með töpum.
- Styrkja byggðalínuna þannig að flæði dreifist betur milli svæða.
- Auka notkun staðbundinnar orkuvinnslu, sem dregur úr þörf fyrir flutning langar leiðir.

Myndirnar hér að neðan sýna samanburð á hlutfallslegum flutningstöpum í 132 kV og 220 kV línum sem flytja sama straum, þar sem sést hversu mikið minni töpin eru á hærra spennustigi.



132 kV lína *220 kV lína*

Nauðsynlegar aðgerðir til að tryggja afhendingaröryggi og lágmarka töp

Til að tryggja stöðugt og áreiðanlegt raforkukerfi næstu árin þarf að grípa til samhæfðra aðgerða í flutningskerfinu og orkuvinnslu. Lausnir sem gætu bætt stöðuna eru meðal annars:

- Nýjar flutningslínur, eins og Blöndulína 3 og Holtavörðuheiðarlínur 1 og 3.
- Aukning í framleiðslugetu með stækkun núverandi aflstöðva, byggingu nýrra virkjana auk frekari þróunar vindorku.
- Meiri sveigjanleiki í raforkunotkun þar sem stórnotendur geta dregið úr álagi á háálagstímum.
- Nýta fyrirliggjandi varaaflsstöðvar til að mæta toppum í álagi og auka við fjárfestingar í varaafli í þessum tilgangi.

Hafa ber í huga að síðastnefnda úrræðið hefur í för með sér aukinn útblástur koltvísýrings. Ef ekki verður ráðist í aðgerðir sem þessar mun afhendingaröryggi minnka, hætta á orkuskorti aukast og tækifæri fyrir frekari atvinnuþróun á landsvísu verða takmörkuð.

Orkuöryggi í höndum stjórnvalda, Landsnets og markaðsaðila

Til að tryggja orkuöryggi og hagkvæma orkunýtingu þarf samstarf orkufyrirtækja, stjórnvalda og markaðsaðila. Ef ekkert verður að gert, gæti Ísland staðið frammi fyrir auknum skerðingum og meiri kostnaði fyrir alla notendur. Með samhæfðum aðgerðum má hins vegar tryggja stöðugt raforkukerfi sem styður við orkuskipti og efnahagsvöxt.

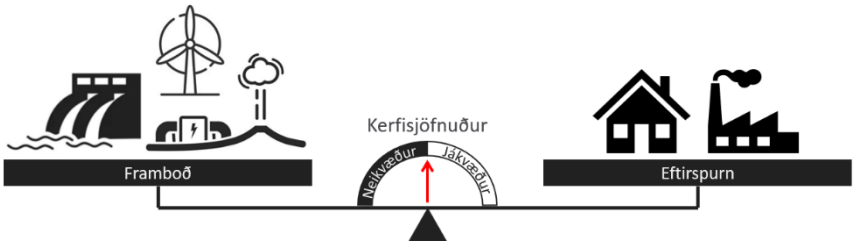
Skortur er á úrræðum eða inngripum í regluverkinu fyrir m.a. flutningsfyrirtækið, veitur og framleiðendur raforku að grípa til í neyðarástandi sem sívaxandi líkur eru á að skapist á næstu misserum og árum án aðgerða. Orkuöryggi verður ekki tryggt nema með skýrri hlutverkaskiptingu aðila varðandi eftirlit, skilgreiningu úrræða og viðbragð. Það er í höndum löggjafans að setja lagaramma utan um þessi atriði og um þessar mundir vinnur umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið í samstarfi við Landsnet og Raforkueftirlitið að nauðsynlegum breytingum þar sem einmitt þessi hlutverkaskipan verður gerð skýr, viðmið orkuöryggis verða skilgreind í reglugerð ásamt þeim úrræðum sem grípa má til þegar útlit er fyrir að viðmið náist ekki. Einnig er brýnt að skýrt sé hvað skilgreint sé sem neyðarástand, hvað skuli gert ef neyðarástand skapast og hver er ábyrgðarskipting milli stjórnvalda og aðila á markaði.

Kerfisjöfnuður 2025–2029 - Samantekt 2
Þröngt í búi og líkur á orkuskorti 2
Þrýstingur á framleiðslugetu eykst 2
Þörf á styrkingu kerfisins til að mæta álagstoppum 2
Helstu flöskuhálsar og þörf fyrir umbætur 3
Lágmörkun flutningstapa auka skilvirkni raforkukerfisins 4
Nauðsynlegar aðgerðir til að tryggja afhendingaröryggi og lágmarka töp 5
Orkuöryggi í höndum stjórnvalda, Landsnets og markaðsaðila 5
1 Kerfisjöfnuður – mat á orkuöryggi 7
1.1 Tilgangur kerfisjöfnuðar 7
1.2 Mat á orkuöryggi og nægjanleika aflgetu á Íslandi 7
1.3 ACER-aðferðafræðin og Ísland 8
2 Forsendur kerfisjöfnuðar 9
2.1 Raforkunotkun 9
2.2 Raforkuvinnsla 10
2.3 Kerfisáætlun 11
2.4 Gögn um áreiðanleika 11
2.5 Landshlutaskipting 11
2.6 Fyrirkomulag skerðinga 12
2.7 Sviðmyndir 12
3 Orkujöfnuður 14
3.1 Staða og horfur orkujöfnuðar 15
3.2 Orkuskortur; forgangsorkuskerðingar 19
4 Afljöfnuður 26
4.1 Aðferð við útreikninga afljöfnuðar 27
4.2 Staða og horfur afljöfnuðar 27
4.3 Líkur á aflskorti eftir landshlutum 30
5 Raforkukerfið - orkuflæði 33
5.1 Flutningur um snið 33
5.2 Flutningstöp 38
Viðauki I : Nánari gögn um niðurstöður orkuskorts 43
Viðauki II : Forsendur fyrir áreiðanleikastuðla 45
Viðauki III : Um langæislínur 47

1 KERFISJÖFNUÐUR – MAT Á ORKUÖRYGGI

1.1 Tilgangur kerfisjöfnuðar

Landsnet gefur út kerfisjöfnuð fyrir Ísland til að veita innsýn í stöðu raforkujafnvægis og meta líkur á skorti bæði út frá afl- og orkumælikvörðum. Niðurstöðurnar styðja ákvarðanatöku um aðgerðir sem miða að því að tryggja afhendingaröryggi raforku og styðja við orkuskipti.



Með hliðsjón af nýjustu stefnumótun stjórnvalda verður öryggisviðmið raforkukerfisins tvískipt:

1. **Orkumælikvarði** metur væntanlegt magn raforku sem ekki verður afhent vegna skorts. Þetta tryggir að öryggismat taki einnig tillit til lengri tímabila þar sem orkuvandi gæti komið upp, sérstaklega í vatnsaflsríku kerfi eins og því íslenska.

2. **Aflmælikvarði (LOLE - Loss of Load Expectation)** mælir líkur á því að eftirspurn sé umfram framboð í klukkustundum á ári. Þessi mælikvarði er sérlega mikilvægur fyrir aðstæður þar sem aflskortur gæti valdið rofi á afhendingu.

Fyrir Alþingi hefur verið lagt fram frumvarp til laga um breytingu á raforkulögum nr. 65/2003 þar sem gert er ráð fyrir að lögfest séu viðmið um raforkuöryggi. Frumvarpið gerir m.a. ráð fyrir að útfæra skuli öryggisviðmið í reglugerð. Vinna við útfærslu öryggisviðmiða og skilgreiningu öryggismarka er í gangi um þessar mundir. Sú vinna er samstarfsverkefni umhverfis-, orku og loftslagsráðuneytis, Raforkueftirlitsins og Landsnets.

Kerfisjöfnuður er ekki fastmótuð spá heldur áhættumat sem varpar ljósi á hugsanlegar áskoranir í framboði og flutningi raforku. Þannig er hægt að bregðast við með fyrirbyggjandi aðgerðum, s.s. uppbyggingu nýrrar orkuvinnslu, styrkingu flutningskerfisins, innleiðingu notkunarsvörunar og gagnsærri sýn á stöðu kerfisins og verðmyndun raforku.

Með tvöföldum öryggisviðmiðum sem byggist bæði á orku- og aflmælikvörðum er raforkukerfið metið bæði út frá aflþörf á hámarksálagstímum og mögulegum langtímaskorti í orku. Þetta stuðlar að markvissum ákvörðunum um þróun raforkukerfisins og aðgerðum til að tryggja áreiðanlegt rafmagnsframboð til framtíðar.

1.2 Mat á orkuöryggi og nægjanleika aflgetu á Íslandi

Mat á orkuöryggi og nægjanleika afkastagetu á Íslandi er tvíþætt áskorun sem snertir bæði langtímaskort á orkuöflun og skort á afkastagetu á háálagstímum. Ísland er sjálfstætt orkukerfi þar sem orkuvinnsla byggist nær alfarið á endurnýjanlegum orkugjöfum, aðallega vatnsafli. Helstu áhættuþættir tengjast sveiflum í innrennsli til miðlunarlóna, sem getur valdið viðvarandi orkuskorti í þurru árferði.

Þegar innrennsli er lítið, þurfa orkuframleiðendur að skerða afhendingu samkvæmt raforkusölusamningum, sem dregur úr líkum á skerðingum hjá almenningi. Þetta er eina úrræðið sem er tiltækt er í dag til að draga úr líkum á orkuskorti vegna þurrs vatnsárs. Slík staða krefst skýrs

mælikvarða sem lýsir stöðunni og horfum á nægjanleika framboðs. Tilgangurinn er að lágmarka áhættu á langtíma afl- og orkuskorti og stuðla að bættri skilvirkni orkubúskapsins.

Skortur á aflgetu kemur líklegast fram þegar nægur vatnsforði er til staðar, en raforkueftirspurn nær tímabundið hámarki (afltoppi). Því þarf að horfa til mismunandi forsendna í líkanagerð eftir því hvort verið er að meta langtímaorkuskort eða aflskortsáhættu.

- Við mat á langtímaorkuskorti eru upphafsskilyrði miðlunarlóna tekin með í reikninginn, þar sem áhersla er lögð á innrennsli og vatnsbirgðir yfir langt tímabil.

- Við mat á skorti á afkastagetu er gert ráð fyrir að miðlunarlón séu full við upphaf greiningartímabilsins, til að skilja frá áhrif framboðsvandamála og greina nægjanleika uppsettrar aflgetu á móti álagstoppum.

1.3 ACER-aðferðafræðin og Ísland

ACER-aðferðafræðin (European Resource Adequacy Assessment, ERAA) veitir staðlaðan ramma fyrir mat á orkuöryggi með áherslu á nægjanleika afkastagetu. Þar eru metnir áhættuþættir eins og raforkuskortur og takmarkörkuð flutningsgeta milli markaðssvæða. Hins vegar tekur aðferðafræðin ekki nægjanlega tillit til innra flutningskerfis einstakra landa sem er sérstaklega mikilvægur þáttur á Norðurlöndum þar sem vatnsaflskerfi gegna lykilhlutverki í orkujafnvægi.

Þar sem íslenska raforkukerfið er nær alfarið byggt á vatnsafli eru sértækar nálganir nauðsynlegar til að meta áhrif sveiflna í vatnsforða og rennslismynstrum. Í því skyni nýtir ACER-aðferðafræðin viðmiðunarorkutækni (Reference Technology, RT) til að greina hagkvæmustu úrræðin, svo sem sveigjanlega eftirspurn, rafhlöðugeymslur og gastúrbínur, til að tryggja að fjárfestingar beinist að mikilvægum nægjanleikakröfum.

Ísland stendur frammi fyrir sértækum áskorunum í innleiðingu ACER-viðmiða, þar sem vatnsorka er ekki talin viðmiðunarorkutækni vegna þess að slíkir kostir eru mjög staðsetningarháðir og óskalanlegir. Norðurlönd hafa glímt við svipaðar áskoranir, þar sem árleg sveiflukennd miðlun vatnsafls gerir staðlaða aðferðafræði ACER erfiða í framkvæmd.

Fyrir Norðurlönd og Ísland er mikilvægt að tryggja að raforkuframleiðsla standi ekki frammi fyrir regluverkslegum hindrunum og að tekið sé fullt tillit til náttúrulegra takmarkana vatnsaflskerfa. Til að aðlaga ACER-viðmið að íslenskum aðstæðum þarf eftirspurnarstýring að gegna lykilhlutverki, sérstaklega þar sem stórnotendur geta boðið upp á hagkvæmar lausnir til að mæta nægjanleikakröfum til skemmri tíma.

Úrræði á borð við notendasvörun (DSR – Demand Side Response) eru mikilvægur þáttur í virkni raforkumarkaðarins og gera kerfinu kleift að bregðast sveigjanlega við sveiflum í framboði og eftirspurn. Þar sem lág LOLE-gildi eru talin raunhæf í íslenska raforkukerfinu er einnig eðlilegt að horft sé til skerðingarheimilda hjá stórnotendum við útreikning á nægjanleika og líkum á orkuskorti. Vegna þess að stórnotendur hafa að jafnaði lægri virðisauka fyrir hverja orkueiningu sem þeir nýta, getur þátttaka þeirra í notendasvörun stuðlað að hagkvæmari orkuflutning og aukið stöðugleika raforkukerfisins. Innleiðing slíkra lausna getur dregið úr þörfinni fyrir fjárfestingar í nýrri framleiðslugetu og flutningsinnviðum. Að lokum stuðlar markaðsvæðing þátttöku stórnotenda í að tryggja öryggi kerfisins valdeflir neytendur og eykur hagkvæmni raforkukerfisins í heild.

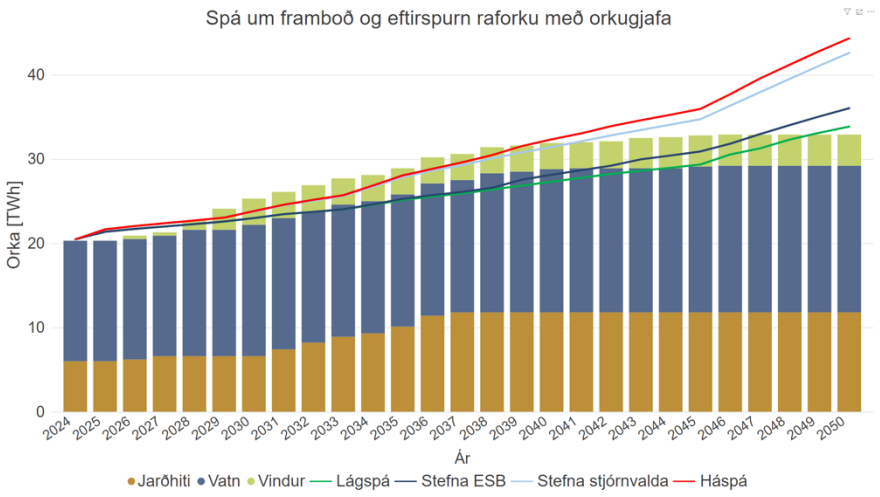
2 FORSENDUR KERFISJÖFNUÐAR

Tímabilið sem þessi kerfisjöfnuður nær til eru árin 2025 til 2029. Gögnin sem notuð eru til útreikninga byggja á eftirfarandi forsendum.

2.1 Raforkunotkun

Kerfisjöfnuður styðst við spá um orkuþörf tímabilsins sem fram kemur í Raforkuspá Landsnets[1]. Forsendur hennar eru meðal annars fyrirliggjandi gögn um sögulega þróun almennrar orkunotkunar, eftirspurn hjá stórnotendum, fólksfjöldaspá og markmið stjórnvalda um full orkuskipti. Orkuþörf til fullra orkuskipta byggir m.a. á nýrri greiningu á þróun rafeldsneytisframleiðslu sem unnin var af verkfræðistofunni COWI fyrir Landsnet[2].

[1] Raforkuspá Landsnets – Spá Landsnets um þróun eftirspurnar og framboðs á raforku 2024 – 2050. Landsnet 24011.
[2] Iceland energy outlook for sustainable aviation fuel. COWI- A275042. Landsnet - July 2024.



Mynd 1: Spá um framboð og eftirspurn skv. Raforkuspá Landsnets

Raforkuspá Landsnets gerir ráð fyrir því að raforkuvinnsla muni tvöfaldast við full orkuskipti. Spáin gerir ekki ráð fyrir að full orkuskipti vegna samgangna á landi náist fyrir árið 2040. Þó er gert ráð fyrir að full orkuskipti fólksbíla náist fljótlega upp úr 2040. Spá um eftirspurn árið 2050 er á bilinu 34 til 45 TWh en á sama tíma lítur ekki út fyrir að framboðið verði nema um 33 TWh þannig að áform um nýjar virkjanir ásamt stækkunum núverandi virkjana ná ekki að halda í við eftirspurn og sviðsmyndir sýna að framboðsskortur getur myndast á tímabilinu 2039-2049.

Á tímabilinu sem kerfisjöfnuður nær til gerir raforkuspáin ráð fyrir aukningu upp á 1,2 TWh í orkuþörf og 200 MW í aflþörf.

2.2 Raforkuvinnsla

Um 72% af uppsettu afli í íslenska raforkukerfinu kemur frá vatnsaflvirkjunum, sem gerir kerfið háð sveiflum í innrennsli vatns. Þetta hefur bein áhrif á orkuforða og jafnvægi kerfisins, þar sem vatnsbúskapur getur sveiflast milli ára. Í nýju orkuflæðislíkani Landsnets, sem notað er við útreikninga á kerfisjöfnuði, er tekið tillit til þessarar óvissu með því að herma vinnslu vatnsaflsvirkjana út frá sögulegum innrennslisgögnum Landsvirkjunar.

Vinnsla annarra virkjana, svo sem jarðvarmavirkjana, er fyrirsjáanlegri. Vinnslugeta þeirra er byggð á sögulegum mæligögnum, öðrum líkönum og föstum viðhaldsáætlunum. Orkuvinnsla vindorkulunda er áætluð út frá tímaröðum sem byggja á áætluðum nýtingartíma og landfræðilegri staðsetningu. Helstu breytingar frá fyrri kerfisjöfnuði:

- Nú er ekki lengur gert ráð fyrir gangsetningu Hvammsvirkjunar á útreikningstímabilinu.
- Hins vegar er nú gert ráð fyrir aflaukningu í Hrauneyjafossvirkjun sem mun hefjast á tímabilinu og koma inn að hluta.
- Áætlanir um gangsetningu vindorkugarðsins Búrfellslundar eru óbreyttar frá fyrri útreikningum.

Virkjun	Tegund	Afl [MW]	Gangsetning
Stækkun Svartsengis	Jarðhitaorka	10	1. ársfj. 2026 – 1. ársfj. 2027
Vaðölduver	Vindorka	120	3. ársfj. 2026
Stækkun Sigöldu	Vatnsorka	65	2. ársfj. 2028
Þeistareykir – toppþrýstivél	Jarðhitaorka	22	2. ársfj. 2028
Hrauneyjafoss - aflaukning	Vatnsorka	14	3. ársfj. 2028 – 3. ársfj. 2029

Tafla 1 : Ný orkuvinnsla sem gert er ráð fyrir í rekstur á tímabilinu

Einnig er tekið tillit til nauðsynlegrar rekstrarstöðvunar í Sigölduvirkjun í tengslum við stækkun hennar um eina vél. Reiknað er með stöðvun yfir sumarmánuðina 2026 og 2027.

Þessar breytingar undirstrika mikilvægi þess að fylgjast reglulega með forsendum orkuvinnslu, þar sem breytingar í vatnsforða, tæknilegri getu og skipulagi nýrra virkjana geta haft veruleg áhrif á raforkujöfnuð.

2.3 Kerfisáætlun

Forsendur um nýframkvæmdir í flutningskerfinu hafa verið uppfærðar frá síðasta kerfisjöfnuði. Nýju forsendurnar eru svartsýnni en á fyrra ári, þar sem fáar styrkingar sem koma til með að hafa umtalsverð áhrif á flutningstakmarkanir eru áætlaðar innan útreikningstímabilsins.

Gert er ráð fyrir að uppbygging flutningskerfis verði í samræmi við áður samþykktar framkvæmdir sem eru nú þegar í framkvæmd, auk tímalínu framkvæmdaáætlunar 2026-2028 sem er hluti af kerfisáætlun 2025-2034. Þó að framkvæmdaáætlunin innihaldi umfangsmiklar endurnýjunarframkvæmdir og launaflsbúnað sem ekki hafa bein áhrif á útreikninga hér, þá eru nokkrar áætlaðar framkvæmdir sem hafa áhrif á kerfisjöfnuð. Á meðan framkvæmdaáætlun inniheldur framkvæmdir sem hefjast eiga á tímabili hennar þá miða útreikningar í kerfisjöfnuði við spennusetningarár.

Ný eining	Mánuður	Ár
Vestmannaeyjalína 4	September	2025
Vestmannaeyjalína 5	September	2025
Rimakotslína 2	September	2025
Dalvíkurlína 2	Október	2025
Geitháls – nýir spennar	Nóvember	2025
Mjólkárlína 2	Júní	2026
Suðurnesjalína 2	Febrúar	2027
Hryggstekkur – 220 kV tengivirki	Júlí	2027
Þorlákshafnarlína 2	Janúar	2028
Selfosslína 1 – styrking	September	2028
Kolviðarhólslína 1 – flutningsaukning	Haust	2028
Blöndulína 3	Ágúst	2028
Holtavörðuheiðarlína 1	Ágúst	2029

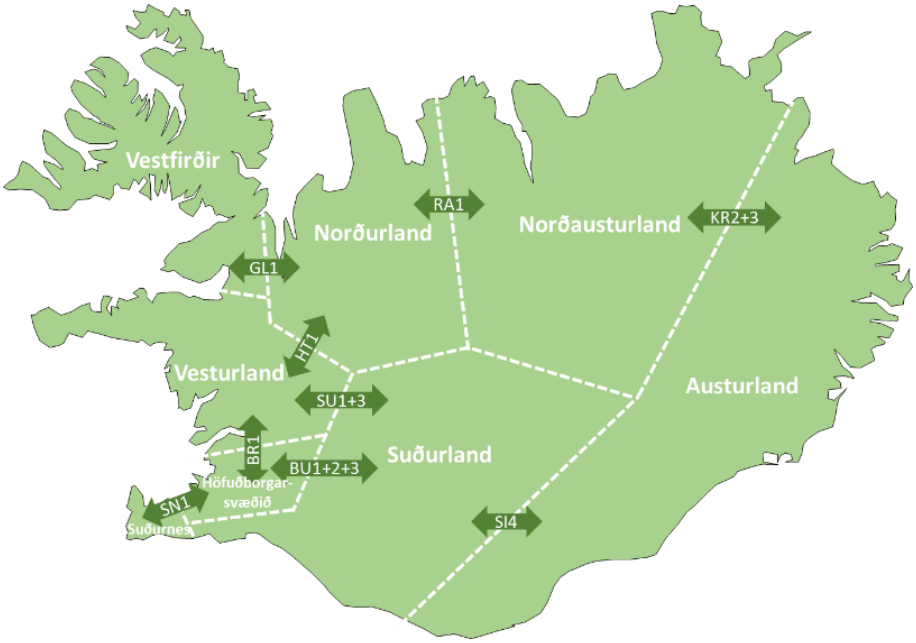
Tafla 2 : Nýframkvæmdir í flutningskerfinu sem gert er ráð fyrir í rekstur á tímabilinu og hafa áhrif á útreikninga.

2.4 Gögn um áreiðanleika

Landsnet reiknar út stuðla um ótiltæki, viðgerðartíma og bilanatíðni eininga flutningskerfisins á þriggja ára fresti út frá sögulegum gögnum um truflanir. Þessir stuðlar eru reiknaðir yfir í líkur á truflun í prósentum sem er grundvöllur útreikninga fyrir afljöfnuð, þ.e. stærðir eins og líkur á tapaðri aflafhendingu (e. Loss of Load Expectation, LOLE) og væntigildi óafhents afls (e. Expected Power Not Supplied, EPNS). Væntigildi óafhentrar orku (e. Expected Energy Not Supplied, EENS) er reiknað út frá EPNS en tekur með í reikninginn lengd truflana. Finna má upplýsingar um þessa stuðla í viðauka II.

2.5 Landshlutaskipting

Skiptingu kerfisins á milli landshluta má sjá á Mynd 2 ásamt því hvaða línur það eru sem þjóna sem tengingar milli landsvæðanna.



Mynd 2 : Landshlutaskipting notuð í útreikningum

2.6 Fyrirkomulag skerðinga

Í orkulíkani er gert ráð fyrir að notkun stórnotenda sé skerðanleg í orkuskorti um 10% í afli og 5% í orku. Þetta samsvarar því að hægt sé að skerða 10% af umsömdu afli stórnotandans í allt að hálft ár.

Við útreikning á skerðingum reiknar líkanið fyrst þá orku sem tiltæk er til afhendingar yfir gefið tímabil byggt á óvissu um innrennsli í vatnsvegi vatnsaflsvirkjananna að teknu tilliti til þeirra takmarkana sem eru í flutningskerfinu. Líkanið ber tiltæka orku saman við eftirspurn skv. raforkuspá og ef framboð á orku getur ekki uppfyllt eftirspurn áætlar líkanið skerðinguna út frá mismun framboðs og eftirspurnar.

Þetta fyrirkomulag byggir á því að skortkostnaður við þennan skerðanlega hluta er álitinn lægri en skerðingar á forgangshluta stórnotenda. Þegar það hámarksafl sem hægt er að skerða er ekki nægjanlegt (eða orkumagn skerðingarheimildar innan tímabils er fullnýtt) hafa skerðingar umfram þetta magn sama verðmæti og skerðingar á almennu forgangsálagi.

Forgangsþrep skerðinga hafa misjafnan (hækkandi) skortkostnað í líkaninu og er eftirfarandi:

1. Ótryggt álag[3]
2. Skerðingarheimildir hjá stórnotendum
3. 10% almennt forgangsálag
4. 20% almennt forgangsálag
5. 70% almennt forgangsálag

Hinn eiginlegi skortur skv. aðferðafræði kerfisjöfnuðar hefst í skrefi 3 og skilgreinist sem neyðarástand þar sem engin lagaleg úrræði eru til staðar nema skömmtun á raforku jafnt til allra notenda.

2.7 Sviðmyndir

Afl- og orkujöfnuður er skoðaður fyrir fjórar sviðsmyndir. Sú fyrsta er svokallaður núllkostur sem gerir ráð fyrir því að hvorki verið ráðist í framkvæmdir í flutningskerfinu né auknu orkuframboði. Þrjár

[3] Katlar, fiskimjölsverksmiðjur og aðrir skerðanlegir notendur tengdir dreifiveitum. Skerðanlegur flutningur.

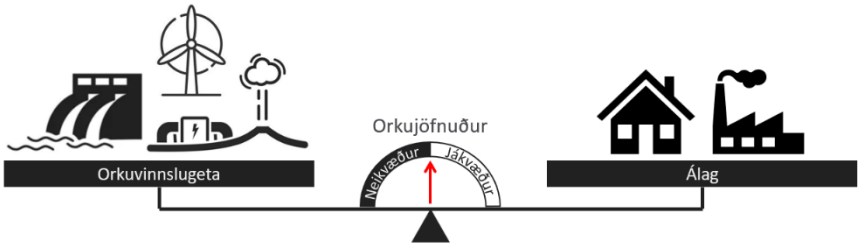
uppbyggingarsviðsmyndir eru greindar til samanburðar. Sviðsmynd 1 gerir ráð fyrir styrkingu flutningskerfis og auknu orkuframboði. Sviðsmynd 2 sýnir áhrif þess að styrkja bara flutningskerfið en auka ekki orkuframboð en sviðsmynd 3 gerir ráð fyrir auknu orkuframboði en engum styrkingum á flutningskerfinu.

	Sviðsmynd			
	0	**1**	**2**	**3**
Vestmannaeyjalína 4	⊘	2025	2025	⊘
Vestmannaeyjalína 5	⊘	2025	2025	⊘
Rimakotslína 2	⊘	2025	2025	⊘
Dalvíkurlína 2	⊘	2025	2025	⊘
Geitháls - nýir spennar	⊘	2025	2025	⊘
Mjólkárlína 2	⊘	2026	2026	⊘
Suðurnesjalína 2	⊘	2027	2027	⊘
Hryggstekkur - 220 kV tengivirki	⊘	2027	2027	⊘
Þorlákshafnarlína 2	⊘	2028	2028	⊘
Selfosslína 1 - styrking	⊘	2028	2028	⊘
Kolviðarhólslína 1 - flutningsaukning	⊘	2028	2028	⊘
Blöndulína 3	⊘	2028	2028	⊘
Holtavörðuheiðarlína 1	⊘	2029	2029	⊘
Stækkun Svartsengis	⊘	2026	⊘	2026
Búrfellslundur	⊘	2026	⊘	2026
Stækkun Sigöldu	⊘	2028	⊘	2028
Þeistareykir toppaflsvél	⊘	2028	⊘	2028
Hrauneyjafoss - aflaukning	⊘	2028	⊘	2028

Tafla 3 : Yfirlit yfir styrkingar í flutningskerfinu og nýjar virkjanir í hverri sviðsmynd.

3 ORKUJÖFNUÐUR

Orkujöfnuður er mælikvarði á getu raforkukerfisins til að mæta eftirspurn. Þegar framboð raforku er nægt til að uppfylla eftirspurn er orkujöfnuður jákvæður en þegar framboð dugar ekki til verður neikvæður orkujöfnuður og skerða þarf afhendingu raforku. Þó ber að hafa í huga að flutningstakmarkanir geta einnig haft áhrif á afhendingargetu í einstaka tengipunkta eða landsvæði og þannig haft áhrif á raunverulegan orkujöfnuð.



Mynd 3 : Einföld skýringamynd orkujöfnuðar

Raforkuframboð og eftirspurn stýra orkuflæði raforkukerfisins í takt við flutningstakmarkanir. Þótt rafmagn fylgi eðlisfræðilögmálum í flutningi um línur og strengi, þá er það markaðurinn sem stýrir framleiðslu og afhendingu á hverjum stað. Þar af leiðandi er mikilvægt að hanna raforkukerfið þannig að það uppfylli jafnt efnahagsleg skilyrði og tæknilegar takmarkanir, en tryggir samtímis að framboð dugi til að mæta eftirspurn.

Flest raforkukerfi í heiminum byggja á jarðefnaeldsneyti, þar sem rekstur þeirra er háður eldsneytisbirgðum, kostnaði og nýtni orkuframleiðslunnar. Íslenska raforkukerfið er hins vegar alfarið byggt á endurnýjanlegum orkugjöfum – vatnsorku og jarðvarma – sem hafa lítinn sem engan jaðarkostnað þar sem ekki þarf að greiða fyrir orkugjafann.

Í vatnsaflsríkum kerfum eins og því íslenska tengjast allar ákvarðanir um unnar orkueiningar innbyrðis í tíma – ákvarðanir sem teknar eru í dag hafa áhrif á mögulegar ákvarðanir í framtíðinni. Þar sem vatnsafl er háð náttúrulegum sveiflum er mikilvægt að líkanagerð taki mið af óvissu í innrennsli.

Nýtt orkuflæðislíkan Landsnets hermir hagkvæmasta rekstrarfyrirkomulag kerfisins með því að forgangsraða orkuvinnslu eftir jaðarkostnaði orkugjafanna og bestu nýtingu orkuauðlinda til lengri tíma. Þar sem jaðarkostnaður orkuvinnslu á Íslandi er nálægt núlli er jaðarkostnaður í líkaninu endurspeglaður með skortkostnaði. Líkanið tekur einnig tillit til orkuflæðis í flutningskerfinu með því að greina orkutöp í línum og áhrif flutningstakmarkana. Með þessu móti er rekstur raforkukerfisins hámarkaður bæði út frá hagkvæmni og afhendingaröryggi.

Engin opinber viðmið hafa hingað til verið sett um mörk orkumælikvarða fyrir væntanlega orku sem verður ekki afhent. Útreikningarnir verða hins vegar nýttir sem grundvöllur fyrir því að ákvarða slík öryggisviðmið í því frumvarpi sem nú liggur fyrir á þingi, sjá nánar í kafla 1.1.

Áður en neikvæður orkujöfnuður er metinn er gert ráð fyrir að öll möguleg viðskiptaleg samningsbundin úrræði hafi verið fullnýtt, þar á meðal:

- Skerðingar notenda á skerðanlegum flutningi
- Nýting skerðingarheimilda hjá stórnotendum

Við útreikninga er einnig mikilvægt að miða við raunverulega stöðu uppistöðulóna í upphafi útreikningstímabilsins, þar sem lónastaða er lykilbreyta í mati á orkuöryggi. Með því að tryggja að líkönin taki tillit til þessara þátta fæst betri mynd af raforkujafnvægi landsins.

3.1 Staða og horfur orkujöfnuðar

Myndir 4 til 7 sýna niðurstöður líkansins um framboð og eftirspurn á greiningartímabilinu. Á myndunum táknar:

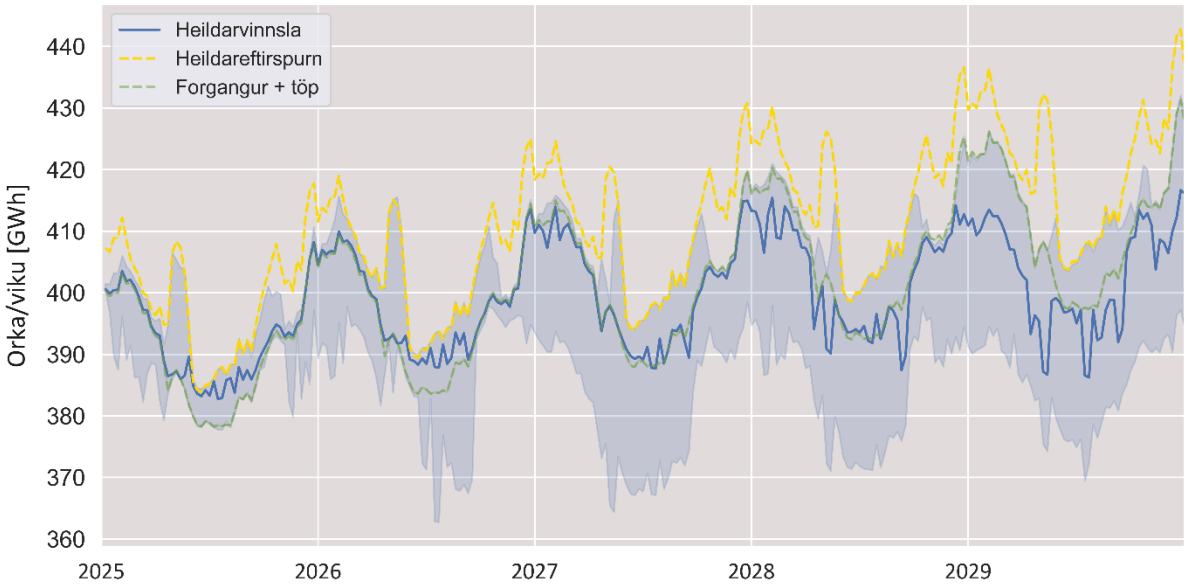
- **Bláa línan** miðgildi orkuvinnslugetu, þ.e. áætlaða heildarvinnslugetu kerfisins.
- **Græna strikalínan** spá um eftirspurn ásamt flutningstöpum.
- **Gula línan** samanlagt álag forgangsnotkunar, tapa og skerðanlegrar notkunar, þ.e. heildarálag samkvæmt raforkuspá.

- **Skyggða svæðið (ljósblátt)** afmarkast af P10[4] og P90 gildum orkuvinnslugetunnar, sem sýnir dreifingu mögulegra atburða frá lökustu til bestu sviðsmyndar.

Þegar myndir 4 til 7 eru skoðaðar skal horft eftir því hversu hátt græna brotalínan liggur í ljósbláa svæðinu en það er sterk vísbending um orkuskort þeim mun hærra sem hún fer. Fari gula brotalínan upp fyrir ljósbláa svæðið eru minna en 10% líkur á því að hægt sé að afhenda orku til notenda á skerðanlegum flutningi eða afgangsorku. Líkurnar minnka þeim mun meira sem gula brotalínan fer upp fyrir ljósbláa svæðið. Að auki má lesa enn frekari vísbendingu um ónægan orkuforða þeim mun stærra sem ljósbláa svæðið verður. Það þýðir að breytileiki innrennslis hefur meiri áhrif og lítið borð er fyrir báru. Þegar bláa svæðið verður þrengra hefur dapurt innrennsli minni áhrif á framboð, þ.e. aukinn nægjanleiki.

Sviðsmynd 0: Núverandi staða og þróun án aðgerða

Mynd 4 sýnir grunnsviðsmynd (sviðsmynd 0) þar sem engar nýjar framkvæmdir eru teknar með í reikninginn. Athyglisvert er að sjá að í upphafi tímabilsins liggur miðgildi orkuvinnslugetunnar nærri hámarki (P10 gildinu). Þetta endurspeglar að tímabilið hefst í löku vatnsári í Þórisvatnsmiðlun, sem leiðir til þess að flestar sviðsmyndir spá minni orkuvinnslugetu á fyrri hluta tímabilsins.



Mynd 4 : Framboð orku samanborið við eftirspurn - sviðsmynd 0

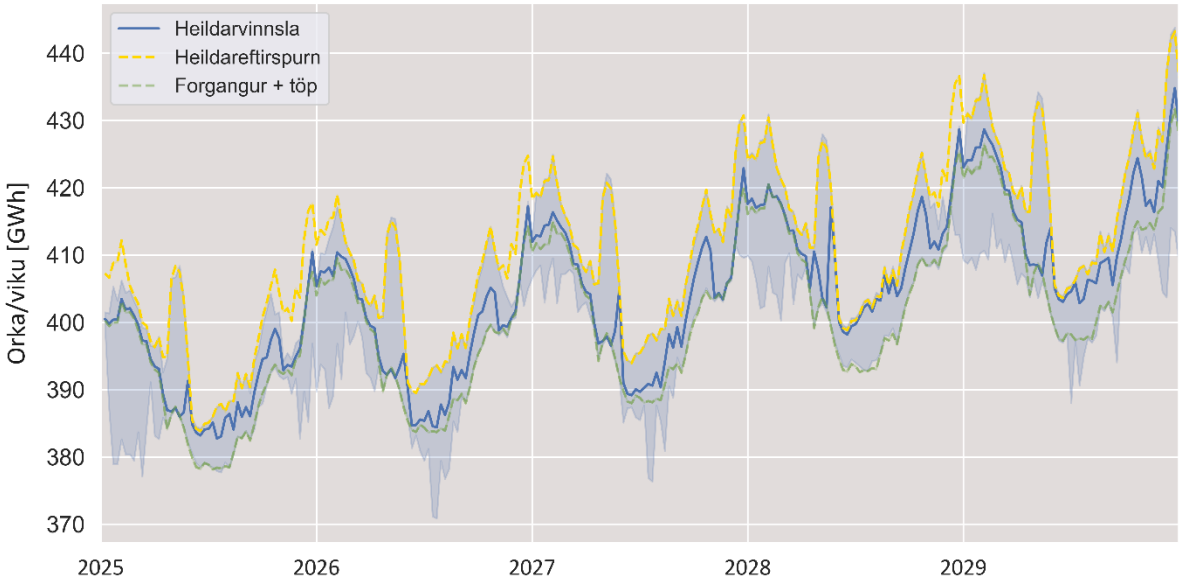
Eftir því sem eftirspurn eftir forgangsorku og töpum (græni ferillinn) eykst samkvæmt raforkuspá, eykst hættan á skerðingum og orkuskorti. Án aðgerða (svo sem uppbyggingar flutningskerfisins eða nýrra virkjana) sýna niðurstöður að heildareftirspurn (guli ferillinn) fer yfir miðgildi orkuvinnslugetunnar eftir árið 2026 og nær á tímabilum yfir P10 gildið. Þetta þýðir að orkuvinnsla getur ekki útvegað alla þá skerðanlegu orku sem notendur þurfa, nema með styrkingu flutningskerfisins (sviðsmynd 1, Mynd 5) eða með nýrri orkuvinnslu (sviðsmynd 2, Mynd 6).

Sviðsmynd 1: Áhrif nýrra virkjana og styrkingar flutningskerfisins

Mynd 5 sýnir niðurstöður sviðsmyndar 1 þar sem bæði er gert ráð fyrir styrkingu flutningskerfisins og aukinni vinnslugetu. Niðurstöðurnar sýna að miðgildi orkuvinnslu getur nú almennt mætt

[4] P10 gildi þýðir þau mörk í talnaröð sem 10% gildanna (af heildarfjölda) liggja ofar.

heildareftirspurn, sem dregur úr líkum á orkuskerðingum. Ný orkuöflun er því lykilatriði til að tryggja nægt framboð þegar líður á tímabilið, þó svo að styrking flutningskerfisins hafi einnig jákvæð áhrif.



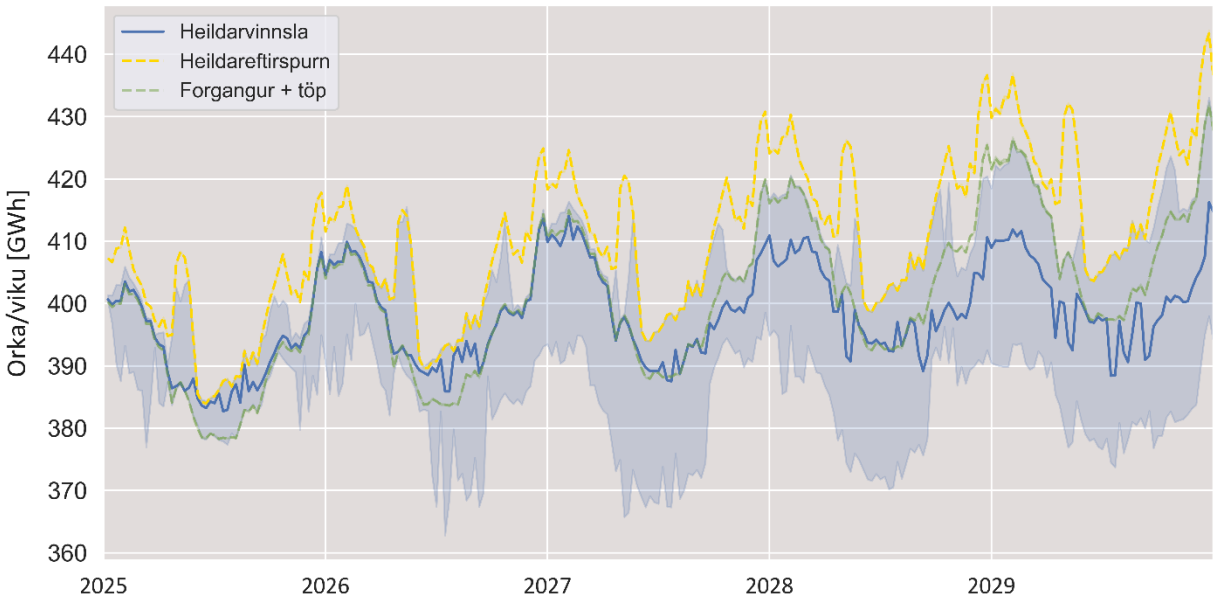
Mynd 5 : Framboð orku samanborið við eftirspurn - sviðsmynd 1

Þrátt fyrir þessa styrkingu er þó ekki tryggt að hægt sé að mæta allri eftirspurn í slæmum vatnsárum. Kerfisleg uppbygging til að tryggja að orkuvinnsla nægi alltaf við verstu aðstæður er óhagkvæm, og því er gert ráð fyrir að skerðingarákvæði raforkusölusamninga stórnotenda virki sem öryggisventill gegn offjárfestingu í nýrri framleiðslugetu. Mikilvægt er til lengri tíma að fjölga úrræðum til bregðast við og lágmarka líkur á orkuskorti. Þar má telja nýsköpun og markaðsþróun í tengslum við notkunarsvörun og orkugeymslur.

Án aðgerða eykst hættan á orkuskorti; skerðingum á forgangsorku

Sviðsmynd 2: Áhrif styrkingar flutningskerfisins

Mynd 6 sýnir niðurstöður sviðsmyndar 2 þar sem gert er ráð fyrir styrkingu flutningskerfisins. Niðurstöðurnar sýna að í góðum vatnsárum ætti að vera hægt að anna allri eftirspurn eftir skerðanlegri notkun og þannig draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda með því að minnka notkun varaafls sem gengur fyrir jarðefnaeldsneyti.

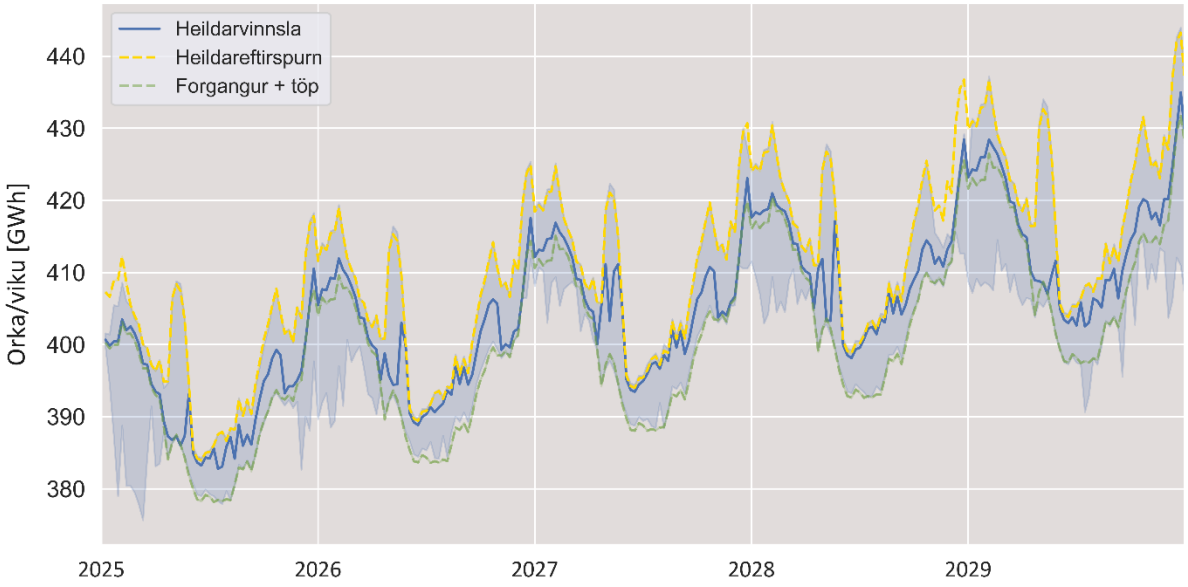


Mynd 6 : Framboð orku samanborið við eftirspurn - sviðsmynd 2

Þrátt fyrir þessar jákvæðu breytingar nægir styrking flutningskerfisins ekki alltaf ein og sér til að tryggja að hægt sé að mæta allri eftirspurn án skerðinga, sérstaklega í meðalvatnsárum.

Sviðsmynd 3: Áhrif aukinnar raforkuvinnslu

Á Mynd 7 sést strax að aukin raforkuvinnsla hefur meiri áhrif. Þó er mikilvægt að orkuflæðilíkanið getur ekki séð fyrir stöðugleikavandamál í flutningskerfinu sem eykst ef vinnsla er aukin án sterkari tenginga. Sú vinnsla sem gert er ráð fyrir á tímabilinu virðist einnig vera ágætlega staðsett m.t.t. flutningstakmarkana.



Mynd 7: Framboð orku samanborið við eftirspurn - sviðsmynd 3

3.2 Orkuskortur; forgangsorkuskerðingar

Líkur á orkuskorti eru líkur á skömmtun á raforku. Þær aðstæður myndast eftir að gengið hefur verið á öll viðskiptalega samningsbundin úrræði ef framboð mætir ekki eftirspurn hverju sinni. Ef slíkar aðstæður raungerast er um neyðarástand að ræða þar sem skammta þarf raforku jafnt til allra notenda. Markmiðið er því ávallt að lágmarka líkur á orkuskorti.

Orkumælikvarðinn skv. nýjustu stefnumótun stjórnvalda sem lýst er í kafla 1.1 er frábrugðinn í framsetningu síðasta Kerfisjöfnuðar. Farið verður nánar í það hér að neðan.

Orkumælikvarðinn skv. nýjustu stefnumótun stjórnvalda sem lýst var í kafla 1.1 mun horfa til hlutfalls tilbrigða þar sem skortur á forgangsorku er líklega til staðar.

$$Orkumælikvarði\ \% = \frac{\sigma_{skortur}}{\sigma_{heild}} \quad [1]$$

Þar sem gríska táknið σ táknar útreiknuð tilbrigði, σ_{heild} er heildarfjöldi tilbrigða í útreikningum og $\sigma_{skortur}$ er fjöldi tilbrigða sem niðurstöður sýna að skortur á forgangsorku er til staðar. Framsetningin eins og hún er á mynd 7 gefur vísbendingar um líkur á orkuskorti en þó ekki með skýrum hætti. Tilbrigði er ein útgáfa af mögulegri framtíð, skilgreint sem útreiknuð tímaröð orku sem hefur slembið inntak frábrugðið öðrum.

Eftirfarandi niðurstöður sýna að framan af tímabili útreikninga er enginn orkuskortur líklegasta niðurstaðan. Þegar líður á tímabilið eru svo vaxandi líkur á skorti sem birtist í fjölgun punkta sem lýsa jaðargildum eða útlögum. Árið 2028 verður svo talsverð breyting í sviðsmyndum án nýrrar framleiðslu þar sem verstu tilfellin hafa greinilegan skort þar sem grípa þyrfti til umfangsmikilla skammtana.

Á næstu myndum (Myndir 8-15) má sjá niðurstöður útreikninga á líkum á orkuskorti fyrir tímabilið 2025 – 2029.

Um tilbrigði

Til þess að lýsa hugtakinu tilbrigði er gott að ímynda sér kristalkúlu þar sem þú getur séð útgáfur af framtíðinni. Segjum að þú sjáir 200 mismunandi útgáfur af ferðalagi til Akureyrar. Í 20 útgáfum er úrhellisrigning alla leiðina og ferðin krefjandi auk þess að í einni af þessum 20 útgáfum sprakk dekk undir bílnum þínum. Í 180 tilbrigðum var svo rigning á köflum á leiðinni og ferðin gekk vel. Veðurspáin gaf þér vísbendingar um möguleikann á rigningunni en uppákoman með dekkið var algjörlega ófyrirséð. Lág staða lóna í byrjun tímabils gefur vísbendingu um mögulegan eða líklegan orkuskort. Fordæmalaus þurrkur í öllum miðlunum á tímabilinu er svo dekkið, ófyrirséð útkoma sem litlar líkur eru á en vissulega möguleg. Kristalkúlan er gölluð að því leyti að þú veist ekki hver þessara 200 tilbrigða muni rætast en þú ert upplýst/ur um möguleikana. Ef dekkið springur í 100 útgáfum myndirðu sennilegast skella nýju undir áður en lagt er af stað.

Um kassarit

Gögnin á Mynd 8 eru sett fram á kassariti (e. boxplot), sem gefur yfirlit yfir dreifingu gilda.

Kassinn sjálfur sýnir hvar flestar niðurstöður lenda, þ.e. líklega bilið. Ef kassinn er lítill er lítil óvissa þar sem flestar niðurstöður eru líka. Kassinn táknar fjórðungaspönn (e. interquartile range, IQR), sem nær frá neðra til efra fjórðungsmarks (25%-75%) og afmarkar þannig miðhluta gagnanna. Því lengri sem kassinn er, því meiri er dreifing gagnanna, sem þýðir að gildi innan fjórðungaspannarinnar eru breytilegri.

Miðgildislína (svört lína inni í kassanum) sýnir miðgildið, þ.e. líklegustu niðurstöðuna. Ef miðgildislínan er núll eru litlar líkur á orkuskorti. Miðgildislínan sýnir hvar þéttni gildanna er mest. Ef hún er staðsett neðarlega í kassanum, bendir það til þess að meirihluti gildanna sé á lægra bili.

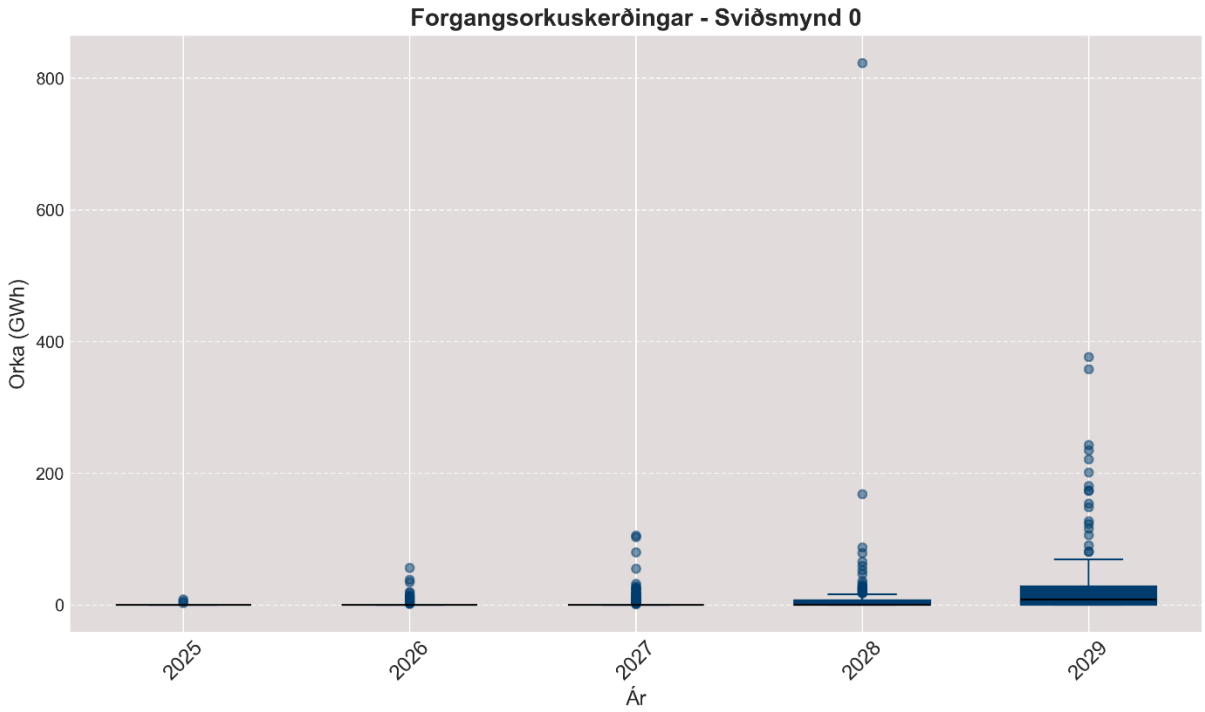
Lóðréttu T-laga línurnar, sem teygja sig upp og niður frá kassanum, kallast skegg (e. whiskers) og marka efri og neðri mörk fyrir eðlilega dreifingu gagnanna, eða 1,5 sinnum fjórðungaspönnina. Skeggin vísa til næstu eðlilegu útkomur. Ef skeggin eru stut er lítil áhætta á frávikum og öfugt ef þau eru löng. Þessi skilgreining er notuð til að sía út mögulega útlaga (e. outliers),

Útlagar (e. outliers) eru gildi sem skera sig verulega úr. Punktarnir fyrir utan skeggin tákna þessa útlaga og gefa til kynna sjaldgæf en möguleg frávik fyrir verstu tilfelli. Þeir sýna hvað getur gerst í alvarlegum tilfellum (t.d. þurru vatnsári)

Þannig veitir kassarit bæði heildarsýn á dreifingu skerðinga og innsýn í líklegustu útkomuna yfir árið.

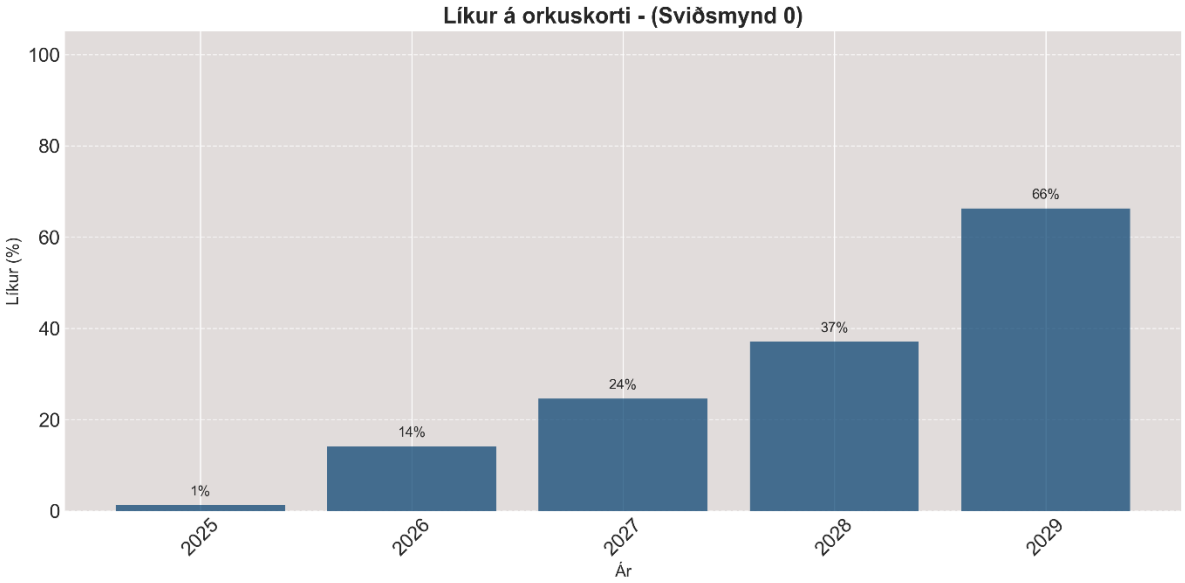
Mynd 8 sýnir heildarmagn á skömmtun á raforku á ársgrundvelli og líkindadreifingu þeirra miðað við framboð orku. Framsetningin er til samanburðar við framsetningu síðasta Kerfisjöfnuðar en er ekki í samræmi við nýjustu stefnumótun stjórnvalda um orkumælikvarða.

Mynd 8 sýnir að forgangsorkuskerðingar fara ört vaxandi þegar líður á tímabilið og geta í verstu tilfellum orðið nærri 400 GWh í lok tímabils þó greina megi eitt tilfelli árið á undan sem nær yfir 800 GWh. Reikna má með að um sé að ræða jaðartilfelli þar sem álagsaukning og framboð fara sérstaklega illa saman. Þó svo að verstu útkomurnar séu jaðartilfelli (útlagar) og augljóst ris á ferli þeirra yfir tímabilið, þá ber að taka hættuna á þeim alvarlega enda væru þeir afleiðing aðgerðaleysis í uppbyggingu á orkuvinnslu- og flutningsinnviðum. Algengt er að uppsafnaður orkuskortur tímabilsins sé á bilinu 5 – 50 GWh og nær í ákveðnum tilfellum allt upp í 200 GWh sem má lesa út úr Mynd 37 í viðauka I.



Mynd 8 : Forgangsorkuskerðingar eftir tilbrigðum – Sviðsmynd 0

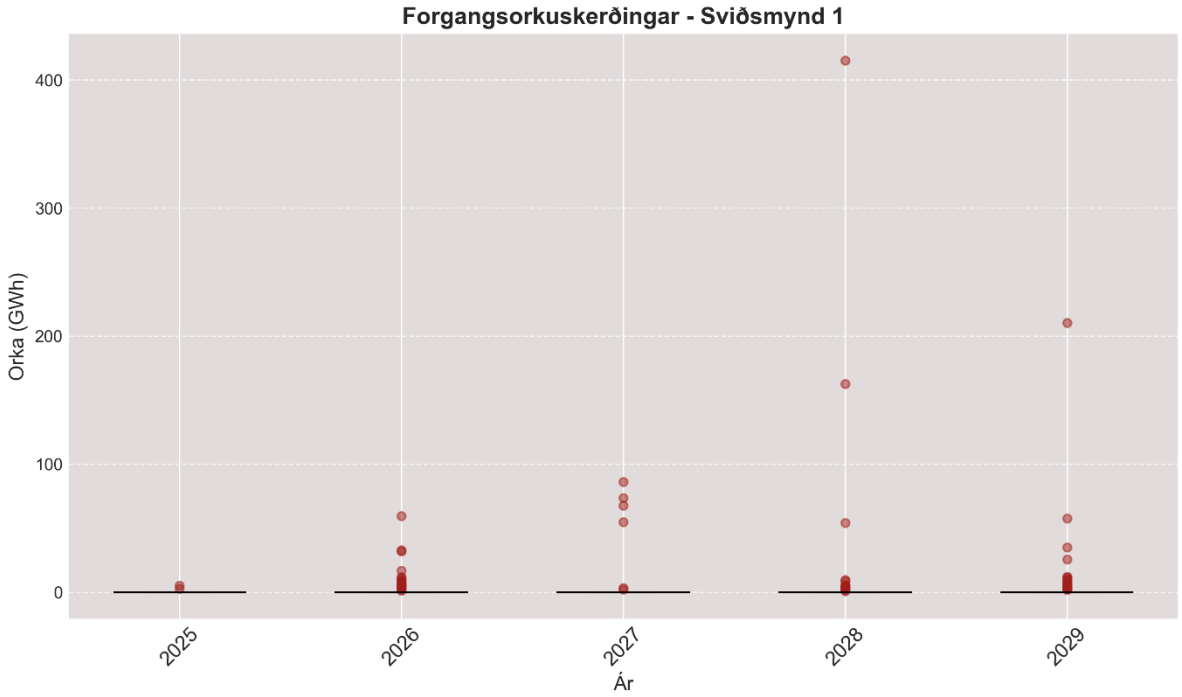
Mynd 9 sýnir gögnin sem sýnd eru á Mynd 8 á formi líkna á forgangsorkuskorti sem er orkumælikvarðinn í jöfnu 1.



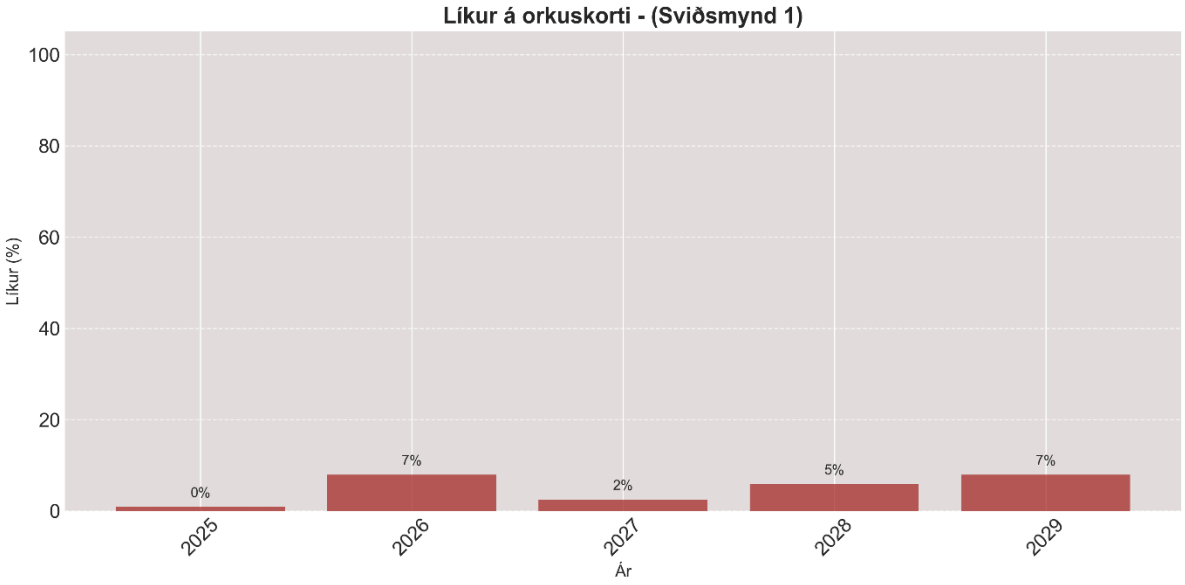
Mynd 9: Hlutfall tilbrigða með forgangsorkuskort – sviðsmynd 0

Sjá má að líkur á orkuskorti fara ört hækkandi yfir tímabilið eins og við er að búast ef engar framkvæmdir í orkuinnviðum verða að veruleika út árið 2029. Stjórnvöld eiga eftir að ákveða mörk fyrir þennan mælikvarða en ljóst er út frá mynd 9 að líkur á orkuskorti aukast talsvert strax á næsta ári. Mikilvægt er að mjög lítið svigrúm má vera gefið fyrir orkuskort, skerðingar á forgangsorku, þar sem þær eiga sér ekki stað fyrr en eftir að gengið hefur verið á öll viðskiptalega samningsbundin úrræði.

Fyrir sviðsmynd 1 er útlitið mun skárra eins og sjá má á myndum 10 og 11. Nánari gögn fyrir niðurstöður mynda 10 – 15 má einnig finna í viðauka I.

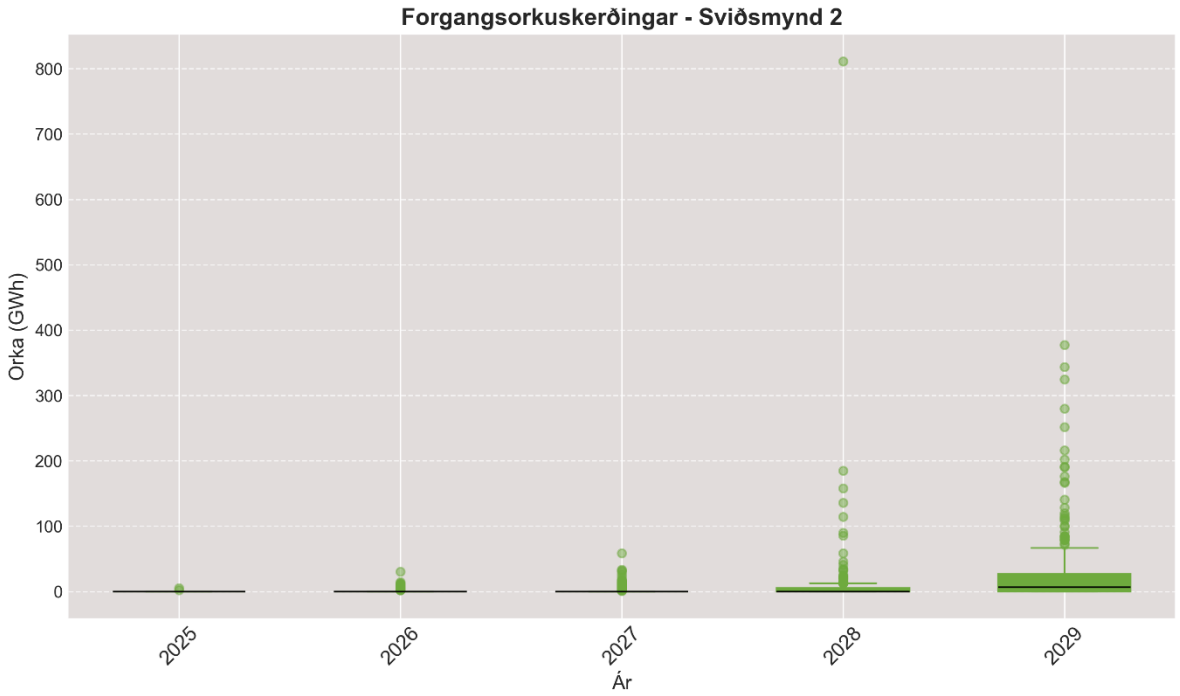


Mynd 10 : Forgangsorkuskerðingar eftir tilbrigðum – sviðsmynd 1

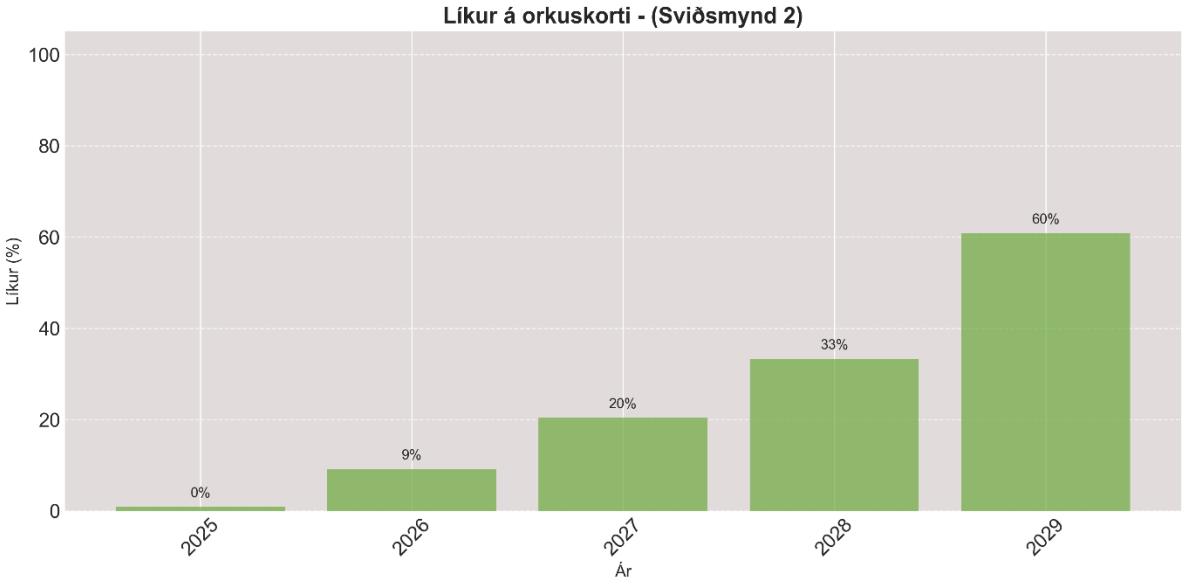


Mynd 11: Hlutfall tilbrigða með forgangsorkuskort – sviðsmynd 1

Á myndum 12 og 13 gefur að líta ástandið án nýrrar vinnslu inn á kerfið en með áætluðum styrkingum flutningskerfisins á tímabilinu. Stöplarnir á Mynd 12 hafa svipað yfirbragð og á Mynd 8 en betur sést á Mynd 13 að fleiri möguleikar eru fyrir forgangsorkuskerðingum fyrri hluta tímabilsins en ívið færri þegar á líður. Þetta rennir stoðum undir að staða orkuvinnslu í kerfinu batnar lítillega við þær bættu tengingar sem eru á áætlun þar sem hafa ber í huga að tenging milli norðurlands og suðurlands er ekki lokið á tímabilinu 2025 - 2029 en fullyrða má að staðan væri talsvert betri ef sterkrar tengingar á milli landshluta nyti við. Jafnframt hafa greiningar til lengri tíma sýnt þetta.

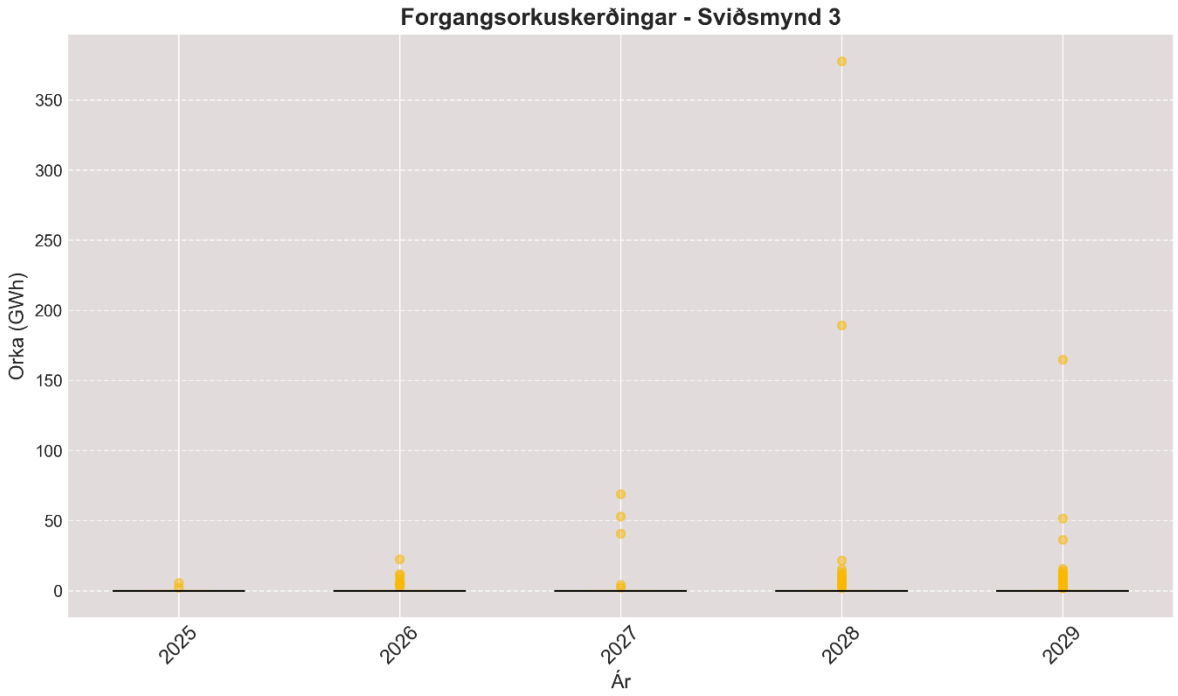


Mynd 12: Forgangsorkuskerðingar eftir tilbrigðum – sviðsmynd 2

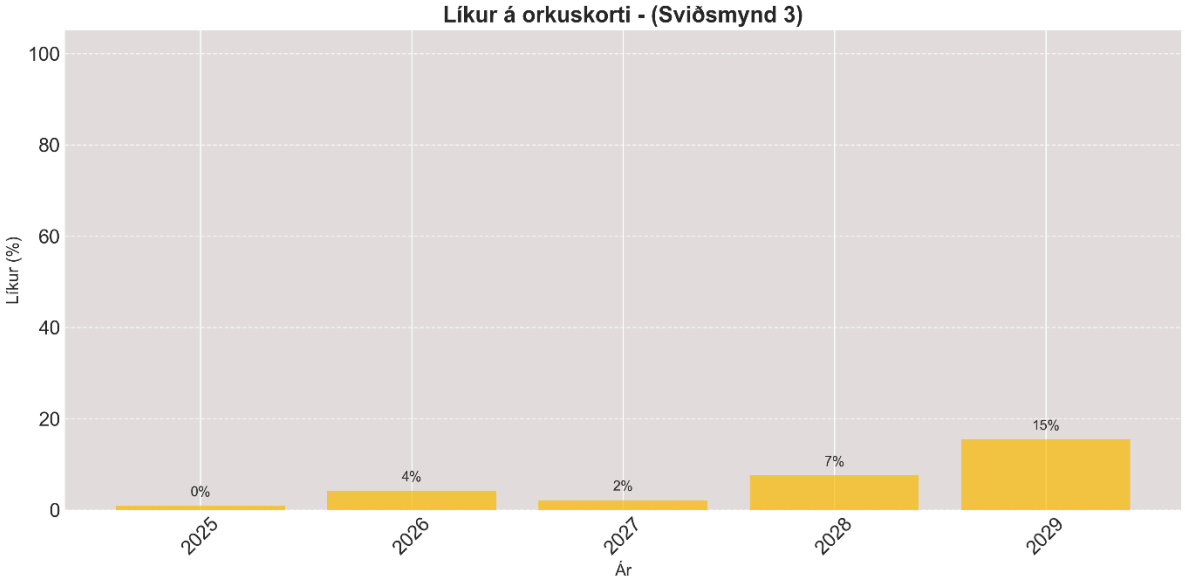


Mynd 13: Hlutfall tilbrigða með forgangsorkuskort – sviðsmynd 2

Myndir 14 og 15 sýna loks að meiri vinnsla á tímabilinu ein og sér myndi minnka líkur á forgangsorkuskerðingum framan af tímabilinu en í lok þess má sjá áhrifin af styrkingum flutningskerfisins samanborið við Mynd 11. Munurinn þarna á milli kæmi mjög líklega til með að aukast áfram.



Mynd 14: Forgangsorkuskerðingar eftir tilbrigðum – sviðsmynd 3



Mynd 15: Hlutfall tilbrigða með forgangsorkuskort – sviðsmynd 3

Í ofangreindu hefur verið sýnt að orkujöfnuður raforkukerfisins er viðkvæmur og hætta á skerðingum eykst verulega frá árinu 2026, sérstaklega í slæmum vatnsárum. Án nýrrar uppbyggingar í vinnslu og flutningi raforku verður ekki hægt að mæta aukinni eftirspurn, sem mun leiða til aukinna líkinda á skorti á forgangsorku og mikilla takmarkana á afhendingu skerðanlegrar orku. Hafa skal hugfast að flutningskerfið er í dag, með sérstökum ráðstöfunum, keyrt yfir stöðugleikamörkum á háálagstímum og reiknað er með í ofangreindum niðurstöðum að svo verði gert áfram. Svo gæti farið að Landsnet meti stöðuna svo að áhættan sé meiri en ávinningur af slíkri yfirkeyrslu enda hefur það sýnt sig að afleiðingar rekstrartruflana fara versnandi auk þess sem þær eru að verða tíðari.

Ef ekkert verður að gert sýna niðurstöður að jafnvægi milli framboðs og eftirspurnar raskast í auknum mæli, og á síðari hluta tímabilsins verða skammtanir nær óumflýjanlegar. Styrking flutningskerfisins getur bætt afhendingu rafmagns milli svæða, en dugar ekki ein og sér til að tryggja nægt framboð. Til að ná raunverulegum árangri til lengri tíma þarf bæði að styrkja flutningskerfið og bæta vinnslugetu.

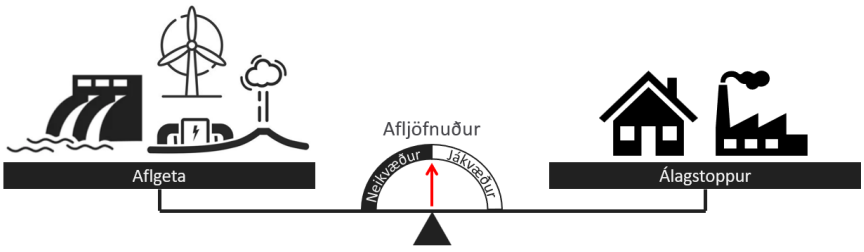
Samanburður mismunandi sviðsmynda sýnir að besta leiðin er sambland af nýjum virkjunum og styrkingu flutningskerfisins. Ef þessar aðgerðir haldast í hendur, minnka líkur á skerðingum verulega og kerfið verður stöðugra, jafnvel við erfiðar rekstraraðstæður.

Til þess hægt sé að nýta hagkvæma orkukosti á skilvirkan hátt verður að styrkja flutningskerfið. Ef það verður ekki gert verða truflanir í flutningskerfinu sífellt alvarlegri og líklegri til að valda tjóni hjá notendum og á einingum flutningskerfisins sjálfs með sífellt hækkandi kostnaði fyrir alla notendur kerfisins. Þá er ónefndur kostnaðurinn sem felst í glötuðum tækifærum.

4 AFLJÖFNUÐUR

Afljöfnuður er mælikvarði á getu raforkukerfisins til að anna álagstoppum, líkt og orkujöfnuður metur hvort orkuvinnsla dugi til að mæta heildareftirspurn. Þegar aflgeta kerfisins er næg til að mæta hæstu álagstoppum er afljöfnuður jákvæður, en ef aflgetan er ófullnægjandi er hann neikvæður. Eins og með orkujöfnuð geta flutningstakmarkanir haft áhrif á afljöfnuð, þar sem þær geta takmarkað afhendingargetu til einstakra tengipunkta eða landsvæða.

Mynd 16 sýnir einfalda skýringarmynd af tengslum aflgetu, álagstoppa og afljöfnuðar.



Mynd 16 : Einföld skýringarmynd afljöfnuðar

Til að leggja mat á afljöfnuð raforkukerfisins er stuðst við áreiðanleikastuðla eins og LOLE (e. *Loss of Load Expectation*) og EENS (e. *Expected Energy Not Supplied*), sem gefa vísbendingu um hversu oft kerfið gæti lent í skorti á afhentu afli. LOLE segir til um fjölda klukkustunda á ári þar sem kerfið getur ekki fullnægt eftirspurn, en tekur ekki tillit til umfangs skerðinga innan hverrar klukkustundar. Þannig telur jafnvel lítilsháttar vöntun á afli sem ein klukkustund aflskorts í LOLE útreikningum.

4.1 Aðferð við útreikninga afljöfnuðar

Útreikningar á afljöfnuði byggja á sömu viðmiðum og notuð eru í evrópskum áreiðanleikastaðli ACER (European Resource Adequacy Assessment, ERAA). Notast er við hliðstætt áreiðanleikalíkan sem er tengt orkuflæðislíkani kerfisins. Þetta líkan reiknar afljöfnuð út frá aflgetu og álagi, en tekur einnig mið af flutningstakmörkunum.

Hermun fer fram klukkustund fyrir klukkustund yfir fjölda mögulegra tilvika með svokallaðri Monte Carlo-aðferð. Fyrir hvert tilvik er tekið tillit til þátta sem hafa áhrif á afljöfnuð, svo sem vinnslugetu, álagsspá, áreiðanleika vinnslueininga, flutningstakmarkanir og skerðingarheimildir. Líkanið heldur utan um stærð orkuskerðinga (e. Energy Not Supplied, ENS) í tilvikum þar sem vinnsla getur ekki annað álagi.

Meðaltal allra skerðinga fyrir hverja klukkustund gefur áætlaða skerðingu fyrir viðkomandi tímabil, en summa allra skerðinga innan árs gefur reiknaðan orkuskort, eða EENS. Þess ber að geta að í þessum útreikningum er ekki tekið tillit til truflana í flutningskerfinu, heldur er gengið út frá að allar flutningseiningar séu tiltækar nema þær sem flutningstakmarkanir hafa þegar áhrif á.

Samhengi líkna á aflskorti (LOLE) og kostnaðar Við fyrirvaralausa truflun (VoLL) við viðmiðunarmörk aflvísis er sett fram í aðferðafræði ACER með neðangreindri jöfnu:

$$LOLE_{RT} = \frac{CONE_{RT,fixed}}{VOLL - CONE_{RT,var}}$$

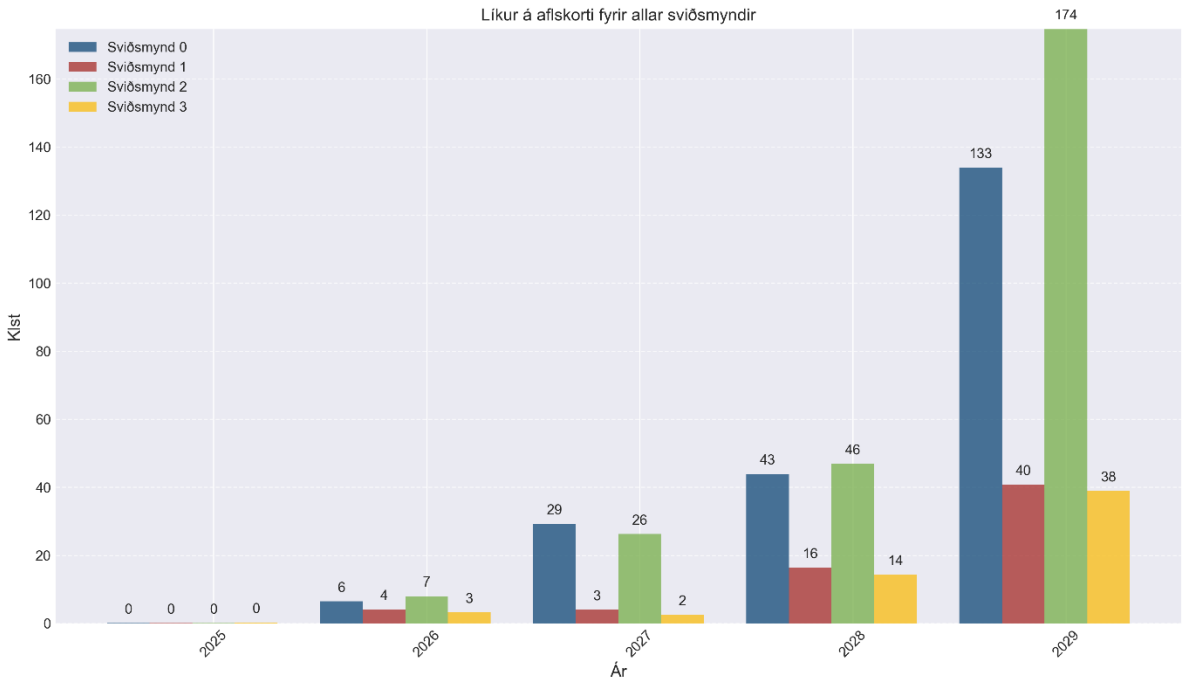
Jafnan gefur til kynna hversu margar klukkustundir á ári má búast við aflskorti, miðað við að hámarka samfélagslegan ábata með lágmörkun á kostnaði og skerðingum. Eins og fram kom í kafla 1.3 þá stendur RT fyrir viðmiðunarorkutækni (reference technology). CONE (Cost of New Entry) er áætlaður kostnaður við að bæta við nýrri raforkugetu og skiptist í fasta og breytilega hluta. Fasti hlutinn $CONE_{fixed}$ tekur mið af upphafsfjárfestingu í nýjum orkuverum eða eftirspurnarstýringum, á meðan breytilegi hlutinn $CONE_{var}$ tekur mið af rekstrarkostnaði, þ.m.t. mögulegum eldsneytiskostnaði á hverja megavattstund ef við á.

Í ERAA er þessi nálgun notuð til að ákvarða öryggisviðmið einstakra ríkja og áhersla gjarnan lögð á eftirspurnarstýringar (e. demand side response) og notkun sveigjanlegra orkugjafa til að tryggja afhendingaröryggi. Einnig er þessi nálgun notuð til að ákvarða það uppsetta afl sem stjórnvöld eiga að geta boðið út ef farið er út fyrir skilgreind mörk. Slík ráðstöfun er kölluð aflgetuúrræði (e. capacity mechanism) stjórnvalda.

Úrræði sem þau sem nefnd hafa verið hér að ofan hafa ekki verið útfærð í íslenska reglugerð og tíminn verður að leiða í ljós hvernig þessu verður háttað enda fellur evrópska aðferðafræðin ekki að öllu leyti vel að íslenskum aðstæðum sökum einangrunar kerfisins og umfangs vatnsafls í kerfinu. Vatnsafl fellur illa að viðmiðum ERAA enda eru slíkar virkjanakostir mjög staðsetningarháðir og lítið skalanlegir.

4.2 Staða og horfur afljöfnuðar

Á Mynd 17 má sjá niðurstöður útreikninga fyrir líkur á aflskorti, aflmælikvarða raforkukerfisins.

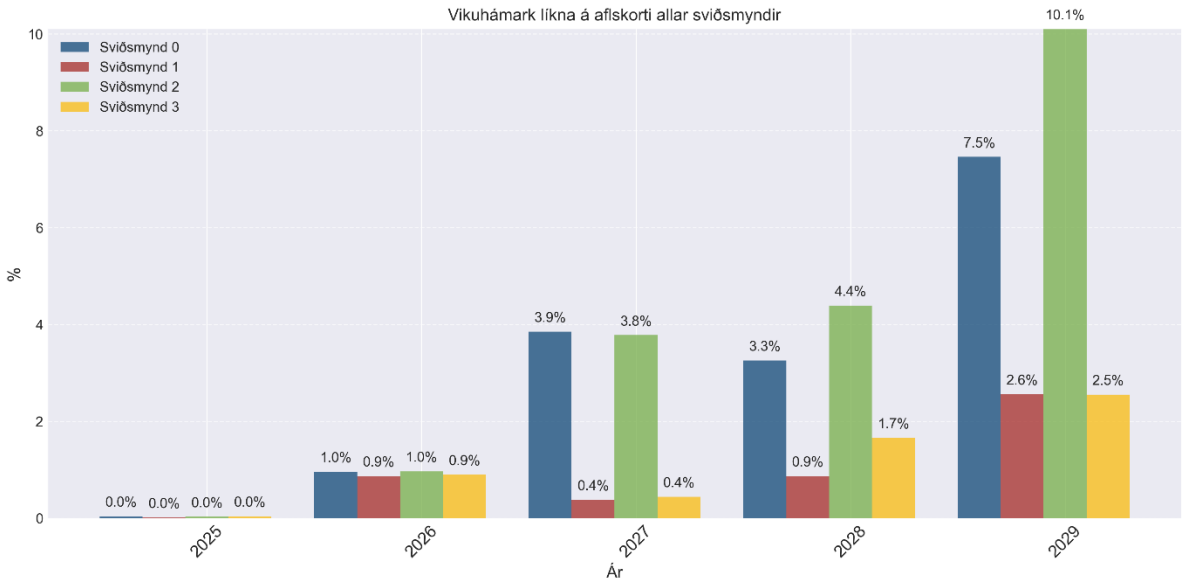


Mynd 17 : Niðurstöður fyrir líkur á aflskorti – allar sviðsmyndir

Það sem sérstaklega vekur athygli á Mynd 17 er samanburðurinn á niðurstöðum sviðsmynda 0 og 2. Það stingur í augu að líkur á aflskorti skv. útreikningum hækka meira ef styrkingar flutningskerfisins koma eingöngu til heldur en ef ekkert er gert. Mikilvægt er að hafa í huga að samtenging landshluta næst ekki á tímabilinu skv. forsendum útreikninga. Aukning notkunar á tímabilinu skv. raforkuspánni er þannig að aflskortur verður vaxandi vandamál án aukinnar vinnslu og batnandi tengingar flutningskerfisins afhjúpa þessa rísandi ógn við áreiðanleika og orkuöryggi. Þennan mun má einnig rekja til þess hvernig líkanið meðhöndlar skerðingar sem er gert eftir einfaldri lógík sem eiga að líkja eftir raunveruleikanum en kerfisstjórnun er flóknari í rauntíma. Í einhverjum tilvikum má færa rök fyrir því að hægt væri að afstýra skerðingum með sérfræðing í stýringu flutningskerfsins við stjórnborðið. Einnig er mikilvægt í þessu samhengi að ekki er horft til truflana á einingum flutningskerfisins við útreikninga á aflskorti en áhrif þeirra má nánar lesa um í kafla 12.7 í langtímaáætlun kerfisáætlunar 2025-2034[5] (mynd 12-5). Samanburður sviðsmynda 1 og 3 þar sem áætluð ný vinnsla kemur inn á tímabilinu eru afar líkar allt tímabilið.

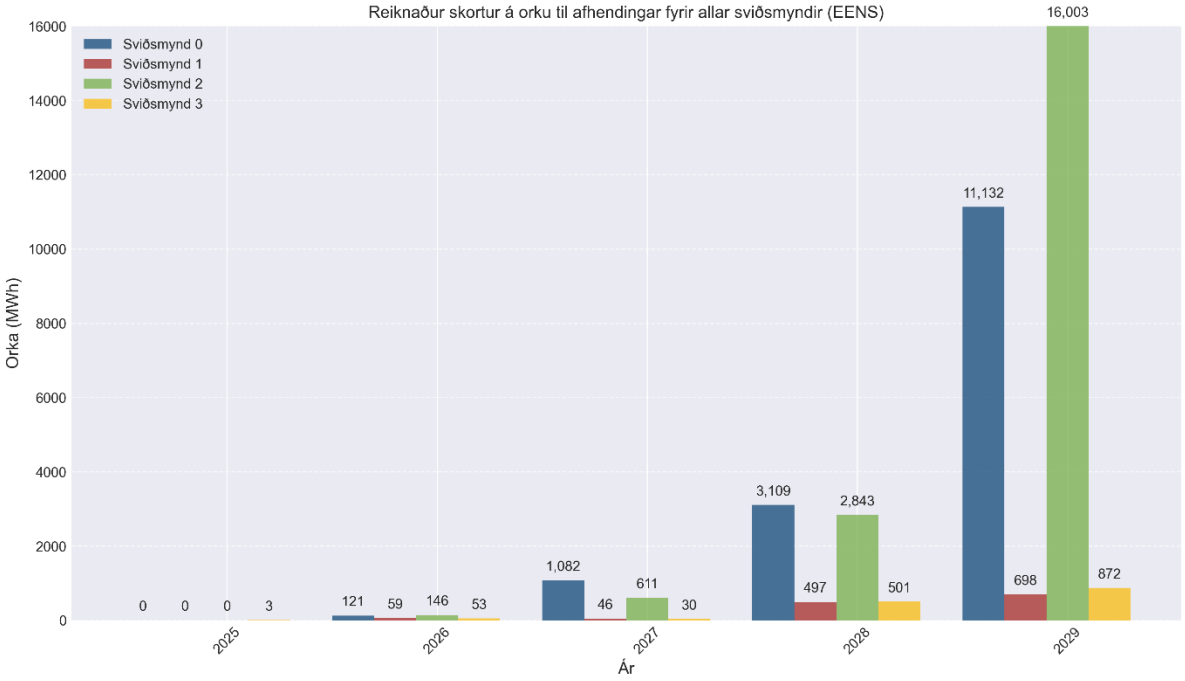
Á Mynd 18 má loks sjá vikulegar hámarkslíkur á aflskorti í % (LOLP, loss of load probability), þ.e. hæsta vikugildi fyrir líkur á aflskorti fyrir hvert ár á tímabilinu.

[5] Landsnet-25011. Drög að kerfisáætlun 2025-2034 – Langtímaáætlun. www.landsnet.is



Mynd 18: Vikuhámark fyrir líkur á aflskorti

Mynd 19 er einnig gagnleg til að sjá orkuna á bakvið aflskortinn. Skert orka til afhendingar (EENS) er sú orka sem skerða þarf vegna þess að aflgeta í kerfinu ræður ekki við toppa í aflnotkun. Sjá má að orkan er lægri í sviðsmynd 2 en sviðsmynd 0 allt fram til ársins 2029.. Skert orka vegna aflskorts rýkur upp og aflskortur verður orðinn alvarlegt vandamál ef ekkert er að gert. Sjá má einnig að skert orka vegna aflskorts í sviðsmynd 1 er lægri en fyrir sviðsmynd 3 og þar munar um flutningskerfið því eins og sjá mátti á Mynd 17 var því öfugt farið fyrir sviðsmyndir 1 og 3.



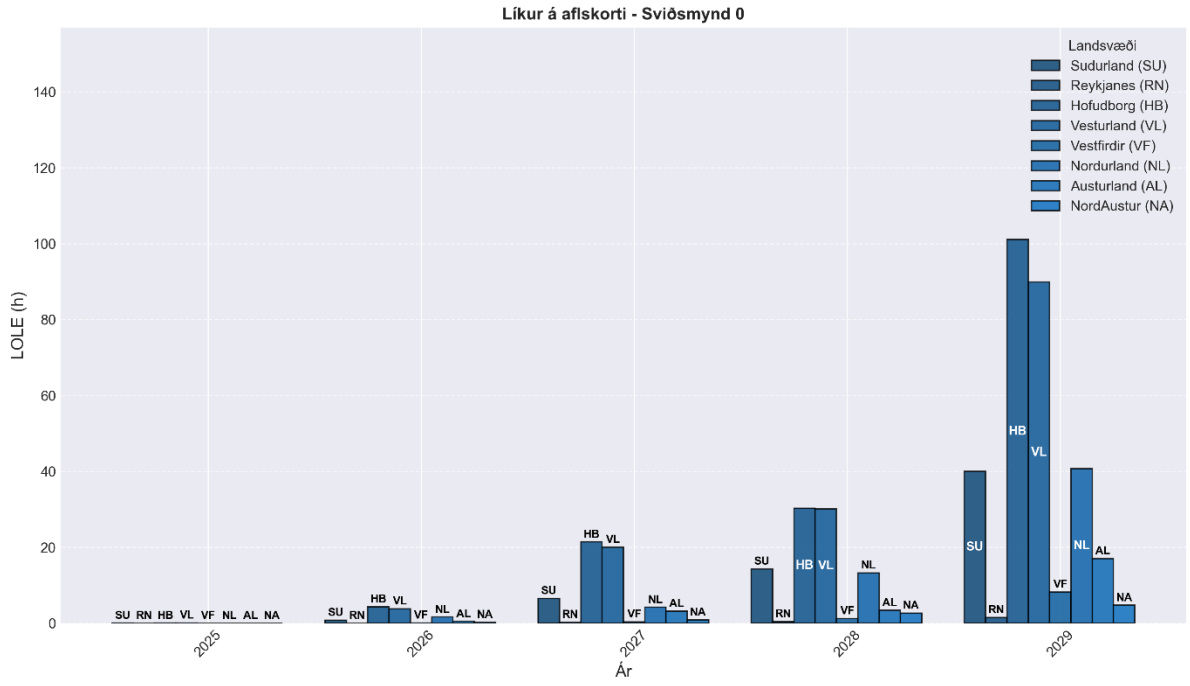
Mynd 19 : EENS – allar sviðsmyndir

Skipulagðir viðskiptavettvangar með raforku munu bæta orkunýtni og seinka þannig þessari þróun en án nýrra virkjana og bættra tenginga meginflutningskerfisins verða líkur á aflskorti sívaxandi vandamál.

4.3 Líkur á aflskorti eftir landshlutum

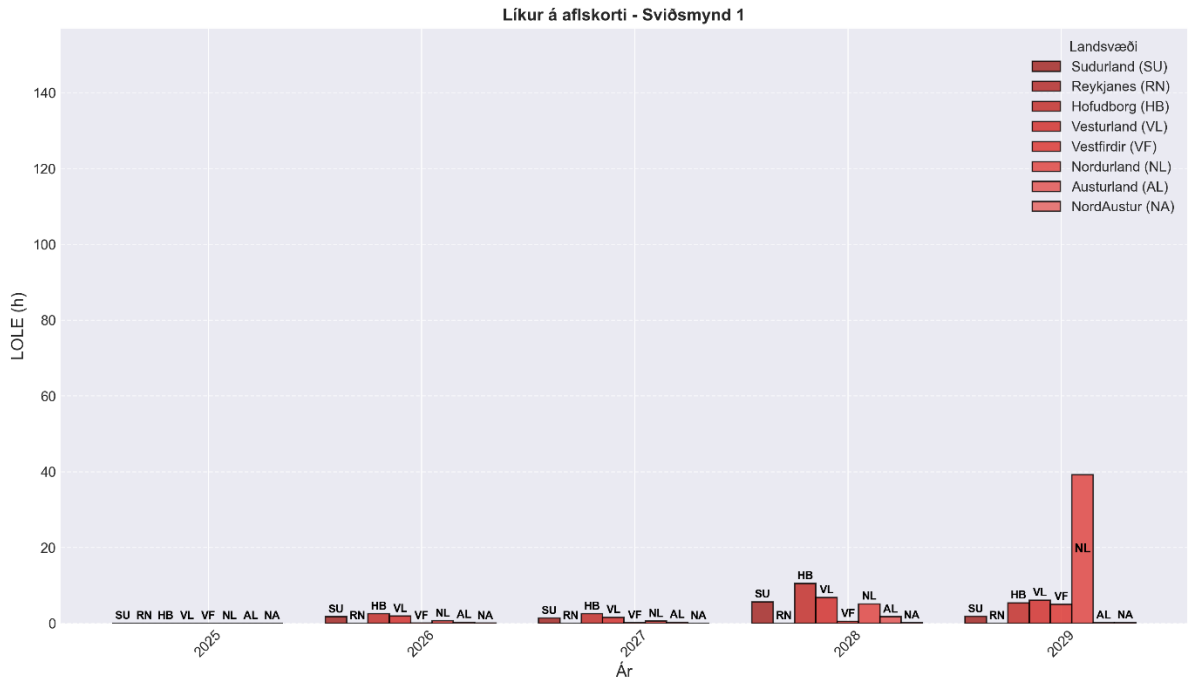
Líkanið reiknar einnig líkur á aflskorti fyrir hvern landshluta sem gefur innsýn í hvaða landshlutar verða verst fyrir barðinu á vaxandi líkum. Hafa þarf í huga að raunveruleg öryggismörk skv. evrópskri aðferðafræði gætu verið ólík þar sem kostnaður vegna skorts gæti verið ólíkur eftir landshlutum vegna mismunandi skiptingar á eðli notkunar. Þetta þýðir að þó að reiknað gildi LOLE fyrir ákveðið landsvæði sýni lágt gildi, gætu umfang notkunar (lágt álag á landsvæði) og forgangur þess (100% almenn notkun) gefið tilefni til að ætla að lágt gildi sé samt sem áður óásættanlegt fyrir það svæði.

Á Mynd 20 má sjá hvernig líkur á aflskorti skiptast niður á landshluta ef ekkert er gert á tímabilinu. Sjá má að tvö svæði valda mestum áhyggjum;Höfuðborgarsvæðið og Vesturland. Þetta rennir stoðum undir það að nauðsynlega þarf að auka uppsett afl á suðvesturhorninu (sunnan við snið IIIb) og/eða bæta tengingar milli landsvæða til þess að þetta verði ekki raunin. Öll aukning á aflgetu í kerfinu er af hinu góða en eins og staðan er núna þá geta virkjanir á Norðausturlandi ekki hjálpað til í tilvikum aflskorts sunnan heiða. Í þessu sambandi má líka minna á að Hvammsvirkjun nær ekki inn á tímabil áætlunarinnar vegna seinkunar.



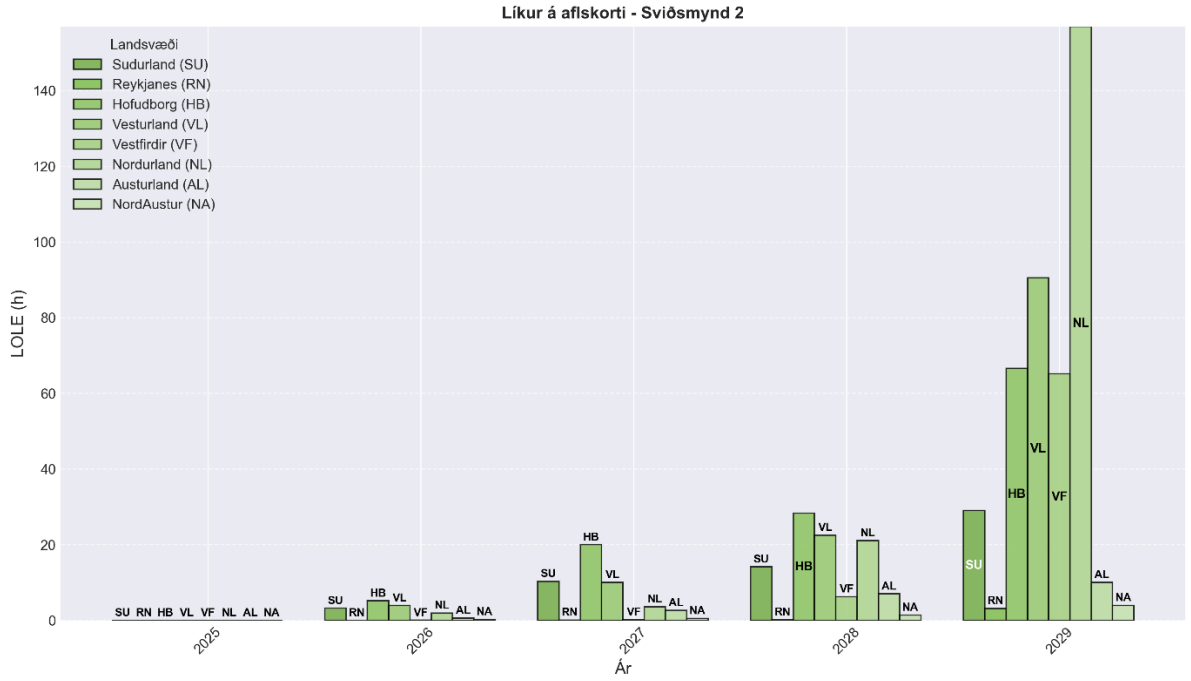
Mynd 20 : Líkur á aflskorti eftir landshlutum – sviðsmynd 0

Á Mynd 21 má sjá að ástandinu er að mestu leyti haldið í skefjum í sviðsmynd 1 þí líkur á aflskorti á Norðurlandi árið 2029. Þetta er vegna þess að sökum þess að ekki næst að ljúka tengingu milli landshluta (spennusetning Holtavörðuheiðarlínu 3) verða auknar líkur á aflskorti á fyrsta afhendingarstað stórnotkunar vestan sniðs IIIb, þ.e. á Hnjúkum. Með tilkomu samtengingar er þetta vandamál leyst.



Mynd 21 : Líkur á aflskorti eftir landshlutum – sviðsmynd 1

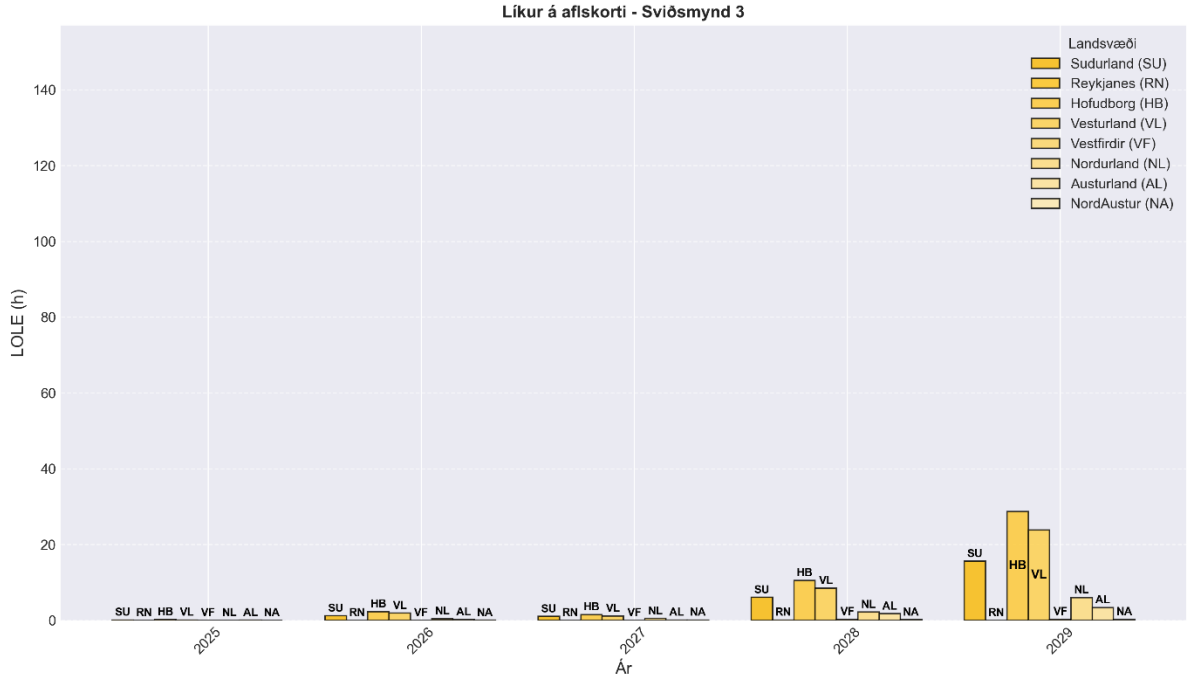
Mynd 22 sýnir samsetningu líkna á aflskorti fyrir sviðsmynd 2. Þarna má sjá að ástæða þess að niðurstöður fyrir sviðsmynd 2 eru verri en fyrir sviðsmynd 0 er stórauknar líkur aflskorti á Norðurlandi og Vestfjörðum. Þessi landsvæði verða verst fyrir barðinu á aflskortsvandamálinu ef ekki næst að klára að tengja saman landshlutana. Ein leið til að koma í veg fyrir þetta vandamál, ef byggingar nýrra aflstöðva dregst á langinn, er að setja Holtavörðuheiðarlínu 3 framar en Holtavörðuheiðarlínu 1 í röð nýframkvæmda.



Mynd 22 : Líkur á aflskorti eftir landshlutum – sviðsmynd 2

Á Mynd 23 má sjá að ástandið virðist vera betra ef eingöngu er virkjað í stað þess að bæta eingöngu flutningskerfið. Ekki er þó hægt að bæta eingöngu við nýjum virkjunum án þess að styrkja flutningskerfið

því þá vaxa önnur vandamál, eins og stöðugleikavandamál, sem orku- og áreiðanleikalíkanið sem hér er notað sér ekki. Niðurstöðurnar fyrir sviðsmynd 3 sýna þó enn og aftur að grípa þarf til aðgerða fyrir árið 2029 ef forsendur Raforkuspár Landsnets raungerast.



Mynd 23: Líkur á aflskorti eftir landshlutum – sviðsmynd 3

Orkulíkanið sem hér er notað er þó takmarkað þegar kemur að þeim þáttum sem hindra það hægt sé eingöngu að bæta við virkjunum til þess að leysa vandann. Þættir eins og spennufall yfir flutningslínur (sérstaklega við mikla lestun), stöðugleikavandamál vegna veikra tenginga og truflanarekstur við bilun einnar einingar (N-1) vega mjög þungt þegar inn- og útmötunargeta frá flutningskerfinu er metin. Orkulíkanið er þungt bestunarlíkan sem krefst mikillar reiknigetu og notar því einfaldaða útgáfu af flutningskerfinu sem gerir ráð fyrir að flutningskerfið sé línulegt kerfi. Það er mikil einföldun því í raun er það ólínuleiki þriggja fasa riðstraumskerfa sem veldur stærstu áskorunum sem Landsnet glímir við í rekstri flutningskerfisins um þessar mundir, kerfis sem einfaldlega er orðið nokkrum númerum of lítið fyrir verkefni næstu ára og áratuga.

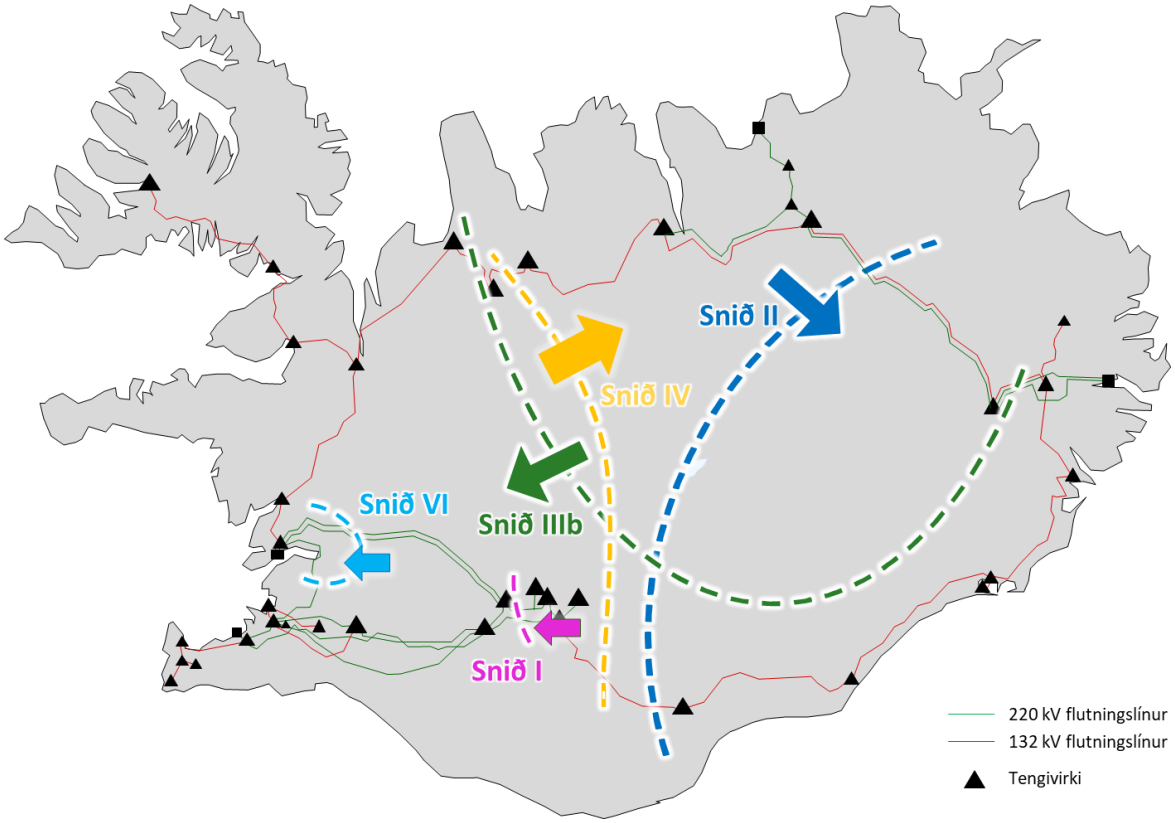
Niðurstöður fyrir líkur á aflskorti (LOLE) og skerta orku til afhendingar (EENS) undirstrika skýrt að styrking flutningskerfisins og uppbygging nýrra orkuvinnsluinnviða eru nátengd og þurfa að þróast í takt. Flutningskerfið á Suðvesturlandi stefnir hratt í átt að þolmörkum, sem kallar á viðeigandi aðgerðir. Hins vegar er ljóst að ef styrking samtengingar milli landshluta næst ekki innan þess fimm ára tímabils sem hér er til skoðunar munu þessar niðurstöður raungerast. Gera ráð fyrir að sterkari tenging milli landshluta gæti stuðlað að betri nýtingu vélaafls á Norður- og Austurlandi og þannig dregið úr aflskorti á Suðvesturhorninu.

5 RAFORKUKERFIÐ - ORKUFLÆÐI

5.1 Flutningur um snið

Í langtímaáætlun kerfisáætlunar er jafnan útskýrt hugtakið flutningssnið eða snið. Um er að ræða flæði um tvær eða fleiri flutningsleiðir sem samanlagt eru háðar flutningstakmörkunum eða öryggismörkum og eru gjarnan tengingar milli svæða. Í kerfisáætlun[6] segir jafnframt:

[6] Nánari umfjöllun um sniðin má lesa í Langtímaáætlun um þróun flutningskerfis raforku



Mynd 24 : Helstu snið í flutningskerfinu

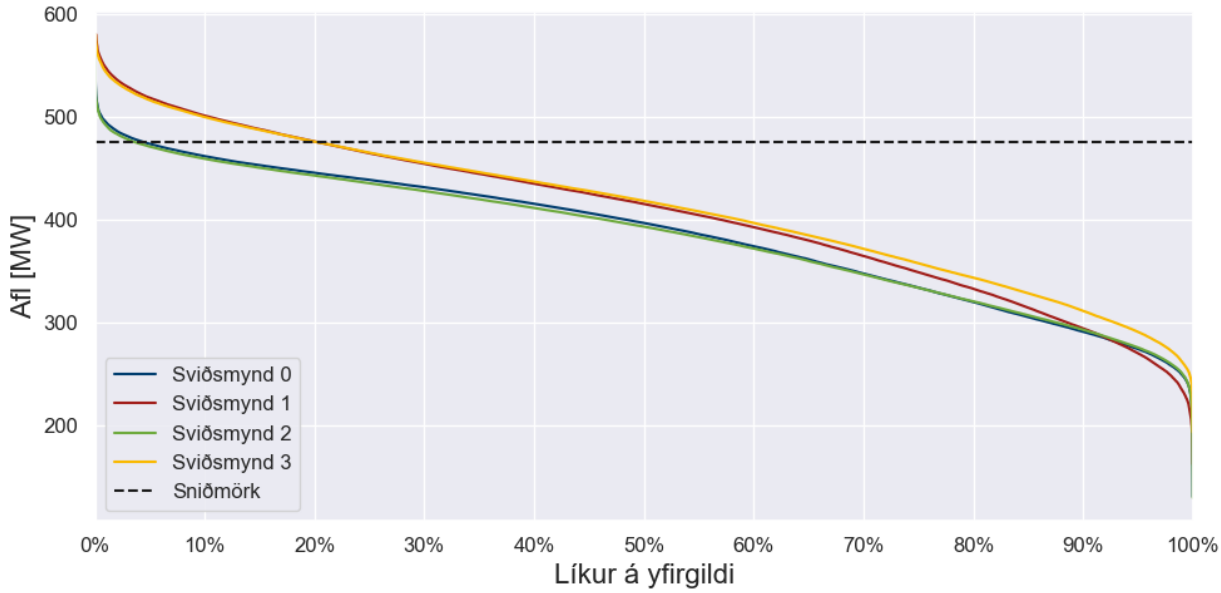
„Megintilgangur með skilgreiningu sniðanna er að fylgjast með því að aflflutningur um sniðið verði ekki það mikill að einföld truflun valdi óstöðugleika í kerfinu, eða kerfishruni. Flutningur innan þessara svokölluðu marka sniða tryggir að kerfisreksturinn haldist stöðugur við einfalda truflun og ekki þurfi að skerða raforku til notenda. Flutningstakmarkanir í gegnum snið miðast oftast við flutningsgetu þeirrar línu sem minnsta flutningsgetu hefur af þeim línum sem sniðið sker.“

Sniðmörk miðast við að stöðugleika sé viðhaldið þrátt fyrir einfalda truflun

Myndir 25–29 sýna aflflæði um flutningssnið kerfisins í formi langæislína (e. *duration curves*). Langæislína sýnir hvernig flæði dreifist yfir ákveðið tímabil með því að raða gögnum eftir stærð til samanburðar við hámarks- eða lágmarksgildi. Þannig má greina hversu stórt hlutfall tímans (hér 5 ár) aflflæði er yfir eða undir ákveðnum mörkum. Nánari útskýringar á túlkun langæislína má finna í viðauka III.

Snið I

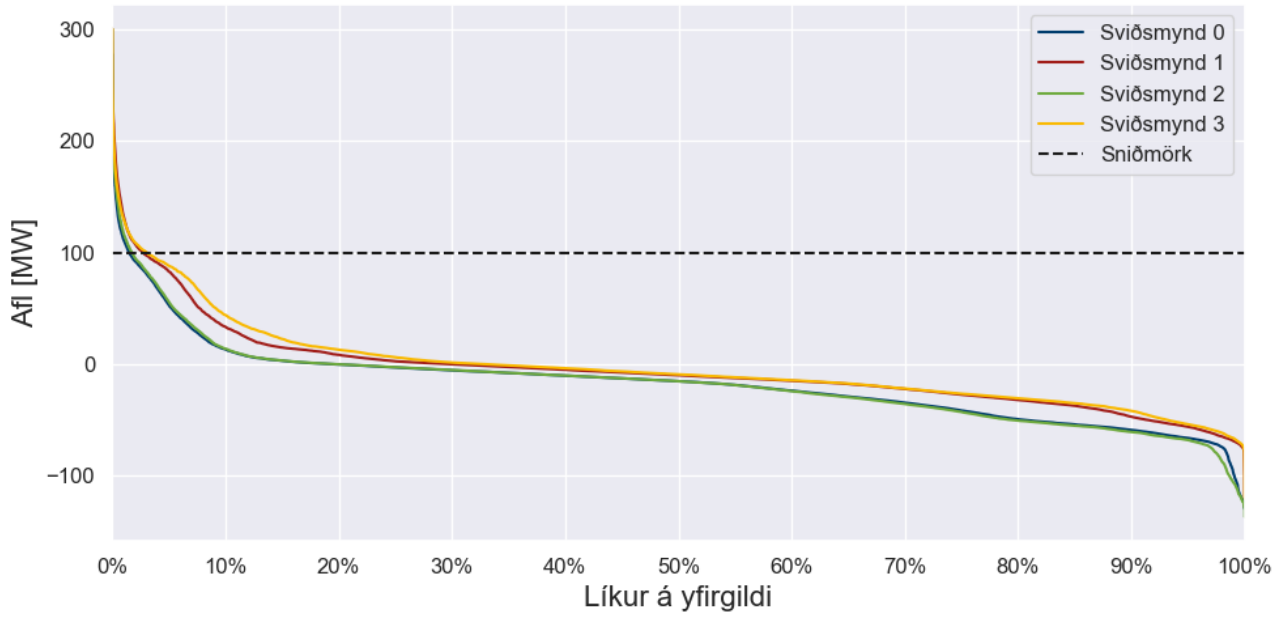
Mynd 25 sýnir flutning um snið I, sem afmarkast af Hrauneyjafosslínu 1 (HR1) og Sigöldulínu 3 (SI3). Mörk sniðsins eru 475 MW og ráðast af því að ef SI3 leysir út (*N-1 tilfelli*), getur HR1 orðið yfirlestuð. Sniðið virðist ekki skapa veruleg vandamál næstu 5 árin, þó að líkurnar á yfirkeyrslu séu meiri í sviðsmyndum 1 og 3 þar sem meira framboð er á raforku. Með aukinni raforkuvinnslu á efri hluta Þjórsár- og Tungnaársvæðis gæti þetta snið hins vegar orðið takmarkandi, og því þarf Landsnet að huga að mögulegum úrbótum á komandi árum.



Mynd 25 : Langæislínur flæðis yfir snið I fyrir allar sviðsmyndir

Snið II

Snið II, sem sýnt er á Mynd 26, hefur verið lítið lestað undanfarin ár. Það markast af Sigöldulínu 4 (SI4) og Kröflulínu 2 (KR2) og hefur flutningsmörk við 100 MW, en í útreikningum var það sett á 150 MW til að meta líkurnar á yfirkeyrslu. Snið II er í raun undanfari sniðs IV, sem verður greint síðar.



Mynd 26 : Langæislínur flæðis yfir snið II fyrir allar sviðsmyndir

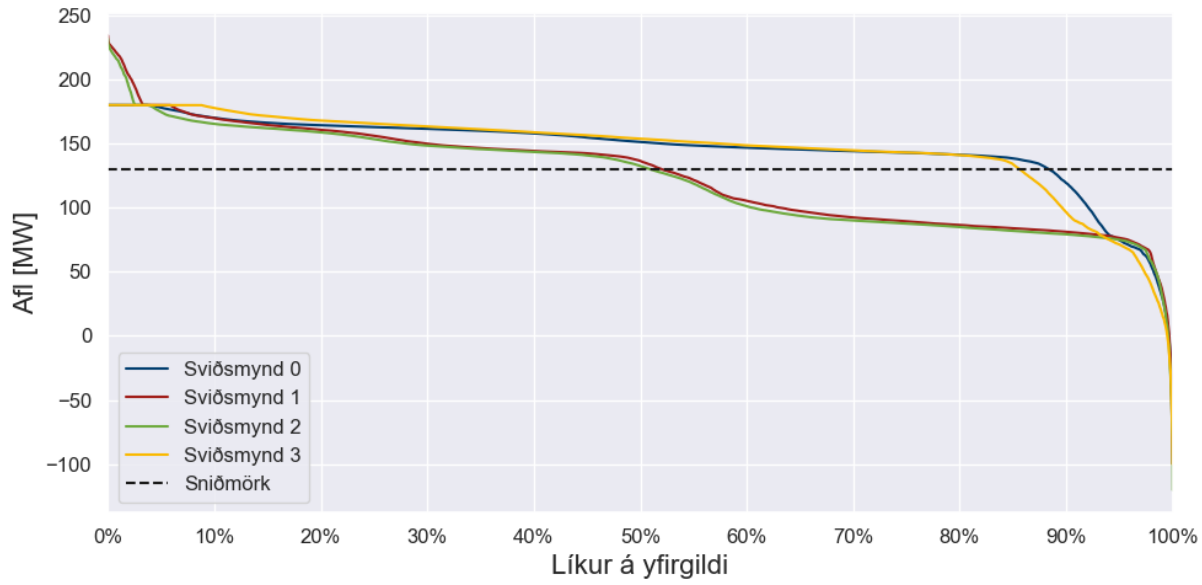
Snið IIIb

Snið IIIb, sýnt á Mynd 27, er sennilega ein mikilvægasta flutningstakmörkun meginflutningskerfisins. Það markast af **Blöndulínu 1 (BL1)** til vesturs og **Fljótsdalslínu 2 (FL2)** til austurs og er yfirkeyrt um allt að 80% tímabilsins í sviðsmynd 0 og 3 þar sem styrkingar á flutningskerfinu koma ekki við sögu. Stöðugleikamörk sniðsins eru 130 MW er með sérstökum stýringum hefur verið unnt að yfirkeyra sniðið

að undanförnu. Yfirkeyrsla sniðsins eru einnig háð ströngum skilyrðum sem vinnsluaðilar norðan sniðsins verða að uppfylla.

Flutningurinn yfir sniðið virðist þó ekki fara verulega yfir 200 MW. Ef raforkuvinnsla eykst á Norður- og Norðausturlandi og eftirspurn sunnan sniðsins eykst á móti, mun þrýstingur á sniðið aukast. Aðrar greiningar hafa sýnt að stöðugleikamörk sniðsins lækki við þessar aðstæður. Þetta þýðir að ekki verður lengur unnt að nýta orkuvinnslukosti á norðurhluta landsins til að auka við notkun svæðisbundið þar sem slík uppbyggingarstefna kemur eingöngu til með að minnka frekar flutningsgetuna milli landshluta sökum vaxandi stöðugleikavandamála. Þá eykst jafnframt hættan á skerðingum sunnan heiða.

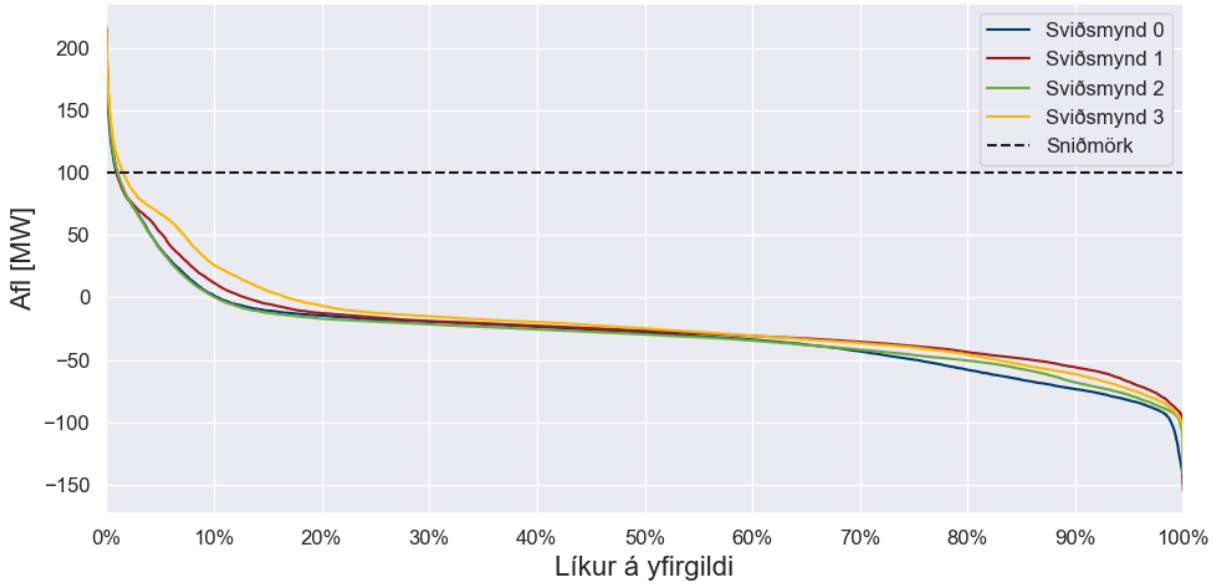
Vegna þessara flutningstakmarkana er takmarkað svigrúm til að virkja hagkvæma orkukosti á Norður- og Norðausturlandi. Í sviðsmyndum 1 og 2 mun sniðið færast af FL2 yfir á Teigarhornslínu 1 (TE1) þegar nýtt tengivirki verður tekið í notkun á Hryggstekk. Þó að þetta dragi úr álaginu á sniðið, mun áfram vera þörf á styrkingum.



Mynd 27 : Langæislínur flæðis yfir snið IIIb fyrir allar sviðsmyndir

Snið IV

Mynd 28 sýnir aflflæði um snið IV, sem afmarkast af Blöndulínu 2 (BL2) og Sigöldulínu 4 (SI4). Þetta snið er í raun andstæða við snið IIIb og er ólíklegt til að skapa rekstrarvandamál næstu 5 ár. Hins vegar hefur sniðið valdið vandræðum í slæmum vatnsárum á Suðurlandi, sérstaklega áður en Þeistareykjavirkjun var tekin í notkun.

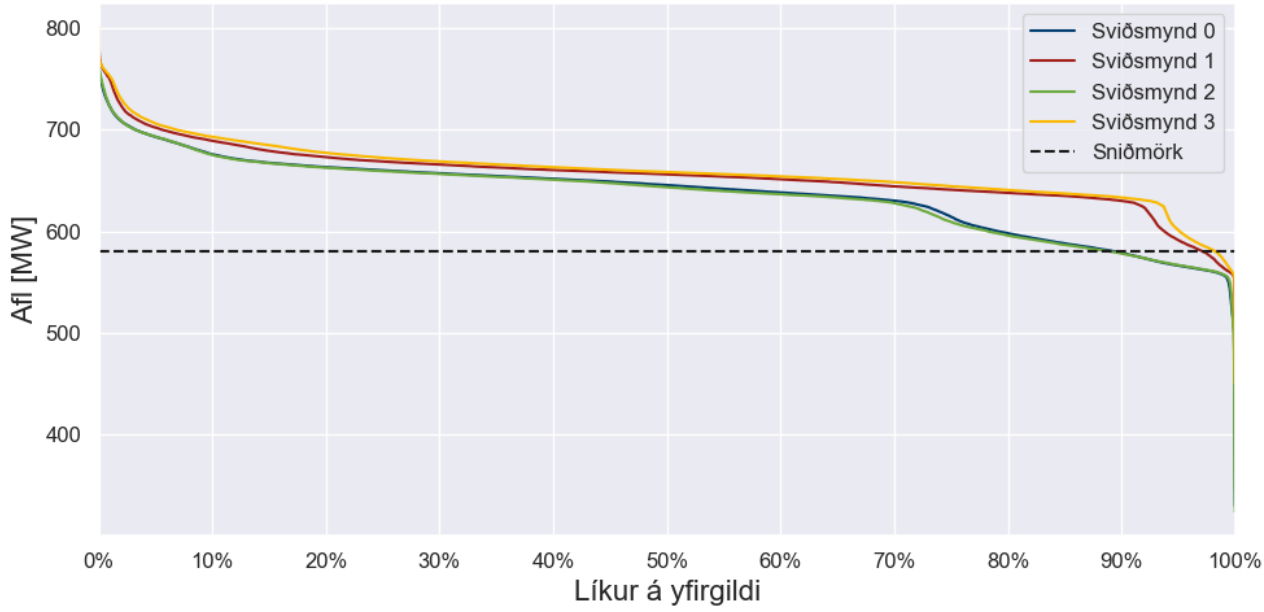


Mynd 28 : Langæislínur flæðis yfir snið IV fyrir allar sviðsmyndir

Snið VI

Mynd 29 sýnir flutning yfir snið VI, sem markast af Brennimelslínu 1 (BR1) og Sultartangalínum 1 og 3 (SU1 og SU3). Sniðið er nær stöðugt yfirkeyrt og hefur orðið sífellt meiri þrýstingur á það vegna aukinnar raforkunotkunar á Grundartanga. Takmörkuð flutningsgeta um sniðið hefur þegar haft áhrif á möguleikann á að bæta við nýjum notendum á Grundartanga, þrátt fyrir mikinn áhuga.

Til að leysa þetta álag þarf að styrkja Brennimelslínu 1, en sú framkvæmd hefur verið í biðstöðu í nokkurn tíma. Að öðrum kosti gætu flutningstakmarkanir á þessu sniði haft áhrif á frekari iðnaðaruppbyggingu á svæðinu.



Mynd 29 : Langæislínur flæðis um snið VI fyrir allar sviðsmyndir

5.2 Flutningstöp

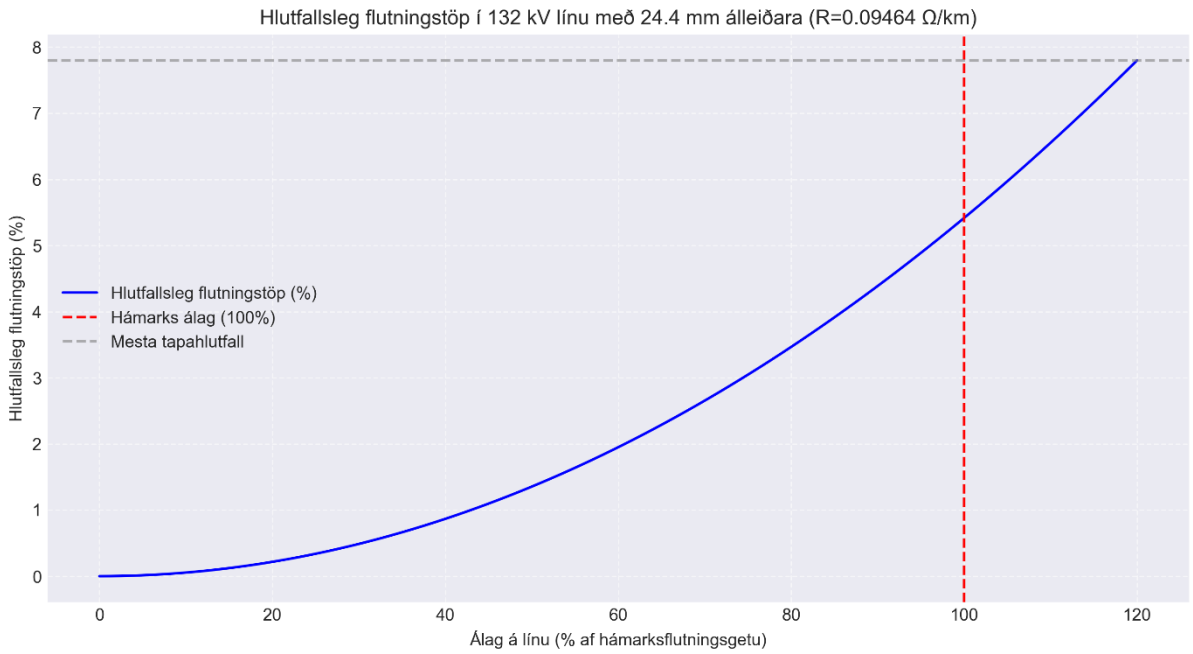
Flutningstöp eru óhjákvæmilegur hluti af rekstri raforkukerfa og eiga sér stað þegar hluti þeirrar orku sem framleidd er tapast í formi varma við flutning frá vinnslu til notenda. Helstu orsakir flutningstapa eru viðnám í leiðurum flutningslína og vafningum aflspenna, sem leiðir til varmamyndunar í efninu. Þessi töp eru ekki aðeins tæknileg áskorun heldur einnig hagfræðilegt og umhverfislegt viðfangsefni, þar sem þau valda auknum kostnaði og orkusóun sem hefði annars getað verið nýtt á hagkvæman hátt til virðissköpunar.

Til að mæta þessum töpum þarf Landsnet að kaupa raforku líkt og aðrir notendur, sem felur í sér viðbótarkostnað fyrir notendur kerfisins. Verð á raforku til að mæta töpum hefur hækkað verulega á undanförnum árum, sem gerir það enn mikilvægara að leita leiða til að lágmarka þau. Ein áhrifaríkasta aðferðin til að minnka flutningstöp er að nota sverari leiðara í flutningslínur, þar sem meiri þverskurðarflötur leiðara dregur úr rafviðnámi og þar með varmatapi. Hins vegar getur slíkt úrbótaverkefni krafist styrkingar burðarvirkja, þar sem sverari leiðarar eru bæði þyngri og þurfa að þola meira vindálag.

Flutningstöp hafa einnig umhverfislega þýðingu, þar sem raforka sem tapast í hita eykur eftirspurn eftir raforkuframleiðslu og getur þannig haft óbein áhrif á nýtingu orkuauðlinda. Með markvissum aðgerðum til að draga úr töpum er því hægt að stuðla að bæði betri nýtingu innviða og lægri rekstrarkostnaði raforkukerfisins.

Hlutfallsleg töp í leiðara aukast eftir því sem lína er rekin nær hitaflutningsmörkum sínum. Þegar straumur í línu eykst, eykst varmamyndun í leiðaranum í öðru veldi miðað við straumstyrk. Hitastig leiðarans hækkar og eðlisviðnám hans eykst, sem leiðir til enn frekari varmataps. Þessi áhrif eru mest í línum sem eru mikið lestaðar og nálgast rekstrarleg hámarksmörk hitaflutningsgetu sinnar. Þetta þýðir að línur sem standa frammi fyrir langvarandi yfirálagi eða eru oft keyrðar nálægt afkastagetu sinni hafa hlutfallslega hærri flutningstöp en línur sem eru reknar með meira svigrúm. Af þessum sökum getur aukið spennustig eða styrking flutningskerfisins dregið verulega úr töpum með því að dreifa álaginu betur og tryggja að engin einstök flutningsleið sé rekin í viðvarandi hámarksálagi.

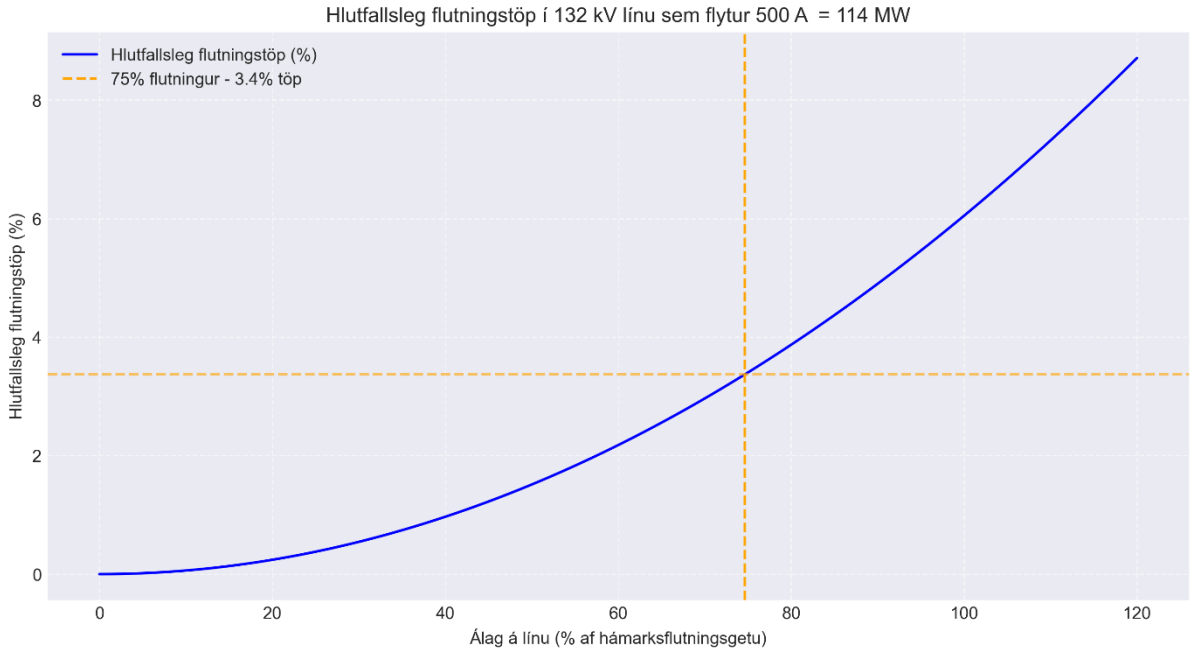
Sem dæmi má nefna Laxárvatnslínu 1 sem er ein af lengri línum í gömlu byggðalínunni. Hún er um 73 km á lengd og einnig ein mest lestaða línan á byggðalínuhringnum. Mynd 30 sýnir hlutfallsleg töp í þessari línu m.v. hlutfallslega lestun af hitaflutningsmörkum hennar.



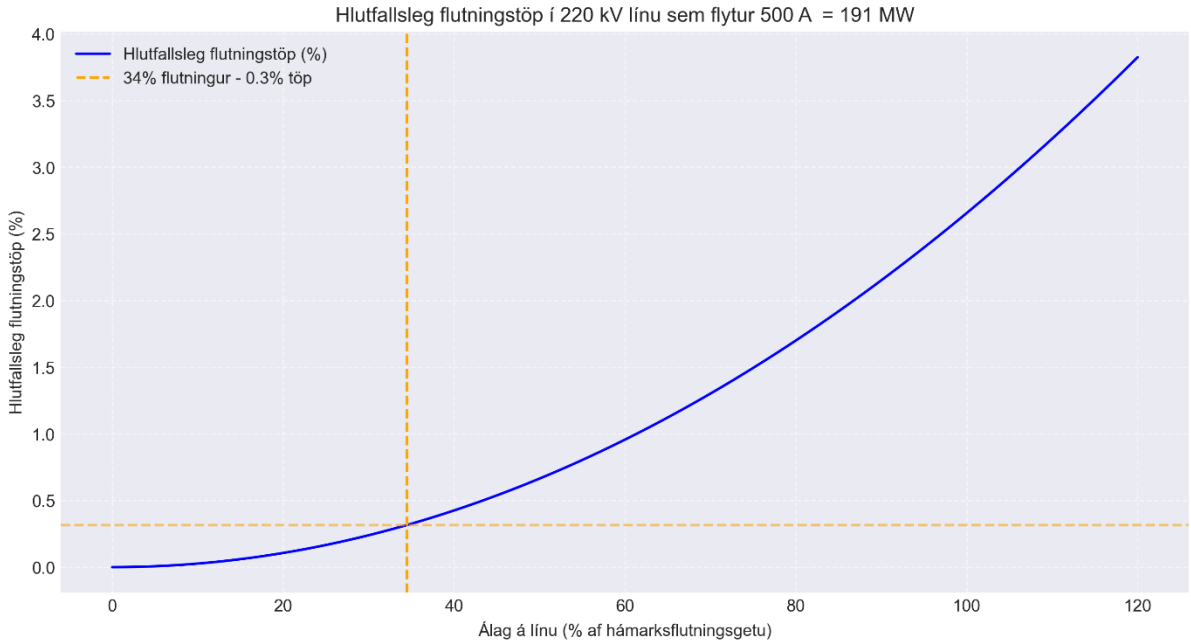
Mynd 30: Hlutfallsleg töp í Laxárvatnslínu 1 m.v. flutningsáraun

Sjá má að við flutning á þolmörkum línunnar verða töpin í henni yfir 5%. Á þeim tíma sem línan var byggð, árið 1976, var flutningur á henni vel undir 20% sem þýðir að sú orka sem flutt var um hana komst því sem næst öll til skila. Í dag fer flutningur á henni ekki undir 50% af flutningsgetu og mun fara hækkandi.

Glögglega má sjá ávinninginn af því að færa meginflutninginn upp á 220 kV af myndum 31 og 32 sem sýna tvær línur sem flytja sama straum, 500 amper, en á sínu hvoru spennustiginu. 132 kV línan er sambærileg núverandi byggðalínu og 220 kV línan er sú gerð sem verið er að byggja sem hluti af nýrri kynslóð byggðalínu.



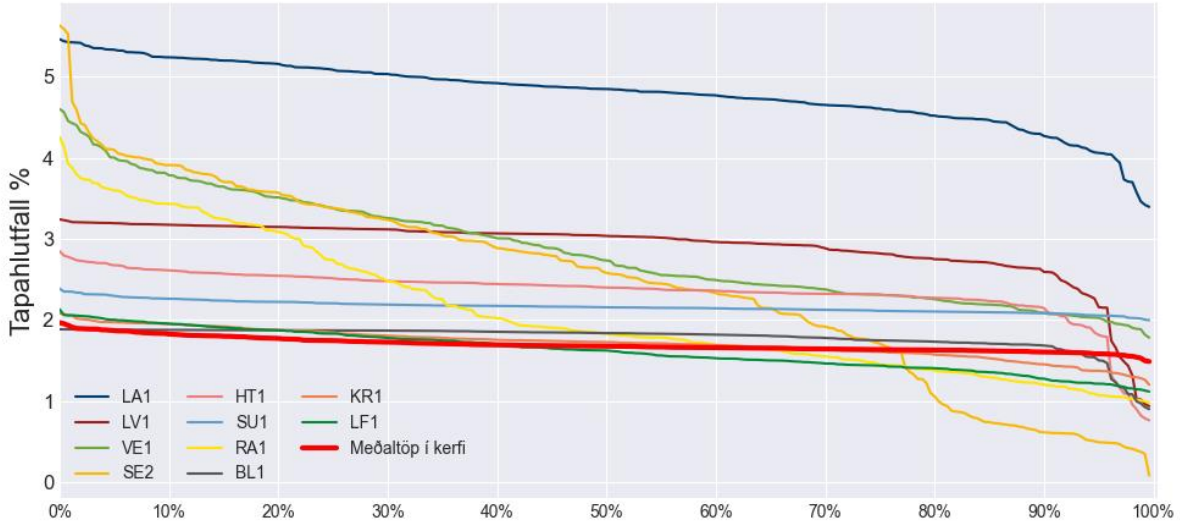
Mynd 31: Hlutfallsleg töp í 132 kV línu sem flytur 500 A



Mynd 32: Hlutfallsleg töp í 220 kV línua sem flytur 500 A

Til að greina hvar töp eru óhóflega mikil er ekki nægjanlegt að skoða heildarorkutapið í hverri línu, þar sem mismunandi flutningslínur flytja mismikið afl. Þess í stað er hlutfallslegt tap notað sem mælikvarði, sem sýnir orkutap sem hlutfall af fluttri orku. Myndir 33-36 sýna hlutfallsleg töp í þeim tíu flutningslínum sem hafa hæstu tapahlutföllin í kerfinu í samanburði við meðaltöpin í kerfinu í heild.

Þessar línur gefa mikilvægar vísbendingar um hvar tækifæri eru til umbóta í flutningskerfinu. Í sumum tilvikum er þegar til staðar áætlun um að endurnýja eða leggja niður þessar línur, en í öðrum tilfellum þarf að meta hvort styrkingar, aukin spennustig eða aðrar úrbætur geti skilað hagkvæmum ávinningi.

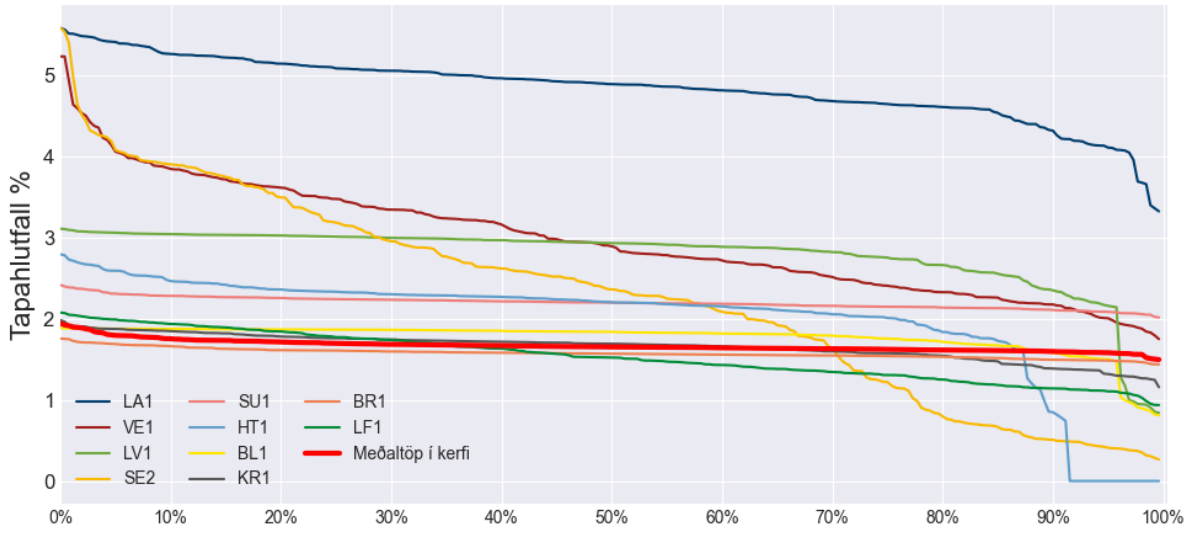


Mynd 33 : Hlutfallsleg töp lína fyrir sviðsmynd 0 í langæislínum

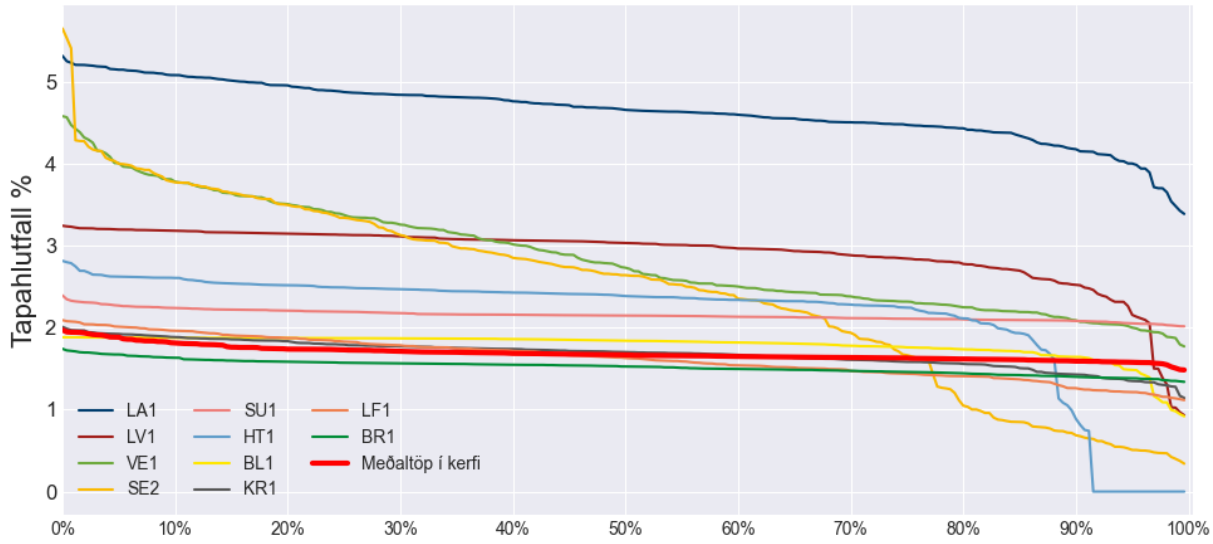
Meðal línanna sem valda mestum hlutfallslegum orkutöpum eru nokkrar línur sem á að endurnýja eða leggja af. Rangárvallalína 1 (RA1) verður rifin eftir að 220 kV tenging er komin á milli Blöndu og Akureyrar og Laxárlína 1 verður lögð af og rifin á næstu árum.

Þarna má sjá eina 220 kV línu, Sultartangalínu 1, sem er frá árinu 1982. Flutningur á þessari línu hefur vaxið mikið frá þeim tíma þar sem mikil uppbygging hefur átt sér stað á Grundartanga. Nú er svo komið að skoða þarf hvort endurbyggja þurfi línuna eða skoða leiðaraskipti. Slík framkvæmd yrði þó afar kostnaðarsöm og flókin.

Ætla má að flutningur um Kröflulínu 1 (KR1), Laxárvatnslínu 1 (LV1) og Hrútatungulínu 1 (HT1) muni minnka með nýrri kynslóð byggðalínu. Tvöföldun Vegamótalínu 1 (VE1), tvítenging Snæfellsness kemur til framkvæmda á næstu 5 árum og er því væntanleg á framkvæmdáætlun. Minnkar þá flutningur að sama skapi um VE1 þar sem flutningurinn deilist á tvær línur í stað einnar. Minni flutningur minnkar flutningstöp þar sem þau aukast eða minnka með straumflæði í öðru veldi.



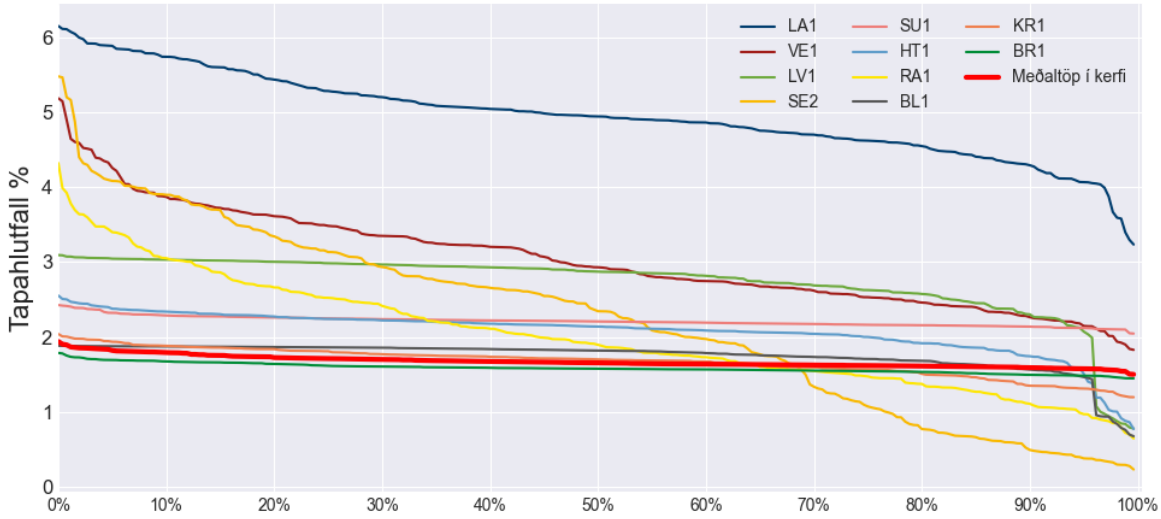
Mynd 34 : Hlutfallsleg töp lína fyrir sviðsmynd 1 í langæislínum



Mynd 35 : Hlutfallsleg töp lína fyrir sviðsmynd 2 í langæislínum

Sjá má að séu ofangreindar niðurstöður bornar saman við uppbyggingaráætlanir Landsnets sést að þær falla vel að því að draga úr orku sem tapast sem hlutfall af heildarorkunni sem mötuð er inn á og

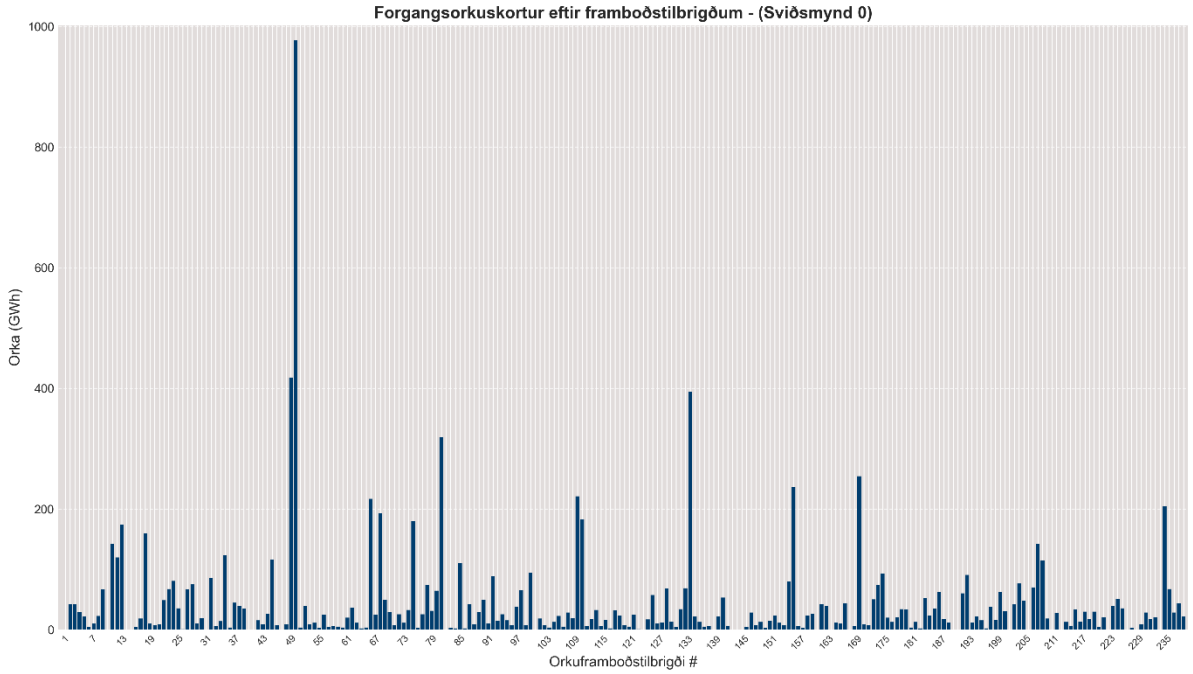
flutt um kerfið. Eitt af stefnumiðum Landsnets er að skapa virði í flutningskerfinu og mikilvægur liður í því er að lágmarka þá orku sem tapast í kerfinu eins og kostur er.



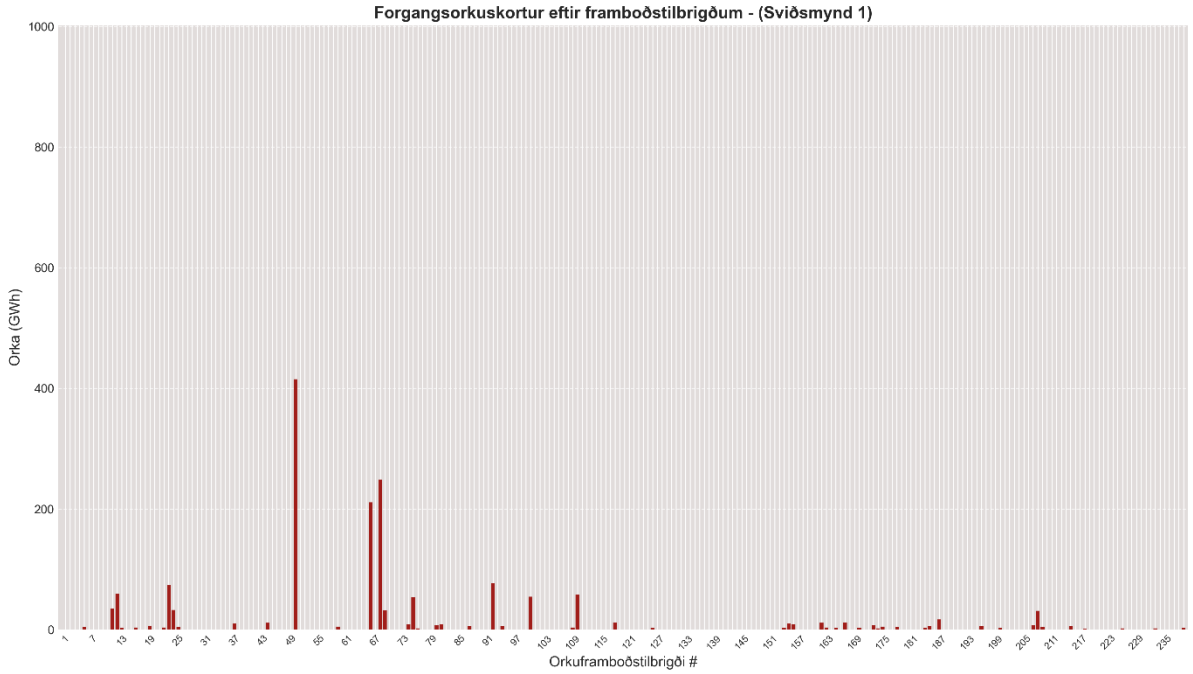
Mynd 36: Hlutfallsleg töp lína fyrir sviðsmynd 3 í langæislínum

VIÐAUKI I : NÁNARI GÖGN UM NIÐURSTÖÐUR ORKUSKORTS

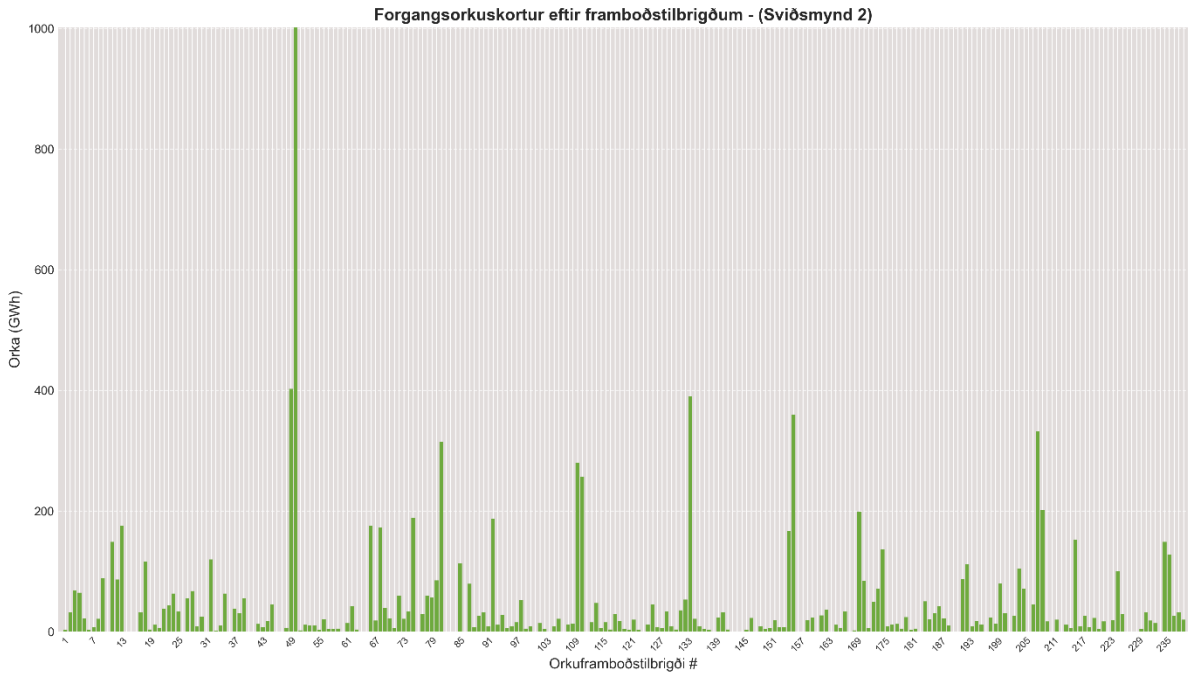
Myndirnar fjórar í þessum viðauka sýna ítarlega niðurstöður útreikninga á orkuskorti fyrir allar sviðsmyndir. Stöplarnir á myndunum sýna uppsafnaðan orkuskort yfir tímabil útreikninga skipt eftir tilbrigðum (nánar á bls. 20 og 21).



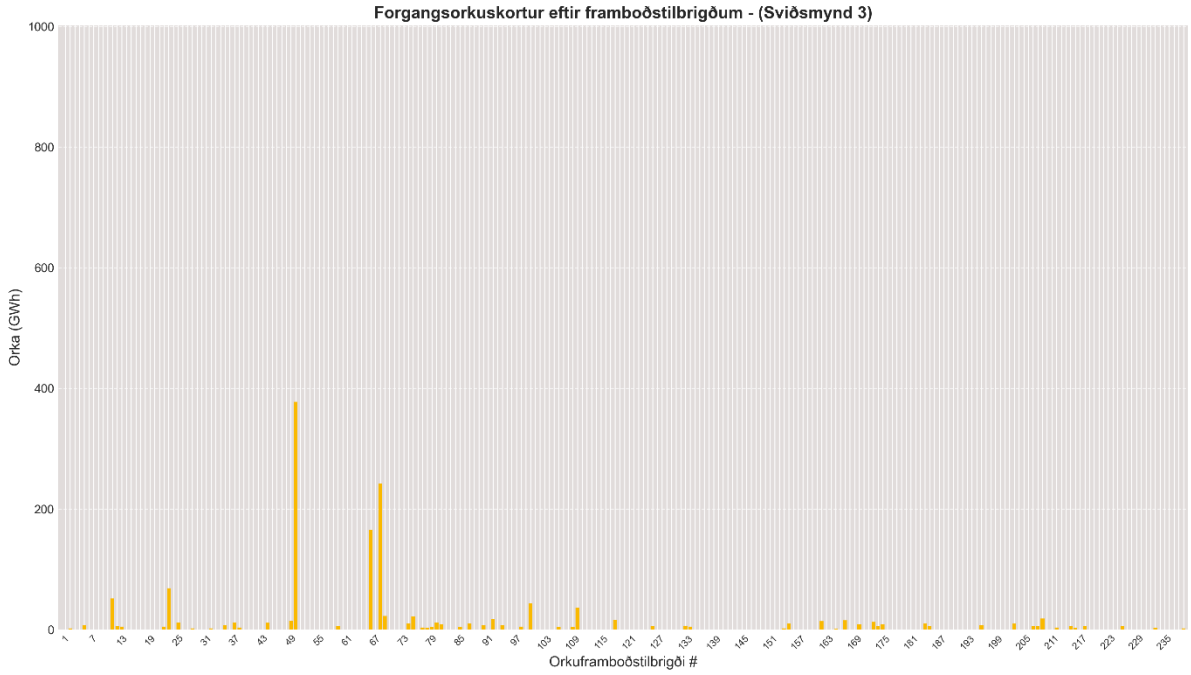
Mynd 37 : Uppsafnaður orkuskortur yfir tímabilið 2025-2029 eftir tilbrigðum - sviðmynd 0



Mynd 38 : Uppsafnaður orkuskortur yfir tímabilið 2025-2029 eftir tilbrigðum - sviðmynd 1



Mynd 39 : Uppsafnaður orkuskortur yfir tímabilið 2025-2029 eftir tilbrigðum - sviðmynd 2



Mynd 40 : Uppsafnaður orkuskortur yfir tímabilið 2025-2029 eftir tilbrigðum - sviðmynd 3

VIÐAUKI II : FORSENDUR FYRIR ÁREIÐANLEIKASTUÐLA

Fyrir afljöfnuð og útreikninga á líkum á aflskorti eru notaðir áreiðanleikastuðlar fyrir einingar raforkukerfisins. Landsnet hefur á þriggja ára fresti reiknað út ótiltæki eininga (U), bilanatíðni (λ) og viðgerðartíma (r) byggt á sögulegum gögnum um truflanir í kerfinu.

Síðustu útreikningar á áreiðanleikastuðlum voru framkvæmdir árið 2023 og var stuðst við gögn um truflanir í flutningskerfinu fyrir tímabilið 2012 til 2022. Stuðlarnir eru reiknaðir út eftir tegund einingar og spennustigi. Hafa skal í huga að stuðlarnir fyrir tengivirki eru ekki notaðir í líkan fyrir afljöfnuð þar sem litið er framhjá ótiltæki heilla tengivirkja í líkaninu.

EINING	SPENNA [kV]	λ [FJ./ÁRI]	r [KLST]	U [KLST/ÁRI]
Loftlínur (per km)	33	0,0456	2,0917	0,0954
Loftlínur (per km)	66	0,0199	23,9597	0,4770
Loftlínur (per km) - Vestfirðir	66	0,0968	39,1813	3,7938
Loftlínur (per km)	132	0,0098	9,6565	0,0950
Loftlínur (per km) - Vestfirðir	132	0,0323	13,3148	0,4295
Loftlínur (per km)	220	0,0027	11,8118	0,0315
Útgangur	33	0,0225	1,6857	0,0379
Útgangur	66	0,0481	7,0025	0,3371
Útgangur	132	0,0467	2,9452	0,1374
Útgangur	220	0,0288	8,0109	0,2306
Útgangur – GIS	220-GIS	*0,0083*	*1,0000*	*0,0083*
Aflrofi	33	0,0064	2,0000	0,0129
Aflrofi	66	0,0103	2,0000	0,0205
Aflrofi	132	0,0173	2,0000	0,0346
Aflrofi	220	0,0163	2,0000	0,0325
Aflrofi – GIS	220-GIS	*0,0041*	*1,0000*	*0,0041*
Aflspennir	66	0,1563	18,3400	2,8656
Aflspennir	132	0,1450	66,8851	9,7009
Aflspennir	220	0,0986	36,3595	3,5847
Tengivirki í heild	33	0,0000	0,0000	0,0000
Tengivirki í heild	66	0,0225	2,1167	0,0476
Tengivirki í heild	132	0,0612	7,9032	0,4834
Tengivirki aðrar en GIS	132-ekki GIS	0,0947	7,8760	0,7457
Tengivirki GIS	132-GIS	0,0571	9,8250	0,5614
Tengivirki í heild	220	0,1331	2,3302	0,3102
Tengivirki aðrar en GIS	220-ekki GIS	*0,2063*	*2,4662*	*0,5086*
Tengivirki GIS	220-GIS	*0,0613*	*1,0000*	*0,0613*
Jarðstrengur (per km)	66	0,0011	223,2000	0,2489

EINING	SPENNA [kV]	λ [FJ./ÁRI]	r [KLST]	U [KLST/ÁRI]
Jarðstrengur (per km)	132	0,0014	813,6000	1,1634
Sæstrengur (per km)		0,0016	2520,0000	3,9868

Tafla 4: Áreiðanleikastuðlar, útreikningur 2023

VIÐAUKI III : UM LANGÆISLÍNUR

Langæislína álags (e. load duration curve) er myndræn framsetning á sambandi tíma og álags, þ.e. hlutfall tíma þar sem álag er umfram gefið gildi. Þær eru almennt notaðar í greiningum orkukerfa til að sýna þróunarmynstur álags, eða flæði um flutningssnið, með tíma.

Ásar langæisritsins

Lárétti ásinn (x-ásinn) táknar vanalega hlutfall tíma þess tímabils sem verið er að greina í prósentum eða tímaeiningu gagnanna, t.d. klukkustundum eða dögum.

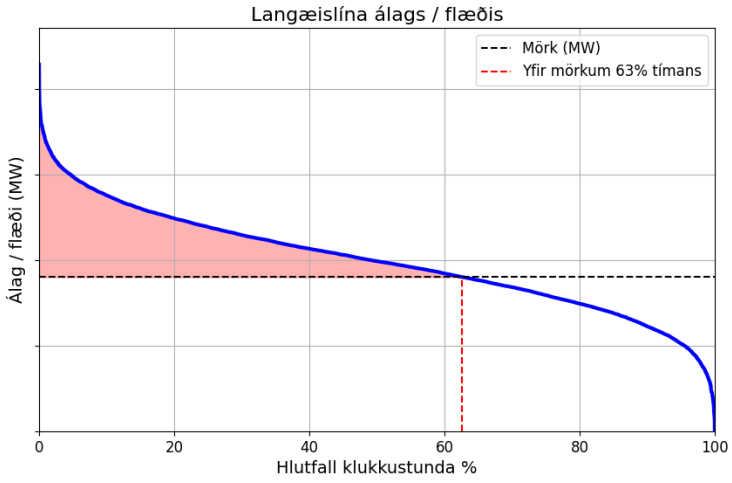
Lóðrétti ásinn (y-ásinn) táknar stærð álags, eða flæðis um flutningssnið, í afleiningum s.s. kílóvöttum (kW) eða megavöttum (MW). Einnig er algengt að sýna lóðrétta ásinn sem hlutfall af því aflgildi sem er til athugunar, s.s. hámarksálagi eða flutningsmörkum.

Langæi aflgildis

Langæislínur eru myndaðar með því að taka gögn um álag yfir ákveðið tímabil og raða þeim í stærðarröð, Mynd 41 sýnir dæmi um langæislínu. Álagsgögnum er raðað þannig að hlutfall tíma eykst frá vinstri til hægri og við aukið hlutfall tíma lækkar stærðargildi álags.

Flutningsmörk / hámarksálag

Á gröfum langæislína táknar láréttar línur gjarnan einhvers konar mörk, s.s. vegna flutningsgetu, vinnslugetu eða annarra hámarka sem verið er að greina. Á Mynd 41 er sýnt dæmi um hvernig lesa má af langæislínum fyrir flutningsmörk. Fyrir álagið sem langæislínan (blá lína) sýnir eru gefin ákveðin flutningsmörk (svört punktalína). Skurðpunktur línanna tveggja sýnir hversu stórt hlutfall tímans álagið er við eða yfir gefnum flutningsmörkum. Á myndinni skerast línurnar þegar x-ásinn sýnir 63% sem þýðir að 63% tímans er álagið yfir gefnum mörkum. Ef mörkin yrðu aukin, t.d. vegna styrkingar flutningskerfis á svæðinu, myndu mörkin færast ofar og hlutfall tímans sem álag er yfir mörkum lækka.



Mynd 41 : Sýnidæmi um langæislínu aflgildis

Túlkun

Halli langæislínu gefur til kynna breytileika í álagi eða flæði ef línan sýnir flutning um snið. Þannig er meiri breytileiki í álagi, eða flæði, ef halli er mikill en minni ef línan er flöt. Ef ferillinn lækkar hratt eftir toppinn bendir það til þess að álagstoppar, eða mesta flæði um snið, séu fáir en háir en flatari ferill langæislína (nær láréttum ferli) gefur til kynna að álag eða flæði um snið sé stöðugt.

Algengt er að raunveruleg álagsgögn gefi ferla sem sýna meiri halla til endanna og minni um miðjan ferilinn líkt og sýnt er á Mynd 41. Það táknar að álag, eða flæði, er stuttan tíma við útgildin þegar álag er í hámarki eða lámarki og sé stærsta hlutfall tímans einhversstaðar þar á milli.

LANDSNET