

Orkuskipti í þungaflutningum hleðsluinnviðir við Þjóðvegi

Greining á staðsetningum, aflþörf og kostnaði



Unnið af Enord í samstarfi við og fyrir Íslenska NýOrku

Febrúar 2026

enord



Með stuðningi frá Rannsóknarsjóði Vegagerðinni og Rarik



Efnisyfirlit

| | |
|--|-----------|
| SAMANTEKT – NIÐURSTÖÐUR | 4 |
| Samsetning orkugjafa og framtíðarsýn | 4 |
| Þörf á aðgerðum strax og samhæfðri uppbyggingu..... | 5 |
| Skipulags- og stefnumótandi áskoranir..... | 5 |
| Stefnumótandi tækifæri..... | 5 |
| ALMENNT UM VERKEFNIÐ | 7 |
| Markmið | 7 |
| Aðdragandi og samstarfsaðilar | 7 |
| Afmörkun verkefnisins..... | 7 |
| Verkefnisrammi | 8 |
| Stefnumótandi gildi verkefnisins | 8 |
| AÐFERÐAFRÆÐI | 8 |
| Forsendur..... | 8 |
| Útreikningur á orku- og aflþörf | 9 |
| Útreikningar og líkangerð | 9 |
| Rafhlöðubanka greining..... | 9 |
| Kostnaðargreining..... | 9 |
| Samantekt aðferðarfræðinnar..... | 10 |
| GREININGAR | 10 |
| Norðurleið..... | 10 |
| Sviðsmynd A – Ein stór hleðslustöð/staðsetning | 10 |
| Sviðsmynd B – Þrjár minni stöðvar | 11 |
| Samantekt fyrir Norðurleið | 11 |
| Austurleið | 12 |
| Sviðsmynd A – Hleðslustöð við Freysnes/Fagurhólsmýri..... | 12 |
| Sviðsmynd B - Tvær stöðvar, Kirkjubæjarklaustur og Höfn..... | 12 |
| Samantekt fyrir Austurleið | 13 |
| Vestfirðir | 14 |
| Sviðsmynd A – Ein stór stöð við Króksfjarðarnes | 14 |
| Sviðsmynd B – Tvær minni stöðvar: Króksfjarðarnes og Hólmavík..... | 14 |
| Samantekt fyrir Vestfirði..... | 15 |
| Samnýting og aðskilnaður við hleðslu fólksbíla | 15 |
| Sviðsmynd með vetnistrukkum | 15 |
| TENGINGAR OG ÁHRIF Á DREIFIKERFIÐ..... | 16 |
| Samantektartafla – aflþörf, tengingar og uppfærslur | 16 |
| KOSTNAÐARGREINING..... | 18 |
| Helstu niðurstöður | 18 |

| | |
|--|-----------|
| Samantekt eftir leiðum | 18 |
| Greining á kostnaði rafmagns | 19 |
| Líftímakostnaðargreining (TCO) – Norðurleið, Sviðsmynd A | 19 |
| VIÐAUKAR | 23 |
| <p>Hér er aðeins gefið 1 dæmi. Ítarlegri útreikningar voru gerðir í verkefninu fyrir nánast alla hringleiðina en þar sem gögn eru ekki alveg áreiðanleg var ákveðið að birta aðeins eins mögulega sviðsmynd. Þar til nákvæmari gögn liggja fyrir er erfitt að gera mjög nákvæmar áætlanir, en það er mögulega framhaldsverkefni hér. ...</p> | |
| Aflferlar mismunandi sviðsmynda | 23 |
| Norðurleið | 23 |

Samantekt – Niðurstöður

Niðurstöður verkefnisins sýna að engin tæknileg hindrun er til staðar sem kemur í veg fyrir orkuskipti í þungaflutningum á Íslandi.

Rafvæðing trukka er bæði tæknilega og fjárhagslega raunhæf við íslenskar aðstæður og getur hafist strax, enda sýnir greiningin að orku- og aflþörf á helstu flutningsleiðum landsins er innan þess sem hægt er að mæta með núverandi eða hóflega styrktu dreifikerfi, sérstaklega með notkun rafhlöðubanka.

Áætlaður kostnaður við innviðaupbygginu er ekki sú hindrun að samfélagið ætti ekki að ráða við slíkt yfir nokkurra ára tímabil. Hér er bæði átt við kostnað vegna styrkingar dreifikerfis sem og vegna innviðanna sjálfra – hvort sem um er að ræða vetnis-, og/eða rafvæðingu trukka. Helsti óvissuþáttur varðandi kostnað er land og kostnaður við undirbúning lands fyrir stóra trukka. Það ætti þó ekki að vera þess eðlis kostnaður að ekki sé auðvelt að yfirstíga.

Það er því ekkert til fyrirstöðu – það þarf bara að setja leikreglur við þjóðveginn og hefja uppbyggingu innviða.

Samsetning orkugjafa og framtíðarsýn

Rafvæðing þungaflutninga er líkleg til að verða meginleið orkuskipta á Íslandi. Alla vega þar sem hluti raforkunnar getur verið hlaðinn í bækistöð mun kostnaður við rafmagnstrukka verða lægri en annarra lausna. Uppbygging innviða fyrir rafmagnstrukka gæti einnig nýst fyrir hefðbundna rafbíla, sérstaklega hvað varðar staðsetningar og rafdreifikerfi.

Vetni getur þó gegnt hlutverki við ákveðna notkunarflokka, sérstaklega þar sem ekið er mjög langar vegalengdir með mikla orkuþörf, hraða áfyllingu eða þar sem sérhæfð not krefjast sveigjanlegri lausna.

Tækniframfarir í losunarfríum lausnum eru hraðar, með sífellt lægra verði, meiri orkunýtni og lengri drægni.

Innleiðing stærri tækja er þó háð fyrirsjáanleika í gjaldtöku, regluverki og hvötum stjórnvalda, sérstaklega hvað varðar styrki, kílómetra- og kolefnisgjöld.

Stöðugleiki og langtímasýn í þessum þáttum er forsenda fyrir því að flutningsfyrirtæki skipuleggi fjárfestingar í nýjum tækjum, sem oft hafa 2 til 3 ára aðdraganda.

Markaðurinn og notendur munu að öllum líkindum móta hvaða tækni verður notuð enda munu þeir leita að hagkvæmstu lausninni fyrir sína notkun. Uppbygging innviða er þó alltaf forsenda allra skrefa og það er ljóst að það eru frambungar fjárfestingar, enda þarf umtalsvert af innviðum áður en stórnotendur leggja í verulegar fjárfestingar í tækjum. Líklegt er að blönduð leið gæti verið ódýrust í uppbyggingu, en markaðurinn mun væntanlega stjórna innleiðingunni og kalla eftir innviðum. Þegar talað er um innviði hér eru hleðsluinnviðir lykilatríði en það þarf önnur þjónusta væntanlega að fylgja með þannig að bílstjórar sætti sig við að taka lögboðin hvíldartíma¹ þegar hlaðið er.

Rafhlöðubankar og áhrif á uppbyggingu innviða

Rafhlöðubankar eru lykilþáttur í að gera hleðsluinnviði fyrir þungaflutninga hagkvæma og framkvæmanlega.

Greiningin sýnir að með notkun rafhlöðubanka:

- lækkar aflþörf hleðslustöðva/staðsetninga um 60–80%,
- dreifigjöld lækka verulega,

¹ 45 mín á 4 klst. Fresti.

- og hægt er að tengja stöðvar við núverandi dreifikerfi án stórfelldra styrkingar.

Þannig lækkar fjárfestingaþörf í nýjum spennistöðvum og háspennustrengjum, og uppbygging verður bæði hagkvæmari og hraðari.

Niðurstöður verkefnisins sýna að með rafhlöðubanka getur rekstrarkostnaður hleðslustöðva lækkað um 25 - 30% yfir líftíma þeirra og að fjárfestingin við rafhlöðubankann borgað sig upp á innan við 3 - 5 ára tímabili.

Þörf á aðgerðum strax og samhæfðri uppbyggingu

Til að tryggja raunhæfa innleiðingu rafmagnstrukka þarf að hefja uppbyggingu hleðsluinnviða strax.

Flutningsaðilar munu ekki ráðast í stór innkaup á rafmagnstrukkum fyrr en tryggt er að öruggar hleðslulausnir séu til staðar og að þeir geti treyst á að fá laust tengi með nægilegu afli þegar trukkar koma á hleðslustað.

Þetta krefst uppsetningar Megawatt-hleðslutengja (MCS) á helstu stöðum. Einnig er mikilvægt að hönnun og skipulag hleðslustaðsetninga taki mið af fullri rafvæðingu trukka frá upphafi, þótt uppbygging fari fram í áföngum.

Við hönnun og skipulag hleðslu staðsetninga þarf frá byrjun að gera ráð fyrir:

- nægilegri lóðastærð og tengimöguleikum til framtíðar,
- öruggu aðgengi og snúningsrými fyrir stóra trukka,
 - Þar með talið að og frákeyrsla að þjóðvegi
- möguleika á að bæta við fleiri tengjum og rafhlöðubönkum eftir þörfum,
- að hleðslustöðvar séu bæði með CCS2 og MCS tengi,
- og þjónustu fyrir bílstjóra.

Opinberir aðilar, einkum Vegagerðin, þurfa að skilgreina leikreglur og tæknileg viðmið fyrir uppbyggingu hleðsluinnviða fyrir trukka, þar á meðal um staðsetningar, að- og fráakstur, öryggi, aðgengi og kröfur um tengingu við raforkukerfið. Með skýrum leikreglum væri hægt að samræma undirbúning dreifiveitna, sveitarfélaga og þjónustuaðila, þannig að uppbygging geti hafist samhliða og án óþarfa tafa.

Skipulags- og stefnumótandi áskoranir

Uppbygging innviða krefst bæði lands og skipulagsbreytinga, sem geta verið tímafrekar.

Aðeins með samstilltu átaki milli ríkis, sveitarfélaga, dreifiveita og þjónustuaðila verður hægt að hraða uppbyggingu. Reynsla Norðurlandanna sýnir að þegar opinberir aðilar, líkt og Vegagerðin, dreifiveitur og aðrir lykilaðilar, taka virkan þátt í staðarvali, skipulagi og útboðum á staðsetningum, má hraða innleiðingunni verulega og auka þjóðhagslega hagkvæmni.

Til að ná raunhæfum árangri þarf að setja fram skýran tímaramma og forgangsröðun leiða, t.d. með því að tryggja fyrstu hleðslustöðvar á lykilleiðum (Norðurleið, Austurleið og Vestfirði) innan tveggja til þriggja ára.

Stefnumótandi tækifæri

Með réttum aðgerðum geta stjórnvöld haft umtalsverð áhrif á innleiðingarhraða rafmagns- og vetnistrukka.

Fyrstu hleðslustöðvarnar og/eða vetnisstöðvarnar gætu verið reistar í opinberu samstarfi eða með stofnframlagi, sem síðan skapar ramma fyrir sjálfbært viðskiptamódel einkaaðila.

Slíkt myndi tryggja að hleðsluinnviðir, tengingar við dreifikerfið og tækniþróun þróist samhliða.

Þannig gæti Ísland, með samstilltu átaki milli stjórnvalda, dreifiveita, þjónustuaðila og flutningsaðila, náð verulegum samdrætti í losun frá þungaflutningum fyrir árið 2030, án þess að það hafi í för með sér óraunhæfan fjárhagslegan kostnað.

Fyrirvari

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

Almennt um verkefnið

Verkefnið fólst í greiningu á hleðsluinnviðum fyrir rafmagnstrukka við Þjóðveg 1, með það að markmiði að skilja hvaða staðsetningar og lausnir henta best fyrir orkuskipti í þungaflutningum. Þó að vetnistrukka séu teknir með í samanburði er megináherslan á rafmagnstrukka, enda er rafvæðing sú leið sem er líklegust til að þróast hraðast næstu ár. Verkefnið snerist því fyrst og fremst að því að greina hvaða aðstæður, orkuinnviðir og kostnaðarliðir þurfa að vera til staðar til að rafmagnstrukkar geti ekið milli landshluta með skilvirkum og öruggum hætti.

Rétt er að benda á að rannsóknin náði til helstu flutningsleiða landsins þar sem lykilstaðsetningar voru metnar. Það er því ekki útilokað að aðrar staðsetningar og/eða fleiri staðsetningar gætu verið fýsilegar fyrir hleðsluinnviði fyrir trukka. Lítið tillit var tekið til annarra ökutækja svo sem langferðabíla, en ef að þeir verða einnig rafmagns (battery) þá þurfa þeir sambærilegar tengingar og trukkarnir.

Markmið

Markmið rannsóknarinnar var að meta hentugustu staðsetningar og lausnir fyrir hleðsluinnviði rafmagns- og vetnistrukka við Þjóðveg 1. Í greiningunni var tekið mið af fjárfestinga- og rekstrarkostnaði mismunandi útfærslna, þar á meðal:

- hleðslustöðva tengdra eingöngu við rafdreifikerfið,
- hleðslustöðva með rafhlöðubanka (BESS),
- mögulega þörf fyrir vetnisframleiðslu- og áfyllingarstöðva.

Lögð var áhersla á að greina orku- og aflþörf staðsetninganna og mögulega flöskuhálsa í rafdreifikerfinu, auk þess að meta umfang þeirra fjárfestinga sem þyrfti til að mæta eftirspurn þegar þungaflutningar eru að fullu rafvæddir á landsvísu.

Auk þess var markmið verkefnisins að greina bæði tæknilegar og fjárhagslegar hindranir sem geta tafið eða flækt uppbyggingu innviða fyrir losunarfría þungaflutninga, og draga fram hvaða aðgerðir geti flýtt framkvæmdum. Einnig að hvetja til samtals og samhæfingar milli lykilaðila í stjórnkerfinu, með það að leiðarljósi að móta sameiginlegan skilning á forsendum, áskorunum og tækifærum uppbyggingarinnar.

Heildarmarkmiðið var því að draga fram hagkvæmustu, framkvæmanlegustu og sjálfbærustu lausnirnar fyrir íslenskar aðstæður, og leggja grunn að markvissri og samhæfðri uppbyggingu innviða fyrir orkuskipti í þungaflutningum.

Aðdragandi og samstarfsaðilar

Verkefnið var unnið af frumkvæði Íslenskrar NýOrku sem fékk styrk frá Vegagerðinni og RARIK og réð Enord til að útfæra hleðslustöðvar, staðarval og kostnaðarútreikninga. Verkefnið byggði á fyrri greiningum á akstri trukka milli landshluta sem Verkfræðistofan Efla vann fyrir Íslenska NýOrku „Orkuskipti þungabifreiða“, þar sem afl- og orkuþörf var hermd fyrir 26 hleðslustaði víðs vegar um landið.

Verkefnið var fyrst og fremst greiningarverkefni til stefnumótunar, ætlað að leggja grunn að áframhaldandi vinnu við raunhæfa hönnun, fjármögnun og samvinnu opinberra og einkaaðila.

Afmörkun verkefnisins

Rannsóknin beindist að rafmagnslausnum og tengdum innviðum þeirra. Vetni var tekið með sem viðmiðunarvalkostur, en verkefnið fól ekki í sér beinan kostnaðarbæran samanburð milli tækni, þ.e. milli rafmagns og vetnis. Áherslan var fremur á raunhæfar uppbyggingarsviðsmyndir og áhrif þeirra á raforkukerfið, þar með talið:

- áhrif staðsetningar á aflflutning og tengimöguleika,
- stærð og hlutverk rafhlöðubanka við aflstýringu og aftoppalækkun,
- og áhrif á stöðugleika og rekstraröryggi kerfisins.

Verkefnisrammi

Verkefnið fól í sér að:

1. Kortleggja og skilgreina líklegar staðsetningar fyrir hleðsluinnviði fyrir rafmagnstrukka við þjóðveg 1.
2. Meta orku- og aflþörf á þessum staðsetningum út frá núverandi og væntanlegri trukkaumferð.
3. Áætla kostnað við nauðsynlega uppbyggingu á dreifi- og flutningskerfi.
4. Setja fram sviðsmyndir um uppbyggingu stöðva með og án rafhlöðubanka (BESS).
5. Meta þörf á samhæfingu við aðra orkunotendur og áætla möguleg samlegðaráhrif.

Stefnumótandi gildi verkefnisins

Niðurstöður verkefnisins geta verið nýttar sem grunnur að stefnumótun Vegagerðarinnar, orkufyrirtækja og stjórnvalda í tengslum við orkuskipti í þungaflutningum. Verkefnið gaf einnig innsýn í hvernig samstarf dreifiveitna, vegayfirvalda og einkaaðila gæti þróast við uppbyggingu orkuskipta á þjóðvegum og hvernig slík uppbygging gæti stutt við orkustefnu stjórnvalda og loftslagsmarkmið Íslands. Til viðbótar þarf að auka samtal við lykflutningsaðila og opna fyrir aðkomu þeirra að slíkri stefnumótunavinnu.

Aðferðafræði

Aðferðafræði verkefnisins byggir á greiningu á akstri og orkuþörf rafmagnstrukka með það að markmiði að ákvarða aflþörf, fjölda hleðslutengja og mögulegar lausnir til afl- og toppstýringar með rafhlöðubanka (BESS). Rannsóknin byggði á gögnum úr fyrri vinnu Íslenskrar NýOrku (Orkuskipti þungabifreiða; Model Results: Truck Charging in Iceland), þar sem leiðir, aksturstími og tíðni flutninga voru kortlögð fyrir helstu flutningaleiðir landsins.

Greiningin var framkvæmd sérstaklega fyrir hverja leið, Norðurleið, Austurleið, Vestfirði og Snæfellsnes/Vesturland, og var aðferðafræðin sú sama fyrir allar.

Forsendur

Við greininguna var miðað við eftirfarandi forsendur:

| Breytur | Forsendur |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Meðalhraði trukka | 80 km/klst |
| Orkunotkun trukka | 2 kWh/km („worst case“) |
| Stærð rafhlöðu trukka | 600 kWh nýtanlegt orkurými |
| Hleðslutími | 35 mínútur að meðaltali |
| Hleðslutengi | MCS-tengi, 1 MW hámarksafli |
| Orkunýtni BESS | 90% |
| Nýtni hleðsluferlis | ±5 mín fyrir tengingu og aftengingu |

Útreikningur á orku- og aflþörf

Orkuþörf var metin út frá vegalengd og orkunotkun trukka á milli lykilstaða, að teknu tilliti til þess að trukkan kæmu að jafnaði með um 20% hleðslu (SOC) þegar þeir koma á hleðslustað. Þannig var ákvarðað hversu mikið orkumagn (kWh) þyrfti til að ná næsta áfangastað eða endastað með 20% SOC að lágmarki.

Aflþörf hvers staðar var síðan reiknuð út frá þessari orkuþörf og þeim tíma sem trukkan höfðu til hleðslu. Miðað var við 35 mínútna raunhleðslu sem er byggð á 45 mínútna lögbundnum hvíldartíma ökumanna, að frádregnum 5 mínútum fyrir komu og 5 mínútum fyrir brottför.

Heildar aflþörf hvers staðar var metin út frá aksturstölum (tölum fengnum úr fyrri verkefnum NýOrku) og fjölda trukka með 15 mínútna upplausn. Meðalhleðsluafli var reiknað út frá fjölda trukka í hleðslu á hverju tímabili, þar sem gert var ráð fyrir að hver trukkan væri tengdur í 35 mínútur að meðaltali, en að raunverulegur hleðslutími væri breytilegur eftir hleðsluafli. Þannig varð til meðalafli per trukk og þar með heildar aflþörf og fjöldi tengja sem þarf til að mæta hámarksálagi.

Ekki var gert ráð fyrir biðtíma, þ.e. trukkan gátu hafið hleðslu strax við komu. Þetta gaf grunnsviðsmynd sem innviðir þurftu að ráða við í „worst case“ aðstæðum.

Útreikningar og líkangerð

Allar greiningar voru framkvæmdar í líkani sem samanstóð af eftirfarandi þáttum:

1. Akstursgreining: reiknaði tíma, orkuþörf og hleðsluþörf milli staða út frá vegalengd, hraða og eyðslu.
2. Hleðslumynstur: bjó til 15 mínútna tímaráðir fyrir hverja staðsetningu þar sem fjöldi trukka í hleðslu var reiknaður á hverju tímabili.
3. Aflgreining: metur hámarksafli, meðalafli og orkuafhendingu yfir sólarhring.
4. BESS greining: reiknar út stærð rafhlöðukerfis sem dugar til að halda aflþörf innan 1 - 2 MW heimtauga.

Rafhlöðubanka greining

Greining á rafhlöðubönkum var framkvæmd með sérhönnuðu BESS greiningartóli frá Enord.

Markmið þess var að meta hversu stóra rafhlöðubanka þyrfti til að:

- lækka aflþörf á hámarkstímum (peak shaving), og
- jafna orkunotkun yfir daginn (load leveling).

Við greininguna var gert ráð fyrir 90% nýtni rafhlöðukerfisins. Tvær tengisviðsmyndir voru skoðaðar:

- 1 MW tenging við dreifikerfið
- 2 MW tenging við dreifikerfið

Rafhlöðustærðin var ákvörðuð þannig að aflþörf hleðslustaðarins færi ekki yfir valda tengingu. Líftími rafhlöðunnar (cycle lifetime) var einnig metinn og miðað við 300–400 hleðsluhringi á ári, sem samsvarar meðalnotkun í stöðugum rekstri hleðslustöðva.

Kostnaðargreining

Kostnaðargreining byggði á samsettum gögnum:

- Hleðslubúnaður: verð frá þekktum framleiðendum á MCS-tengjum og háafsstöðvum.
- Rafhlöðubanka (BESS): verð frá tveimur framleiðendum, fengin sérstaklega til verkefnisins.
- Spennistöðvar og tengibúnaður: byggt á meðalkostnaði fyrir spennistöðvar á Íslandi.
- Jarð- og rafmagnsvinna: metin út frá meðalverðum á Íslandi fyrir orkuinnviði.

- Heimtaugarkostnaður: byggður á viðmiðum og kostnaðargögnum frá RARIK.
- Plan: kostnaður við undirlag og yfirborðsfrágang (fylling, styrking, malbik o.fl.) miðast við meðaltalsverð fyrir hefðbundið plan, en tekur ekki tillit til staðbundinna jarðvegsaðstæðna sem geta haft verulega áhrif á heildarkostnað.

Samantekt aðferðarfræðinnar

Greiningin leiddi til heildstæðrar sýnar á orku- og aflþörf fyrir rafmagnstrukka á þjóðvegi 1, þar sem:

- hleðsluþörf var ákvörðuð út frá „worst case“ notkun,
- aflþörf var metin út frá 15 mínútna tímaskrefum,
- og rafhlöðukerfi var nýtt til að lækka afltoppa og jafna álag.

Aðferðafræðin var þannig hönnuð til að gefa raunsæja, en varfærna, mynd af þeim innviðum sem þarf til að tryggja áreiðanlega og hagkvæma hleðslu rafmagnstrukka á helstu leiðum landsins.

Greiningar

Norðurleið

Norðurleiðin er ein mikilvægasta flutningaleið landsins og tengir saman höfuðborgarsvæðið og stærsta atvinnu- og þjónustusvæði Norðurlands. Hún er jafnframt ein mest ekna leið landsins af þungaflutningabílum og hefur því mikið vægi í orkuskiptum í þungaflutningum.

Greiningin á Norðurleiðinni byggði á akstursgögnum frá rannsókn Íslenskrar NýOrku, sem sýndu dæmigerð ferðamynstur flutningabíla milli Reykjavíkur og Akureyrar. Leiðin er um 380 km löng. Við vetraraðstæður, þegar orkunotkun er nálægt 2 kWh/km, þurfa flestir rafmagnstrukkar að hlaða á miðbik leiðarinnar til að tryggja a.m.k. 20% hleðslustig (SOC) við komu til baka eða áfangastað.

Algennt er að trukkar aki á móti hvorum öðrum frá sitthvorum enda leiðarinnar og skipti á tengivögnum á miðri leið, áður en þeir snúa til baka. Flestir trukkarnir leggja af stað síðdegis og mætast því við hleðslustöðvar um kvöldmatarleiðið. Bílstjórar nýta þetta stopp sem lögbundinn hvíldartíma (45 mínútur) og gerði greiningin ráð fyrir að 35 mínútur færu í raunhleðslu og 10 mínútur í tengingu og aftengingu.

Greiningin gerði ekki ráð fyrir breytingum á akstursmynstri trukka til að jafna hleðslumynstur yfir daginn, til dæmis með því að dreifa út ferðum eða breyta komutíma á hleðslustaði. Í samtölum við flutningaaðila kom fram að slíkar breytingar væru erfiðar í framkvæmd vegna annarra rekstrarlegra þátta, þar á meðal afhendingar- og móttökutíma vöruhúsa, skipulagðra vörupantana, aksturs- og vinnutíma bílstjóra, og annarra þjónustuþátta.

Því var gert ráð fyrir að hleðslumynstur fylgdi áfram þeirri tímasetningu sem er ríkjandi í dag.

Greiningin var framkvæmd fyrir tvær sviðsmyndir:

Sviðsmynd A – Ein stór hleðslustöð/staðsetning

Í þessari sviðsmynd var gert ráð fyrir einni stórra hleðslustöð við miðbik leiðarinnar, þar sem flestir trukkar myndu hlaða. Stöðin þyrfti að geta hlaðið allt að 20 trukka samtímis, og gæti annað allt að 300 trukkahleðslum yfir 12 klukkustunda tímabil. Greiningin gerir ráð fyrir að stöðin afgreiði um 60 - 70 trukka á dag að meðaltali.

Samkvæmt greiningu er meðalorkuþörf trukka í þessari sviðsmynd 324 kWh og meðalhleðsluafli 555 kW fyrir hverja hleðslulotu. Heildar aflþörf stöðvarinnar, þegar 20 trukkar eru í hleðslu samtímis, er því 8,9 MW miðað við 15 mínútna afltopp, eða 6,7 MW miðað við klukkutíma afltopp. 15 mínútna afltoppur var notaður til að greina hámarks aflþörf og þarf heimtaugin að ráða við það. Klukkutíma afltoppur er notaður til uppgjors á rafmagns- og dreifigjöldum.

Nýting heimtaugar án rafhlöðubanka (BESS) í þessari sviðsmynd er aðeins um 9%, sem sýnir fram á afar óhagkvæman rekstur þar sem dreifigjöld eru mjög há vegna hárra afltoppa og lágra nýtingar. Þetta leiðir til þess að rekstur stöðvarinnar verður þyngri og er afhending á svo stórra heimtaug bæði kostnaðarsöm og tímafrek.

Til að bæta nýtingu var því gerð ítarleg BESS-greining með BESS greiningartóli Enord. Hún sýndi að með 12,5 MWh / 7,9 MW rafhlöðubanka væri hægt að minnka heimtaugina í 1 MW, og nýtni heimtaugarinnar myndi þá hækka í 88%. Ef heimtaugin væri 2 MW og rafhlöðubanki 9,5 MWh / 6,9 MW, væri nýtni um 43%.

Raunhæfasta sviðsmyndin, með hliðsjón af bæði tæknilegum og fjárhagslegum forsendum, var því heimtaug á bilinu 1,5–2 MW með 12,5 MWh / 7,9 MW rafhlöðubanka. Þetta tryggir jafna nýtingu, lægri rekstrarkostnað og lægri álagstopp á dreifikerfið.

Sviðsmynd B – Þrjár minni stöðvar

Í þessari sviðsmynd var gert ráð fyrir að hleðsluinnviðir yrðu dreifðir á þrjár minni stöðvar á miðbik leiðarinnar, t.d. á svæðunum við Staðarskála, Laugarbakka og Víðigerði.

Hver stöð þyrfti að geta hlaðið allt að 12 trucka samtímis, eða um 36 trucka yfir sólarhring. Sama orku- og aflþörf var notuð og í sviðsmynd A, þ.e. 324 kWh og 555 kW per truck. Hámarksafllþörf hverrar stöðvar var því 5,2 MW (15 mínútna toppur) og 3,8 MW (klukkutíma toppur).

Nýting heimtaugar var hins vegar áfram lág, um 9%, sem sýndi að dreifing stöðvanna bætti ekki nýtingu innviðanna að ráði. Rafhlöðugreining leiddi í ljós að með 6,05 MWh / 4,2 MW rafhlöðubanka væri hægt að minnka heimtaugina í 1 MW, og þá myndi nýting hækka í 48%.

Samantekt fyrir Norðurleið

| Breyta | Sviðsmynd A – ein stór stöð | Sviðsmynd B – þrjár minni stöðvar |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Fjöldi samtímahleðslna | 20 truckar | 12 truckar |
| Meðal orkuþörf per truck | 324 kWh | 324 kWh |
| Meðal hleðsluafli | 555 kW | 555 kW |
| Hámarksafli (15 mín) | 8,9 MW | 5,2 MW |
| Klukkutíma afl | 6,7 MW | 3,8 MW |
| Nýting án BESS | 9% | 9% |
| BESS-stærð (MWh / MW) | 12,5 / 7,9 | 6,05 / 4,2 |
| Heimtaug með BESS | 1–2 MW | 1 MW |
| Nýting með BESS | 43–88% | 48% |

Austurleið

Austurleiðin tengir saman höfuðborgarsvæðið og Austurland og er ein lengsta og mest krefjandi flutningaleið landsins fyrir rafmagnstrukka, bæði hvað varðar vegalengd, orkuþörf og aksturstíma.

Greiningin var byggð á akstursgögnum frá Íslenskri NýOrku og miðaði við dæmigerðar flutningsleiðir milli Reykjavíkur og Egilsstaða, ásamt leiðum til Reyðarfjarðar og Seyðisfjarðar. Miðað var við vetraraðstæður og eyðslu upp á 2 kWh/km, sem endurspeglar „worst case“ orkuþörf.

Tvær sviðsmyndir voru skoðaðar:

Sviðsmynd A – Hleðslustöð við Freysnes/Fagurhólsmýri²

Í þessari sviðsmynd var gert ráð fyrir einni hleðslustöð á miðbik leiðarinnar, við Freysnes eða Fagurhólsmýri. Greiningin sýndi að þessi sviðsmynd væri erfið bæði tæknilega og rekstrarlega, miðað við forsendur greiningarinnar.

Orkuþörf trukka frá Reykjavík til Freysness var á bilinu 650–700 kWh, sem þýðir að 600 kWh rafhlaða dygði ekki til að ljúka leiðinni án hleðslu. Frá Egilsstöðum til Freysness var orkuþörfin um 690 kWh, og aksturstími tæplega 4,5 klst., miðað við 80 km/klst. meðalhraða.

Þetta þýðir að rafmagnstrukkar með 600 kWh nýtanlega rafhlöðu ná ekki að komast á hleðslustaðsetninguna frá hvorum enda landsins við vetraraðstæður, og jafnvel með undanþágum ökumanna til að aka allt að 5 klukkustundir tvisvar í viku, væri aksturstíminn á eða yfir lögbundnum mörkum.

Auk þess eru orkuinnviðir á svæðinu takmarkaðir, sem gerir afhendingu á nægilegu afli bæði kostnaðarsama og tímafreka.

Af þessum ástæðum var þessi sviðsmynd metin sem tæknilega krefjandi og rekstrarlega erfið við núverandi forsendur, og því síður líkleg sem fyrsta lausn fyrir rafmagnspungaflutninga á Austurleið. Hins vegar gæti sviðsmyndir orðið raunhæfri til lengri tíma litið, ef orkuinnviðir á svæðinu styrkjast og drægni rafmagnstrukka eykst.

Sviðsmynd B - Tvær stöðvar, Kirkjubæjarklaustur og Höfn

Þar sem leiðin milli Reykjavíkur og Austfjarða reyndist of löng og orkukrefjandi til að ein stöð gæti þjónað báðum áttum, var gerð greining á tveimur hleðslustöðvum:

- annarri á Kirkjubæjarklaustri, og
- hinni á Höfn í Hornafirði.

Þessi sviðsmynd gerði ráð fyrir tveimur hleðslustöppum og tveimur hvíldartímum á leiðinni. Hleðslustöppin voru mislöng, 35 og 30 mínútur, auk 10 mínútna fyrir tengingu og aftengingu við hleðslustöð.

Við greininguna var tekið mið af mismunandi orku- og aflþörf eftir því hvaðan trukkar komu og hvert þeir voru að fara.

- Á Kirkjubæjarklaustri var meðalorkuþörf trukka 402–480 kWh, en meðalhleðsluafli 690–960 kW.
- Á Höfn var meðalorkuþörf 402–438 kWh, og meðalhleðsluafli 690–750 kW.

Greiningin leiddi í ljós að á Kirkjubæjarklaustri þyrfti stöðin að ráða við 12 trukka í hleðslu samtímis, sem krefðist 7 MW heimtaugar. Miðað við áætlaðan fjölda hleðslulota yfir daginn var nýting heimtaugar aðeins 13,5%.

² Rétt er að benda á að mögulega verður breyting hér á hringveginum í framtíðinni.

Á Höfn þurfti stöðin að ráða við 9 samtímahleðslur og hafa 5,3 MW heimtaug, með nýtingu upp á 20%.

Til að bæta nýtingu og draga úr afltoppi voru gerðar ítarlegar BESS-greiningar fyrir báðar staðsetningar.

- Fyrir Kirkjubæjarklaustur sýndi greiningin að með 16,7 MWh / 5,3 MW rafhlöðubanka væri hægt að minnka heimtaug úr 7 MW í 2 MW og hækka nýtingu í 60,6%.
- Fyrir Höfn sýndi greiningin að með 5,5 MWh / 3,2 MW rafhlöðu væri hægt að minnka heimtaug í 2 MW og auka nýtinguna í 54%.

Þetta sýndi að stór rafhlöðukerfi gætu verulega bætt rekstrarhagkvæmni hleðslustöðva, lækkað heimtaugakostnað og lækkað álag á dreifikerfið.

Samantekt fyrir Austurleið

| Breyta | Sviðsmynd A Freysnes/Fagurhólsmýri | – | Sviðsmynd B Kirkjubæjarklaustur + Höfn | – |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|
| Fjöldi stöðva | 1 | | 2 | |
| Fjöldi tengja | 14 | | 12 + 9 | |
| Meðal orkupörf per truck (kWh) | 415 (max: 650–750 kWh) | | 402–480 / 402–438 | |
| Meðal hleðsluafli per truck (kW) | 800 (max: 1.006 kW) | | 690–960 / 690–750 | |
| Hámarksafli (15 mín) | 8 MW | | 7 MW / 5,3 MW | |
| Nýting án BESS | 14,7% | | 13,5% / 20% | |
| BESS-stærð (MWh / MW) | 16 / 6 | | 16,7 / 5,3 og 5,5 / 3,2 | |
| Heimtaug með BESS | 2 MW | | 2 MW | |
| Nýting með BESS | 59% | | 60,6% / 54% | |
| Niðurstaða | Óraunhæf í fyrsta fasa | | Raunhæf með tveimur stoppum og BESS | |

Vestfirðir

Vestfirðir eru eitt afskekktasta svæði landsins hvað varðar flutninga og orkuinnviði. Leiðir frá Reykjavík til helstu þéttbýlisstaða á svæðinu eru bæði langar og orkuþungar.

Í greiningunni voru skoðaðar þrjár mögulegar staðsetningar: Búðardalur, Hólmavík og Króksfjarðarnes, og þrjár leiðir:

- Reykjavík – Ísafjörður (um Djúpið),
- Reykjavík – Patreksfjörður,
- Reykjavík – Tálknafjörður.

Greiningin byggði á akstursgögnum frá Íslenskri NýOrku og miðaði við meðalhraða 80 km/klst og orkunotkun 2 kWh/km við vetraraðstæður.

Við fyrstu úrvinnslu kom í ljós að Búðardalur hentaði ekki vel sem hleðslustaður. Búðardalur er of stutt frá Reykjavík (um 150 km) til að nýtast sem raunhæft hleðslustopp, en of langt frá Ísafirði til að henta truckum sem aka í vesturátt. Því voru tvær sviðsmyndir greindar nánar:

Sviðsmynd A – Ein stór stöð við Króksfjarðarnes

Í þessari sviðsmynd var gert ráð fyrir einum miðlægum hleðslustað við Króksfjarðarnes, þar sem truckar á leið til og frá öllum helstu stöðum á Vestfjörðum gætu hlaðið.

Greiningin sýndi að stöðin þyrfti að ráða við 7 samtímahleðslur. Meðalorkuþörf trukka var 394–426 kWh, og meðalhleðsluafli 675–730 kW, eftir því í hvor átt þeir voru að fara (til eða frá höfuðborgarsvæðinu).

Heildaraflþörf stöðvarinnar var því 3,8 MW, en nýting heimtaugar aðeins 15%, sem sýnir að stöðin væri lítið notuð stóran hluta dagsins.

Rafhlöðugreining leiddi í ljós að með 9,6 MWh / 2,8 MW rafhlöðubanka væri hægt að draga úr afltoppi og minnka heimtaug í 1 MW, sem jók nýtingu heimtaugar í 59%. Slíkt kerfi myndi bæði lækka dreifigjöld og bæta rekstrarhagkvæmni stöðvarinnar verulega.

Sviðsmynd B – Tvær minni stöðvar: Króksfjarðarnes og Hólmavík

Í þessari sviðsmynd var gert ráð fyrir að hleðsluinnviðir yrðu dreifðir á tvær minni stöðvar, þar sem truckar gætu hlaðið annaðhvort á Króksfjarðarnesi eða Hólmavík eftir leið.

Hvort hleðslusvæði þyrfti að hafa 4 tengi, en aflþörf og nýting voru mismunandi milli staða:

- Fyrir Króksfjarðarnes var heildarafl 1,85 MW og nýtni 11,5%.
- Fyrir Hólmavík var heildarafl 2,2 MW og nýtni 16%.

Rafhlöðugreining sýndi að með:

- 3,1 MWh / 1,4 MW rafhlöðubanka á Króksfjarðarnesi væri hægt að lækka afltopp og heimtaug í 0,5 MW, og hækka nýtingu í 40%.
- 5,7 MWh / 1,7 MW rafhlöðubanka á Hólmavík væri hægt að minnka heimtaug í 0,5 MW og hækka nýtinguna í 65%.

Þessi sviðsmynd reyndist raunhæfari en ein stór stöð, þar sem hún dreifði hleðsluþörfinni betur og bætti bæði nýtni og þjónustugetu á svæðinu.

Samantekt fyrir Vestfirði

| Breyta | Sviðsmynd A – Króksfjarðarnes | Sviðsmynd B – Króksfjarðarnes + Hólmavík |
|-----------------------------------|-------------------------------|--|
| Fjöldi stöðva | 1 | 2 |
| Fjöldi tengja | 7 | 4 + 4 |
| Meðal orkuþörf per truckk (kWh) | 394–426 | 394–426 |
| Meðal hleðsluafli per truckk (kW) | 675–730 | 675–730 |
| Hámarksafli (15 mín) | 3,8 MW | 1,85 + 2,2 MW |
| Nýting án BESS | 15% | 11,5% / 16% |
| BESS-stærð (MWh / MW) | 9,6 / 2,8 | 3,1 / 1,4 og 5,7 / 1,7 |
| Heimtaug með BESS | 1 MW | 0,5 MW + 0,5 MW |
| Nýting með BESS | 59% | 40% / 65% |
| Niðurstaða | Raunhæf með BESS | Hagkvæmari og sveigjanlegri lausn |

Samnýting og aðskilnaður við hleðslu fólksbíla

Greiningin skoðaði einnig möguleika á samnýtingu rafmagnsinnviða með hleðslu fólksbíla. Niðurstöðurnar sýndu að samlegðin væri takmörkuð, þar sem hleðslumynstur fólksbíla og trucka féllu saman að mestu yfir daginn, þ.e.a.s. að fólksbílur eru talsvert að hlaða á sama tíma og truckarnir. Öll styrking nets, rafhlöðubankar, o.s.frv. mundu að sjálfsgöðu nýtast.

Hins vegar gæti það verið óæskilegt að samnýta hleðslusvæði þar sem kröfur um hleðsluástöðu, afltengd tengi (MCS), aðkomu og öryggi eru gjörólíkar. Mikilvægt er að tryggja bæði öryggi og aðgengi, og því var ekki gert ráð fyrir samnýtingu innviða í þessari greiningu.

Sviðsmynd með vetnistruckum

Drægni vetnistrucka er mun meiri en þeirra sem nota rafhlöður. Það er því ekki nauðsynlegt að byggja upp innviði á þessum leiðum til að vetnistruckur komist frá A-B. Það væri þó líklegt, öryggis vegna, að minni stöðvum yrði komið upp einhvers staðar á ofangreindum lykilstaðsetningum, eftir því sem við á þ.e. á þeim leiðum sem flutningsaðilar myndu helst nota vetnistrucka á.

Slíkar stöðvar þurfa minna pláss en hleðslustöðvar, en þó meira pláss en núverandi olíustöðvar. Stærðin færi þó talsvert eftir því hvort framleiðsla vetnis væri á staðnum eður ei.

Sé horft eingöngu til fjárfestingarkostnaðar í innviðum milli upphafs- og endastaða leiða, gæti vetni verið hagkvæmara en rafmagn þar sem þörf er fyrir færri stöðvar og minni dreifingu innviða.

Hins vegar yrði að byggja öflugar vetnisstöðvar í upphafs- og lokabæjum flutningsleiða, með framleiðslu, geymslu og áfyllingu vetnis. Slíkar stöðvar eru dýrar í uppsetningu ef framleiðsla er einnig á staðnum, en hver stöð getur afkastað mörgum truckum og/eða langferðarbílum.

Í Evrópu er víða horft til blandaðrar nálgunar (rafmagn + vetni) þar sem notkunartilvik þungaflutninga eru mjög fjölbreytt og innviðapörf mismunandi eftir landshlutum. Vetni hentar einkum í lengri akstur, þyngri farm og þar sem erfitt eða dýrt er að styrkja rafdreifikerfið.

Í íslenskum aðstæðum eru vegalengdir styttri og flestar lykilleiðir með góðan aðgang að raforku. Hins vegar geta vetnistrukkar verið raunhæfur kostur fyrir ákveðna notkun, sérstaklega þegar krafist er mikillar drægni í erfiðum veðurskilyrðum eða fyrir rekstraraðila sem vilja lágmarka hleðslutíma.

Það verður þó væntanlega alltaf markaðurinn sem á endanum stýrir hvaða tæki verða notuð í framtíðinni. Mismunandi notkun gæti kallað á mismunandi eldsneyti.

Tengingar og áhrif á dreifikerfið

Í kjölfar greiningar á orku- og aflþörf á lykilleiðum voru metin áhrif á dreifikerfið og möguleikar til tengingar við núverandi dreifikerfi.

Þessi kafli fjallar um tengimöguleika hleðslustöðva, áhrif á spennustöðvar og hvernig notkun rafhlöðubanka getur dregið úr álagi á dreifikerfið og lækkað kostnað við uppbyggingu innviða.

Flestir mögulegir hleðslustaðir við þjóðveginn tengjast núverandi háspennukerfi, þar sem aflgetan er takmörkuð og í mörgum tilfellum þyrfti að stækka spennistöðvar eða bæta við nýjum afhendingarstöðum ef ekki væri notast við BESS.

Án rafhlöðubanka er heildar aflþörf einstakra stöðva allt að 8–9 MW á álagstímum, sem krefst umfangsmikilla styrkinga í dreifikerfinu.

Rafhlöðubanki breytir þessari mynd verulega og getur dregið úr hámarksafli um 60–80%, sem gerir kleift að tengja stöðvarnar við núverandi dreifikerfi án verulegrar styrkinga á dreifikerfinu.

Þannig verður raunveruleg aflþörf hleðslustaða á bilinu 1–2 MW í stað 8–9 MW, sem eykur nýtni heimtauga og lækkar fjárfestingu.

Eina undantekningin er Norðurleið (Laugabakki/Víðigerði) þar sem þegar er fyrirhugað að koma upp nýjum afhendingarstað. Sú tenging verður lykilþáttur í að tryggja nægt afl fyrir bæði hleðslu þungaflutninga, fólksbíla og almenna orkuafhendingu á svæðinu.

Samantektartafla – aflþörf, tengingar og uppfærslur

| Leið | Sviðsmynd | Tenging án rafhlöðubanka | Tenging með rafhlöðubanka |
|-------------------|----------------------------|--|---|
| Norðurleið | A – Ein stór stöð | Aflþörf 8,9 MW. Áætlaður nýr afhendingarstaður Landsnets við Laugabakka tryggir 10-20 MVA afhendingargetu fyrir svæðið og til viðbótar þarf nýjan háspennustreng frá aðveitustöð að hleðslustöð. Ef stöð er við staðsett Staðarskála nægir uppfærsla á spennu í Hrútatungu og nýjan háspennustreng að hleðslustöð. | Með 12,5 MWh / 7,9 MW BESS lækkar aflþörf í 1–2 MW. Nýr afhendingarstaður og aðveitustöð á Laugabakka tryggir nægjanlegt afl og mögulegt er að notast við núverandi háspennukerfi. Ef stöð er staðsett við Staðarskála nægir nýr háspennustrengur að hleðslustöð. |
| Norðurleið | B – Þrjár minni stöðvar | Aflþörf 5–6 MW fyrir hverja stöð. Tenging við nýja aðveitustöð yrði notuð til að fæða stöðvar við Miðfjörð og Víðigerði. Leggja þarf nýja | Með 6 MWh / 5 MW BESS lækkar aflþörf í 1 MW. Tenging við nýja aðveitustöð yrði notuð til að fæða stöðvar við Miðfjörð og Víðigerði. Mögulegt |

| | | | |
|-------------------|---|---|--|
| | | háspennustrengi að hleðslustöðvum. Fyrir Staðarskála þá þarf að uppfæra spennu í Hrutatungu og leggja nýjan háspennustreng að hleðslustöð | er að notast við núverandi háspennukerfi. Fyrir Staðarskála er hægt að notast við núverandi háspennukerfi. |
| Austurleið | A – Freysnes / Fagurhólsmýri | Aflþörf 8 MW. Krefst viðbótar spennis í aðveitustöð að Hnappavöllum og stækkunar á húsi. Einnig þarf nýjan 33kV háspennustreng, 10km að Fagurhólsmýri og 27km að Freysnesi | Fyrir Freysnes þyrftir að framlengja núverandi háspennustreng, nýr strengur 3 til 4 km frá Svínfelli, spennir dugar. Fyrir Fagurhólsmýri mundi núverandi háspennukerfi duga. |
| Austurleið | B – Kirkjubæjar- klostur + Höfn | Aflþörf 7 MW á Kirkjubæjarklaustri og 5,3 MW á Höfn. Stækka þarf spennu á Prestbakka og Hólum/Höfn. Einnig þarf að leggja nýja háspennustrengi c.a. 4km á hvorum stað. | Með 16,7 MWh / 5,3 MW BESS á Kirkjubæjarklaustri og 5,5 MWh / 3,2 MW á Höfn lækkar aflþörf í 2 MW á hvorum stað. Núverandi háspennukerfi á Kirkjubæjarklaustri nægir. Á Höfn þarf að leggja nýjan háspennustreng frá aðveitustöðinni á Hólum eða frá aðveitustöðinni á Höfn. |
| Vestfirðir | A – Króksfjarðarnes | Aflþörf 3,8 MW. Stækka þarf spennu í aðveitustöðinni í Geiradal og leggja nýjan 2–3 km háspennustreng að stöðinni. | Með 9,6 MWh / 2,8 MW BESS lækkar aflþörf í 1 MW. Tengist núverandi háspennukerfi. |
| Vestfirðir | B – Króksfjarðarnes + Hólmavík | Aflþörf 1,85 MW á Króksfjarðarnesi og 2,2 MW á Hólmavík. Stækka þarf spennu í aðveitustöðinni í Geiradal og leggja nýjan 2–3 km háspennustreng að stöðinni Stækka þarf spennu í Hólmavík og leggja 1–2 km háspennustreng að stöð. | Með 3,1 MWh / 1,4 MW BESS á Króksfjarðarnesi og 5,7 MWh / 1,7 MW á Hólmavík lækkar aflþörf í 0,5 MW á hvorum stað. Tengist núverandi háspennukerfi. |

Á heildina litið leiðir notkun rafhlöðubanka til betri nýtingar dreifikerfisins, lægra álags, og minni fjárfestinga í dreifikerfi. Áhrifin eru því bæði fjárhagsleg og rekstrarleg, minna álag á flutnings- og dreifikerfi, bætt afhendingaröryggi og aukinn sveigjanleiki. Auk þess hefur notkun rafhlöðubanka áhrif til lækunar rekstrarkostnað rafmagns.

Kostnaðargreining

Kostnaðargreiningin var unnin fyrir allar þrjár leiðirnar, Norðurleið, Austurleið og Vestfirði og hverja sviðsmynd.

- Sviðsmynd A: færri og stærri hleðslustöðvar,
- Sviðsmynd B: fleiri, minni og dreifðari stöðvar.

Fyrir hverja sviðsmynd var kostnaður metinn bæði með og án rafhlöðubanka.

Markmiðið með greiningunni var að leggja mat á fjárfestingarþörf hverjar sviðsmyndar, fremur en að bera saman nákvæman kostnað milli sviðsmynda. Einnig var framkvæmd líftímakostnaðargreining fyrir eina sviðsmynd.

Allar forsendur, einingaverð og sundurliðanir á efnisliðum eru birtar í Viðauka.

Helstu niðurstöður

Kostnaðargreiningin sýnir að fjárfestingarþörf fyrir hleðsluinnviði rafmagnstrukka er háð stærð, staðsetningu og tengimöguleikum hvernar stöðvar.

Rafhlöðubankar hafa þó afgerandi áhrif á hagkvæmni hleðslustöðvanna, þó þeir hækki beinan stofnkostnað stöðvanna. Því felst ekki bein lækkun stofnkostnaðar í uppsetningu rafhlöðubanka, heldur er það fjárfesting í sveigjanleika og rekstrarhagkvæmni til framtíðar.

Ávinningurinn kemur fram í formi lægri dreifigjalda, bættum orkukaupum, lægra álagi á dreifkerfið, minni kerfisstyrkinga og bættri nýtingu á innviðum.

Samantekt eftir leiðum

Norðurleið:

Sviðsmynd A, Ein stór stöð

- **Án rafhlöðu:** Fjárfesting áætluð 1.500–1.950 m.kr. 10 MW heimtaug, 20 Megavatt tengi 10.500m² plan.
- **Með rafhlöðu:** Fjárfesting 1.400–1.900 m.kr. með 12,5 MWh / 7,9 MW rafhlöðubanka. 2MW heimtaug, 20 Megavatt tengi og 10.500m² plan.

Sviðsmynd B – Þrjár minni stöðvar

- **Án rafhlöðu:** Heildarfjárfesting 950–1.300 m.kr. samtals. 6 MW heimtaug, 12 Megavatt tengi, 6.500m² plan.
- **Með rafhlöðu:** Fjárfesting 900–1.200 m.kr. með 4 MWh/3,2 MW BESS. 2 MW heimtaug, 12 Megavatt tengi 6.500m² plan.

Austurleið:

Sviðsmynd A – Freysnes / Fagurhólsmýri

- **Án rafhlöðu:** Áætlaður kostnaður 1.200–2.000 m.kr. 8 MW heimtaug, 14 Megavatt tengi, 6.500m² plan. Þörf á nýjum spennu, rofum og línulögn (10–27 km). Óvissan í þessari sviðsmynd vegna mismunandi lagnalengdar ef staðsetningum.
- **Með rafhlöðu:** Fjárfesting 1.300–1.700 m.kr. með 16 MWh / 6 MW BESS. 2MW heimtaug, 14 Megavatt tengi, 6.500m² plan.

Sviðsmynd B – Tvær stöðvar (Kirkjubæjarklaustur og Höfn)

- **Án rafhlöðu:** Heildarfjárfesting 950–1.200 m.kr. per stöð. 7 MW / 5,3 MW heimtaug, 12 Megavatt tengi, 6.500m² plan.

- **Með rafhlöðu:** Fjárfesting 1.200–1.600 m.kr. með 16,7 MWh / 5,3 MW (Klaustur) og 800–1.000 m.kr. með 5,9 MWh / 3,2 MW (Höfn). 2MW heimtaug fyrir hvora stöð, 12 Megavatt tengi, 6.500m² plan.

Vestfirðir:

Sviðsmynd A – Ein stöð

- **Án rafhlöðu:** Fjárfesting 650–850 m.kr. 4 MW heimtaug, 7 Megavatt tengi, 4.200m² plan.
- **Með rafhlöðu:** Fjárfesting 950–1.200 m.kr. með 9,5 MWh / 2,8 MW BESS. 1 MW heimtaug, 7 Megavatt tengi, 4.200m² plan.

Sviðsmynd B – Tvær stöðvar (Króksfjarðarnes og Hólmavík)

- **Án rafhlöðu:** Heildarfjárfesting 400–550 m.kr. per stöð. Aflþörf 1,85 / 2,2 MW. Uppfærsla á spennu í Hólmavík og 1–2 km háspennulína.
- **Með rafhlöðu:** Fjárfesting 450–650 m.kr. fyrir hvor stöð með 3,1 MWh / 1,4 MW (Króksfjarðarnes) og 5,7 MWh / 1,7 MW (Hólmavík). Aflþörf lækkar í 0,5 MW á hvorum stað.

Greining á kostnaði rafmagns

Til að meta áhrif rafhlöðubanka (BESS) á rekstrarkostnað hleðslustöðvar var gerð greining á samanlögðum kostnaði við raforku og dreifingu yfir 10 ára tímabil fyrir Norðurleið, Sviðsmynd A.

Heildarkostnaðarverð var ákvarðað með því að leggja saman allan raforku- og dreifingarkostnað yfir tímabilið og deila þeirri upphæð með bæði heildarraforkunotkun og afhentri hleðsluorku.

Þannig fæst annars vegar meðaltalskostnaður á heildarnotkun (þ.e. inn í rafhlöðubanka), og hins vegar kostnaðarverð á afhenta orku til hleðslu, sem endurspeglar raunverulegan rekstrarkostnað á hverja afhenta orkueiningu til trukka. Gert var ráð fyrir 90% nýtni rafhlöðubanka, ekki var tekið tillit til nýtni hleðslustöðva þar sem hún er sú sama með eða án rafhlöðu.

| Liður | Án rafhlöðu | Með rafhlöðu |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Heildarrekkstrarkostnaður (10 ár) | 2.200 – 2.400 m.kr. | 1.400 – 1.550 m.kr. |
| Heildar raforkunotkun | 68.117.760 kWh | 74.417.996 kWh |
| Afhent hleðsluorka | 68.117.760 kWh | 68.117.760 kWh |
| Kostnaðarverð á afhenta hleðsluorku | 32,3 – 35, kr./kWh | 20,6 – 22,8 kr./kWh |

Greiningin sýnir að notkun rafhlöðubanka dregur úr meðal-kostnaði rafmagns og dreifingar um um það bil 36% miðað við afhenta hleðsluorku.

Þessi lækkun stafar fyrst og fremst af:

- jafnari aflnotkun og lægri altoppum sem lækka aflgjöld,
- bætt orkukaup vegna jafnari orkunotkun,

Þrátt fyrir 10% orkutap í hleðslu og losun rafhlöðukerfisins (n = 90%), vegur sparnaður vegna lægri afl- og dreifigjalda mun þyngra.

Rafhlöðubankinn gerir þannig kleift að afhenda sömu hleðsluorku með lægri heildarkostnaði á hverja afhenta kWh.

Líftímakostnaðargreining (TCO) – Norðurleið, Sviðsmynd A

Til að meta heildarhagkvæmni rafhlöðubanka (BESS) var framkvæmd líftímakostnaðargreining (TCO, Total Cost of Ownership) fyrir hleðslustöð á Norðurleið, Sviðsmynd A.

Greiningin tekur mið af stofnkostnaði, rekstrarkostnaði vegna raforku og dreifingar, viðhaldi og endurnýjun rafhlöðubanka á yfir 10 og 20 ára tímabil. Förgun eða endurvinnsla rafhlaðna var ekki tekin með í útreikninginn.

Við 20 ára greininguna er gert ráð fyrir að endurnýja rafhlöðubankann eftir 15 ár og er kostnaður áætlaður 60% af stofnkostnaði.

Í þessari líftímakostnaðargreiningu var ekki gert ráð fyrir sparnaði í heimtauga-fjárfestingu.

Markmiðið er að meta hreinan rekstrarábata BESS, þ.e. lækkun afltoppa, dreifigjalda og orkuverðsáhrifa, ásamt viðhaldi og endurnýjun rafhlöðunnar.

Athugið: Dæmigerð kostnaðaráætlun sýnir að heimtaug án BESS gæti numið um 253 m.kr., en með BESS um 20 m.kr.. Þessar fjárfestingar eru þó mjög mismunandi eftir staðsetningu og eru því ekki teknar með í TCO-samanburðinum.

Helstu forsendur:

| Forsendur | Gildi |
|---|---|
| Hleðsluhringir rafhlöðu á ári | 314 |
| Líftími rafhlöðu | 6.000–8.000 hleðsluhringir (≈ 19–26 ár) |
| Fjárfestingakostnaður rafhlöðubanka | 200 m.kr. |
| Árlegt viðhald rafhlöðubanka | 1,5% af stofnkostnaði (~3,0 m.kr./ár) |
| Endurnýjun eftir 15 ár | 60% af upphafskostnaði (~120 m.kr.) |
| Meðalraforku- og dreifingarkostnaður án BESS | 243 m.kr./ár |
| Meðalraforku- og dreifingarkostnaður með BESS | 162 m.kr./ár |
| Árlegur rekstrarsparnaður | 82 m.kr./ár |
| Vextir (NPV) | 7% |
| Greiningartímabil | 10 og 20 ár |

Greining – 10 ára tímabil

Þrátt fyrir fjárfestingarkostnað upp á 200 m.kr. og 3 m.kr. á ári í viðhald, lækkar rekstrarkostnaður hleðslustöðvarinnar verulega með uppsetningu á rafhlöðubanka. Rafhlöðubankinn jafnar aflnotkun, dregur úr afltoppum og lækkar þannig dreifigjöld umtalsvert. Lækkun á afgangi dreifigjalda er helsti sparnaðurinn og vegna jafnari orkunotkunar er gefinn 7% afsláttur af raforkuverði. Í þessari greiningu hefur breytileg verðskrá raforku með ódýrara verði á nóttunni óveruleg áhrif.

| Kostnaðarliður | Án BESS | Með BESS | Mismunur |
|---|--------------------|--------------------|-------------------|
| Árlegur rafmagns- og dreifikostnaður (meðaltal) | 243 m.kr. | 161 m.kr. | -82 m.kr. |
| Heildarrekstrarkostnaður rafmagns yfir 10 ára tímabil | 2.430 m.kr. | 1.610 m.kr. | -820 m.kr. |
| Viðhald rafhlöðubankans (10 ár) | – | +30 m.kr. | +30 m.kr. |
| Fjárfestingakostnaður, rafhlöðubanki og uppsetning | – | +200 m.kr. | +200 m.kr. |
| Heildarkostnaður yfir 10 ára tímabil | 2.430 m.kr. | 1.840 m.kr. | -590 m.kr. |

Núvirt miðað við 7% vexti

| Liður | NPV (m.kr.) |
|----------------------------------|--------------|
| Sparnaður yfir tímabil | +582 |
| Viðhald yfir tímabil | -27 |
| Fjárfestingakostnaður | -200 |
| Heildar sparnaður (10 ár) | ≈ +355 m.kr. |

Fjárfestingin borgar sig innan 3 til 4 ára og lækkar rekstrarkostnað hleðslustöðvarinnar um 30 til 40 m.kr. á ári að meðaltali, eftir að fjárfesting hefur verið endurheimt og viðhald.

Greining – 20 ára tímabil

Yfir 20 ára tímabil er gert er ráð fyrir að endurnýja þurfi rafhlöðubanka eftir 15 ár og er gert ráð fyrir að endurnýjunarkostnaður sé 60% af upphaflegum kostnaði. Þrátt fyrir það heldur lausnin áfram að vera mjög hagkvæm. Endurnýjun hefur sem sagt takmörkuð áhrif á heildarhagkvæmni lausnarinnar þar sem rekstrarsparnaður safnast upp ár frá ári.

| Kostnaðarliður | Án BESS | Með BESS | Mismunur |
|--|--------------------|--------------------|---------------------|
| Árlegur rafmagns- og dreifikostnaður (meðaltal) | 255 m.kr. | 167 m.kr. | -88 m.kr. |
| Heildarrekstrarkostnaður rafmagns yfir 20 ára tímabil | 5.100 m.kr. | 3.340 m.kr. | -1.760 m.kr. |
| Viðhald rafhlöðubankans (20 ár) | – | +60 m.kr. | +60 m.kr. |
| Fjárfestingakostnaður, rafhlöðubanki og uppsetning | – | +200 m.kr. | +200 m.kr. |
| Endurnýjun rafhlaðna (ár 15) | – | +120 m.kr. | +120 m.kr. |
| Heildarkostnaður yfir 20 ára tímabil | 5.100 m.kr. | 3.720 m.kr. | -1.380 m.kr. |

Núvirt miðað við 7% vexti

| Liður | NPV (m.kr.) |
|--------------------------------------|--------------|
| Sparnaður yfir tímabil | +900 |
| Viðhald yfir tímabil | -40 |
| Stofnkostnaður BESS | -200 |
| Endurnýjun (ár 15) | -42 |
| Heildar NPV-sparnaður (20 ár) | ≈ +658 m.kr. |

Niðurstaða

Rafhlöðubanki á Norðurleið (Sviðsmynd A) skilar verulegum fjárhagslegum ávinningi. Uppsetning rafhlöðubanka minnkar árlegan rekstrarkostnað um 80 til 90 m.kr., aðallega vegna lægri afltoppa, jafnari orkunotkunar og lægri dreifigjalda.

Fjárfestingin borgar sig á 3 til 4 árum, og skilar árlegum sparnaði á rekstrarkostnaði rafmagns eftir þann tíma. Núvirtur ávinnur nemur 355 m.kr. á 10 árum og 658 m.kr. á 20 árum.

Rafhlöðubanki hefur líftíma upp á 6.000 til 8.000 hleðsluhringi, sem þýðir líftími upp á 19 - 25 ár án endurnýjunar í þessari sviðsmynd. Ef rafhlöður eru endurnýjaðar eftir 15 ár, áætlað á 60% af

upphafskostnaði, hefur það aðeins væg áhrif á heildarkostnað (TCO) og heldur lausnin áfram að vera fjárhagslega hagkvæm.

Auk fjárhagslegs ávinnings bætir rafhlöðubankinn einnig orkuöryggi, sveigjanleika og dregur úr fjárfestingaþörf í dreifikerfi.

Viðaukar

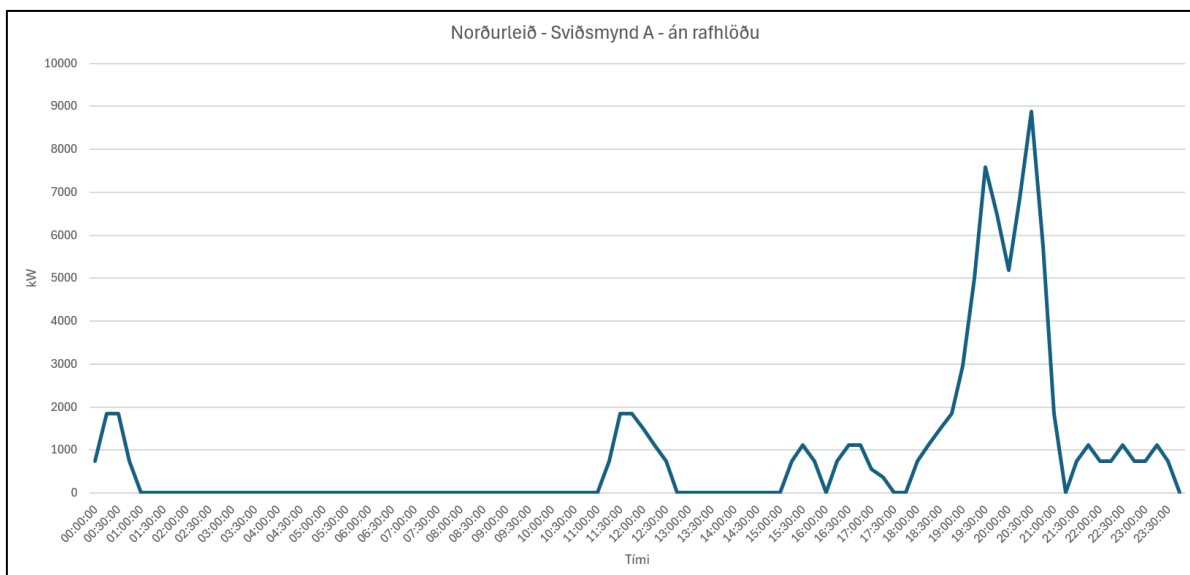
Hér er aðeins gefið 1 dæmi. Ítarlegri útreikningar voru gerðir í verkefninu fyrir nánast alla hringleiðina en þar sem gögn eru ekki alveg áreiðanleg var ákveðið að birta aðeins eins mögulega sviðsmynd. Þar til nákvæmari gögn liggja fyrir er erfitt að gera mjög nákvæmar áætlanir, en það er mögulega framhaldsverkefni hér.

Aflferlar mismunandi sviðsmynda

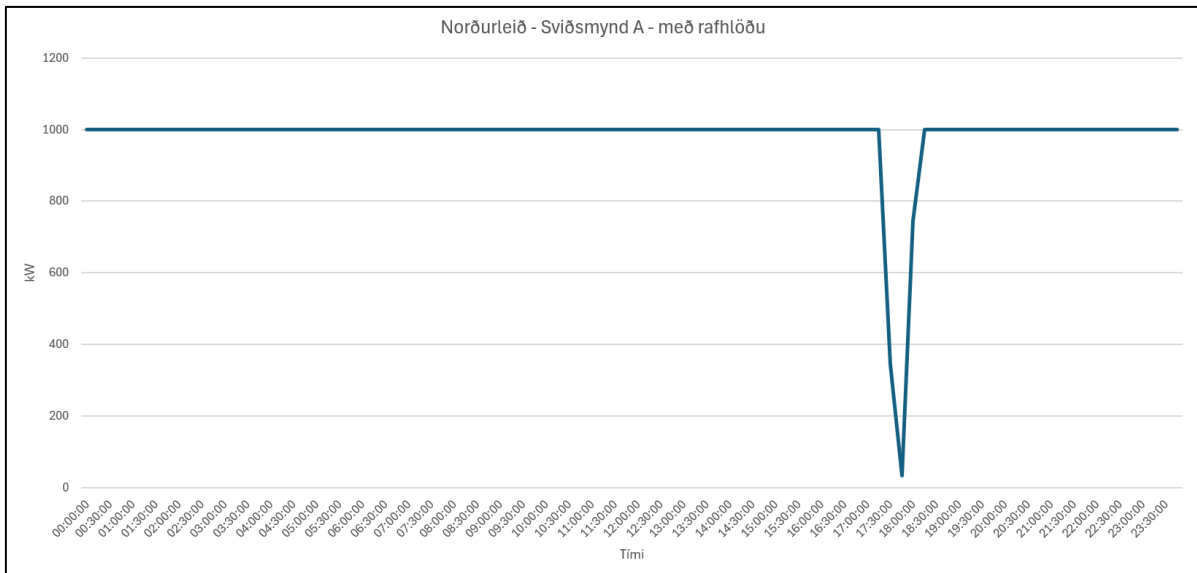
Í þessum viðauka er að finna aflferla allra sviðsmynda í greiningunni og sýnir hvernig heildaraflþörf hleðslustöðvar breytist yfir meðal dag (24 klst.) án og með rafhlöðubanka.

Norðurleið

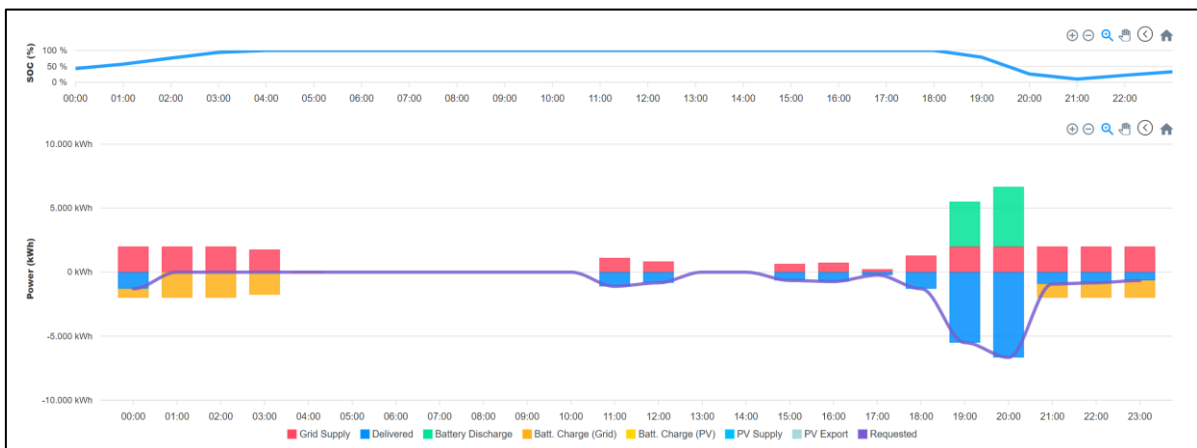
Sviðsmynd A – 20 tengi



Mynd 1: Aflferill - Norðurleið - Sviðsmynd A - án rafhlöðu



Mynd 2: Afferill - Norðurleið - Sviðsmynd A - með rafhlöðu



Mynd 3: Hleðslu- og afhleðsluferill rafhlöðu - Norðurleið - Sviðsmynd A

