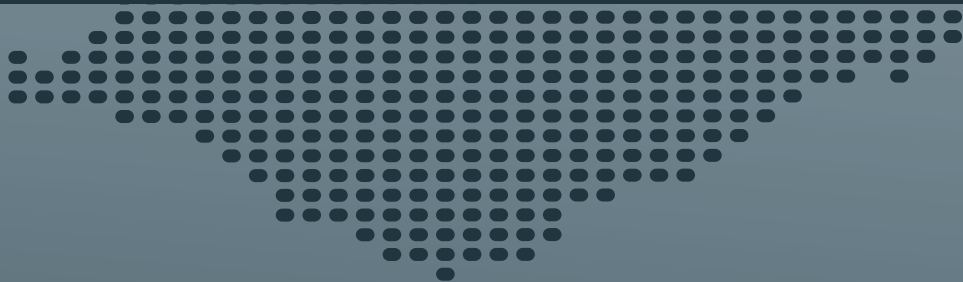




# KERFISÁÆTLUN

Fimm ára áætlun 2009 - 2013



LANDSNET

### 3. LOFTLÍNUR EÐA JARÐSTRENGIR

Raforkunotkun hefur farið ört vaxandi á síðustu áratugum, að miklu leyti vegna uppbyggingar stóriðju og aukinnar álvinnslu hérlendis. Þar af leiðandi hefur framleiðslueiningum fjölgað og raforkuflutningur aukist jafnt í flutningskerfi sem og dreifikerfum. Til að anna aukinni eftirspurn þarf að styrkja kerfið og má meðal annars gera það með því að endurbyggja eldri línur eða byggja nýjar flutningslínur á milli tiltekinna spennistöðva í kerfinu. Umræða á Íslandi um þann möguleika að leggja rafmagnslínur í jörðu hefur aukist mikið að undanfögnu samhliða vaxandi umhverfisumræðu og -vitund Íslendinga.

#### 3.1. Almennt um notkun jarðstrengja

Flutningskerfi Landsnets samanstendur að lang stærstu leyti af loftlínur. Í þeim tilvikum sem jarðstrengir hafa verið lagðir, hefur það verið vegna sérstakra aðstæðna eða á afmörkuðum og stuttum köflum. Innan þéttbýlissvæða er áhersla lögð á að allar lagnir séu lagðar í jörðu. Rekstrarþenna slíkra jarðstrengskerfa hefur farið hækkandi undanfarna áratugi í samræmi við meiri flutningsþörf og tæknilegar framfarir í framleiðslu jarðstrengja sem gert hafa jarðstrengslagnir á hærri spennu hagkvæmari en áður var. Í Reykjavík eru til dæmis meginlínur aðveitustöðva Orkuveitu Reykjavíkur 132 kV jarðstrengir. Helsta ástæða þess að jarðstrengir eru ekki eins útbreiddir og loftlínur er mikill munur á stofnkostnaði en einnig hafa tæknilegar takmarkanir jarðstrengja sem og vandkvæði við rekstur þeirra á háum spennum áhrif á útbreiðslu þeirra.

Ef litið er til annarra landa má sjá að líkt og hérlendis verða jarðstrengir fyrir valinu þegar um raforkuflutning í miklu þéttbýli er að ræða. Einnig verða þeir fyrir valinu nálægt aðflugi flugbrauta og þegar þvera þarf ár og vötn þar sem loftlínur verður ekki komið við. Í sumum tilvikum er um tæknilegar ástæður að ræða til dæmis nálægt við tengivirki eða þverun við aðra stóra línu. Sæstrengir eru auk þess víða notaðir til að þvera firði, flóa og sund þar sem loftlínur verður ekki við komið. Tafla 3-1 gefur yfirlit yfir hlutfall jarðstrengja í flutningskerfum erlendis til samanburðar við Ísland. Tölurnar byggja á úttekt sem CIGRÉ gerði árið 1996 á notkun jarðstrengja í dreifi- og flutningskerfum þeirra landa sem aðilar eru að CIGRÉ [3].

SPENNA [kV]		110 – 219	220 – 362	364 – 764	SAMTALS KM
Loftlínur, CIGRÉ	km	403.247	262.233	178.933	844.813
Jarðstrengir, CIGRÉ	km	13.044	2.494	459	15.997
Hlutdeild jarðstrengja	%	3,13	0,94	0,26	(1,86)
Ísland, loftlínur	km	1.206	612	0	1.818
Ísland, jarðstrengir	km	28	u.þ.b. 1	0	<30
Hlutdeild jarðstrengja	%	2,32	< 1	0	(1,78)

Tafla 3-1: Yfirlit yfir heildarlengd loftlína og jarðstrengja 1996, - skipt eftir spennu. Í CIGRÉ löndum og á Íslandi.

Frá því árið 1996 hefur ein ný 132 kV tenging verið byggð í flutningskerfi Landsnets. Samanlögð lengd tengingarinnar er 31 km en um helmingur hennar eða 15,5 km er jarðstrengur. Á hærri spennu hafa þrjár 220 kV loftlínur verið byggðar samtals 14 km og fimm 400 kV loftlínur samtals að lengd 328,4 km. Þess skal þó getið að allar 400 kV loftlínur eru í dag reknar á 220 kV spennu. Að teknu tilliti til þessara framkvæmda er hlutdeild jarðstrengja á Íslandi í dag orðin 3,5% á spennubílinu 110 – 219 kV. Hlutdeild jarðstrengja á hærri spennu er í dag óbreytt frá því sem var árið 1996 eða nálægt núlli.

Sterkt samhengi er milli notkunar jarðstrengja og þéttleika álags og þar af leiðandi er meiri útbreiðsla jarðstrengja líklegri í þéttbýlum löndum með mikla orkunotkun. Dæmi um slík lönd eru Bretland, Holland, Japan og Danmörk.

Samkvæmt fyrrnefndri könnun CIGRÉ koma fram áætlanir um að innan nokkurra ára verði yfir 10% allra nýrra 110-150 kV raforkuflutningslína jarðstrengir en áfram er áætlað að hlutfall jarðstrengja á hærri spennu verði mun lægra eða um eða undir 2%. Það má því almennt segja að þegar litið er til flutningskerfa raforku sé þróun hérlendis sambærileg því sem gerist víða erlendis.

### 3.2. Tæknilegur samanburður

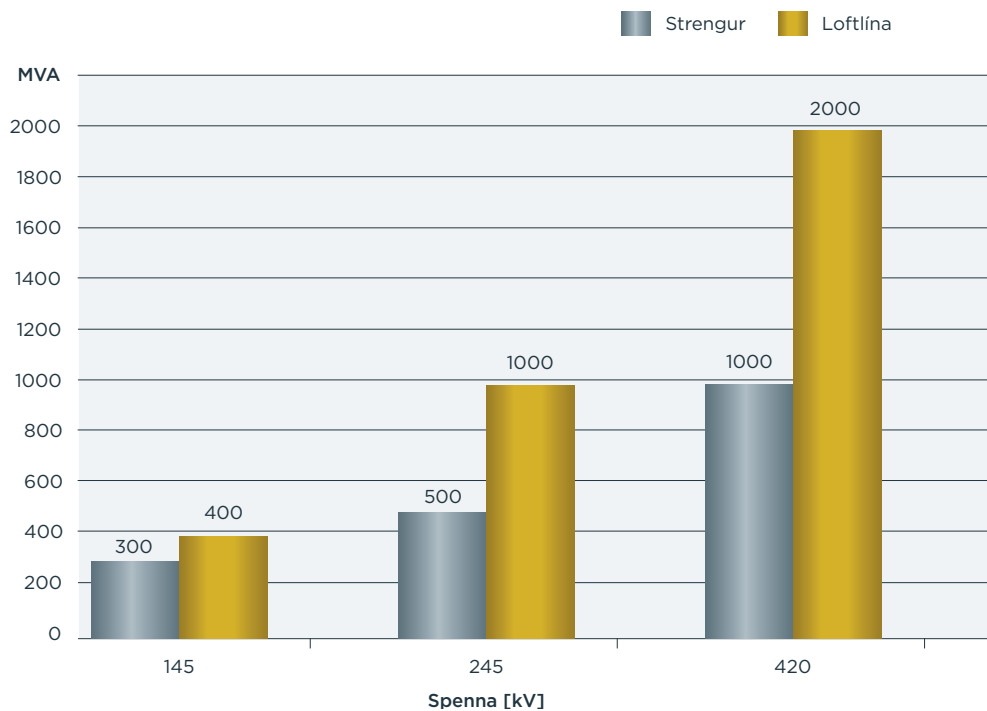
Raftæknilegir eiginleikar loftlína og jarðstrengja eru ólíkir og gæta þarf að því við hönnun og uppbyggingu flutningskerfisins. Áhrif jarðstrengslagnar á flutningskerfið þarf að kanna sérstaklega í hvert sinn sem jarðstrengskostur er skoðaður. Þetta leiðir til flóknari og umfangsmeiri undirbúnings framkvæmda. Eftir því sem spenna hækkar eykst munur á eiginleikum loftlína og jarðstrengja.

Rýmdaráhrif jarðstrengja valda margskonar erfiðleikum bæði við hönnun flutningskerfisins sem og við byggingu og rekstur jarðstrengja [4]. Rýmd jarðstrengsins leggst samhliða samviðnámi flutningskerfisins og hefur sambærileg áhrif og hliðtengdur þéttir. Jarðstrengur hefur því áhrif á tíðniháð samviðnám flutningskerfisins og leiðir til lækkunar eigintíðni þess. Þar með eykst hættan á eigintíðnivandamálum í flutningskerfinu en sú hættan er ekki til staðar þegar um loftlínu ræðir. Lækkun eigintíðni eykur líkur á sveiflum og yfirspennu í kerfinu og svörun kerfisins við snöggum breytingum, til dæmis vegna útleysinga, verður síðri. Einnig eykst skammhlaupsafl og yfirtónar magnast. Jarðstrengslögn getur því haft neikvæð áhrif á rafmagnsgæði á afhendingarstöðum og ganga þarf úr skugga um að annar búnaður sé hannaður til að þola þá áraun sem kann að verða vegna hliðrunar eigintíðni.

Þegar rýmdaráhrif jarðstrengsins verða of mikil hamlar það flutningi raunafis um hann. Til að koma í veg fyrir það eru settar upp fasviksleiðréttingarstöðvar eftir þörfum [5]. Á þetta einkum við um langa jarðstrengi en einnig eykst þörfin eftir því sem spenna er hærri. Fasviksleiðréttingarstöðvar þarf að setja upp með um 40-70 km millibili í 132 kV jarðstrengslögn og með allt niður í 15-20 km millibili fyrir 200 til 420 kV jarðstreng.

Flutningsgeta loftlínu og jarðstrengs með sama leiðarþversnið er ekki hin sama [6]. Líkt og með annan samanburð þá eykst þessi munur með hækkandi spennu og á spennu um og yfir 220 kV flytur loftlína með ákveðið þversnið nær tvöfalt meira afl en jarðstrengur með sama þversnið. Afleiðingin er að leggja þarf töluvert sverari leiðara eða tvo sambærilega í jörðu fyrir hvern einn sem er í loftlínu við hæstu spennu.

Á Mynd 3-1 má sjá samanburð á flutningsgetu loftlínu og jarðstrengs eftir spennu miðað við sama þversnið leiðara.



Mynd 3-1: Flutningsgeta jarðstrengja og loftlína eftir spennu, miðað við 1.600 mm<sup>2</sup> þversnið.

Ef borinn er saman áreiðanleiki jarðstrengja og loftlína kemur í ljós að þrátt fyrir að jarðstrengir séu vel varðir fyrir erfiðum veðurskilyrðum sem geta aukið bilanatíðni loftlína í ákveðnum tilvikum þá er áreiðanleiki þeirra lægri en loftlína. Jarðstrengir eru mun viðkvæmari fyrir flóðum, jarðskjálftum og öðrum jarðhræringum, en loftlínur standast hins vegar þessi náttúruöfl tiltölulega vel vegna sveigjanleika þeirra. Bilanatíðni jarðstrengja er jöfn eða lægri en bilanatíðni loftlína en viðgerðartími jarðstrengja er oft margfaldur á við viðgerðartíma loftlína og eykst viðgerðartíminn með hækkandi spennu. Af þessum sökum getur lögn jarðstrengja á ákveðnum svæðum hérlendis verið erfiðleikum bundin eða jafnvel útilokaður valkostur til raforkuflutnings.

### 3.3. Kostnaðarsamanburður

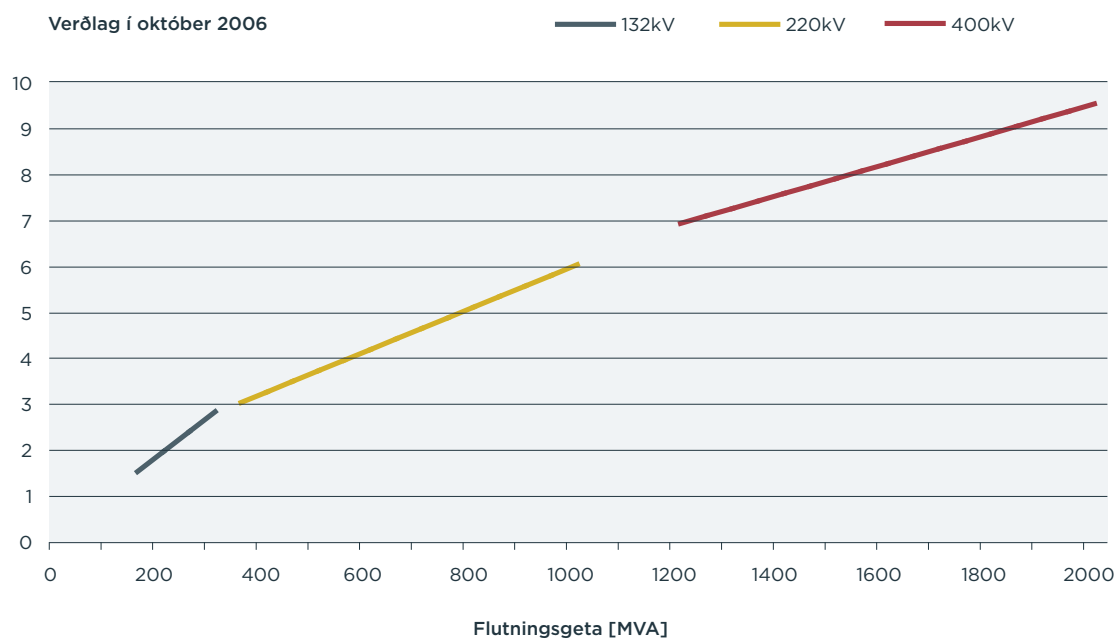
Jarðstrengir eru enn sem komið er í öllum tilvikum dýrari en loftlínur með sambærilega flutningsgetu, en verðmunurinn er minni eftir því sem spennan er lægri. Auk þess kom í ljós í samanburði sem Verkfræðistofan Afl framkvæmdi á loftlínunum og jarðstrengjum árið 2006 [7] að flutningsgeta tengingarinnar hefur talsverð áhrif á hlutfall kostnaðar. Mynd 3-2 sýnir samanburð á kostnaði lína og jarðstrengja og þar sést hvernig hann getur verið upp undir tífaldur fyrir 400 kV tengingu. Auk þess sýnir samanburður að munur hagkvæmara er að auka flutningsgetu loftlína heldur en jarðstrengja. Tvöföldun flutningsgetu 220 kV loftlínu veldur eingöngu um 10% kostnaðaraukningu en tvöföldun flutningsgetu jarðstrengs tvöfaldar verð hans að sama skapi. Hér skal tekið fram að í samanburði er ekki tekið tillit til kostnaðar vegna mögulegra farsviksleiðréttingastöðva þar sem þörf þeirra er háð lengd jarðstrengsins.

Á vegum Evrópusambandsins var árið 2003 gerð viðamikil úttekt á kostnaði við lagningu loftlína og jarðstrengja [8], [9]. Tafla 3-2 sýnir niðurstöðurnar eftir löndum sem hlutfall á milli stofnkostnaðar á 1 km af jarðstreng annars vegar og loftlínu hins vegar og ber þeim nokkuð vel saman við þær niðurstöður sem fengust við samanburð hérlendis, þó með þeirri undantekningu að National Grid í Bretlandi metur hlutfall 400 kV jarðstrengskostnaðar og loftlínu upp á 15-25 sem er nokkuð hærra en mat annarra landa í samanburðinum en þeir hafa reynslu af lagningu 400 kV jarðstrengja í miðborg London.

	400 kV HLUTFALL JARÐ- STRENGSKOSTNAÐAR OG LOFTLÍNA	150 TIL 220 kV HLUTFALL JARÐSTRENGSKOSTNAÐAR OG LOFTLÍNA	HEIMILD
Austurríki	8	-	Verbund APG Styria
Belgía	Ekki gefið	Ekki gefið	Elia neitaði að gefa kostnaðarhlutfall
Danmörk	7,2	4,0	Eltra/Elkraft
Finnland	3,5		Fingrid
Frakkland, Dreifbýli	10	2,2-3	RTE-Piketty Report
Írland	-	7,7	ESB National Grid
Ítalía	5,9	5,5	Electricity Authority
Noregur	6,5	4,5	Statnett
Bretland	15-25	Ekki gefið	National Grid
ETSO	Umframkostnaður við jarðstrengi: 5mEUR/km		ETSO: Samtök Evrópskra netfyrirtækja.

Tafla 3-2: Niðurstöður úttektar Evrópusambandsins frá árinu 2003 á mati rafveita á hlutfallslegum kostnaði jarðstrengja í samanburði við loftlínur.

Aðrir þættir sem hafa áhrif á hagkvæmni fjárfestingar er líftími búnaðar. Líftími jarðstrengja er metinn talsvert styttri en líftími loftlína, eða um 30 ár á móti 60-100 ára líftíma loftlína.



Mynd 3-2: Verðhlutfall jarðstrengslagna og loftlína, samanburður á stofnkostnaði.

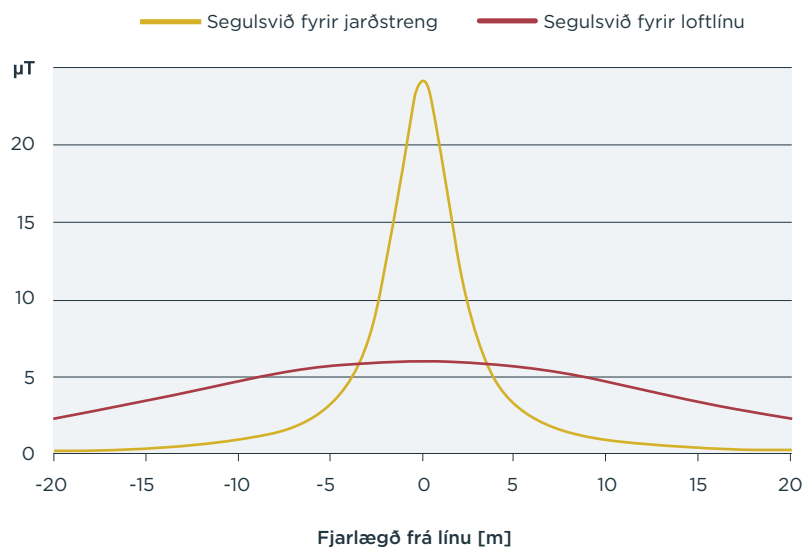
### 3.4. Umhverfisáhrif

Umvhverfisáhrif mannvirkja og takmarkanir þar að lútandi ráðast af stöðlum, opinberum viðmiðunarreglum og álitum almennings. Sjónræn áhrif loftlína eru meiri en jarðstrengja en þau eru þó að einhverju leyti háð því landslagi sem loftlínan liggur um. Ávallt er reynt að láta loftlínur falla að landslaginu og framfarir hafa orðið í hönnun masta þar sem stög eru notuð í stað undirstaða en það léttir möstrin og dregur úr sýnileika þeirra.

Við lagningu jarðstrengja ber að hafa í huga að með hækkandi spennu og með lengri strengjum þarf fasviksleiðréttingarstöðvar með reglulegu millibili og tengibúnað til að tengja inn á jarðstrenginn. Einnig ber að gæta að því að við lagningu jarðstrengja fylgir slóði eða veglögn meðfram allri jarðstrengslögninni og jarðstrengslögninni sjálfri fylgir einnig töluvert meira jarðrask en við byggingu loftlína. Þar nægir slóði að hverju mastri og jarðrask er einungis umhverfis undirstöður masta. Fasviksleiðréttingarstöðvar krefjast talsverðs landrýmis eða 1.000 -2.000 m<sup>2</sup> fyrir hverja stöð í 220 kV jarðstreng.

Segulsvið í kringum jarðstreng annars vegar og loftlínu hins vegar er sýnt á Mynd 3-3. Þar má sjá að segulsviðið er talsvert hærra beint yfir jarðstrengnum en til hliðar við hann fellur rafsegulsvið hraðar í samanburði við loftlínu.

Mun auðveldara er að skila landi í sambærilegu ástandi eftir notkun loftlína en jarðstrengja. Reynsla er af slíku á Íslandi, samanber rif Elliðaár línu 1 á 132 kV. Ef grafa þarf upp jarðstreng vegna úreldingar þá er sú aðgerð talsvert kostnaðarsöm og veldur svipuðu jarðraski og lagning hans.



Mynd 3-3: Samanburður á segulsviði loftlínu og jarðstrengs.

### 3.5. Samantekt á kostum og göllum loftlína og jarðstrengja

Enn er stærstur hluti orkuflutningslína loftlínur og er það bæði af tæknilegum sem og hagkvæmniástæðum. Þróun síðustu ára er þó sú að jarðstrengja gætir í meira mæli bæði hér á landi sem og erlendis og þá einkum á lægri spennum og á svæðum þar sem erfitt er að koma loftlínunum fyrir, einkum í þéttbýli. Þegar betur er að gáð eru kostir jarðstrengja ekki eins augljósir og ætla mátti í fyrstu en helstu kostir þeirra eru eftirfarandi.

- Sýnileiki lítill.
- Minna segulsvið að undanskildu svæði beint yfir miðju jarðstrengs.
- Óháðir veðurbáttum, ísingu, saltmengun eða vindi.
- Truflanir vegna áflugs fugla útilokað.

Út frá þeim samanburði sem farið hefur fram á loftlínur og jarðstrengjum má taka saman nokkur mikilvæg atriði sem taka þarf tillit til áður en ákvörðun er tekin um að leggja jarðstreng í stað loftlínu:

- Kostnaðarmunur jarðstrengja og loftlína er umtalsverður en flutningsgeta og spennustig hefur þar mikið að segja um endanlegt hagkvæmnimat. Taka þarf tillit til áætlaðs líftíma og áreiðanleika jarðstrengsins í heildarmati.
- Rýmdareiginleikar jarðstrengsins hafa áhrif á tíðniháð samviðnám flutningskerfisins og geta valdið aflsveiflum, eigintíðnisveiflum, minni dempun og hærri skammhlaupsstraumum.
- Taka þarf tillit til minni áreiðanleika og lengri viðgerðartíma jarðstrengja við rekstur kerfisins og meta þarf áhrif þess á afhendingaröryggi flutningskerfisins.
- Vegna takmarkaðra möguleika til yfirlestunar jarðstrengja eru þeir líklegri til þess að valda flöskuhálsnum í kerfinu. Sveigjanleiki til aukinnar flutningsgetu er lítill sem enginn.
- Í umhverfismati þarf að taka tillit til mögulegs búnaðar vegna fasviksleiðréttingar þegar um lengri jarðstrengi er að ræða.
- Meta þarf staðsetningar jarðstrenglagna með tilliti til jarðhreyfinga og jarðskjálfta.