

Kerfisjöfnuður

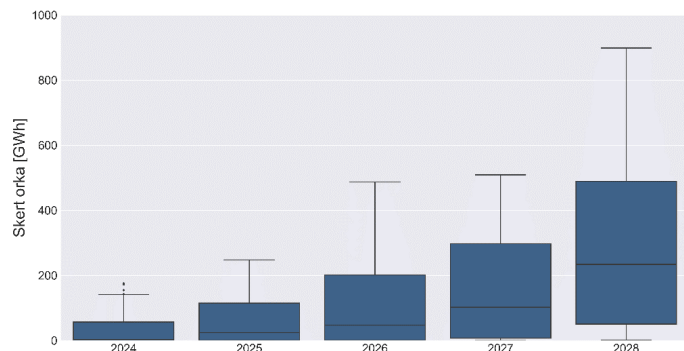
ER NÓG TIL?

Horfur á stöðu afl- og
orkujöfnuðar raforkukerfisins
2024-2028



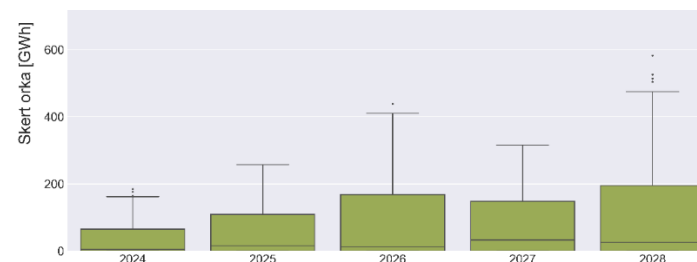
Auknar líkur á skerðingum 2024-2028

Án uppbyggingar í flutningskerfinu og nýjum virkjunum eykst hættan á skerðingum umtalsvert á næstu 5 árum og áhætta á skerðingum á forgangsortu, sem eru umfram heimildir í samningum, eykst með hverju ári. Áhætta á skerðingum er mest á fyrsta og öðrum ársfjórðungi hvers árs. Uppbygging flutningskerfisins mun draga úr líkum á skerðingum til notenda raforku en munu ekki duga einar og sér til að tryggja að framboð mæti eftirspurn.



Sútlurnar á grafinu sína líkur á skertri orku (GWh) án uppbyggingar í raforkukerfinu.

Virkjanir í núverandi ástandi hafa ekki burði til að anna aukinni raforkunotkun til næstu 5 ára óháð því hversu mikið næst að styrkja flutningskerfið. Virkjun nýrrar orku er nauðsynleg til að snúa þróuninni við. Fyrirhugaðar virkjanaf framkvæmdir næstu 5 ára halda afl- og orkujöfnuði eingöngu í horfinu. Áhætta er á að líkur á skertri forgangsortu þrefaldist í slæmu vatnsári.



Sútlurnar á grafinu sína líkur á skertri orku (GWh) miðað við uppbyggingu flutningskerfis og tilkomu nýrra virkjana.

Með uppbyggingu flutningskerfis og nýjum virkjunum mun ástandið byrja á að versna og réttir svo úr kútnum eftir árið 2026. Ekki má sofna á verðinum því að árið 2028 er verra en árið 2024. Áhætta er á að ekki verði hægt að mæta eftirspurn raforku yfir tímabilið 2024 – 2028. Ef framkvæmdir í flutningskerfi og nýjum virkjunum raungerast dregur úr áhættu á skerðingum forgangsortu. Áhætta á skerðingum á forgangsortu eykst í slæmu vatnsári og ef uppbygging flutningskerfis og nýrra virkjana tefst.

Staðan næstu 12-18 mánuði gæti orðið flókin þar sem vísbendingar eru um að forði uppistöðulóna muni verða nokkurn tíma að rétta úr kútnum eftir óvenjulega þurrt tímabil 2023-2024. Ofan á það bætist að enn eru nokkur ár í að samtenging flutningskerfis næst á milli landshluta. Þetta gerir það að verkum að raforkukerfið má til skemmri tíma ekki við stórum áföllum eins og viðlíka þurru vatnsári eða langri rekstrarstöðvun stærri aflstöðva svo dæmi séu tekin. Svigrúm til viðhaldsstöðvana á þessu tímabili gæti farið minnkandi á meðan komist er yfir erfiðasta hjallann.

Huga þarf að fjölbreyttum leiðum til að takast á við hugsanlegar áhættur á skerðingum forgangsortu. Má þar nefna með gagnsæjum verðmerkjum á virkum orkumarkaði, þróun regluverks, sveigjanlega verðlagningu, ráðstafanir til að valdefla neytendur, þátttaka stórnotenda eða nota markaðsaðferðir til að bregðast við.

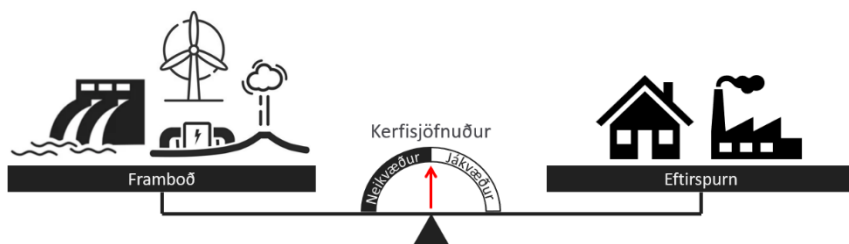
Efnisyfirlit

| | |
|--|-------------------------------------|
| Það er þröngt í búi..... | Error! Bookmark not defined. |
| Tilgangur kerfisjöfnuðar | 4 |
| Forsendur kerfisjöfnuðar..... | 5 |
| Raforkunotkun..... | 5 |
| Raforkuvinnsla..... | 5 |
| Kerfisáætlun | 5 |
| Gögn um áreiðanleika | 6 |
| Landshlutaskipting..... | 6 |
| Fyrirkomulag skerðinga | 7 |
| Sviðmyndir..... | 7 |
| Orkujöfnuður..... | 8 |
| Staða og horfur orkujöfnuðar..... | 10 |
| Skerðingar | 11 |
| Skerðingar forgangsnotkunar | 14 |
| Afljöfnuður | 17 |
| Staða og horfur afljöfnuðar | 18 |
| Líkur á aflskorti | 19 |
| Raforkukerfið - orkuflæði | 22 |
| Flutningur um snið..... | 22 |
| Flutningstöp..... | 25 |
| Viðauki I : Orkujöfnuður landsvæða | 27 |
| Viðauki II : Forsendur fyrir áreiðanleikastuðla..... | 30 |
| Viðauki III : Um langæislínur | 31 |
| Ásar langæisritsins..... | 31 |
| Langæi afgangis | 31 |
| Flutningsmörk / hámarksálag | 31 |
| Túlkun..... | 31 |

Tilgangur kerfisjöfnuðar

Landsnet gefur út kerfisjöfnuð fyrir Ísland, afl- og orkujöfnuð, í ellefta skipti og er það gert til að uppfylla hlutverk sitt um að upplýsa um áætlaðan orkujöfnuð í raforkukerfinu ásamt áætluðum líkum á aflskorti.

Kerfisjöfnuður metur hvort framboð raforku með tilliti til flutningstakmarkana geti mætt eftirspurn raforku til næstu 5 ára og stutt þannig við orkuskipti og orkuöryggi. Kerfisjöfnuður nær yfir tímabilið 2024 – 2028.



Kerfisjöfnuður er ekki endanleg spá um framtíðina, heldur er ætlað að vekja athygli á mögulegum veikleikum í framtíðar raforkukerfinu okkar sem hægt er að bregðast við með fyrirbyggjandi hætti.

Margar forsendur, breytur og hátt flækjustig þarf til að vinna svar við einni lykilspurningu; er áhætta á að ekki er hægt að mæta eftirspurn raforku? Breytan sem notuð er til að svara spurningunni er kölluð líkur á skertri aflafhendingu (LOLE, loss of load expectation) í klukkustundum á ári.

Það verður að hafa í huga að líkur á skertri aflafhendingu er í meginatriðum áhættumat. Líkur á skertri aflafhendingu er ekki raunveruleg spá um væntingar á straumleysi þar sem hægt er að grípa til óvenjulegra ráðstafana.

Kerfisjöfnuður er lykilverkfæri til að fylgjast með og tryggja öruggt og hagkvæmt framboð raforku til viðskiptavina. Kerfisjöfnuði er ætlað að vekja upp umræður um stöðu og horfur á jafnvægi framboðs og eftirspurnar raforku á Íslandi og hvaða ráðstafanir eru tiltækar og hvaða ákvarðanir þarf að taka. Þannig er einnig hægt að styðja við árangursrík orkuskipti.

Sjálfbærni Íslands í raforkumálum er metið með kerfisjöfnuði þar sem íslenski raforkumarkaðurinn er einangrað eyjakerfi.

Landsnet hefur með þessari útgáfu stórbætt greiningargetu sína á þessu sviði með innleiðingu nýs reiknilíkans. Reiknilíkanið tekur tillit til þeirrar óvissu sem óumflýjanlega hvílir um framboð á raforku ásamt því að taka áhrif flutningstakmarkana með í útreikningana. Niðurstöðurnar sem birtar eru í þessari skýrslu sýna raunsærri mynd af stöðu og horfum í jafnvægi framboðs og eftirspurnar á raforku næstu ára en í fyrri greiningum. Niðurstöður fyrri greininga hafa raungerst.

Forsendur kerfisjöfnuðar

Tímabilið sem þessi kerfisjöfnuður nær til eru árin 2024 til 2028. Gögnin sem notuð eru til útreikninga byggja á eftirfarandi forsendum:

Raforkunotkun

Kerfisjöfnuður styðst við spá um orkuþörf tímabilsins sem fram kemur í Raforkuspá Landsnets. Forsendur hennar eru meðal annars fyrirliggjandi gögn um sögulega þróun almennrar orkunotkunar, eftirspurn hjá stórnotendum, fólksfjöldaspá og markmið stjórnvalda um full orkuskipti. Orkuþörf vegna orkuskipta er byggð á orkuskiptalíkani Samorku sem Landsnet tók virkan þátt í að hanna.

Raforkuspá Landsnets gerir ráð fyrir fullum orkuskiptum árið 2050 en tveimur öðrum sviðsmyndum er stillt upp í spánni. Þær byggja á sömu forsendum og Raforkuspáin að undanskildum þeim hluta orkuskipta sem mætt verður með rafeldsneytisnotkun þ.e. millilandaflugi og skipaflutningum.

Á tímabilinu sem kerfisjöfnuður nær til gerir raforkuspáin ráð fyrir aukningu upp á 1,8 TWh í orkuþörf og 312 MW í aflþörf.

Við þetta bætist aukning hjá stórnotendum á Grundartanga og í Þorlákshöfn sem á endanum verður 25 MW eða 210 GWh. Þessi notkun kemur inn í þrepum á tímabilinu.

Raforkuvinnsla

Um 72% af uppsettu aflri í íslenska raforkukerfinu er fengið með vatnsaflvirkjunum og því er raforkuvinnslugeta kerfisins mjög háð innrennsli til vatnsvega virkjana. Sveiflur í innrennsli milli tímabila hafa bein áhrif á orkuforða kerfisins og er innrennsli því einn af stærstu áhrifaþáttum á orkujöfnuð kerfisins. Í nýju orkuflæðislíkani Landsnets, sem notað er við útreikninga á kerfisjöfnuði, er tekið tillit til óvissu í raforkuvinnslu með

því að herma vinnslu vatnsaflsvirkjana út frá sögulegum innrennslisgögnum Landsvirkjunar.

Vinnsla annarra virkjana (t.d. jarðvarmavirkjana) er fyrirsjáanlegri og er vinnslugeta þeirra fengin úr sögulegum mæligögnum og úr öðrum líkönum ásamt því að gert er ráð fyrir föstum tímasetningum í viðhaldi skv. viðhaldsáætlun virkjana. Orkuvinnsla vindlunda er áætluð út frá tímaröðum sem unnar eru út frá áætluðum nýtingartíma lundarins og landfræðilegri staðsetningu með þar til gerðu líkani.

Gert er ráð fyrir eftirfarandi nýrri orkuvinnslu á tímabilinu:

| Virkjun | Tegund | Afl [MW] | Gangsetning |
|-----------------------|--------------|----------|---------------|
| Stækkun Svartsengis | Jarðhitaorka | 10 | Nóvember 2025 |
| Búrfellslundur | Vindorka | 120 | Ágúst 2026 |
| Stækkun Sigöldu | Vatnsorka | 65 | Ágúst 2027 |
| Þeistareykir – ný vél | Jarðhitaorka | 20 | Janúar 2028 |
| Hvammsvirkjun | Vatnsorka | 95 | Apríl 2028 |

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

Kerfisáætlun

Gert er ráð fyrir að uppbygging flutningskerfis verði skv. tímalínu framkvæmda-áætlunar 2024-2026 sem kom út með kerfisáætlun 2023-2032. Þær framkvæmdir sem þar koma fram og hafa áhrif á kerfisjöfnuð eru:

| Ný eining | Mánuður | Ár |
|--------------------|-----------|------|
| Kolviðarhólslína 1 | Október | 2023 |
| Rimakotslína 2 | September | 2024 |
| Dalvíkurlína 2 | September | 2025 |
| Mjólkár lína 2 | Október | 2025 |
| Suðurnesjalína 2 | Febrúar | 2026 |

| | | |
|----------------------------------|-------|------|
| Vestmannaeyjalína 4 | Ágúst | 2026 |
| Vestmannaeyjalína 5 | Ágúst | 2026 |
| Hryggstekkur – 220 kV tengivirki | Mars | 2027 |
| Blöndulína 3 | Maí | 2027 |
| Holtavörðuheidiarlína 1 | Ágúst | 2027 |
| Holtavörðuheidi – tengivirki | Ágúst | 2027 |
| Þorlákshafnarlína 2 | Maí | 2028 |

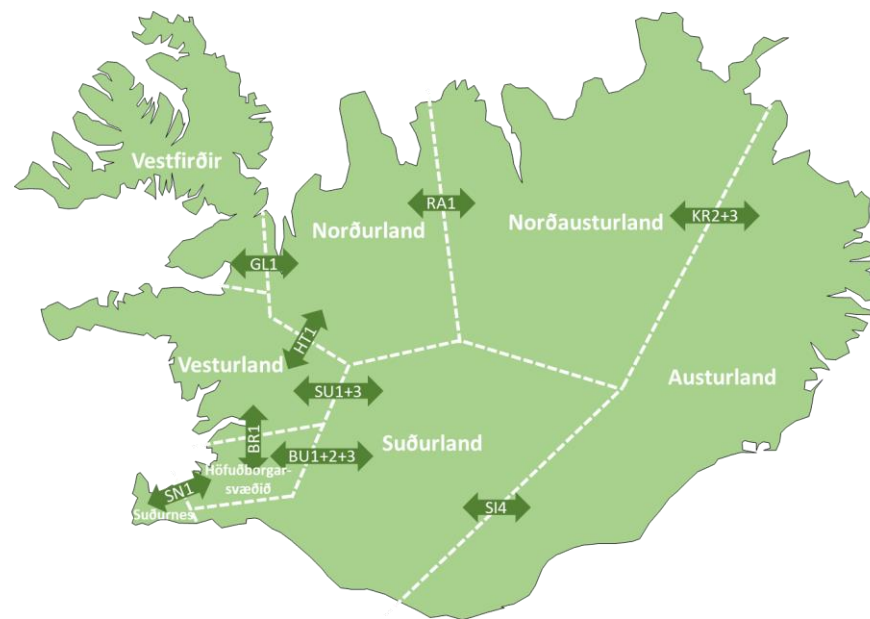
Tafla 2 : Nýframkvæmdir í flutningskerfinu sem gert er ráð fyrir í rekstur á tímabilinu.

Gögn um áreiðanleika

Landsnet reiknar út stuðla um ótíltæki, 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.

Landshlutaskipting

Skiptingu kerfisins á milli landshluta má sjá á Mynd 1 hér til hægri ásamt því hvaða línur það eru sem þjóna sem tengingar milli landsvæðanna.



Mynd 1 : Landshlutaskipting notuð í útreikningum

Fyrirkomulag skerðinga

Í orkulíkani er gert ráð fyrir að notkun stórnotenda sé skerðanleg í orkuskorti (slæmum vatnsárum) um 10% í orku og 10% í afl. Þetta er töluvert mikið umfang en rétt er að benda á það að í hermunum líkansins er einungis gripið til skerðinga þegar þörf er á.

Við útreikning á skerðingum reiknar líkanið fyrst þá orku sem er tiltæk 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 við eftirspurn skv. raforkuspá og ef framboð á orku getur ekki uppfyllt eftirspurn áætla líkanið skerðinguna út frá mismun framboðs og eftirspurnar.

Til að endurspeglar raunveruleikann, þar sem skerðingar vegna orkuskortis eru almennt langvinnar, er stuðst við svokallaðar tímabilsskuldbindingar í líkaninu við áætlun skerðinga. Það þýðir að ef upp kemur skerðingartilvik innan tímabils, sem í líkaninu er vika, eru stórnotendur skertir allt tímabilið í því sama magni, þá jafnvel þó að þess sé ekki nauðsyn allt tímabilið. Þetta fyrirkomulag gefur mögulega ekki niðurstöður um bestu nýtingu auðlindarinnar (vatnsins) en endurspeglar hins vegar raunverulegan rekstur kerfisins á tímum orkuskerðinga.

Sviðmyndir

Afl- og orkujöfnuður er skoðaður fyrir þrjár sviðmyndir.

Sviðsmynd 0 : Engar nýjar framkvæmdir í raforkukerfinu

Þessari sviðsmynd er ætlað að vera núllsviðsmynd, þ.e. að sýna stöðuna sem uppi verður ef engar nýframkvæmdir koma til á útreikningstímabilinu 2024-2028, eða öllu

heldur engar framkvæmdir sem hafa bein áhrif á jöfnuðinn. Framkvæmdir sem ekki hafa nein teljandi áhrif m.v. aðferðarfræðina eru hreinar endurnýjunarframkvæmdir.

Raunverulega má búast við því að áreiðanleiki aukist með endurnýjun búnaðar en við áætlun áreiðanleikastuðla búnaðar er stuðst við söguleg gögn samskonar búnaðar og því hefur endurnýjun búnaðar ekki áhrif á niðurstöður líkansins.

Sviðsmynd 1 : Styrkingar flutningskerfisins

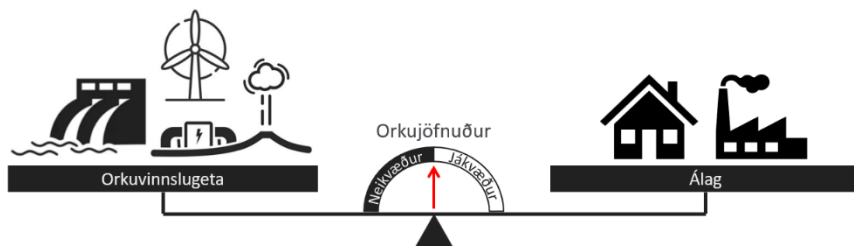
Framkvæmdir sem lýst er í framkvæmdaáætlun og listaðar eru upp í töflu 2. Þessi sviðsmynd gerir ekki ráð fyrir aukinni orkuvinnslu, m.ö.o. eingöngu áætlanir Landsnets um styrkingar meginflutningskerfisins ná fram að ganga. Þannig fæst staða kerfisjöfnuðarins gagnvart áætlunum okkar og þau áhrif sem við getum haft á þróunina.

Sviðsmynd 2 : Styrkingar flutningskerfis ásamt nýjum virkjunum

Hér er byggt ofan á sviðsmynd 1 með því að reiknað er með að þær nýju virkjanir sem raunhæft sé að gangsetja á tímabili kerfisjöfnuðar verði að veruleika skv. útlitun í töflu 1. Þannig er dregin upp staða og horfur í þróun afl- og orkujöfnuðar ef raunhæfar áætlanir aðila raforkukerfisins ná fram að ganga. Mikilvægt er að meta hvort þessari áætlanir séu nægjanlegar til að anna vexti í raforkunotkun eða hvort gefa þurfi enn frekar í varðandi uppbyggingu en það er helsti tilgangur kerfisjöfnuðar.

Orkujöfnuður

Orkujöfnuður er mælikvarði á getu framboðs raforku í raforkukerfum til að mæta eftirspurn. Jákvæður orkujöfnuður er þegar framboð raforku er nægt til að mæta eftirspurn en neikvæður orkujöfnuður þegar framboð er ekki nægt til að mæta eftirspurn og skerða þarf afhendingu orku. Þó ber að hafa í huga að flutningstakmarkanir geta einnig skert afhendingargetu til einstaka tengipunkta eða heilu landsvæðanna og því haft áhrif á orkujöfnuð. Mynd 2 sýnir einfalda skýringarmynd af þessu sambandi framboðs, eftirspurnar og orkujöfnuðar.



Mynd 2 : Einföld skýringarmynd orkujöfnuðar

Framboð, eftirspurn og flutningstakmarkanir stýra orkuflæði raforkukerfa. Þó að rafeindirnar sem flytja orkuna á milli í línunum og köplunum fylgi lögmálum eðlisfræðinnar við flutning raforku eru það markaðsmálin sem ráða hversu mikið er framleitt og afhent á hverjum afhendingarstað og því hvert orkan þarf að streyma. Í ljósi þessa er eðlilegt að áætla hagkvæmasta rekstur raforkukerfa út frá því rekstrarfyrirkomulagi sem gefur hagstæðasta rekstur á kerfinu hverju sinni, þ.e. er með lægstan jaðarkostnað¹, en uppfyllir jafnframt skilyrði markaðar og flutningstakmarkana.

¹ Jaðarkostnaður er hagfræðilegt hugtak sem lýsir hvernig kostnaður vöru breytist þegar framleitt magn er aukið um eina einingu.

Flestar þjóðir aðrar en Ísland búa við raforkukerfi þar sem hryggjarstykkinn eru orkuver þar sem raforka er framleidd með jarðefnaeldsneyti með tilheyrandi eldsneytiskostnaði og útblæstri gróðurhúsalofttegunda. Orkuframboð í þessum kerfum er að miklu leyti háð aðgengi að eldsneyti og því stýrir eldsneytiskostnaður og nýtni orkuvera jaðarverði raforkuvinnslunnar og því einnig orkujöfnuðinum.

Einkenni grænnar orku er náttúrulegur breytileiki

Framboð orku í íslenska raforkuvinnslukerfinu er ekki bundið við aðgengi að jarðefnaeldsneyti þar sem við beislum náttúruöflin til að sjá okkur fyrir endurnýjanlegum orkugjöfum, þ.e. vatni, jarðvarma og vindi. Útblástur gróðurhúsalofttegunda vegna „grænnar“ raforkuvinnslu okkar er því mun minni en útblástur vegna raforkuvinnslu samanburðarríkja. Það sama gildir um jaðarkostnað orkuvinnslunnar, þ.e. ekki þarf að greiða fyrir orkugjafann. Kerfislegur jaðarkostnaður í íslenska raforkukerfinu er því sem næst núll við eðlilegan rekstur kerfisins eða þegar engar truflanir eru í kerfinu.

Kerfislegur jaðarkostnaður í íslenska raforkukerfinu stýrist raunar frekar af þeim tilvikum þar sem afhending til notenda er skert, ýmist vegna skertrar vinnslugetu (orkuskorts) eða vegna takmarka í flutningskerfinu. Þessar skerðingar bera með sér samfélagslegan kostnað sem er hinn eiginlegi jaðarkostnaður íslenska raforkukerfisins. Með því að haga rekstri og uppbyggingu kerfisins þannig að

skerðingum er haldið í lágmarki er hagkvæmasta rekstrarfyrirkomulag kerfisins tryggt, samtímis og orkujöfnuður er bestaður.

*Hagkvæmur rekstur raforkukerfa uppfyllir skilyrði
markaðar og flutningstakmarkana*

Í vatnsaflsríkum kerfum líkt og því íslenska eru ákvarðanir um rekstur tengdar innbyrðis í tíma, þ.e. ákvarðanir sem teknar eru um vinnslu í dag hafa áhrif á það mengi ákvarðana sem hægt er að taka á morgun. Í slíkum kerfum er hagkvæmasti rekstur kerfisins fundinn með slembnum² útreikningum þar sem fjölmargar sviðsmyndir um innrennsli vatns í lón og vatnsvegi á hverjum tíma eru notaðar til að herma mismunandi ákvarðanir og útkomur. Nýtt reiknilíkan Landsnets gerir einmitt þetta. Það áætlar hagkvæmasta rekstrarfyrirkomulag kerfisins með því að forgangsraða orkuvinnslu eftir jaðarkostnaði orkugjafans á hverjum tíma á sama tíma og það bestar rekstur orkuforða kerfisins til lengri tíma út frá útreikningum á fjölda mismunandi sviðsmynda. Þá hermir líkanið einnig orkuflæði í flutningskerfinu út frá töpum í línunum og flutningstakmörkum. Þannig finnur líkanið það rekstrarfyrirkomulag sem hefur lægstan jaðarkostnað og jafnframt hagkvæmasta orkujöfnuð á hverjum tíma.

² Slembnar (e. stochastic) breytur hafa handahófskennda eiginleika eða mynstur sem mögulegt er að greina á tölfræðilegan hátt með líkindadreifingum en þó almennt ekki unnt að spá nákvæmlega fyrir um.

Staða og horfur orkujöfnuðar

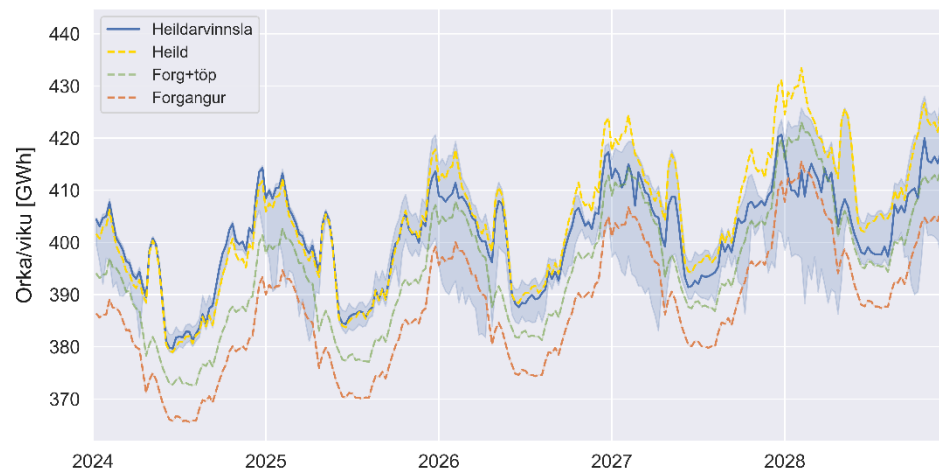
Mynd 3 til Mynd 5 sýna niðurstöður líkansins um framboð og eftirspurn á greiningartímabilinu. Á myndunum sýnir bláa línán miðgildi orkuvinnslugetu (áætlaða heildarvinnslugetu kerfisins), rauða strikalínan sýnir feril spáðrar eftirspurnar forgangsortu, græna strikalínan feril eftirspurnar ásamt töpum og gula línán feril samanlagðs álags forgangsnotkunar, tapa og skerðanlegrar notkunar eða heildarálagið skv. raforkuspá. Þá sýnir skyggða svæðið (ljósblátt) svæði sem afmarkast af P10³ og P90⁴ gildum orkuvinnslugetunnar.

Á Mynd 3 má sjá niðurstöðu reiknilíkansins fyrir sviðsmynd 0. Athyglisvert er að sjá að í upphafi tímabils er ferill miðgildis orkuvinnslugetunnar nærri hámarki orkuvinnslugetunnar (P10 gildinu) en það er eðlileg niðurstaða þar sem tímabilið hefst í löku vatnsári í Þórisvatnsmiðlun, m.ö.o. fáar sviðsmyndir fela í sér meiri orkuvinnslugetu á fyrsta hluta tímabilsins..

Niðurstöðurnar á Mynd 3 sýna að eftir því sem eftirspurn eftir forgangsortu ásamt töpum (græni ferillinn) eykst á greiningartímabilinu skv. raforkuspá, þá eykst einnig hættan á forgangsortuskerðingum. Samanburður rauðu og grænu línunnar (forgangsorta og töp) við neðri jaðar skyggða svæðisins (P90 gildið) sýnir að ef til slæms vatnsárs kemur á tímabilinu eru töluverðar líkur á skerðingu á forgangsortu.

Án aðgerða eykst hættan á skerðingum forgangsortu

Þá sýna niðurstöður að appelsínuguli ferill heildarálagsins dansar í kringum miðgildi orkuvinnslunnar árin 2024 og 2025 en árið 2026 byrjar heildarálagið aukast umfram miðgildi orkuvinnslunnar og fer á tímabilum umfram P10 gildi orkuframboðsins. Heildar orkujöfnuður kerfisins er þar með orðinn neikvæður sem þýðir að orkuvinnsla getur ekki undir neinum kringumstæðum útvegað alla þá skerðanlegu orku sem notendur sækjast eftir nema að það komi til styrkingar á flutningskerfinu (sviðsmynd 1, Mynd 4) eða nýrra virkjana (sviðsmynd 2, Mynd 5). Hér er vert að nefna að þó svo að markmið uppbyggingar á raforkukerfinu sé strangt til tekið ekki að afhenda skerðanlega orku í meiri mæli er það engu að síður mikilvægt vegna loftslagsmála þar sem skerðingum í þeim flokki er jafnan mætt með varaafli sem gengur fyrir jarðefnaeldsneyti.

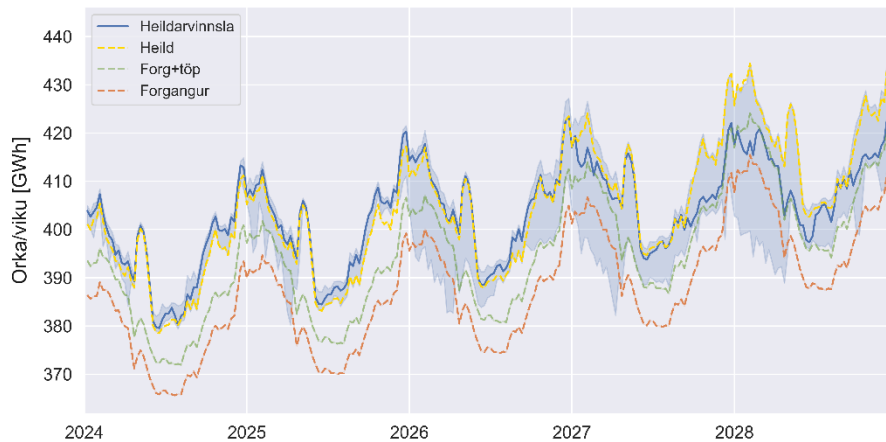


Mynd 3 : Framboð orku samanborið við eftirspurn - sviðsmynd 0

³ 10% hermaðra tilfella gáfu orkuvinnslugetu jafna eða hærra en P10 gildið.

⁴ 90% hermaðra tilfella gáfu orkuvinnslu jafna eða hærra en P90 gildið.

Mynd 4 sýnir niðurstöður sviðsmyndar 1 þar sem gert er ráð fyrir styrkingu flutningskerfisins. Niðurstöður sýna að með styrkingu flutningskerfisins í sviðsmynd 1 á að vera hægt í góðum vatnsárum að anna allri eftirspurn eftir skerðanlegri notkun og minnka þannig útblástur gróðurhúsalofttegunda. Þannig hjálpar styrking flutningskerfisins við að snúa orkujöfnuði í rétta átt. Ef lítið er til meðal vatnsára (miðgildi orkuvinnslugetu) nægir áætluð styrking á flutningskerfinu ekki alltaf ein og sér til að tryggja að ávallt sé hægt að mæta allri eftirspurn án skerðinga á greiningartímabilinu.

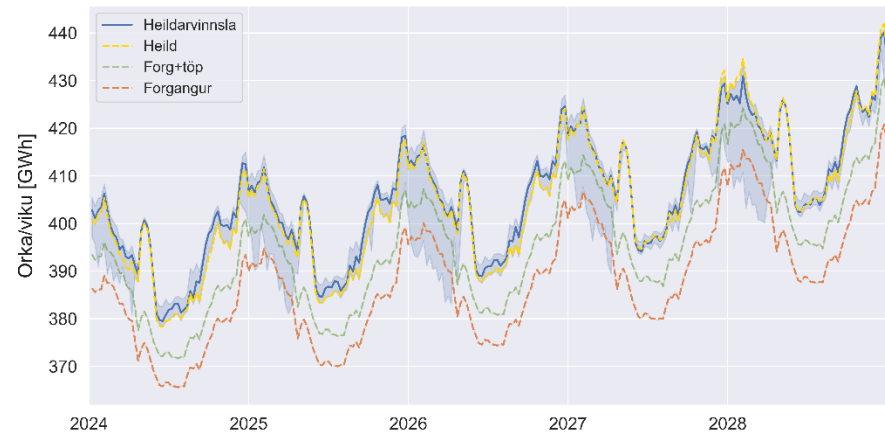


Mynd 4 : Framboð orku samanborið við eftirspurn - sviðsmynd 1

Mynd 5 sýnir niðurstöður sviðsmyndar 2 þar sem búið er að taka tillit til bæði styrkingar flutningskerfisins og aukningar í vinnslugetu. Hér getur miðgildi orkuvinnslu almennt mætt heildarálagi og því má vænta að ný orkuöflun sé lykillinn að því að minnka líkur á orkuskerðingum þegar líður á tímabilið þó svo að styrkingar

á meginflutningskerfinu hafi líka töluverð jákvæð áhrif. Ætla má að þessi styrking nægi þó ekki til að mæta allri eftirspurn í slæmum vatnsárum en kerfisleg uppbygging til að tryggja ávallt nægt framboð er óhagkvæm og því eðlilegt að gera ráð fyrir einhverjum skerðingum í slæmum vatnsárum. Í raun er skerðingarákvæðum raforkusölusamninga stærri notenda ætlað að koma í veg fyrir offjárfestingu.

Einnig er vert að benda á að í niðurstöðum sviðsmyndar 2 liggja miðgildi (P50) orkuframboðs og P90 gildi saman yfir sumartímann sem þýðir að vinnsla nær að anna allri eftirspurn eftir orku, forgangs- og skerðanlega. Breytileikinn kemur fram yfir vetrartímann þegar innrennsli í uppistöðulón er lítið.



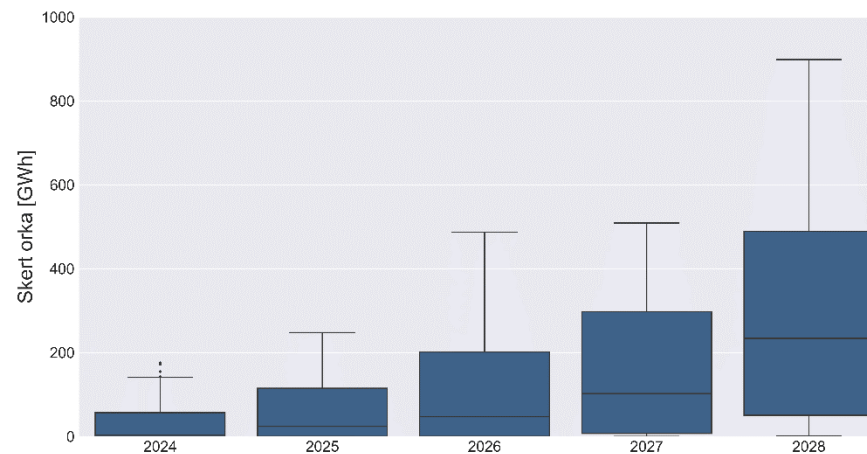
Mynd 5 : Framboð orku samanborið við eftirspurn - sviðsmynd 2

Skarðingar

Á næstu myndum (Mynd 6-Mynd 14) má sjá niðurstöður útreikninga á skarðingum fyrir tímabilið 2024 – 2028. Myndirnar sýna heildarmagn skarðinga á ársgrundvelli

ásamt líkindadreifingu m.v. framboð orku. Umfang skerðinga er sýnt á kassariti (e. boxplot). Innan kassanna er svokölluð fjórðungaspönn⁵ (e. interquartile range, IQR) og T-laga línurnar sem standa upp og niður úr kössunum eru kallaðar skegg (e. whiskers) og marka 1,5 sinnum fjórðungaspönnina og er þeirri skilgreiningu ætlað að sía frá útlaga (e. outliers) gagnanna. Punktarnir utan skeggsins eru útlagar sem eru tölfraðilega frábrugðnir öðrum gildum. Þeim mun lengri sem kassinn sem táknar fjórðungaspönn er, því meiri dreifing er á gildum og staðsetning miðgildislínu (svarta línán í kössunum) sýnir hvar þéttni gilda er mest. Þetta þýðir að ef miðgildislína er neðarlega í kassanum er þéttni lægri gilda meiri. Í þessum skilningi má túlka miðgildislínuna sem líklegustu niðurstöðu.

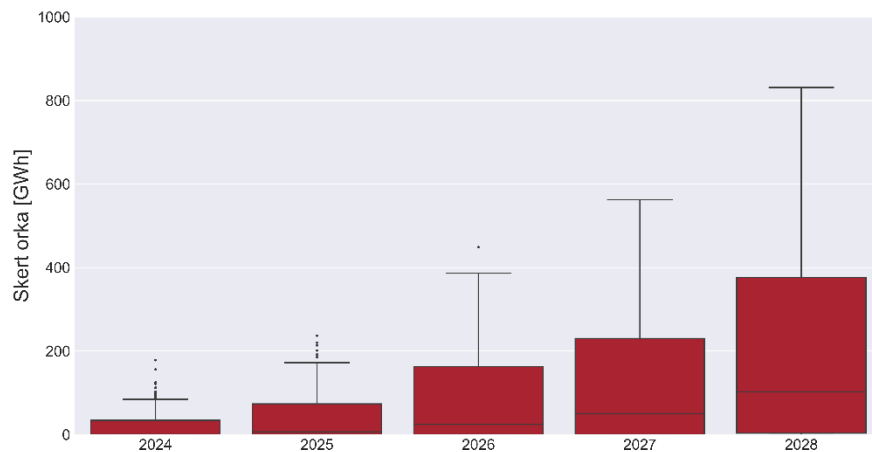
Myndræn framsetning af þessu tagi gefur góða mynd af stærstum hluta gilda fyrir skerðingar án þess að niðurstöðurnar verði fyrir áhrifum af ódæmigerðum gildum (útlögum). Í samhengi orkujöfnuðar þá sýnir fjórðungaspönnin þau gildi skerðinga sem teljast tölfraðilega líklegust en vægi gildanna þar fyrir utan, þó möguleg séu, ættu ekki að vera ofmetin. Mikilvægt er þó að þeim sé haldið til haga. Ekki er hægt að draga miklar ályktanir af misjafnri lengd skeggsins (ofan kassa og neðan) þar sem skerðingar verða vitaskuld aldrei minni en núll.



Mynd 6 : Heildarorkuskerðingar í sviðsmynd 0

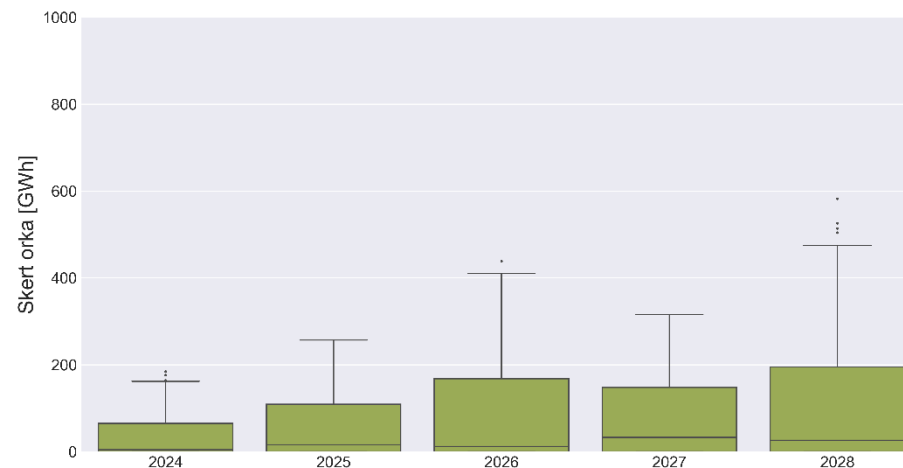
Sjá má á Mynd 6 að fyrir sviðsmynd 0 mun heildarmagn orkuskerðinga líklega fara ört vaxandi á tímabilinu þegar engin uppbygging í raforkukerfinu kemur til. Sjá má að skerðingar upp á allt að 500 GWh falla innan tölfraðilega markverðra niðurstaðna og allt að 700-900 GWh ef horft er til meiri og óhagstæðari breytileika.

⁵ Fjórðungaspönn markast af 25tu og 75tu prósentumörkum tölulegu gagnanna. Þessi prósentu mörk eru jafnan kölluð fyrstu og þriðju fjórðungsmörk.



Mynd 7 : Heildarorkuskerðingar í sviðmynd 1

Samanburður sviðmynda 0 og 1 sýnir að heildarskerðingar minnka heldur en þó ekki að því marki sem æskilegt getur talist. Þetta rennur stoðum undir það að flutningskerfið er komið að mörkum þess sem hægt er að ná út úr því og virkjun nýrrar orku er nauðsynleg til að snúa þróuninni við. Því skal þó haldið til haga að í þeim framkvæmdum í flutningskerfinu sem sviðmynd 1 gerir ráð fyrir, næst ekki að klára samtengingu milli landshluta (Holtavörðuheiðarlína 3 er áætluð í rekstur árið 2029). Það má gera ráð fyrir að niðurstaðan væri mun betri væri hún komin inn enda hafa aðrar keyrslur orkulíkansins gefið það til kynna.



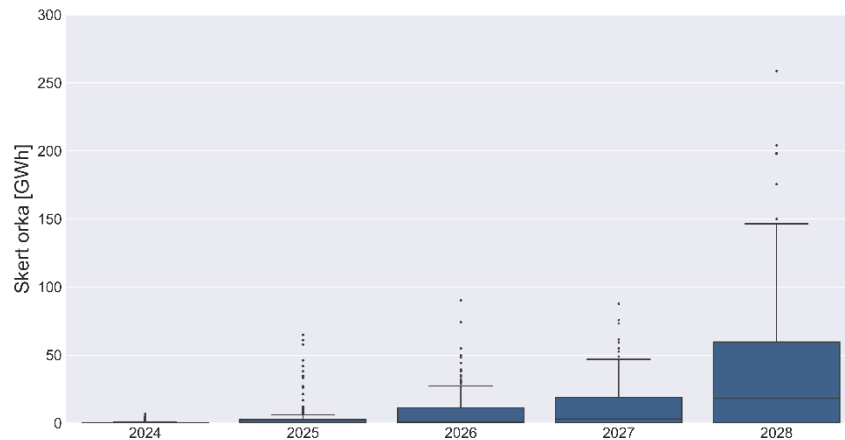
Mynd 8 : Heildarorkuskerðingar í sviðmynd 2

Í sviðsmynd 2 sést glögglega að tilhneiging kerfisins til orkuskerðinga minnkar þó nokkuð árin 2027 og 2028, sérstaklega ef horft er til miðgildis þar sem mesta þéttni niðurstaðna liggur. Það er í samræmi við væntingar að aukin orkuöflun hafi meiri áhrif til þess að fyrirbyggja orkuskort en þó er enn möguleiki á skerðingum í þurrum árum. Þó að ástandið rétti úr kútnum eftir árið 2026 má ekki sofna á verðinum því að árið 2028 er verra en árið 2024 með þessu móti ef notkunarforsendur ganga eftir. Því er rétt að álykta að enn meiri orku þarf inn á kerfið eins fljótt og mögulegt er svo að aðgengi að orku verði ekki á sama (eða verri) stað í lok tímabils og nú er.

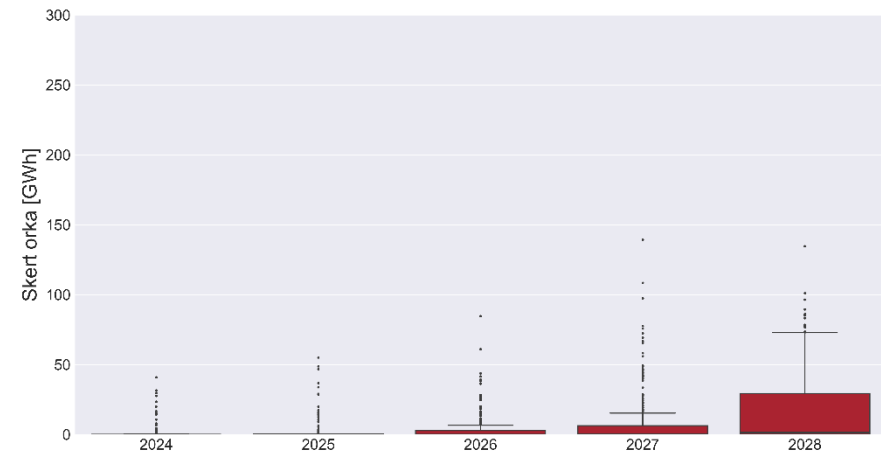
Skerðingar forgangsnotkunar

Í ofangreindu mati á skerðingum fyrir tímabilið 2024-2028 er um að ræða allar skerðingar, þ.m.t. skerðingar hjá stórnotendum skv. heimildum sem nýttar eru til að mæta orkuskorti. Orkulíkanið metur einnig áhrif á forgangsnotkun umfram þessar skerðingarheimildir, þá er um að ræða alla forgangsnotkun hvort sem um er að ræða stórnotkun (þar sem skerðingarheimildir hafa ekki dugað til) eða skerðingar hjá almennum notendum.

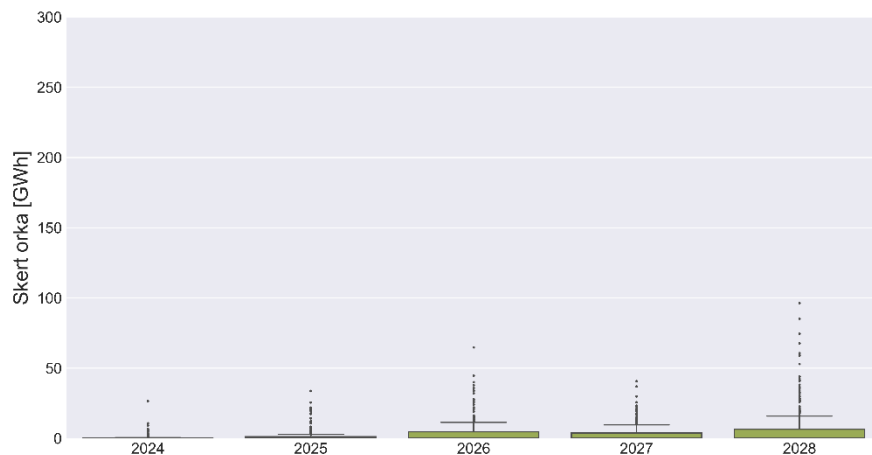
Á Mynd 9 til Mynd 11 eru niðurstöður skerðinga á forgangsorku sýndar í formi kassarita. Sjá má svipaða þróun í öllum sviðsmyndum fyrir skerðingar forgangsorku og fyrir skerðingar heildarorku. Sviðsmyndum 0 og 1 ber saman um að árið 2028 eru forgangsorkuskerðingar um og yfir 50 GWh á ári raunhæfur möguleiki.



Mynd 9 : Samanlagðar skerðingar forgangsorku umfram ákvæði í sviðsmynd 0



Mynd 10 : Samanlagðar skerðingar forgangsorku umfram ákvæði í sviðsmynd 1



Mynd 11 : Samanlagðar skerðingar forgangsortu umfram ákvæði í sviðsmynd 2

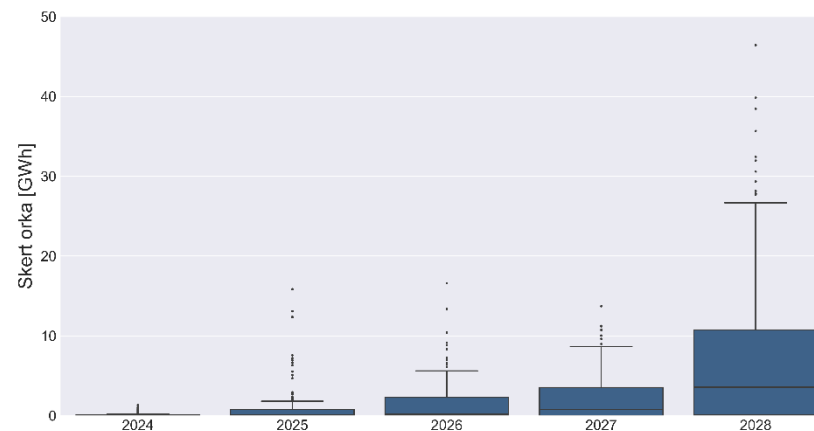
Ef kafað er ennþá dýpra í samsetningu þessara skerðinga má sjá hvernig skerðingar hjá almennum notendum koma til með að þróast á tímabilinu. Á Mynd 12 til Mynd 14 er búið að aðskilja skerðingar hjá stórnotendum frá gögnunum og sýna þær því skerðingar sem falla beint á almenna notendur. Taka þarf eftir því að skalinn á orkuásum á Mynd 12 til Mynd 14 er annar en á kassaritunum að ofan.

Ljóst er að meiri orku þarf inn á kerfið til að fyrirbyggja hættu á skerðingum hjá almennum notendum.

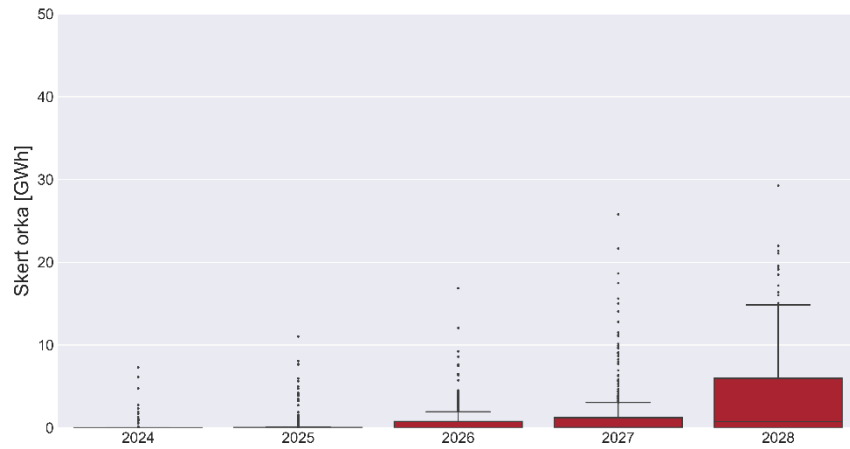
Aukinheldur má sjá að þegar horft er á forgangsortuskerðingar sérstaklega (og skerðingar á almennu álagi) má sjá að fjöldi útlaga í niðurstöðum eykst til muna.

Þetta þýðir að niðurstöður sem sýna umfangsmeiri skerðingar á þessum tveimur hlutmengjum skerðinga eru ólíklegri en eftir sem áður mögulegar og afleiðingar af þeim gríðarlega alvarlegar skyldu þær raungerast. Árið 2028 er líklegt bil skerðinga (sviðsmynd 2) hjá almennum notendum skv. Mynd 14 undir 5 GWh og miðgildi er nærri núlli en án aðgerða í raforkuferfinu er líklegt að skerðingar hjá almennum notendum árið 2028 verði meiri (sviðsmynd 0). Þar er miðgildið í um 4 GWh.

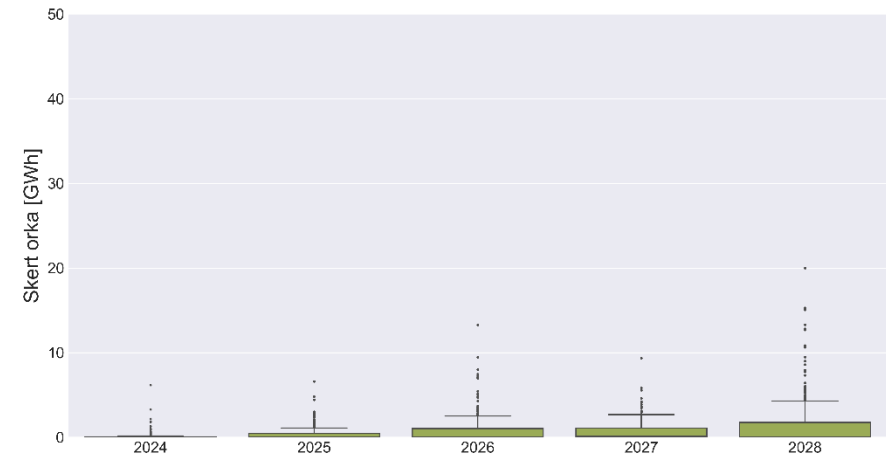
Eins og áður sagði eru skerðingarheimildir í stórnotendasamningum eðlileg ráðstöfun til að fyrirbyggja offjárfestingu en þessar heimildir eru ráðstöfun sem gripið er til í orkuskorti. Skerðingar á forgangsortkun og þær með hjá almennum notendum eru þó óeðlilegt ástand og leitast þarf við að styrkja kerfið og afla orku þannig að þessir notendahópar séu sem best varðir án þess inngrip þurfi til. Niðurstöður á Mynd 12 og Mynd 14 eru því til merkis um að ef framkvæmdir í forsendum sviðsmyndar 2 raungerast ætti skerðingar umfram heimildir í flestum tilfellum að vera sem næst engar ef horft er á miðgildislínu.



Mynd 12 : Orkuskerðingar almennrar notkunar í sviðsmynd 0



Mynd 13 : Orkuskerðingar almennrar notkunar í sviðsmynd 1

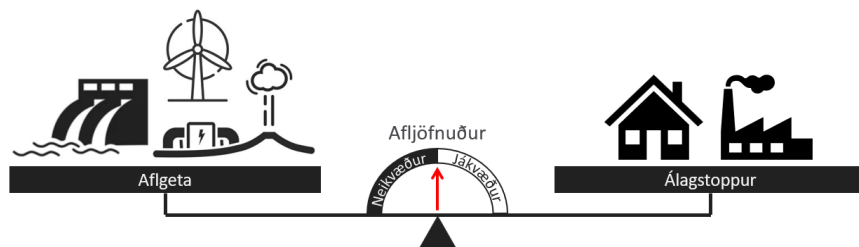


Mynd 14 : Orkuskerðingar almennrar notkunar í sviðsmynd 2

Í viðauka I má finna myndrænt yfirlit yfir orkujöfnuð landsvæða og samanburð hans í byrjun og lok tímabilsins 2024 til 2028 fyrir allar sviðsmyndir.

Afljöfnuður

Afljöfnuður er sambærilegur mælikvarði og orkujöfnuður nema hann metur getu raforkukerfisins til að mæta álagstoppum. Þannig er jákvæður afljöfnuður þegar aflgeta kerfisins er næg til að mæta helstu aftoppum og neikvæður þegar svo er ekki. Líkt og með orkujöfnuð þá hafa flutningstakmarkanir áhrif á afljöfnuð þar sem þær geta skert afhendingargetu til einstaka tengipunkta eða landsvæða. Mynd 15 sýnir einfalda skýringarmynd af sambandi aflgetu og aftoppa á afljöfnuð.



Mynd 15 : Einföld skýringarmynd afljöfnuðar

Til að leggja mat á afljöfnuð í raforkukerfum er stuðst við áreiðanleikastuðla, líkt og LOLE (e. Loss of Load Expectation) og EENS (e. Expected Energy Not Supplied), sem segja til um getu kerfisins til að mæta álagstoppum. Markmið útreikninga þessara stuðla er að gefa vísbendingu um stöðu kerfisins m.t.t. afhendingargetu á hverjum tíma. Ef niðurstöður sýna að afljöfnuður sé neikvæður, skal túlka það sem vísbendingu um að ráðast þurfi í framkvæmdir til að tryggja nægt uppsett afl til að mæta spáðu álagi.

⁶ Monte Carlo aðferðin leysir slembin töluleg vandamál sem í grunnin gætu verið löggeng (e. deterministic). Hugmynd á bak við aðferðina er að ef vandamál með slembnum breytum er leyst oft, með handahófskenndu vali á gildi breytnanna í hverri lausn, fæst tölfærðileg niðurstaða sem

Nýtt reiknilíkan Landsnets reiknar afljöfnuð út frá aflgetu og álagi í raforkukerfinu auk þess að taka tillit til flutningstakmarkana. Það hermir kerfið klukkustund fyrir klukkustund fyrir mikinn fjölda mögulegra tilvika með svokallaðri Monte Carlo aðferð⁶. Fyrir hvert tilvik er tekið tillit til breytna sem eru mikilvægar upp á afljöfnuð kerfisins eins og vinnslugetu, álag, áreiðanleika eininga (vinnslueininga, flutningslína og spennu), flutningstakmarkanir, skerðingarheimildir o.fl. Líkanið heldur svo utan um stærð orkuskerðingar (e. Energy Not Supplied, ENS) í þeim tilvikum þar sem vinnsla getur ekki mætt álagi. Meðaltal allra skerðinga fyrir hverja klukkustund gefur áætlaða skerðingu fyrir tiltekna klukkustund og summa skerðinga allra klukkustunda innan árs gefur reiknaðan skort á orku til afhendingar eða EENS.

EENS stuðullinn segir til um þá orku sem ekki er hægt að afhenda vegna takmarkaðrar aflgetu í kerfinu.

Annar mælikvarði á afljöfnuð sem Landnet hefur stuðst við í fyrri greiningum á afljöfnuði er reiknað tap á aflafhendingu eða LOLE. Niðurstöður LOLE segja til um þann fjölda kerfisklukkustunda⁷ sem álagi getur ekki verið mætt sökum takmarkaðrar aflgetu í kerfinu og eru fengnar með því að deila EENS hvers árs með hæsta aftoppi þess árs.

Afleiddur stuðull af LOLE er líkur á tapaðri aflafhendingu eða LOLP (e. Loss of Load Probability) en hann segir til um líkur á því að ekki sé hægt að mæta álagi sökum

hægt er að nota til að nálgast hinu „réttu“ lausn vandamálsins. Aðferðin gefur því ekki óyggjandi niðurstöðu en með nægilega mörgum ítrunum fæst vísir að réttu niðurstöðunni.

⁷ Kerfisklukkustund jafngildir einnar klukkustundar álagi á tíma hæsta aftoppis.

takmarkaðrar aflgetu í kerfinu. LOLP er fengið með því að deila LOLE með fjölda klukkustunda í ári.

Staða og horfur afljöfnuðar

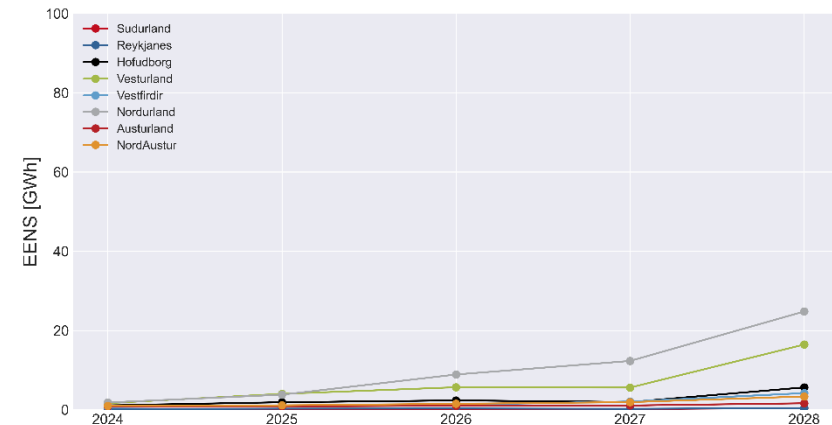
Hér á eftir gefur að líta niðurstöður áreiðanleikalíkans fyrir EENS. Myndirnar sýna EENS skipt niður á landshluta.

Fyrir sviðmynd 0, á Mynd 16 má sjá að EENS fer hækkandi á tímabilinu fyrir flesta landshluta, þá sérstaklega Vesturland, Norðurland og Höfuðborgarsvæðið. Hækkunirnar fyrir Vesturland og Norðurland eru einkum og sér í lagi vegna aukins þrýstings á flutning um snið IIIb. Hækkunina fyrir höfuðborgarsvæðið má sjá gegnumgangandi fyrir allar sviðsmyndir en hún er einkum til komin vegna aukinnar raforkunotkunar og laks áreiðanleika á afhendingarstað í Öldugötu sem tengdur er með einum jarðstreng. Ekki er tekið með í reikninginn að til er varaleið fyrir afhendingu til Hafnarfjarðar um kerfi HS Veitna en mikilvægt er þó að tvítengja Öldugötu og er Landsnet þegar farið að leggja drög að því.

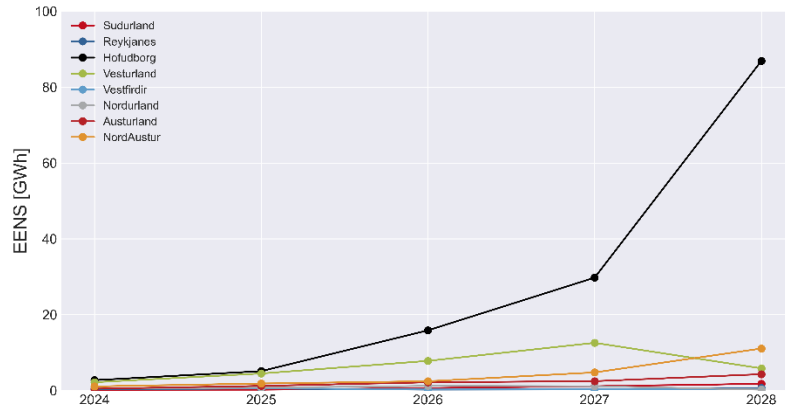
Þessi mikla hækkun á EENS fyrir höfuðborgarsvæðið (Mynd 17) skýrist líklega af því að þegar léttu tekur á flutningstakmörkunum í meginflutningskerfinu afhjúpast kerfisbundnir veikleikar við höfuðborgina sem komu ekki í ljós í sviðsmynd 0 (Mynd 16). Þegar litið er til sviðsmyndar 2 á Mynd 18 má sjá að mikið dregur úr þessu þegar aukin orka kemur inn á kerfið sunnan megin á landinu. Eftir stendur umrædd þörf á styrkingu á tengingu Öldugötu sem mun setja á dagskrá fljótlega. Ástæða er til að greina ítarlegar orsök aukningar EENS á höfuðborgarsvæðinu en ljóst er að nýta þarf orkuvinnslukosti sunnan sniðs IIIb til þess að tryggja afhendingaröryggi höfuðborgarinnar. Aukin raforkunotkun vegna orkuskipta spilar þarna einnig stórt hlutverk.

Í sviðsmyndum 1 og 2 má sjá að Vesturland og Norðurland fara að rétta úr kútnum eftir árin 2026 og 2027. Fyrir Vesturland er ástæðan sú að takmörkunum er létt af

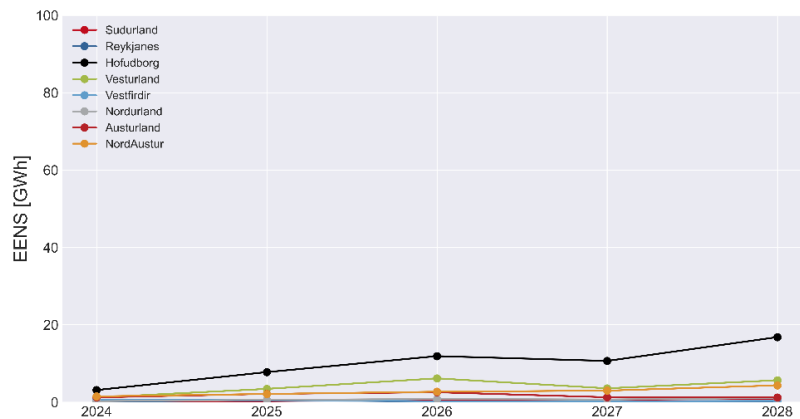
afhendingu á Blönduósi með tilkomu nýs tengivirkis á Hryggsteck sem rýmkar fyrir flutningi um núverandi snið IIIb. Einnig rýmkar fyrir afhendingu á Vesturlandi með sömu framkvæmd. Líkanið gerir enn fremur ráð fyrir að Reykjanes sé sjálfbært með raforkuvinnslu í því tilfalli að Suðurnesjalína 1 detti út. Virkjanir á Reykjanesi leysa nær alltaf út af kerfinu við truflun á henni og því er sá fyrirvari settur við Mynd 16 - Mynd 18 að EENS fyrir Reykjanes er að öllum líkindum vanmetin.



Mynd 16 : EENS eftir landsvæðum fyrir sviðsmynd 0



Mynd 17 : EENS eftir landsvæðum fyrir sviðsmynd 1



Mynd 18 : EENS eftir landsvæðum fyrir sviðsmynd 2

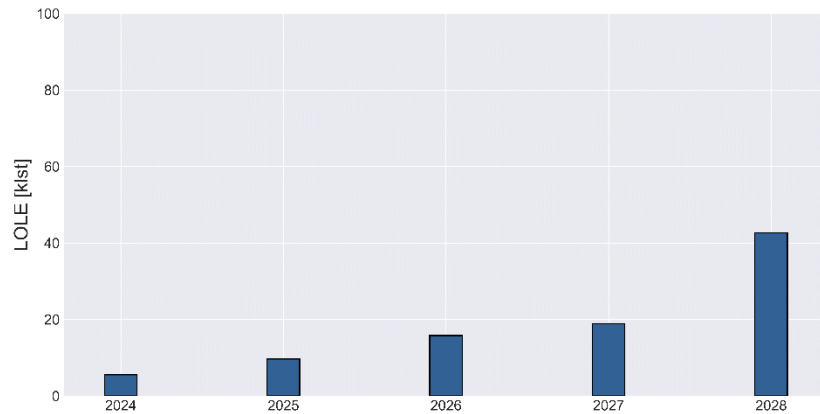
Sjá má glögglega að þróun EENS verður ennþá betri fyrir öll landsvæði með tilkomu nýrrar orkuvinnslu á Mynd 18. Höfuðborgarsvæðið situr þá eftir í um 20 GWh en eins og áður var vikið að er það vegna einfaldrar tengingu á Öldugötu í Hafnarfirði sem þegar er byrjað að leggja drög að úrbótum fyrir með tvítengingu.

Líkur á aflskorti

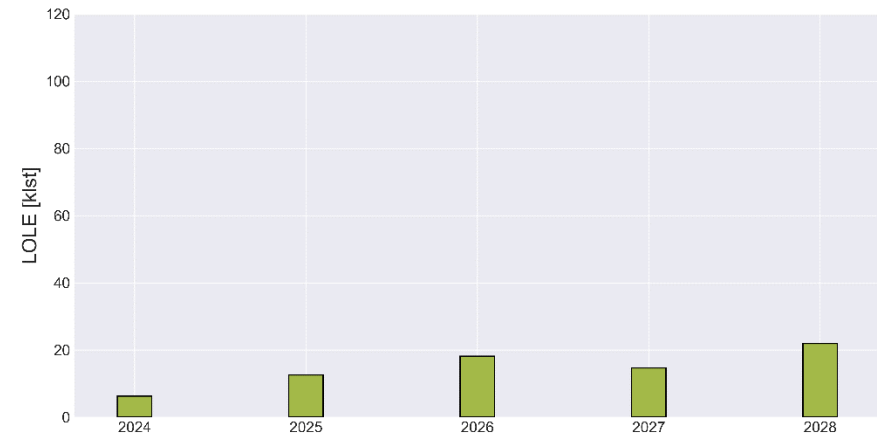
Líkur á aflskorti eða LOLE er reiknað út frá EENS fyrir kerfið í heild sem hlutfall af heildarafltoppi útmötunar kerfisins fyrir árið. Niðurstaðan er gefin í klst. Í síðasta afljöfnuði sem gefinn var út árið 2022 kom fram að LOLE gæti orðið allt að 3 klst árið 2026.

Sjá má að líkur á aflskorti eru umtalsvert yfir gömlu markmiði Landsnets um 0,88 klst á ári. Stór ástæða fyrir þessu er að í eldri aðferðafræði fyrir útreikningana var ekki tekið tillit til áreiðanleika flutningskerfisins að öðru leyti en að horft var til áhrifa flutningstakmarkana á vinnslugetu virkjana. Eldri aðferðafræði gerði ráð fyrir að öll notkun og vinnsla (með aðlögun vegna flöskuhálsa) var tengd við einn og sama tengipunkt þannig er gerð sú nálgun að milli notkunar og vinnslu sé ekki hættá að rof flutningseininga raski aðgengi notenda að afli. Þetta rennir stoðum undir það að endurskoða þurfi viðmiðið í nýrri aðferð útreikninga. Sé markmiðið of lágt krefst það aukinna fjárfestinga í flutnings- og vinnslukerfinu á kostnað hagkvæms reksturs þess. Heimildir til skerðinga eru byggðar inn í kerfið til að auka hagkvæmni án þess að lækka öryggi afhendingar svo miklu sætir en hættan er sú, eins og núverandi ástand sýnir, að gengið sé á öryggið þannig að hagkvæmni hraki einnig. Passa þarf að stilla markmið um líkur á aflskorti þannig að mörkin milli hagkvæmni og öryggis séu þannig að greiningar sem þessar sendi rétt skilaboð.

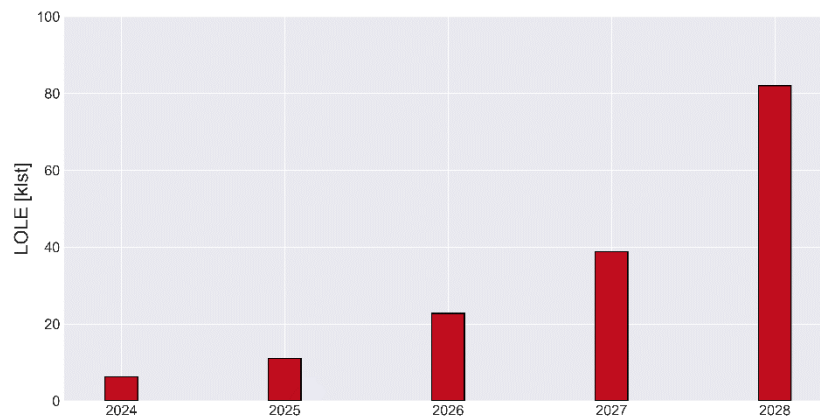
Á Mynd 19 - Mynd 21 má sjá nýtt mat á LOLE í klukkustundum fyrir sviðsmyndir 0, 1 og 2 samanborið við gamla markmiðið. Ljóst er að þegar áreiðanleiki flutningskerfisins er hluti af útreikningum fyrir tiltæki aflgetu þá er um að ræða töluvert aðra stærðargráðu.



Mynd 19 : LOLE fyrir sviðsmynd 0



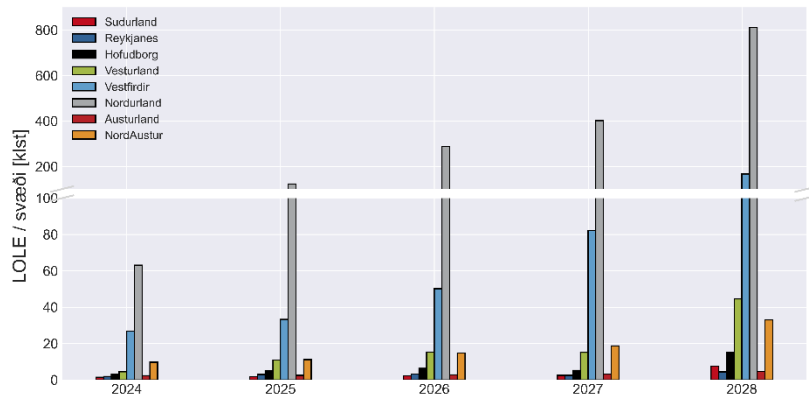
Mynd 21 : LOLE fyrir sviðsmynd 2



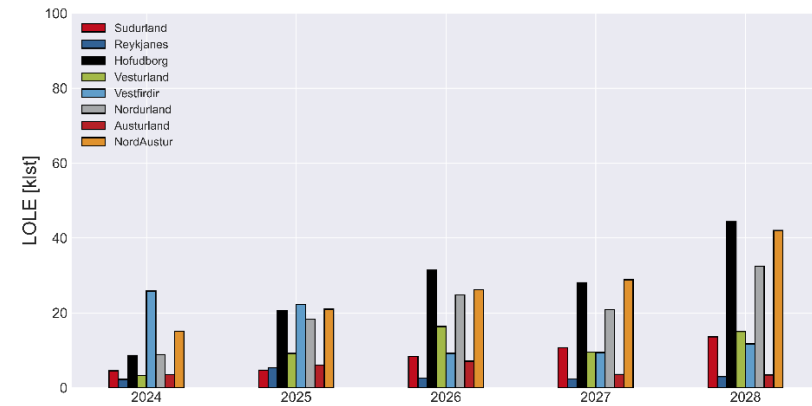
Mynd 20 : LOLE fyrir sviðsmynd 1

Á Mynd 19 - Mynd 21 má sjá að þrátt fyrir styrkingar og nýja orkuvinnslu eru líkur á aflskorti metnar talsvert yfir gömlu markmiði Landsnets sem er innan við 1 klst/ár. Erlendis er markmið um LOLE gjarnan á bilinu 3 til 5 klst í þeim löndum sem Landsnet hefur upplýsingar um. Út frá þessum má álykta að nýtt markmið verði sett um þennan stuðul sem endurspeglar kerfisaðstæður hér á landi (eyjakerfi) og kostnaðinn við það að lækka líkur á aflskorti. Nýtt markmið þarf að endurspeglar þá hagkvæmni og virðissköpun sem fólgin er í að ná því.

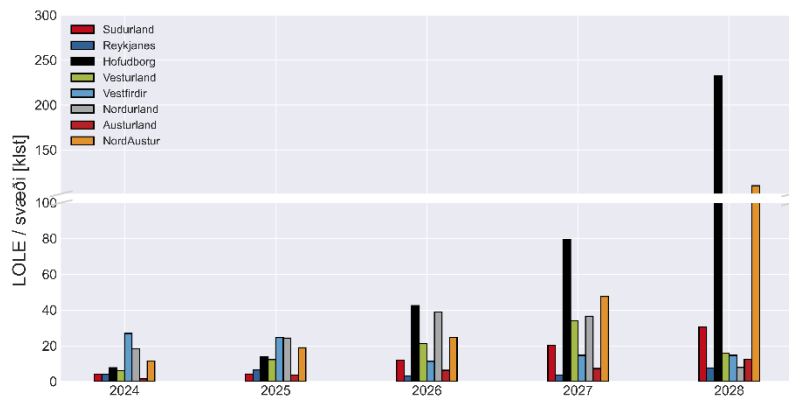
Myndir 22-24 sýna líkur á aflskorti, LOLE, skipt niður á landshluta. Þar má glögglega sjá áðurnefnda aukningu á LOLE fyrir höfuðborgarsvæðið á Mynd 23.



Mynd 22 : LOLE eftir landsvæðum, sviðmynd 0.



Mynd 24 : LOLE eftir landsvæðum, sviðsmynd 2.



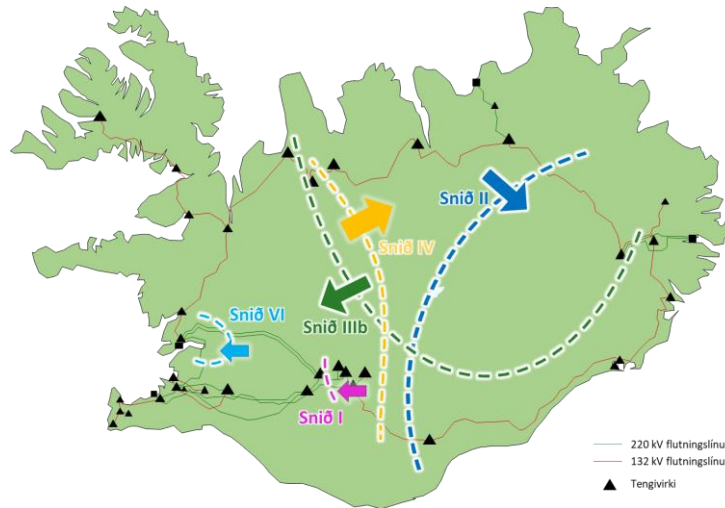
Mynd 23 : LOLE eftir landsvæðum, sviðsmynd 1.

Ofangreindar niðurstöður fyrir EENS og LOLE sýna ótvírætt að styrking flutningskerfisins og uppbygging nýrra innviða til orkuvinnslu eru órjúfanleg heild og að flutningskerfið á Suðvesturlandi er á nokkuð hraðri leið að þölmörkum. Mikilvægt er þó að hafa í huga að samtenging landshluta næst ekki inn á fimm ára tímabilið sem hér er skoðað. Leiða má líkur að því að ef hennar nyti við gæti vélaafli á Norður- og Austurlandi staðið betur undir mögulegum aflskorti á Suðvesturhorninu.

Raforkukerfið - orkuflæði

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 öryggismörkunum og eru gjarnan tengingar milli svæða. Í kerfisáætlun⁸ segir jafnframt:



Mynd 25 : Helstu snið í flutningskerfinu

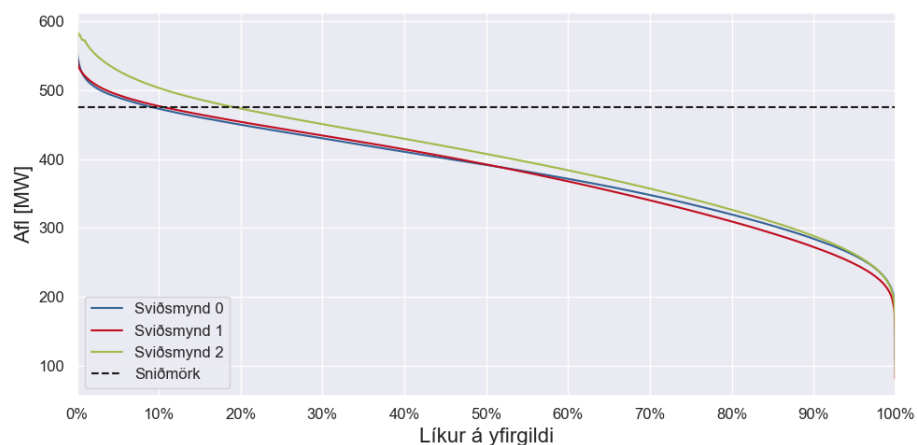
„Megintilgangur með skilgreiningu sniðanna er að fylgjast með því að afflutningur um sniðið verði ekki það mikill að einföld truflun valdi óstöðugleika í kerfinu, eða kerfishruni. Flutningur innan þessara svokölluðu stöðugleikamarka sniða tryggir að kerfisreksturinn haldist stöðugur við einfalda truflun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

Sniðmörk miðast við að stöðuleika sé viðhaldið þrátt fyrir einfalda truflun

Mynd 26 – Mynd 30 sýna aflflæði um flutningssnið kerfisins í formi langæislína (e. duration curve). Langæislínur eru töluleg gildi sem endurraðað hefur verið eftir stærð til samanburðar við ákveðið há- eða lágmark. Þannig má sjá hversu stórt hlutfall tímans (hér 5 ár) flæði er yfir/undir mörkunum eða viðmiði. Nánari skýringu á hvernig lesa skal úr slíkum langæislínuritum má finna í viðauka III.

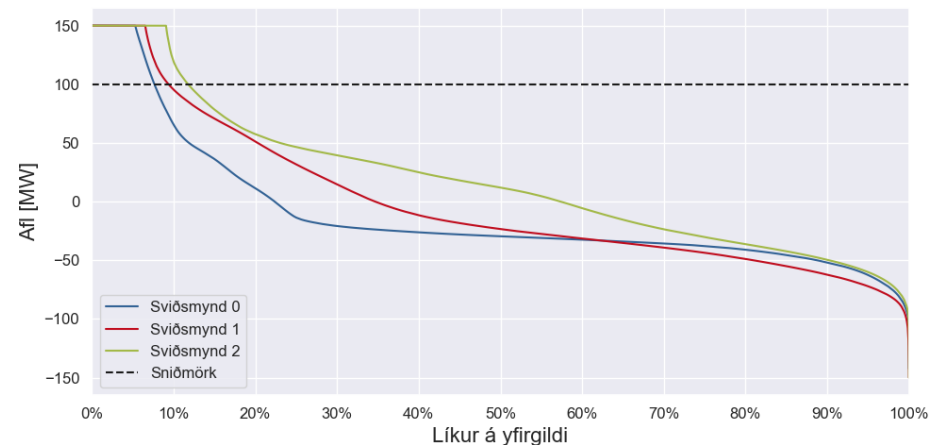
Mynd 26 sýnir flutning um snið I. Þetta snið markast af Hrauneyjafosslínu 1 (HR1) og Sigöldulínu 3 (S13). Mörk sniðsins eru 475 MW og eru tilkomin vegna N-1 tilfellisins að S13 leysi út og yfirlesti HR1. Sjá má að meiri líkur eru á yfirkeyrslu sniðsins í sviðsmyndum 1 og 2 en þetta snið mun líklega ekki verða til mikilla vandræða á næstu 5 árum. Með aukningu í uppsettu afli vegna stækkana virkjana á efri hluta Þjórsár-Tungnaárvæðis kemur þetta snið til með að verða takmarkandi og þarf Landsnet að huga að því á næstu árum.

⁸ Nánari umfjöllun um sniðin má lesa í Langtímaáætlun um þróun flutningskerfis raforku – Landsnet-23022, bls. 15-20



Mynd 26 : Langæislinur flæðis yfir snið I fyrir allar sviðsmyndir

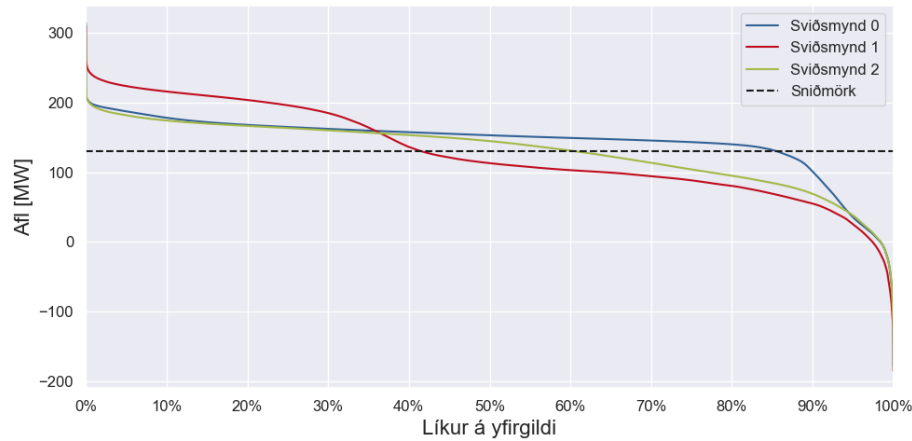
Sama má segja um snið II á Mynd 27 en það hefur ekki verið mjög lestað síðustu árin. Það markast af Sigöldulínu 4 (S14) og Kröflulínu 2 (KR2). Mörk þess eru 100 MW og markast af stöðugleikamörkum byggðalínu til austurs, mörkin voru stillt á 150 MW í líkani til að kanna líkur á yfirkeyrslu þess. Snið II er eiginlegur forveri Sniðs IV sem fjallað verður um síðar.



Mynd 27 : Langæislinur flæðis yfir snið II fyrir allar sviðsmyndir

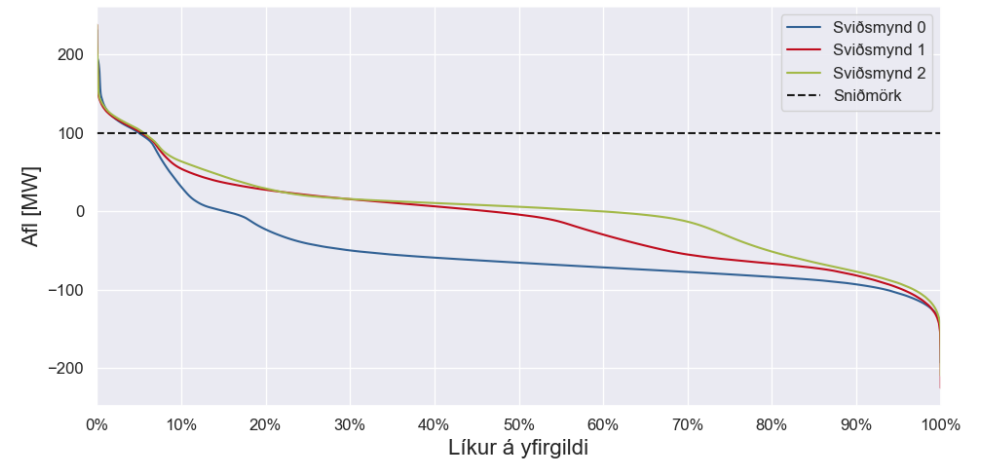
Snið IIIb er sennilega atkvæðamesta flutningstakmörkun meginflutningskerfisins og markast af Blöndulínu 1 (BL1) til vesturs og Fljótsdalslínu 2 (FL2) til austurs enda má sjá að það verður yfirkeyrt stærstan hluta tímabilsins í sviðsmynd 0 eða um 80% tímans. Flutningur leitast þó ekki við að verða mikið meiri en 200 MW. Ef virkjað yrði meira á Norður- og Norðausturlandi myndi þó þrýstingur á sniðið aukast, sér í lagi ef notkunaraukning er sunnan sniðsins á móti. Virkjanaaðilar sæta færís uns sterkari tenging er komin á milli landshluta með að virkja norðan sniðsins. Þetta þýðir að snið IIIb kemur veg fyrir að hægt sé að nýta hagkvæma virkjanakosti á Norður- og Norðausturlandi.

Horfa þarf á niðurstöðu fyrir sviðsmyndir 1 og 2 með það í huga að sniðið mun færast af FL2 yfir á Teigarhornslínu 1 (TE1) þegar nýtt tengivirki verður komið í rekstur á Hryggstekk. Línurnar sýna engu að síður minnkaðan þrýsting á sniðið.



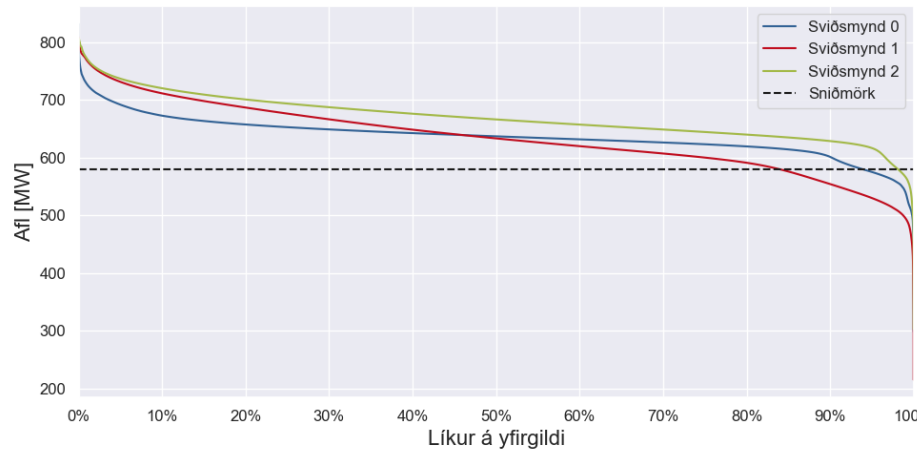
Mynd 28 : Langæislinur flæðis yfir snið IIIb fyrir allar sviðsmyndir

Sjá má að snið IV á Mynd 29 sem markast af Blöndulínu 2 (BL2) og Sigöldulínu 4 (SI4) er mjög ólíklegt til að valda röskunum á flutningi næstu 5 ár enda er snið IV eins konar andstæða við snið IIIb. Sögulega hefur sniðið verið til vandræða en það hefur gerst í tilfelli slæmra vatnsára í miðlunum Kárahnjúkavirkjunar áður en þeistareykjavirkjun kom til sögunnar.



Mynd 29 : Langæislinur flæðis yfir snið IV fyrir allar sviðsmyndir

Snið VI er nær alltaf keyrt yfir mörkum eins og sjá má á Mynd 30. Sniðið markast af Brennimelslínu 1 (BR1) og Sultartangalínu 1 og 3 (SU1 og SU3) og er skilgreint vegna yfirlestunar lína í truflanatilfellum á Sultartangalínu 3. Þrýstingur á þetta snið hefur farið vaxandi með aukningu notkunar á Grundartanga og er þetta snið ein af ástæðunum fyrir því að ekki er unnt að bæta við nýjum notendum á Grundartanga þrátt fyrir talsverðan áhuga. Þetta snið leysist að stóru leyti með styrkingu á BR1 sem hefur verið í biðstöðu í þónokkurn tíma.



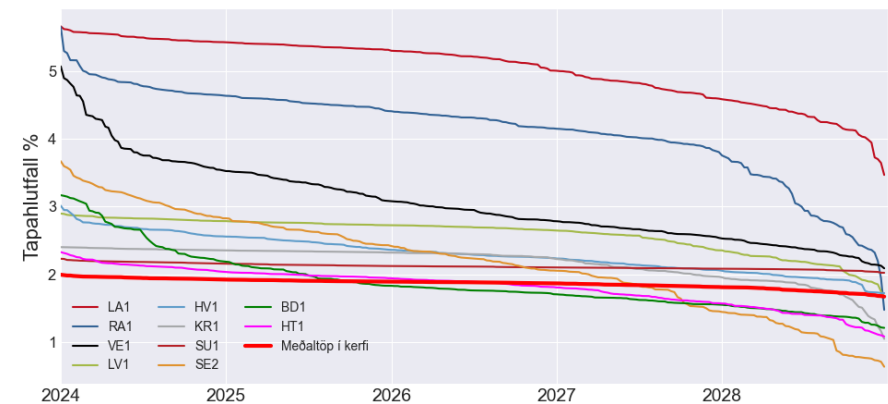
Mynd 30 : Langæislínur flæðis um snið VI fyrir allar sviðsmyndir

Flutningstöp

Talsverð orka tapast í flutningskerfinu, einkum vegna viðnáms í leiðurum flutningslína og vafningum aflspenna. Til þess að mæta þessum töpum kaupir Landsnet orku eins og hver annar notandi. Hægt er að draga úr þessum töpum með því að setja sverari leiðara í flutningslínur (og minnka þannig viðnám) en til þess þarf oft að styrkja burðarvirki þeirra þar sem sverari leiðarar eru þyngri. Það er mikilvægt umhverfismál að draga úr notkun kerfisins á orku sem tapast að mestu leyti í hita. Landsnet horfir meira til þessa þáttar í því skyni að draga úr soun og kostnaði vegna innkaupa á orku til flutningstapa. Verð á töpum hefur farið ört hækkandi á síðustu árum.

Til þess að skoða hvar meiri orka er að tapast en nauðsynlegt er þarf að skoða hlutfallsleg töp lína. Ekki er rétt að skoða orkutölurnar sjálfar því að línur flytja mismikla orku. Hlutfallsleg töp eru orkutöp sem hlutfall af fluttri orku. Niðurstöður fyrir tapahlutfall lína má sjá á Mynd 31 til Mynd 33.

Á Mynd 31 - Mynd 33 má sjá hlutfallsleg töp þeirra 10 flutningslína sem hafa hæstu tapahlutföllin í kerfinu til samanburðar við meðaltöp kerfisins í heild. Þessar línur fela í sér stærstu tækifærin í þróun kerfisins til að draga úr töpum. Þegar eru til áætlanir fyrir nokkrar af þessum línur, hvort sem er styrkingar eða niðurrif.

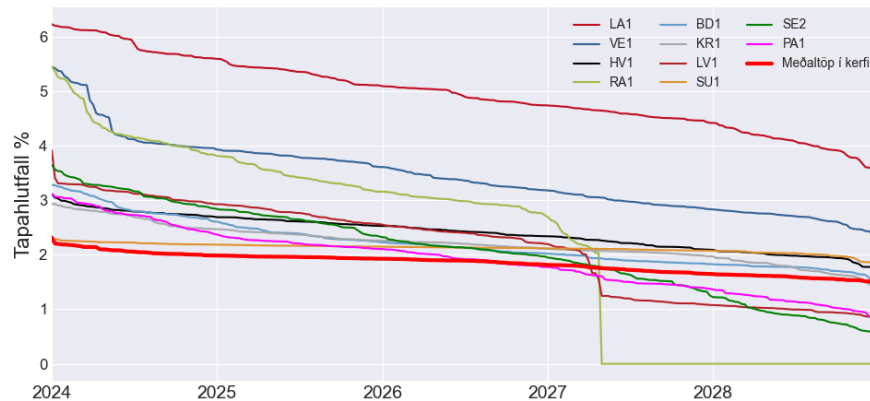


Mynd 31 : Hlutfallsleg töp lína fyrir sviðsmynd 0 í langæislínur

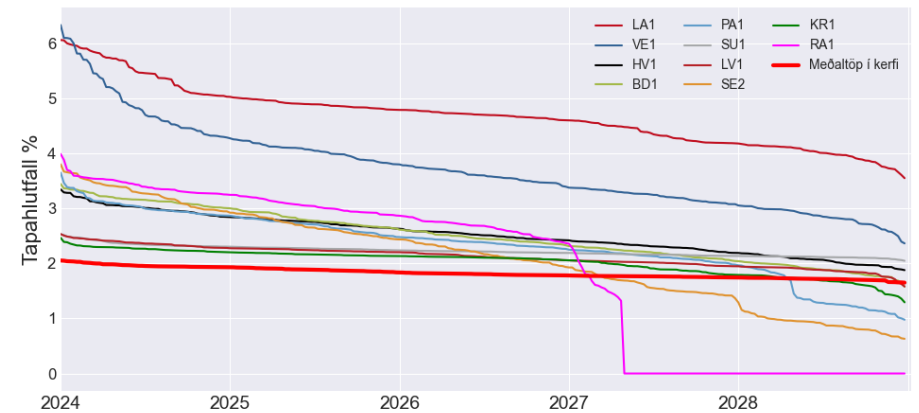
Meðal línanna sem valda mestum hlutfallslegum orkutöpum eru nokkrar línur sem á endurnýja eða leggja af. Rangárvallalína 1 (RA1) verður rifin eftir að 220 kV tenging er komin á milli Blöndu og Akureyrar og Laxárlína 1 verður lögð af og rifin á næstu árum.

Til stendur að endurnýja Selfosslínu 2 (SE2) á 132 kV spennu en rekstur lína á hærri spennu er góð leið til að minnka flutningstöp. Sama á við um Hvolsvallarlínu 1 (HV1) en þessar framkvæmdir er á þessu stigi tímasettar á tímabilinu 2038-2043.

Ætla má að flutningur um Kröflulínu 1 (KR1), Laxárvatnslínu 1 (LV1) og Hrutatungulínu 1 (HT1) muni minnka með nýrri kynslóð byggðalínu. Tvöföldun Vegamótalínu 1 (VE1), tvítenging Snæfellsness er á dagskrá 2026-2028 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 32 : Hlutfallsleg töp lína fyrir sviðsmynd 1 í langæislinum



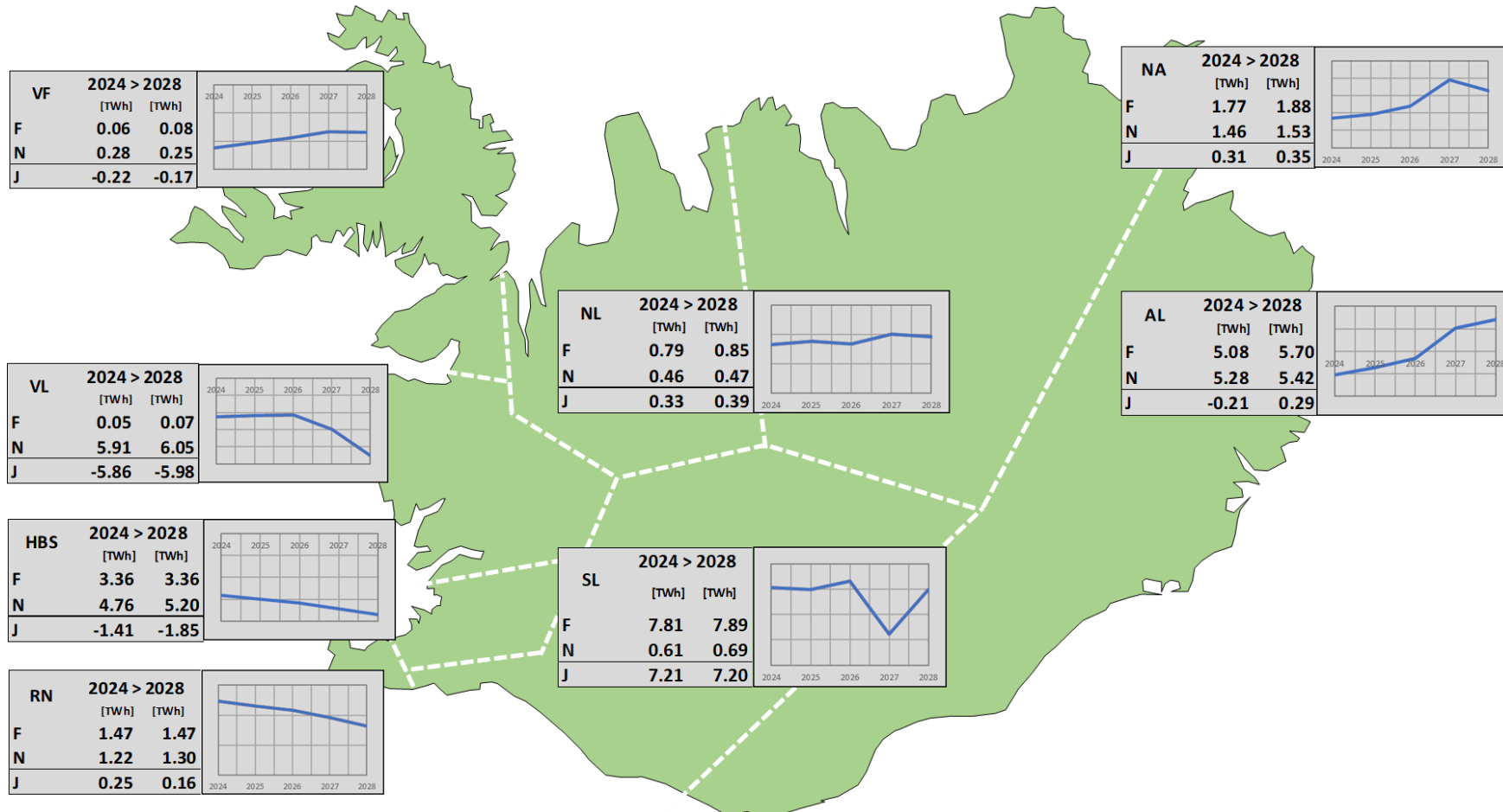
Mynd 33 : Hlutfallsleg töp lína fyrir sviðsmynd 2 í langæislinum

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.

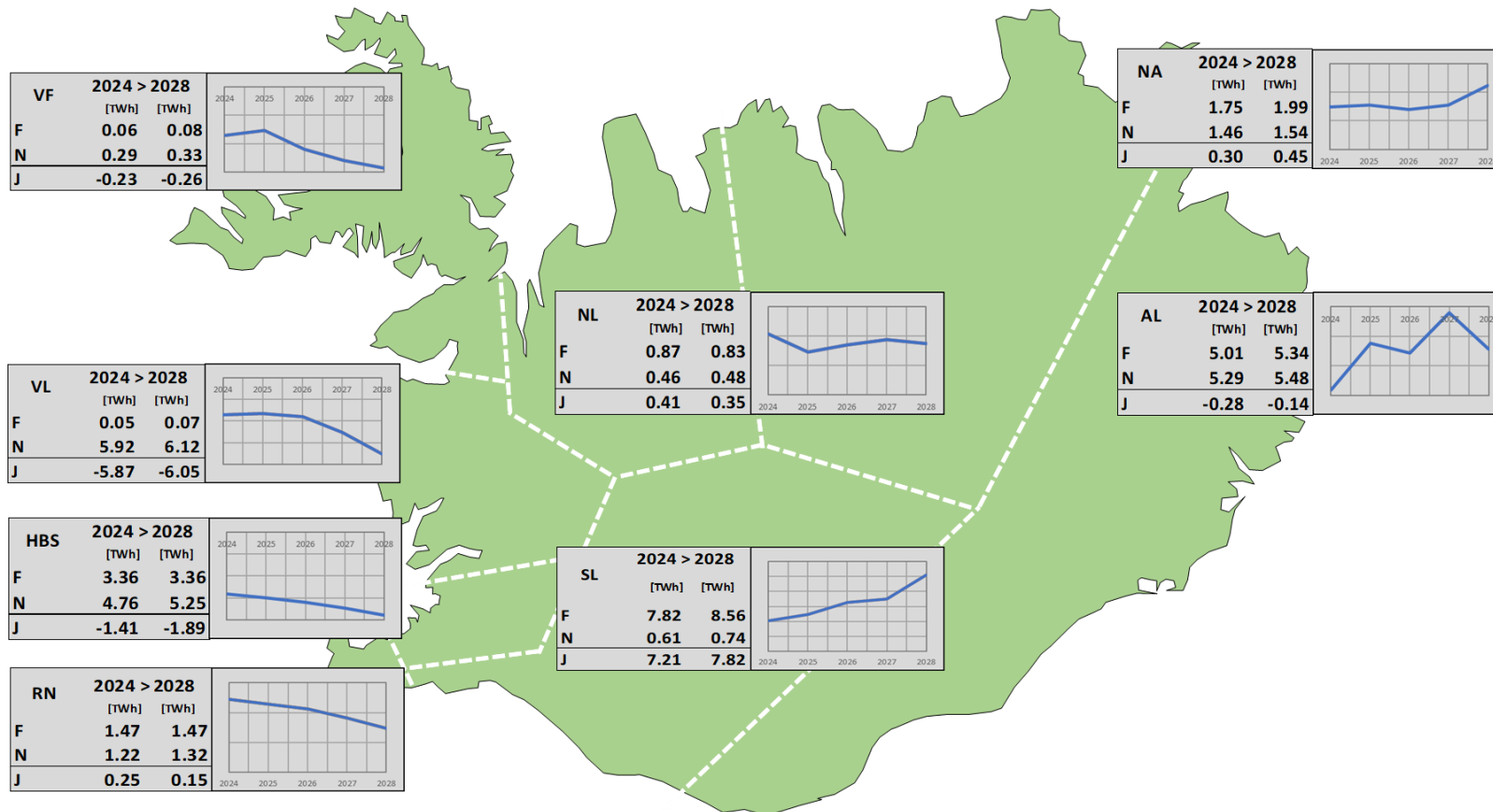
Viðauki I : Orkujöfnuður landsvæða



Mynd 34 : Orkujöfnuður landsvæða - sviðsmynd 0



Mynd 35 : Orkujöfnuður landsvæða - sviðsmynd 1



Mynd 36 : Orkujöfnuður landsvæða - sviðsmynd 2

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 ótíltæki 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 ótíltæki 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 |

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

Tafla 3: 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 flutningsnið, með tíma.

Ásar langæisritsins

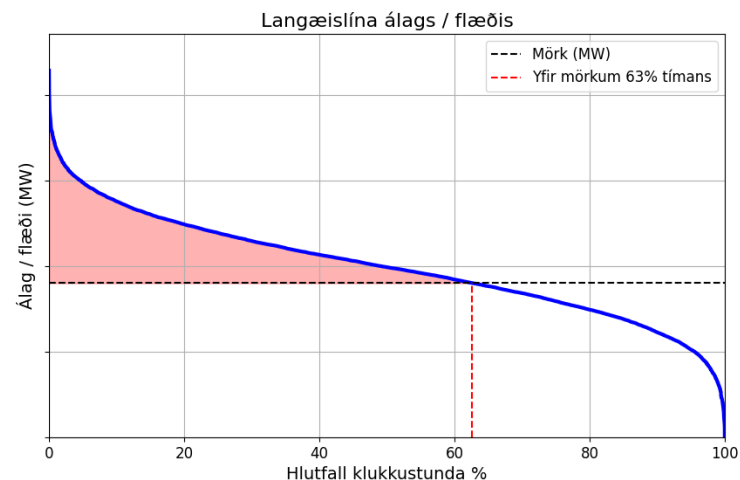
Lárétti ásinn (x-ásinn) táknar vanalega hlutfalli tíma þess tímabils sem verið er að greina í prósentum eða tímaeiningu gagnanna, t.d. klukkustundum eða dögum. Lóðrétti ásinn (y-ásinn) táknar stærð álags, eða flæðis um flutningsnið, í afleiðingum s.s. kílóvöttum (kW) eða megavöttum (MW). Einnig er algengt að sýna lóðréttu ásinn sem hlutfall af því afgangi sem er til athugunar, s.s. hámarksálagi eða flutningsmörkum.

Langæi afgangis

Langæislínur eru myndaðar með því að taka gögn um álag yfir ákveðið tímabil og raða þeim í stærðarröð, Mynd 37 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 lágréttar línur gjarnan einhvers konar mörk, s.s. vegna flutningsgetu, vinnslugetu eða annarra hámarka sem verið er að greina. Á Mynd 37 er sýnt dæmi um hvernig lesa má af langæislínum fyrir flutningsmörk. Fyrir álagið sem langæislínan (blá lína) sýnir eru gefin ákveðin flutningsmörk (svört punktalína). Skurðarpunktur 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 styrkingu flutningskerfis á svæðinu, myndu mörkin færast ofar og hlutfall tímans sem álag er fyrir mörkum lækka.



Mynd 37 : Sýnidæmi um langæislínu afgangis

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 álagstoppa, eða mesta flæði um snið, séu fáir en háir en flatari ferill langæislína (nær lágréttum 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 37. Það táknar að álag, eða flæði, er stuttan tíma við útgildin þegar álag er í hámarki eða lármarki og sé stærsta hlutfall tímans einhversstaðar þar á milli.

LANDSNET

www.landsnet.is