



ÞJÓÐHAGSLEGUR KOSTNAÐUR VEGNA TAKMARKANA Í FLUTNINGSKERFI RAFORKU

Raforkuskerðingar 2021-2022

24.03.2023



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

101715-SKY-001-V02

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

48

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Gnýr Guðmundsson

Jón Skafti Gestsson

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Kolbrún Reinholdsdóttir

LYKILORÐ

Þjóðhagslegur kostnaður, skerðingar, flutningsnið IIIb, lág vatnsstaða miðlunarlóna

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
 Drög til yfirlustrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Þjóðhagslegur kostnaður vegna takmarkana í flutningskerfi raforku

VERKHEITI

Greining a þjóðhagslegum kostnaði vegna flutningstakmarkana

VERKKAUPI

Landsnet

HÖFUNDUR

Haukur Ásberg Hilmarsson

Kristinn Arnar Ormsson

ÚTDRÁTTUR

Vegna þurrkatíðar var staða miðlunarlóna á Þjórsár- og Tungnaárvæðinu mjög lág í byrjun vatnsársins 2021/2022 (1.október 2021 til 30.september 2022). Vatnsstaða í Þórisvatni var raunar langt undir meðallagi nánast allan veturinn á meðan vatnsstaða í Blöndulóni og Háslóni var um eða yfir meðallagi. Á sama tíma jókst eftirspurn eftir raforku mikið vegna m.a. mikillar veiði uppsjávarfisks og góðrar samkeppnishæfni íslenskrar stóriðju, sökum orkukrísu í Evrópu. Samblanda bágrar vatnsstöðu á suðurlandi og aukinnar eftirspurnar gerði það að verkum að ekki var hægt að anna allri eftirspurn eftir raforku. Sunnan flutningsniðs IIIb kom til langvarandi skerðinga til fiskvinnslu, fjarvarmaveitna og stóriðju þar sem ekki var hægt að fullnýta vinnslugetu m.a. í Blöndu og Fljótsdal til að anna eftirspurn vegna takmarkaðrar flutningsgetu um sniðið.

Í þessari skýrslu er áætluð óuppfyllt orkuþörf, þ.e. sú eftirspurn eftir raforku sem þurfti að skerða, metin auk þess sem að hámarksvinnslugeta í Blöndu og Fljótsdal er áætluð. Niðurstöður sýna að óuppfyllt eftirspurn nam um 300 GWh en vinnslugeta hefði getað aukist um á bilinu 200 til 350 GWh ef ekki hefði verið fyrir flutningstakmarkani sniðs IIIb. Því hefði verið hægt að anna allri eftirspurn ef ekki væri fyrir flutningstakmörk sniðs IIIb.

Að lokum eru svo þjóðhagsleg áhrif skerðinganna metin til að áætla þjóðhagslegan kostnað sem varð vegna skerðinganna. Þjóðhagslegur kostnaður vegna skerðinga vatnsárið 2021/2022 er metinn um 5 milljarðar króna.

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Haukur Ásberg Hilmarsson Kristinn Arnar Ormsson	06.02.23	Guðmundur Sigfinnsson Kolbrún Reinholdsdóttir	07.02.23 08.02.23	Kristinn Arnar Ormsson	08.02.23
	Skýrsla til rýni innan EFLU					
02	Haukur Ásberg Hilmarsson Kristinn Arnar Ormsson	07.02.23	Gnýr Guðmundsson Jón Skafti Gestsson	23.02.23	Kristinn Arnar Ormsson Kolbrún Reinholdsdóttir	24.02.23 24.02.23
	Skýrsla send til rýni verkkaupa					

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	8
2	ÓUPPFYLLT ORKUÞÖRF	11
2.1	Fjarvarmaveitur	11
2.2	Fiskvinnsla	15
2.3	Stórnotendur	19
2.4	Samtals óuppfyllt orkuþörf	22
3	ÁÆTLUÐ FRÆÐILEG HÁMARKSVINNSLA	23
3.1	Staða raforkukerfisins á tíma skerðinga	23
3.1	Töpuð orka á yfirfalli	24
3.2	Orkuvinnsla við fullnýtingu miðlunarlóna	28
3.3	Samtals aukaleg vinnslugeta	33
4	ÞJÓÐHAGSLEGUR KOSTNAÐUR	36
4.1	Fjarvarmaveitur & Fiskvinnslur	36
4.2	Stórnotkun	39
4.2.1	Álframleiðendur	39
4.2.2	Járnblendi	42
4.3	Heildarkostnaður þjóðfélagsins vegna skerðinga	43
5	SAMANTEKT NIÐURSTAÐNA	45
6	HEIMILDASKRÁ	47

MYNDASKRÁ

MYND 1.1	Skilgreind snið í flutningskerfi raforku á Íslandi _____	9
MYND 2.1	Mánaðarleg raforkunotkun fjarvarmaveitna frá janúar 2016 til október 2022, ótrygg orka _____	12
MYND 2.2	Samband meðalhitastigs mánaðar og mánaðarlegrar raforkunotkunar fjarvarmaveitna _____	13
MYND 2.3	Áætluð orkuþörf fjarvarmaveitna og rauntölur _____	14
MYND 2.4	Óuppfyllt orkuþörf fjarvarmaveitna vegna skerðinga vatnsárið 2021/2022 _____	14
MYND 2.5	Mánaðarleg raforkunotkun fiskvinnslu frá janúar 2016 til október 2022 _____	15
MYND 2.6	Landaður afli eftir mánuðum frá janúar 2016 til október 2022 _____	16
MYND 2.7	Samband raforkunotkunar og landaðs afla _____	17
MYND 2.8	Áætluð orkuþörf fiskvinnslu og rauntölur _____	17
MYND 2.9	Óuppfyllt orkuþörf fiskvinnslu vegna skerðinga vatnsárið 2021/2022 _____	18
MYND 2.10	Meðalraforkunotkun stórnotenda á dag, 2005-2022 _____	19
MYND 2.11	Áætluð raforkunotkun og rauntölur _____	20
MYND 2.12	Áætluð notkun og rauntölur um notkun í sögulegu samhengi _____	21
MYND 2.13	Óuppfyllt orkuþörf stórnotenda vegna skerðinga árið 2022 _____	21
MYND 2.14	Óuppfyllt raforkuþörf vegna skerðinga vatnsárið 2021/2022 _____	22
MYND 3.1	Raforkuvinnsla í Fljótsdal og Blöndu á þeim tíma sem vatn rann yfir á yfirfalli árið 2021 _____	24
MYND 3.2	Rúmmál vatns sem rann á yfirfalli árið 2021 [9] _____	25
MYND 3.3	Aflþéttleiki vatnsaflsvéla í Blöndu og Fljótsdal yfir allt vinnslusvið vélanna _____	26
MYND 3.4	Rennsi á yfirfalli árið 2021 umreiknað í afl _____	26
MYND 3.5	Rennsi á yfirfalli umreiknað í afl lagt við gögn um raunverulega vinnslu í Blöndu og Fljótsdal _____	27
MYND 3.6	Afl sem tapaðist á yfirfalli í Blöndulóni og Háslóni (Fljótsdal) árið 2021 _____	27
MYND 3.7	Orka sem tapaðist á yfirfalli í Blöndulóni og Háslóni (Fljótsdal) árið 2021 _____	28
MYND 3.8	Vatnshæð í Blöndulóni vatnsárið 2021/2022 [9] _____	29
MYND 3.9	Vatnshæð í Háslóni vatnsárið 2021/2022 [9] _____	29
MYND 3.10	Form sem notað var við áætlun á rýmisdreifingu vatns í miðlunarlónum _____	29
MYND 3.11	Áætluð dreifing miðlunarrýmis í lónum eftir vatnshæð _____	30
MYND 3.12	Flæðirit útreikninga á hámarksvinnslugetu virkjanna _____	31
MYND 3.13	Þróun vatnshæðar í Blöndulóni ef miðlunarrými hefði verið fullnýtt vatnsárið 2021/2022 _____	32
MYND 3.14	Þróun vatnshæðar í Háslóns ef miðlunarrými hefði verið fullnýtt vatnsárið 2021/2022 _____	32
MYND 3.15	Dreifing á útreiknaðri fræðilegri aukningu í orkuvinnslu í Blöndu vatnsárið 2021/2022 _____	33
MYND 3.16	Dreifing á útreiknaðri fræðilegri aukningu í orkuvinnslu í Blöndu vatnsárið 2021/2022 _____	33
MYND 3.17	Ónýtt flutningsgeta um snið IIIb tímabilið 1.apríl 2021 til 15.apríl 2022 miðað fullnýtt stöðuleikamörk flutnings, þ.e. að flutningsmörk séu 130 MW. _____	34
MYND 3.18	Ónýtt flutningsgeta um snið IIIb tímabilið 1.apríl 2021 til 15.apríl 2022 ef miðað er við að flutningstakmörk um snið hefðu verið fullnýtt og væru 167 MW. _____	35
MYND 4.1	Einfölduð útskýringarmynd á þjóðhagslegum kostnaði vegna olíunotkunar fjarvarmaveitna í stað rafmagns _____	37
MYND 4.2	Þjóðhagslegur kostnaður vegna samdráttar í framleiðslu stórnotenda _____	39
MYND 4.3	Útfluttar álafurðir samkvæmt tollskrá og notuð raforka janúar 2013 - september 2022 _____	40
MYND 4.4	Framleiddar álafurðir og notuð raforka á ári samkvæmt grænu bókhaldi fyrirtækja _____	41
MYND 4.5	Heimsmarkaðsverðs áls og verðmæti útfluttra álafurða úr íslensku hagkerfi, nafnvirði _____	41

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 3.1	Mælingar og stærðir Blöndustöðvar [10] og Fljótsdalsvirkjunar [11]	25
TAFLA 3.2	Upplýsingar um miðlunarlón sem notaðar voru við útreikning [9] [13]	30
TAFLA 4.1	Orkuþörf, olíumagn, losun og kostnaður vegna skerðinga fjarvarmaveitna og fiskvinnsla	38
TAFLA 4.2	Orkuþörf og kostnaður vegna skerðinga álframleiðenda	42
TAFLA 4.3	Orkuþörf og kostnaður vegna skerðinga járnbendis	43
TAFLA 4.4	Þjóðhagslegur kostnaður vegna skerðinga á afhendingu raforku veturinn 2021-2022	44
TAFLA 5.1	Tímalína línuframkvæmda ásamt áætluðum framkvæmdakostnaði, Kerfisáætlun Landsnets 2021-2030	46

1 INNGANGUR

Raforkukerfi sem rík eru af vatnsorku, líkt og það íslenska, eru oft gerð upp í svokölluðum vatnsárum. Vatnsár hefjast á því tímabili sem innrennsli í uppistöðulón hefur dregist saman þannig að vatnshæð þeirra hefur náð hámarki eða þegar það hættir að renna yfir á yfirfalli. Í íslenska raforkukerfinu er miðað við að vatnsárið hefjist 1.október hvers ár og ljúki 30.september árið eftir. Þróun innrennslis í miðlunarlón og vatnshæð þeirra er þó breytileg milli ára og er m.a. háð lofthitastigi, magni snjó- og ísbráðar sem losnar úr jöklum, magni úrkomu, o.fl. þátta. Hvert vatnsár er einstakt og sum teljast góð og önnur slæm.

Vatnsárið 2021/2022 (1.október 2021 til 30.september 2022) var slæmt vatnsár. Vatnsstaða Þórisvatns, stærsta stöðuvatns Íslands og jafnframt stærsta miðlunarlóns Íslands, var um 2 metrum undir áætlaðri meðalvatnshæð í byrjun vatnsársins. Vatnsstaða tveggja næst stærstu miðlunarlónanna, Blöndulóns og Háslóns á Fljótisdalsheiði, var öllu betri í byrjun vatnsársins eða um og yfir meðallagi. Þessa slæmu vatnsstöðu Þórisvatns má rekja til kalds og úrkomulítls vors [1] og óvenju þungbúins sumars á Suðvesturlandi [2] sem skilaði sér í minni vor- og sumarleysingum. Kalt og þungbúið haust skilaði litlum aukalegum leysingum fyrir veturinn og því var vatnsstaða Þórisvatns langt undir meðallagi nánast allan veturinn.

Á meðan að vatnsstaða Þórisvatns var bág og innrennsli var lítið jókst eftirspurn eftir raforku mikið. Orkukrísan í Evrópu og stríðsrekstur í Úkraínu skiluðu sér í gríðarháu raforkuverði í Evrópu og hækkun á verði aðfanga. Til samanburðar var raforkuverð á Íslandi lágt sem skilaðir sér í góðri samkeppnishæfni íslenskrar stóriðju og því juku aðilar framleiðslu sína eins og hægt var. Á sama tíma jókst heildarafli fiskveiðiðárisins 2021/2022 um 40% frá fyrra ári og hafði ekki verið meiri í 10 ár [3] sem skilaði sér í aukinni eftirspurn fiskvinnslu eftir raforku.

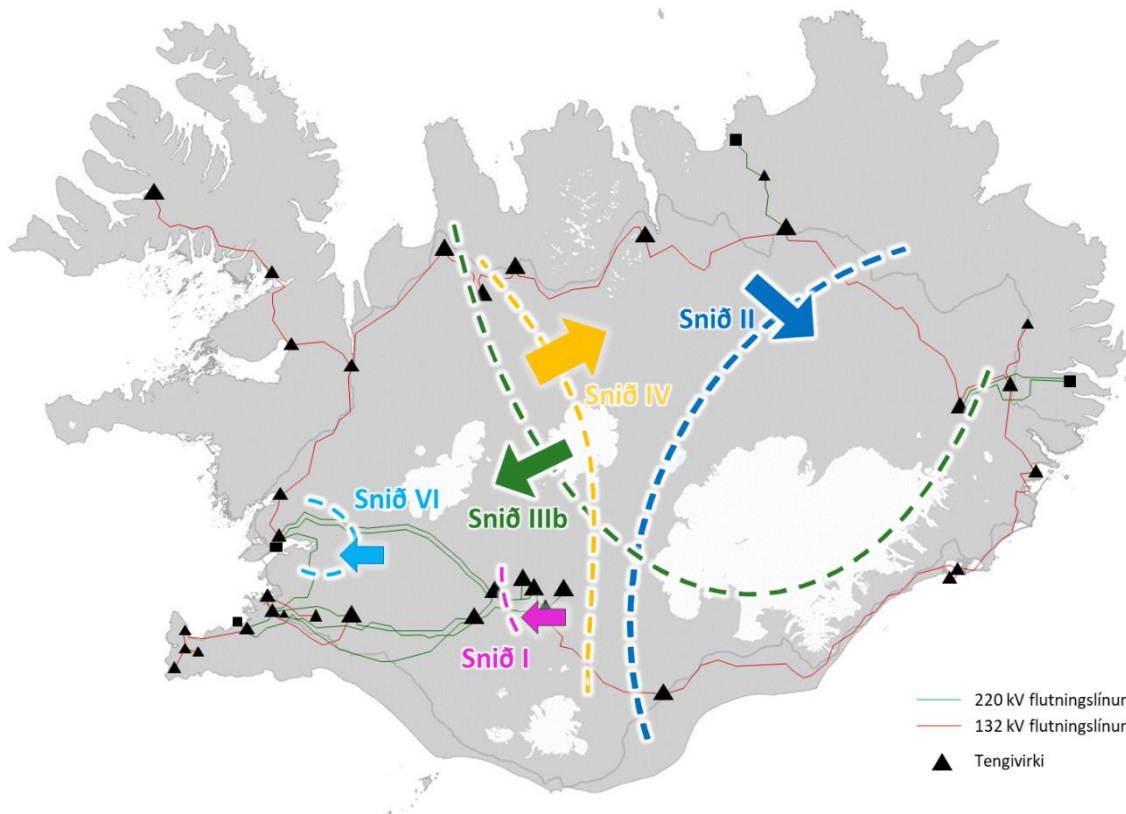
Niðurstaða bágrar vatnsstöðu Þórisvatns og mikillar eftirspurnar í raforku varð sú að ekki var hægt að verða við allri eftirspurn eftir raforku og því kom til langvarandi skerðinga til fiskvinnslu, fjarvarmaveitna og stóriðju. Skerðingar hófust í lok árs 2021 og fyrirséð var að þær gætu staðið yfir alveg fram á sumar 2022. Hressilegt innflæði í miðlunarlón um miðjan apríl mánuð gerði það hins vegar að verkum að hægt var að auka við raforkuvinnsluna og 15.apríl 2022 lauk tímabili skerðinga [4].

Slæm vatnsár eru óumflýjanleg og því mikilvægt að geta gripið til aðgerða til að létta á álagi í raforkukerfinu. Á Íslandi er það gert með samningum um skerðanlega orku, eða ótrygga orku, til

fiskvinnslu og fjarvarmaveitna, auk álagsléttunga á stóriðju. Þó þessar aðgerðir séu mikilvægar til að tryggja öruggan rekstur raforkukerfisins fylgja þeim þjóðhagsleg áhrif sem skipta má í grófum dráttum í tvennt:

- Skert verðmætasköpun þjóðarbúsins. Vegna tapaðrar framleiðslu stórnotenda og annarra auk aukins kostnaðar vegna innflutnings á olíu sem nýtt er í fiskvinnslum og fjarvarmaveitum.
- Aukin losun gróðurhúsalofttegunda vegna bruna jarðefnaeldsneytis til að knýja fiskvinnslur og fjarvarmaveitur í stað rafmagns sem ekki nýtur við.

Landsnet hefur skilgreint snið í flutningskerfinu sem takmarka flutning á milli landsvæða. Eitt slíkt er snið IIIb, sjá mynd 1.1, en sökum takmarkaðrar flutningsgetu um sniðið er strönduð vinnslugeta á Norður- og Norðausturlandi sem ekki er hægt að nýta að fullu til að mæta álagsþörf sunnan sniðsins. Sökum þessara takmakana voru skerðingarnar í janúar til apríl 2022 einungis sunnan sniðsins. Því er rétt að velta fyrir sér að loknum slíkum langvarandi skerðingum hvort hægt hefði verið að koma í veg fyrir skerðingar með því að nýta vinnslugetu raforkukerfisins betur. Hefði verið hægt að koma í veg fyrir skerðingar að hluta eða öllu leyti ef ekki hefði verið fyrir þessar flutningstakmarkanir?



MYND 1.1 Skilgreind snið í flutningskerfi raforku á Íslandi

Einnig er vert að skoða hver var þjóðhagslegur kostnaður skerðinganna og þeirra takmarkana raforkukerfisins sem til staðar eru. Ásamt því hver sá kostnaður er í samhengi við hvað það hefði kostað að styrkja raforkukerfið til að koma í veg fyrir skerðingarnar að hluta eða öllu leyti.

Í þessari skýrslu er gerð tilraun til að meta hvort raforkukerfið hefði getað annað allri eftirspurn ef engar takmarkanir væru í flutningi raforku auk þess sem að lagt er mat á þjóðhagslegan kostnað skerðinganna. Í kafla 2 er orkupörf aðila sem skertir voru áætluð. Í kafla 3 er möguleg hámarks

vinnslugeta raforkukerfisins, með fullkomnum upplýsingum um vatnshæð miðlunarlóna, áætluð til að sjá hvort að vinnslugeta kerfisins hefði fræðilega getað annað eftirspurn skerta álagsins. Í kafla 4 er lagt mat á magn olíu sem brennd var, losun koltvísýrings við brunann og kostnað við kaup á olíunni auk tapaðra tekna vegna raforkukaupa og útflutnings afurða stóriðjunnar. Í lokin eru svo niðurstöður skýrslunnar teknar saman í kafla 5.

2 ÓUPPFYLLT ORKUÞÖRF

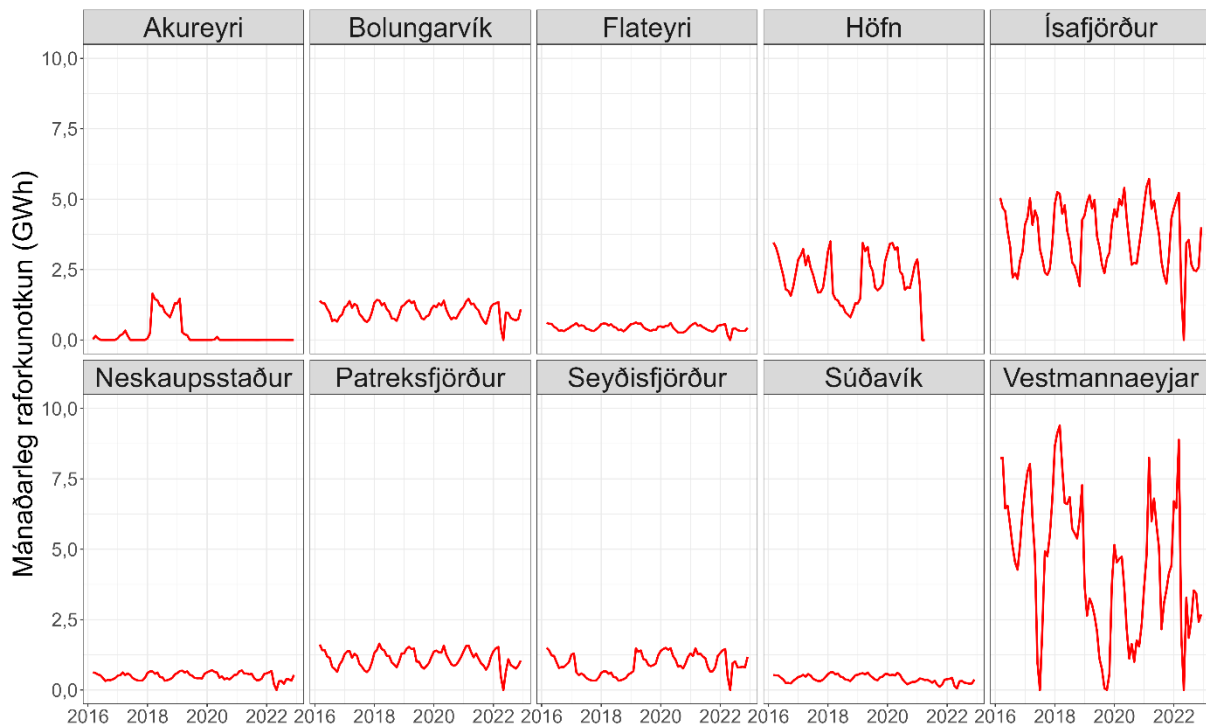
Í þessum kafla er lagt mat á hver heildarorkuþörf aðila var á því tímabili sem skerðingar voru til staðar. Söguleg raforkuþörf er borin saman við magn afla, umhverfishitastig og framleiðslu stóriðju til að fá mynd af heildar orkuþörf eftir aðilum. Sú orkuþörf sem ekki var hægt að afhenda vegna bágrar vatnsstöðu miðlunarlóna og skerts flutnings um snið IIIb gefur heildarumfang skerðingarinnar. Slíkar „ef og hefði“ greiningar eru í eðli sínu ónákvæmar og ómögulegt er að segja með fullkominni vissu hver raforkunotkun hefði verið nákvæmlega ef öll orkuþörf aðila hefði verið uppfyllt með raforku. Í þessum kafla er lagt mat á hver orkuþörfin hefði verið að jafnaði byggt á sögulegum gögnum og helstu undirliggjandi breytum sem knýja áfram raforkuþörf.

2.1 Fjarvarmaveitur

Hitun á Íslandi fer víða fram með kyntri hitaveitu eða fjarvarmaveitu. Á þetta við um þau svæði þar sem ekki er hagkvæmt eða mögulegt að nýta jarðvarma til húshitunar. Fjarvarmaveitur kaupa almennt ótrygga (skerðanlega) orku en búa við þann valkost að geta einnig nýtt olíu sem orkugjafa í stað raforku ef til skerðinga á afhendingu raforku kemur. Það tíðkast einnig á Íslandi að nýta beina rafhitun til upphitunar þar sem jarðvarma nýtur ekki við, en sú rafhitun er iðulega forgangsorka og ekki er hægt að nýta aðra orkugjafa til upphitunar ef um rafhitunarkerfi er að ræða.

Á mynd 2.1 má sjá mánaðarlega raforkunotkun fjarvarmaveitna í þeim bæjarfélögum sem nýtt hafa fjarvarmaveitur til upphitunar á tímabilinu 2016-2022. Árið 2022 voru til staðar átta fjarvarmaveitur. Ekki hefur verið stuðst við fjarvarmaveitu á Akureyri frá 2018 og nýlega var tekin í notkun hitaveita á Höfn í Hornafirði í stað þeirrar fjarvarmaveitu sem var þar. Allar fjarvarmaveitur sem starfræktar eru árið 2022 eru staðsettar sunnan við áðurnefnt snið IIIb og tengjast því þeim hluta raforkukerfisins þar sem eftirspurn eftir raforku er meiri en vinnslugetan. Fimm eru staðsettar á Vestfjörðum, það er á Ísafirði, Bolungarvík, Flateyri, Patreksfirði og Súðavík. Tvær eru á Austurlandi, það er á Seyðisfirði og Neskaupsstað. Að lokum er enn stuðst við ótrygga orku fyrir fjarvarmaveitu í Vestmannaeyjum þrátt fyrir tilkomu varmadælna árið 2019 [5] sem hafa dregið úr raforkuþörfinni síðustu ár.

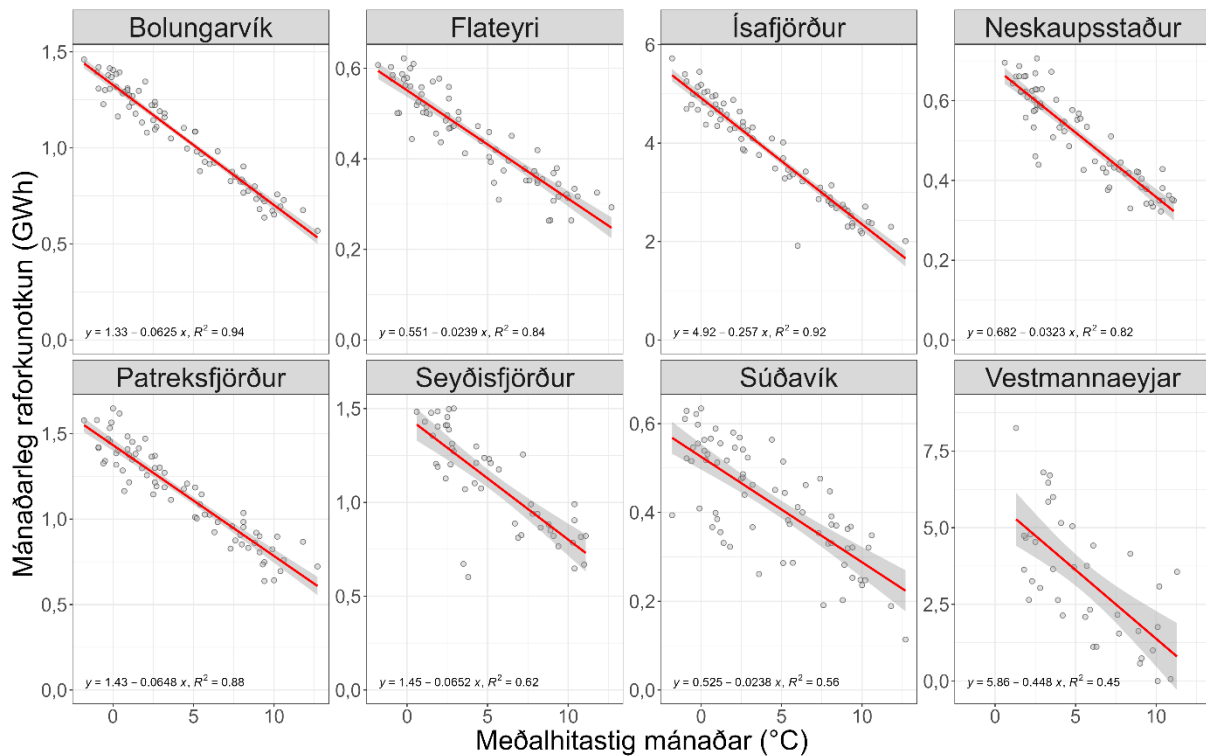
Sjá má úr gögnum um afhenta raforku hvernig skerðing hafði áhrif á raforkunotkun fjarvarmaveitna fyrstu mánuði ársins 2022. Í mars 2022 var engin raforka afhent til fjarvarmaveitna og var afhending í öðrum mánuðum lægri en hún hefur verið sögulega.



MYND 2.1 Mánaðarleg raforkunotkun fjarvarmaveitna frá janúar 2016 til október 2022, ótrygg orka

Raforkunotkun flestra fjarvarmaveitna sveiflast í kringum stöðugt meðaltal með stöðuga dreifni. Ráðandi þáttur í mánaðarlegri raforkunotkun fjarvarmaveitna er hitastig þess mánaðar sem um ræðir.

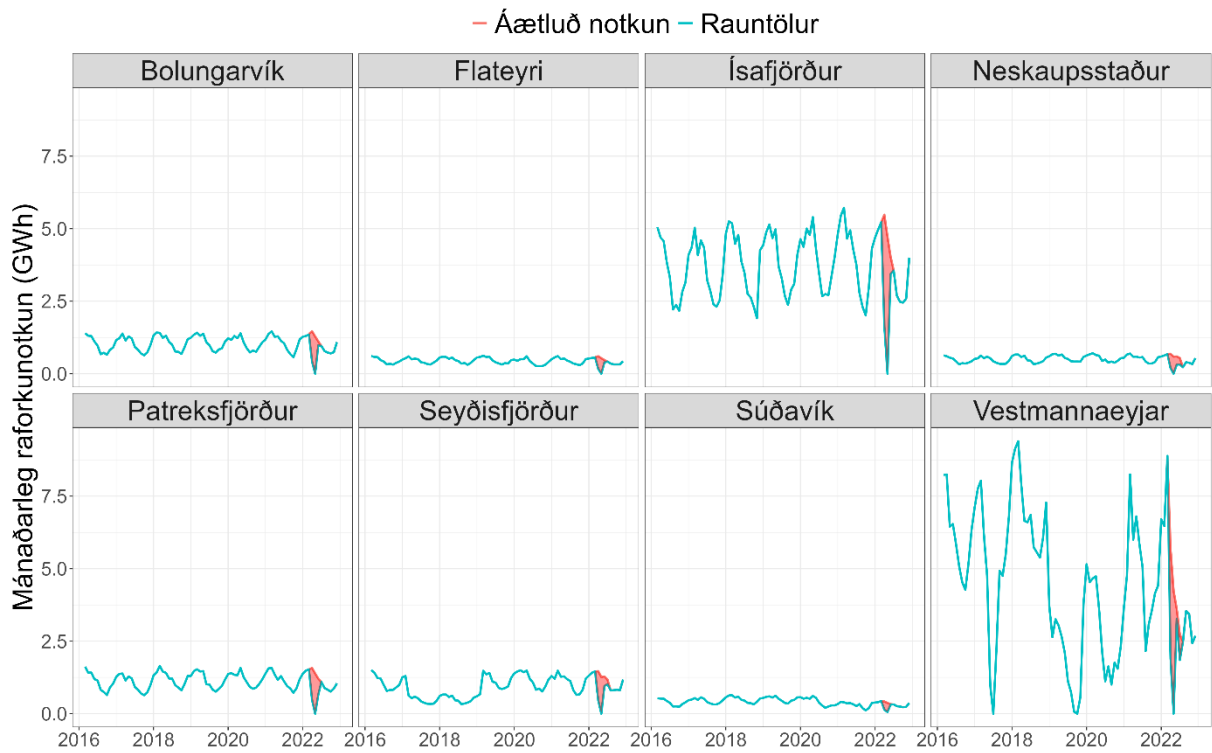
Til þess að átta sig á hver raforkunotkun hefði verið ef ekki hefði komið til skerðinga er því nauðsynlegt að skilgreina samband hitastigs og raforkunotkunar fyrir þær átta fjarvarmaveitur sem starfræktar voru árið 2022. Ef horft er til sögulegra gagna og metið er samband raforkunotkunar og meðalhitastigs mánaðar við næstu veðurstöð [6] fyrir árin 2016-2021 má sjá að fyrir flestar fjarvarmaveitur er um mikla fylgni að ræða. Hér hafa árin 2017-2019 verið fjarlægð fyrir Seyðisfjörð þar sem raforkunotkun var mun minni þá en árin á undan og á eftir eins og sjá má á mynd 2.1. Einnig er einungis horft á raforkunotkun eftir komu varmadælu árið 2019 í Vestmannaeyjum. Því eru færri mánuðir til staðar fyrir þau bæjarfélög og meiri óvissa í áætluðu sambandi meðalhitastigs og meðalraforkunotkunar í mánuði á mynd 2.2.



MYND 2.2 Samband meðalhitastigs mánaðar og mánaðarlegrar raforkunotkunar fjarvameitna

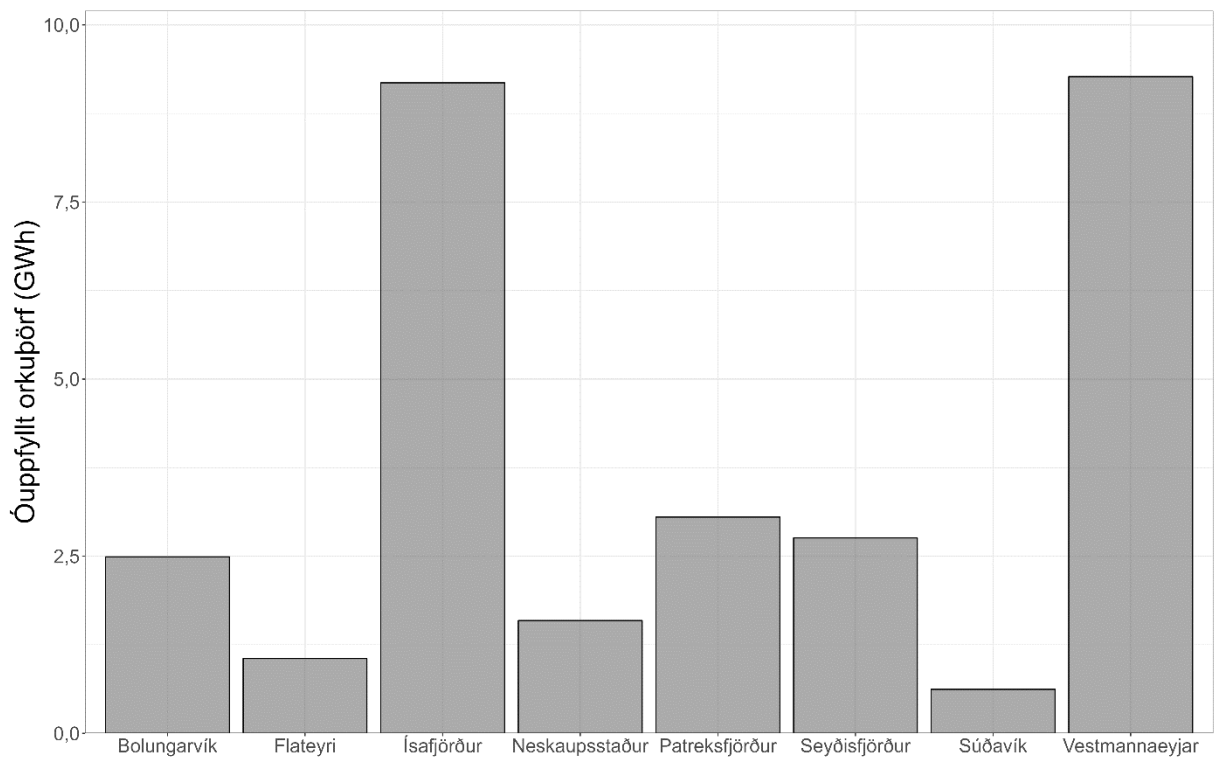
Rauðu línurnar á mynd 2.2 segja til um hver raforkunotkun fjarvameitnanna er að meðaltali fyrir gefið hitastig mánaðar samkvæmt línulegri aðhvarfsgreiningu. Gráa svæðið í kringum rauðu línuna sýnir óvissubíl fyrir metið meðaltal. Raforkunotkun í einstaka mánuðum er þó sjaldnast jöfn áætluðu meðaltali og ávallt eru frávik frá meðaltalinu vegna sértækra aðstæðna hverju sinni. Þegar kemur að því að áætla hver raforkunotkun hefði verið ef ekki hefði komið til skerðinga er metið meðaltal besta nálgunin.

Á mynd 2.3 má sjá hver áætluð raforkunotkun fjarvameitna hefði verið að meðaltali ef ekki hefði komið til skerðinga ásamt rauntölum um raforkunotkun. Mismunurinn, sú orkupörf sem ekki var hægt að mæta vegna skerðinga, er skyggð með rauðum lit á myndinni.



MYND 2.3 Áætluð orkuþörf fjarvarmaveitna og rauntölur

Heildarorka sem ekki var hægt að afhenda vegna skerðinga er talin vera um 30 GWh. Skiptingu niður á bæjarfélög má sjá á mynd 2.4. Mest eru áhrifin í stærstu bæjarfélögunum, Ísafirði og Vestmannaeyjum.

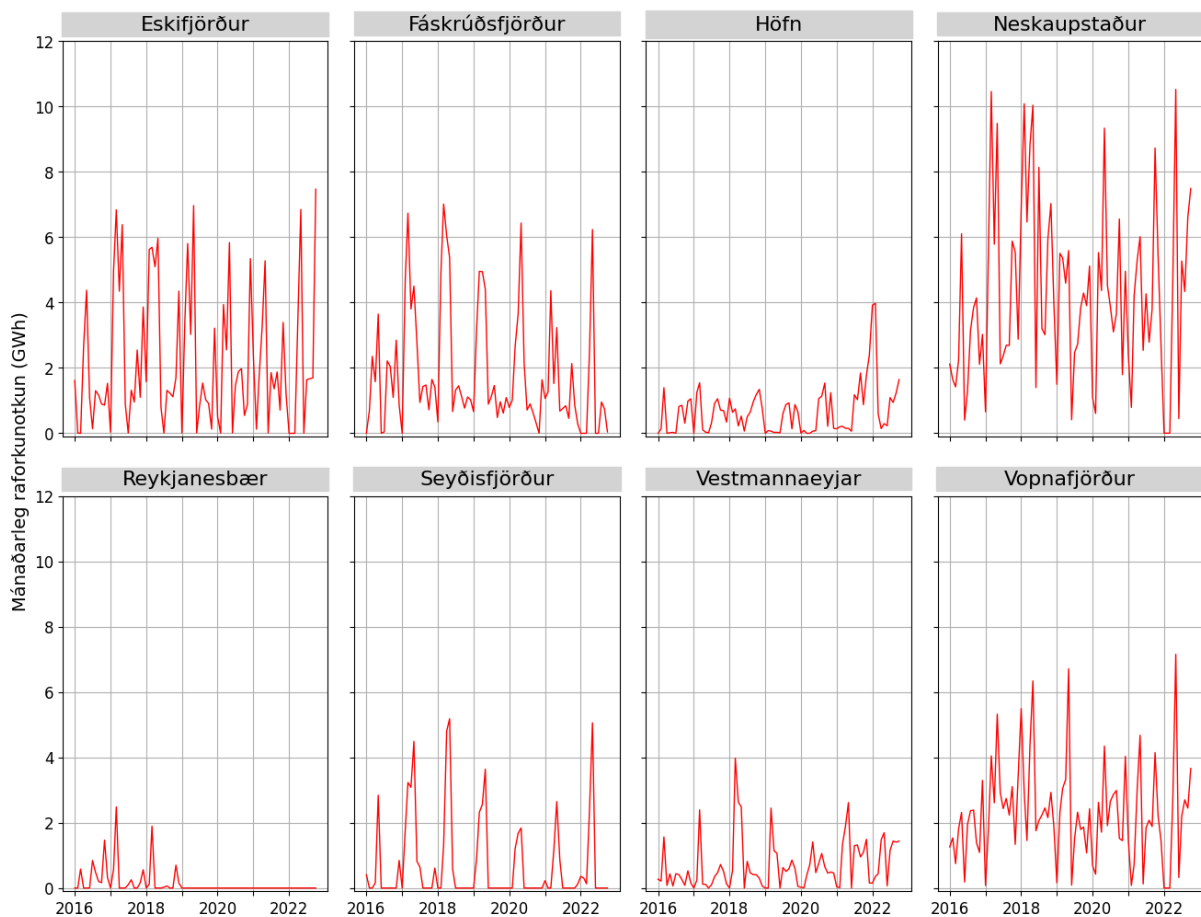


MYND 2.4 Óuppfyllt orkuþörf fjarvarmaveitna vegna skerðinga vatnsárið 2021/2022

2.2 Fiskvinnsla

Á mynd 2.5 má sjá afhendingu á ótryggri orku til fiskvinnslu eftir bæjarfélögum á Íslandi frá 2016-2022 samkvæmt gögnum Landsnets. Raforka er helst nýtt til bræðslu við vinnslu fiskimjöls en einnig er raforka nýtt við fiskfrystingu og fiskþurrkun. Þær fiskvinnslur sem nýta ótrygga raforku eru allar sunnan sniðs IIIb. Líkt og fjarvarmaveitur hafa fiskvinnslur möguleikann á að nýta olíu í stað raforku ef raforkunnar nýtur ekki við. Að auki nýta sumar fiskvinnslur olíu samhliða raforkunotkun þó að afhending raforku sé ótakmörkuð.

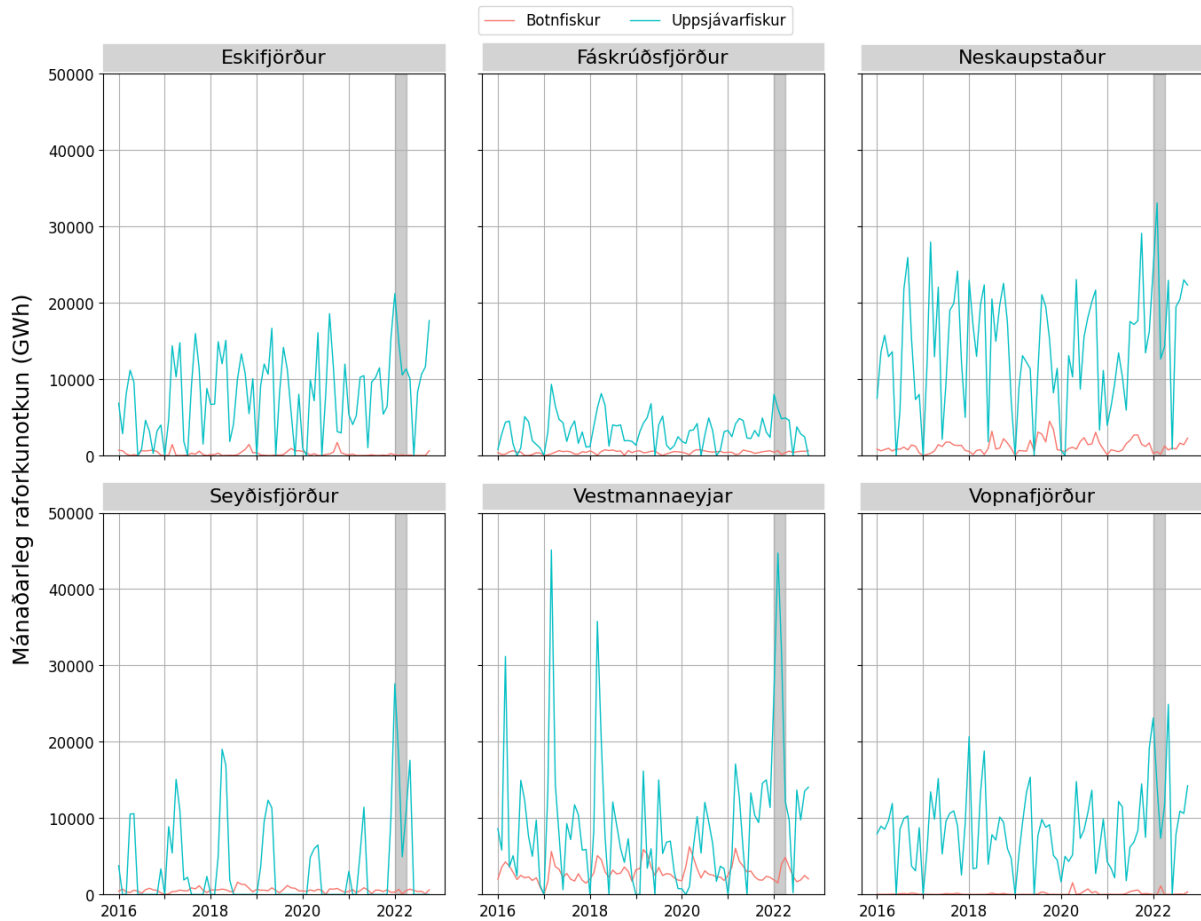
Afhending til fiskvinnslu var skert frá janúar 2022 fram að miðjum apríl þegar vatnsstaða hafði batnað nægilega mikið [4]. Höfðu skerðingarnar töluverð áhrif á starfsemi fiskimjölsverksmiðja og sjá má að lítil raforkunotkun er hjá þeim flestum á því tímabili sem afhending raforku var skert. Skinney-Þinganes á Höfn í Hornafirði samdi um forgangsorku og urðu því ekki fyrir skerðingu vegna skorts á orku. Jafnframt hefur notkun á skerðanlegri orku vegna fiskvinnslu í Reykjanesbæ lagst af. Því urðu sex fiskvinnslur fyrir áhrifum af skerðingum á raforku.



MYND 2.5 Mánaðarleg raforkunotkun fiskvinnslu frá janúar 2016 til október 2022

Ráðandi þáttur í raforkunotkun fiskvinnslu er landaður afli. Aðrir þættir hafa þó einnig áhrif líkt og ráðstöfun fiskafli sem getur verið breytileg eftir samsetningu afla, afurðaverði, aðfangaverði og fleiri þáttum. Á mynd 2.6 má sjá landaðan afla í þeim bæjarfélögum sem urðu fyrir skerðingu á afhentri raforku í upphafi árs 2022 samkvæmt Hagstofu [3]. Skyggða svæðið á myndinni táknar það tímabil sem

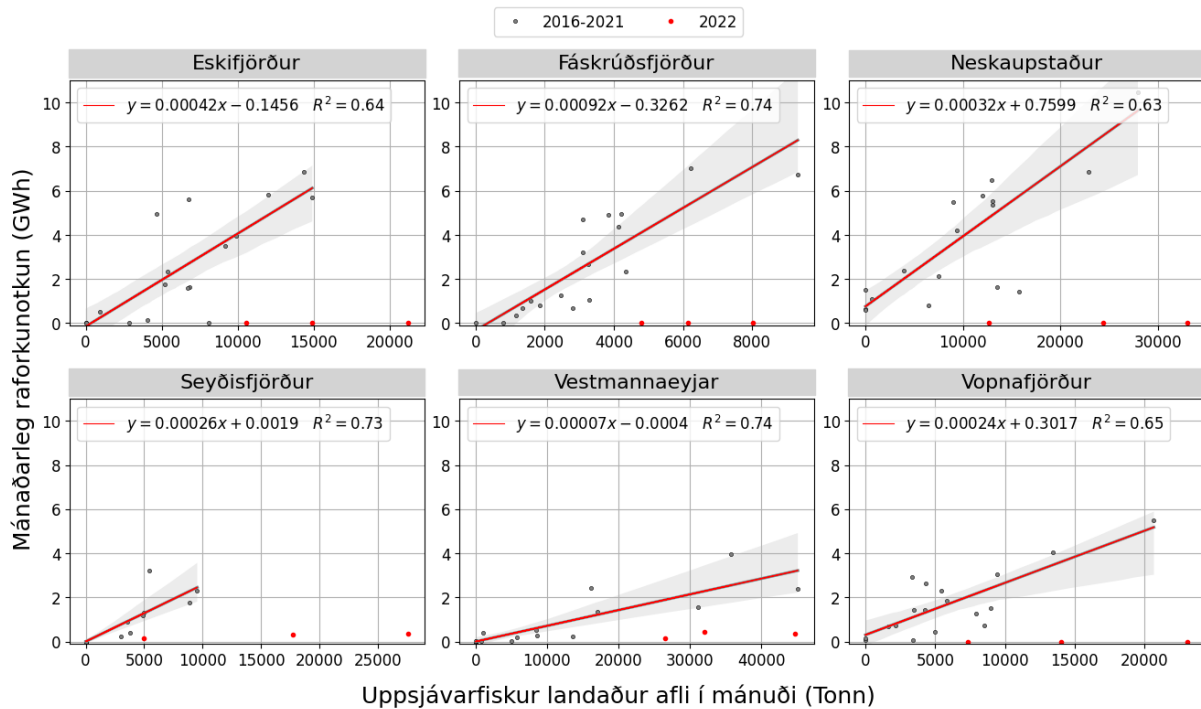
skerðing á afhendingu raforku varði. Fyrir flest bæjarfélög var landaður aflí meiri en hann hefur verið síðastliðin áratug á meðan að afhending raforku, skv. mynd 2.5, var lítil sem engin.



MYND 2.6 Landaður aflí eftir mánuðum frá janúar 2016 til október 2022

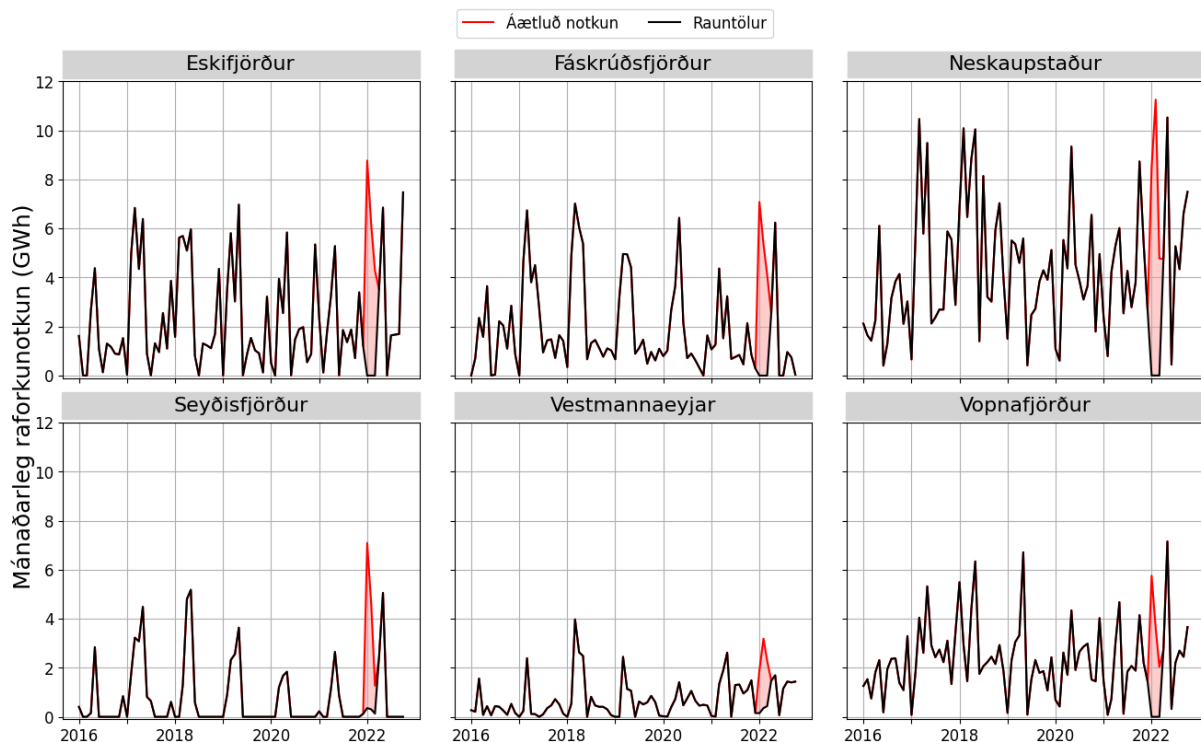
Til þess að áætla hver raforkunotkun hefði verið fyrstu mánuði ársins 2022 ef ekki hefði komið til skerðinga á raforkuafhendingu er horft til sögulegra gagna líkt og fyrir fjarvarmaveitur. Á mynd 2.7 má sjá samband landaðs afla fyrstu þrjú mánuði síðastliðinna ára, þ.e. það tímabil sem skerðing varði árið 2022, og raforkunotkun fiskvinnsla fyrir sömu mánuði. Gögnin fyrir árin 2016-2021 eru sýnd með gráum lit en gögn ársins 2022, þegar raforkuafhending var skert, eru sýnd með rauðum lit.

Línulega sambandið sem sjá má á mynd 2.7 er fundið með aðferð minnstu kvaðrata byggt á aflamagni og raforkunotkun fyrstu þrjú mánuði árána 2016-2021. Er þetta mat á því hver raforkunotkun væri að meðaltali fyrir landað aflamagn. Sjá má á gráa skyggða svæðinu að töluvert meiri óvissa er um meðalraforkunotkun fyrir gefið aflamagn en meðalraforkunotkun fyrir gefið hitastig hjá fjarvarmaveitum á mynd 2.2. Er ástæða þess að mun fleiri breytur hafa áhrif á fiskvinnslu en hafa áhrif á raforkunotkun fjarvarmaveitna.



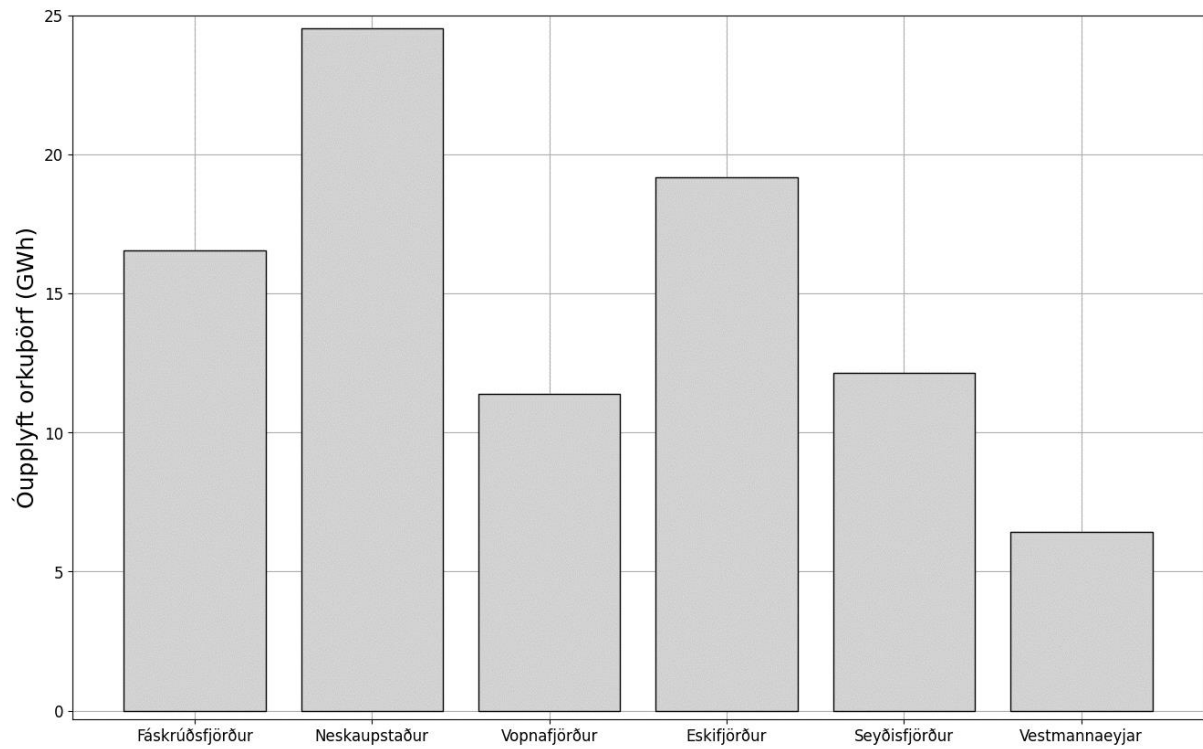
MYND 2.7 Samband raforkunotkunar og landaðs afla

Áætluð meðalraforkunotkunar fyrir gefið aflamagn, á mynd 2.7, er besta nálgunin til að áætla hver raforkunotkun hefði verið ef ekki hefði komið til skerðinga. Á mynd 2.8 má sjá áætlaða raforkunotkun vegna fiskvinnslu ef ekki hefði komið til skerðinga ásamt rauntölum um raforkunotkun. Mismunurinn, sú orkuþörf sem ekki var hægt að mæta vegna skerðinga, er skyggð með rauðum lit á myndinni.



MYND 2.8 Áætluð orkuþörf fiskvinnslu og rauntölur

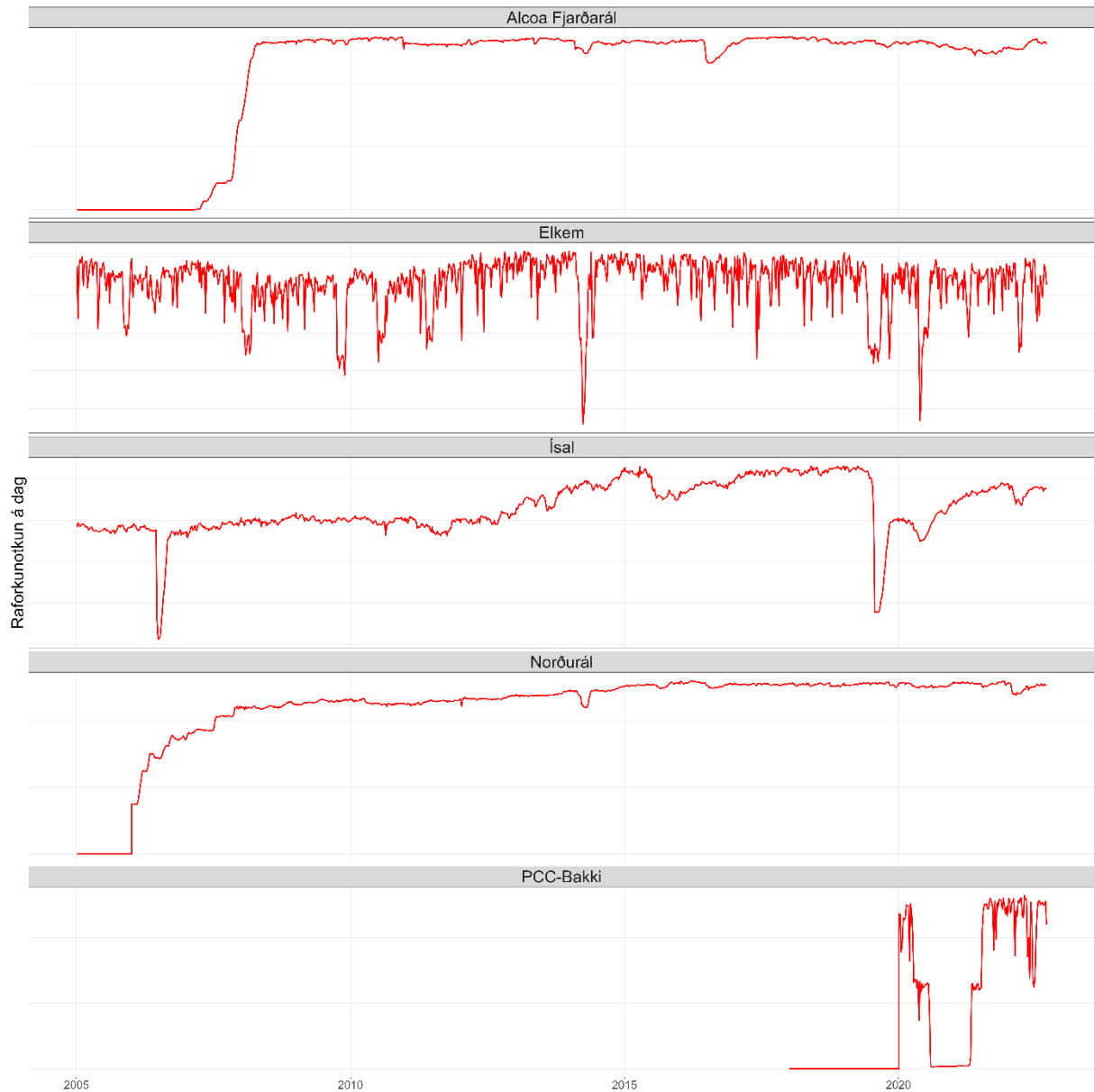
Heildarorka til fiskvinnsla sem ekki var hægt að afhenda vegna skerðinga er talin vera um 90 GWh. Skiptingu niður á bæjarfélög má sjá á mynd 2.9.



MYND 2.9 Óuppfyllt orkuþörf fiskvinnslu vegna skerðinga vatnsárið 2021/2022

2.3 Stórnotendur

Hluti af samningum stórnotenda raforku er í formi ótryggrar orku og er því hægt að skerða afhendingu til stórnotenda að hluta til ef nauðsyn þykir. Á mynd 2.10 má sjá meðalraforkunotkun stórnotenda á dag eftir vikum frá 2005 til 2022. Þrír aðilar, Elkem, Ísal og Norðurál eru staðsettir sunnan sniðs IIIb og má greina skerðingu á afhentri orku til þeirra í upphafi ársins 2022.



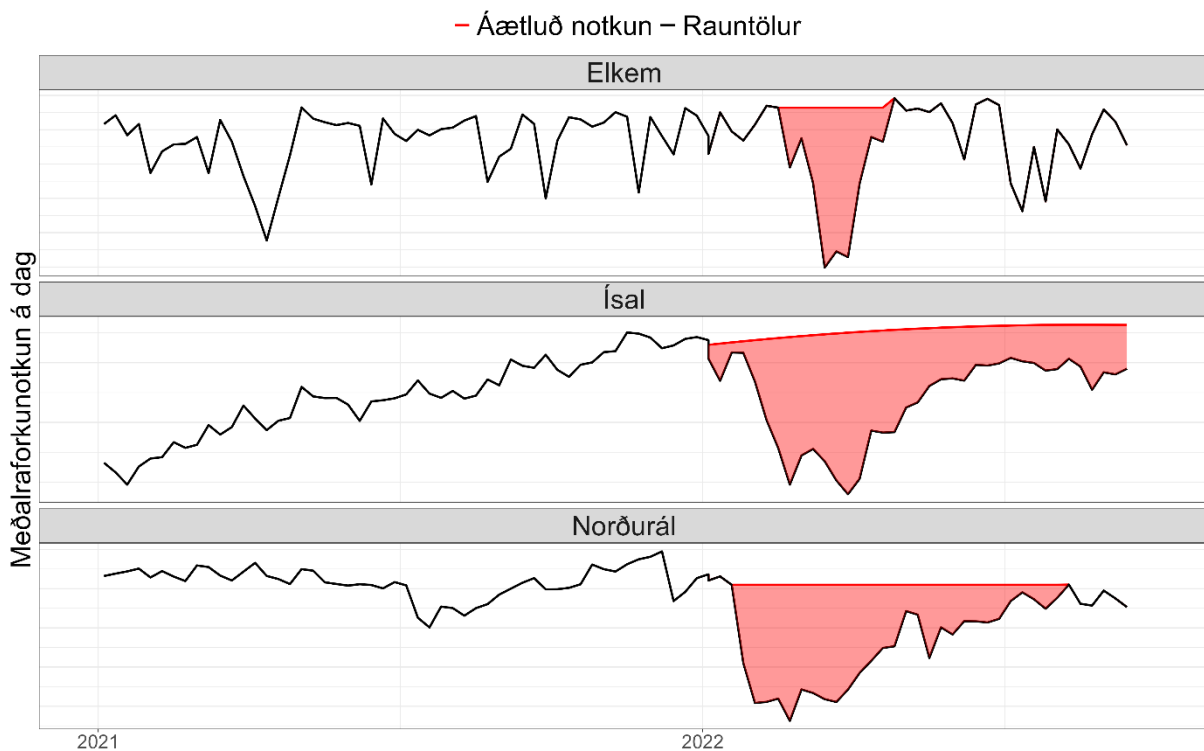
MYND 2.10 Meðalraforkunotkun stórnotenda á dag, 2005-2022

Raforkunotkun stórnotenda er ekki háð ytri breytum á sama hátt og notkun fjarvarmaveitna og fiskvinnslu. Þrátt fyrir að afurðaverð hafi mikil áhrif á afkomu fyrirtækja fullnýta þau yfirleitt sína orkusamninga og hefur afurðaverð því lítil bein áhrif á raforkunotkun.

Sjá má á mynd 2.10 að þegar til skerðinga kom voru Elkem og Norðurál að fullnýta sína samninga, það er meðalraforkunotkun á dag hafði verið óbreytt í töluverðan tíma. Raforkunotkun Ísal dróst saman

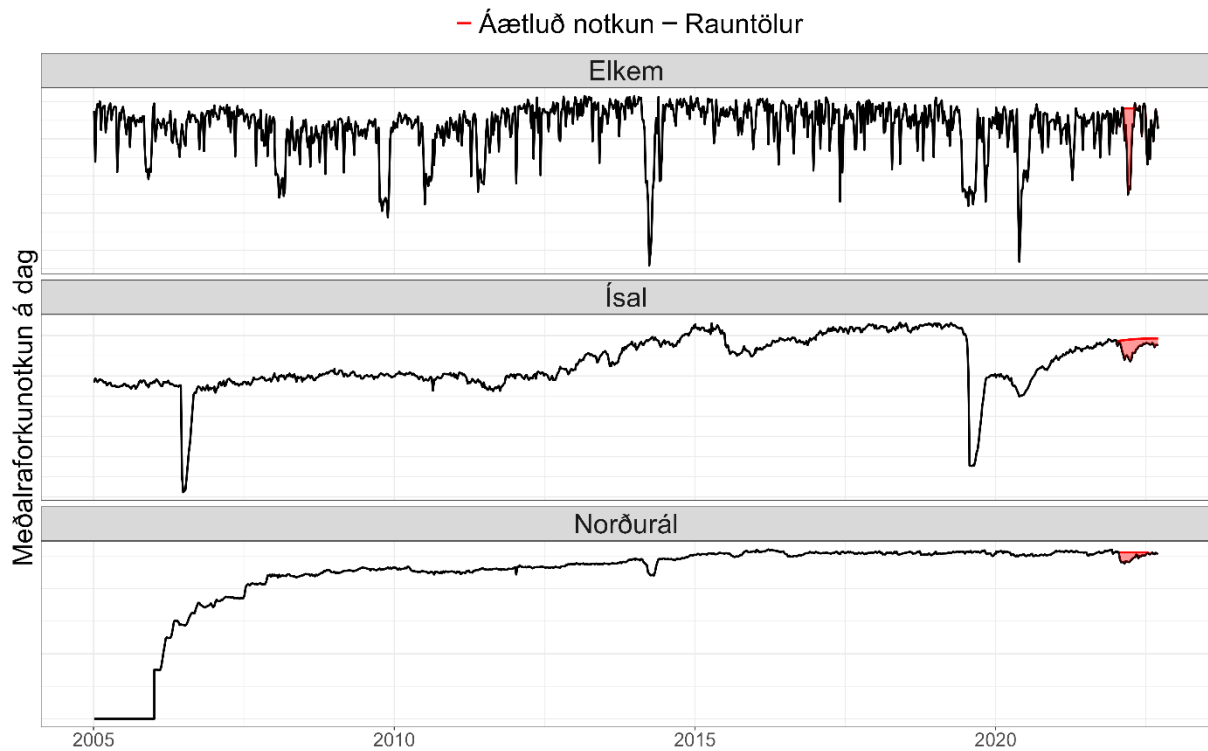
árið 2019 eftir óhapp [7]. Í kjölfarið kom Covid-19 og því tók smá tíma fyrir framleiðsluna að taka við sér á nýjan leik. Ísal endursamdi svo við Landsvirkjun í byrjun árs 2021 um óbreytt orku og aflmagn [8] og jók raforkunotkun sína jafnt og þétt árið 2021. Út frá tæknilegum forsendum ætti álverið að ráða við sambærilega framleiðslu í dag og árið 2018. Því má ætla að sú þróun aukinnar raforkunotkunar sem var til staðar árið 2021 hefði haldið áfram ef ekki hefði komið til skerðinga. Er vöxtur Ísal nálgaður með annarar gráðu margliðu en gert er ráð fyrir að orkunotkun Elkem og Norðurál hefði verið óbreytt ef ekki hefði komið til skerðinga.

Á mynd 2.11 má sjá áætlaða raforkunotkun ef ekki hefði komið til skerðinga ásamt rauntölum um raforkunotkun. Mismunurinn, sú orkuþörf sem ekki var hægt að mæta vegna skerðinga, er skyggð með rauðum lit á myndinni.



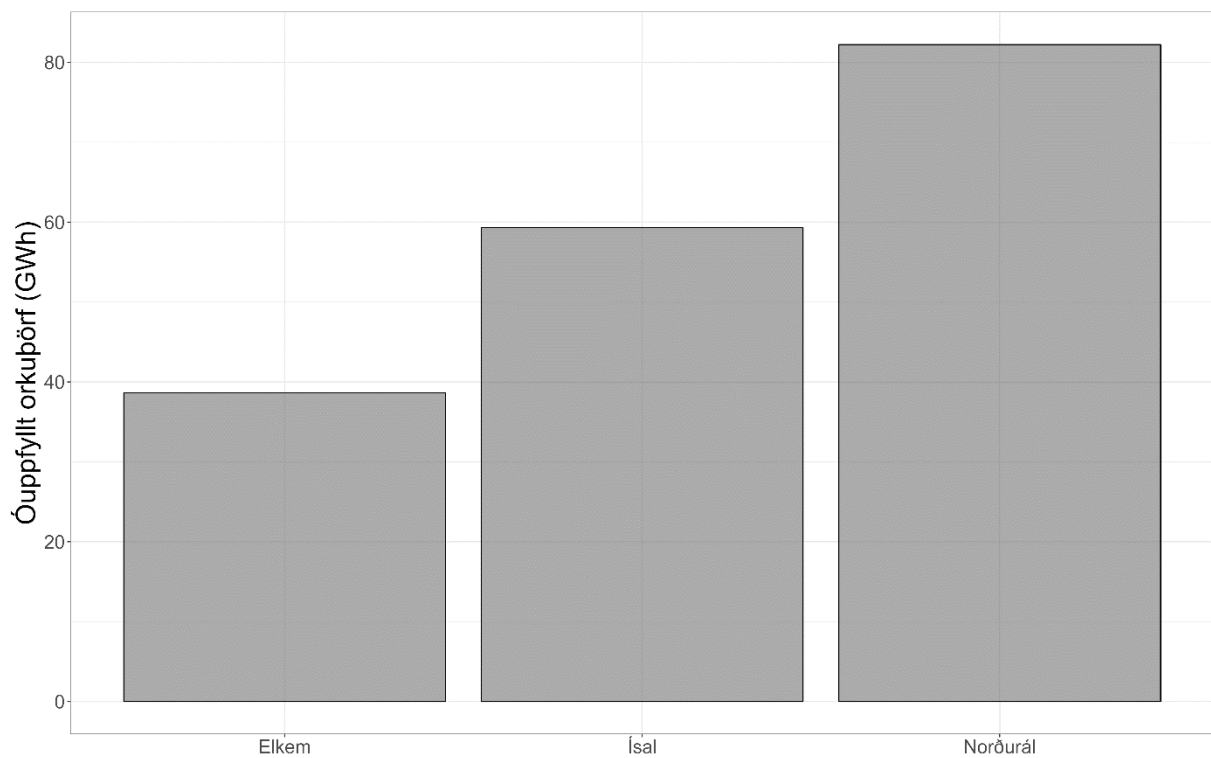
MYND 2.11 Áætluð raforkunotkun og rauntölur

Sjá má hvernig áætluð notkun stórnotenda, ef ekki hefði komið til skerðinga, lítur út í sögulegu samhengi á mynd 2.12.



MYND 2.12 Áætluð notkun og rauntölur um notkun í sögulegu samhengi

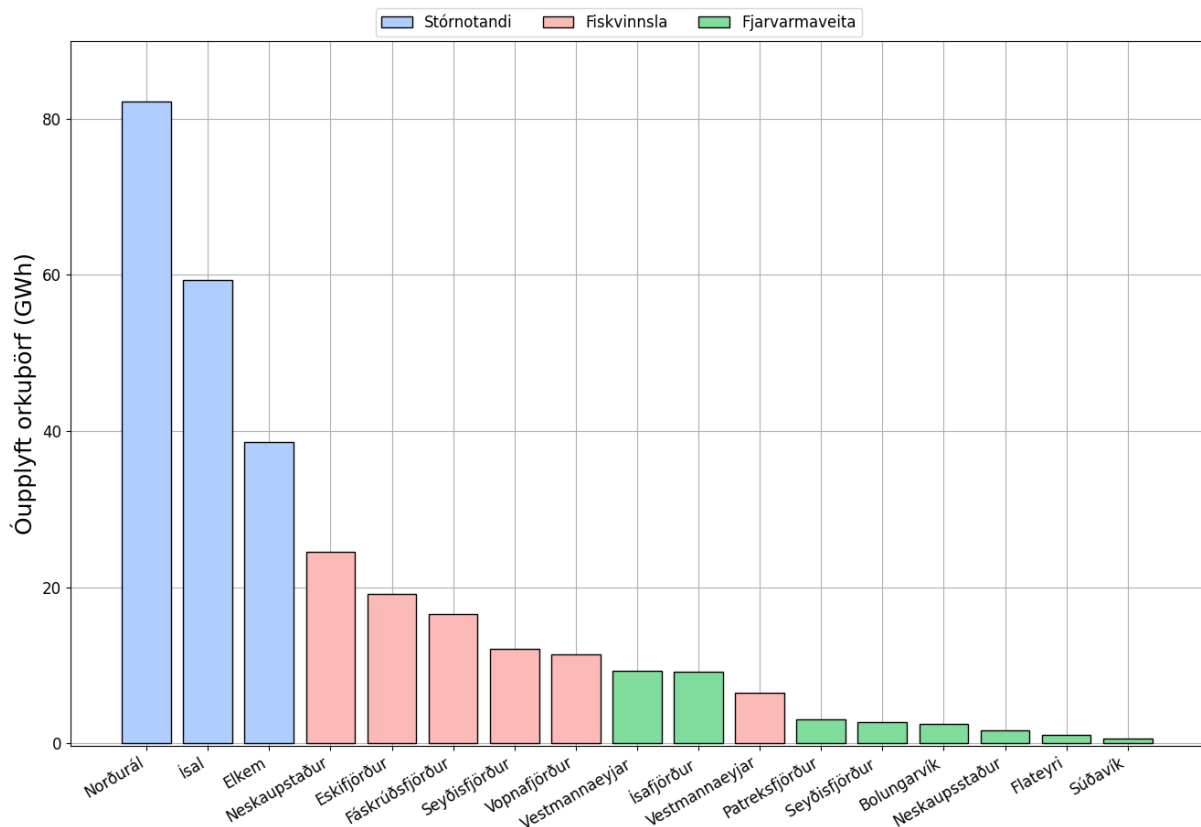
Heildarorka stórnotenda sem ekki var hægt að afhenda vegna skerðinga er talin vera um 190 GWh. Skiptingun niður á notendur má sjá á mynd 2.13.



MYND 2.13 Óuppfyllt orkupörf stórnotenda vegna skerðinga árið 2022

2.4 Samtals óuppfyllt orkuþörf

Heildarorkan sem ekki var hægt að afhenda vegna skerðinga er hér metin um 300 GWh en á mynd 2.14 er þessi skerðingin sundurliðun eftir stórnotendum, fjarvarmaveitum og fiskvinnslum. Er þetta sú raforkunotkun sem talið er að hefði verið að meðaltali miðað við undirliggjandi breytur ef engar skerðingar hefðu verið til staðar að frádreginni þeirri raforku sem var afhent. Því er þetta sú raforkuþörf sem ekki var hægt að uppfylla vegna skerðinga. Afleiðingar þessarar óuppfylltu orkuþarfar eru mismunandi fyrir aðila. Í tilfalli stórnotenda þar sem að ekki er hægt að nýta aðra orkugjafa í stað raforku þýðir óuppfyllt orkuþörf skerðing í framleiðslu og því fjárhagslegt tap vegna ónýttra tækifæra í sölu. Fyrir fjarvarmaveitur og fiskvinnslur þarf að uppfylla orkuþörf með öðrum hætti en raforku, það er með brennslu jarðefnaeldsneytis. Nánar er fjallað um afleiðingar af óuppfylltri orkuþörf í kafla 4.



MYND 2.14 Óuppfyllt raforkuþörf vegna skerðinga vatnsárið 2021/2022

3 ÁÆTLUÐ FRÆÐILEG HÁMARKSVINNSLA

3.1 Staða raforkukerfisins á tíma skerðinga

Landsnet hefur skilgreint fimm flutningssnið í íslenska raforkukerfinu sem notuð eru við greiningar og til að tryggja afhendingaröryggi við rekstur kerfisins. Sniðin, sem sjá má á mynd 1.1, skilgreina því hámarks aflflutningsgetu milli landssvæða út frá stöðuleikamörkum reksturs. Stöðuleikamörkin segja ekki til um fræðilegan hámarksflutning milli landssvæða m.v. flutningsgetu einstakra flutningslína, heldur mesta flutning um snið sem tryggir öruggan rekstur alls flutningskerfisins ef til truflana kemur. Í tilvikum þar sem litlar líkur teljast á truflunum, s.s. eins og í góðu veðri, er hægt að fara upp fyrir þessi stöðuleikamörk tímabundið ef þörf krefur.

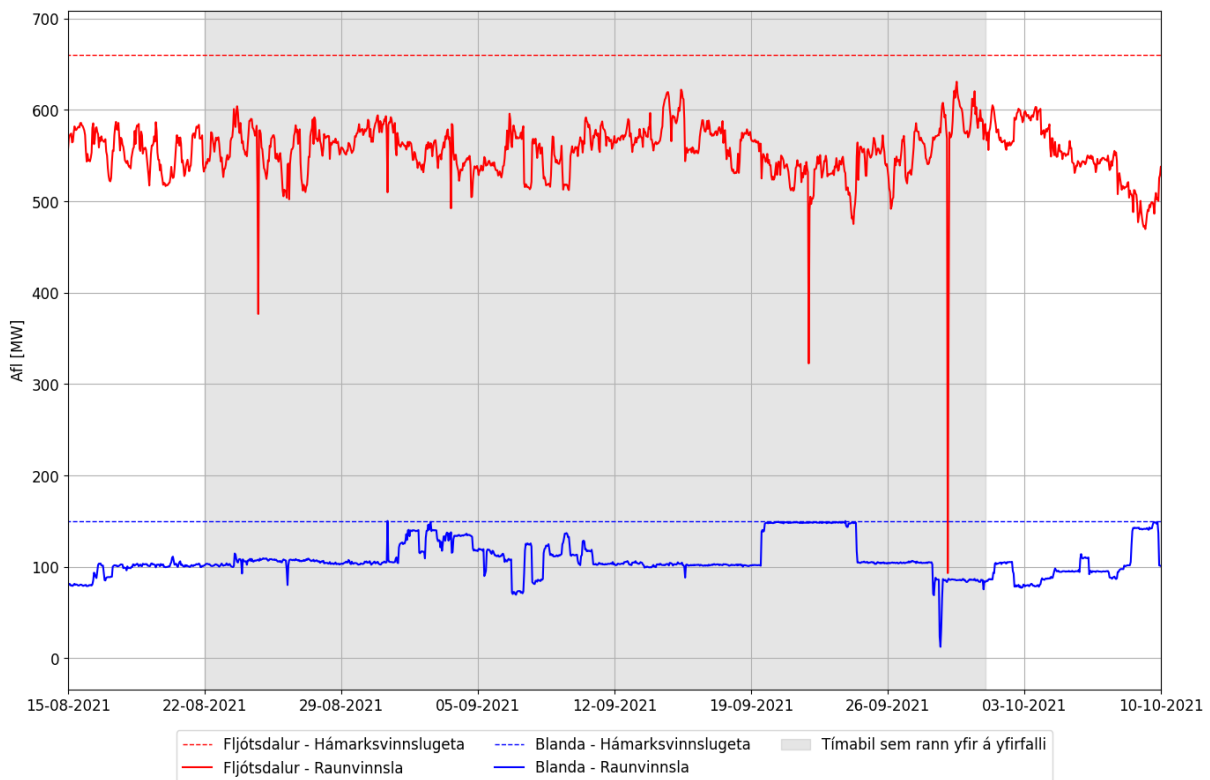
Um nokkurt skeið hefur snið IIIb, sem sker Blöndulínu 1 og Fljótsdalslínu 2, verið einn stærsti flöskuháls íslenska raforkukerfisins. Norðan sniðsins er vinnslugeta meiri en raforkuþörfin og sunnan sniðsins er hlutverknum snúið við. Því er í eðlilegum rekstri kerfisins raforka flutt til suðurs um sniðið. Raunar er vinnslugetan norðan sniðs meiri en summa aflþarfar norðan sniðs og 130 MW stöðuleikamarka aflflutnings suður um sniðið. Því eru það stöðuleikamörk flutnings sem takmarka hversu mikið er hægt að vinna í aflstöðvum norðan sniðs (Fljótsdals-, Kröflu-, Þeistareykja, Laxár- og Blöndustöð) og flytja eftir byggðarlínunni til suðurs.

Eins og kom fram í inngangi var vatnsstaðan í Þórisvatni slæm vatnsárið 2021/2022 og á sama tíma var eftirspurn eftir raforku mikil. Sunnan sniðs IIIb var því vinnslugeta minni en í eðlilegu vatnsári og því var flutningur aukinn um snið IIIb langt umfram stöðuleikamörk til að reyna að anna álagi. Slíkt er þó áhættusamt og ekki gert nema brýn nauðsyn sé, en „[f]lutningur innan þessara svokölluðu stöðugleikamarka sniðanna tryggir að kerfisreksturinn haldist stöðugur við einfalda truflun og ekki þurfi að skerða raforku til notenda“ [9]. Það dugði þó ekki til, og skerða þurfti raforkuafhendingu til fjarvarmaveitna og fiskvinnslu sem staðsettar eru sunnan sniðs auk þess sem að afhending til stóriðju var minnkuð eins og hægt var. Vinnslugetan norðan sniðs IIIb var á sama tíma meiri en sem nemur öllu álagi norðan sniðsins og auknum flutningi suður um sniðið. Ef ekki hefði verið fyrir flutningstakmörk um snið IIIb hefði því verið hægt að flytja meiri raforku suður um snið til að ýmist minnka eða koma í veg fyrir þær skerðingar sem urðu veturinn 2021/2022.

Í þessum kafla er áætlað hversu mikla raforku hefði aukalega verið hægt að framleiða og flytja suður um sniðið ef vatn sem rann hjá á yfirfalli og miðlunarlónum Blöndu og Fljótsdalsvirkjunar hefðu verið fullnýtt. Með niðurstöðum þessa kafla er því hægt að leggja mat á hvort vinnslugeta hafi verið næg til að mæta öllum þeim 300 GWh sem skertar voru og því koma í veg fyrir skerðingar ef flutningsgeta suður um snið hefði verið meiri.

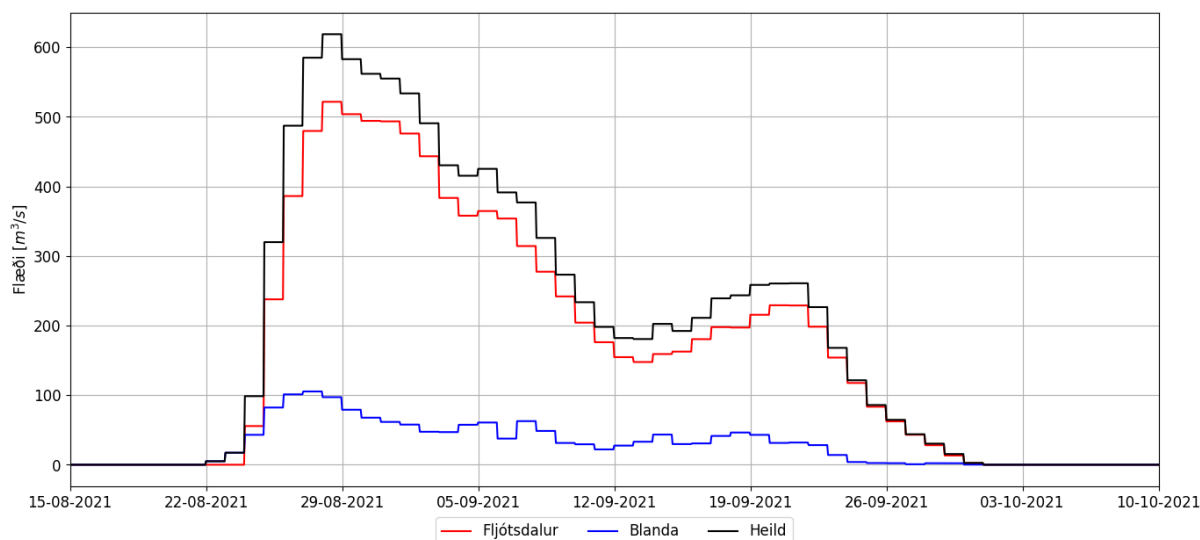
3.1 Töpuð orka á yfirfalli

Í lok vatnsársins 2020/2021 fóru bæði Blöndulón og Háslón (miðlunarlón Fljótsdalsvirkjunar) á yfirfall. Það þýðir að innflæði í lón um vorið og sumarið voru umfram vatnsþörfina til að framleiða þá raforku sem framleidd var og fylla lónin. Allt vatn sem rennur á yfirfalli jafngildir ónýttri fallorku sem ekki næst að vinna raforku úr. Mynd 3.1 sýnir raforkuframleiðslu bæði Blöndu- og Fljótsdalsvirkjunar á þeim tíma sem vatn var á yfirfalli árið 2021. Eins og sést á myndinni nam vinnsla virkjana sjaldan hámarksvinnslugetu virkjananna og því má áætla að orka tapaðist á yfirfalli sem hefði getað verið notuð til raforkuframleiðslu.



MYND 3.1 Raforkuvinnsla í Fljótsdal og Blöndu á þeim tíma sem vatn rann yfir á yfirfalli árið 2021

Til að áætla hversu mikil orka tapast á yfirfalli þarf að greina gögn um rennsli á yfirfalli en á heimasíðu Landsvirkjunar eru þessi gögn aðgengileg fyrir bæði Blöndu- og Háslón [9]. Gögnin gefa meðal rennsli á yfirfalli á dag í rúmmetrum á sekúndu en á mynd 3.2 er búið að taka saman rennsli á yfirfalli fyrir árið 2021.



MYND 3.2 Rúmmál vatns sem rann á yfirfalli árið 2021 [9]

TAFLA 3.1 Mælingar og stærðir Blöndustöðvar [10] og Fljótisdalsvirkjunar [11]

VIRKJUN	MESTA VINNSLUGETA	HÁMARKSRENNSLI	HEILDARFALLHÆÐ	AFLÞÉTTLEIKI [MW/(m³/sek)]
	$P_{uppsett}$ [MW]	q_{max} [m³/sek.]	h_{max} [m]	$Pd = \frac{P_{uppsett}}{q_{max}}$ [MW / $\frac{m^3}{sek.}$]
Blanda	150	60	287	2,5
Fljótisdalur	660	144	599	4,6

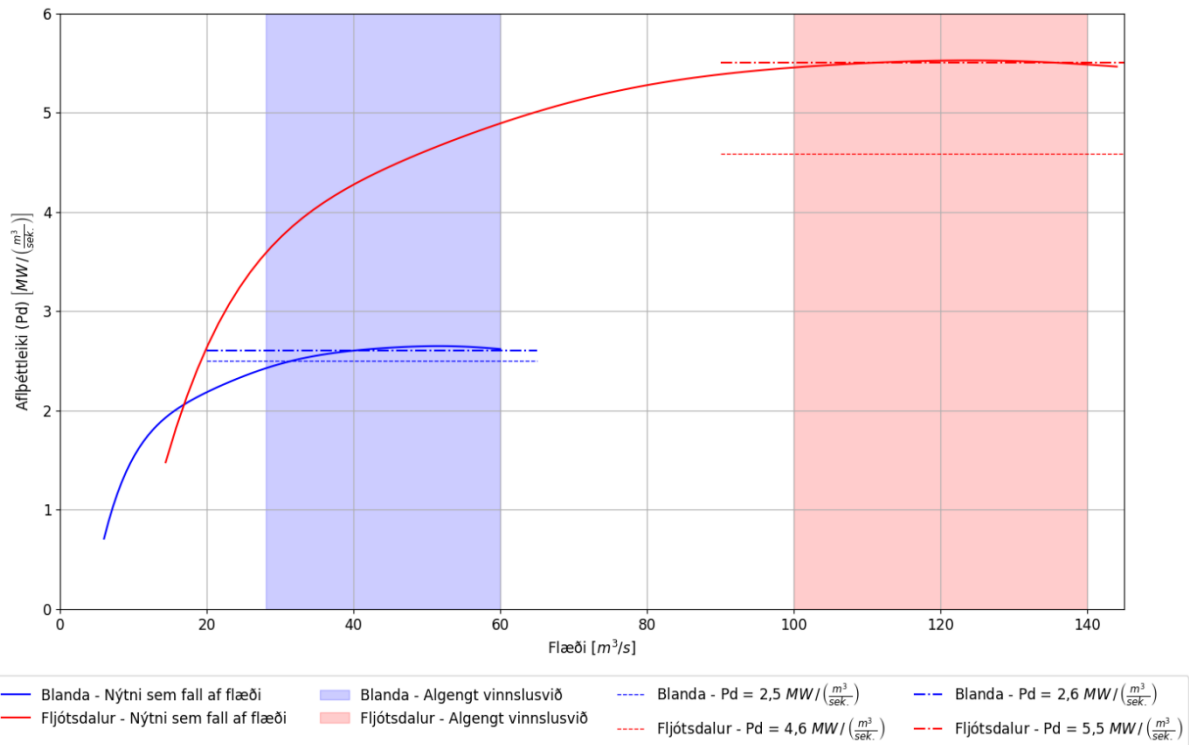
Flæðið á yfirfalli er svo umreiknað í afl út frá aflþéttleika (Pd) vinnslueininganna, þ.e. umreiknistuðul sem gefur hversu margar afleiningar fást fyrir hvern rúmmetra á sekúndu sem rennur á yfirfalli. Í töflu 3.1 eru sýndar upplýsingar um hámarksrennsli (q_{max}) og mesta vinnslugetu ($P_{uppsett}$) Blöndu- og Fljótisdalsvirkjunar. Fyrir Fljótisdalsvirkjun er ekki miðað við að mesta vinnslugeta sé uppsett afl en rennlistakmarkanir í fallpípu takamarka hana við um 660 MW, enda var stöðin hönnuð sem 5+1 stöð, þ.e. í henni eru sex 115 MW vélar. Fimm vélar nægja til að anna Alcoa Fjarðaráli, þ.e. virkjunin og álag Alcoa voru metin hvor gegn öðru og ef truflun verður á vél þá er samt nægt afl til að sinna álverinu. Venjulega eru allar sex vélarnar keyrðar en ekki á fullu afli.

Með þessum tölum er hægt að reikna aflþéttleika virkjananna eins og gert er í töflu 3.1 en í rauninni er aflþéttleikinn beintengdur nýtni vélanna sem breytist með rennsli vatns um þær. Eftirfarandi formúla sýnir samband aflþéttleika og nýtni vatnsaflsvéla:

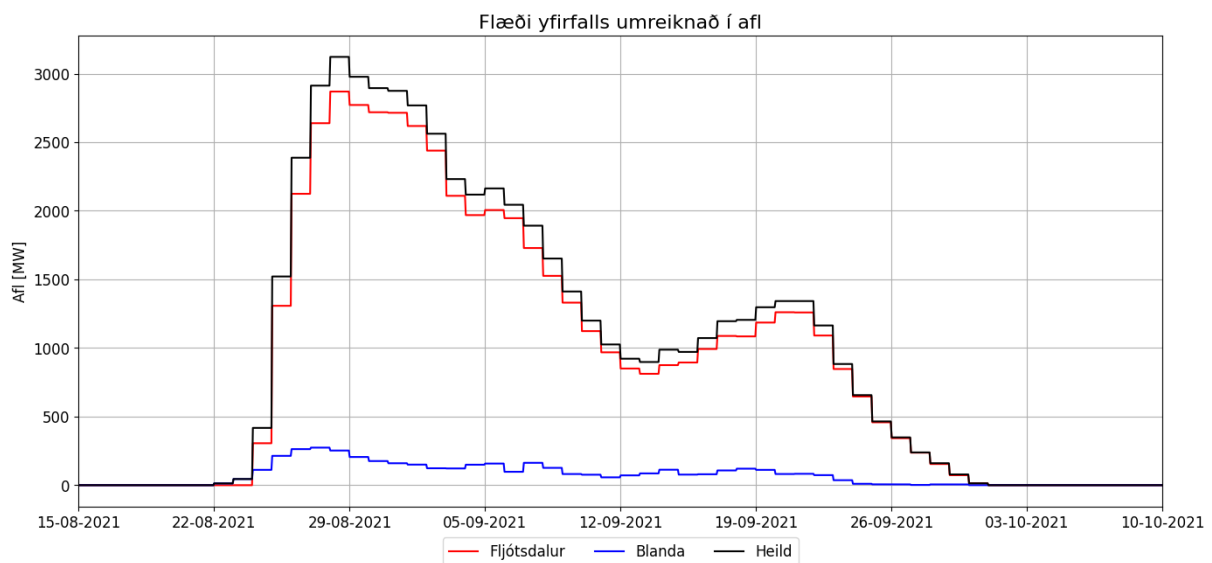
$$Pd = \frac{P}{q} = \eta(q) \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot q \left[\frac{\text{MW}}{\text{m}^3/\text{sek.}} \right] \quad (1)$$

- P er afl í MW
- q er flæðið í gegnum vélina í m³/sek.
- $\eta(q)$ er nýtni vélarinnar sem fall af flæðinu í %
- ρ er eðlisrúmmál vatns eða 1000 kg/m³
- g er þyngdarhröðunin á Íslandi eða 9,82 m/s², og
- h er fallhæðin í metrum

Til að sýna hvernig aflþéttleikinn breytist með mestu mögulegu nákvæmni þarf að styðjast við nýtnikúrfur vélanna í Blöndu og Fljótsdal en þær voru ekki aðgengilegar við úrvinnslu þessarar skýrslu. Þess í stað var almenn nýtnikúrfa notuð úr skýrslu IPCC [12] um vatnsaflsvirkjanir. Útreiknaður aflþéttleiki með jöfnu (1), almennri nýtnikúrfu og stærðum í töflu 3.1 gefa mynd 3.3 en á henni má sjá að útreiknaður aflþéttleiki á almennu vinnslusviði virkjana er hærrí en sá sem reiknaður er í töflu 3.1. Nær er að aflþéttleikinn sé um 2,6 fyrir $MW/(m^3/sek.)$ Blöndu og 5,5 $MW/(m^3/sek.)$ í Fljótsdal. Því voru þau gildi notuð til að umreikna rennsli vatns á yfirfalli í mynd 3.2 yfir í afl á mynd 3.4.

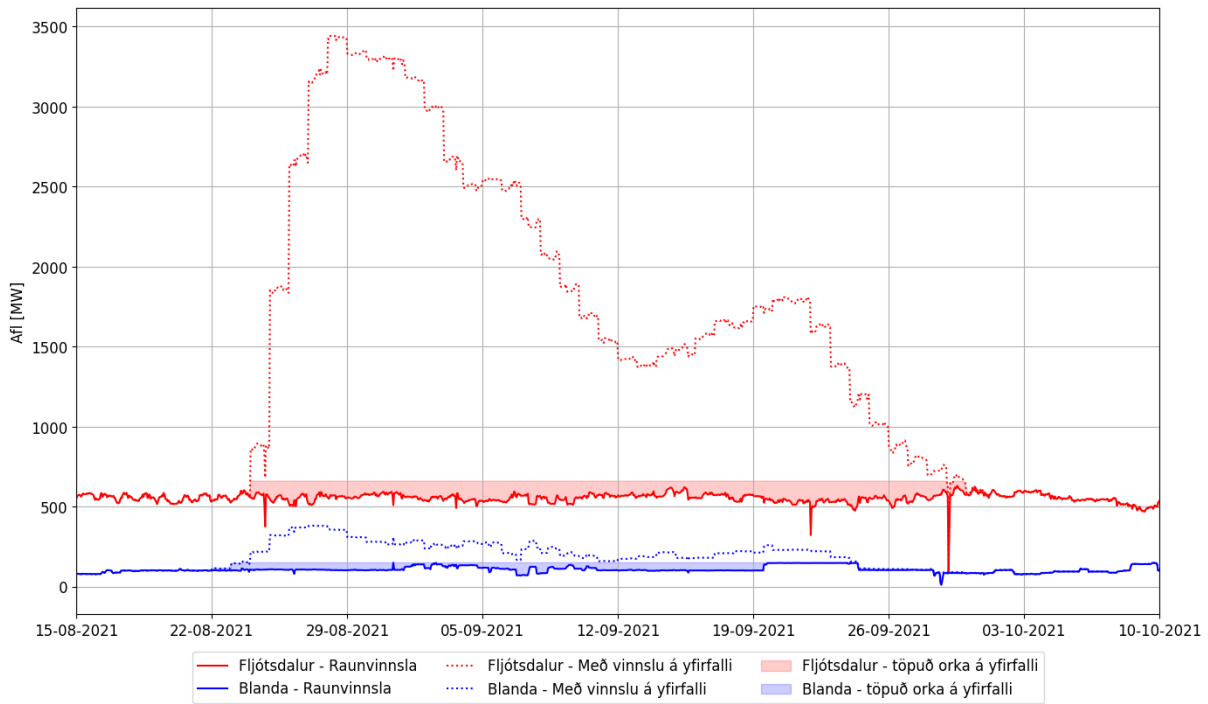


MYND 3.3 Aflþéttleiki vatnsaflsvéla í Blöndu og Fljótsdal yfir allt vinnslusvið vélanna

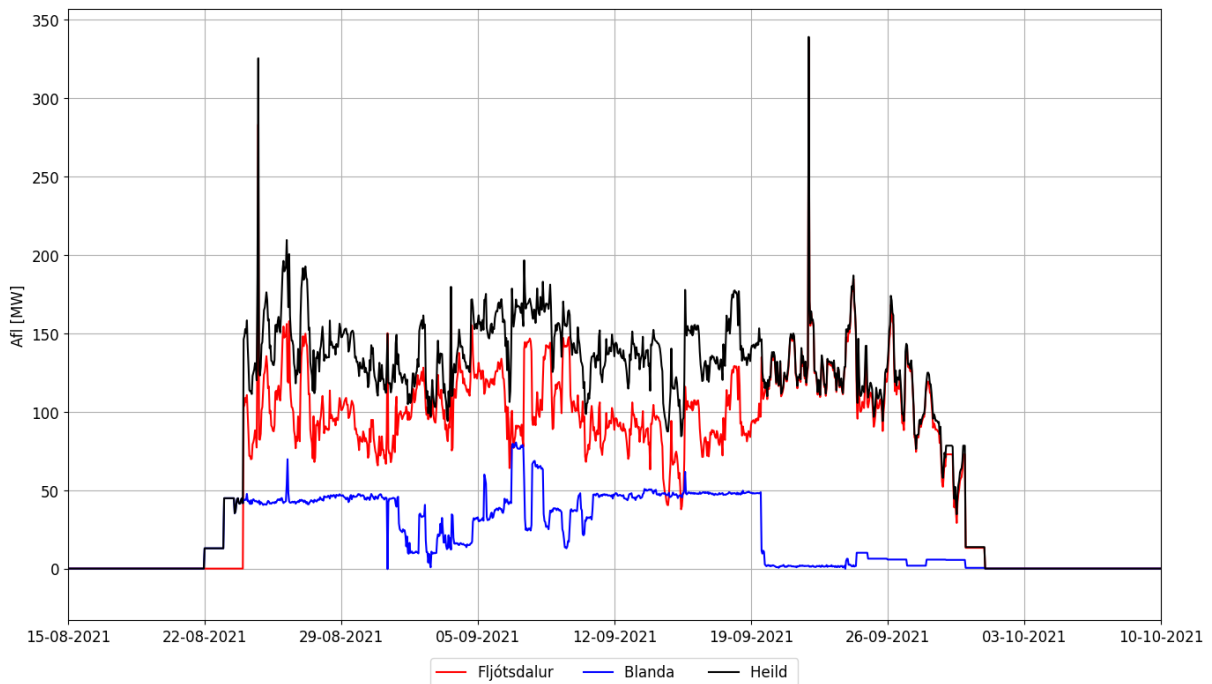


MYND 3.4 Rennsli á yfirfalli árið 2021 umreiknað í afl

Mynd 3.5 sýnir vinnslu í Blöndu og Fljótsdal ef aflið sem tapaðist á yfirfalli, skv. mynd 3.1, er lagt saman við gögn um raunverulega vinnslu. Við það sést að fræðilega hefðu virkjanirnar getað unnið á fullum afköstum, þ.e. á uppsettu afli, nánast allt tímabilið sem vatn rann um yfirfall ef hægt hefði verið að flytja orkuna suður um snið IIIb. Mynd 3.6 sýnir tímaröð þeirra vinnslu sem tapaðist og er hún stærstan hluta tímabilsins á bilinu 100 til 200 MW.

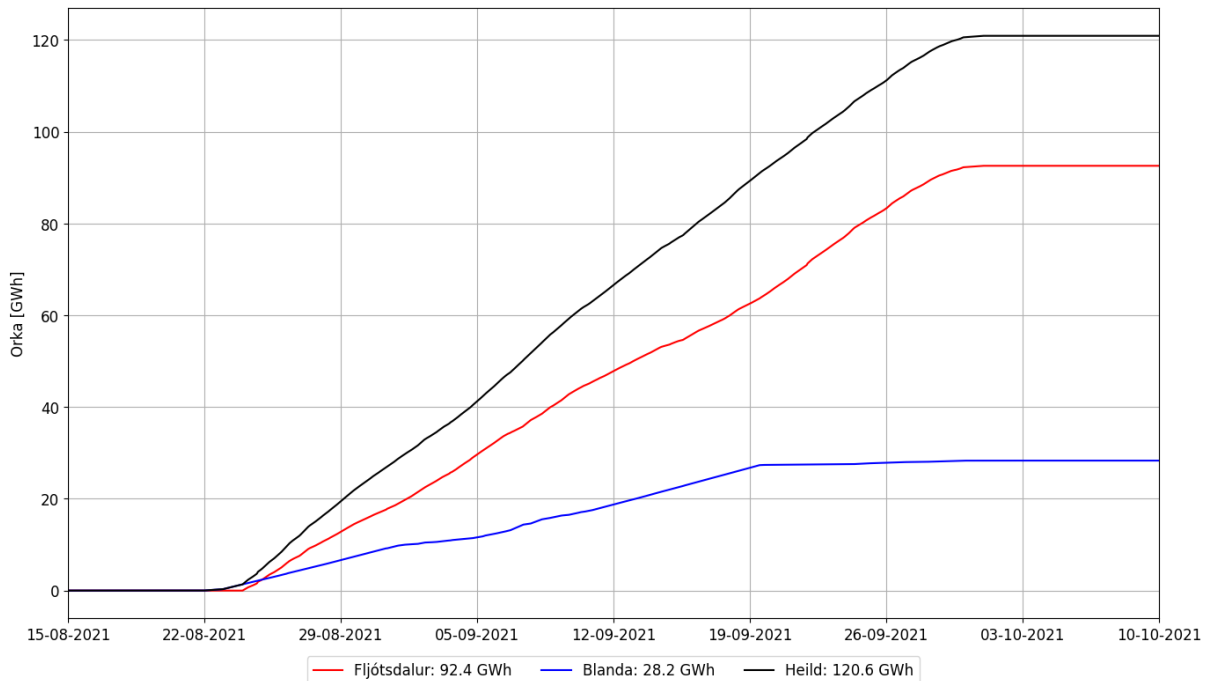


MYND 3.5 Rennslí á yfirfalli umreiknað í afl lagt við gögn um raunverulega vinnslu í Blöndu og Fljótsdal



MYND 3.6 Afl sem tapaðist á yfirfalli í Blöndulóni og Háslóni (Fljótsdal) árið 2021

Með því að leggja saman öll gildi afls á mynd 3.6, þ.e. heilda undir kúrfunum, færst sú orka sem tapaðist á yfirfalli. Á mynd 3.7 má sjá niðurstöður útreikninga um þá orku sem tapaðist á yfirfalli árið 2021 m.v. ef vinnsla hefði verið í hámarki allan þann tíma sem vatn rann um yfirfall. Miðað við gefnar forsendur og útreikninga að ofan töpuðust um 92,4 GWh í Fljótssdal og um 28,2 GWh í Blöndu. Því töpuðust um 120,6 GWh í heildina á yfirfalli árið 2021.

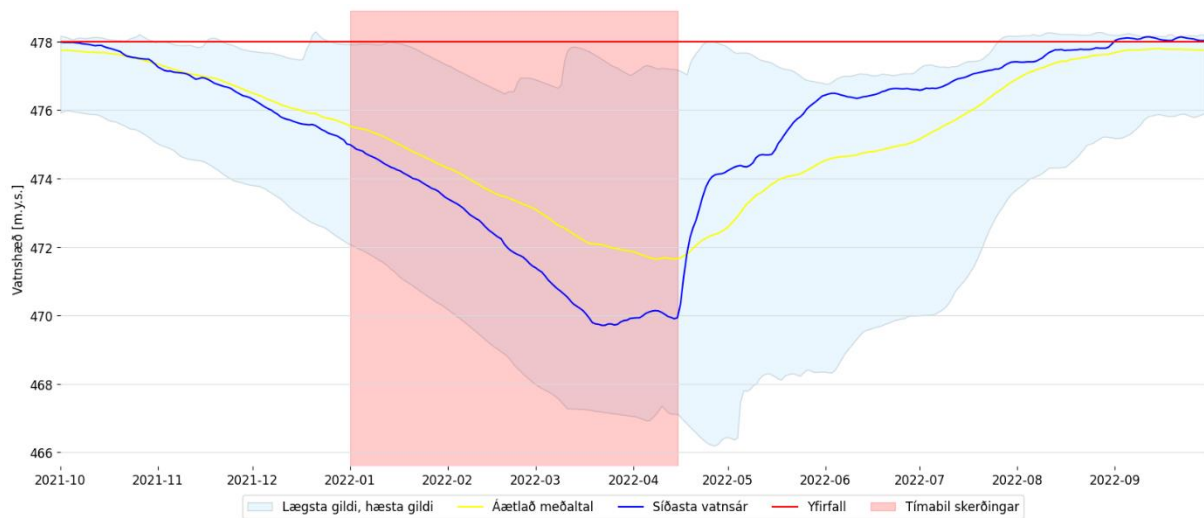


MYND 3.7 Orka sem tapaðist á yfirfalli í Blöndulóni og Háslóni (Fljótssdal) árið 2021

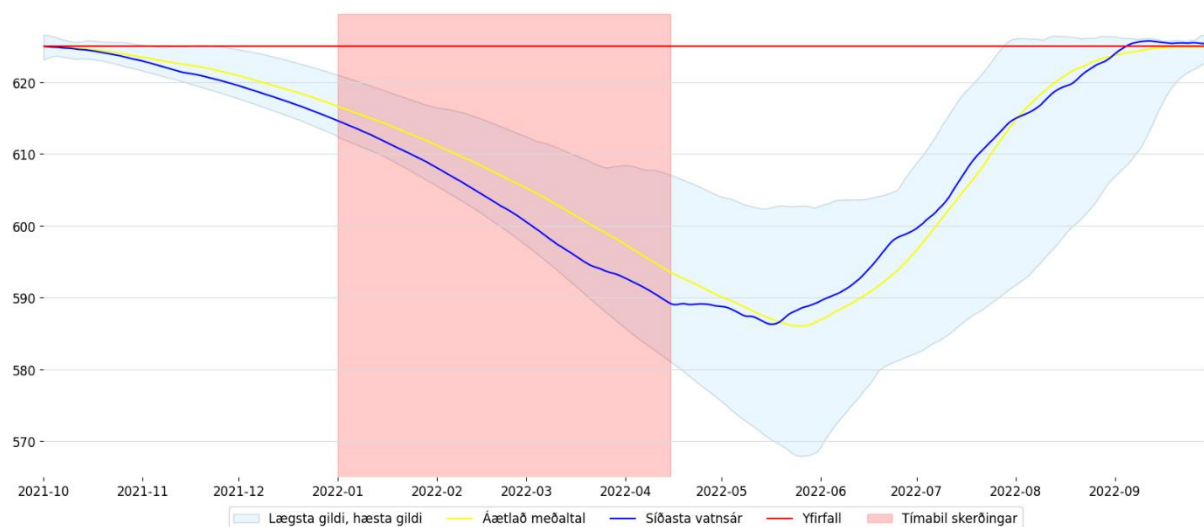
3.2 Orkuvinnsla við fullnýtingu miðlunarlóna

Til að reikna hver fræðileg hámarks raforkuframleiðsla á tímum skerðinga fyrir vatnsárið 2021/2022 var, er ekki nóg að líta einungis til tapaðra orkuvinnslumöguleika á yfirfalli haustið 2021. Einnig verður að horfa á hve mikla orku hefði verið hægt að framleiða ef vatn í miðlunarlónum hefði verið fullnýtt. Í þessum kafla verður sú orkuvinnsla áætluð en taka skal fram að um fræðilega hámarksframleiðslu er að ræða þegar allar upplýsingar um bæði álag og vatnsbúskap miðlunarlóna liggja fyrir eftirá. Ekki er fýsilegt að reka raforkukerfið í rauntíma skv. þeirra aðferðafræði sem stuðst verður við hér vegna óvissu í álagi og innrennsli í lón. Niðurstöður útreikninga er hins vegar hægt að nota til að áætla hvort raforkukerfið hefði getað staðið undir eftirspurn á tíma skerðinga ef flutningsgeta um snið IIIb hefði verið næg.

Á heimasíðu Landsvirkjunar er vatnsstaða bæði Blöndulóns og Háslóns [9] gefin en myndir 3.8 og 3.9 sýna vatnsstöðu lónanna fyrir vatnsárið 2021/2022. Á þeim sést að vatnshæðin í báðum lónum var að meðaltali um 2,7 metra hærra en lægsta mælda gildi. Því er hægt að gera ráð fyrir að, ef fullkomnar upplýsingar um innflæði í lón og álag hefðu legið fyrir, hefði verið hægt að auka framleiðslu véla í Blöndu og Fljótssdal svo að vatnsstaða væri í neðri mörkum við lok skerðinga.

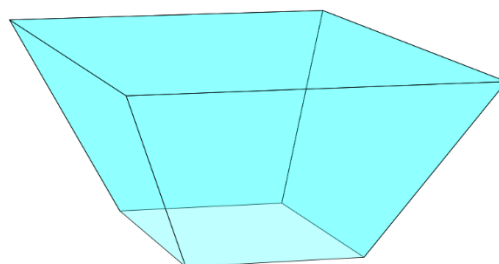


MYND 3.8 Vatnshæð í Blöndulóni vatnsárið 2021/2022 [9]



MYND 3.9 Vatnshæð í Háslóni vatnsárið 2021/2022 [9]

Til að áætla hversu mikla orku hefði verið hægt að framleiða ef rekstur hefði farið fram með þeim hætti þarf að vita hvernig rými vatns í miðlunarlónum dreifist eftir vatnshæð. Slíkar upplýsingar lágu ekki fyrir við vinnslu þessara skýrslu en rýmsdreifingin var áætluð út frá þeirri ályktun að lónin séu í laginu eins og pýramídi sem búið er að skera af toppinn af og snúa á hvolf (e. truncated pyramid), sbr. mynd 3.10.



MYND 3.10 Form sem notað var við áætlun á rýmsdreifingu vatns í miðlunarlónum

TAFLA 3.2

Upplýsingar um miðlunarlón sem notaðar voru við útreikning [9] [13]

	BLÖNDULÓN	HÁLSLÓN
Flatarmál yfirborðs	57 km ²	57 km ²
Hámarks miðlunarrými lóns	412 Gl (Gígalítrar)	2.100 Gl (Gígalítrar)
Hæð yfirfalls	478 m.y.s.	625 m.y.s.
Áætlaðar sveiflur í vatnshæð	12 m*	60 m**

* áætlað út frá mynd 3.8

** áætlað út frá mynd 3.9

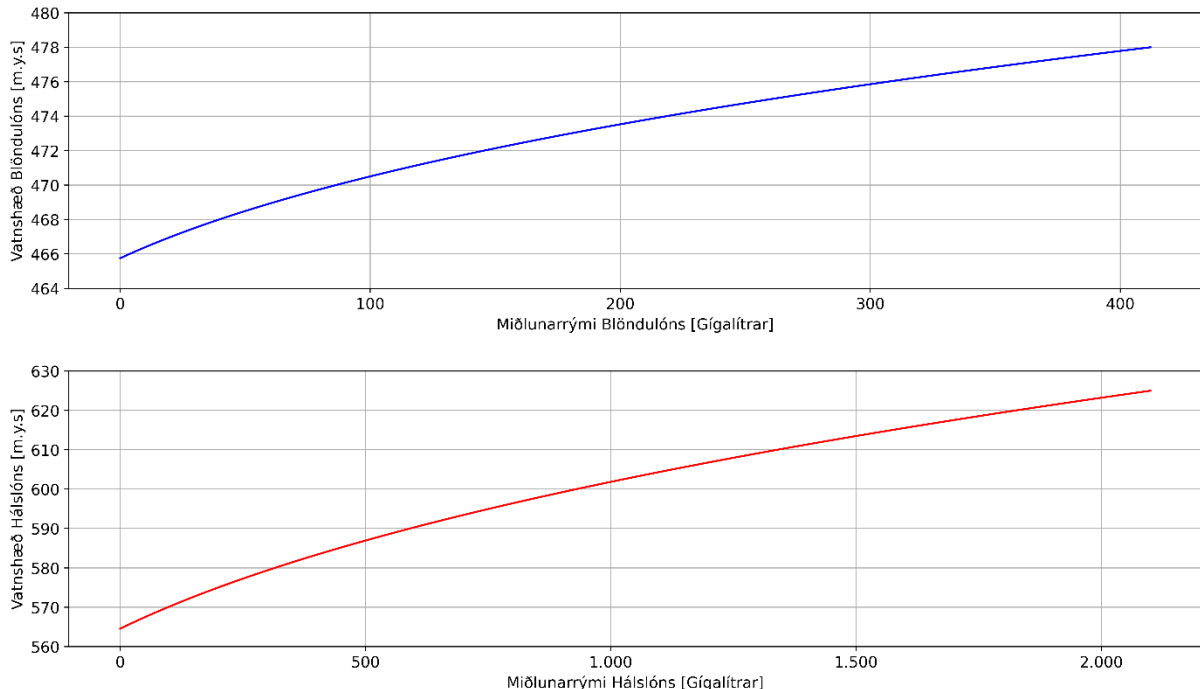
Með gögn um stærð, dýpt og hámarks miðlunarrými miðlunarlónanna í töflu 3.2 er svo hægt að reikna út áætlaða rýmisdreifinguna lónanna með jöfnu (2) eða vatnshæð miðlunarlónanna ef rými er þekkt með jöfnu (3). Mynd 3.11 sýnir hvernig áætlað miðlunarrýmið breytist með vatnshæð lónanna.

$$V(h) = \frac{A}{3 \cdot H^2} (H^3 - h^3) \quad [\text{m}^3] \quad (2)$$

$$\Rightarrow h(V) = \sqrt[3]{H^3 - \frac{3VH^2}{A}} \quad [\text{m}] \quad (3)$$

Þar sem:

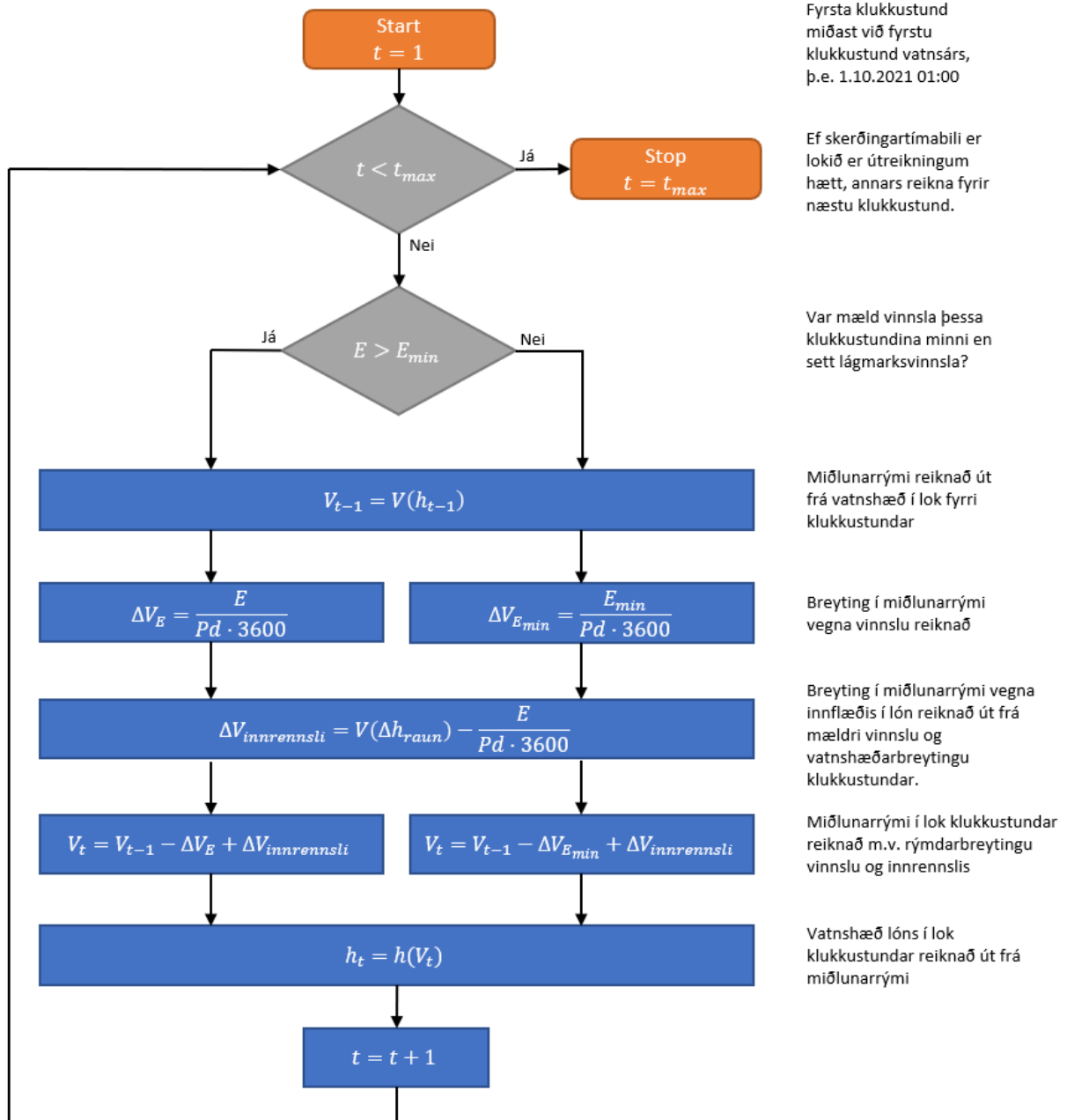
- V er rúmmál vatns í lóninu,
- A er flatarmál lóns á yfirfalli, þ.e. flatarmál stærri ferhyrningslaga flatar pýramídans,
- H er dýpt pýramída ef hann væri ekki skorinn¹, og
- h er dýpið í metrum sem rúmmálið er reiknað við.



MYND 3.11 Áætluð dreifing miðlunarrýmis í lónum eftir vatnshæð

¹ H er ákvarðað stærðfræðilega út frá gefnu rúmmáli lóns, flatarmáli yfirborðs og áætluðum sveiflum í vatnshæð lóns.

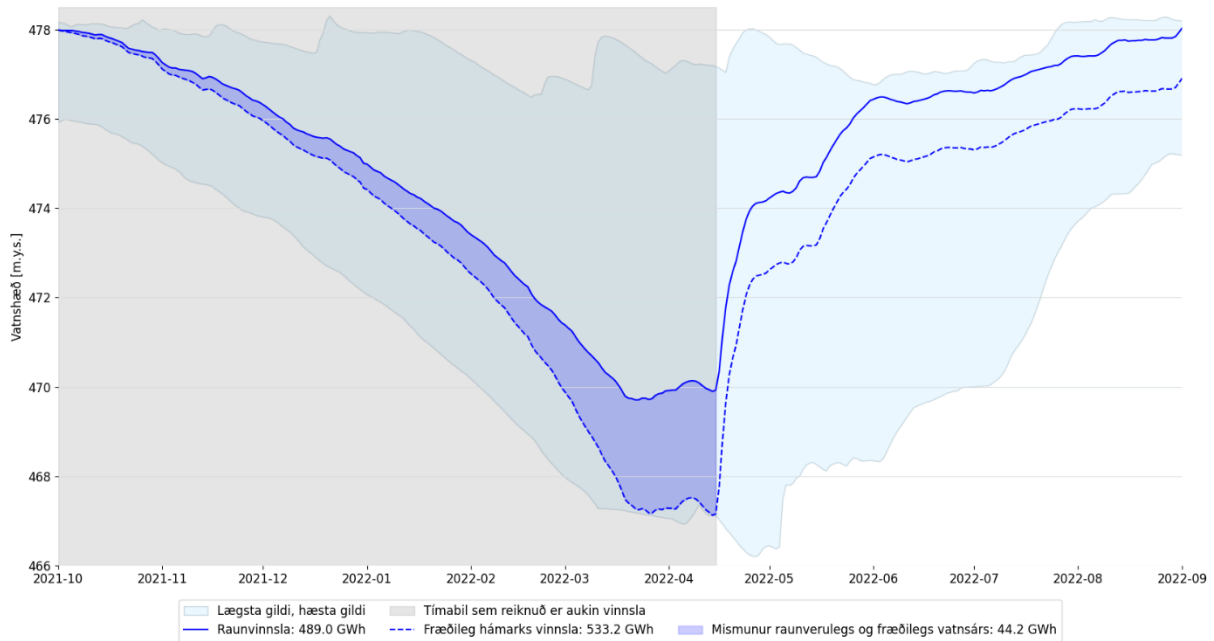
Með tímaraðagögnum um sögulega vinnslu í Blöndu og Fljótsdal á vatnsárinu 2021/2022, gögnum um þróun vatnshæðar á myndum 3.8 og 3.9, upplýsingum um miðlunarlónin í töflu 3.2 og jöfnum (2) og (3) er hægt að greina hámarksvinnslugetu virkjananna með tímaraðagreiningu. Mynd 3.12 sýnir flæðirit með einföldum útskýringum hvernig útreikningar voru framkvæmdir fyrir hverja klukkustund.



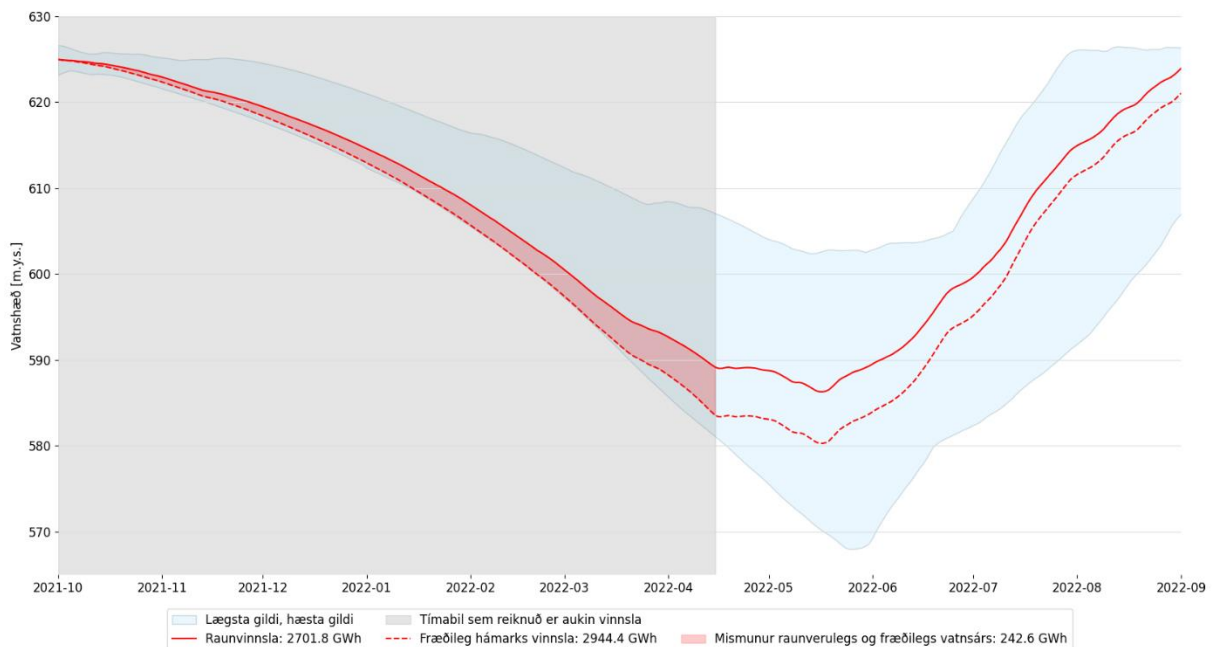
MYND 3.12 Flæðirit útreikninga á hámarksvinnslugetu virkjananna

Markmið útreikninganna er að athuga hver vinnsla hverjar klukkustundar er og bera saman við einhverja lágmarksvinnslu (E_{min}). Ef vinnslan er minni en lágmarksvinnslan er reiknuð ný vatnshæð miðlunarlóns út frá lágmarksvinnslunni, en ef hún er meiri var ný vatnshæð reiknuð út frá raunverulegri vinnslu. Með ítrun er fundin sú lágmarksvinnsla sem gerir það verkum að miðlunarrými miðlunarlónanna er fullnýtt á þann hátt að í lok skerðingartímabils er vatnsstaða í lægstu mörkum. Myndir 3.13 og 3.14 sýna hvernig vatnshæð Blöndulóns og Hálslóns hefðu getað þróast ef

miðlunarrými lónanna hefði verið fullnýtt skv. aðferðafræði flæðiritsins auk þeirrar forsendur að hægt hefði verið að flytja þessa aukalegu raforkuvinnslu suður um snið IIIb. Hér skal undirstrika að ekki er mögulegt að stýra raforkuvinnslu vatnsafls í raunveruleikanum á þennan máta þar sem framtíðar miðlunarrými lóna, innflæði í lónin og álag eru ekki þekkt í rauntíma. Útreikningar hér eru einungist til að áætla fræðilega hámarksvinnslu.

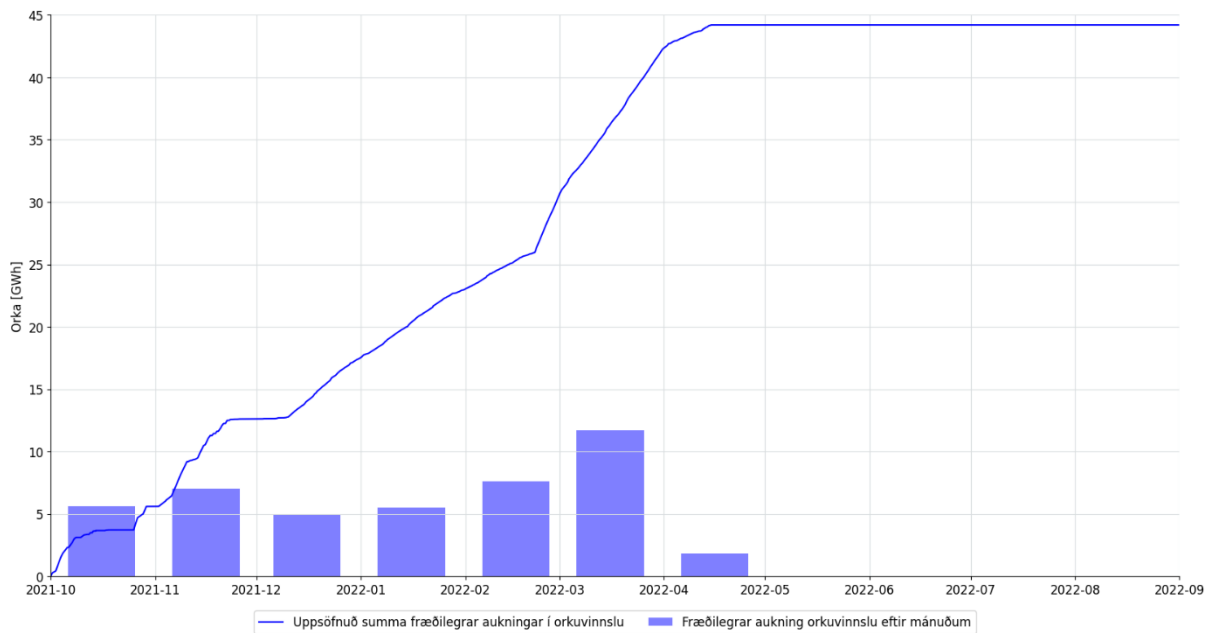


MYND 3.13 Þróun vatnshæðar í Blöndulóni ef miðlunarrými hefði verið fullnýtt vatnssárið 2021/2022

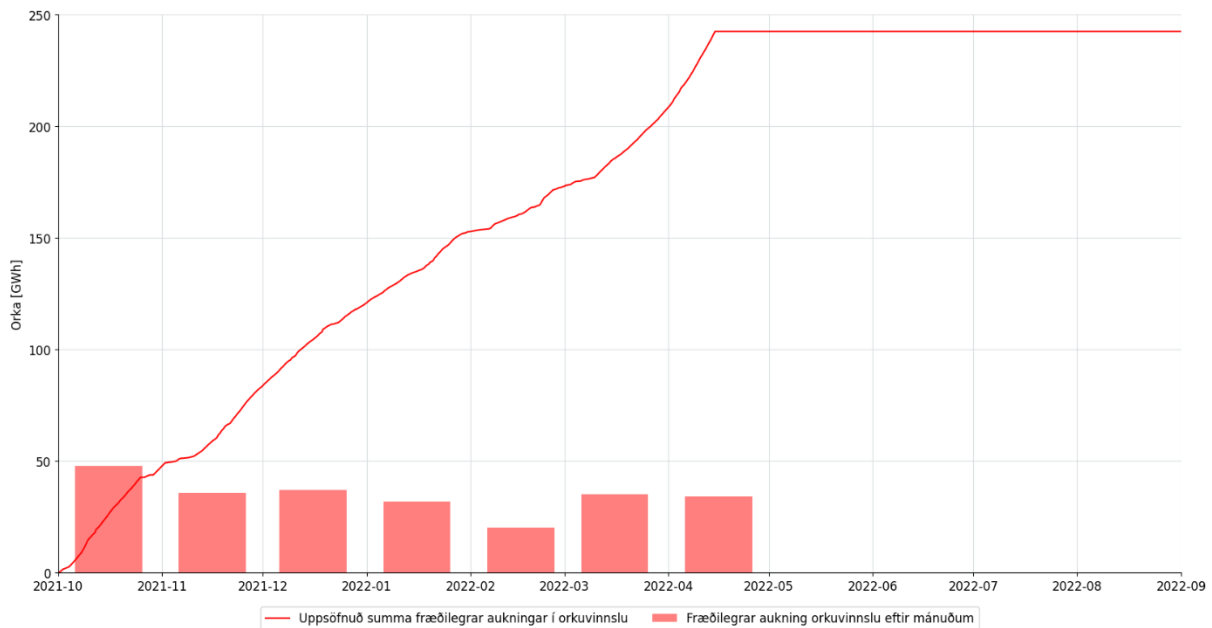


MYND 3.14 Þróun vatnshæðar í Háslóns ef miðlunarrými hefði verið fullnýtt vatnssárið 2021/2022

Eins og myndir 3.13 og 3.14 sýna hefði fræðilega verið hægt að framleiða um 44 GWh meira í Blöndu og 243 GWh meira í Fljótsdal ef hægt hefði verið að flytja orkuna suður um snið IIIb. Myndir 3.15 og 3.16 sýna hvernig orkuvinnslan dreifist yfir vatnsárið 2021/2022.



MYND 3.15 Dreifing á útreiknaðri fræðilegri aukningu í orkuvinnslu í Blöndu vatnsárið 2021/2022



MYND 3.16 Dreifing á útreiknaðri fræðilegri aukningu í orkuvinnslu í Blöndu vatnsárið 2021/2022

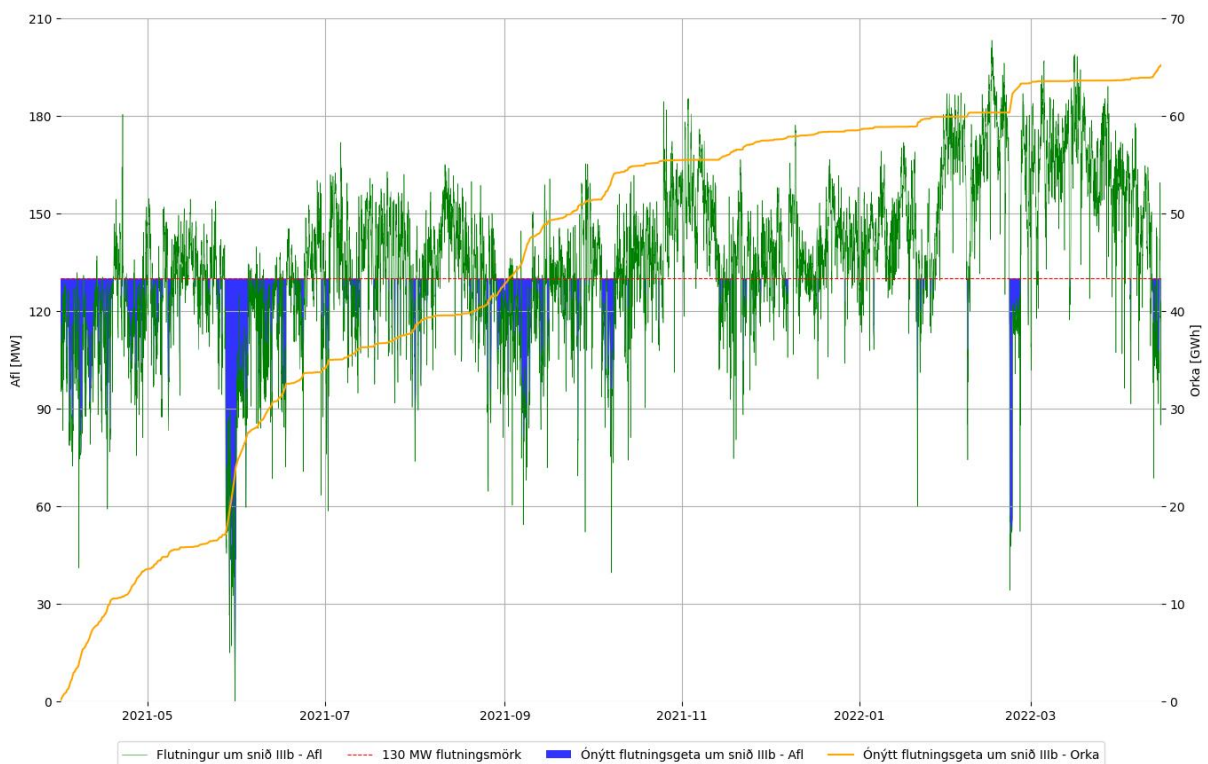
3.3 Samtals aukaleg vinnslugeta

Útreiknuð heildar aukaleg vinnslugeta bæði á yfirfalli og vegna hámarksáhrifa á miðlunarrými lóna er útreiknuð 407 GWh. Hér er um fræðilega hámarksvinnslu að ræða en óraunsætt er að áætla að hægt hefði verið að ganga á miðlunarrými Blöndu- og Hálslóns á þann hátt sem þessi 407 GWh auka vinnsla

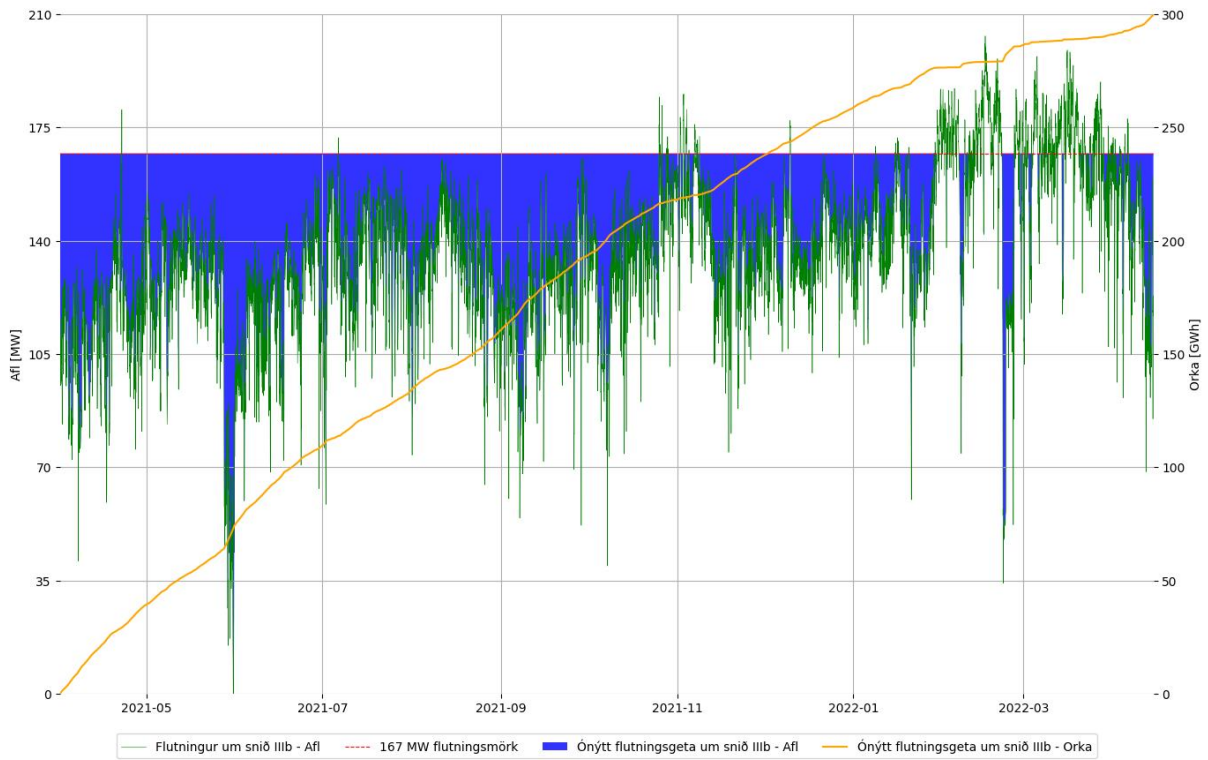
hefði krafist, vegna óöryggis um framtíðar innflæði í lón og álag. Líklegra er að aukaleg vinnslugeta hefði getað verið á bilinu 200 til 350 GWh ef flutningsgeta um snið IIIb hefði getað flutt þessa aukalegu orku suður um sniðið.

Niðurstöður útreikninga sýna þó nokkuð skýrt að vinnslugeta raforkukerfisins var næg til að dekka álagið sem var skert og því hefði ekki þurft að koma til skerðinga ef flutningsgeta suður um snið IIIb hefði verið næg. Á mynd 3.17 má sjá raunflutning suður um snið IIIb á tímabilinu 1.apríl 2021 til 15.apríl 2022 en þar sérst að flutningi um snið IIIb var í raun stýrt þannig að aflflutningur lá nánast allt tímabilið yfir stöðugleikamörkum. Þetta var gert til að koma til móts við skerta vinnslugetu sunnans sniðs vegna þurrkatíðar en eins og áður hefur komið fram dugði það ekki til.

Ef flutningur suður um snið IIIb hefði verið nýttur að hámarki, þ.e. aldrei verið farið undir stöðuleikamörk, hefði verið hægt að flytja aukalega um 65 GWh um sniðið, sbr. niðurstöður myndar 3.17. Tímabilið sem er greint er á myndinni er 1.apríl 2021 til 15.apríl 2022 til að gera ráð fyrir betri nýtingu rennslis vatns á yfirfalli en gert var á mynd 3.5. Til að flytja allar 300 GWh sem skertar voru hefði flutningur um sniðið aldrei mátt fara undir 167 MW eins og sést á mynd 3.18.



MYND 3.17 Ónýtt flutningsgeta um snið IIIb tímabilið 1.apríl 2021 til 15.apríl 2022 miðað fullnýtt stöðuleikamörk flutnings, þ.e. að flutningsmörk séu 130 MW.



MYND 3.18 Ónýtt flutningsgeta um snið IIIb tímabilið 1.apríl 2021 til 15.apríl 2022 ef miðað er við að flutningstakmörk um snið hefðu verið fullnýtt og væru 167 MW.

4 ÞJÓÐHAGSLEGUR KOSTNAÐUR

Í kafla 2 var óuppfyllt orkuþörf fjarvarmaveitna, fiskvinnslu og stórnotenda metin um 300 GWh. Í kafla 3 var sýnt fram á með útreikningum að mögulegt hefði verið að uppfylla þá þörf ef hægt hefði verið að flytja raforku óhindrað á milli landshluta á Íslandi. Í þessum kafla er lagt mat á það þjóðhagslega tap sem varð vegna þess að ekki var hægt að uppfylla raforkuþörf. Gert er ráð fyrir því að fjarvarmaveitur og fiskvinnslur hafi stuðst við bruna á jarðefnaeldsneyti til að þess að framleiða þá orku sem þau þurftu til þess að halda óskertri starfsemi. Stórnotendur eiga ekki þann kost og því er gengið út frá því að framleiðsla stórnotenda hafi dregist saman sem nemur skerðingu í afhentri raforku.

Þjóðhagslegur kostnaður vegna raforkuskerðinga er því sá kostnaður sem hlýst af því að nýta innflutt jarðefnaeldsneyti í stað innlendar grænnar raforku ásamt þeim þjóðhagslega kostnaði sem verður vegna samdráttar í framleiðslu stórnotenda.

4.1 Fjarvarmaveitur & Fiskvinnslur

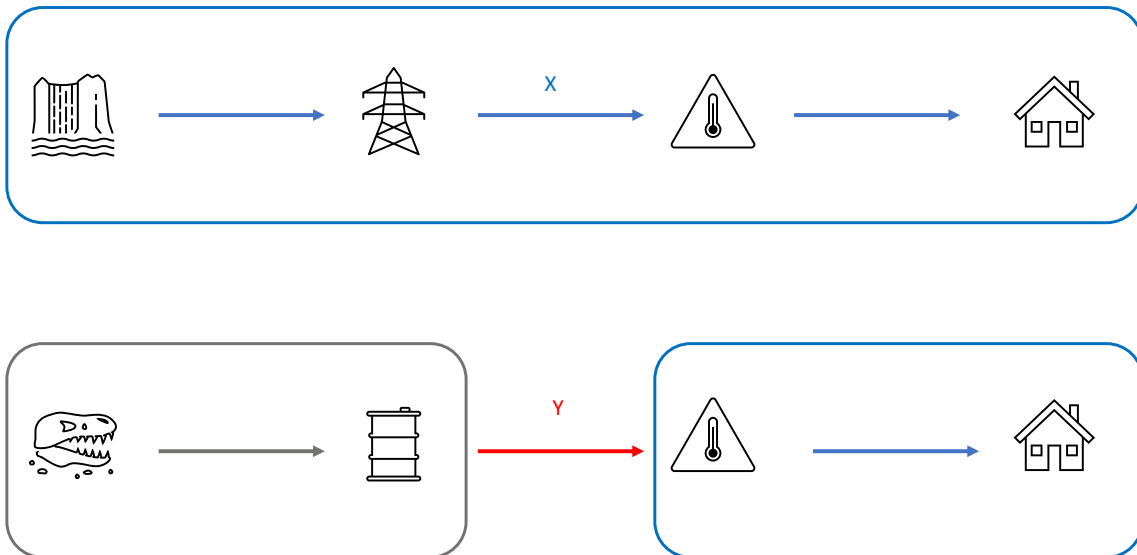
Mikilvægt er að hafa í huga að í þessari greiningu er horft til þjóðhagslegs kostnaðar vegna skerðinga, en ekki til rekstrarkostnaðar einstakra aðila. Því er hér ekki lagt mat á bókhaldslegt tap aðila vegna raforkuskerðinga heldur er horft til heildarinnar sem er íslenska hagkerfið og lagt mat á hvert tap Íslands er vegna þess að ekki er hægt að afhenta þá raforku sem þarf.

Til þess að útskýra muninn á þjóðhagslegum kostnaði og rekstrarkostnaði aðila er ágætt að skoða einfaldaða skýringarmynd af tilfelli fjarvarmaveitna, sjá mynd 4.1. Við hefðbundnar aðstæður skapast verðmæti við framleiðslu á raforku og liggur uppruni þeirrar verðmætasköpunar í íslenskri náttúru. Fjarvarmaveitur kaupa orku af íslenskum raforkuframleiðendum og greiða fyrir það verð, X , til framleiðanda. Í framhaldinu verður til áframhaldandi verðmætasköpun við að koma varma í íslensk heimili sem íslensk heimili greiða fjarvarmaveitum fyrir. Öll verðmætasköpunin og allir fjármunir verða til innan íslenska hagkerfis.

Þegar fjarvarmaveitur geta ekki stuðst við íslenska raforku þurfa þeir að leita orkunnar annað. Algengast er að uppruni þeirrar orku sé erlend olía og greiða fjarvarmaveitur þá Y til olíuframleiðanda í stað þess að greiða X til raforkuframleiðanda. Rekstarhagfræðilegur kostnaður fjarvarmaveitna vegna

skerðingar er þá $Y - X$, það er það verð sem þarf að greiða fyrir olíu að frádregnum þeim kostnaði sem sparast vegna raforkukaupa.

Þjóðhagslegur kostnaður er hins vegar breytingin í rekstarkostnaði beggja aðila, fjarvarmaveitunnar og raforkuframleiðanda. Breytingin fyrir raforkuframleiðanda er að hann tapar þeirri sölu sem hefði orðið til fjarvarmaveitu ($-X$). Breytingin fyrir fjarvarmaveitu er gjaldið sem þarf að greiða fyrir olíu, að frádregnum þeim kostnaði sem sparast vegna raforkukaupa ($-Y + X$). Í þjóðhagslegum skilningi nemur því kostnaðurinn einungis $-Y$, þ.e. $-Y + X - X$.



MYND 4.1 Einfölduð útskýringarmynd á þjóðhagslegum kostnaði vegna olíunotkunar fjarvarmaveitna í stað rafmagns

Auk þeirrar verðmætasköpunar sem tapast vegna notkunar á olíu í stað raforku er einnig nauðsynlegt að horfa til umhverfissjónarmiða. Ljóst er að bruni olíu í stað þess að nýta innlenda græna orkugjafa hefur einnig í för með sér þjóðhagslegan kostnað í formi þeirra neikvæðu ytri áhrifa sem verða af bruna olíu. Því er nauðsynlegt að taka inn í myndina losunina sem verður vegna bruna á jarðefnaeldsneyti í stað þess að nýta innlenda græna orku.

Heildarskerðing til fjarvarmaveitna var metin um 30 GWh og heildarskerðing vegna fiskvinnslu 90 GWh í kafla 2. Til þess að áætla hver sé þjóðhagslegur kostnaður vegna skerðinga til fjarvarmaveitna þarf fyrst að finna hver heildar olíunotkunin var og margfalda það með kostnaði við innflutta olíu (án álagningar íslenskra olíufélaga, skatta og annarra gjalda). Fyrstu mánuði ársins 2022 var meðalverð á innfluttri gasolíu án opinberra gjalda eða álagningar innlendra aðila samkvæmt tollskrá Hagstofu 100,14 kr./kg [14]. Jafnframt þarf að áætla hver losunin vegna bruna slíkrar olíu er. Hér er stuðst við viðmið umhverfisstofunnar þar sem miðað er við að bruni á 1 kg af gasolíu leiði til losunar 3,24 kg CO₂ ígilda [15].

Erfitt er að meta verðmæti losunar til fjár og ljóst að engin upphæð sem sett er fram nær fullkomlega utan um verðmæti þeirra afleiðinga sem bruni á olíu hefur. Hér er stuðst við viðmið frá Alþjóðabankanum um skuggavirði kolefnis [16]. Áætlað skuggavirði kolefnislosunar 2022 er 10.487 kr./tonn CO₂ ígildi.

Við útreikning á magni olíu sem var brennt til að uppfylla raforkuþörfina (heildarkerðinguna) þarf fyrst að umreikna hana í efnaorku olíu út frá nýtni rafskauta- og olíukatla auk þess sem að umreikna þarf efnaorkuna yfir í magn. Til að umreikna raforkuþörfina í efnaorku olíu er stuðst við jöfnu (4) þar sem nýtnigildi katlanna er fengin úr Eldsneytisspá [17] og er 95% fyrir rafskautakatla og 85% fyrir olíukatla. Þá er hægt að áætla magn olíu sem var brennt til að uppfylla þessa raforkuþörf með umreiknistuðul en hér er miðað við 11,63 GWh/kt olíu og er sá stuðull fenginn úr Eldsneytisspá [17].

$$E_{olía} = E_{raforka} \cdot \frac{\eta_{rafskautaketill}}{\eta_{olíuketill}} \quad (4)$$

Þar sem:

$E_{olía}$ er efnaorka olíu sem krefst til að framleiða óuppfyllta raforkuþörf,
 $E_{raforka}$ er óuppfyllt raforkuþörf,
 $\eta_{rafskautaketill}$ er nýtni rafskautakatla,
 $\eta_{olíuketill}$ er nýtni olíukatla.

Með áætlaða raforkuþörf, jöfnu (4), losunarstuðlum, umreiknistuðlum og kostnaði bæði losunar og olíu er hægt að reikna áætlaðan þjóðhagslegan kostnað vegna skerðinganna vatnsárið 2021/2022, sjá töflu 4.1.

Áætluð aukning í notkun olíu vegna þess að ekki var hægt að nýta raforku er talin hafa verið rúmlega 2,9 kílótonn fyrir fjarvarmaveitur og tæplega 8,7 kílótonn fyrir fiskvinnslur. Miðað við innflutningsverð olíu er kostnaður við innflutning þessarar olíu metinn um 291 milljónir króna fyrir fjarvarmaveitur og tæplega 868 milljónir króna fyrir fiskvinnslur.

Auk þess sem nýting innfluttrar olíu í stað innlendrar raforku felur í sér beinan kostnað fyrir íslenskt þjóðfélag hefur bruni olíu einnig neikvæð ytri áhrif vegna þeirrar losunar sem hún veldur. Þau áhrif verða á heimsvísu og eru hluti af mun stærra mengi en beinn kostnaður vegna innflutnings olíu. Ef stuðst er við áðurnefnt skuggavirði losunar er verðmæti þeirrar aukalegu losunar sem varð vegna skerðinga raforku um 30 milljónir vegna olíunotkunar fjarvarmaveitna og um 91 milljónir vegna olíunotkunar fiskvinnsla.

Í heildina nam þjóðhagslegur kostnaður vegna skerðinga á afhendingu raforku til fjarvarmaveitna og fiskvinnsla því um 1.281 milljónum kr.

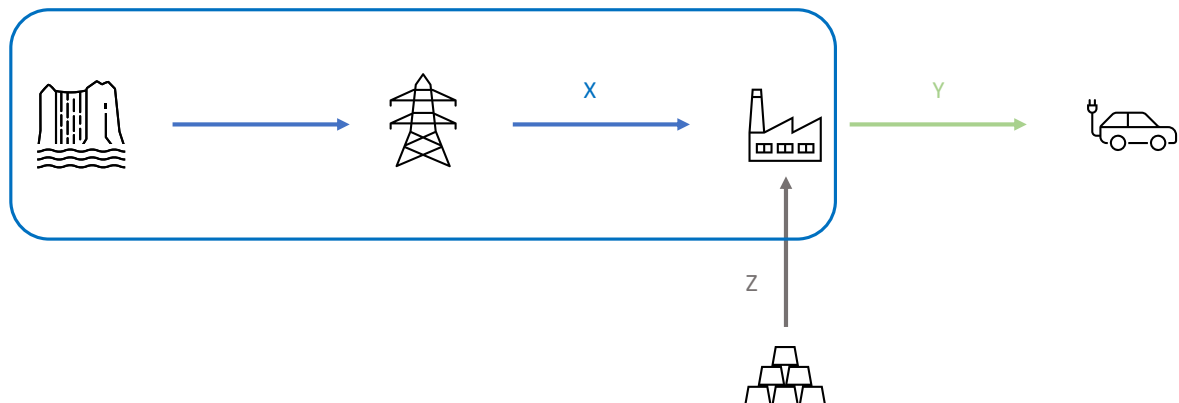
TAFLA 4.1 Orkuþörf, olíumagn, losun og kostnaður vegna skerðinga fjarvarmaveitna og fiskvinnsla

	FJARVARMAVEITUR	FISKVINNSLUR
Óuppfyllt raforkuþörf, $E_{raforka}$ (GWh)	30,0	90,2
Efnaorka, $E_{olía}$ (GWh)	33,8	100,8
Áætlað olíumagn, $m_{olía}$ (kt)	2,91	8,67
Heildarlosun (kt co2 íg.)	9,41	28,09
Kostnaður olíu (m.kr.)	291,0	868,2
Áætlaður kostnaður á orkueiningu (kr./MWh)	9.700	9.625
Skuggavirði losunar (m.kr)	30,5	90,9
Þjóðhagslegur kostnaður (m.kr)	321,5	959,1

4.2 Stórnotkun

Í kafla 2 var áætlaður samdráttur í raforkunotkun Ísal áætlaður um 59 GWh samdráttur í notkun Norðuráls áætlaður um 82 GWh og samdráttur í notkun Elkem áætlaður tæplega 39 GWh. Ljóst er að stórnotendur geta ekki nýtt aðra orkugjafa tímabundið líkt og fjarvarmaveitur og fiskvinnslur og því er um að ræða samdrátt í framleiðslu fyrir þau fyrirtæki sem fyrir skerðingu verða. Stórnotendur raforku eru stór alþjóðleg fyrirtæki með töluverða lóðréttu samþættingu. Því geta þau brugðist við slíkum skerðingum á ýmsa vegu og ómögulegt er að áætla nákvæmlega hvaða áhrif slík skerðing hefur á endanlega afhendingu fyrirtækjanna á afurðum.

Aftur má nota skýringarmynd til þess að útskýra hið þjóðhagslega tap sem verður við skerðingu til stórnotenda. Líkt og fyrir skýringarmynd er um að ræða mikla einföldun á raunveruleikanum. Í hefðbundnu árferði kaupa stórnotendur raforku af framleiðendum og greiða fyrir það X. Þeir flytja einnig inn nauðsynleg aðföng líkt, og súrál, og greiða fyrir það Z. Til staðar verður verðmætasköpun hjá stórnotendum og þeir selja afurðir erlendis fyrir Y. Að sjálfsögðu eru til staðar aðrar breytur líkt og vinnuafli en til einföldunar er horft fram hjá því hér. Þegar framleiðsla stórnotenda dregst saman er þjóðhagslegi kostnaðurinn samdráttur í útflutningi Y að frádrægnum samdrætti í innflutningi Z þ.e. $Y - Z$. Lýsir það þeirri verðmætasköpun sem verður til staðar í venjulegu árferði bæði hjá innlendum raforkuframleiðendum, flutningsaðilum raforku og stórnotendum sjálfum. Það er sú verðmætasköpun sem ekki verður til þegar að framleiðsla dregst saman vegna skorts á raforku.



MYND 4.2 Þjóðhagslegur kostnaður vegna samdráttar í framleiðslu stórnotenda

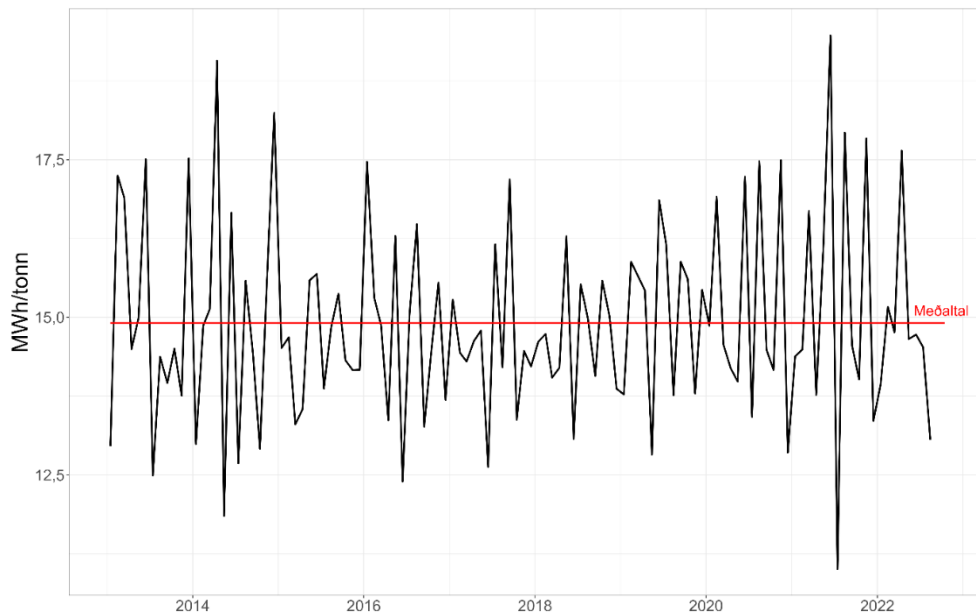
4.2.1 Álframleiðendur

Á Íslandi eru í dag 3 verksmiðjur sem framleiða ál, en þær eru verksmiðjan Ísal í Straumsvík, Norðurál á Grundartanga og ALCOA Fjarðarál á Reyðarfirði. Einungis tvö þessara álvera urðu fyrir skerðingu, en það voru Ísal í Straumsvík og Norðurál, en bæði þessi álver eru tengd við flutningskerfið sunnan flutningssniðs IIIb.

4.2.1.1 Framleiðsla

Bera má saman mánaðarleg gögn úr tollskrá [18] um útflutning áls í hverjum mánuði og afhenta raforku til álvera í sömu mánuðum til þess að sjá gróflega hversu mikla raforku þarf til að framleiða hvert tonn

af útfluttri álvöru. Eins og sjá má á mynd 7 er hlutfallið breytilegt á milli mánaða en meðaltalið yfir allt tímabilið er 14,9 MWh á hvert tonn af útfluttum álafurðum.

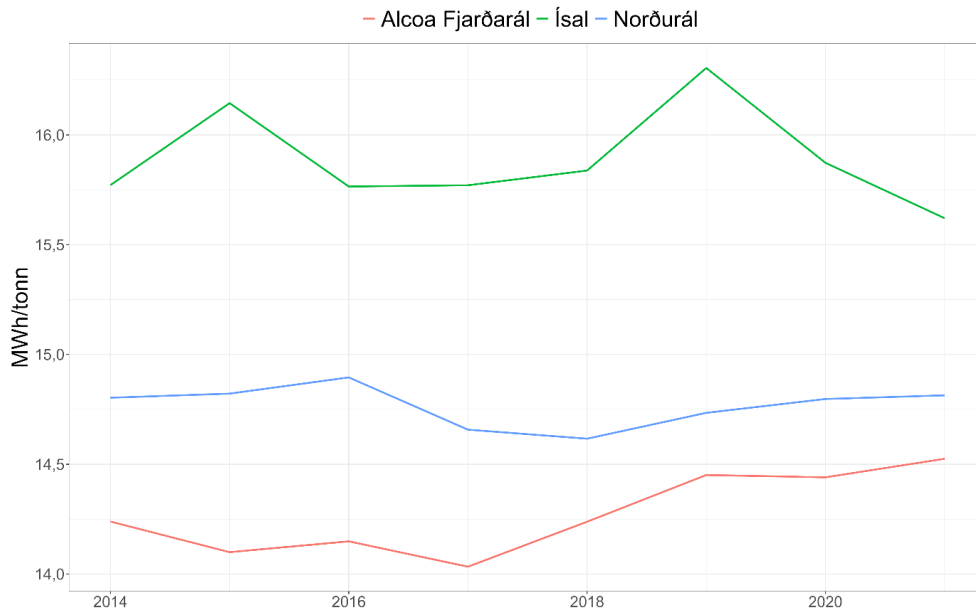


MYND 4.3 Útfluttar álafurðir samkvæmt tollskrá og notuð raforka janúar 2013 - september 2022

Hvert og eitt fyrirtæki þarf þó einnig að skila grænu bókhaldi til Umhverfisstofnunar [19]. Þar gefa fyrirtækin sjálf upp hversu mikið var framleitt á ársgrundvelli og hver raforkunotkun þeirra var það árið.

Líkt og sjá má á mynd 4.4 er munur á álframleiðendum og er nýjasta álverið á Reyðarfirði með skilvirkustu framleiðsluna. Vegið meðaltal er í kringum 14,9 MWh á hvert framleitt tonn í samræmi við gögn úr tollskrá. Sjá má að fyrir þau fyrirtæki sem urðu fyrir skerðingu, Norðurál og Ísal, er orkunotkunin um 14,8 MWh/tonn og 15,8 MWh/tonn.

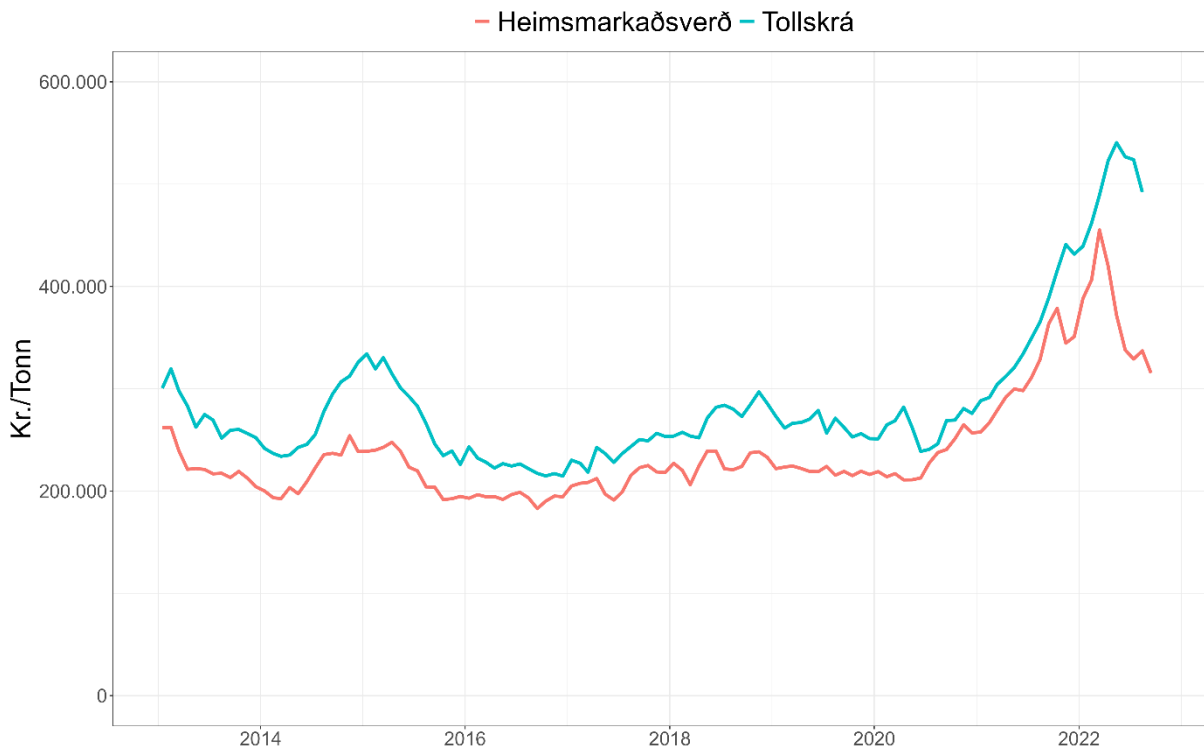
Því má áætla að skerðing um 59 GWh á raforku til Ísal þýði að framleiðsla fyrirtækisins hafi dregist saman um u.þ.b. 3.700 tonn. Skerðing um 82 GWh á raforku til Norðuráls þýði að framleiðsla fyrirtækisins dregist saman um 5.500 tonn.



MYND 4.4 Framleiddar álafurðir og notuð raforka á ári samkvæmt grænu bókhaldi fyrirtækja

4.2.1.2 Verðmæti framleiðslu

Ljóst er þá mánuði sem skerðing á raforkuafhendingu var til staðar var álverð gríðarlega hátt í sögulegu samhengi. Á mynd 4.5 má sjá þróun heimsmarkaðsverðs áls, jafnframt má sjá að samkvæmt tollskrá er verðmæti þeirra álvara sem fluttar eru úr íslensku hagkerfi hærri en almennt heimsmarkaðsverð áls. Er þetta vegna þess að álver Ísal í Straumsvík og Alcoa Fjarðarál framleiða ekki einungis hleifa af áli heldur vinna vöruna áfram yfir í svokallaðar álstangir (e. billets).



MYND 4.5 Heimsmarkaðsverðs áls og verðmæti útfluttra álafurða úr íslensku hagkerfi, nafnvirði

Mögulegt er að starfsemi í steypuskála álvera haldi áfram þrátt fyrir að framleiðsla í kerskála dragist saman ef álverið getur útvegað ál í staðinn fyrir þá framleiðslu sem dróst saman. Þannig getur virðisaukandi starfsemi álversins haldið áfram þrátt fyrir að framleiðsla dragist saman. Samkvæmt samtölum EFLU við álver á Íslandi var þetta niðurstaðan vormánuðina 2022. Því er þjóðhagslegt tap vegna skerðingu á framleiðslu sú framleiðsla á áli sem tapaðist í kerskála án virðisaukandi hluta starfseminnar. Það er, sú hráa álframleiðsla sem þurfti annaðhvort að flytja til landsins eða var seld milli innlendra framleiðsluaðila og var því ekki hægt að selja úr landi. Því er stuðst við heimsmarkaðsverð áls þegar verðmæti tapaðrar framleiðslu er metið.

Þegar horft er til þjóðhagslegs kostnaðar er dreginn frá samdráttur í innflutningi á aðföngum (súral, skaut og önnur aðföng sem þarf að flytja inn til að hægt sé að framleiða ál). Bæði magn og verðmæti aðfanga eru ekki opinberar upplýsingar og yfir þeim ríkir töluverð leynd. Því er í raun ómögulegt að segja til um hversu mikið af innfluttum aðföngum sparaðist vegna þess að framleiðsla dróst saman.

Mismunurinn á heimsmarkaðsverði og innflutningsverði aðfanga er sú verðmætasköpun sem til verður í íslensku hagkerfi við framleiðslu áls. Skiptast þessi verðmæti niður á marga mismunandi aðila. Mismunurinn endurspeglar að hluta til raforkuverðið sem fer til innlendra raforkuframleiðenda, flutningsverðið sem fer til Landsnets, laun og annan starfsmannakostnað sem starfsmenn álvera fá í sinn hlut, hagnað álframleiðendanna sjálfra og aðra verðmætasköpun sem verður til innan íslenska hagkerfisins við starfsemi álvera. Því er mikilvægt að taka fram að hér er ekki verið að áætla bókhaldslegt tap álvera vegna raforkuskerðinga heldur gerð tilraun til að meta töpuð verðmæti allra innlendra aðila vegna samdráttar í framleiðslu.

Þá mánuði (jan.-apr.) sem skerðing var á framleiðslu innlendra álvera var meðaltal heimsmarkaðsverðs á áli um 420.000 kr. á hvert tonn [20]. Meðalverð á innfluttu súrali var um 115.000 kr. á hvert tonn [21]. Gert er ráð fyrir að 1,92 tonn af súrali þurfi til að framleiða eitt tonn af áli. Er það meðaltal súrals sem þarf til að framleiða tonn af áli samkvæmt umhverfisskýrslu álveranna sem skilað er til Umhverfisstofnunnar ár hvert [19].

Byggt á þeim forsendum sem komið hafa fram hér má áætla að þjóðhagslegt verðmæti þeirrar álframleiðslu sem ekki varð vegna raforkuskerðinga vatnsárið 2021/2022 hafi numið um 2,8 milljörðum króna, sbr. niðurstöðum í töflu 4.2.

TAFLA 4.2 Orkuþörf og kostnaður vegna skerðinga álframleiðenda

	ÁLFRAMLEIÐENDUR
Óuppfyllt raforkuþörf (GWh)	142
Samdráttur í framleiðslu (tonn)	9.310
Heimsmarkaðsverð (kr./tonn)	417.453
Áætlað verð innfluttra aðfanga (kr./tonn)	115.493
Þjóðhagslegt verðmæti tapaðrar framleiðslu (m.kr)	2.811
Töpuð verðmætasköpun á orkueiningu (kr./MWh)	19.862

4.2.2 Járblendi

Á Íslandi er ein verksmiðja sem fellur undir járblendi Elkem, hún er staðsett á Grundartanga við Hvalfjörð.

Þjóðhagslegt verðmæti tapaðrar framleiðslu járnbendis er fundið með sama hætti og þjóðhagslegt verðmæti tapaðrar framleiðslu álframleiðenda. Stuðst er við verðmæti afurða að frádregnu innflutningsverði aðfanga.

Samkvæmt grænu bókhaldi Elkem þarf um 9 MWh af raforku til að framleiða eitt tonn af kísiljárni í verksmiðju fyrirtækisins á Grundartanga [22]. Skerðing sem nemur 39 GWh jafngildir því samdrætti í framleiðslu sem nemur um 4.300 tonnum af kísiljárni. Þá mánuði sem skerðing varði var verð kísiljárns í sögulegu hámarki og var meðalverðið á hvert tonn um 445.000 kr./tonn.

Auk raforku eru önnur aðföng nauðsynleg þegar kemur að framleiðslu kísiljárns. Í þessari greiningu er horft til upplýsinga um framleiðsluferli við kísiljárnsframleiðslu af heimasíðu Elkem [23] til þess að áætla magn aðfanga sem þarf til að framleiða eitt tonn af kísiljárni. Þau aðföng sem tekið er tillit til eru kvarts, kol, koks og járngrýti. Stuðst er við innflutningsverð þessara vara samkvæmt tollskrá og það magn sem þarf til framleiðslu kísiljárns. Miðað við ofangreindar forsendur er áætlað verð innfluttra aðfanga um 155.000 kr. fyrir hvert tonn af kísiljárni.

Líkt og fyrir áliðnað er mikilvægt að taka fram að sá mismunur sem hér er á verði afurða og innfluttra aðfanga er ekki bókhaldslegt tap Elkem vegna raforkuskerðinga. Innifalið í þessum verðmun er margvísleg verðmætasköpun sem verður innan íslensk hagkerfis og skiptast verðmætin á milli raforkuframleiðenda, raforkuflutningsaðila, starfsmanna járnbendisins og fyrirtækisins sjálfs. Ekki er gerð tilraun til að meta tap einstakra aðila. Hér er einungis horft til þjóðhagslegs virðis þeirrar framleiðslu sem ekki varð.

Byggt á ofangreindum forsendum má ætla að þjóðhagslegt verðmæti þeirrar kísiljárnsframleiðslu sem ekki varð vegna raforkuskerðinga vatnsárið 2021/2022 nemi um 1,25 milljörðum króna, sbr. niðurstöðum í töflu 4.3.

TAFLA 4.3 Orkuþörf og kostnaður vegna skerðinga járnbendis

	JÁRNBLENDI
Óuppfyllt raforkuþörf (GWh)	39
Samdráttur í framleiðslu (tonn)	4.294
Heimsmarkaðsverð (kr./tonn)	445.772
Áætlað verð innfluttra aðfanga (kr./tonn)	155.091
Þjóðhagslegt verðmæti tapaðrar framleiðslu (m.kr)	1.248
Töpuð verðmætasköpun á orkueiningu (kr./MWh)	32.298

4.3 Heildarkostnaður þjóðfélagsins vegna skerðinga

Það efnahagslega tjón sem íslenskt þjóðfélag verður fyrir vegna þess að grípa þarf til skerðinga á afhendingu raforku er margþætt. Hér hefur verið lagt mat á þá helstu kostnaðarþætti sem koma til vegna skerðinga á afhendingu raforku en mikilvægt er að átta sig á mismunandi eðli kostnaðarliðanna. Töluverður munur er á auknum kostnaði sem fyrirtæki þurfa að greiða fyrir aðföng vegna þess að raforku nýtur ekki við, líkt og í tilfelli fjarvarmaveitna og fiskvinnsla, og verðmæti framleiðslu sem ekki varð til. Einnig er munur á efnislegum hlutum sem aðilar greiða fyrir og svo hagfræðilegu mati á hver kostnaður þjóðfélagsins er vegna losunar. Því er nauðsynlegt að fara varlega í að leggja saman þessa kostnaðarliði sem eru í eðli sínu eru mjög ólíkir.

Þjóðhagslegur kostnaður vegna skerðinga skiptist samkvæmt töflu 4.4.

TAFLA 4.4 Þjóðhagslegur kostnaður vegna skerðinga á afhendingu raforku veturinn 2021-2022

KOSTNAÐARLIÐUR	
Óuppfyllt orkuþörf vegna skerðinga (GWh)	300
Aukinn kostnaður vegna innflutnings olíu (m.kr)	1159
Þjóðhagslegt verðmæti tapaðrar framleiðslu stóriðju (m.kr)	4.059
Verðmæti ytri áhrif vegna losunar (m.kr)	122
Þjóðhagslegur kostnaður skerðinga veturinn 2021-2022 (m.kr)	5.340
<i>Þjóðhagslegur kostnaður á orkueiningu (kr./MWh)</i>	<i>17.800</i>

5 SAMANTEKT NIÐURSTAÐNA

Ljóst er að þær flutningstakmarkanir sem eru til staðar í núverandi flutningskerfi raforku valda töluverðum þjóðhagslegum kostnaði á ári hverju. Ýmis tækifæri til atvinnuuppbyggingar tapast vegna þess að ekki er hægt að afhenda raforku þar sem eftirspurn er eftir henni. Nemur samfélagslegur kostnaður þeirra verkefna sem ekki verða að raunveruleika milljörðum á ári hverju [24].

Flutningstakmarkanir draga einnig úr sveigjanleika raforkukerfisins og gera það að verkum að ómögulegt er að bregðast við aðstæðum sem koma upp í vatnsaflskerfum líkt og íslenska raforkukerfinu. Þar sem að ójafnvægi getur verið í framboði og eftirspurn raforku á mismunandi landsvæðum innan Íslands. Þegar að ekki er hægt að flytja raforku á milli landsvæða er eina lausnin í stöðunni að draga úr eftirspurn með skerðingum. Var þetta raunin veturinn 2021-2022 á Íslandi.

Heildarorkan sem ekki var hægt að afhenda vegna skerðinga vatnsárið 2021/2022 er metin um 300 GWh. Er þetta sú raforkunotkun sem talið er að hefði verið að meðaltali miðað við undirliggjandi breytur ef engar skerðingar hefðu verið til staðar að frádreginni þeirri raforku sem var afhent. Því er þetta sú raforkuþörf sem ekki var hægt að uppfylla vegna skerðinga.

Erfitt er að áætla nákvæmlega hversu mikið hefði verið hægt að framleiða aukalega af raforku vegna óvissu um vatnsstöðu í lónum. Ljóst er að greining sem framkvæmd er eftir á, þar sem að fullkomnar upplýsingar liggja fyrir, nær aldrei að fullu utan um þá óvissu sem felst í rekstri miðlunarlóna. Útreiknuð heildar aukaleg vinnslugeta bæði á yfirfalli og vegna hámarkunar á miðlunarrými lóna er útreiknuð 407 GWh. Hér er um fræðilega hámarksvinnslu að ræða en óraunsætt er að áætla að hægt hefði verið að ganga á miðlunarrými Blöndu- og Háslóns á þann hátt sem þessi 407 GWh auka vinnsla hefði krafist. Ef gert er ráð fyrir að framleiðendur geti ekki gengið á allt miðlunarrými lóna vegna óöryggis um framtíðar innflæði í lón og álag er líklegra að aukaleg vinnslugeta hefði getað verð á bilinu 200 til 350 GWh ef flutningsgeta um snið IIIb hefði getað flutt þessa aukalegu orkuvinnslu suður um sniðið. Niðurstöður útreikninga sýna þó nokkuð skýrt að vinnslugeta raforkukerfisins var næg til að dekkja álagið sem var skert og því hefði ekki þurft að koma til skerðinga ef flutningsgeta suður um snið IIIb hefði væri næg.

Það efnahagslega tjón sem íslenskt þjóðfélag verður fyrir vegna þess að grípa þarf til skerðinga á afhendingu raforku er margþætt. Þjóðhagslegur kostnaður þeirrar raforku sem ekki var hægt að afhenda vatnsárið 2021-2022 vegna takmarkaðar flutningsgetu er metinn 5,3 milljarðar króna. Þar af

er kostnaður vegna innflutnings á olíu og verðmæti tapaðrar framleiðslu í stóriðju um 5,2 milljarðar króna.

Í kerfisáætlun Landsnets [25] eru tilgreindar helstu línuframkvæmdir í meginflutningskerfinu. Telur Landsnet að þessar framkvæmdir muni leysa þær takmarkanir sem eru til staðar í núverandi flutningskerfi. Hefur fyrstu tveimur áföngum í þessari styrkingu flutningskerfisins, þ.e. Kröflulínu 3 og Hólasandslína 3, þegar verið lokið en aðrar línur sem tilgreindar eru í töflu 5.1 hafa ekki komið til framkvæmda. Er kerfisáætlunin frá árinu 2021 og því ljóst að framkvæmdakostnaður hefur hækkað eitthvað frá því að áætlunin var gefin út.

TAFLA 5.1 Tímalína línuframkvæmda ásamt áætluðum framkvæmdakostnaði, Kerfisáætlun Landsnets 2021-2030

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	KOSTNAÐUR (M.KR.)
Hólasandslína 3	■										8.900
Suðurnesjalína 2	■	■									3.970
Lyklafellslína 1		■	■								2.100
Blöndulína 3			■	■							11.878
Hellisheiði - Höfuðborgarsvæði				■	■						1.290
Hvalfjörður - Hrútafjörður				■	■	■					8.230
Höfuðborgarsvæði - Hvalfjörður						■	■				1.700
Hrútafjörður - Blanda								■	■		6.600
Styrking meginflutningskerfi s á Vestfjörðum									■	■	2.550

Umfang raforkuskerðinga vatnsárið 2021-2022 var að hluta til vegna tilfallandi aðstæðna það ár. Þar sem að vatnsstaða Þórisvatns var mjög lág á sama tíma og eftirspurn eftir raforku var mjög mikil. Þessi greining hefur sýnt fram á að ef ekki hefði verið fyrir flutningstakmarkanir hefði mátt mæta eftirspurn fyrir sunnan snið IIIb með raforku framleiddri fyrir norðan snið. Þjóðhagslegur kostnaður vegna takmarkaðrar flutningsgetu er metinn á um 5,3 milljarðar króna. Ef horft er til þeirra framkvæmda sem tilgreindar eru í Kerfisáætlun er ljóst að þjóðhagslegur kostnaður vegna orkuskerðinga sem grípa þarf til vegna takmarkaðrar flutningsgetu getur verið töluvert hærri en kostnaður við framkvæmdir einstakra lína. Ef slíkar aðstæður verða tíðari eftir því sem eftirspurn eftir raforku eykst, s.s. vegna aflskorts, er ljóst að þjóðhagsleg arðsemi þess að styrkja flutningskerfið eykst mikið. Auk þess að koma í veg fyrir skerðingar sem geta kostað þjóðfélagið milljarða á ári mun styrking flutningskerfisins einnig leiða til aukins afhendingaröryggis og aukinna atvinnutækifæra víðs vegar um Ísland.

6 HEIMILDASKRÁ

- [1] „Tíðarfar í maí 2021,“ 26. maí 2021. [Á neti]. Available: <https://www.vedur.is/um-vi/frettir/tidarfar-i-mai-2021#vorið>. [Skoðað 26. janúar 2023].
- [2] „Tíðarfar í september,“ Veðurstofa Íslands, október 10. 2021. [Á neti]. Available: <https://www.vedur.is/um-vi/frettir/tidarfar-i-september#sumarið>. [Skoðað 23. janúar 2023].
- [3] „Afli eftir fisktegundum og lönduarhöfnum, janúar 2010 - desember 2022,“ Hagstofa Íslands, [Á neti]. Available: https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Atvinnuvegir/Atvinnuvegir__sjavarutvegur__afflatolur__afli_manudir/SJA01101.px. [Skoðað 26. janúar 2023].
- [4] „Allar skerðingar afnumdar,“ Landsvirkjun, 19. apríl 2022. [Á neti]. Available: <https://www.landsvirkjun.is/frettir/allar-sker%C3%B0ingar-afnumdar>. [Skoðað 26. janúar 2023].
- [5] „Vígsla varmadælustöðvar í Vestmannaeyjum,“ Verkís, 29. maí 2019. [Á neti]. Available: <https://www.verkis.is/frettir/vigsla-varmadaelustodvar-i-vestmannaeyjum/>. [Skoðað 26. janúar 2023].
- [6] „Mánaðarmeðaltöl/Montly data,“ Veðurstofa Íslands, [Á neti]. Available: <https://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Manadargildi.html>. [Skoðað 26. janúar 2023].
- [7] „Slökktu á kerjunum vegna hættulegs ljósboga,“ RÚV, 22. júlí 2019. [Á neti]. Available: <https://www.ruv.is/frett/slokktu-a-kerjunum-vegna-haettulegs-ljosboga>. [Skoðað 26. janúar 2023].
- [8] „Breyttur samningur styrkir samkeppnishæfni í Straumsvík,“ Landsvirkjun, 15. febrúar 2021. [Á neti]. Available: <https://www.landsvirkjun.is/frettir/breyttur-samningur-styrkir-samkeppnishafni-i-straumsvik>. [Skoðað 26. janúar 2023].
- [9] Landsnet, „Kerfisáætlun Landsnets 2021-2030,“ 2021.

- [10] „Rauntímavöktun,“ Landsvirkjun, [Á neti]. Available: <https://www.landsvirkjun.is/rauntimavoktun>. [Skoðað 26 janúar 2023].
- [11] „Blöndustöð,“ Landsvirkjun, [Á neti]. Available: <https://www.landsvirkjun.is/aflstodvar/blondustod>. [Skoðað 26 janúar 2023].
- [12] „Fljótsdalsstöð,“ Landsvirkjun, [Á neti]. Available: <https://www.landsvirkjun.is/aflstodvar/fljotsdalsstod>. [Skoðað 26 janúar 2023].
- [13] ICPP - Intergovernmental Panel on Climate Change, „Chapter 5 - Hydropower,“ í *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, New York, Cambridge University Press, 2007.
- [14] „Hvort er stærra, Háslón eða Blöndulón?,“ Vísindavefurinn, 13 mars 2013. [Á neti]. Available: <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=64492>. [Skoðað 2023 janúar 2023].
- [15] „Innflutningur eftir tollskrárnúmerum 2020-2022, kafli 1-40,“ Hagstofa Íslands, [Á neti]. Available: https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Efnahagur/Efnahagur__utanrikisverslun__1_voruvidskipti__03_inntollskra/UTA03801.px. [Skoðað 26 janúar 2023].
- [16] Umhverfisstofnun, „Losunarstuðlar,“ 2020. [Á neti]. Available: https://ust.is/library/Skrar/Einstaklingar/Loftgaedi/Losunarstudlar_UST.pdf. [Skoðað 26 janúar 2023].
- [17] World bank group, „Shadow price of carbon in economic analysis - Guidance note,“ 12 nóvember 2017. [Á neti]. Available: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/911381516303509498-0020022018/original/2017ShadowPriceofCarbonGuidanceNoteFINALCLEARED.pdf>. [Skoðað 26 janúar 2023].
- [18] Orkuspárnefnd Orkustofnunar, „Eldsneytisspá 2021-2060,“ september 2021. [Á neti]. Available: <https://www.orkustofnun.is/gogn/Skyrslur/OS-2021/OS-2021-02.pdf>. [Skoðað 27 janúar 2023].
- [19] „Útflutningur eftir SITC1 og 2, Rev.4 og löndum 2013-2022,“ Hagstofa Íslands, [Á neti]. Available: https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Efnahagur/Efnahagur__utanrikisverslun__1_voruvidskipti__01_voruskipti/UTA06107.px. [Skoðað 27 janúar 2023].
- [20] „Umhverfisupplýsingar (Grænt bókhald) - Skýrslur,“ Umhverfisstofnun, [Á neti]. Available: Umhverfisstofnun. [Skoðað 27 janúar 2023].
- [21] „Global price of Aluminum (PALUMUSD),“ International Monetary Fund, [Á neti]. Available: <https://fred.stlouisfed.org/series/PALUMUSD>. [Skoðað 2 febrúar 2023].
- [22] „Innflutningur nokkurra vörutegunda eftir löndum 2013-2022,“ Hagstofa Íslands, [Á neti]. Available: https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Efnahagur/Efnahagur__utanrikisverslun__1_voruvidskipti__01_voruskipti/UTA06203.px. [Skoðað 4 febrúar 2023].

- [23] „Elkem: Skýrsla um grænt bókhald fyrir árið 2010,“ 2012. [Á neti]. Available: https://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2010/Elkem_graent_bokhald_2010.pdf. [Skoðað 4 febrúar 2023].
- [24] Þ. Hannesson, „Elkem, Framleiðslan,“ 2012. [Á neti]. Available: https://www.elkem.is/globalassets/iceland/framleislan-_2_.pdf?preset=Full. [Skoðað 3 febrúar 2023].
- [25] Frontier Economics, „Töpuð tækifæri vegna takmarkana í flutningskerfinu,“ Landsnet, 2022.