

# Loftlínur og jarðstrengir

## Kostnaðarsamanburður

### 220 kV – fimm tilfelli

Janúar 2014



## SKÝRSLA - UPPLÝSINGABLAÐ

Titill skýrslu <b>Loftlínur og jarðstrengir kostnaðarsamanburður 220 kV – fimm tilfelli</b>		Tegund skýrslu	
Verkheiti Ýmis smáverk		Verkkaupi Landsnet	
Verkefnisstjóri - EFLA Jón Vilhjálmsson	Verkefnisstjóri / fulltrúi verkkaupa Nils Gústavsson		
Höfundur Jón Vilhjálmsson, EFLA Jakob Aðils, EFLA Eggert Þorgrímsson, EFLA Egill Þorsteins, EFLA	Skýrslunúmer	Verknúmer 2509-029	Fjöldi síðna 45
Útdráttur Megintilgangur greinargerðarinnar er að bera saman líftímakostnað 220 kV jarðstrengs og loftlínu við fimm mismunandi aðstæður. Til grundvallar er lögð skýrsla Mannvits frá því í lok nóvember 2013. Í skýrslunni voru sett fram fimm ólík tilfelli fyrir aðstæður við lagningu 220 kV jarðstrengs. EFLA áætlaði +-kostnað við 220 kV loftlínu við sömu aðstæður. Síðan er áætlaður árlegur kostnaður við rekstur mannvirkisins og er þá m.a. metinn kostnaður vegna þeirrar orku sem tapast í flutningsvirkinu sem er háður flutningsmagni og eiginleikum flutningsvirkisins. Þegar stofn- og rekstrarkostnaður liggur fyrir, er reiknaður út líftímakostnaður			
Lykilorð			
Staða skýrslu <input type="checkbox"/> Í vinnslu <input type="checkbox"/> Drög til yfirlstrar <input checked="" type="checkbox"/> Lokið		Dreifing skýrslu og upplýsingablaðs <input type="checkbox"/> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Dreifing með leyfi verkkaupa <input type="checkbox"/> Trúnaðarmál	



### Útgáfusaga

Nr.	Höfundur		Rýnt		Samþykkt	
	Nafn	Dags.	Nafn	Dags.	Nafn	Dags.
<b>1.0</b>	JV, JA, EPG, EP	11.12.13	Eggert Þorgrímsson	16.12.13	Jón Vilhjálmsson	27.01.13

## SAMANTEKT

Í skýrslunni er reiknaður líftímakostnaður loftlína og jarðstrengja við fimm mismunandi aðstæður. Stofnkostnaður við jarðstrengi er fenginn úr skýrslu Mannvits en stofnkostnaður loftlína er metinn með kostnaðarlíkani fyrir loftlínur sem EFLA hefur útbúið fyrir Landsnet. Vörugjöld sem leggjast á jarðstrengi eru dregin frá tölum Mannvits þar sem samanburður milli loftlína og jarðstrengja á að vera á þjóðhagslegum grunni.

Í skýrslunni er fjallað um forsendur sem nota þarf við líftímaútreikninga og teknar saman þær forsendur sem notaðar eru við þessa útreikninga. Niðurstöður útreikninga eru sýndar fyrir öll fyrrnefnd tilvik. Samkvæmt þessum útreikningum er líftímakostnaður nokkuð meiri fyrir jarðstrengi en loftlínur en ekki er hægt að gefa upp ákveðið hlutfall þar sem það er háð aðstæðum, spennu og fleiru. Stofnkostnaður vegur meira í kostnaði við jarðstrengi Töp og rekstrarkostnaður hafa aftur á móti meiri áhrif á líftímakostnað loftlína. Þegar dæmin fimm eru skoðuð sést einnig að aðstæður hafa meiri áhrif á stofnkostnað jarðstrengja en loftlína.

Skoðuð eru áhrif þess á niðurstöður að breyta einstökum forsendum reikninga. Skoðaðar eru sjö forsendur og skilgreind há- og lággildi fyrir þær. Einni þeirra er síðan breytt í einu og skoðað hvaða áhrif það hefur á niðurstöðurnar. Í ljós kemur óvissa í stofnkostnaði hefur mest áhrif á líftímakostnað jarðstrengja en fyrir loftlínur eru einnig veruleg áhrif frá rekstrarkostnaði og tapakostnaði. Þegar horft er á kostnaðarmun á milli jarðstrengja og loftlína sést að þessir hafa eðlilega einnig mest áhrif þar.

Niðurstöður þessara útreikninga sýna að samanburðar á milli loftlína og jarðstrengja er háður aðstæðum og erfitt er því að vera með algildan samanburð. Skoða þarf því hvert tilvik fyrir sig og horfa vel á aðstæður hvort sem er til lagningar strengja eða loftlína. Mikilvægt er einnig að undirbyggja sem best útreikninga sem þessa til að þeir séu sem áreiðanlegastir. Ekki hefur hér verið tekinn með áætlaður kostnaður vegna áhrifa mannvirkja á umhverfið nema sem áætlaðar bætur fyrir land. Erfitt er að meta slíkan kostnað og hann er einnig breytilegur eftir aðstæðum á hverjum stað fyrir sig, hvort sem er fyrir loftlínur eða strengi. Ef taka á slíkan kostnað með þegar verið er að skoða líftímakostnað þarf að liggja fyrir gott mat á þeim þætti.



## EFNISYFIRLIT

<b>SAMANTEKT</b> .....	<b>3</b>
<b>EFNISYFIRLIT</b> .....	<b>5</b>
<b>TÖFLUSKRÁ</b> .....	<b>6</b>
<b>MYNDASKRÁ</b> .....	<b>7</b>
<b>1 INNGANGUR</b> .....	<b>9</b>
<b>2 KOSTNAÐARMAT MANNVITS</b> .....	<b>11</b>
2.1 Hagrænar forsendur.....	11
2.2 Tilfallin fimm og tæknilegar forsendur .....	12
<b>3 STOFNKOSTNAÐUR</b> .....	<b>13</b>
3.1 Mat á stofnkostnaði jarðstrengja.....	13
3.2 Mat á stofnkostnaði loftlína.....	16
<b>4 FORSENDUR ÚTREIKNINGA Á LÍFTÍMAKOSTNAÐI</b> .....	<b>23</b>
4.1 Reiknivextir .....	23
4.2 Hrakvirði.....	23
4.3 Líftími mannvirkja .....	23
4.4 Tapakostnaður .....	25
4.5 Rekstrar-, viðhalds- og bilanakostnaður .....	26
4.6 Förgunarkostnaður .....	27
<b>5 SAMANBURÐUR Á LÍFTÍMAKOSTNAÐI</b> .....	<b>29</b>
5.1 Forsendur .....	29
5.2 Líftímakostnaður .....	29
5.3 Forsendur næmnireikninga.....	32
5.4 Áhrif á jarðstrengi og loftlínur.....	32
5.5 Áhrif á samanburð á milli jarðstrengja og loftlína .....	36
<b>6 TÆKNILEGT MAT</b> .....	<b>41</b>
6.1 Sveigjanleiki.....	41
6.2 Áreiðanleiki og bilanatíðni .....	42
6.3 Strengir og varmaviðnám jarðvegs .....	43
6.4 Umhverfiskostnaður .....	43
<b>HEIMILDIR</b> .....	<b>45</b>

## TÖFLUSKRÁ

Tafla 1:	Kostnaður Mannvits/RK fyrir fimm tilfelli 220 kV jarðstrengs. Tölur í Mkr.....	12
Tafla 2:	Stofnkostnaður jarðstrengja pr. km. ....	13
Tafla 3:	Helstu forsendur í kostnaðarlíkani loftlína fyrir fimm ólík tilfelli og stofnkostnaður á km. .	17
Tafla 4:	Helstu magntölur loftlína.....	17
Tafla 5:	Stofnkostnaður loftlína.....	18
Tafla 6	Núvirði kostnaðar við 1 km af 220 kV jarðstrengi yfir 40 ára tímabil.....	30
Tafla 7	Núvirði kostnaðar við 1 km af 220 kV loftlínur yfir 40 ára tímabil. ....	30
Tafla 8	Samanburður á núvirði kostnaðar við 1 km af 220 kV loftlínur og jarðstrengjum yfir 40 ára tímabil.....	30
Tafla 9	Forsendur sem breytt er til að skoða áhrif breyttra forsendna á niðurstöður og gildi sem notuð eru í útreikningum. ....	32
Tafla 10	Frávik tilviks um Hagkvæmar aðstæður frá grunntilviki við breyttar forsendur. ....	32
Tafla 11	Frávik tilviks um Dal og á frá grunntilviki við breyttar forsendur. ....	33
Tafla 12	Frávik tilviks um legu í hrauni frá grunntilviki við breyttar forsendur. ....	33
Tafla 13	Frávik tilviks um legu í útjaðri íbúabyggðar frá grunntilviki við breyttar forsendur.....	33
Tafla 14	Munur við breyttar forsendur á milli jarðstrengs og loftlínu fyrir tilvik um Hagkvæmar aðstæður.....	36
Tafla 15	Munur við breyttar forsendur á milli jarðstrengs og loftlínu fyrir tilvik um Dal og á.....	36
Tafla 16	Munur við breyttar forsendur á milli jarðstrengs og loftlínu fyrir tilvik um lagningu í Hrauni. ....	36
Tafla 17	Munur við breyttar forsendur á milli jarðstrengs og loftlínu fyrir tilvik um lagningu í útjaðri íbúabyggðar.....	37

## MYNDASKRÁ

Mynd 1	Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x1400 leiðurum, grunntilvik. ....	14
Mynd 2	Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x1400 leiðurum sem laður er við Hagkvæmar aðstæður. ....	14
Mynd 3	Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x1400 leiðurum sem laður er um Dal með á. ....	15
Mynd 4	Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x2000 leiðurum sem lagður er um Hraun. ....	15
Mynd 5	Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x2000 leiðurum sem lagður er í útjaðri íbúabyggðar. ....	16
Mynd 6	Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum, grunntilvik. ....	19
Mynd 7	Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum við hagkvæmar aðstæður. ....	19
Mynd 8	Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum sem liggur um Dal með á. ....	20
Mynd 9	Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum sem liggur um Hraun. ...	20
Mynd 10	Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum sem liggur í útjaðri íbúabyggðar. ....	21
Mynd 11	Núvirtur kostnaður á km við 220 kV loftlínu yfir 40 ára tímabil. ....	31
Mynd 12	Núvirtur kostnaður á km við 220 kV jarðstreng yfir 40 ára tímabil. ....	31
Mynd 13	Líftímakostnaður jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur fyrir tilvik um Hagkvæmar aðstæður. ....	34
Mynd 14	Líftímakostnaður jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur fyrir tilvik um Dal og á. ....	34
Mynd 15	Líftímakostnaður jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur fyrir tilvik um legu í Hrauni. ....	35
Mynd 16	Líftímakostnaður jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur fyrir tilvik um legu í útjaðri íbúabyggðar. ....	35
Mynd 17	Kostnaðarmunur jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur líftímaútreikninga fyrir tilvik um Hagkvæmar aðstæður. ....	37
Mynd 18	Kostnaðarmunur jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur líftímaútreikninga fyrir tilvik um Dal og á. ....	38
Mynd 19	Kostnaðarmunur jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur líftímaútreikninga fyrir tilvik um lagningu í Hrauni. ....	38
Mynd 20	Kostnaðarmunur jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur líftímaútreikninga fyrir tilvik um lagningu í útjaðri íbúabyggðar. ....	39





## 1 INNGANGUR

Megintilgangur skýrslunnar er að bera saman líftímakostnað 220 kV jarðstrengs og loftlínu við fimm mismunandi aðstæður. Fyrsta skrefið í útreikningum sem þessum er að finna stofnkostnað<sup>1</sup> mannvirkjanna og er fjallað um hann í köflum 2 og 3. Til grundvallar stofnkostnaði jarðstrengja er lögð skýrsla Mannvits frá því í lok nóvember 2013 sem unnin var í samvinnu við Ragnar Kristjánsson hjá Háskólanum í Reykjavík. Í þeirri skýrslu voru sett fram fimm ólík tilfelli fyrir aðstæður við lagningu 220 kV jarðstrengs. EFLA áætlaði síðan kostnað við 220 kV loftlínu við sömu aðstæður. Þar sem kostnaðartölur Mannvits náðu ekki yfir allan kostnað verkaupa, lagði EFLA mat á hann og bætti við þannig að dæmin um jarðstrengi og loftlínur yrðu samanburðarhæf. Einnig þarf að hafa í huga að flutningsgeta strengja er 300 MVA en loftlínu 415 MVA.

Áætlaður er árlegur kostnaður við rekstur mannvirkisins og er þá m.a. metinn kostnaður vegna þeirrar orku sem tapast í flutningsvirkinu sem er háð flutningsmagni og eiginleikum flutningsvirkisins. Fjallað er um þessa þætti í kafla 4. Ýmsar fleiri forsendur þarf að nota við þess útreikninga svo sem líftíma mannvirkja, reiknivexti, hrakvirði og förgunarkostnað en einnig er fjallað um þá þætti í kafla 4.

Niðurstöður eru raktar í kafla 5 og þar kemur jafnframt fram hvað áhrif það hefur á niðurstöður að breyta einstökum forsendum útreikninganna. Í kafla 6 er síðan fjallað um ýmsa þætti sem hafa áhrif á kostnað við flutningsvirki raforku og erfitt er að taka beint inn í almennan samanburð sem þennan.

Greinargerð þessi er unnin af Jóni Vilhjálmsyni, Jakobi Aðils, Eggerti Þorgrímssyni og Agli Þorsteins hjá EFLU verkfræðistofu. Þar að auki hefur Friðrik Már Baldursson prófessor við Háskólann í Reykjavík farið yfir þær hagrænu forsendur sem EFLA notar í sínum útreikningum.

---

<sup>1</sup> Stofnkostnaður innifelur allan kostnað sem verkkaupi þarf að standa straum af vegna verkefnisins frá undirbúningi þar til mannvirkið er tilbúið og komið í rekstur. Þar á meðal er fjármagnskostnaður verkkaupa á byggingartíma.



## 2 Kostnaðarmat Mannvits

Hér eru teknar saman þær forsendur sem notaðar eru í greinargerð Mannvits. Stofnkostnaður var reiknaður út fyrir fimm mismunandi tilfalli. Í kostnaðarmatinu vantar ákveðna kostnaðarliði þannig að ekki er um að ræða framkvæmdakostnað.

### 2.1 Hagrænar forsendur

Í greinargerð Mannvits eru taldar upp þær forsendur sem kostnaðarmatið byggir á. Tilfallin fimm eru skilgreind og í framhaldi fylgir upptalning og lýsing á þeim kostnaðarliðum sem matið byggir á. Miðað er við verðlag í september 2013:

Gengi Evru = 159,05 ISK/EUR

Gengi Dollars = 120,25 ISK/USD

VBK = 118,6 stig (grunnur 2010)

Verktakaálag innifalið í verðum (kemur ekki fram hversu hátt það er)

Kostnaðargreiningin miðast við 220 kV jarðstrengslögn í einn skurð og flutningsgetu upp á 300 MVA. Innifalið í greiningunni er kostnaður við jarðvinnu, efniskaup og lagningu strengja. Einnig innifelur matið kostnað við hönnun, eftirlit og umsjón bæði vegna jarðstrengsins og jarðvinnu og útlagnar hans. Gerð var áhættugreining og hermun á kostnaðaráætlunum til að minnka óvissu matsins.

Þeir kostnaðarliðir sem ekki er lagt mat á í greinargerð Mannvits eru eftirfarandi:

Fjármagnskostnaður

Leyfisveitingar

Umhverfismat

Landbætur

Rannsóknir

Eigendakostnaður

Skipulagsmál

Vinna arkitekta

EFLA lagði mat á kostnað við umrædda liði, sjá kafla 3. Eins og gefur að skilja, þá er kostnaðurinn mismunandi eftir aðstæðum. Það á sérstaklega við um kostnað við landbætur. Þær eru lægstar í grunntilfallinu en hæstar í tilfallinu útjaðar íbúabyggðar þar sem búast má við að landverð sé hærra.

## 2.2 Tilfellið fimm og tæknilegar forsendur

Eftirfarandi tilfelli voru kostnaðargreind:

- 1) Grunntilfelli, 5 km – Þetta tilfelli gildir fyrir bestu mögulegu aðstæður með lítið gróinn mel eða sand og nærri námu (< 5 km). Ekki þarf að vinna strengsand og hægt er að nota mest af uppgröfðu efni.
- 2) Hagkvæmar aðstæður, 5 km - Lítið gróinn melur eða ræktuð svæði. Um 15-20 km í námu. Lítil þveranakostnaður.
- 3) Dalur og á, 5 km - Gróinn dalur í byggð með breiðri á. Langt í námu og þverana- og frágangskostnaður hár.
- 4) Hraun, 5 km - Úfið hraun og töluverð klöpp og gröftur meiri en kennisnið segir til um. Langt í námu en lítið af þverunum. Frágangskostnaður töluverður.
- 5) Útjaðar íbúabyggðar, 1 km - Fleiri þveranir en í hinum dæmunum. Engin slóðagerð en hár frágangskostnaður.

Í tilfellum 1, 2, 3 og 5 er reiknað með að strengirnir séu 1400 mm<sup>2</sup> Ál en 2000 mm<sup>2</sup> Ál í tilfelli 4. Þetta er skýrt á þann hátt að varmaviðnám jarðvegsins sé hærra í tilfelli 4, eða 2,5°C m/W en 1,5°C m/W í hinum tilfellunum. Miðað er við að rekstrarhiti leiðarans sé 65°C og að strengirnir séu lagðir í plan á botni skurðsins á 1,25 m dýpi.

Í eftirfarandi töflu birtist kostnaðarmatið fyrir tilfellið fimm:

**Tafla 1 Kostnaður Mannvits/RK fyrir fimm tilfelli 220 kV jarðstrengs.**

Tilfelli	Grunntilfelli Mkr.	Hagkvæmar aðstæður Mkr.	Dalur og á Mkr.	Hraun Mkr.	Útjaðar íbúabyggðar Mkr.
Grunnáætlun, 5km	446,1	523,5	594,5	621,6	
Líklegasta gildi, 5km	515,6	604,2	711,9	733,3	
Grunnáætlun, 1km	89,2	104,7	118,9	124,3	170,9
Líklegasta gildi, 1km	103,1	120,8	142,4	146,7	215,3

### 3 Stofnkostnaður

Hér eru teknar saman þær forsendur sem EFLA notaði við mat á stofnkostnaði við loftlínur, ásamt mati á þeim kostnaði sem ekki var lagt mat á í skýrslu Mannvits. Kostnaðaráætlanir fyrir loftlínur byggja á kostnaðarlíkani Landsnets/EFLU fyrir loftlínur. Við mat á þeim kostnaðarliðum sem ekki voru innifaldir hjá Mannviti lagði EFLA mat á kostnaðinn og nýtti meðal annars reynslutölur úr eldri verkum og upplýsingar úr kostnaðarlíkani.

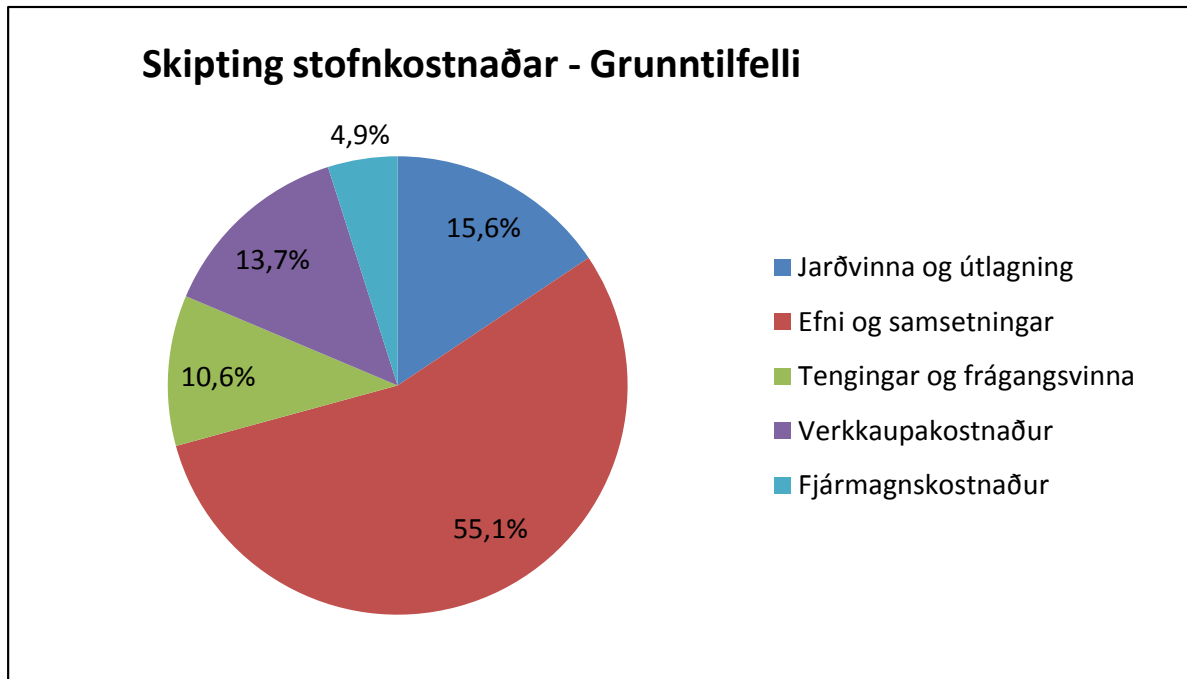
#### 3.1 Mat á stofnkostnaði jarðstrengja

EFLA miðaði við að undirbúningskostnaður væri 2,6% ofan á verktakakostnað og að annar verkkaupakostnaður væri 3,8%. Fjármagnskostnaður á byggingartíma er síðan áætlaður 4,7%. Í reynd ætti að vera einhver munur á milli tilfella, a.m.k. varðandi annan verkkaupakostnað þar sem hann innifelur meðal annars landbætur. Í samanburði sem þessum hefur smávægilegur munur á landbótum ekki stór áhrif og var því ákveðið að halda þessum hlutfallstölum óbreyttum í öllum tilfellunum.

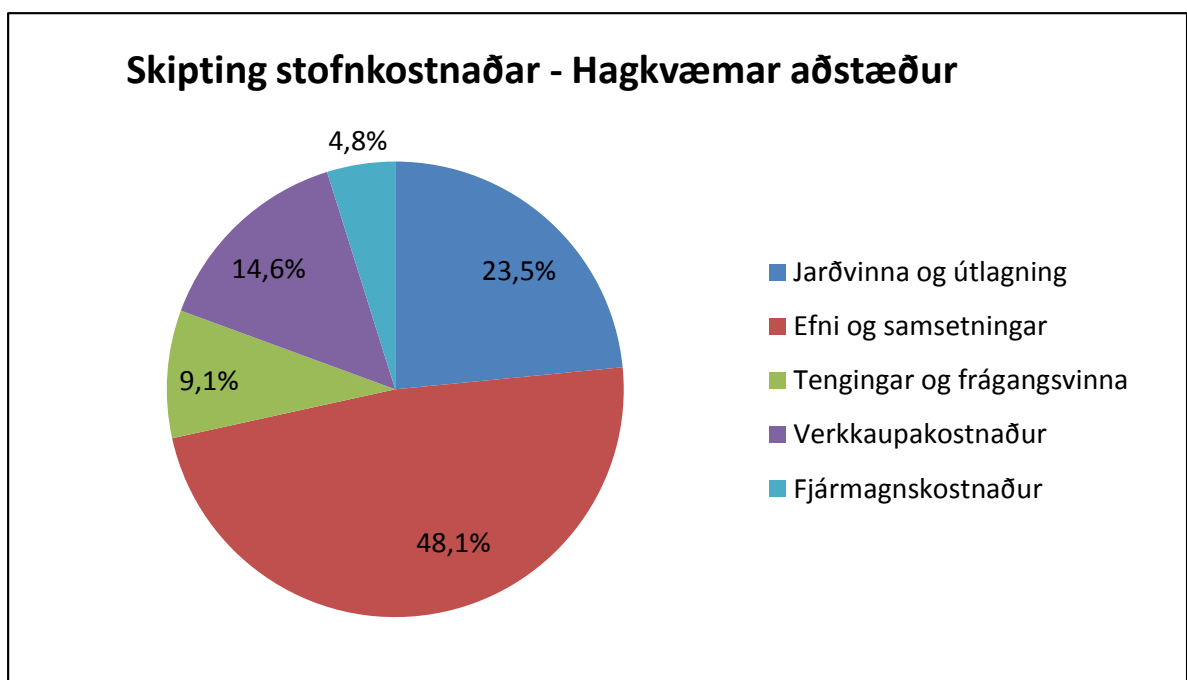
Á myndum 1 til 5 er sýnt hvernig kostnaðurinn skiptist niður á einstaka þætti í hverju tilviki fyrir sig.

**Tafla 2 Stofnkostnaður jarðstrengja.**

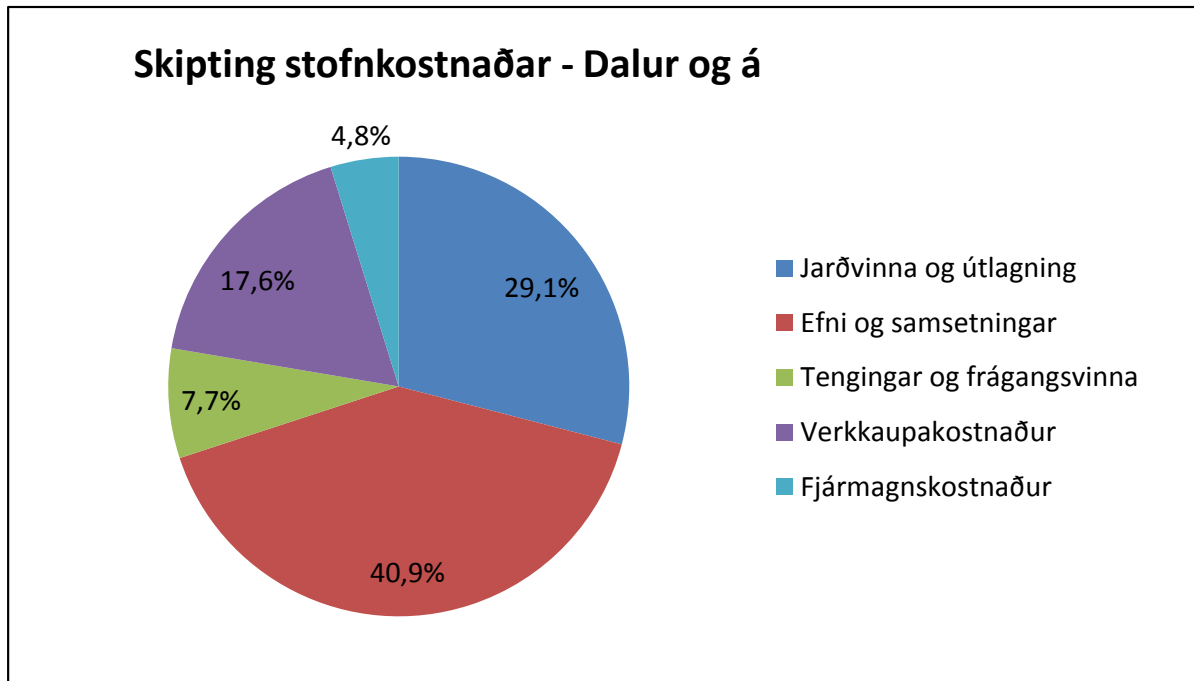
	Grunntilfelli Mkr./km	Hagkvæmar aðstæður Mkr./km	Dalur og á Mkr./km	Hraun Mkr./km	Útjaðar íbúabyggðar Mkr./km
Kostnaðarmat Mannvits	111,8	129,6	151,2	157,2	226,4
Án 15% vörugjalds á streng	103,1	120,8	142,4	146,7	215,3
Undirbúningur	2,4	2,9	3,2	3,4	4,9
Annar verkkaupakostn.	3,6	4,1	4,7	5,0	7,1
Framkvæmdakostnaður	109,1	127,8	150,3	155,1	227,3
Fjármagnskostnaður	5,1	6,0	7,1	7,3	10,7
<b>Stofnkostnaður</b>	<b>114,2</b>	<b>133,8</b>	<b>157,4</b>	<b>162,4</b>	<b>238,0</b>



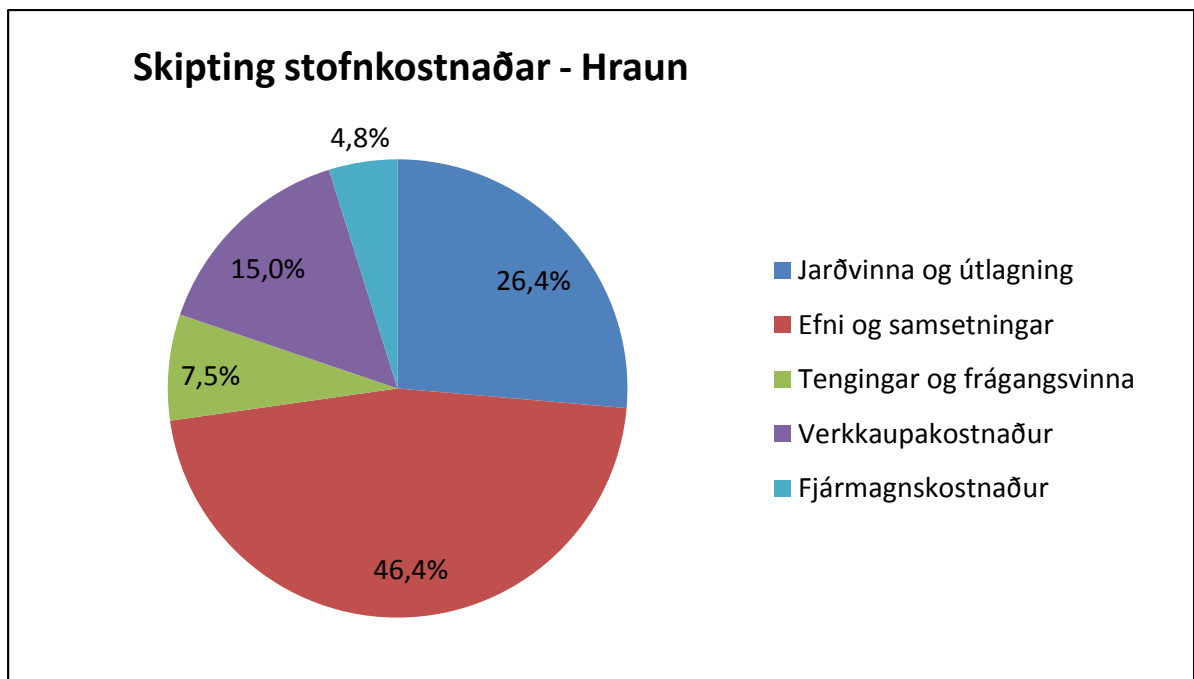
**Mynd 1** Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x1400 mm<sup>2</sup> Ál leiðurum, grunntilfelli.



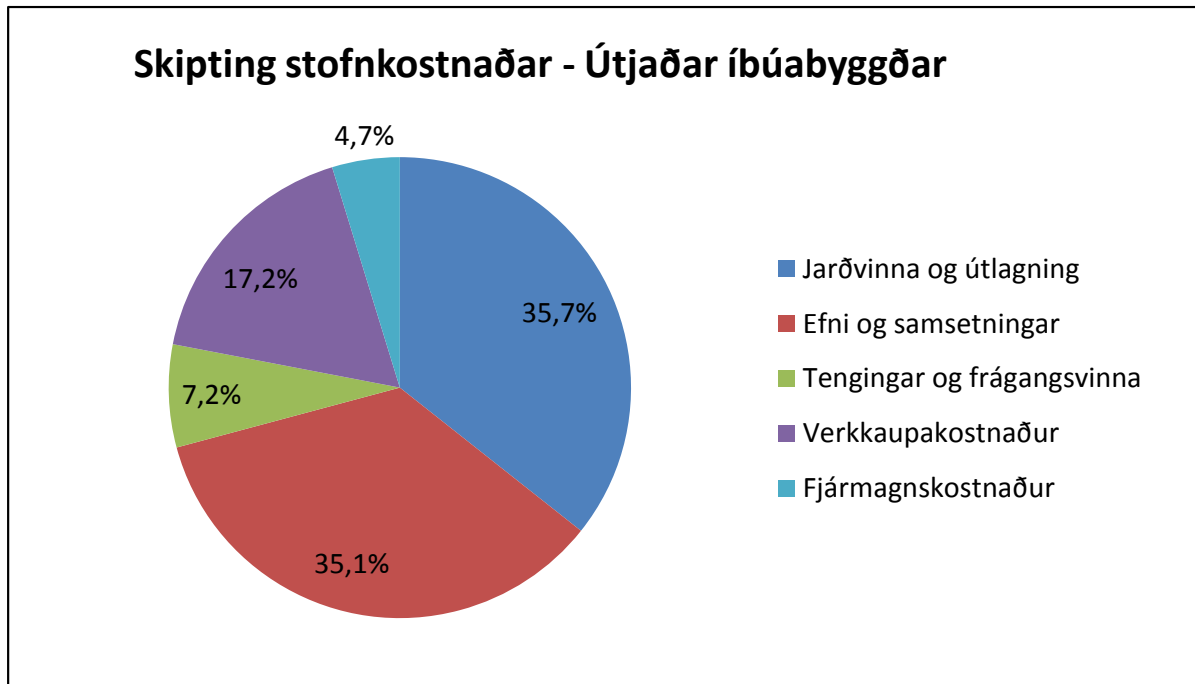
**Mynd 2** Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x1400 mm<sup>2</sup> Ál leiðurum, hagkvæmar aðstæður.



**Mynd 3** Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x1400 mm<sup>2</sup> Ál leiðurum, dalur með á.



**Mynd 4** Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x2000 mm<sup>2</sup> Ál leiðurum, hraun.



**Mynd 5** Skipting stofnkostnaðar 220 kV jarðstrengs með 1x1400 mm<sup>2</sup> Ál leiðurum, útjaðar íbúabyggðar.

### 3.2 Mat á stofnkostnaði loftlína

Við mat á stofnkostnaði loftlína var leitast við að vera með sambærileg tilfelli, bæði með tilliti til aðstæðna og þeirra þátta sem mynda stofnkostnað. Notast var við kostnaðarlíkan fyrir loftlínur við matið og reiknað með forhönnunarstigi sem bætir 20,2% ofan á verkkostnað. Með þessu móti taldi EFLA að samanburðurinn yrði sem réttastur. Ástæða þess að umrætt hönnunarstig var valið, tengist beint þeim tölum sem Mannvit birti í sinni greinargerð. EFLA bar saman hlutfall grunnáætlunar og líklegasta kostnaðar í þeim fimm tilfellum sem til skoðunar voru. Í öllum dæmunum er munur á kostnaði á bilinu 15,3-21%. Út frá því taldi EFLA rétt að nota 20,2% ófyrirséð til að fá út verktaka-kostnað. Hlutfallstölur fyrir hönnun, umsjón, eftirlit, annan verkaupakostnað og undirbúning eru notaðar beint eins og þær koma fyrir í líkaninu. Í töflu 3 eru sýndar helstu forsendur sem notast var við í kostnaðarmati á loftlínunum. Allar aðrar forsendur í loftlínulíkani eru eins á milli tilfella. Eftirfarandi eru þær forsendur sem notaðar voru við matið:

- Lengd loftlínu er 20 km
- Stöguð stálgrindarmöstur
- Leiðari 1x774 á 40°C (415 MVA)
- Jarðvírar næst endum
- Rúmur framkvæmdatími
- Hluti af meðalstóru verki
- Endi A – endamastur
- Endi B – enginn kostnaður
- Markaðsaðstæður – meðal



**Tafla 3 Helstu forsendur í kostnaðarlíkani loftlína fyrir fimm ólík tilfelli og stofnkostnaður á km.**

	Grunntilfelli	Hagkvæmar aðstæður	Dalur og á	Hraun	Útjaðar íbúabyggðar.
Landslag	Sléttlendi	Sléttlendi	Hæðótt	Hæðótt	Sléttlendi
Slóðagerð	Lítill	Meðal	Meðal	Meðal	Meðal
Veðurálag	Álagslétt	Álagslétt	Meðal álag	Meðal álag	Meðal álag
Grundun	Góðar	Fremur góðar	Fremur lakar	Góðar	Fremur góðar
Landbætur	Fremur lágar	Meðal	Fremur mikill	Meðal	Mjög mikill
Sérkostnaður	Enginn	1 þverun	2 þveranir o.fl.	2 þveranir	Sérmöstur
Staðsetning	Nærri gistingu	Nærri gistingu	Nærri þéttbýli	Fjarri gistingu	Nærri þéttbýli

**Tafla 4 Helstu magntölur loftlína.**

	Grunntilfelli	Hagkvæmar aðstæður	Dalur og á	Hraun	Útjaðar íbúabyggðar.
Rúmmál í slóðagerð	45 þús. m <sup>3</sup>	64 þús. m <sup>3</sup>	65 þús. m <sup>3</sup>	65 þús. m <sup>3</sup>	65 þús. m <sup>3</sup>
Steypa í undirstöður	271 tonn	271 tonn	313 tonn	313 tonn	310 tonn
Stál í undirstöður	32 tonn	32 tonn	38 tonn	38 tonn	37 tonn
Fjöldi mastra	45	45	51	51	50
Fjöldi burðarmastra	39	39	45	45	44
Fjöldi afsp. mastra	6	6	6	6	6
Þungi mastra	332 tonn	332 tonn	370 tonn	370 tonn	365 tonn
Þungi stagvíra	28 tonn	28 tonn	30 tonn	30 tonn	29 tonn
Þungi leiðara	144 tonn	144 tonn	144 tonn	144 tonn	144 tonn
Þungi jarðvíra	11 tonn	11 tonn	11 tonn	11 tonn	11 tonn
Þungi einangra	21 tonn	21 tonn	27 tonn	27 tonn	27 tonn
Þungi tengibúnaðar	4 tonn	4 tonn	5 tonn	5 tonn	5 tonn

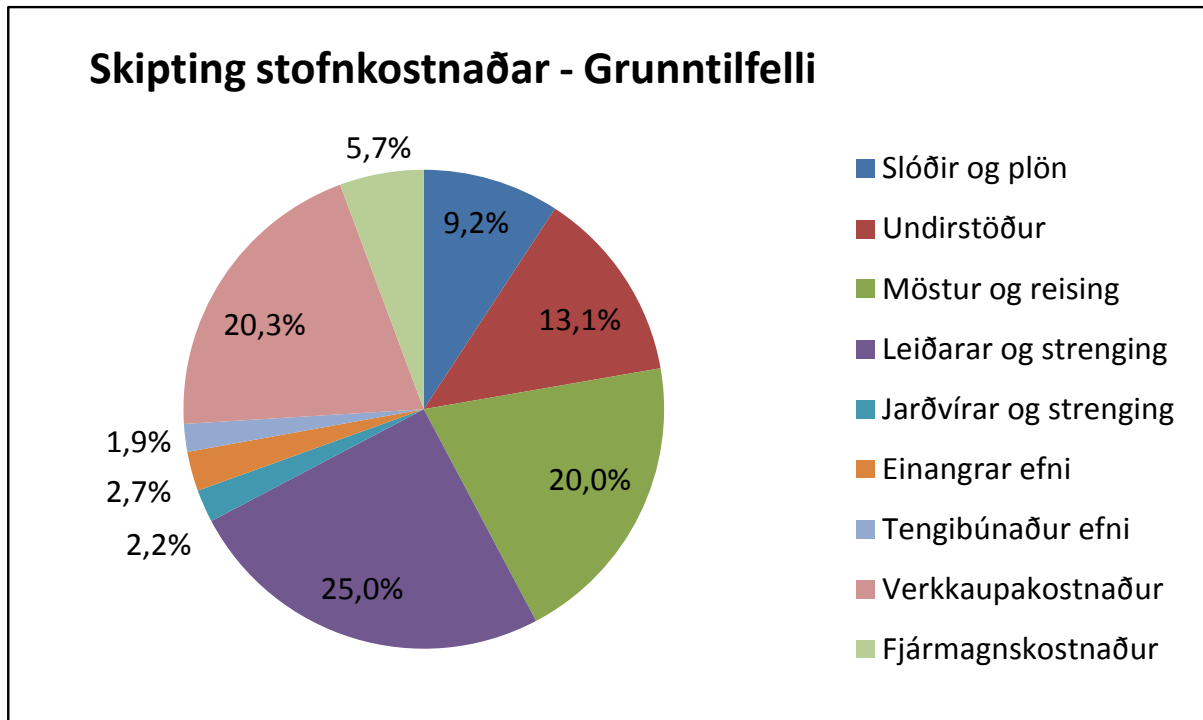
Rétt er að benda á að kostnaðarlíkanið tekur tillit til allra „parametra“ sem boðið er upp á í kostnaðarlíkani fyrir loftlínur og verðmetur. Hins vegar er ekki víst að munurinn birtist í magntölum. Eins og tölurnar bera með sér þá er ekki víst að þær aðstæður sem gefa lægsta kostnað í tilviki

jarðstrengja geri það hjá loftlínu. Fyrirfram myndi loftlína sem lögð er um hraunasvæði teljast fremur hagstæð en jarðstrengur í svipuðu landi fremur óhagstæður. Stofnkostnaðartölur fyrir loftlínur er sýndur í töflu 5 og miða við sama gengi Evru og notað var varðandi jarðstrengina (159,05 ISK/EUR).

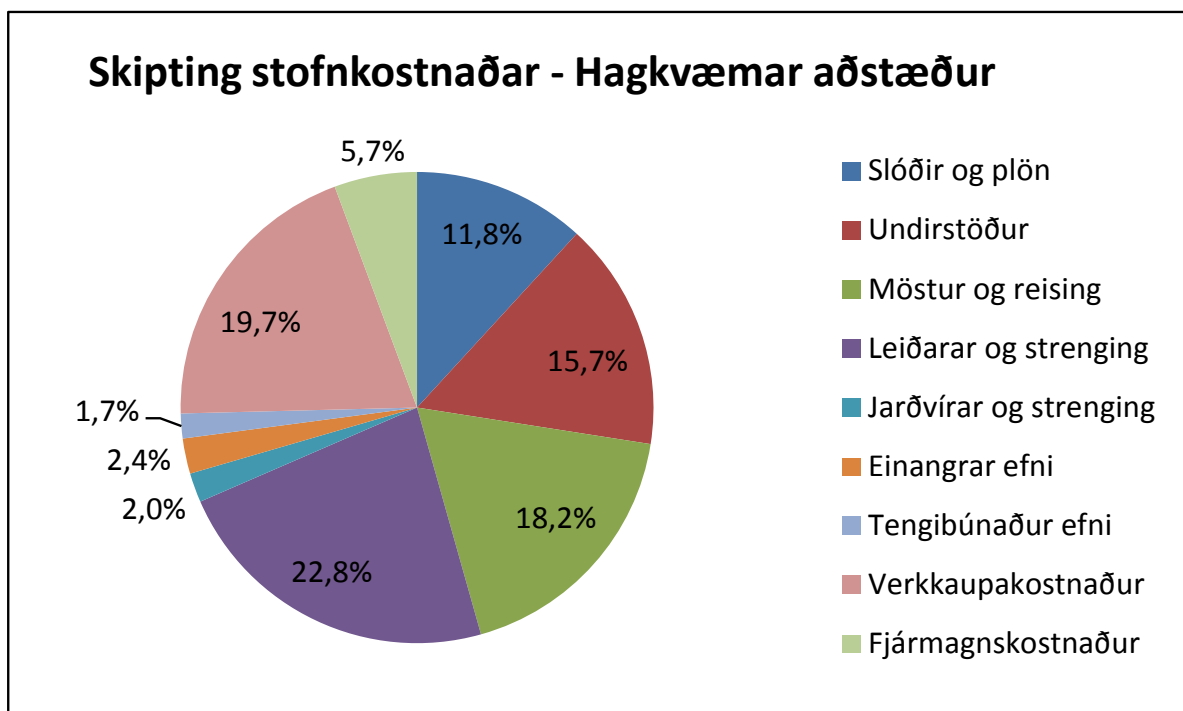
**Tafla 5 Stofnkostnaður loftlína.**

	Grunntilfelli Mkr.	Hagkvæmar aðstæður Mkr.	Dalur og á Mkr.	Hraun Mkr.	Útjaðar íbúabyggðar Mkr.
1. Verkkostnaður	603,7	670,0	774,6	739,8	798,0
Ófyrirséð	122,1	135,5	156,6	149,6	161,3
2. Verktakakostnaður	725,7	805,5	931,2	889,4	959,3
Verkkaupakostnaður	199,2	213,1	291,3	227,5	409,3
3. Framkvæmdakostnaður	924,9	1.018,6	1.222,5	1.116,9	1.368,6
Fjármagnskostnaður	55,5	61,1	73,4	67,0	82,1
<b>Stofnkostnaður</b>	<b>980,4</b>	<b>1.079,7</b>	<b>1.295,9</b>	<b>1.183,9</b>	<b>1.450,7</b>
<b>Stofnkostnaður Mkr./km</b>	<b>49,0</b>	<b>54,0</b>	<b>64,8</b>	<b>59,2</b>	<b>72,5</b>

Eins og sjá má af tölunum hér að ofan þá er töluverður munur á stofnkostnaði eftir aðstæðum. Stofnkostnaður í tilviki útjaðars íbúðabyggðar er nærri 50% hærri en í grunntilfellinu. Hægt er að útskýra muninn fyrst og fremst með kostnaði vegna sérmastra ásamt hærri landbótum. Einnig hafa ólíkar grundunaraðstæður áhrif á kostnað. Kökurit sem sýna skiptingu stofnkostnaðar í dæmunum fimm eru sýndur á myndum 6 til 10.

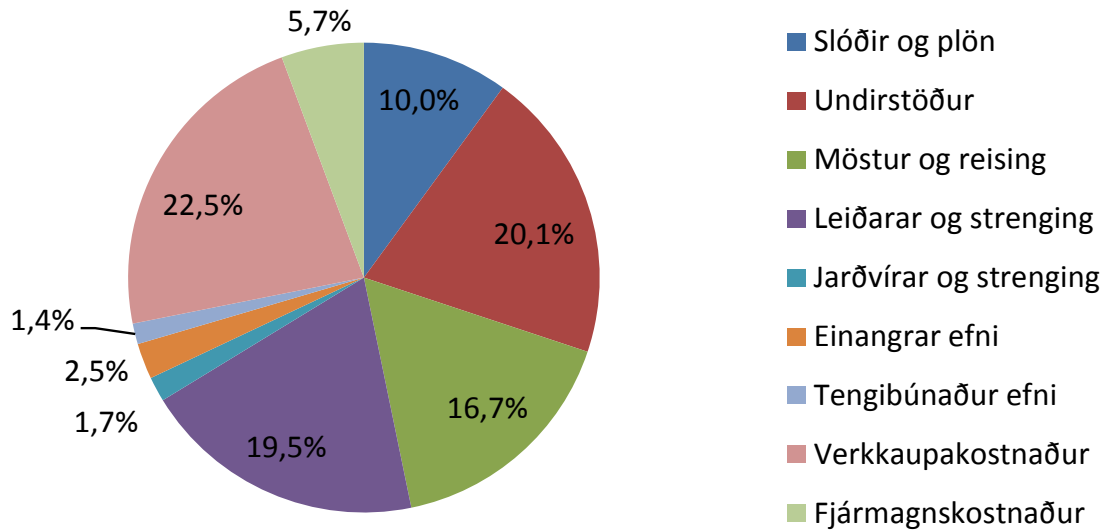


Mynd 6 Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum, grunntilfelli.



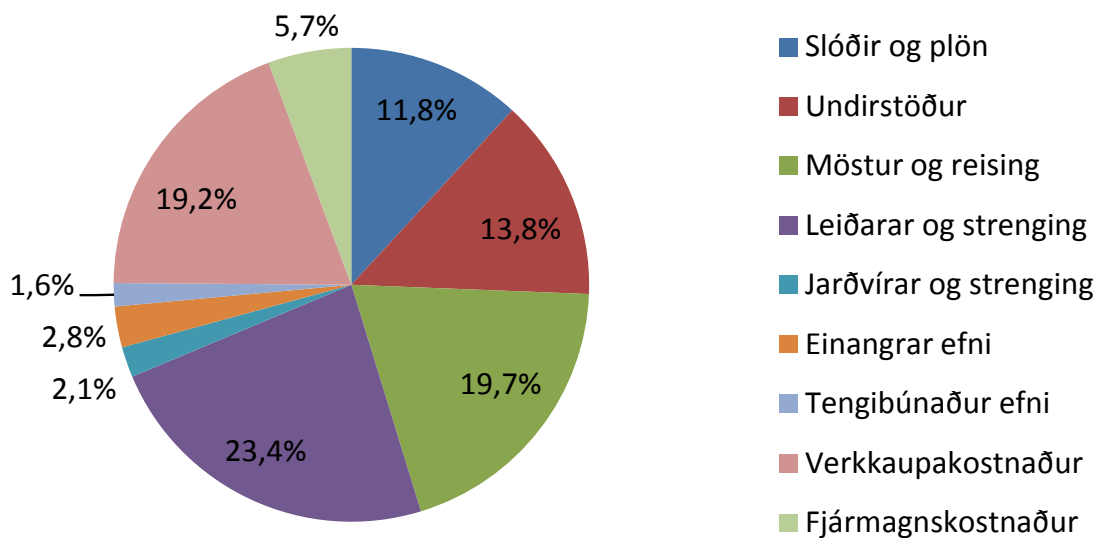
Mynd 7 Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum, hagkvæmar aðstæður.

### Skipting stofnkostnaðar - Dalur og á

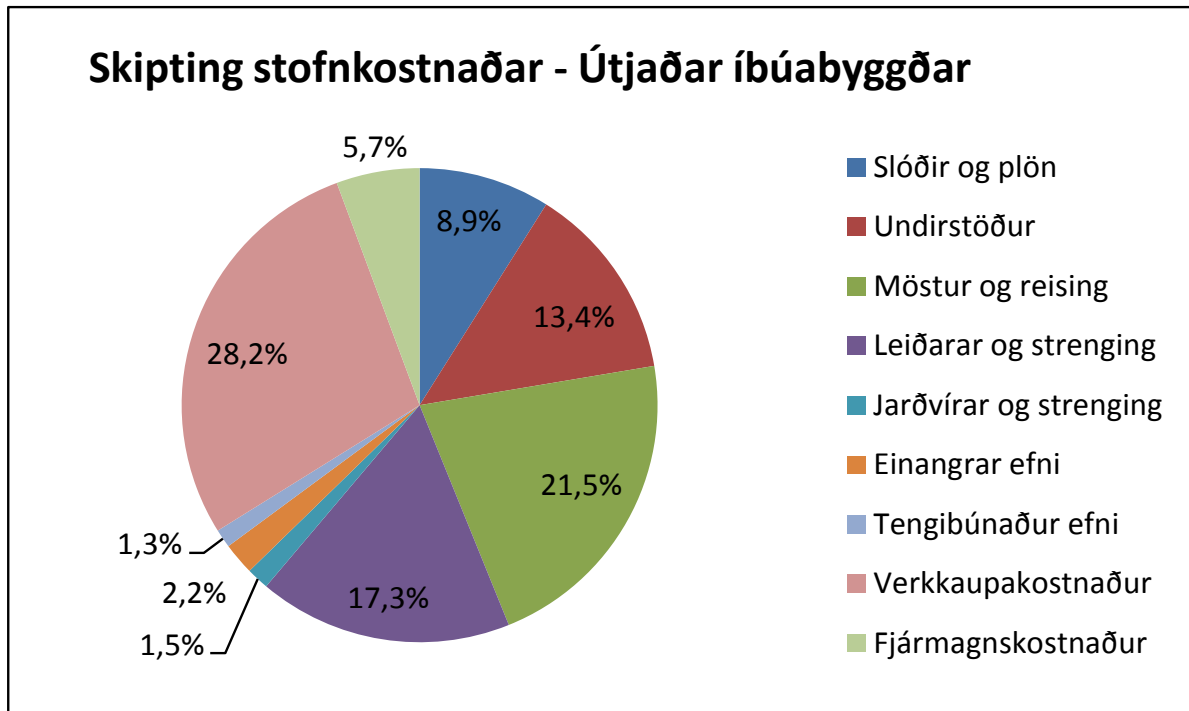


Mynd 8 Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum, dalur með á.

### Skipting stofnkostnaðar - Hraun



Mynd 9 Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum, hraun.



**Mynd 10** Skipting stofnkostnaðar 220 kV loftlínu með 1x774-AL3 leiðurum, útjaðar íbúabyggðar.



## 4 Forsendur útreikninga á líftímakostnaði

Við útreikning á líftímakostnaði er horft á kostnað við mannvirki frá undirbúningsstigi að þeim tíma sem rekstri þess er hætt og því fargað. Miðað er við fast verðlag og reiknað núvirði kostnaðarraðar yfir reiknitímabil sem hér er 40 ár. Ef mannvirkið endist lengur en þessi 40 ár er fundið hrakvirði þess við lok reiknitímabilsins sem gengur síðan inn í núvirðisreikningana. Hér á eftir er farið yfir þá þætti sem koma inn í útreikninga á líftímakostnaði.

### 4.1 Reiknivextir

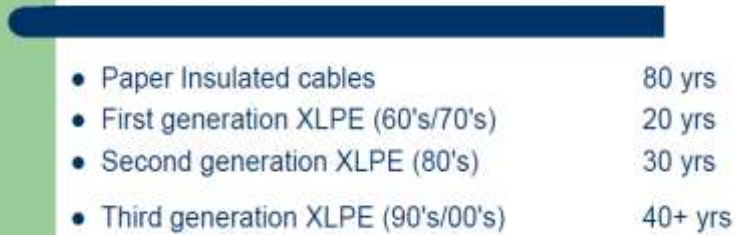
Útreikningar á kostnaði yfir líftíma mannvirkis byggja á núvirðisreikningum yfir langt tímabil. Allir útreikningar miða við fast verðlag eins og það var í september 2013 sbr. kafla 2.1. Við slíka útreikninga þarf að ákveða hvaða vexti eigi að nota og þar sem hér er um að ræða fjárfestingu í innviðum þjóðfélagsins þurfa þeir að endurspegla þarfir samfélagsins fremur en vexti á lánamarkaði. Við slíka útreikninga hefur hér á landi yfirleitt verið miðað við 5-6% vexti og verður hér miðað við 5,5% vexti. Færa má rök bæði fyrir því að þetta séu háir vextir svo sem út frá hagvaxtarhorfum og vaxtastigi í nágrannalöndunum. Hafa þarf í huga að hér er eðlilegt að nota „þjóðhagsagslega“ vexti og þá er þessi tala ekki fjarri slíkum vöxtum t.d. í Danmörku. Auk þess er skuldastaða Íslands þung sem ætti að leiða af sér auknar kröfur til ávöxtunar framkvæmda.


### 4.2 Hrakvirði

Núvirði er reiknað yfir ákveðið reiknitímabil og er hér miðað við 40 ár. Mannvirki eru með mismunandi líftíma og getur verið að hann sé lengri en 40 ár. Finna þarf þá hvers virði mannvirkið er í lokin og gengur sú upphæð síðan inn í núvirðisreikningana. Hér verður miðað við að verðmæti mannvirkis lækki línulega með aldri frá stofnkostnaði niður í ekkert verðmæti við lok líftímans.

### 4.3 Líftími mannvirkja

Undanfarna áratugi hefur framleiðsla á jarðstrengjum fyrir háa spennu verið að þróast og liggja því ekki fyrir miklar upplýsingar um rekstur nýjustu kynslóða jarðstrengja. Algengast er í heimildum að gert sé ráð fyrir að nýir strengir séu með endingartíma um 40 ár. Dæmi um slíkar heimildir eru eftirfarandi:

<p><b>General Cable, alþjóðlegur kapal-framleiðandi</b> (kynning frá Nýja Sjálandi frá 2007) (<a href="http://www.eea.co.nz/Attachment?Action=View&amp;Attachment_id=419">http://www.eea.co.nz/Attachment?Action=View&amp;Attachment_id=419</a>)</p>	<div data-bbox="699 1563 1177 1615" data-label="Section-Header"> <h4>PROJECTED LIFETIMES</h4> </div>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paper Insulated cables 80 yrs</li> <li>• First generation XLPE (60's/70's) 20 yrs</li> <li>• Second generation XLPE (80's) 30 yrs</li> <li>• Third generation XLPE (90's/00's) 40+ yrs</li> </ul>
--	--

<p><b>Europacable, samband kapalframleiðenda í Evrópu</b> (kynning frá 2009)</p> <p>(<a href="http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/root/pdf/2009/EHV_Underground_Power_Cable.pdf">http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/root/pdf/2009/EHV_Underground_Power_Cable.pdf</a>)</p>	<p><b>XLPE-insulated Cable</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ More than 25 years commercial experience at HV levels (110-150 kV)</li> <li>□ More than 10 years experience at 400 kV – longest system (40 km of 500 kV - Japan)</li> <li>□ Current state of the art technology</li> <li>□ Easier installation and jointing</li> <li>□ Environmentally low risk</li> <li>□ Almost maintenance free</li> <li>□ Life expectancy: minimum 30-40 years for XLPE cables</li> </ul> 															
<p>ECOFYS 2008 fyrir Department of Communications, Energy and natural Resources, Ireland:</p> <p>„Study on the Comparative Merits of Overhead Electricity Transmission Lines versus Underground Cables.“</p>	<p>Table 9-4: general economic parameters used as reference value in the analysis of life cycle cost</p> <table border="1"> <tr> <td>Economic life of all options</td> <td>40 years</td> </tr> <tr> <td>Internal rate of return applied by TAO</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>Evaluation of losses</td> <td>86.4 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Rest value of assets at end of life</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Decommissioning costs</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Loss factor <math>k_A</math></td> <td>0.2 (reference, varied to 0.12 and 0.3)</td> </tr> <tr> <td>Daily load factor <math>m</math></td> <td>0.85</td> </tr> </table>	Economic life of all options	40 years	Internal rate of return applied by TAO	8%	Evaluation of losses	86.4 €/MWh	Rest value of assets at end of life	-	Decommissioning costs	-	Loss factor $k_A$	0.2 (reference, varied to 0.12 and 0.3)	Daily load factor $m$	0.85	
Economic life of all options	40 years															
Internal rate of return applied by TAO	8%															
Evaluation of losses	86.4 €/MWh															
Rest value of assets at end of life	-															
Decommissioning costs	-															
Loss factor $k_A$	0.2 (reference, varied to 0.12 and 0.3)															
Daily load factor $m$	0.85															
<p>Parsons and Brinckerhoff, 2012: Electricity Transmission Costing Study. An independent Report Endorsed by the Institution of Engineering and Technology.</p>	<p>Skýrsla frá Bretlandi þar sem miðað er við 40 ára líftíma.</p>															
<p>Energinet.dk, „Kabelhandlingsplan 2013</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>KHP09</th> <th>KHP13</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rentefod</td> <td>6,70 %</td> <td>3,65 %</td> </tr> <tr> <td>Inflation</td> <td>2,0 %</td> <td>2,0 %</td> </tr> <tr> <td>Levetid</td> <td>30 ár</td> <td>40 ár</td> </tr> <tr> <td>Samf. kalkulationsrente</td> <td>6,0 %</td> <td>5,0 %</td> </tr> </tbody> </table>		KHP09	KHP13	Rentefod	6,70 %	3,65 %	Inflation	2,0 %	2,0 %	Levetid	30 ár	40 ár	Samf. kalkulationsrente	6,0 %	5,0 %
	KHP09	KHP13														
Rentefod	6,70 %	3,65 %														
Inflation	2,0 %	2,0 %														
Levetid	30 ár	40 ár														
Samf. kalkulationsrente	6,0 %	5,0 %														
<p>R. Vogelsang og fl.: Long-term experiences with XLPE cable systems up to 550 kV, 2009</p>	<p>Once the cable system is energized and is subjected to electrical loads at network voltage, an electrical lifetime of well over 50 years can be expected</p>															
<p>J.-L. Parpal og fl. Water-: Water-tree Aging Characterization of MV XLPE Cable Insulation Using Time Domain Spectroscopy (TDS)</p>	<p>According to the results of this study, the life expectancy of these XLPE-insulated cables could be expected to be more than 50 years.</p>															

Eins og sést á þessari upptalningu er algengt að notaður sé 40 ára líftími jarðstrengja en nefnt er í tveimur greinum að búast megi við meira en 50 ára líftíma. Hafa þarf í huga að ekki er komin löng reynsla á rekstur nýjustu gerða jarðstrengja og því ekkert hægt að staðhæfa varðandi líftímann. Því er talið eðlilegt hér að miða við 40 ára líftíma eins og gert er í flestum kostnaðarathugunum á jarðstrengjum.



Þegar horft er á loftlínur er til mun meiri reynsla af rekstri þeirra en jarðstrengja hvort sem er hér á landi eða erlendis. Elsta 220 kV loftlína hér á landi kom í rekstur árið 1969 (Búrfellslína 1) og er því orðin 44 ára. Hún er ennþá við góða „heilsu“ og á eftir að vera í rekstri í mörg ár til viðbótar. Ef horft er á 132 kV línurnar þá er Sogslína 2 orðin 60 ára og elsti hluti byggðalínunnar verður 40 ára á næsta ári. Elstu 66 kV línurnar í rekstri eru tæplega 70 ára gamlar og Laxá-Rangárvellir er 60 ára gömul. Rauntölur á Íslandi sýna því að líftími hápennulína við íslenskar aðstæður er mun lengri en 40 ár. Einnig má benda á að víða erlendis er verið að spennuhækka gamlar háspennulínur og við það eykst flutningsgeta verulega með litlum tilkostnaði auk þess sem þá er miðað við að viðkomandi línur verði áfram í rekstri áratugum saman.

XcelEnergy sem er stórt orkufyrirtæki í Bandaríkjunum nefnir að loftlínur séu með um tvöfaldan líftíma miðað við strengi.

Hér verður því miðað við 40 ára líftíma jarðstrengja og 60 ára líftíma loftlína.

#### 4.4 Tapakostnaður

Viðnámstöp í leiðurum eru reiknuð út frá fasastraum í leiðara ( $I_f$ ) og raunviðnámi leiðarans ( $R$ ) samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$P_{töp} = 3 * R * I_f^2$$

Varðandi loftlínur eru einnig fleiri þættir sem valda töpum en hlutur þeirra er svo lítill að þeim er sleppt hér. Varðandi strengi eru einnig önnur töp en viðnámstöp í leiðara og eru tveir aðrir þættir teknir með hér eða einangrunartöp og skermtöp. Þar að auki eru einhver töp í spólum í útjöfnunarstöðvum en ekki er reiknað með þeim hér.

Þegar töpin hafa verið fundin þarf að meta þau til fjár. Að undanfögnu hefur raforkuverð á heildsölumarkaði verið lágt hér á landi en núna í haust hækkaði verð og í nýjum samningum fyrir næsta ár virðist það stefna í tæpar 3,5 kr./kWh. Þegar verið er að horfa á fjárfestingar í grunnkerfum þjóðfélagsins er oft horft til þjóðhagslegs kostnaðar fremur en rekstrarlegrar útkomu í fyrirtækjarekstri. Í því ljósi er eðlilegt að horfa á jaðarkostnað við raforkuöflun á hverjum tíma þegar verið að meta kostnað af töpum í flutningskerfi raforku. Til lengri tíma litið hækkar kostnaður við raforkuöflun þar sem fyrst er ráðist í hagkvæmstu kostina og því má gera ráð fyrir að orkuverð sem metið er á þennan hátt fari hækkandi.

Flutningstöp í kerfi Landsnets voru um 340 GWh árið 2012 og nýtingartími flutningstapa rúmlega 6.100 stundir. Fyrir slíkan notanda ætti jaðarkostnaður orkuöflunar í vatnsorku nú að vera um 3,3 kr./kWh sem er í góðu samræmi við orkuverðið sem nú býst á íslenska markaðinum. Kostnaður í nýjum jarðgufustöðvum er líklega nokkuð hærri en í vatnsaflsstöðvum eða um eða yfir 4 kr./kWh. og hafa þarf í huga að í rammaáætlun eru núna í virkjunarflokki mest jarðgufustöðvar. Þegar búið verður að nýta flesta leyfilega virkjunarkosti vatnsorku og jarðgufu er líklegt að vindorka geti verið hagkvæmasti orkuvinnslukosturinn með samspili við virkjaða vatnsorku. Kostnaður við orkuöflun í slíkum kostum gæti orðið um 6 kr./kWh.

Ef kostnaður vegna tapa er metinn út frá jaðarkostnaði orkuöflunar ætti því að miða við hækkandi verð á næstu áratugum en að það fari ekki yfir 6 kr./kWh. Hér er lagt til að gera ráð fyrir að orkuverðið vegna tapa fari í 4 kr./kWh á þriðja ári og hækki síðan um 2% á ári uns það verður komið í 6 kr./kWh.

#### 4.5 Rekstrar-, viðhalds- og bilanakostnaður

Í sumum tilfellum getur fallið til kostnaður á fyrsta rekstrarári loftlína sem tengist minniháttar fínstillingu á smærri hlutum eins og tengibúnaði en sá kostnaður er yfirleitt innifalinn í stofnkostnaði. Rekstrarkostnaður loftlína innifelur eftirfarandi þætti:

- Fastur rekstrarkostnaður - netrekstur
- Minni skoðanir – yfirleitt sjónskoðun
- Stærri skoðanir – farið nákvæmlega yfir hvert mastur
- Lagerhald - varaefni
- Útskipti tengibúnaðar sem slitnar með árunum
- Viðhald undirstaða – uppsteypa eða yfirborðsmeðhöndlun
- Þjálfun sérhæfðra starfsmanna
- Bilanakostnaður

Í tilviki jarðstrengja felst rekstrarkostnaður í eftirfarandi þáttum:

- Fastur rekstrarkostnaður - netrekstur
- Eftirlit með strenghita
- Eftirlit eða skoðanir með þverunum, t.d. brýr
- Lagerhald - varaefni
- Þjálfun sérhæfðra starfsmanna
- Bilanakostnaður

Fastur rekstrarkostnaður innifelur kostnað við rekstur þeirrar deildar sem sér um eftirlit, viðhald og skoðanir á kerfinu. Hjá Landsneti kallast þessi deild Netrekstur. Heildarfjöldi starfsmanna er 36 og þar starfar fjöldi sérhæfðra starfsmanna, verkfræðinga, rafvirkja og rafveituvirkja.

Eftirfarandi eru nokkur dæmi varðandi rekstrarkostnað:

##### ECOFYS skýrsla

Loftlínur:	2.000 EUR/km/ár	=	328.000 ISK/km/ár
Jarðstrengir:	500 EUR/km/ár	=	82.000 ISK/km/ár

##### KEMA skýrsla

Loftlínur:	4.771 USD/mílu/ár	=	356.000 ISK/km/ár
Jarðstrengir:	8.739 USD/mílu/ár	=	652.000 ISK/km/ár

##### METSCO greinargerð

Loftlínur:	1,5-2,0% af stofnkostnaði sem eru 984.000-1.312.000 ISK/km/ár miða við stofnkostnaðartölu í skýrslu fyrir 120 km loftlínu.
Jarðstrengir:	0,2-0,5% af stofnkostnaði sem eru 266.000-664.000 ISK/km/ár miða við stofnkostnaðartölu í skýrslu fyrir 120 km jarðstreng.

Landsnet, Lagning raflína í jörð:

Loftlínur: 1,4% af stofnkostnaði sem er 686.000-1.015.000 ISK/km/ár miðað við tölurnar í þessari skýrslu.

Jarðstrengir: 0,2% af stofnkostnaði sem er 228.000-476.000 ISK/km/ár miðað við tölurnar í þessari skýrslu.

Miðað við erlendu tölurnar hér má ætla að rekstrarkostnaður loftlína sé áætlaður í hærrí kantinum bæði hjá METSCO og í skýrslu Landsnets. Fyrir jarðstrengi má gera ráð fyrir að kostnaður vegna bilana vegi þyngra heldur en í loftlínunum og er það talin ein ástæðan fyrir háum kostnaði við jarðstrengi í skýrslu KEMA. Ef farið verður að leggja strengi í stað langra loftlína eru aðstæður við bilanir oft erfiðari en við bestu aðstæður og bilanatími því lengri og á þetta t.d. við um bilanir upp á heiði í samanburði við bilanir í þéttbýlinu á höfuðborgarsvæðinu.

Hér verður miðað við að rekstrarkostnaður loftlína sé 1,4% af stofnkostnaði á ári og fyrir jarðstrengi sé hann 0,2% á ári.

#### 4.6 Förgunarkostnaður

Í þessum útreikningum er tekinn með förgunarkostnaður þegar rekstri er hætt á flutningsvirki og er hann áætlaður 5%. Í greinargerð Landsnets um „Lagningu raflína í jörð“ er gert ráð fyrir að þessi kostnaður sé 5% af stofnkostnaði bæði fyrir loftlínur og strengi. Ef líftími mannvirkis er 40 ár fellur þessi kostnaður til að þeim tíma liðnum og ef hann er núvirtur vegur hann lítið í heildartölunni (um 0,7% í hlutfalli við stofnkostnað).

Landsnet lét fyrir nokkrum árum reikna út kostnað við niðurrif á öllum flutningslínunum í kerfinu. Einnig hefur verið unnið töluvert nákvæm úttekt á kostnaði við niðurrif í tengslum við Suðvesturlínuverkefnið. Í kostnaðarlíkani fyrir loftlínur er miðað við að förgunarkostnaður loftlína sé 5% af stofnkostnaði og byggir sú hlutfallstala á áður nefndum útreikningum og reynslutölum.



## 5 Samanburður á líftímakostnaði

Hér eru teknar saman forsendur sem notaðar eru í líftímaútreikningum og raktar voru í kafla 4. Líftímakostnaður er síðan reiknaður fyrir öll tilvik loftlína og jarðstrengja sem fjallað var um í kafla 3.

### 5.1 Forsendur

Í samræmi við það sem kemur fram í kafla 3, telur EFLA réttast að miða við eftirfarandi forsendur í samanburði á lagningu 120 km langrar loftlínu og jarðstrengs:

Gengi Evru = 159,05 ISK/EUR

Athugunartímabil = 40 ár

Líftími loftlína = 60 ár

Líftími strengja = 40 ár

Reiknivextir = 5,5% í samræmi við það sem hefur verið notað að undanfögnu í athugunum á raforkukerfinu.

Töp = Reiknuð út frá hámarksálagi við eðlilegan rekstur sem er um 70% af flutningsgetu.

Nýtingartími flutningstapa = Sé sá sami og hann var árið 2012 eða um 6.000 stundir.

Rekstrarkostnaður háspennulínu = 1,4% af stofnkostnaði.

Rekstrarkostnaður jarðstrengs = 0,2% af stofnkostnaði.

Orkuverð vegna tapa fyrsta ár sem mannvirki er í rekstri = 3,5 ISK/kWh

Hækkun orkuverðs yfir líftíma mannvirkis = Fer í 4,0 ISK/kWh á þremur árum og hækkar síðan um 2% á ári uns hann nær 6,0 ISK/kWh

Hrakvirði loftlínu eftir 40 ár sé 1/3 af stofnkostnaði

Flutningsgeta 220 kV loftlína = 415 MVA

Flutningsgeta 220 kV jarðstrengja = 300 MVA

Vörugjaldi sem er 15% á strengefni er sleppt

Miðað er við að hitastig leiðara í streng sé 90°C við hámarksálag en meðalhitastig er áætlað 65°C

### 5.2 Líftímakostnaður

Í töflu 6 eru sýndar niðurstöður fyrir 220 kV jarðstrengi við mismunandi aðstæður út frá forsendunum sem raktar voru hér að framan. Samsvarandi tölur fyrir loftlínur eru sýndar í töflu 7 og í töflu 8 er síðan samanburður á milli loftlína og jarðstrengja fyrir þessi tilvik.

**Tafla 6 Núvirði kostnaðar við 1 km af 220 kV jarðstrengi yfir 40 ára tímabil.**

	Grunntilfelli Mkr./km	Hagkvæmar aðstæður Mkr./km	Dalur og á Mkr./km	Í Hrauni Mkr./km	Í útjaðri íbúabyggðar Mkr./km
Stofnkostnaður	114	134	157	162	238
Hrakvirði	0	0	0	0	0
Tapakostnaður	16	16	16	10	16
Rekstur	4	5	5	5	8
Förgun	1	1	1	1	1
<b>Samtals</b>	<b>135</b>	<b>155</b>	<b>179</b>	<b>179</b>	<b>263</b>
Frávik frá ódýrasta	0	20	45	44	129
Hlutfall líftímakostnaðar	1,00	1,15	1,33	1,33	1,96

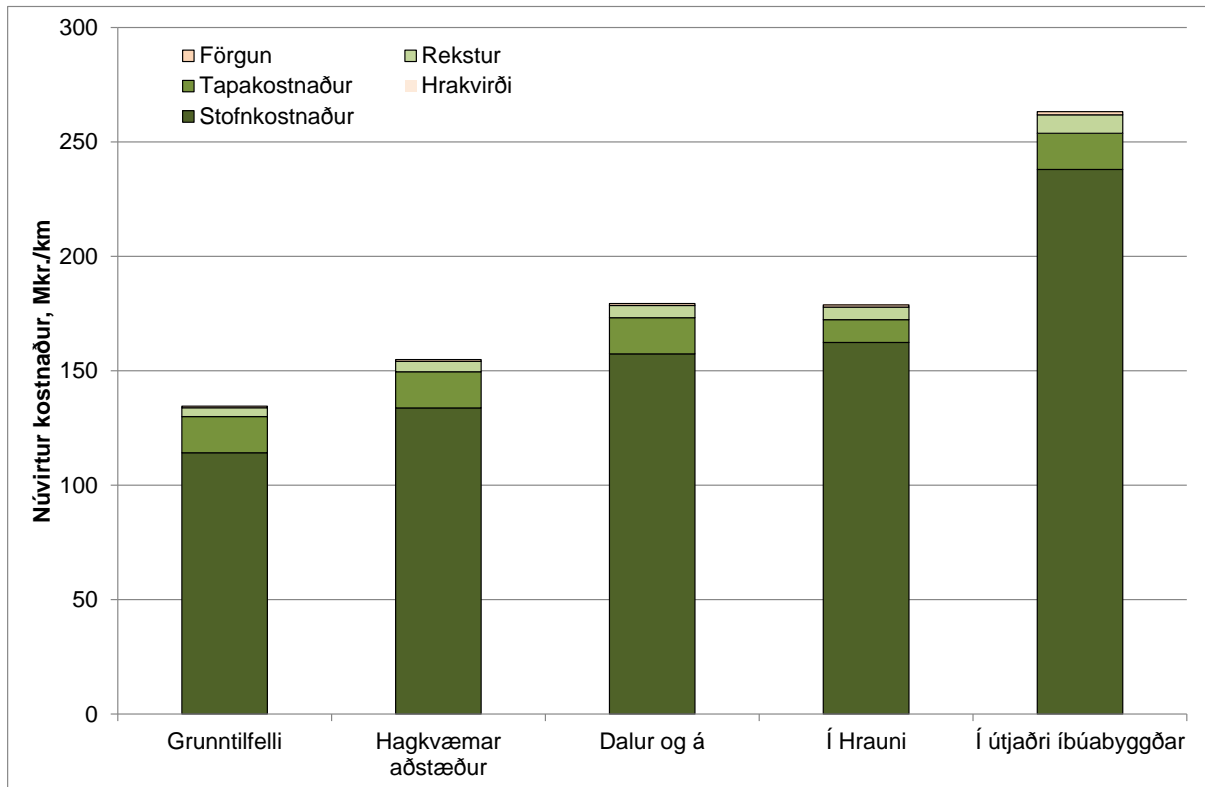
**Tafla 7 Núvirði kostnaðar við 1 km af 220 kV loftlínur yfir 40 ára tímabil.**

	Grunntilfelli Mkr./km	Hagkvæmar aðstæður Mkr./km	Dalur og á Mkr./km	Í Hrauni Mkr./km	Í útjaðri íbúabyggðar Mkr./km
Stofnkostnaður	47	52	62	57	70
Hrakvirði	0	0	0	0	0
Tapakostnaður	21	21	21	21	21
Rekstur	10	11	13	12	15
Förgun	0	0	0	0	0
<b>Samtals</b>	<b>78</b>	<b>84</b>	<b>97</b>	<b>90</b>	<b>106</b>
Frávik frá ódýrasta	0	6	18	12	27
Hlutfall líftímakostnaðar	1,00	1,07	1,24	1,15	1,35

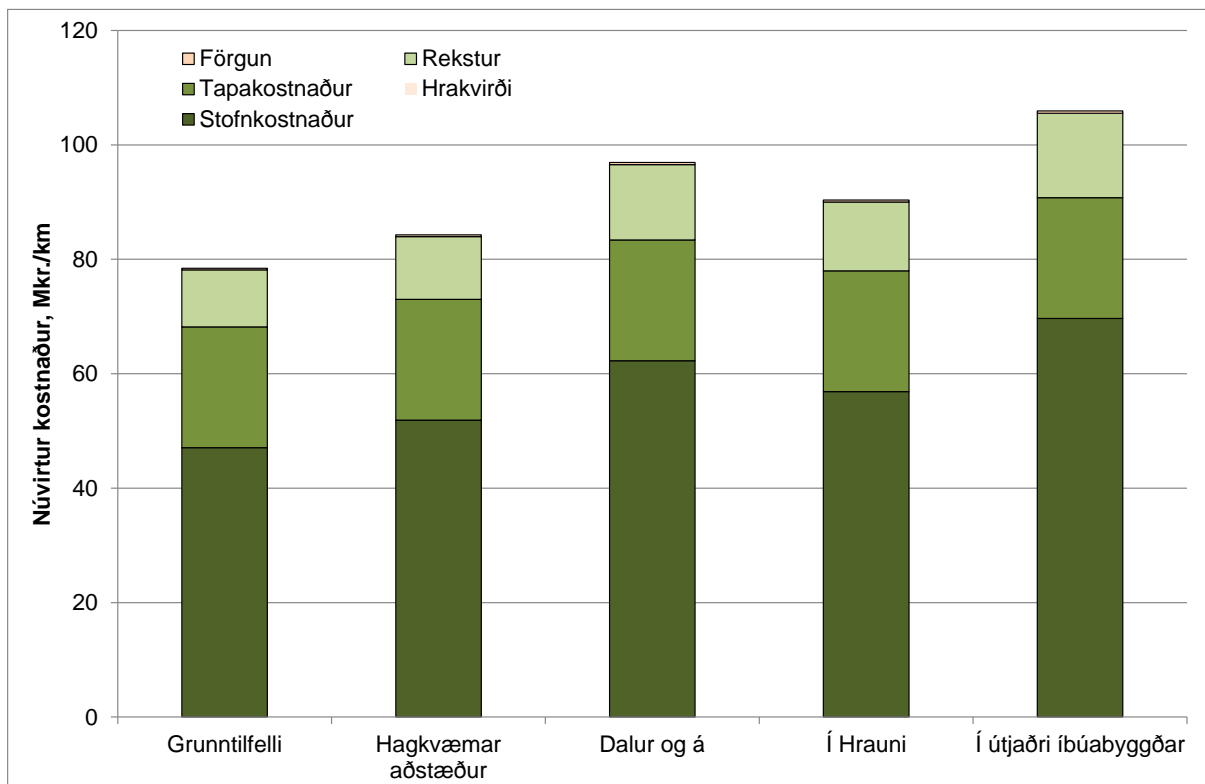
**Tafla 8 Samanburður á núvirði kostnaðar við 1 km af 220 kV loftlínur og jarðstrengjum yfir 40 ára tímabil.**

	Grunntilfelli Mkr./km	Hagkvæmar aðstæður Mkr./km	Dalur og á Mkr./km	Í Hrauni Mkr./km	Í útjaðri íbúabyggðar Mkr./km
Jarðstrengur	145	155	179	179	263
Loftlína	78	84	97	90	106
<b>Munur milli strengs og línu</b>	<b>66</b>	<b>71</b>	<b>83</b>	<b>88</b>	<b>157</b>
Hlutfall líftímakostnaðar	1,84	1,84	1,85	1,98	2,48

Eins og fram kemur í töflum 6 til 8 og myndum 11 og 12 vegur annað en stofnkostnaður mun meiri hjá loftlínunum en jarðstrengjunum en líftímakostnaður jarðstrengja er meira háðari aðstæðum.



**Mynd 11** Núvirtur kostnaður á km við 220 kV jarðstreng yfir 40 ára tímabil.



**Mynd 12** Núvirtur kostnaður á km við 220 kV loftlínu yfir 40 ára tímabil.

### 5.3 Forsendur næmnireikninga

Hér verða skoðuð áhrif þess á niðurstöður að breyta einstökum forsendum reikninga. Skoðaðar verða sjö forsendur og skilgreind há- og lággildi fyrir þær. Einni þeirra er síðan breytt í einu og skoðað hvaða áhrif það hefur á niðurstöðurnar. Forsendurnar sem voru skoðaðar eru sýndar í töflu 9 og þar koma einnig fram há- og lággildin sem voru notuð:

**Tafla 9 Forsendur sem breytt er til að skoða áhrif breyttra forsendna á niðurstöður.**

Forsenda	Hágildi	Forsenda	Lággildi
Stofnkostnaður	5% vikiörk	Líklegasti kostnaður	5% vikiörk
Reiknivextir, %	7,0	5,5	4,0
Rekstrarkostnaður, strengur, %	0,4	0,2	0,18
Rekstrarkostnaður línu, %	2,0	1,2	0,7
Afskriftatími lína, ár	80	60	40
Afskriftatími strengja, ár	60	40	30
Orkuverð	Hækkar um 3% á ári	3,5->4,0->6,0 (2%/ár)	3,5 kr./kWh

Skoðuð eru áhrif á hvert tilvik varðandi jarðstrengi og einnig fyrir hvert tilvik varðandi loftlínu. Einnig eru skoðuð áhrif á samanburðinn milli loftlína og jarðstrengja.

### 5.4 Áhrif á jarðstrengi og loftlínu

Niðurstöður þessara útreikninga á jarðstrengi og loftlínu eru sýndar í töflum 10 til 13. Á myndum 13 til 16eru einnig sýnd áhrif breyttra forsendna á líftímakostnaðinn.

**Tafla 10 Líftímakostnaður við breyttar forsendur fyrir hagkvæmar aðstæður.**

Hagkvæmar aðstæður Atriði sem er breytt	Jarðstrengir			Loftlínu		
	Hágildi Mkr./km	Forsenda Mkr./km	Lággildi Mkr./km	Hágildi Mkr./km	Forsenda Mkr./km	Lággildi Mkr./km
Stofnkostnaður	179	155	135	91	84	77
Reiknivextir	151	155	160	80	84	90
Rekstrarkostnaður	159	155	153	95	84	79
Afskriftatími	150	155	171	83	84	86
Orkuverð	157	155	151	87	84	79



**Tafla 11 Líftímakostnaður við breyttar forsendur fyrir dal og á.**

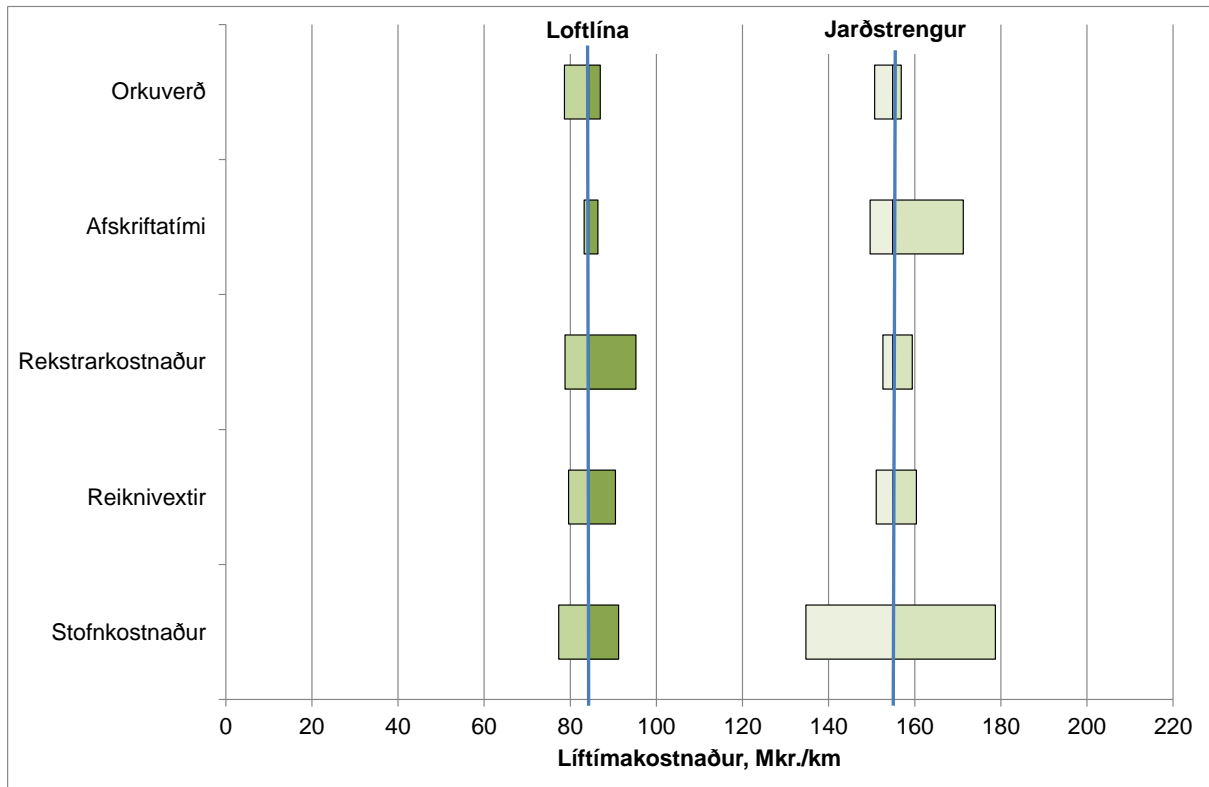
Dalur og á Atriði sem er breytt	Jarðstrengir			Loftlínur		
	Hágildi Mkr./km	Forsenda Mkr./km	Lággildi Mkr./km	Hágildi Mkr./km	Forsenda Mkr./km	Lággildi Mkr./km
Stofnkostnaður	207	179	156	105	97	89
Reiknivextir	175	179	185	92	97	103
Rekstrarkostnaður	185	179	177	110	97	90
Afskriftatími	173	179	199	96	97	99
Orkuverð	181	179	175	100	97	91

**Tafla 12 Líftímakostnaður við breyttar forsendur fyrir hraun.**

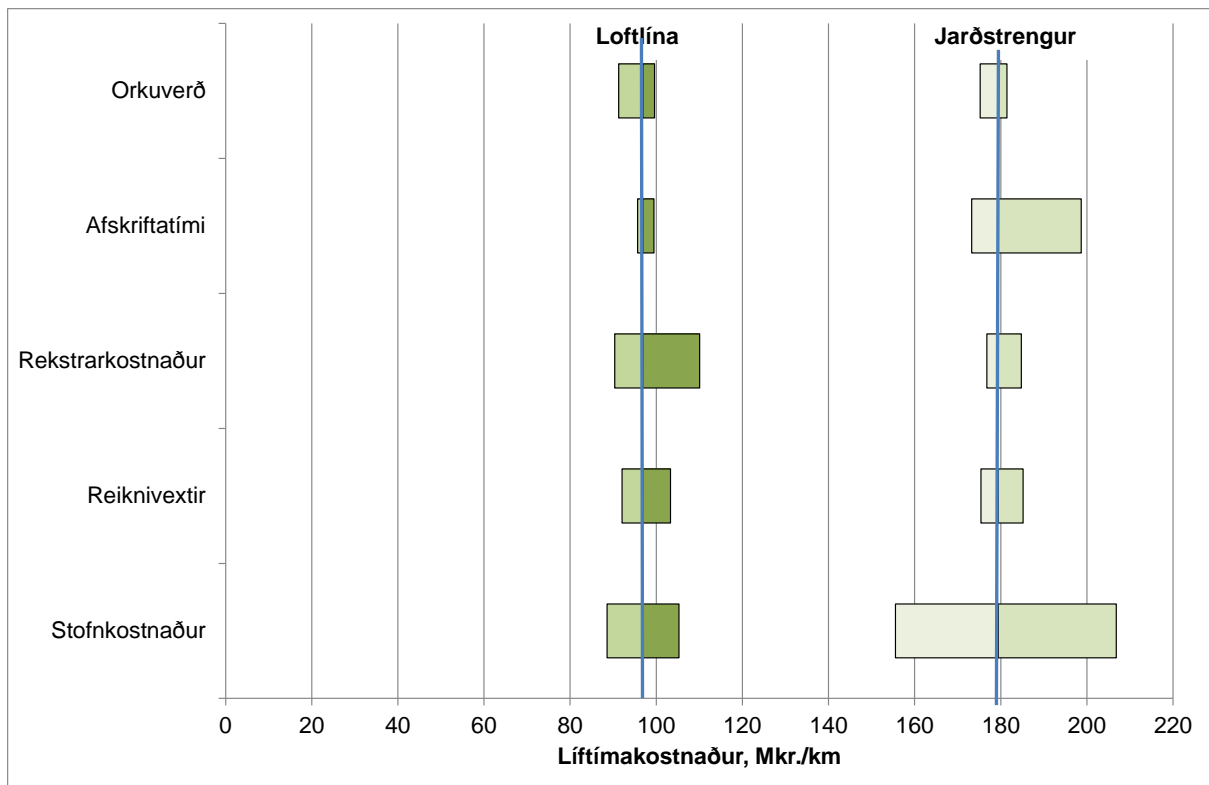
Í hrauni Atriði sem er breytt	Jarðstrengir			Loftlínur		
	Hágildi Mkr./km	Forsenda Mkr./km	Lággildi Mkr./km	Hágildi Mkr./km	Forsenda Mkr./km	Lággildi Mkr./km
Stofnkostnaður	207	179	155	98	90	83
Reiknivextir	176	179	183	86	90	97
Rekstrarkostnaður	184	179	176	102	90	84
Afskriftatími	172	179	199	89	90	93
Orkuverð	180	179	176	93	90	85

**Tafla 13 Líftímakostnaður við breyttar forsendur fyrir útjaðar íbúabyggðar.**

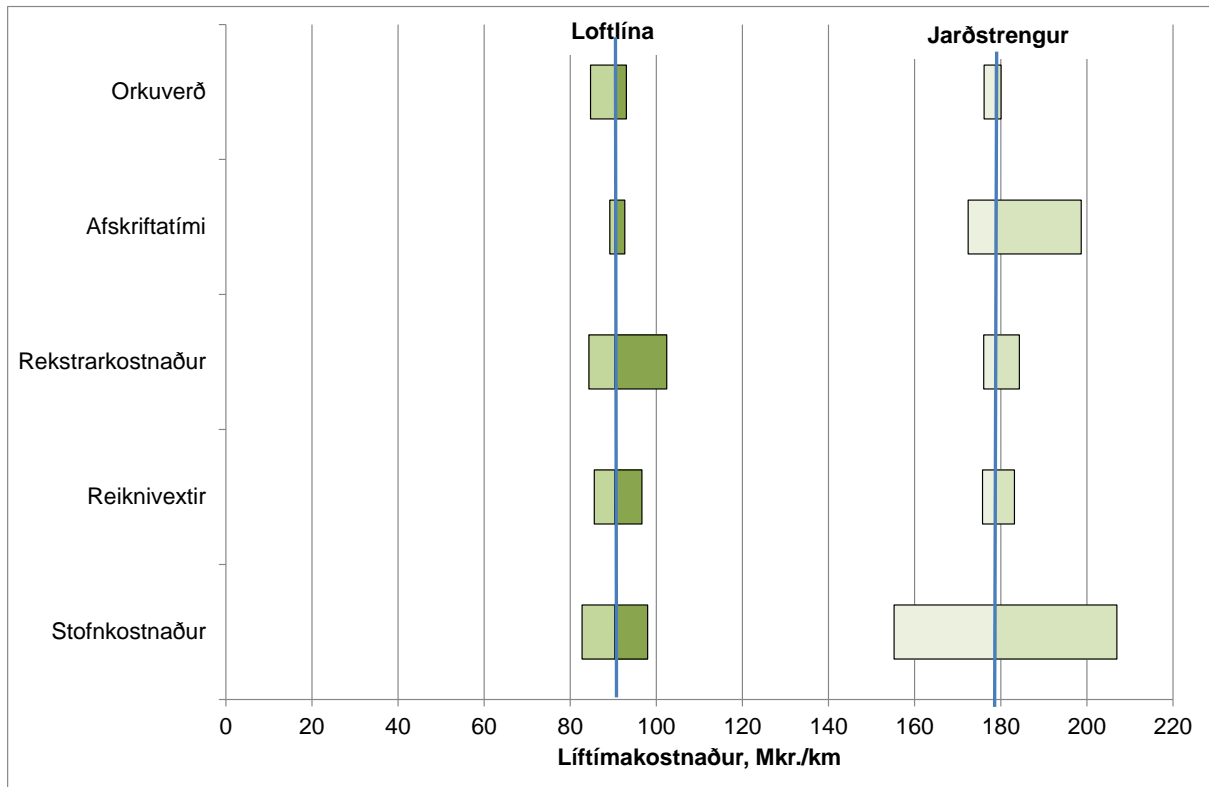
Í útjaðri íbúabyggðar Atriði sem er breytt	Jarðstrengir			Loftlínur		
	Hágildi Mkr./km	Forsenda Mkr./km	Lággildi Mkr./km	Hágildi Mkr./km	Forsenda Mkr./km	Lággildi Mkr./km
Stofnkostnaður	310	263	224	115	106	97
Reiknivextir	259	263	270	101	106	112
Rekstrarkostnaður	271	263	259	121	106	99
Afskriftatími	254	263	292	105	106	109
Orkuverð	278	263	259	109	106	100



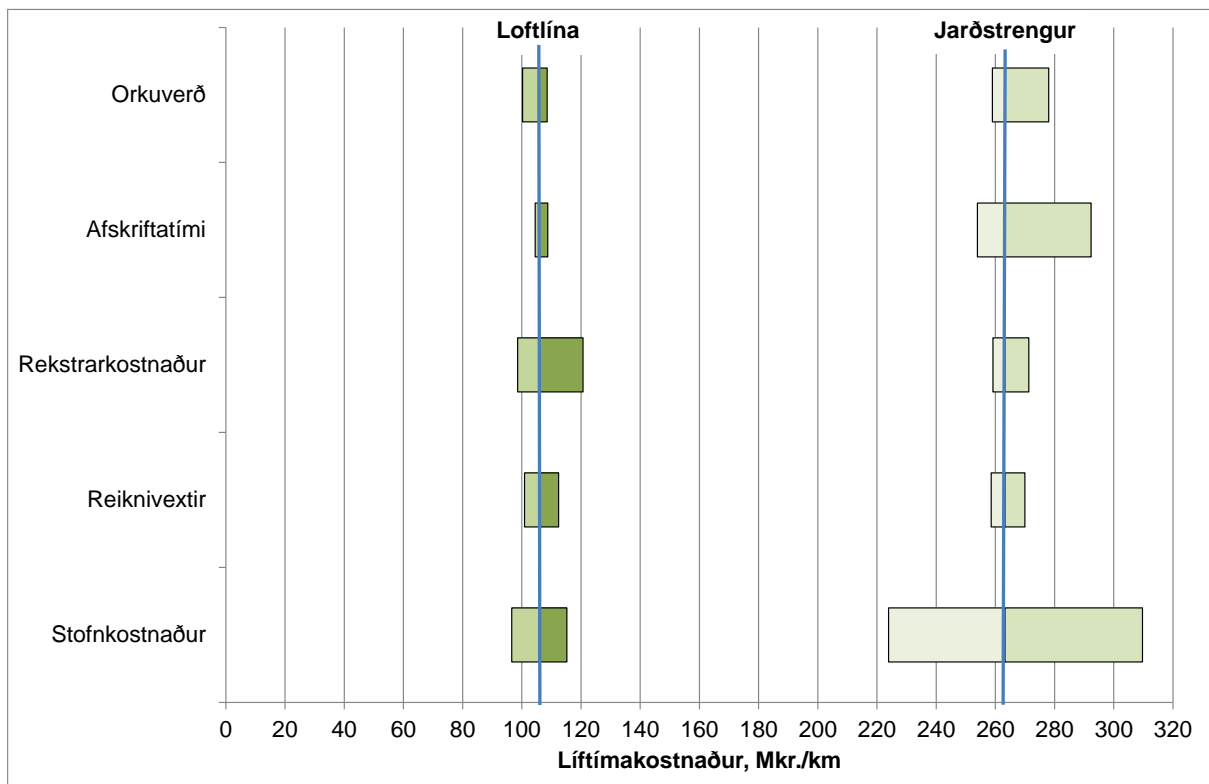
**Mynd 13** Líftímakostnaður jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur fyrir hagkvæmar aðstæður.



**Mynd 14** Líftímakostnaður jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur fyrir dal og á.



**Mynd 15** Líftímakostnaður jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur fyrir hraun.



**Mynd 16** Líftímakostnaður jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur fyrir útjaðar íbúðabyggðar.

## 5.5 Áhrif á samanburð á milli jarðstrengja og loftlína

Niðurstöður þessara útreikninga á samanburð á milli jarðstrengja og loftlína eru sýndar í töflum 14 til 17 og á myndum 17 til 20.

**Tafla 14 Munur við breyttar forsendur á milli jarðstrengs og loftlínu fyrir hagkvæmar aðstæður.**

Hagkvæmar aðstæður Atriði	Jarðstreng breytt			Loftlínu breytt		
	Hágildi	Forsenda	Lággildi	Hágildi	Forsenda	Lággildi
	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km
Stofnkostnaður	94	71	50	64	71	78
Reiknivextir	67	71	76	75	71	64
Rekstrarkostnaður	75	71	68	60	71	76
Afskriftatími	65	71	87	72	71	68
Orkuverð	73	71	66	68	71	76

**Tafla 15 Munur við breyttar forsendur á milli jarðstrengs og loftlínu fyrir dal og á.**

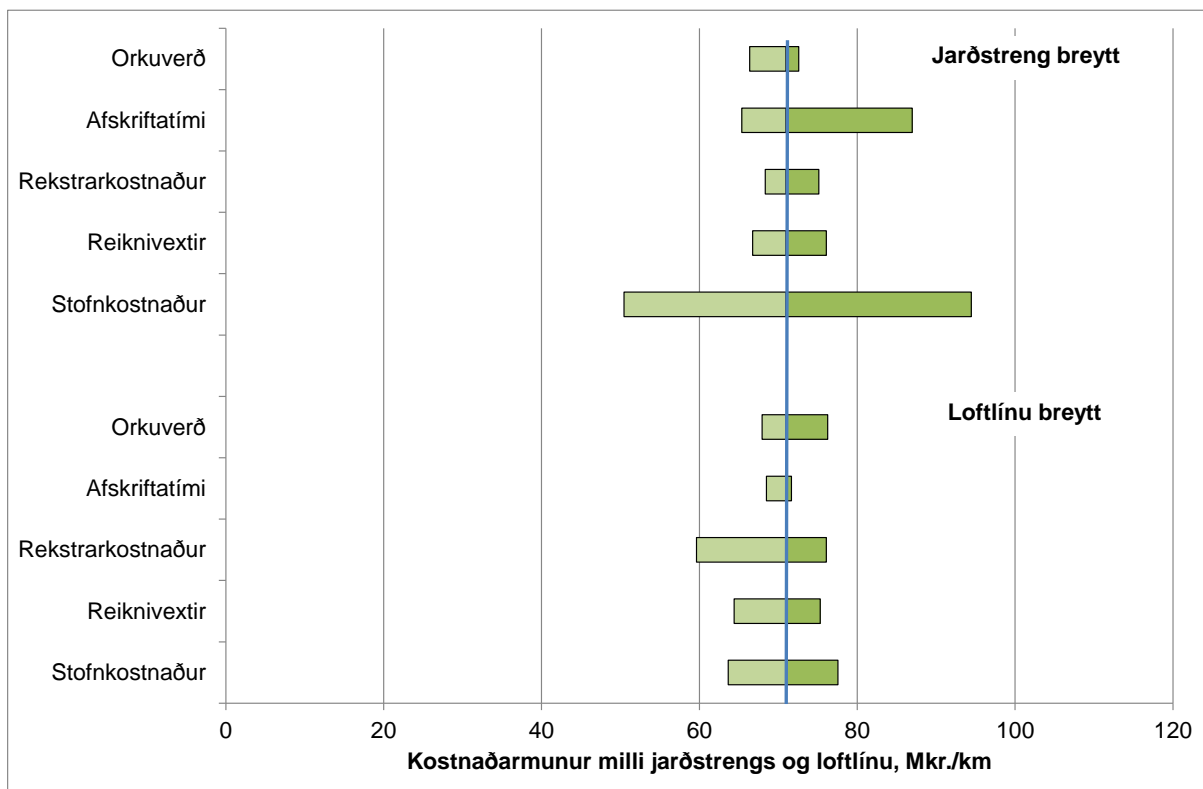
Dalur og á	Jarðstreng breytt			Loftlínu breytt		
	Hágildi	Forsenda	Lággildi	Hágildi	Forsenda	Lággildi
	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km
Stofnkostnaður	110	83	59	74	83	91
Reiknivextir	78	83	88	87	83	76
Rekstrarkostnaður	88	83	80	69	83	89
Afskriftatími	76	83	102	84	83	80
Orkuverð	84	83	78	80	83	88

**Tafla 16 Munur við breyttar forsendur á milli jarðstrengs og loftlínu fyrir hraun.**

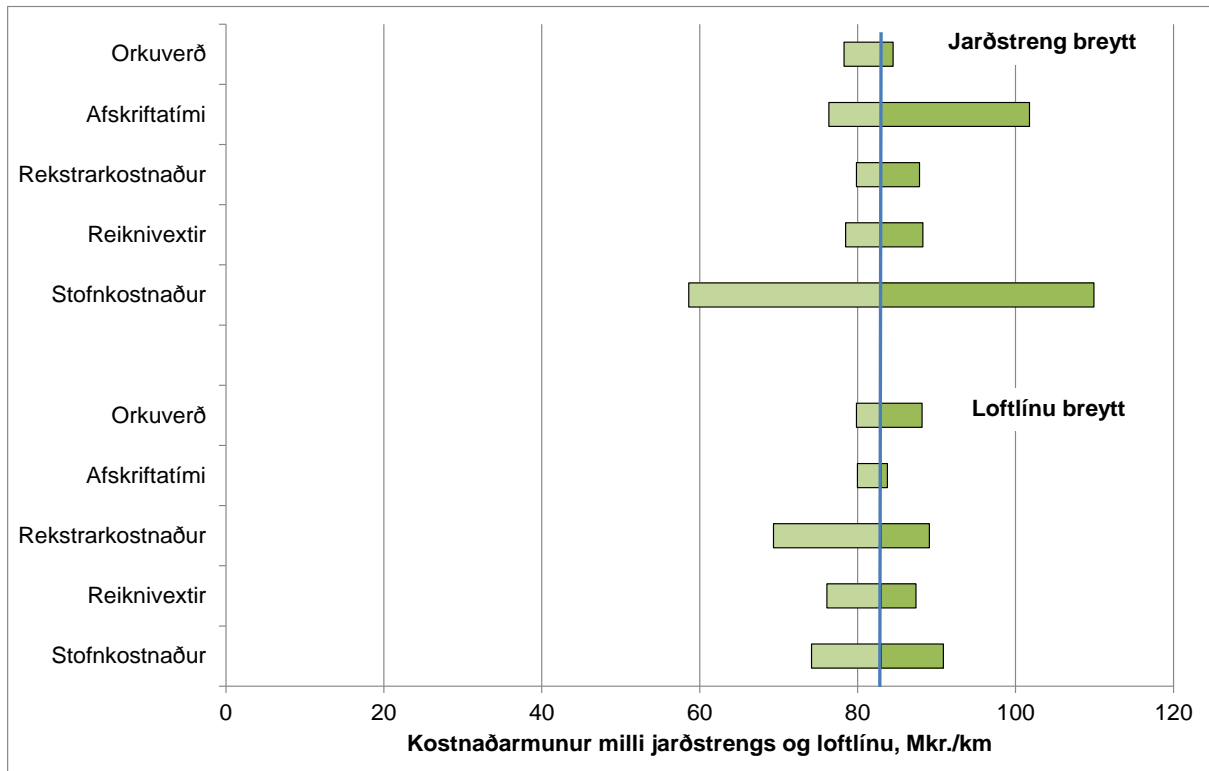
Hraun	Jarðstreng breytt			Loftlínu breytt		
	Hágildi	Forsenda	Lággildi	Hágildi	Forsenda	Lággildi
	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km
Stofnkostnaður	117	88	65	81	88	96
Reiknivextir	85	88	93	93	88	82
Rekstrarkostnaður	94	88	86	76	88	94
Afskriftatími	82	88	108	90	88	86
Orkuverð	90	88	86	86	88	94

**Tafla 17** Munur við breyttar forsendur á milli jarðstrengs og loftlínu fyrir útjaðar íbúabyggðar.

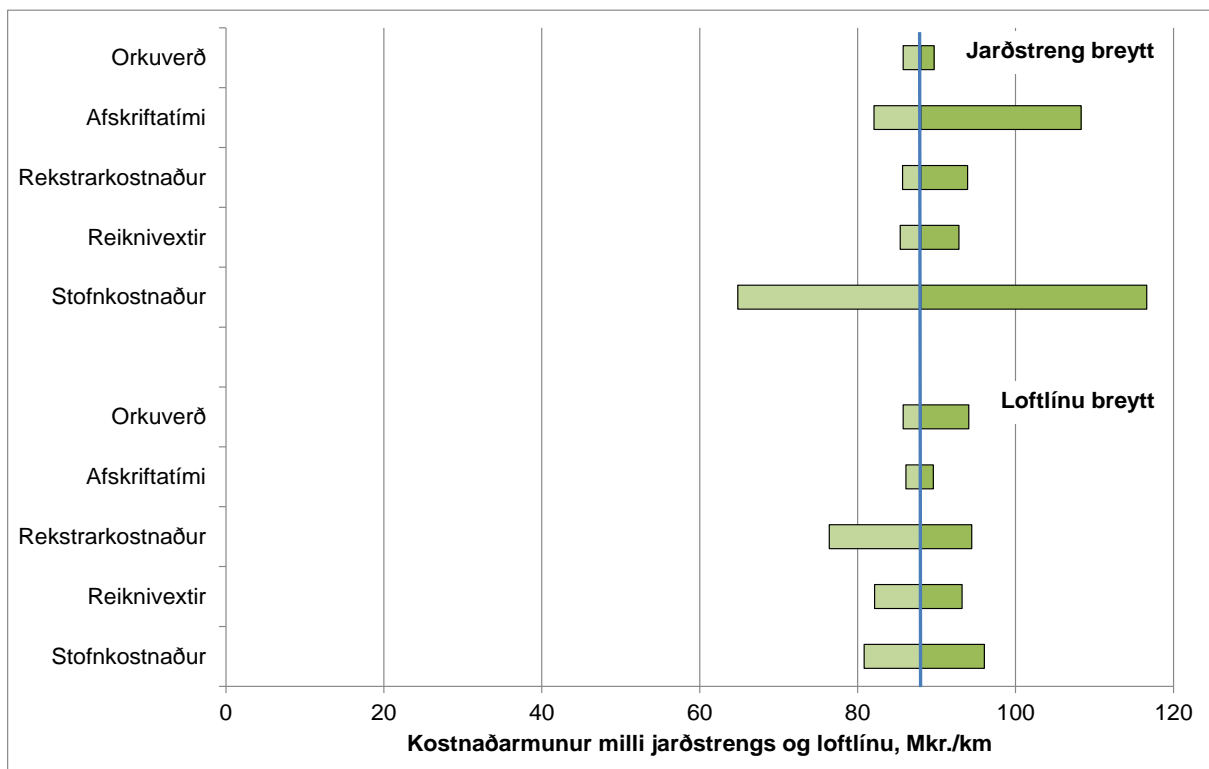
Útjaðar íbúabyggðar	Jarðstreng breytt			Loftlínu breytt		
	Hágildi	Forsenda	Lággildi	Hágildi	Forsenda	Lággildi
	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km	Mkr./km
Stofnkostnaður	204	157	118	148	157	167
Reiknivextir	153	157	164	162	157	151
Rekstrarkostnaður	165	157	153	143	157	165
Afskriftatími	148	157	186	159	157	154
Orkuverð	172	157	153	155	157	163



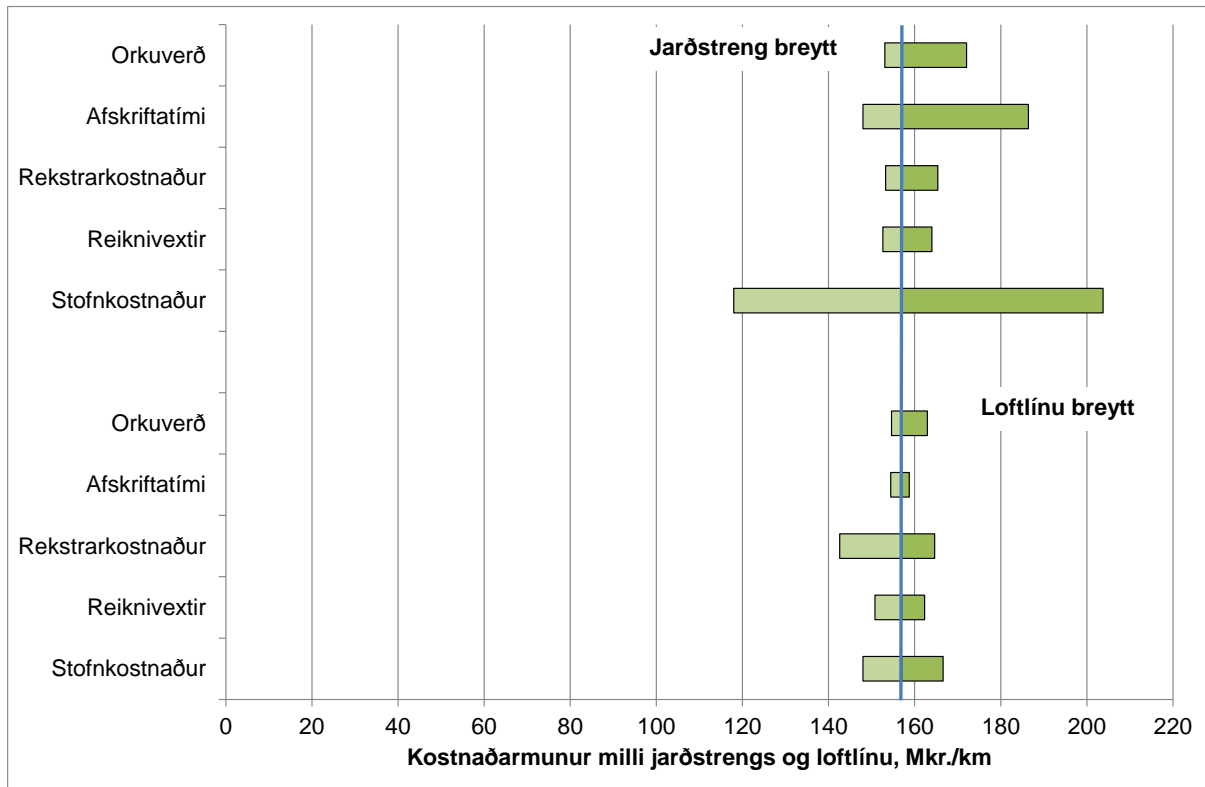
**Mynd 17** Kostnaðarmunur jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur líftímaútreikninga fyrir hagkvæmar aðstæður.



**Mynd 18** Kostnaðarmunur jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur líftímaútreikninga fyrir dal og á.



**Mynd 19** Kostnaðarmunur jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur líftímaútreikninga fyrir hrauni.



**Mynd 20** Kostnaðarmunur jarðstrengs og loftlínu við breyttar forsendur líftímaútreikninga fyrir útjaðar íbúabyggðar.





## 6 TÆKNILEGT MAT

Hér verðar raktir nokkrir þættir sem skipta máli við framkvæmdir í flutningskerfinu. Sumir þessara þátta valda óvissu í kostnaðarmati en aðrir hafa áhrif á sveigjanleika í framtíðinni ef þörf er á meiri flutningsgetu.

### 6.1 Sveigjanleiki

Loftlínur gefa meiri sveigjanleika við uppbyggingu kerfisins en jarðstrengir og auðvelt er að hanna línurnar þannig að hægt sé að auka flutningsgetu þeirra með tiltölulega litlum tilkostnaði síðar meir ef aðstæður kalla á það. Hér á landi hefur oft verið hugsað til framtíðar við hönnun háspennulína til að eiga möguleika á að auka flutningsgetuna án þess að ráðast þurfi í miklar framkvæmdir. Í sumum tilfellum hafa flutningsmannvirki verið hönnuð og byggð fyrir hærra spennustig en þau eru rekin á. Þetta hefur komið sér vel á síðustu árum í fleiri en einu tilviki. Hér að neðan eru nokkur nýleg dæmi sem bera sveigjanleika loftlína vitni.

#### Dæmi 1: 220 kV Norðuráslína 1&2 (Brennimelur - Norðurál)

- Byggðar árið 1998
- Upphafleg flutningsgeta 345 MVA
- Flutningsgeta aukin árið 2006 um rúmlega 80%
- Skipt um leiðara
- Möstur hækkuð að meðaltali um 1,5 m
- Kostnaður við aðgerðir um 30% af framkvæmdakostnaði
- Stækkun álvers Norðuráls úr 180 þúsund tonnum í 300 þúsund tonn

#### Dæmi 2: 220 kV Kolviðarhóslína 1 (Kolviðarhóll – Geitháls)

- Byggð árið 1973/2006 (áður Búrfellslína 2)
- Upphafleg flutningsgeta 304 MVA
- Flutningsgeta aukin árið 2011 um rúmlega 25%
- Skipt um einangrakeðjur í völdum möstrum
- Nokkur möstur hækkuð um 1,0 m
- Kostnaður við aðgerðir um 1,2% af framkvæmdakostnaði
- Ný vél í Hellisheiðavirkjun

#### Dæmi 3: 132 kV Hafnarlína 1 (Hólar – Höfn í Hornafirði)

- Byggð árið 1986 sem 132 kV lína
- Verið rekin á 11 kV
- Loftlína tilbúin fyrir aukinn flutning og 132 kV rekstrarspennu sem verður að veruleika í vetur
- Flutningsgeta loftlínu á 132 kV um 100 MVA
- Nýbygging á umræddri línu er metin á um 140 Mkr
- Aukinn raforkunotkun í sjávarútvegi á Höfn

Landsnet og áður Landsvirkjun, hafa látið framkvæma mat á flutningsgetu margra flutningslína með það að markmiði að nýta betur núverandi mannvirki og fresta þannig að leggja í kostnaðarsamar framkvæmdir í flutningskerfinu. Rarik hefur í gegnum tíðina lagt margar loftlínur sem reknar hafa verið á 66 kV spennu en voru byggðar fyrir 132 kV. Þetta á t.d. við á Austur- og Norðausturlandi. Með rafvæðingu fiskvinnslufyrirtækja t.d. á Eskifirði, hafa opnast möguleikar að auka flutningsgetu fyrir- liggjandi mannvirkja. Breytingar á spennustigi línanna kalla yfirleitt á lítinn útlagðan kostnað. Í mörgum tilfellum er um að ræða lengingu einangraðeðja til að uppfylla kröfur hærra spennustigs. Töluverður kostnaður fellur hinsvegar til við enda línanna, þar sem búnaður í tengivirkjum miðast við það spennustig sem mannvirkin hafa verið rekin á frá því að þau voru tekin í notkun.

## 6.2 Áreiðanleiki og bilanatíðni

Flutningskerfi raforku á 132 og 220 kV spennu á Íslandi nær aftur til ársins 1953 í tilviki 132 kV kerfisins og til ársins 1969 í 220 kV kerfinu. Fyrstu loftlínurnar á þessum spennustigum eru báðar á stálmöstrum. Snemma á 8. áratug síðustu aldar hófst lagning 132 kV byggðalínu hringinn í kringum landið og til Mjólkár á Vestfjörðum. Samhliða þeirri uppbyggingu voru lagðar allmargar 66 kV loftlínur til að tengja meðal annars þéttbýlisstaði við meginflutningskerfið. Langstærstur hluti 66 og 132 kV flutningslínanna er á tréstaurom. Álag frá vindi og ísingu er mikið á Íslandi og hafa orðið nokkur tilvik á síðustu áratugum þar sem kerfin hafa orðið fyrir nokkru tjóni. Stærstu áföllin tengjast þó dreifilínum á lægri spennustigum en 66 kV. Strenglagnir á lægri spennustigum hafa því ekki verið umdeildar og kostnaður áþekkur og fyrir loftlínur. Skemmdir af völdum veðurálags eiga sér stað á afmörkuðum, vel þekktum svæðum í tilviki byggðalínu. Unnið hefur verið í því að styrkja mannvirkin á þessum köflum og truflunum í kerfinu hefur fækkað í kjölfarið.

Haldin hefur verið nákvæm bilanaskráning um áratugaskeið hjá flutningsfyrirtækjum raforku á Íslandi. Þegar litið er á gögn um bilanaskráningu fyrir loftlínur á hærri spennustigum, þ.e. 132 og 220 kV, kemur í ljós að truflanir og/eða skemmdir á mannvirkjum eru afar fátíðar, sérstaklega þegar litið er til flutningslína sem hvíla á stálmöstrum. Síðustu tíu árin hafa að meðaltali orðið 0,3 fyrirvaralausar truflanir á hverja 100 km í 220 kV línunum Landsnets eða 2,4 truflanir á ári. Fyrir 132 kV línur Landsnets er sambærileg tala 1,0 truflun á 100 km á ári.

Viðgerðartími í tilfelli loftlína er nokkuð vel þekktur og er yfirleitt á bilinu nokkrar klukkustundir upp í nokkra daga eftir umfangi bilunar. Að meðaltali var hann rúmar 6 klukkustundir síðustu tíu ár fyrir 220 kV loftlínur Landsnets og um 8,5 klukkustundir fyrir 132 kV línur. Í tilviki jarðstrengja er tíminn yfirleitt mældur í dögum eða vikum. Það er því ljóst að ákveðin hættu getur skapast í flutningskerfinu við það að eining fer úr rekstri í langan tíma. Þrátt fyrir að kerfið sé hannað fyrir N-1, þ.e. að ein eining megi fara úr rekstri án þess að það hafi áhrif á kerfið, myndi langur viðgerðartími gera kerfið viðkvæmt á meðan og líklega yrði skerðanlegum flutningum hætt á meðan á bilun stendur sem mundi kalla á notkun olíu í stað raforku.

Hér má nefna tvö dæmi um bilanatíma loftlínu og jarðstrengs sem eru nokkura ára gömul. Í miklu hvassviðri varð bilun á 220 kV Brennimelslínu 1. Bilunin varð í Þyrilsnesi í Hvalfirði og tók viðgerð um 30 klst. Fyrir fáum árum varð bilun í 132 kV jarðstreng á milli Nesjavalla og Korpu. Bilunin átti sér stað í Mosfellsdal og tók viðgerð á strengnum 9 daga. Almenn reynsla sýnir að viðgerðartími jarðstrengja er mun lengri og krefst þess oft að fengnir séu erlendir sérfræðingar til aðstoðar.

### 6.3 Strengir og varmaviðnám jarðvegs

Flutningsgeta jarðstrengja ræðst mikið af varmaviðnámi jarðvegs umhverfis strengina og er því notað sérvalið efni umhverfis þá til að fá sem mesta varmaleiðni frá strengjunum. Varmaviðnám íslenskra jarðefna hefur verið mælt um nokkurra ára skeið og komið hefur í ljós að það er mun meira hér á landi en víða í nágrannlöndunum þar sem er að finna kvarsríkt berg.

Af þeim steindum sem algengastar eru í bergi er kvars með langminnsta varmaviðnámið. Af því leiðir að kvarsríkt berg og þá kvarsríkur sandur er með lágt varmaviðnám. Til dæmis er granít með um helmingi minna viðnám en basalt sem er algengasta bergtegundin á Íslandi. Hreint kvars getur verið með einn þriðja eða einn fjórða af viðnámi basalts.

Af þessum sökum er flutningsgeta strengja sem lagðir eru á Íslandi minni en sambærilegra strengja í nágrannalöndunum og þar af leiðandi verður hagnýting þeirra dýrari hér. Varðandi samanburð t.d. á dönskum og íslenskum jarðvegsaðstæðum til strenglagna standa væntanlega tvö atriði upp úr. Í fyrsta lagi aðgengi að sandi með háu kvarsinnihaldi sem er til staðar í Danmörku en ekki hér á landi. Í öðru lagi gæði lands til graftar, þ.e. laus gröftur í berandi jarðlögum í Danmörku og víðar á meginlandinu, samanborið við hærra hlutfall í klöpp, hrauni eða mýri hér á landi.

### 6.4 Umhverfiskostnaður

Inn í stofnkostnað strengja og loftlína koma áætlaðar bætur fyrir land en ekki hefur verið reynt að meta kostnað vegna áhrifa mannvirkja á umhverfið. Slíkar bætur eru breytilegar vegna aðstæðna á hverjum stað og hærri í þéttbýli en dreifbýli. Mikilvægt er að fylgst sé vel með því hvaða bætur er verið að semja um fyrir land sem fer undir framkvæmdir sem þessar til að hægt sé að hafa sem best mat á slíku í kostnaðarlíkönunum fyrir loftlínur og strengi.

Erfitt er að meta kostnað vegna áhrifa mannvirkja á umhverfið og hann er einnig breytilegur eftir aðstæðum á hverjum stað fyrir sig, hvort sem er fyrir loftlínur eða strengi. Þessi þáttur hefur því ekki verið tekinn inn í útreikningana í þessari skýrslu. Ef taka á slíkan kostnað með þegar verið er að skoða líftímakostnað þarf að liggja fyrir gott mat á þeim þætti.



## HEIMILDIR

ECOFYS, 2008: *Study on the Comparative Merits of Overhead Electricity Transmission Lines versus Underground Cables*. Unnið fyrir Department of Communications, Energy and Natural Resources, Ireland.

Energinet, 2013: *Kabelhandlingsplan 2013*.

Europacable, 2009: *Kynning sem er að finna á heimasíðu fyrirtækisins, Extra High Voltage Underground Power Cables – Facilitating & Enabling Europe's Electricity Supply*. [http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/root/pdf/2009/EHV\\_Underground\\_Power\\_Cable.pdf](http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/root/pdf/2009/EHV_Underground_Power_Cable.pdf)

General Cable, 2007: *Kynning sem er að finna á heimasíðu fyrirtækisins Medium Voltage Cables. Life Expectancy*. [http://www.eea.co.nz/Attachment?Action=View&Attachment\\_id=419](http://www.eea.co.nz/Attachment?Action=View&Attachment_id=419).

J.-L. Parpal, J.-F. Drapeau, C. Potvin, D. Jean, D. Lalancette og P.-E. Beaudoin, 2007: *Water-tree Aging Characterization of MV XLPE Cable Insulation Using Time Domain Spectroscopy (TDS)*. 19th International Conference on Electricity Distribution, Vienna.

KEMA, 2012: *Life-Cycle 2012. Connecticut Siting Council Investigation into the Life-cycle Costs of Electric Transmission Lines*.

Landsnet, 2013: *Lagning raflína í jörð*. Greinargerð 2.

METSCO, 2013a: *Comparison of Underground and Overhead Transmission Options in Iceland (132 and 220 kV)*. Greinargerð unnin fyrir Landvernd.

METSCO, 2013b: *Samanburður á jarðstrengjum og loftlínunum á Íslandi (132 og 220 kV)*. Kynning á vegum Landverndar frá 13. nóvember.

Parsons and Brinckerhoff, 2012: *Electricity Transmission Costing Study. An independent Report Endorsed by the Institution of Engineering and Technology*.

Ruben Vogelsang, Oldrich Sekula, Herbert Nyffenegger og Werner Weissenberg, 2009: *Long-term experiences with XLPE cable systems up to 550 kV*. CIGRE SC B1, Konferenca Slovenskih Elektroenergetikov – Kranjska Gora.

XcelEnergy, 2011: *Skjal á heimasíðu fyrirtækisins*, <http://www.xcelenergy.com/staticfiles/xcel/Regulatory/Transmission/OverheadvsUnderground.pdf>.