

# Mælikvarðar

**Ný aðferðafræði við mat á uppfyllingu markmiða raforkulaga í kerfisáætlun Landsnets**

Fylgiskjal með Kerfisáætlun Landsnets 2019-2028

LANDSNET 19031

# 1 Inngangur

Tilgangur þessarar skýrslu er að útskýra tillögu að nýrri aðferðafræði við mat á því hvernig verkefni og- eða valkostir í kerfisáætlun Landsnets uppfylla markmið þau sem sett eru fram í 1. mgr. 9. gr. raforkulaga, sem eru; Hagkvæmni, Öryggi, Skilvirkni, Áreiðanleiki afhendingar, Gæði raforku auk þess sem jafnframt skuli horft til stefnu stjórnvalda um uppbyggingu flutningskerfis raforku

Landsnet hefur í síðustu tveimur kerfisáætlunum, frá árinu 2016, lagt mat á það hvernig boðuð verkefni á framkvæmdaáætlun og valkostir um uppbyggingu meginflutningskerfisins uppfylla áðurnefnd markmið. Við matið var stuðst við mælikvarða sem þróaðir voru til að leggja mat á valkostagreiningu langtímaáætlunar í fyrri kerfisáætlunum. Til að hægt væri að notast við mælikvarðana voru þeir tengdir við markmiðin sem þeir voru taldir eiga við og hverjum mælikvarða fyrir sig gefið ákveðið vægi. Í umsagnarferlum fyrir kerfisáætlun hafa komið fram athugasemdir um notkun þeirra mælikvarða og sem lið í viðbrögðum við umsögnum Landsnets við umsögnum við kerfisáætlun 2018-2027 var tekin ákvörðun um það að þessi aðferðafræði yrði tekin til endurskoðunar fyrir útgáfu kerfisáætlunar 2019-2028.

Framsetning markmiða í raforkulögum er opin og ekki er að finna nánari útskýringar á framsettum markmiðum, né á hvaða hátt skuli meta uppfyllingu þeirra. Sem lið í að þróa nýja aðferðafræði hefur m.a. verið litið á hvernig þetta er gert í nágrannalöndum okkar, m.a. í Danmörku og á Írlandi. Niðurstaða þeirrar athugunar leiddi í ljós að ekki virðist vera farið jafn ýtarlega í greiningar á uppfyllingum markmiða og krafa er um hér á landi.

Sem dæmi um aðferðafræði má t.d. nefna Írland, en þar er matinu skipt í tvennt. Annars vegar grunnmat, sem byggir þá á mati á því hvernig framkvæmdin uppfyllir þá þörf sem skilgreind hefur verið í undangenginni þarfagreiningu. Þá er eingöngu horft á tvo þætti, áætlaðan kostnað mögulegra valkosta, byggðan á verðbankaverðum, og hins vegar hvernig valkostir uppfylla tæknilegar þarfir sem skilgreindar eru fyrir verkefnið. Við matið er notaður grófur, fimm stiga skali, litakóðaður sem nær frá meiri áhrifum til minni áhrifa.

More significant/difficult/risk

Less significant/difficult/risk



Mynd 1-1 : Mælikvarði sem notaður er til að meta fjárfestingarverkefni í írsku flutningskerfinu<sup>1</sup>

Í seinni hluta matsins er svo horft til staðla, reglugerðar og umhverfisáhrifa og þá horft til fimm mismunandi matsþátta sem eru: tæknilegir eiginleikar, fjárhagslegir þættir, umhverfisáhrif, framkvæmanleiki og þjóðhagsleg hagkvæmni. Við matið á þessum þáttum er notast við sama fimm þrepa litaskalann og í fyrri hluta matsins og er stór hluti matsins huglægt.

Grófur litaskali eins og hér er lýst og notaður er í Írlandi er ekki ósvipaður þeim og hefur verið notaður í kerfisáætlunum Landsnets fram að þessu. Stærstu kostirnir við skala af þessari gerð, er hann hentar vel til að leggja mat á bæði hlutlægar sem og huglægar stærðir, sem oft eru lýsandi fyrir vandamál í flóknum, ólínulegum kerfum eins og t.d. flutningskerfi raforku.

<sup>1</sup> Heimild: „Step 2 – Options Report of Grid Development Framework – North Connacht Project“ – Eirgrid, April 2018.

Í þessari tillögu er farin er sú leið að skilgreina matsþætti (mælikvarða) sem taldir eru best lýsa viðkomandi markmiði. Við skilgreininguna er bæði horft til þeirra reglugerða sem finnast um efnið sem og til fræðanna. Sumir matsþættir eru hlutlægir og hægt að leggja mat á gildi þeirra með, hermunum, útreikningum eða öðrum mælanlegum aðferðum. Aðrir þættir eru hins vegar huglægir að einhverju eða að öllu leyti. Í þeim tilfellum verður matið byggt á þeirri sérfræðipækkingu sem finnst innan Landsnets og meðal ráðgjafa þeirra, reynslu sérfræðinga sem koma beint að stjórnun kerfisins í stjórnstöð eða með öðrum aðferðum. Í þeim tilfellum sem um huglægt mat er að ræða, er nauðsynlegt að útskýra vel á hverju matið byggist og byggja vel undir rökstuðning mats, í þeim tilgangi að auka gagnsæi og endurtakanleika.

## 2 Aðferðarfræði matsins

Aðferðarfræðin sem Landsnet notar við mat á uppfyllingu markmiðanna byggir í grunninn á:

- Viðmiðum fyrir grunnástand viðkomandi matsþáttar (t.d. stöðugleiki, N-1, eða kerfisstyrkur).
- Viðmiðum fyrir einkenni áhrifa vegna framkvæmdarinnar á viðkomandi matsþátt.

**Grunnástand einstakra** matsþátta er metið á fimm þrepa skala. Við matið er horft til þess ástands sem er ríkjandi á áhrifasvæði framkvæmdarinnar m.t.t. viðkomandi matsþáttar. Í sumum tilfellum þarf að horfa á grunnástandið í víðu samhengi. t.d. þegar kemur að stöðugleika, en í öðrum tilfellum er mögulegt að leggja þröngt mat á grunnástand viðkomandi matsþáttar.

Annar hluti matsins snýr að áhrifum framkvæmdarinnar eða valkostarins og snýr að **áhrifum** á viðkomandi matsþátt á fimm þrepa skala. Við matið er horft til beinna og óbeinna áhrifa framkvæmdarinnar á viðkomandi matsþátt. Þar sem horft er til fleiri en eins matsþáttar við mat á uppfyllingu markmiðs er heildargildi áhrifa metið með hliðsjón af öllum matsþáttum.

Við mat á því hversu mikil áhrif framkvæmdin gæti haft í för með sér er vegin saman greining á grunnástandi og helstu einkennum áhrifa sem hlotist geta af framkvæmdinni á viðkomandi matsþátt (markmið). Niðurstöður greiningarinnar eru lagðar inn í vægiseinkunnagraf, það sama og notað er við umhverfismat kerfisáætlunarinnar og byggir á fyrirmynd frá norsku Vegagerðinni sem m.a. hefur verið stuðst við í mati á umhverfisáhrifum raflína í Noregi.

### 2.1 Vægismat

Viðmiðin fyrir hvorn ás eru nokkur og er hvert þeirra kvarðað á skalanum lítið til mikið. Niðurstaða matsins, þ.e. vægiseinkunn fyrir áhrif á hvern matsþátt, er svo heildarsamantekt af þessum undirliggjandi viðmiðum. Sú samantekt byggir á mati sérfræðinga. Hún er ekki meðaltal heldur er lagt mat á innbyrðis vægi þessara viðmiða á hvorum ás fyrir sig.

Við framsetningu matsins eru útfylltar töflur sem sýna annars vegar grunnástand matsþátta fyrir viðkomandi markmið á 5 þrepa skala og hins vegar áhrif viðkomandi framkvæmdar eða valkosta.

Markmið	Grunnstaða matsþátta				Áhrif framkvæmdar/valkosta				
	Lágt		Miðl.	Hátt	Lítill		Miðl.		Mikill
<b>Matsþáttur 1</b>									
<b>Matsþáttur 1</b>									
<b>Matsþáttur 1</b>									



## 2.2 Vægiseinkunnir

Skilgreining á mismunandi flokkum vægiseinkunna er eftirfarandi:

Framkvæmdin hefur **engin áhrif** á tiltekinn matsþátt. Í sumum tilvikum geta aðstæður hagað því þannig að framkvæmdin snertir viðkomandi matsþátt ekki að neinu leyti.

Vægi áhrifa telst **óverulega jákvætt** þegar framkvæmdin leiðir til jákvæðra breytinga á grunnástandi þar sem saman fer að gildi matsþátta er *lítið* og umfang áhrifanna eru *lítill*. Vægi telst einnig óverulega jákvætt þar sem gildi matsþátta er *miðlungs* eða *mikið* og umfang áhrifanna eru *lítill*, eða öfugt.

Áhrifin eru **jákvæð** þegar framkvæmdin leiðir til jákvæðra breytinga á grunnástandi þar sem saman fer að gildi matsþátta er *miðlungs* eða *miðlungs til mikið* og umfang áhrifanna er *miðlungs* eða *miðlungs til mikið*. Vægi telst einnig talsvert jákvætt þar sem gildi matsþátta er talið *miðlungs til mikið* eða *mikið* og umfang áhrifanna eru *miðlungs*, eða öfugt.

Áhrifin eru **verulega jákvæð** þegar framkvæmdin leiðir til breytinga á grunnástandi þar sem saman fer að gildi matsþátta er *mikið* og umfang áhrifanna er *mikið*. Þetta á t.d. við verkefni sem snúa að kerfislega mikilvægum þáttum í flutningskerfinu, sem eftir framkvæmd viðkomandi verkefnis skora hátt í því markmiði sem metið er.

Framkvæmdir í kerfisáætlun eru settar fram með það í huga að uppfylla markmið raforkulaga. Í einhverjum undantekningartilfellum gæti þó verið um að ræða að einstök verkefni eða valkostir hafi neikvæð áhrif á einhver af markmiðunum. Í þeim tilfellum snýst skalinn við og það sem er jákvætt verður neikvætt. Myndræn framsetning breytist einnig á þann hátt að það sem er litað grænt fyrir jákvæð áhrif verður rautt fyrir neikvæð.

## 3 Matsþættir fyrir markmið raforkulaga

Hér á eftir fara tillögur að matsþáttum sem ætlað er að meta uppfyllingu þeirra markmiða raforkulaga sem nefnd eru hér að framan. Einnig fylgja skilgreiningar á grunnástandi einstakra matsþátta og skilgreiningar á mismunandi stigum áhrifa framkvæmda og eða valkosta á grunnástandið.

### 3.1 Öryggi

Hugtakið öryggi í skilningi raforkukerfa er nátengt hugtakinu áreiðanleiki og oft er erfitt að greina þar á milli. Í sumum tilfellum er öryggi meðhöndlað sem hluti af áreiðanleika en í Raforkulögum nr. 65 frá 2003 eru öryggi og áreiðanleiki afhendingar sett fram sem tvö markmið sem taka skuli tillit til við uppbyggingu flutningskerfisins. Hugtakið öryggi er ekki skilgreint í raforkulögum eða reglugerð um framkvæmd raforkulaga, né hvernig eigi að meta uppfyllingu þess.

Í rannsókn sem framkvæmd var af bandaríska háskólanum MIT og spænska háskólanum Comillas í Madríd um orkuöryggi á Íslandi er orkuöryggi skipt upp í fjóra meginflokk, sem eru<sup>2</sup>:

- Orkustefna (Strategy)
- Nægilegt framboð (Adequacy)
- Framleiðsluöryggi (Firmness)

<sup>2</sup> <https://orkustofnun.is/gogn/Skyrslur/OS-2017/Electricity-Security-of-Supply-in-Iceland-Final-Report.pdf>

- Rauntímaöryggi (Security)

Orkustefna nær yfir hluti eins og staðsetningu virkjana og raflína, áreiðanleika, umhverfisáhrif, kostnað og sjálfstæði. Orkustefna fyrir Ísland er ekki til staðar ennþá en verið er að vinna að mótun hennar. Hins vegar eru til staðar stefna um uppbyggingu flutningskerfis og stefna um lagningu raflína ásamt rammaáætlun um vernd og orkunýtingu landsvæða.

Nægilegt framboð nær yfir uppsett afl virkjana og möguleika flutningskerfisins til að flytja það afl, bæði til að mæta núverandi sem og framtíðarþörfum.

Með framleiðsluöryggi er átt við hve aðgengileg orkan er þegar hennar er þörf, þ.e.a.s. að forðastýring sé í lagi. Með forðastýringu er t.d. átt við orku í vatnslónum, aðgengilegri jarðgufu, olíubirgðum, nægilegri flutningsgetu og fl.

Með rauntímaöryggi er átt við stjórnun kerfisins í rauntíma, að mæta notkun með framleiðslu og stjórna m.t.t. flutningstakmarkana, stöðugleikamarka, flutningi um flöskuhálsa (snið) og fleira í þeim dúr.

Eins og sést á þessari upptalningu á aðeins hluti af þessum atriðum við um flutningskerfi raforku. Engu að síður er reynt að hafa þessi atriði við hliðsjónar við skilgreiningu á mælikvörðum og reynt að grípa það sem hér er upptalið annað hvort í mati á öryggi eða áreiðanleika afhendingar.

Við mat á öryggi er horft til tveggja mismunandi matsþátta, tvítengingar afhendingarstaða og stöðugleika.

#### **Tvítenging afhendingarstaða - N-1 (Orkustefna):**

Tvítenging er talin vera lykilatriði þegar kemur að öryggi í raforkukerfum. Kerfi eða kerfishlutar sem ekki eru tvítengd þola ekki truflun á einni einingu og eru því mjög útsett fyrir truflunum á afhendingu. Í þingsályktun um stefnu stjórnvalda um uppbyggingu flutningskerfis raforku sem samþykkt var á alþingi þann 11. júní 2018 kemur fram að allir afhendingarstaðir í meginflutningskerfinu skulu árið 2030 vera komnir með tengingu sem tryggir að rof á stakri einingu valdi ekki takmörkunum á afhendingu eða afhendingarrofi. Allir afhendingarstaðir í svæðisbundnum hlutum flutningskerfisins skulu árið 2040 vera komnir með tengingu sem tryggir að rof á stakri einingu valdi ekki takmörkunum á afhendingu eða afhendingarrofi. Fram að þeim tíma skal leitast við að tryggja afhendingaröryggi fyrir svæðisbundin flutningskerfi með afli innan svæðis.

Auðvelt er að meta hvort að verkefni og eða valkostur uppfylli markmið um N-1 og er matið hlutlægt.

#### **Stöðugleiki (Rauntímaöryggi):**

Annar matsþáttur í mati á öryggi er stöðugleiki flutningskerfisins, en stöðugleiki orkukerfis segir til um getu kerfis til að halda stöðugu rekstrarástandi undir eðlilegum rekstrarskilyrðum og ná að nýju stöðugu rekstrarástandi eftir að hafa orðið fyrir truflun eða snöggri breytingu á rekstrarstöðu.

Stöðugleiki flutningskerfis getur haft afgerandi áhrif á það hvort að kerfið nái að haldast í rekstri við óvæntar truflanir og eða stórar og snöggar breytingar á notkun kerfisins og því er stöðugleiki jafnan notaður við mat á öryggi slíkra kerfa.

Óstöðugleiki er vandamál sem er viðvarandi í íslenska meginflutningskerfinu í heild og eru valkostum langtímaáætlunar kerfisáætlunar í heild m.a. ætlað að vinna bug á honum. Hluti af mati valkosta í langtímaáætlun er áætlun um það hvernig valkostir eru taldir munu bæta úr vandamálinu. Erfiðara er að meta áhrif einstakra framkvæmda á stöðugleika og verður mat stakra framkvæmda á framkvæmdaáætlun alltaf að endurspeglar hvernig viðkomandi framkvæmd/valkostur vinnur á óstöðugleika í samhengi annarra framkvæmda. Mörg þekkt dæmi er um tilfelli óstöðugleika í flutningskerfinu. Má þar nefna útleysingu á

línunum á leiðinni milli Sigöldu og Fljótsdals á þungu álagi, en við slíkar truflanir eru allar líkur á því að snúningsmassar í Fljótsdalsstöð fari að kasta afli milli massanna á Fljótsdals og Þjórsár-Tungnaásvæðisins með þátttöku vélanna í Blöndu. Þarna er um afar langa, viðnámsháa leið að ræða og er þetta fyrirbæri kallað aflsveiflur. Þegar þær myndast fara spennan og tíðni að sveiflast með tilheyrandi hættu á skemmdum á búnaði hjá notendum kerfisins. Annað þekkt dæmi um óstöðugleika er útleysingu á stóru álagi á SV-horninu á sumarálagi en við slík tilfelli hefur kerfið fallið úr „samfösun“ (out-of-step) án þess að rof verði í kerfinu. Með öðrum orðum fellur einn hluti kerfisins úr fasa við annan kerfishluta án þess að rofið sé á milli. Þetta telst afar alvarlegur óstöðugleiki og mikið kapp er lagt á í svokallaðri víðstýringu kerfisins að slík tilfelli eigi sér ekki stað eða að kerfið rofni í sundur áður en þetta gerist. Óstöðugleiki getur verið viðvarandi í kerfinu í „eðlilegum rekstri“ á mjög lágum tíðnibilum eins t.d. 0,02-0,14 Hz, 0,35 Hz og 0,8 Hz. Þessar aflsveiflur verða í samtengdu kerfi og eiga rætur sínar að rekja til gangráða aflvéla eða hverfilsins sjálfs.

### Náttúruvá

Það þarf ekki að taka það fram hér að á Íslandi geta ýmsar tegundir náttúruvára haft áhrif á mannvirki og innviði. Stórir hlutar flutningskerfisins liggja um landssvæði þar sem náttúran getur haft mikil áhrif á rekstur. T.d. geta eldgos og flóð (hlaup) valdið miklu tjóni á kerfinu en slíkir atburðir eru fátíðari en t.d. ofsaverður sem geta valdið töluverðu tjóni en er yfirleitt fljótlegri að lagfæra. Tjón vegna stórra eldgosa getur verið með þeim hætti að tjónið sé víðtækt og erfitt getur verið að koma mannskap að hinum skemmda búnaði eða kerfishluta til viðgerða. Því þarf að meta styrkingar á kerfinu út frá þeim áhrifum sem þeir hafa á getu kerfisins til að missa út einingar á líklegu áhrifasvæði náttúruhamfara.

Áhrif matsþáttarins verða metin út frá söfnuðum gögnum um metin áhrifasvæði náttúruhamfara og þá kerfishluta sem liggja um þessi svæði. Einnig verður metið út frá þekktum veðurfarslega erfiðum svæðum. Grunnöggn sem stuðst er við er aflað frá Veðurstofu Íslands.

### 3.1.1 Grunnástand og gildi þess

Við mat á framkvæmdinni og eða valkostum hennar er lagt mat á grunnástand kerfisins þegar kemur til öryggis samkvæmt fyrirfram gefnum matsþáttum.

GRUNNÁSTAND			
Matsþáttur	Lágt gildi	Miðlungs gildi	Hátt gildi
<b>Tvítenging afhendingarstaðar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Leiðir framkvæmdin/valkosturinn af sér tvítengingu afhendingarstaðar sem í dag nýtur einnar tengingar?</li> </ul>	Einföld tenging til staðar, léleg tenging	Takmarkað N-1 til staðar	N-1 til staðar jafnstærkar tengingar, eða báðar tengingar ráða vel við hámarksálag
<b>Stöðugleiki</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eykur framkvæmdin/valkosturinn stöðugleika í kerfinu</li> </ul>	Kerfi með löngum línunum og háu rafviðnámi	Kerfi að hluta til möskvað, hátt við nám	Möskvað kerfi með lágu viðnámi
<b>Náttúruvá</b>	Önnur leið ekki til staðar	Takmarkaðir möguleikar til staðar	Nauðsynlegt afl er mögulegt að flytja á milli landshluta

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Er tiltæk önnur flutningsleið til að flytja afl milli landshluta ef stórar einingar leysa út, t.d. vegna náttúruvár</li> </ul>			
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--

Tafla 3.1 : Grunnástand öryggis, viðmið

Tafla 3.1 sýnir grunnástand fyrir mat á öryggi. Grunnástand fyrir tvítengingu afhendingarstaðar er lágt ef einungis er um eina tengingu að ræða. Miðlungsgildið nær yfir „takmarkað“ N-1 en slíkt á t.d. við ef til er til staðar önnur tenging sem nær eingöngu að sinna forgangsálagi en ekki skerðanlegu álagi. Ef fullt N-1 er hins vegar til staðar, þ.e.a.s. báðar tengingar ná að anna fullu álagi á viðkomandi afhendingarstað, nær grunnástandið háu gildi. Fyrir stöðugleika flokkast kerfi með löngum línunum, gjarnan á lágu spennustigi, og með háu rafviðnámi undir að vera með lágt gildi grunnástands. Miðlungsástand nær yfir kerfi sem hefur einhverja möskvun en inniheldur veikar tengingar með háu viðnámi. Hátt gildi grunnástands nær yfir möskvað kerfi með lágu rafviðnámi milli tengipunkta. Við mat á því hvernig kerfi bregst við náttúruvá fær kerfið lægstu einkunn ef flutningsleið fer út vegna náttúruvár en það er engin önnur flutningsleið sem tekur við. Miðgildið fæst ef hægt er að bregðast við náttúruvá með takmörkuðum hætti og hæstu einkunn fær kerfið sem skilar öllu aflinu þrátt fyrir atburðinn.

Niðurstöður matsins eru settar inn í töflu á fimm skala kvarða. Við mat á gildum sem lenda á milli þeirra þriggja sem eru fyrirfram skilgreind er metið ástand sem gæti átt við báða þætti, eða liggur mitt á milli þeirra.

### 3.1.2 Einkenni áhrifa

Við mat á einkennum áhrifa framkvæmdar eða valkostar á öryggi er tekið mið af eftirfarandi viðmiðum í

Tafla 3.2. Viðmiðin segja til um áhrif framkvæmdarinnar eða valkostarins á grunnástand í viðkomandi kerfi, eða viðkomandi búnað eftir því sem við á.

EINKENNI ÁHRIFA			
Matsþáttur	Lítill áhrif	Miðlungs áhrif	Mikil áhrif
<b>Tvítenging afhendingarstaðar</b>	Hefur ekki áhrif á N-1	Bæta við línu með sömu flutningsgetu eða minni (takmarkað N-1)	Bætir við tengingu með meiri flutningsgetu en fyrir er
<b>Stöðugleiki</b>	Hefur lítill eða engin áhrif á stöðugleika	Mikil bæting en þó ennþá til staðar kítísk truflanatilfelli	Ein útleysing veldur ekki óstöðugleika í kerfinu
<b>Náttúruvá</b>	Hefur lítill eða engin áhrif á stöðu kerfis gagnvart náttúruvá	Eykur getu kerfisins til að bregðast við skertri framleiðslu v. Náttúruvár að einhverju leyti	Flutningskerfið getur staðið af sér alvarlega svæðisbundna náttúruvá með skerta orkuframleiðslu á viðkomandi svæði.

Tafla 3.2 : Áhrif framkvæmdar/valkosts á öryggi

Tafla 3.2 sýnir fyrirfram skilgreind áhrif framkvæmdar eða valkosts á markmið um öryggi. Niðurstöður matsins eru settar inn í töflu á þriggja skala kvarða. Við mat á áhrifum framkvæmdar á tvítengingu afhendingarstaðar er horft til þess hvaða áhrif framkvæmdin hefur á grunnástandið. Ef hún hefur engin áhrif á tvítengingu (N-1) þá er um lítill áhrif að ræða. Ef hins vegar er bætt við línu eða öðrum flutningsmöguleika, með sömu flutningsgetu eða minni en til staðar er, sem þýðir að hægt verður að viðhalda forgangsnotkun við bilanatilfelli eru áhrifin metin sem miðlungs. Ef hins vegar framkvæmdin eða valkostur leiðir af sér nýja tengingu með meiri flutningsgetu en fyrir er, þá er um mikil áhrif að ræða. Við



mat á matsþætti á um tvítengi afhendingarstaðar er horft til einlínummyndar af viðkomandi kerfi, fyrir og eftir framkvæmd og er matið hlutlægt að fullu.

Við mat á stöðugleika er lagt mat á það hvort að líklegt sé að framkvæmdin eða valkosturinn hafi þau áhrif á viðkomandi kerfi að stöðugleiki aukist. Slíkt mat verður ávallt að mestu leyti huglægt og að einhverju byggt á reynslu þeirra sem koma að stjórnun kerfisins. Óstöðugleiki í raforkuflutningskerfi er margslungið og flókið raforkufræðilegt fyrirbæri sem ekki er hægt að lýsa með tölulegum stærðum, en hægt er að horfa til þeirra atriða sem nefnd eru hér framfar við mat á væntum stöðugleika kerfis eftir breytingar. Að lista upp öll möguleg tilfelli óstöðugleika í flutningskerfinu er nær ógjörningur en við mótun valkosta sem settir eru fram í kerfisáætlun er m.a. horft til þess að draga úr óstöðugleika kerfisins sem þó er ljóst að aldrei verður fullkomlega komist fyrir. Um framkvæmdir/valkosti gildir að þau eru talin hafa lítil áhrif á stöðugleika ef kerfið er óbreytt í því tilliti eftir framkvæmd. Miðlungsgildi áhrifa á við ef um mikla bætingu er að ræða, en enn eru þó til staðar krítísk truflanatilfelli sem eru líkleg til að valda óstöðugleika í kerfinu. Ef hins vegar framkvæmdin hefur þau áhrif að ein útleysing veldur ekki lengur óstöðugleika er um mikil áhrif að ræða.

Við mat á náttúruvá er reynt að meta hvort framkvæmd hjálpi kerfinu til þess að bregðast við náttúruvám eins og eldgoss, jarðskjálftum og þess háttar. Hafi framkvæmdin lítil eða engin áhrif á stöðu kerfis gagnvart náttúruvá eru áhrifin metin lítil. Áhrifin eru metin miðlungs ef framkvæmdin eykur getu kerfisins til þess að bregðast við áhrifum vegna náttúruvá að einhverju leyti. Verði flutningskerfið hins vegar í stakk búið til þess að standast alvarlega svæðisbundna náttúruvá án þess að það hafi áhrif á afhendingu á forgangsorku þá fær framkvæmdin hæstu einkunn.

## 3.2 Áreiðanleiki afhendingar

Markmiðinu Áreiðanleiki afhendingar er ætlað að varpa ljósi á getu kerfisins til að sinna hlutverki í sínu og hvernig það stuðlar að heildar áreiðanleika raforkukerfisins<sup>3</sup>, þ.m.t. vinnslukerfinu. Hlutverk flutningskerfisins er fyrst og fremst að tengja saman framleiðslu raforkunnar og notkun hennar og ef það getur ekki sinnt því hlutverki sínu til fullnustu á hverjum tíma þýðir það að áreiðanleiki þess er lægri en æskilegt er. Landsnet skilgreinir áreiðanleika kerfis með þeim hætti að áhrif áreiðanleika hefur áhrif á öryggi og þar með má segja að áreiðanleiki sé hærra í „stiganum“ en öryggi. M.ö.o. lakur áreiðanleiki veldur óöruggu ástandi.

### Flöskuhálsar

Flöskuhálsar kallast takmörkun á flutningsgetu þar sem annars ríkir þörf fyrir meiri flutning. Þessir flöskuhálsar geta verið tilkomnir vegna hitaflutningsmarka stakrar einingar eða samverkandi flutningsmarka vegna tveggja eða fleiri eininga sem saman mynda flutningsnið. Í flutningskerfi dagsins í dag eru margir flöskuhálsar sem margir hverjir hafa samverkandi áhrif til að takmarka flutning verulega. Til dæmis má nefna að Snið IIIb er að verða æ meira takmarkandi fyrir kerfið og stefnir í að staðan verði alvarleg fyrir rekstur kerfisins. Alls eru skilgreind fimm snið í meginflutningskerfinu og flutningsmörk þeirra tilgreind. Flutningsmörkin í sniðum eru stefnuháð. Flutningssniðin eru háð uppsetningu kerfisins hverju sinni og hafa styrkingar á meginflutningskerfinu, sem leiða af sér aukna möskvun kerfisins, þau áhrif að sniðin breytast og ekki víst að núverandi snið verði til staðar. Því eru þau snið sem fjallað er um hér miðuð við að engar styrkingar eigi sér stað í meginflutningskerfinu. Flutningstakmarkanir um þessi snið er það sem átt er við þegar talað er um flöskuhálsa í flutningskerfinu.

<sup>3</sup> Raforkukerfið samanstendur af vinnslukerfi, flutningskerfi og dreifikerfi.

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

Auk sniðanna í meginflutningskerfinu eru einnig til staðar þekktir flöskuhálsar í svæðisbundnum flutningskerfum og eru þau snið einkum skilgreind vegna rauntímastýringar kerfisins og hefur til þessa ekki verið fjallað um þau sérstaklega í Kerfisáætlun. Svæði sem má nefna sem hafa mjög þekkta og þrönga flöskuhálsa eru Suðurland og Austurland.

Matsþátturinn Flöskuhálsar verður metinn út frá skilgreindum sniðum í meginflutningskerfinu fyrir valkosti langtímaáætlunar. Metið verður út frá því hvort viðkomandi flöskuhálsar verði ennþá til staðar að nokkru leyti eftir styrkingar m.v. grunnástand og einnig hvort þeir séu áfram til staðar að nokkru leyti í skertu kerfi, þ.e. þegar tilteknar einingar eru úr rekstri. Fyrir framkvæmdir á framkvæmdaáætlun verður matsþátturinn metinn út frá þeim flöskuhálsum sem til staðar voru í þeim kerfishluta sem framkvæmdin hefur áhrif á, hvort sem um er að ræða meginflutningskerfi eða svæðisbundið flutningskerfi. Þá verður það metið út frá sömu aðferð, hvort flöskuhálsar hafi enn áhrif eftir styrkingar hvort sem er í venjulegum rekstri eða í skertu kerfi.

### Ótíltæki

Landsnet lætur á þriggja ára fresti reikna út ótíltæki búnaðar eftir spennustigi og gerð (loftlína, jarðstrengur, tengivirki, aflrofi, spennir). Þetta útreiknaða ótíltæki byggir á truflanaskráningum næstu 10 ára á undan. Það tekur saman allar truflanir á tímabilinu án tillits til orsaka sem geta verið af ýmsum toga t.d. veður, manneg mistök eða bilun svo eitthvað sé nefnt. Ótíltæki búnaðar er margfeldi bilanatíðni og viðgerðartíma<sup>4</sup>.

Með þessum matsþætti verður horft á útreiknað ótíltæki eininga sem framkvæmd eða valkostur hefur áhrif á og metið hvort vægi áhrifanna minnkar með tilkomu nýrra eininga eða jafnvel að áhrifin eru alfarið úr sögunni.

### Áreiðanleikastuðlar

Landsnet reiknar út áreiðanleikastuðla fyrir rekstur kerfisins á ársgrundvelli og metur frammistöðu þess í árlegri Frammistöðuskýrslu og setur markmið fyrir árið. Þeir stuðlar sem Landsnet setur rekstrarmarkmið fyrir eru straumleysismínútur (SMS), stuðull um rofið álag (SRA) og kerfismínútur (KM). Markmið um stuðlana eru:

SMS < 50

SRA < 0,85

KM: Engin truflun 10 kerfismínútur eða lengri

Í framkvæmdaáætlun kerfisáætlunar 2018-2027 voru þessir áreiðanleikastuðlar reiknaðir út svæðisbundið og verður svipuðum aðferðum beitt til að meta áhrif á áreiðanleikastuðla fyrir stakar framkvæmdir. Stuðlarnir verða einnig metnir fyrir meginflutningskerfið þegar kemur að mati á valkostum en það mat verður að hluta til huglægt þar sem ekki er hægt að reikna þessi áhrif út með neinni nákvæmni.

<sup>4</sup> Skýrsla: Notkun áreiðanleikareikninga í kerfi Landsnets – Endurreiknaðir áreiðanleikastuðlar 2018 – Landsnet 18028.

### 3.2.1 Grunnástand og gildi þess

Við mat á framkvæmdinni og- eða valkostum hennar er lagt mat á grunnástand kerfisins þegar kemur til Áreiðanleika afhendingar samkvæmt fyrirfram gefnum matsþáttum.

GRUNNÁSTAND			
Matsþáttur	Lágt gildi	Miðlungs gildi	Hátt gildi
<b>Flöskuhálsar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eru til staðar flöskuhálsar í kerfinu á áhrifasvæði framkvæmdar?</li> <li>Flutningssnið rekin yfir öryggismörkum?</li> </ul>	Miklar flutningstakmarkanir fyrir hendi  Flutningssnið reglulega rekin yfir öryggismörkum	Flutningstakmarkanir í skertu kerfi  Flutningssnið sjaldan rekin yfir öryggismörkum	Flutningstakmarkanir litlar sem engar  Flutningssnið aldrei rekin yfir öryggismörkum
<b>Ótíltæki</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Er til staðar geta í kerfinu til að bregðast við langvarandi bilun á annari einingu án þess að hafa áhrif á öryggi?</li> </ul>	Ótíltæki eininga í kerfinu ógnar öryggi kerfisins á viðkomandi svæði	Ótíltæki eininga getur valdið flutningstakmörkunum á viðkomandi svæði	Kerfið að mestu leyti óháð ótíltæki einstakra eininga
<b>Áreiðanleikastuðlar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Er ástand flutningskerfisins á áhrifasvæði framkvæmdar líklegt til að hafa neikvæð áhrif á stuðla um áreiðanleika (SMS, SRA og KM)?</li> </ul>	Flutningsfyrirtæki stenst ekki markmið um stuðla á áhrifasvæði framkvæmdar	Flutningsfyrirtæki stenst hluta af markmiðum um stuðla á áhrifasvæði framkvæmdar (eingöngu KM) og hina tvo hluta af tímanum	Flutningsfyrirtækið stenst öll markmið um stuðla á áhrifasvæði framkvæmdar

Tafla 3.3 : Grunnástand áreiðanleika afhendingar, viðmið

Tafla 3.3Tafla 3.1 sýnir grunnástand fyrir mat á áreiðanleika. Grunnástand fyrir flöskuhálsa í flutningskerfinu er lágt ef miklar flutningstakmarkanir eru fyrir hendi og flutningssnið reglulega rekin yfir öryggismörkum. Miðlungsgildið er fyrir kerfi með flutningstakmörkunum í skertu kerfi en hæsta gildið fær kerfi sem er með nánast engar flutningstakmarkanir og snið eru aldrei rekin yfir öryggismörkum. Ótíltæki er mælikvarði á getu kerfis til þess að bregðast við langvarandi bilun á annari einingu. Lág einkunn fæst ef ótíltæki eininga í kerfinu ógnar öryggi kerfisins á viðkomandi svæði, miðlungs einkunn ef ótíltæki veldur flutningstakmörkunum á viðkomandi svæði en há einkunn ef kerfið er að mestu leyti óháð ótíltæki einstakra eininga. Við mat á áreiðanleika eru áreiðanleikastuðlar einnig skoðaðir. Ef flutningsfyrirtæki stenst ekki markmið um stuðla þá fæst lág einkunn en miðlungs ef það stenst hluta stuðlanna. Há einkunn fyrir stuðla fæst ef fyrirtækið stenst öll markmiðin.

### 3.2.2 Einkenni áhrifa

Við mat á einkennum áhrifa framkvæmdar á Áreiðanleika afhendingar er tekið mið af eftirfarandi viðmiðum.

EINKENNI ÁHRIFA			
Matsþáttur	Lítill áhrif	Miðlungs áhrif	Mikil áhrif
<b>Flöskuhálsar</b>	Hefur lítill eða engin áhrif á flöskuhálsa	Minnkar flutnings-takmarkanir að einhverju leyti	Afléttir flutningstakmörkunum á viðkomandi svæði

	Hefur lítil eða engin áhrif á flutning um snið	Minnkar líkur á því að flutningssnið séu rekin yfir öryggismörkum	Eyðir sniðum á áhrifasvæði framkvæmdar
<b>Ótíltæki</b>	Hefur lítil eða engin áhrif á stöðu kerfis m.t.t. ótíltækis einstakra eininga	Framkvæmdin hefur þau áhrif að ein krítísk eining megi verða ótíltæk án þess að öryggi sé ógnað	Mikil fækkun á einingum sem mega verða ótíltækar án þess að öryggi sé ógnað
<b>Áreiðanleikastuðlar</b>	Framkvæmd ekki líkleg til að hafa marktæk áhrif á stuðla	Framkvæmd líkleg til að hafa einhver jákvæð áhrif á stuðla	Framkvæmd líkleg til að hafa teljandi jákvæð áhrif á alla stuðla

Tafla 3.4 : Áhrif framkvæmdar/valkosts á áreiðanleika afhendingar

Tafla 3.4 sýnir einkenni áhrifa framkvæmdar/valkostar á matsþætti sem ná yfir *Áreiðanleika afhendingar*. Niðurstöður matsins eru settar inn í töflu á þriggja skala kvarða. Við mat á áhrifum framkvæmdar á flöskuhálsa er horft til þess hvaða áhrif framkvæmdin hefur á grunnástandið. Ef hún hefur engin áhrif á flöskuhálsa og flutning um snið þá er um lítil áhrif að ræða. Hafi framkvæmdin hins vegar þau áhrif að hún létti á flöskuhálsum á áhrifasvæði framkvæmdar þannig að hægt verði að auka forgangsnotkun við bilanatilfelli eru áhrifin metin sem miðlungs. Ef hins vegar framkvæmdin eða valkostur leiðir af sér að flöskuhálsar verði ekki lengur til staðar og ekki eru lengur flutningssnið, þá er um mikil áhrif að ræða. Við mat á matsþætti um flöskuhálsa er horft til sniða í viðkomandi kerfi, fyrir og eftir framkvæmd og er matið hlutlægt að fullu.

Við mat á ótíltæki er tekið mið af því hvort framkvæmd hjálpi kerfinu við að bregðast við ótíltæki annarra eininga í kerfinu. Kerfiseiningar hafa mislangan viðgerðartíma þ.a. við bilanir á t.d. jarðstrengjum eða aflspennum geta skapast erfiðar rekstraraðstæður í lengri tíma. Sé framkvæmd talin ólíkleg til þess að hjálpa kerfinu við slíkar aðstæður verða áhrif hennar á ótíltæki metin lítil. Hafi framkvæmdin þau áhrif að kerfið ráði auðveldlega við ótíltæki einnar einstakrar einingar þá eru áhrif hennar á ótíltæki metin miðlungs. Áhrifin á ótíltæki eru svo metin mikil ef það verður mikil fækkun á kerfiseiningum sem mega bila í lengri tíma án þess að öryggi kerfis sé ógnað.

Landsnet setur sér árlega markmið varðandi áreiðanleikastuðlana SMS, SRA og KM. Reynt verður eftir fremsta megni að meta möguleg áhrif framkvæmdar á þessa stuðla í framtíðinni þó það sé vissulega háð mörgum utanaðkomandi þáttum eins og t.d. veðurfari. Framkvæmdin er því metin hafa lítil, miðlungs eða mikil áhrif á áreiðanleika stuðla eftir því hvort hún verði líkleg til að hafa ómarktæk áhrif, einhver jákvæð áhrif á stuðlana eða teljandi

### 3.3 Gæði raforku

Til þess að meta þætti sem áhrif á gæði raforku horfir Landsnet fyrst og fremst til reglugerðar 1048/2004 um gæði raforku og afhendingaröryggi. Í 11. gr. reglugerðarinnar eru taldir upp þeir þættir sem flutningsfyrirtækið skal hafa eftirlit með og þær gæðakröfur sem eru gerðar til þeirra. Nokkrir þessara þátta hafa verið aðlagðir að matsþáttum fyrir gæði raforku eins og mun koma fram hér í neðangreindu. Þó eru þættir í 11. greininni sem ekki er hægt að meta beint með þeim verkfærum sem notuð eru við kerfishermanir. Það eru þættir eins og spennublikk og bjögun vegna yfirsveiflna. Þó ber að nefna að þessir þættir falla óbeint undir matsþáttinn Kerfisstyrkur þar sem aukinn kerfisstyrkur minnkar líkurnar á spennubliki og yfirsveiflubjögun. Því má líta svo á að með neðangreindum skilgreiningum á matsþáttum hafi Landsneti tekist að fanga alla þá þætti sem gerðar eru gæðakröfur um í 11. gr. reglugerðar 1048/2004 (hér eftir kallað reglugerðin).

#### Kerfisstyrkur

Skammhlaupsafl er sá mælikvarði sem notaður er fyrir styrk kerfis. Skammhlaupsafl í tilteknum punkti flutningskerfisins er það afl sem flyst til jarðar með þeim straumi sem hleypur til jarðar við þriggja fasa jarðhlaup. Þeim mun sterkara sem kerfið er þeim mun meira afl er í fræðilegu jarðhlaupi. Einfalt er að reikna út skammhlaupsafl með kerfishermunarforriti. Til viðmiðunar fyrir grunnástand og áhrif eru settar fram eftirfarandi töflur sem notaðar eru til að meta þessa þætti. Horft verður bæði til hækkunar á skammhlaupsafl næsta núverandi spennustigs á viðkomandi stöðum og einnig hæsta skammhlaupsafls á viðkomandi stað ef nýtt spennustig verður til.

Grunnástand kerfisstyrks x (MVA)			
	Lágt gildi	Miðlungs gildi	Hátt gildi
<b>66 kV</b>	$x < 200$	$200 \leq x < 500$	$500 \leq x$
<b>132 kV</b>	$x < 1000$	$1000 \leq x < 2000$	$2000 \leq x$
<b>220 kV</b>	$x < 2000$	$2000 \leq x < 3500$	$3500 \leq x$

Tafla 3.5 : Grunnástandsgildi til viðmiðunar (DRÖG)

Áhrif	Hækkun á skammhlaupsaflí afhendingarstaða
<b>Lágt gildi</b>	10-15%
	15-20%
<b>Miðlungs gildi</b>	20-30%
	30-40%
<b>Hátt gildi</b>	>40%

Tafla 3.6: Skali til viðmiðunar við mat á áhrifum á kerfisstyrk

Reglugerðin gerir ekki beinar kröfur til skammhlaupsafls en taflan að ofan er byggð á þekkingu sérfræðinga Landsnets varðandi hvaða kerfishlutar eru veikari eða sterkari en aðrir.

### Aflsveiflur

Í rekstri flutningskerfisins er komin áratugalöng reynsla af þekktum aflsveiflutilvikum í kerfinu og hefur töluverður árangur náðst við að fækka slíkum tilvikum og minnka áhrif þeirra t.d. með snjallnetslausnum og stillingum rounarbúnaðar í aflstöðvum. Þekktast er að aflsveiflur myndast við rof á byggðalínuhringnum. Mat á þessum þætti mun byggja á rekstrarreynslu fremur en hermunum og útreikningum.

### Spennusveiflur/ spennuþrep

Spennusveiflur eða spennuþrep verða helst við rof eða innsetningar búnaðar í nærliggjandi kerfishlutum. Sérstaklega er þekkt spennuþrep við innsetningu jarðstrengja en einnig má nefna skammtíma spennufall við innsetningu stórra aflspenna. Þeim mun veikara sem kerfið er (lágt skammhlaupsafl) þeim mun meiri líkur eru á þessum fyrirbærum.

Reglugerðin gerir kröfur um hámarks spennuþrep eftir spennustigi og hversu oft þau eigi sér stað. Skv. skilgreiningu reglugerðarinnar er um að ræða fyrirvaralaus staka breytingu spennu milli tveggja stöðugra samfelldra spennugilda af óþekktri tímalengd sem getur verið annað hvort spennuhækkun eða spennulækkun. Þrep sem geta orðið allt að 4 sinnum á sólarhring mega vera allt að 5% á öllum spennustigum og árstíðabundin spennuþrep mega vera allt að 5% á spennum yfir 35 kV sem á við öll spennustig flutningskerfisins. Árstíðabundin spennuþrep mega vera allt að 8% á spennum undir 35 kV en ekki verður horft til þess við mat á þessum þætti. Reglugerðin gerir einnig kröfur um spennublikk en ekki eru forsendur til að meta þann þátt með kerfishermi.

## Afhendingarspenna/ vikmörk

Víða í kerfinu, einkum í svæðisflutningskerfum, er rekstrarspenna, við viss skilyrði, nálægt leyfilegum vikmörkum skv. reglugerð. Þessum matsþætti er ætlað að varpa ljósi á hvort tiltekin framkvæmd eða valkostur breytir væntigildi afhendingarspennu til hins betra og verður þá einblínt á afhendingarstaði Landsnets þar sem reglugerðin tekur til þeirra. Rekstrarspenna utan vikmarka þar sem hvorki er afhendingarstaður innmötunar né útmötunar skiptir ekki máli þegar horft er til þessa þáttar.

Reglugerðin gerir kröfur til afhendingarspennu sem er skilgreind sem spenna sem mæld er í ákveðinn tíma á hverjum afhendingar- og notkunarstað. Vikmörk í afhendingarspennu miðast við nafnspennu og eru þau leyfilegu frávik sem afhendingarspennan má taka. Afhendingarspenna skal vera innan skilgreindra vikmarka en getur verið háð staðbundnum aðstæðum. Vikmörk eru  $\pm 10\%$ . Enn fremur eru gerðar kröfur um neðri mörk afhendingarspennu í dreifistöð en ekki er horft til þess hér. Netmáli Landsnets gerir ráð fyrir því að vikmörk afhendingarspennu séu  $+5\%/-9\%$  og verður haft til viðmiðunar fyrir betra grunnástand eða meiri jákvæð áhrif framkvæmda/valkosta.

Matið er framkvæmt með því að herma staðlað sett af truflunum á meginflutningskerfinu með og án styrkinga og greina fjölda tilfella þar sem afhendingarspenna fer út fyrir ofangreind mörk í hverju tilfelli fyrir sig.

### 3.3.1 Grunnástand og gildi þess

Við mat á framkvæmdinni og- eða valkostum hennar er lagt mat á grunnástand kerfisins þegar kemur til Gæða raforku samkvæmt fyrirfram gefnum matsþáttum, sjá Tafla 3.7.

GRUNNÁSTAND			
Matsþáttur	Lágt gildi	Miðlungs gildi	Hátt gildi
<b>Kerfisstyrkur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hvert er skammhlaupsaflið á áhrifasvæði framkvæmdarinnar</li> </ul>	Skammhlaupsaflið lágt í viðkomandi kerfi	Skammhlaupsaflið á rekstrarhæfu bili í viðkomandi kerfi	Skammhlaupsaflið hátt í viðkomandi kerfi
<b>Aflsveiflur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eru aflsveiflur vandamál á áhrifasvæði framkvæmdar</li> </ul>	Aflsveiflur koma fyrir reglulega í viðkomandi kerfi	Aflsveiflur ótíðar, en ekki óþekktar í viðkomandi kerfi	Aflsveiflur óþekktar í viðkomandi kerfi
<b>Spennusveiflu/ spennuþrep</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eru til staðar vandamál vegna spennusveiflna á áhrifasvæði framkvæmdar</li> </ul>	Líkur á snöggum spennusveiflum eða spennuþrepi yfir mörkum	Spennusveiflur og spennuþrep nálægt mörkum	Spennusveiflur innan marka í öllum tilfellum og spennuþrep undir mörkum
<b>Afhendingarspenna/vik mörk</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hver eru mörk afhendingarspennu á áhrifasvæði framkvæmdar</li> </ul>	Afhendingarspenna er viðvarandi utan vikmarka	Afhendingarspenna fer reglulega út fyrir vikmörk	Afhendingarspenna er ávallt innan marka

Tafla 3.7 : Grunnástand gæða raforku, viðmið

Niðurstöður matsins eru settar inn í töflu á fimm skala kvarða. Við mat á gildum sem lenda á milli þeirra þriggja sem eru fyrirfram skilgreind er metið ástand sem gæti átt við báða þætti, eða liggur mitt á milli þeirra.

### 3.3.2 Einkenni áhrifa

Við mat á einkennum áhrifa framkvæmdar eða valkosta á gæði raforku er tekið mið af eftirfarandi viðmiðum í Tafla 3.8. Viðmiðin segja til um áhrif hins metna á grunnástand gæða raforku í hverju tilfalli fyrir sig.

EINKENNI ÁHRIFA			
Matsþáttur	Lítil áhrif	Miðlungs áhrif	Mikil áhrif
<b>Kerfisstyrkur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hækkar framkvæmdin/valkostur skammhlaupsafli í nærliggjandi tengipunktum flutningskerfisins?</li> </ul>	Framkvæmd/valkostur hefur ekki áhrif á kerfisstyrk ein og sér	Framkvæmdin/valkosturinn stuðlar að hækkun á skammhlaupsafli á nærsvæði framkvæmdarinnar	Framkvæmd/valkostur stuðlar beint að viðtækri hækkun á skammhlaupsafli
<b>Aflsveiflur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eru þekkt tilfalli aflsveiflna á áhrifasvæði framkvæmdar/valkosta og minnkar framkvæmd/valkostur líkur á þeim?</li> </ul>	Framkvæmd/valkostur hefur lítil eða engin áhrif á mögulegar aflsveiflur	Framkvæmd/valkostur takmarkar áhrif af aflsveiflum yfir athugunartíma	Framkvæmd/valkostur minnkar líkum á aflsveiflum í viðkomandi kerfi yfir athugunartíma
<b>Spennusveiflu/spennuþrep</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hefur framkvæmd/valkostur jákvæð áhrif á spennusveiflur eða spennuþrep í viðkomandi kerfi?</li> </ul>	Framkvæmd/valkostur hefur lítil eða engin áhrif á spennusveiflur og spennuþrep	Framkvæmd/valkostur stuðlar óbeint að því að spennusveiflur og spennuþrep verða innan marka	Framkvæmd/valkostur hefur þau áhrif að spennusveiflur og spennuþrep verða innan marka á áhrifasvæði framkvæmdar
<b>Afhendingarspenna/vikmörk</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hefur framkvæmd/valkostur jákvæð áhrif á afhendingarspennu í viðkomandi kerfi?</li> </ul>	Framkvæmd/valkostur hefur lítil eða engin áhrif á afhendingarspennu	Framkvæmd/valkostur stuðlar óbeint að því að afhendingarspenna verður innan marka	Framkvæmd hefur þau áhrif að afhendingarspenna verður innan marka á áhrifasvæði framkvæmdar

Tafla 3.8: Áhrif framkvæmdar/valkosta á gæði raforku

Niðurstöður matsins eru settar inn í töflu á fimm skala kvarða. Við mat á áhrifum framkvæmdar á kerfisstyrk er horft til umfangs áhrifa sem framkvæmdir hafa á skammhlaupsafli, þeim mun meira sem það hækkar á stærra svæði þeim mun hærra er gildi áhrifanna.

#### Aflsveiflur

Við mat á áhrifum framkvæmdar eða valkosta á spennusveiflur eða spennuþrep er horft til áhrifa nýs búnaðar á mögulegt spennuþrep, hvort búnaður valdi sjálfur spennuþrepi við rof og/eða innsetningu á honum eða að hann valdi áhrifum á spennuþrep annars búnaðar sem fyrir er í kerfinu.

Við mat á áhrifum á afhendingarspennu verður athugað hvort hún uppfylli skilyrði vikmarka reglugerðar og netmála Landsnets á vetrarálagi og sumarálagi eftir framkvæmdir í samanburði við grunnástandið.

### 3.4 Skilvirkni

Þættir er að snúa að skilvirkni flutningskerfisins eru þeir þættir sem annað hvort skapa auknar tekjur eða lækka kostnað við rekstur kerfisins. Þeim mun meira sem tekjur aukast eða kostnaður lækkar á hverja einingu fjárfestingar þá eykst skilvirkni við rekstur kerfisins. Skilvirkni við rekstur kerfisins undanfarin ár hefur einkum snúið að því að ná sem mestu út úr núverandi kerfi, að nýta gamlar eignir Landsnets til tekjusköpunar og til þess hafa einkum verið notaðar staðbundnar lausnir eins og snjallnet með það að markmiði að nýta núverandi kerfi eins vel og hugsast getur. Nú þegar slíkar lausnir hafa verið nýttar til fulls að mati Landsnets er álagið á flutningskerfið farið að vega að áreiðanleika kerfisins og skilvirknin fer minnkandi. Því er leitast við að finna leiðir til að styrkja kerfið á þann hátt sem stuðlar að skilvirkum rekstri og einnig að nýjar eignir skili sem mestri nýtingu fyrir sem lægstan fjárfestingar- og rekstrarkostnað.

#### Flutningstöp

Flutningstöp kallast það afl sem tapast í kerfinu við flutning raforkunnar vegna viðnáms í línuleiðurunum. Töpin er yfirleitt mjög lítil fyrir styttri vegalengdir og hafa ekki veruleg áhrif fyrr en línurnar eru orðnar langar og mikið afl er flutt um þær. Hlutfall heildar flutningstapa í flutningkerfinu hefur verið í kringum 2% síðastliðin ár. Viðskiptavinir Landsnets þurfa að borga þessi töp og til að ákvarða verðið á þessum töpum kaupir Landsnet raforku með ársfjórðungslegum útböðum. Raunin er sú að innkaupsverð á raforku til flutningstapa hefur farið hækkandi síðustu misseri og því er mikilvægt að stuðla að því að styrkingar á kerfinu lækki hlutfallsleg töp til þess að lágmarka kostnað til notenda kerfisins.

Horft er til mismun á töpum m.v. grunnástand þegar áhrif eru metin á flutningstöp. Til viðmiðunar er skalinn í töflunni að neðan notaður.

Áhrif	Hækkun tapa m.v. grunnástand
<b>Lágt gildi</b>	<10%
	10-16%
<b>Miðlungs gildi</b>	16-23%
	23-30%
<b>Hátt gildi</b>	>30%

Tafla 3.9: Skali til viðmiðunar við mat á áhrifum á flutningstöp

#### Flutningsgeta

Flutningslínur og aflspennar í kerfinu hafa ákveðna flutningsgetu en með þessum matsþætti er tilgangurinn að meta flutningsgetu til tiltekinna afhendingarstaða. Þessi flutningsgeta er ákvörðuð af gjarnan fleiri en einni flutningseiningu (línur/spennar). Möguleikar til atvinnuþróunar á áhrifasvæði framkvæmdar eru oft háðir aðgangi að orku og því hefur aukning á flutningsgetu afgerandi áhrif á atvinnuþróun.



Svokallaðar ljósamyndir sem sýna afhendingargetu til hvers afhendingarstaðar eru útbúnar fyrir alla valkosti og sviðsmyndir. Matið er framkvæmt með þeirri einföldu aðferð að telja ljósin af hverjum lit á korti fyrir viðkomandi valkost og meðaltal bætingar flutningsgetu er metið sem áhrif. Lægsta grunnástand er rautt ljós eða engin viðbótar flutningsgeta.

Áhrif	Ljóstákn fyrir flutningsgetu
Núll	
Lágt gildi	
Miðlungs gildi	
Hátt gildi	

Tafla 3.10: Mat fyrir grunnástand og áhrif matsþáttarins flutningsgetu

### Nýting virkjana

Sums staðar hefur komið upp staða í flutningskerfinu þar sem aflstöðvar innan flutningsniðs geta ekki keyrt á fullum afköstum vegna takmarkana í flutningskerfinu. Hafi framkvæmd í flutningskerfinu þau áhrif að losa um slíkar takmarkanir er ábatinn metinn sem sparnaður við uppsetningu afls af sama umfangi.

### 3.4.1 Grunnástand og gildi þess

Við mat á framkvæmdinni og- eða valkostum hennar er lagt mat á grunnástand kerfisins þegar kemur til skilvirkni samkvæmt fyrirfram gefnum matsþáttum, sjá Tafla 3.11. Grunnástand skilvirkni er ekki auðvelt að meta en hægt er að meta grunnástand með tilliti til stakra matsþátta.

Matsþáttur	Lágt gildi	Miðlungs gildi	Hátt gildi
<b>Flutningstöp</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hver eru hlutfalleg flutningstöð á áhrifasvæði framkvæmdar</li> </ul>	Hlutfallsleg töp í viðkomandi kerfi eru há.	Hlutfallsleg töp í viðkomandi kerfi eru í meðallagi.	Hlutfallsleg töp í viðkomandi kerfi eru lág
<b>Flutningsgeta</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hver er aflgeta afhendingarstaða á áhrifasvæði framkvæmdar</li> </ul>	Ekkert eða mjög lítið rými til aukningar á notkun til afhendingarstaða á áhrifasvæði framkvæmdarinnar/ valkostsins (rauðir og/eða fjólubláir).	Lítið rými til aukningar á áhrifasvæði framkvæmdarinnar/ valkostsins (appelsínugulir og/eða gulir).	Talsvert rými til aukningar á áhrifasvæði framkvæmdarinnar/ valkostsins (grænir og/eða bláir).

<p><b>Nýting virkjana</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eru takmarkanir á nýtingu virkjana á áhrifasvæði framkvæmdar vegna takmarkana í flutningskerfinu</li> </ul>	<p>Virkjanir á svæðinu geta ekki allar keyrt á hámarksafli á sama tíma.</p>	<p>Virkjanir á svæðinu geta allar keyrt á hámarksafli á sama tíma en pláss fyrir aflaukningu er minna en 30 MW.</p>	<p>Virkjanir á svæðinu geta allar keyrt á hámarksafli á sama tíma og pláss fyrir aflaukningu er meira en 30 MW.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tafla 3.11 : Grunnástand skilvirkni, viðmið

### Flutningstöp

Við mat á grunnástandi verða metin hlutfallsleg töp í flutningseiningum á áhrifasvæði framkvæmdar / valkosta við eðlilegar rekstraraðstæður. Fari þessu hlutfallslegu töp langt yfir meðaltal flutningstapa kerfisins telst grunnástandið hafa lágt gildi. Einingar sem hafa lægra eða sama hlutfall og kerfið í heild við eðlilegar aðstæður hafa hátt gildi.

### Flutningsgeta

Landsnet metur flutningsgetu til afhendingarstaða við vinnslu kerfisáætlunar með svokölluðum ljósamyndum. Grunnástand flutningsgetu er metið út frá þessum myndum og er litið til afhendingarstaða á áhrifasvæði framkvæmdar / valkosta.

### Bætt nýting virkjana

Vegna takmarkana í flutningskerfinu er ómögulegt að keyra allar aflstöðvar samtímis á hámarksafköstum innan sumra sniða. Þessar svæðisbundnu takmarkanir hafa áhrif á rekstur kerfisins í heild. Þær halda aftur af hagkvæmri nýtingu auðlinda og draga einnig úr aflöryggi kerfisins.

## 3.4.2 Einkenni áhrifa

Við mat á einkennum áhrifa framkvæmdar á skilvirkni er tekið mið af eftirfarandi viðmiðum í Tafla 3.12.

Matsþáttur	Lítill áhrif	Miðlungs áhrif	Mikil áhrif
<b>Flutningstöp</b>	Framkvæmd/valkostur hefur lítill eða engin áhrif á flutningstöp	Framkvæmd/valkostur hefur takmörkuð áhrif á flutningstöp	Framkvæmd/valkostur hefur mikil áhrif á flutningstöp til lækkunar á viðkomandi línuleið
<b>Flutningsgeta</b>	Samanlögð áhrif aukinnar flutningsgetu til afhendingarstaða eru undir 10 MW	Samanlögð áhrif aukinnar flutningsgetu til afhendingarstaða eru á bilinu 10-50 MW	Samanlögð áhrif aukinnar flutningsgetu til afhendingarstaða eru yfir 50 MW.
<b>Nýting virkjana</b>	Framkvæmd/valkostur hefur engin áhrif á aflflutninga frá virkjunum	Framkvæmd/valkostur eykur flutningsgetu frá virkjunum um 10-30 MW	Framkvæmd/valkostur eykur flutningsgetu frá virkjunum um meira en 30 MW

Tafla 3.12 : Áhrif framkvæmdar/valkosta á skilvirkni

### Flutningstöp

Við mat á áhrifum á flutningstöp er horft til hlutfallslegra flutningstapa eftir sömu flutningsleið við eðlilegar rekstraraðstæður.

### Flutningsgeta

Við mat á áhrifum á flutningsgetu er horft til mögulegrar álagsaukningar á afhendingarstöðum eftir styrkingar í samanburði við ástand fyrir styrkingar. Áhrifin eru samanlögð álagsaukning viðkomandi

afhendingarstaða og eru þessi áhrif mjög vel mælanleg enda endurspeglast áhrifin í ákveðinni MW-tölu. Þó ber að hafa í huga að við aukna notkun á einum afhendingarstaðanna er líklegt að möguleg notkunaraukning minnki á hinum afhendingarstöðunum sem eiga í hlut.

### **Nýting virkjana**

Við mat á áhrifum um nýtingu virkjana er horft til mögulegra viðbótar aflflutninga frá viðkomandi virkjunum sem rekja má til viðkomandi framkvæmdar. Áhrif af bættri nýtingu eru vel mælanleg og birtast í ákveðinni MW-tölu.

### 3.5 Hagkvæmni

Hagkvæmni framkvæmda í flutningskerfinu er margþætt og í samræmi við það eru matsspurningar margþættar. Með þeim er reynt að fanga þau atriði sem lýsa grunnástandi, hvort ástand er hagkvæmt eða óhagkvæmt, og einnig því hver áhrif framkvæmdar eru á grunnástandið.

Áhrif framkvæmda á hagkvæmni flutningskerfisins eru eðli máls samkvæmt mismunandi að bæði eðli og umfangi. Sumar framkvæmdir geta haft veruleg og bein áhrif á aukinn raforkuflutning en aðrar framkvæmdir eru nauðsynlegar til að tryggja stöðugleika flutningskerfisins og getu þess til sinna raforkuflutningum til lengri tíma.

#### Áhrif framkvæmdar á væntan kostnað vegna truflana og skerðinga

Áhrif framkvæmdar á væntan kostnað vegna truflana og skerðinga er ekki alltaf hægt að meta eðli máls samkvæmt en þegar slíkt er mögulegt er stuðst við mat á tíðni og umfangi truflana og skerðinga og kostnaður metin með aðferð START-hópsins.

#### Losun gróðurhúsalofttegunda (GHG)

Á sumum afhendingarstöðum í flutningskerfinu er ófullnægjandi afhendingargeta sem veldur tímabundnum skerðingum á raforkuafhendingu. Á öðrum stöðum eru truflanir algengar vegna ófullnægjandi afhendingaröryggis. Þessum skerðingum og truflunum er þá yfirleitt mætt með orkuframleiðslu sem fer fram með brennslu á jarðefnaeldsneyti. Tvö dæmi um slíkt eru varaafstöðvar sem fara í gang við truflanir og svo fiskimjòlsbræðslur sem krefjast mikils afls og geta því ekki alltaf reitt sig á flutningskerfið. Í báðum tilfellum er algengast að orkan sé fengin með brennslu á olíu, ýmist dísel eða svartolíu með tilheyrandi losun gróðurhúsalofttegunda. Þriðja atriðið í þessum flokki eru svo hafnir en rafvæðing hafna er ekki alltaf möguleg án framkvæmda í flutningskerfinu. Við mat á efnahagslegum ávinningi við sparnað á losun gróðurhúsalofttegunda er stuðst við verð á losunarheimildum í ETS (viðskiptakerfi Evrópusambandsins með losunarheimildir).

#### Aukning raforkuflutnings

Framkvæmdir í flutningskerfinu eiga sér mismunandi réttlætingu og ekki allar þeirra leiða beint til aukins raforkuflutnings. Þegar framkvæmdir í flutningskerfinu stuðla beint að auknum raforkuflutningum, svo sem í tilfelli tenginga nýrra stórnotenda eða virkjana, eru þau áhrif metin.

#### Endurgreiðslutími í árum

Við mat á hagkvæmni valkosta um uppbyggingu meginflutningskerfisins er notast við mat á þjóðhagslegri hagkvæmni við uppbyggingu flutningskerfisins.

### 3.5.1 Grunnástand og gildi þess

Við mat á framkvæmdinni og- eða valkostum hennar er lagt mat á grunnástand kerfisins þegar kemur til hagkvæmni samkvæmt fyrirfram gefnum matsþáttum, sjá Tafla 3.13.

Grunnástand			
Matsþáttur	Lágt gildi	Miðlungs gildi	Hátt gildi
<b>Truflanir og skerðingar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eru truflanir að valda skerðingum á áhrifsvæði framkvæmda</li> </ul>	Truflanir og skerðingar á afhendingu eru yfir markmiðum Landsnets	Truflanir og skerðingar á afhendingu eru undir markmiðum Landsnets	Truflanir og skerðingar á afhendingu eru langt undir markmiðum Landsnets
<b>Losun gróðurhúsalofttegunda</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eru keyrslur varaafstöðva algengar á áhrifsvæði framkvæmdar</li> <li>Styður framkvæmd/valkostur við orkuskipti í samgöngum eða öðrum greinum</li> </ul>	Losun gróðurhúsalofttegunda vegna bruna jarðefnaeldsneytis í varaafstöðvum er mikil  Flutningskerfi hamlar ekki orkuskiptum yfir athugunartíma	Losun gróðurhúsalofttegunda vegna bruna jarðefnaeldsneytis í varaafstöðvum er í meðallagi  Flutningskerfi hamlar að einhverju leyti orkuskiptum yfir athugunartíma	Losun gróðurhúsalofttegunda vegna bruna jarðefnaeldsneytis í varaafstöðvum er lítil  Flutningskerfi hamlar orkuskiptum á áhrifsvæði framkvæmdar yfir athugunartíma
<b>Aukning flutningsmagns</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Er skortur á flutningsgetu á áhrifsvæði framkvæmdar</li> </ul>	Áhrifsvæði framkvæmdar líður fyrir skort á flutningsgetu	Möguleikar til aukningar raforkuflutninga á áhrifsvæði framkvæmdar eru takmarkaðir	Flutningsgeta er fullnægjandi á áhrifsvæði framkvæmdar í fyrirsjáanlegri framtíð
<b>Endurgreiðslutími</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hvað er viðkomandi valkostur lengi að borga sig upp</li> </ul>	Núllkostur		

Tafla 3.13 : Grunnástand hagkvæmni, viðmið.

#### Truflanir og skerðingar

Við mat á grunnástandi á truflunum og skerðingum er litið til markmiða landsnets. Sum landsvæði búa við tíðari truflanir og skerðingar en markmið Landsnets kveða á um. Þess konar ástand er metið sem lágt gildi. Þegar truflanir og skerðingar eru jafn tíðar og markmið Landsnets kveða ástandið metið sem miðlungsgildi. Hátt gildi er svo þegar truflanir og skerðingar eru umtalsvert undir markmiðum Landsnets.

#### Losun GHG

Losun GHG á sér stundum stað við orkunotkun eða orkuvinnslu sem væri hægt að mæta með raforku ef flutningskerfið væri ekki takmarkandi. Þegar slík notkun er yfir talsverð eða mikil er grunnástandið sagt vera lágt gildi. Þegar slíkar aðstæður eru tilfallandi er sagt að grunnástand hafi miðlungs gildi en hátt gildi er losun gróðurhúsalofttegunda er lítil sem engin.

#### Aukning flutningsmagns

Við ástand þar sem flutningur raforku til ákveðins svæðis er takmarkaður og eftirspurn fer yfir flutningsgetu kerfisins er gefið lágt gildi. Þar sem afhendingargeta flutningskerfisins er nálægt því að vera

fullnýtt er talað um miðlungsgildi en þar sem flutningsgeta verður ekki takmarkandi í fyrirsjáanlegri framtíð er gefið hátt gildi.

### 3.5.2 Einkenni áhrifa

Við mat á einkennum áhrifa framkvæmdar á hagkvæmni er tekið mið af eftirfarandi viðmiðum í Tafla 3.14.

EINKENNI ÁHRIFA			
Matsþáttur	Lítill áhrif	Miðlungs áhrif	Mikil áhrif
<b>Truflanir</b>	Truflanir og skerðingar verða svipaðar og áður	Truflanir og skerðingar munu minnka talsvert.	Truflanir verða sjaldgæfar og skerðingar hætta.
<b>Losun gróðurhúsalofttegunda</b>	Framkvæmd/valkostur hefur lítil eða engin áhrif á losun gróðurhúsalofttegunda	Framkvæmd/valkostur hefur nokkur áhrif á losun gróðurhúsalofttegunda	Framkvæmd/valkostur hefur mikil áhrif á losun gróðurhúsalofttegunda
<b>Aukning á flutningsmagni</b>	Framkvæmd/valkostur hefur lítil sem engin áhrif á raforkuflutning	Framkvæmd/valkostur hefur óbein áhrif á aukningu raforkuflutnings eða er forsenda vaxtar yfir lengra tímabil	Framkvæmd/valkostur hefur fljótlega bein áhrif á aukningu raforkuflutnings
<b>Endurgreiðslutími</b>	Valkostur tekur meira 49 ár eða meira að borga sig upp.	Valkostur tekur 25-36 ár að borga sig upp.	Valkostur tekur 1-12 ár að borga sig upp.

Tafla 3.14 : Áhrif framkvæmdar/valkosts á hagkvæmni

#### Truflanir og skerðingar

Ef framkvæmdin eða valkostur hefur lítil sem engin áhrif á truflanir og skerðingar eru áhrif talin lítil. Ef framkvæmdin eða valkosturinn hafa þau áhrif að líkur á truflunum munu verða mjög litlar og væntar skerðingar úr sögunni þá eru áhrifin talin mikil. Miðlungsáhrif ná yfir minnkun á truflun og skerðingum.

#### Losun gróðurhúsalofttegunda

Við mat á áhrifum framkvæmdar eða valkosts á losun gróðurhúsalofttegunda eru líkleg áhrif metin eftir því sem mögulegt er. Áhrif eru metin vera lítil þegar framkvæmdin eða valkosturinn hefur ekki áhrif á losun. Ef hún hins vegar leiðir til verulegrar lækkunar á losun eru áhrifin talin vera mikil. Ef framkvæmdin hins vegar er talin hafa nokkur áhrif, eða talin stuðla óbeint að minni losun eru áhrifin metin miðlungs.

#### Aukning flutningsmagns

Við mat á áhrifum á flutningsmagn er horft til mögulegrar afhendingar á áhrifasvæðinu eftir styrkingar í samanburði við ástand fyrir styrkingar. Við matið er horft til svokallaðra ljósamynda sem byggðar eru á hermunum með kerfislíkani. Horft er til samanlagðrar aukningar á afhendingagetu afhendingarstaða á áhrifasvæði framkvæmdarinnar. Þó ber að hafa í huga að við aukinn flutningur til eins afhendingarstaðar er líklegur að draga úr mögulegri aukningu á öðrum afhendingarstöðum og er tekið tillit til þess við matið.

#### Endurgreiðslutími

Áhrif endurgreiðslutíma á hagkvæmni valkostar er metinn í 12 ára þrepum skv. eftirfarandi töflu.

Áhrif	Endurgreiðslutími
<b>Lágt gildi</b>	≥ 49 ár
	37-48 ár
<b>Miðlungs gildi</b>	25-36 ár
	13-24 ár
<b>Hátt gildi</b>	1-12 ár

Tafla 3.15: Skali til viðmiðunar við mat á áhrifum endurgreiðslutíma á hagkvæmni