



Notkun jarðstrengja í flutningskerfum raforku

Jón Bergmundsson rafmagnsverkfræðingur

Kjartan Gíslason rafmagnstæknifræðingur



EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT	3
1 INNGANGUR	5
2 LOFTLÍNUR OG JARÐSTRENGIR – ALMENN LÝSING	6
2.1 FLUTNINGSMANNVIRKI RAFORKU.....	6
2.1.1 Loftlína	6
2.1.2 Háspennustrengur.....	7
2.1.3 Helgunarsvæði flutningsvirkja og jarðrask.....	8
2.1.4 Launafl – hvað er það?.....	9
2.1.5 Kostir lína og strengja	10
2.1.6 Samanburður kostnaðar.....	11
3 JARÐSTRENGSLÖGN - HÖNNUN	12
3.1 KRÖFUR UM FLUTNINGSGETU	12
3.2 AÐSTÆÐUR Á STRENGLEIÐ	14
3.2.1 Skipulag	14
3.2.2 Jarðvegsgerð	14
3.2.3 Varmaviðnám jarðvegs.....	14
3.2.4 Þveranir á strengleið	16
3.3 FYRIRKOMULAG STRENGLAGNA	18
3.3.1 Fyrirkomulag strengja í skurði	18
3.3.2 Samtengingar strengja og víxlanir leiðara og skerma	18
3.3.3 Söndun strengja og þjöppun	21
4 JARÐSTRENGSLÖGN - JARÐVINNA	23
4.1 LEIÐARVAL	23
4.2 AÐFERÐIR VIÐ LAGNINGU JARÐSTRENGJA.....	23
4.3 VERKÞÆTTIR Í JARÐVEGSVINNU	25
4.3.1 Hönnun skurðsniðs	26
4.3.2 Uppgröftur	26
4.3.3 Söndun strengja – Efnisval og eiginleikar.....	27
4.3.4 Yfirborðsfrágangur	27
5 JARÐSTRENGSLÖGN - KOSTNAÐUR	28
5.1 INNKAUP Á STRENG, TENGIEFNI OG TENGIVINNU.....	28
5.1.1 Útboð á strengjum, tengiefni og tengivinnu	28
5.1.2 Flutningskostnaður og opinber gjöld	29
5.2 JARÐVINNA.....	31
5.3 ÚTDRÁTTUR, FRÁGANGUR Í SKURÐI OG AÐSTOÐ VIÐ TENGIVINNU	31
5.4 ANNAR KOSTNAÐUR	32
5.5 SAMANBURÐUR Á STOFNKOSTNAÐI LOFTLÍNA OG JARÐSTRENGJA.....	33
5.6 SAMANBURÐUR Á REKSTRARÞÁTTUM LOFTLÍNA OG JARÐSTRENGJA.....	34
6 TÆKNILEGIR ÞÆTTIR JARÐSTRENGSKERFA	35
6.1 STRENGIR SEM KERFISEININGAR	35
6.1.1 Samsíða rekstur loftlínu og jarðstrengs	35
6.1.2 Yfirspennur, yfirtónar eigintíðni.....	36
6.2 TAKMARKANIR Á LENGÐ JARÐSTRENGJAKERFA	36
6.3 JARÐSTRENGIR FRAMTÍÐARINNAR	37
7 UMHVERFISÁHRIF JARÐSTRENGJA	39
7.1 SÝNILEIKI JARÐSTRENGLAGNAR	39
7.1.1 Jarðstrengslögn í skipulögðu þéttbýlissvæði.....	39
7.1.2 Jarðstrengslögn meðfram vegi utan skipulagðs þéttbýlis	40
7.1.3 Jarðstrengslögn í grónu landi.....	40
7.1.4 Jarðstrengslögn í gegnum hraun.....	41
7.2 RAFSEGULSVIÐ.....	42
7.3 LÍFTÍMI JARÐSTRENGSLAGNA OG AFTURKVÆMNI	43
7.4 SAMANBURÐUR Á UMHVERFISÁHRIFUM LOFTLÍNA OG JARÐSTRENGJA	43

8	NOTKUN JARÐSTRENGJA Í RAFORKUKERFUM.....	46
9	STEFNA LANDSNETS Í NOTKUN JARÐSTRENGJA.....	48
	HEIMILDASKRÁ	49

1 INNGANGUR

Á síðustu árum hefur skapast umræða á hér á landi og í nágrannalöndum okkar um þann möguleika að leggja flutningslínur sem jarðstrengir í stað loftlína. Háspennulínur með yfir 100 kV spennu eru almennt lagðar sem loftlínur hér á landi eins og gert er í nágrannalöndum okkar og reyndar um heim allan. Þó eru þess dæmi að flutningslínur séu lagðar sem jarðstrengir og er það aðallega gert vegna sérstakra umhverfshagsmuna eða af öryggisástæðum t.d. við flugvelli eða í þéttri byggð. Sé eingöngu litið til sjónrænna áhrifa á endingartíma línanna væri það víða álitlegt að leggja þær í jörð. Um kostnaðar- og rekstrarsjónarmið gegnir öðru máli. Kostnaður, tæknilegir vankantar og minna afhendingaröryggi eru helstu ástæður þess að ekki er valið að leggja flutningslínur á hárru spennu í jörð.

Í þessari samantekt er fjallað um jarðstrengslagnir í flutningskerfum raforku. Farið er í gegnum nokkur undirstöðuatriði er varða hönnun jarðstrengslagna og framkvæmdir. Skýrt er á aðgengilegan hátt hvaða atriði koma upp við hönnun slíkra lagna og greint frá lausnum. Þá er fjallað um hvernig kostnaður við jarðstrengslagnir myndast, bæði vegna erlends efnis og vegna jarðvinnu. Þá er fjallað um umhverfisþætti sem snúa að jarðstrengjum og gerður samanburður við lagningu loftlína. Að lokum er fjallað um notkun jarðstrengja í raforkukerfum almennt.

Í viðauka 1 við „Lög um mat á umhverfisáhrifum“ eru taldar upp þær framkvæmdir sem alltaf eru háðar mati á umhverfisáhrifum. Í tölulið 22 eru nefndar loftlínur utan þéttbýlis á 66 kV spennu og hærri og sæstrengir á 132 kV spennu og hærri sem eru 20 km eða lengri. Í viðauka 2 er yfirlit yfir framkvæmdir sem kunna að hafa í för með sér umtalsverð umhverfisáhrif og er metið í hverju tilviki hvort þær skulu vera háðar mati á umhverfisáhrifum. Í tölulið 3, staflíð b. er nefndur flutningur raforku með jarðstrengjum utan þéttbýlis sem eru 10 km og lengri.

Jarðstrengslagnir þarf í öllum tilvikum að færa inn á skipulagsuppdrætti viðkomandi sveitarfélaga sem veita þarf framkvæmdarleyfi áður en framkvæmd hefst.

2 LOFTLÍNUR OG JARÐSTRENGIR – ALMENN LÝSING

2.1 Flutningsmannvirki raforku

Nútíma samfélag kallar sífellt á meiri orku sem aftur leiðir til þess að nauðsynlegt er að leggja fleiri eða endurnýja flutningsrásir. Til að leggja flutningsrás eru ýmist notaðar háspennulínur eða háspennustrengir.

Þó að hlutverk háspenntra loftlína og jarðstrengja sé það sama er eðlismunur þeirra töluverður. Frá fyrstu tíð og fram til dagsins í dag er loftlína verið fyrsti kostur þegar skoðuð er uppbygging eða endurnýjun flutningsvirkja.

2.1.1 Loftlína

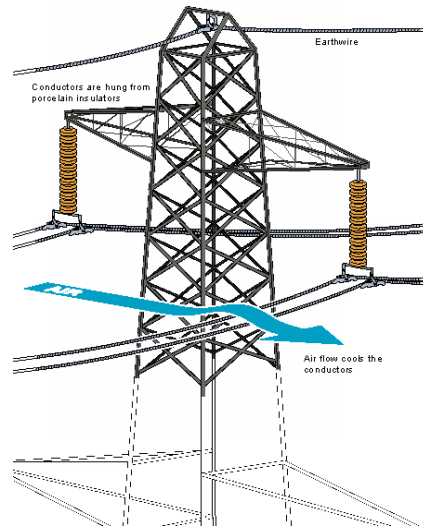
Háspennuloftlína er í eðli sínu einfalt mannvirki. Leiðari er hengdur upp í einangra í mastri og loft notað til að einangra hann frá jörðu. Þetta fyrirkomulag byggir á þeirri staðreynd að andrúmsloftið leiðir almennt illa rafmagn. Eiginleikar andrúmsloftsins er þó ekkert stöðug fyrirbrigði eins og allir Íslendingar þekkja af síbreytilegu veðurfari.



Mynd 1 Dæmigerð 220 kV lína

Möstur háspennulína taka talsvert landrými. Helgunarsvæði er það svæði við háspennulínur þar sem ekki er heimilt að byggja hús þar sem búast má við að fólk dveljist í umtalsverðan tíma, en minniháttar kofa og skýli má reisa.

Kostir háspennulína eru þeir helstir að þær eru einfalt mannvirki, auðvelt er að halda uppi reglubundnu eftirliti og staðsetja bilanir ef um það er að ræða. Hægt er að hefjast handa við viðgerð nánast um leið og bilunin er staðsett.



Mynd 2 Vindur kælir leiðara loftlína

2.1.2 Háspennustrengur

Háspennustrengur er yfirleitt grafinn í jörðu. Hann getur verið þrír einangraðir leiðarar pakkaðir sameiginlega innan í strengjakápu eða verið þrír óháðir strengir með einum leiðara hver (einleiðari). Efnisuppbygging strengs með þremur leiðurum eða einum leiðara er í grundvallaratriðum eins. Í upphafi vor strengir einangraðir með olíu eða pappír sem gegndreyptur hafði verið í olíu, en uppúr 1960 byrjaði plasteinangrun (XLPE) að taka yfir.

Efnisuppbygging strengs gerir það að verkum að kæligeta strengjaleiðara er margfalt verri en línu. Utan við leiðarann og einangrun hans er komið fyrir málmskermi, oftast kopar, sem ætlað er að deyfja og jafna segulsvið sem myndast í kringum leiðarann sem flytur riðstraum. Það sem ræður straumflutningsgetu strengs, fyrir utan gildleika hans, er að stærstum hluta kæling. Straumur í skermi strengs hefur áhrif á straumflutningsgetu því hann framleiðir varma í skerminum og takmarkar kælingu strengleiðarans.



Mynd 3 Einleiðari

Nokkur ráð eru til að losna við straum í skermi strengs. Ein er að tengja ekki annan enda skermsins og rjúfa þannig straumrásina. Hin leiðin er að nota einleiðarastrengi og víxla skermum þeirra reglulega þannig að við útlögn strengja tengist skermur eins fasa við annan fasa – þetta er gert 2, 5 eða 8 sinnum. Með þessu móti upphefur rafsvið strengsins að mestu þá spennu og þann straum sem spanast í skermi strengsins.

Þessi slaka kæling háspennustrengja veldur því að flutningsgeta strengjaleiðara miðað við samsvarandi línuleiðara (mælt í mm²) er lakari.

Kostir háspennustrengja eru hins vegar að rekstur þeirra er að mestu óháður verðurfari og sjónáhrif þeirra eru í lágmarki. Þá þarf minna landrými undir strenglög.

Ókostir strengja eru hins vegar að óvist er að hægt sé að staðsetja bilun eins fljótt og háspennulína. Hægt er að mæla bilunarstað jarðstrengs, eins og háspennulínu, en hins

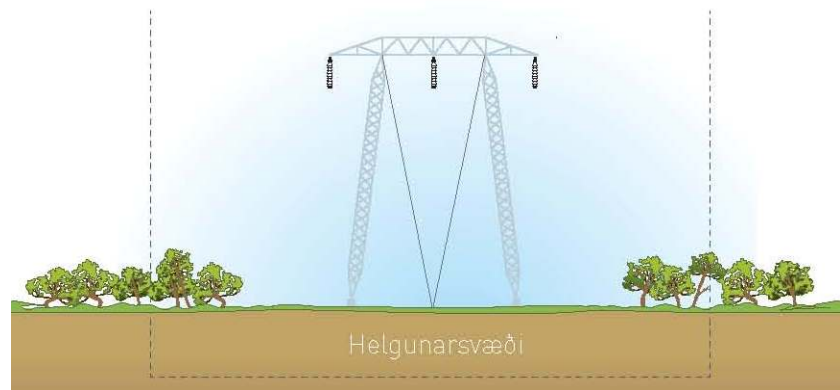
vegar er seinlegra að grafa niður á strenginn og staðsetja t.d. einangrunarbilun nákvæmlega. Fyrst þarf að grafa niður á strenginn og síðan langsum eftir honum þar til bilun finnst. Þegar bilun er staðsett er frekari undirbúningur nauðsynlegur s.s. að byggja skýli yfir bilunarstað ef gera þarf við strenginn. Þá ber þess að geta að líftími strengja er skemmri en loftlína, 30-40 ár í stað 50 til 60 ára í loftlínunum.

2.1.3 Helgunarsvæði flutningsvirkja og jarðrask

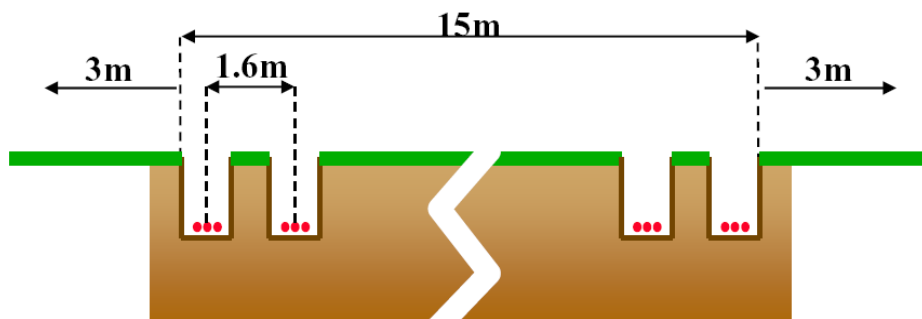
Hönnun háspennulína á hærri spennu en 45 kV er samkvæmt staðlinum ÍST EN 50341-1:2000, sbr. reglugerð nr. 586/2004. Í íslenska viðaukanum, EN 50341-3-12:2001 er kveðið á um hvernig ákvarða eigi þá lágmarksfjarlægð sem skuli vera að öðrum byggingum en minniháttar skúrum eða kofum. Helgunarsvæði eða byggingarbann eykst við hækkandi spennu en er einnig mjög háð gerð línunnar. Því er ekki hægt að gefa ákveðna fasta tölu um byggingarbann.

Háspennustrengir þurfa, eins og háspennuloftlínur, sitt helgunarsvæði þó það sé umtalsvert minna en loftlína. Breidd helgunarsvæðis háspennulína er frá 35-45 m fyrir 132 kV spennu, upp í 75-90 m fyrir 400 kV spennu.

Helgunarsvæði jarðstrengja er minna en loftlína og ræðst mikið af því hvernig þeir eru lagðir. Strengur með þrjá leiðara og einleiðari lagður í þríhyrning krefjast lágmarkssvæðis. Eitt sett einleiðara-strengja (þrjár fasar) lagðir í flatri uppröðun krefjast stærra helgunarsvæðis, tvö sett einleiðara-strengja lagðir í flatri uppröðun krefjast enn stærra helgunarsvæðis. Búast má við 14-17 m breiðu helgunarsvæði fyrir eitt 400 kV 1600 mm² jarðstrengjasett – þrjár einleiðarar í flatri uppröðun - ásamt slóða og vinnusvæði við hlið lagnaleiðar. Fyrir tvær rásir er svæðið í heild mun breiðara.



Mynd 4 Helgunarsvæði loftlínu – eykst með hærri spennu



Mynd 5 400 kV jarðstrengir, 2 flutningsrásir með 2 settum hvor

Á myndinni hér að neðan má sjá lögn á tveimur 400 kV flutningsrásum með jarðstrengjum þar sem hvor rás inniheldur tvö sett af strengjum.



Mynd 6 Framkvæmdir við 2ja rása 400 kV jarðstrengslögn

Jarðrask vegna loftlína er einkum vegna slóðagerðar og vegna gerðar vinnusvæða við hvert masturstæði. Milli mastra getur land verið óraskað, sérstaklega ef ekki er þörf á lagningu samfelldra slóða. Við lagningu jarðstrengs þarf að raska jarðvegi alla leið strengsins. Samkvæmt samanburði loftlínu og jarðstrengsvalkosta er talið að um 6-sinum meira svæði raskist vegna kjarðstrengslagnar en loftlínu.

2.1.4 Launafl – hvað er það?

Einn grundvallarmunur á loftlínu og jarðstreng er eiginleiki þeirra til að mynda launafl. Launafl, mælt í VAR er eðlilegur og nauðsynlegur fylgifyskur riðspennu, en launaflið framkvæmir ekki neina vinnu. Yfirleitt er talað um að launafl myndist í þéttum og strengjum en sé notað í spólum, þar með töldum mótórum. Launaflið tekur upp ákveðna flutningsgetu í línun og strengjum og því meira launafl sem er flutt þeim mun minna raunafl er hægt að flytja.

Strengir og línur framleiða mismikið launafl – strengir um 20-50 sinnum meira en línur. Of mikið launafl í flutningskerfinu hækkar spennu og gerir stýringu hennar erfiða og jafnvel ómögulega. Nauðsynlegt er að jafnvægi ríki hverju sinni á milli notkunar og framleiðslu launafls í flutningskerfinu.

Ef strengur er það langur að hann er farinn að hafa áhrif á spennustýringu flutningskerfisins þarf að jafna út rýmdaráhrifum hans með útjöfnunarstöð. Útjöfnunarstöð felst í að spóla (shunt reactor) er tengd við streng. Umbúnaður spóla svipar til aflspenna – sjá mynd 7 – nema ekkert úttak er á spólunni.



Mynd 7 400 kV launafsljöfnunarstöð

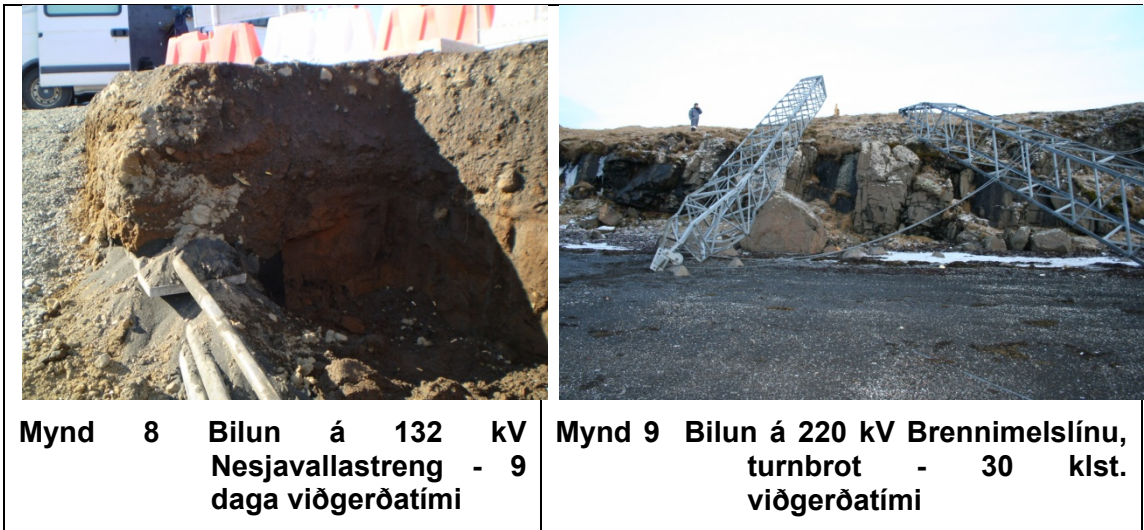
Tengja þarf spólurnar við spennu á 5-20 km millibili en fjarlægðin ræðst af spennu strengsins og eiginleikum flutningskerfsins hverju sinni. Spólan er tengd með því að taka enda strengjahlutanna upp úr jörðu, setja í tengimúffur og tengja við spólurnar. Einnig er nauðsynlegt að setja yfirspennuvara til varnar yfirspennu. Á mynd 7 sést annar endi strengs, yfirspennuvari og spóla (shunt reactor).

Allur þessi rafbúnaður krefst landrýmis við lagnaleið strengsins. Ef þessum búnaði er komið fyrir utandyra má búast við rýmisþörf frá 150 – 1000 m² miðað við 132 kV – 400 kV og háð stærð spólurnar (MVA_r). Ef spólu væri komið fyrir innandyra verður rýmisþörfin eitthvað minni. Mögulegt er að útfæra spólu þannig að hægt er að stýra hversu mikið rýmdaraflí hún notar (tekur til sín) hverju sinni.

2.1.5 Kostir lína og strengja

Af ofantöldu er ljóst að þó háspenntum loftlínnum og jarðstrengjum sé ætlað sama hlutverk þá henta þessi raforkuvirki misvel til að flytja raforku til notanda.

Samanburðatölur á bilunartíðni jarðstrengja og loftlína sýnir að jarðstrengir bila sjaldnar. Hins vegar er viðgerðartími strengja lengri en lína og lengist með hækkandi spennu. Ef borin er saman sá tími sem lína eða strengur er tiltæk í rekstri kemur í ljós að þá er farið að halla á strengina og því meira sem spennan er hærri.



Háspennulína hentar þrýðilega til að flytja mikla orku langa leið á tiltölulega einfaldan hátt. Háspennulína er tiltölulega plássfrek þar sem hún þarf ákveðið rými og helgunarsvæði en á því svæði má einungis reisa minni háttar mannvirki þar sem ekki má búast við að fólk dveljist að staðaldri, t.d. karteöflugeymslur eða skýli.

Háspennustrengur hentar frekar í þéttbýli eða þar sem landssvæði er af skornum skammti.

2.1.6 Samanburður kostnaðar

Samanburður kostnaðar á byggingu strengs og línu er háð aðstæðum hverju sinni. Samanburðartölur frá Evrópu benda hins vegar til að hlutfallið getur legið á bilinu 3svar upp í 25 sinnum sem strengur er dýrari en loftlína.

Margt hefur áhrif á endanlegan kostnað við strengjalögn t.d. spenna strengsins, aðstæður á lagnaleið og lengd hans. Hlutfallslega eru strengir á hærri spennu dýrari en á lægri spennu. Í dag er 11 kV dreifikerfi nánast eingöngu byggt upp af strengjum, það heyrir til undantekninga ef slík lína er reist – jafnvel í dreifbýli – enda sýnir kostnaðarsamanburður að 11 kV dreifistrengur plægður í jörðu vera ódýrari kost en sambærileg loftlína og tæknileg vandkvæði við rekstur slíkra strengkerfa er minni en á hærri spennu.

Reynsla liðinna ára og áratuga hefur sýnt að með bættri framleiðslutækni og meiri reynslu í framleiðslu háspennustrengja lækkar verð þeirra og verður samkeppnis-hæfara við háspennulínur. 11 kV jarðstrengir eru þegar orðnir nánast allsráðandi í dreifikerfum og í einstaka tilvikum hafa 132 kV strengir verið lagðir í dreifbýli jafnvel þar sem ætla má að mögulegt sé að koma háspennulínu fyrir.



Mynd 10 11 kV strengur í dreifbýli plægður í jörðu

3 JARÐSTRENGSLÖGN - HÖNNUN

3.1 Kröfur um flutningsgetu

Þegar nýjar virkjanir eða nýir stórnotendur orku tengjast flutningskerfinu þarf yfirleitt að reisa nýjar flutningslínur og tengivirki. Stundum er um umfangsmiklar aðgerðir að ræða en í öðrum tilvikum eru framkvæmdir minniháttar. Allar ákvarðanir um nýjar kerfiseiningar eru teknar á grundvelli kerfisathugana þar sem framkvæmd er hermun á kerfinu undir mismunandi rekstrarskilyrðum. Þessi mismunandi rekstrarskilyrði skapast af breytilegu álagi raforkukaupanda, breytilegum rekstri virkjana og breytilegu kerfisástandi vegna truflana í virkjunum eða flutningskerfinu.

Í nútíma þjóðfélagi veldur straumleysi mikilli röskun á daglegu lífi fólks og atvinnulífi. Straumleysi er því ekki talið ásættanlegt og orkufyrirtæki hafa sett sér markmið um afhendingaröryggi og sett ákveðnar reglur um kerfisuppbyggingu. Megininntak kerfisuppbyggingar byggir á svokallaðri „N-1“ reglu sem gerir kröfu um að hægt sé að starfrækja raforkukerfið og afhenda orku þó að ein rekstrareining bili. Með rekstrareiningu er átt við loftlínu, jarðstreng eða spennu.

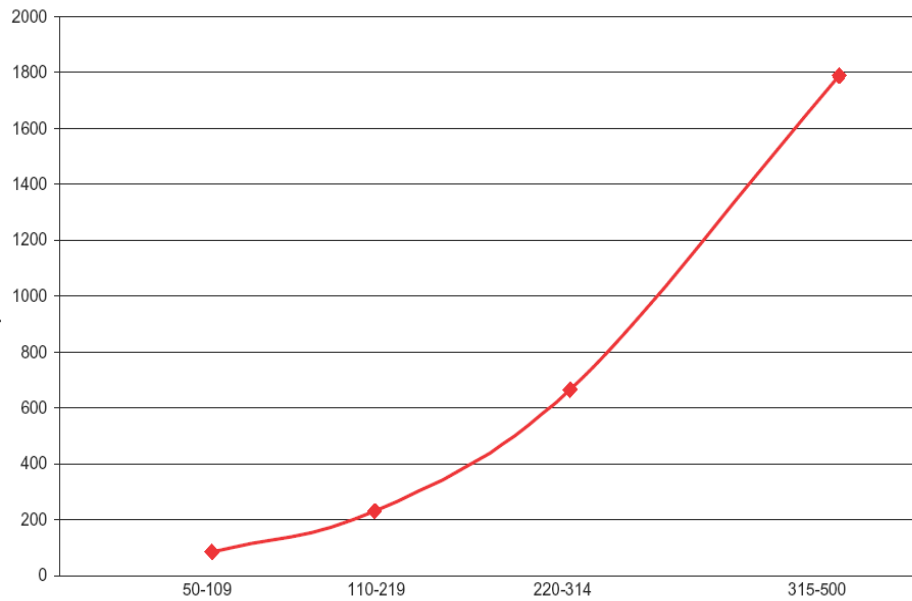
Þegar lokið hefur verið við kerfisathuganir vegna nýrra framkvæmda í kerfinu þá skilar sú vinna forsendum um þau mannvirki sem þarf að reisa. Slíkar forsendur eru m.a.;

- Nýjar flutningslínur; Tímasetning, spenna og lágmarks flutningsgeta.
- Nýjar aðveitustöðvar; Tímasetning og umfang
- Breytingar á mannvirkjum í rekstri; Breytingar, niðurrif, endurbygging, styrking ofl.

Um loftlínur og jarðstrengi gildir það sama, að skilgreina þarf lágmarkskröfur um flutningsgetu og spennu. Þegar um er að ræða strengi og loftlínur sem verða hluti af möskvuðu kerfi þar sem raforka getur flætt eftir fleiri en einni leið, þá ráðast kröfur um lágmarks flutningsgetu oft af þeim flutningum sem verða við truflanir í öðrum hlutum kerfisins.

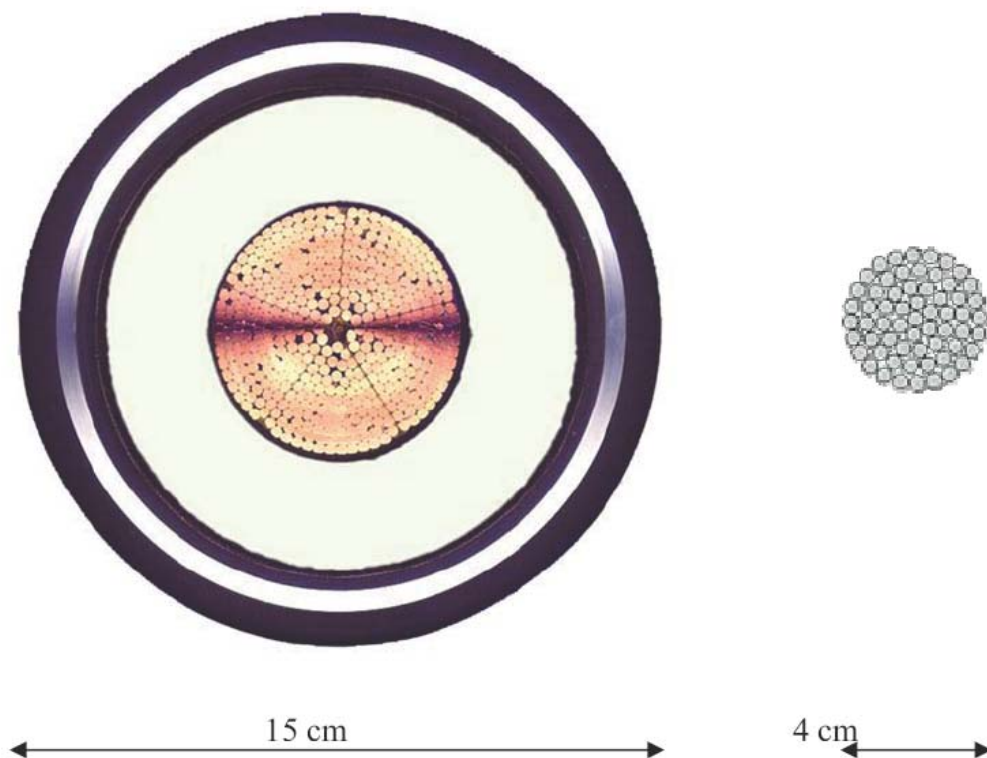
Á mynd má sjá meðal flutningsgetu orkuflutningslína eftir spennustigi samkvæmt alþjóðlegri samantekt.

MVA



Mynd 11 Dæmigerð flutningsgeta loftlína í MVA eftir spennustigi í kV. Heimild: "Statistics of AC underground cables in power networks". TB 338. CIGRE 2007.

Til að flytja ákveðið orkumagn eftir loftlínu og streng á sömu spennu þarf mun stærri leiðara í strengnum.



Mynd 12 Samanburður á 400 kV jarðstreng og loftlínuleiðara með svipaða flutningsgetu

3.2 Aðstæður á strengleið

3.2.1 Skipulag

Sama jarðstrengslögnin getur legið um mörg mismunandi svæði í skipulagslegu tilliti. Lögnin getur legið um svæði utan þéttbýlis þar sem eingöngu er aðalskipulag í gildi, inn í gegnum framtíðar byggingarland sem getur verið mismunandi stutt í skipulagsvinnu og síðan inn í fullbyggt frágengið þéttbýli.

Þar sem strengleiðin er utan þéttbýlis er strenglögnin aðlöguð landinu sem mest, en þegar komið er inn á skipulagt byggingarsvæði þarf að taka tillit til framtíðar hæðarkóta á svæðinu og getur það kallað á mun meiri jarðvinnu en ella.

3.2.2 Jarðvegsgerð

Mjög mismunandi jarðvegsaðstæður geta verið á einni og sömu strengleiðinni og mismunur á kostnaði við jarðvegsvinnu milli strengverkefna getur verið mikill. Auðveldustu aðstæðurnar eru þar sem um er að ræða auðgræfan jarðveg og einfaldan frágang á yfirborði, t.d. sáningu. Dýrast er þar sem fleyga þarf strengleið í gegnum klöpp og hraun. Þá þarf stundum að bora í gegnum kletta eða hæðir og undir árfarvegi. Þá getur kostnaður verið mikill í þéttbýli þar sem grafa þarf upp götur og gangstéttir.

Af þessu er ljóst að jarðvegsaðstæður geta haft mikil áhrif á kostnað við strenglagnir. Því er varasamt að taka bókstaflega viðmiðanir um einingarverð á km og nota við hvers kyns framkvæmdir af þessu tagi. Um þetta er fjallað í kafla 5.



Mynd 13 Strenglögn þar sem taka þurti tillit til framtíðar hæðarkóta

3.2.3 Varmaviðnám jarðvegs

Eins og fram kom hér að framan eru á grundvelli kerfisathugana settar fram kröfur um flutningsgetu einstakra strengja. Í framhaldi af því þarf að velja streng sem uppfyllir þær kröfur. Slíkt val er ekki einfalt þar sem það byggir á fjölmörgum atriðum og er eitt það mikilvægasta tengt eiginleikum jarðvegsins næst strengnum.

Við allan flutning raforku verða töp í leiðaranum sem straumurinn fer um. Þessi töp eru háð orkuflutningnum í öðru veldi og í beinu hlutfalli við raunviðnám strengsins. Raunviðnámið breytist hins vegar í öfugu hlutfalli við þverflatarmálið og er mismunandi eftir því hvort um sé að ræða ál- eða koparleiðara.

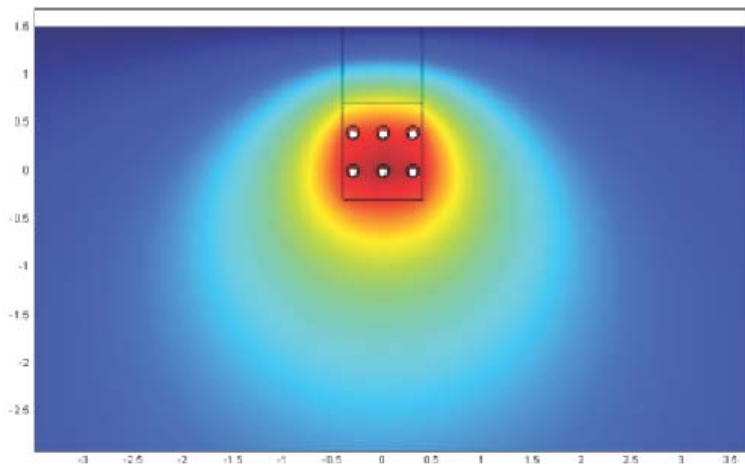
Sú raforka sem tapast í strengjunum breytist í varmaorku og fer í að hita upp strenginn. Þessi varmi leiðir út í gegnum einangrun strengsins, í gegnum kápuna og út

í jarðveginn. Við stöðugan flutning (innan flutningsmarka) myndast jafnvægi í varmaflutningi og varminn streymir burt í gegnum jarðveginn umhverfis strenginn. Leiðari strengsins helst á föstu hitastigi og sama máli gegnir um hitan á kápu strengsins. Skilgreind flutningsgeta jarðstrengja er yfirleitt miðuð við þann flutning sem leiðir til þess að leiðarar strengsins séu á 65°C hita en þá er hitastig kápu um 15-20 °C lægra. Ef jarðvegurinn umhverfis strenginn hefur góða varmaleiðnieiginleika þá verður flutningsgetan hærri en ef þessir varmaleiðnieiginleikar eru lélegir þá er flutningsgetan minni.

Hitastig jarðvegs hefur áhrif á flutningsgetuna á þann hátt, að því heitara sem umhverfið er, þeim mun lægri flutningsgeta. Hér á landi er reiknað með 10°C jarðvegshita í venjulegum tilvikum. Við 20 °C jarðvegshita hefur flutningsgetan lækkað um 10%, við 30 °C um 21% og við 40 °C um 33%. Því getur reynst vandkvæðum bundið eða kostnaðarsamt að leggja jarðstrengi þar sem hiti er í jörðu, t.d. í námunda við jarðhitavirkjanir.

Á mynd er sýnt dæmi um hitadreifingu umhverfis jarðstrengslögn sem samanstendur af 6 einleiðarastrengjum, eða tvær flutningsrásir.

Sem mælikvarði á eiginleika jarðvegs að leiða varma er notað svokallað varmaviðnám sem segir til um mótstöðu jarðvegsins gagnvart varmaflæði. Þetta varmaviðnám hefur mikil áhrif á flutningsgetuna og má í neðangreindri töflu sjá áhrif þess á 132 kV streng með 500 mm² álleiðara.



Mynd 14 Dæmi um hitastig jarðvegs í kringum jarðstrengslögn. Heitast (rautt) í kringum strengina en kólnar eftir því sem fjarlægð frá streng eykst.

Tafla 1 Samband flutningsgetu og varmaviðnáms jarðvegs - Dæmi

Varmaviðnám jarðvegs	Flutningsgeta við 65°C heitan leiðara
1,2 °K m/W	117 MVA
1,5 °K m/W	106 MVA
2,0 °K m/W	93 MVA
2,5 °K m/W	84 MVA
3,0 °K m/W	77 MVA
3,0 °K m/W	64 MVA

Mjög algengt er erlendis að miða við að varmaviðnám jarðvegs umhverfis strengi sé 1,2 °K m/W, en mælingar sem gerðar voru á leið nýs Nesjavallastrengs og á fleiri

stöðum benda til að hér á landi sé aðstæður nokkru lakari og eðlilegra sé að miða við varmaviðnámið $1,5 \text{ }^\circ\text{K m/W}$.

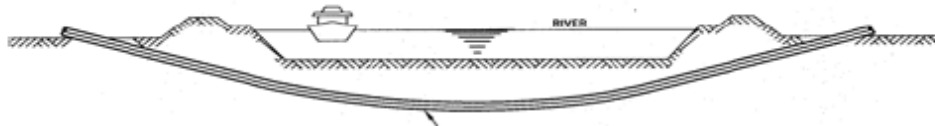
Þegar flutningur eftir jarðstreng verður meiri en skilgreind geta og allar aðrar forsendur og skilyrði óbreytt, þá leiðir það til meiri tapa í strengnum og þar með meiri upphitunar leiðarans. Þessi varmi þarf að komast út í gegnum einangrun strengsins og kápu og út í jarðveginn. Þetta leiðir til hækkunar hitastigs alls staðar, þ.e. leiðarans, einangrunar, kápu og jarðvegs. Þegar jarðvegurinn hefur hitnað yfir $50 \text{ }^\circ\text{C}$ skapast hætta á að hann þorni upp og við það verði eiginleikar hans til varmaleiðni enn lélegri. Það leiðir þá til enn meiri upphitunar og á endanum getur skapast það sem kallað er hitaras (thermal runaway) en þá stígur hitinn sífellt hraðar og endar með eyðileggingu strengsins. Þannig verður einangrun XLPE strengja fljótandi og gegnsláttur verður í gegnum hana sem leiðir til útleysingar.

3.2.4 Þveranir á strengleið

Jarðstrengslagnir þurfa að þvera ýmsar fyrirstöður á leið sinni. Utan þéttbýlli svæða eru það helst náttúrulegar fyrirstöður eins og ár og lækir auk vega og skurða en í þéttbýli eru það vegir, gangstéttir og aðrar lagnir. Beita þarf sérlausnum við slíkar þveranir sem geta aukið kostnaðinn umtalsvert.

Við árþveranir koma nokkrar lausnir til greina en á val á milli þeirra er háð aðstæðum;

- Strengur lagður í brú.
- Strengur grafinn í árbotn.
- Strengur dreginn um mjó göng sem boruð eru undir árbotninn.



Mynd 15 Strengur lagður um göng sem boruð eru undir árfarveg.



Mynd 16 Strengur lagður undir brúargólf

Sama gildir um vegþveranir en þar þarf að gæta að því að strengirnir séu varðir gegn þyngslum farartækja auk þess sem oft þarf að stytta eins og hægt er þann tíma sem opinn skurður er yfir veginn;

- Strengur dreginn í rör undir veg.
- Streng lagður í strenggöng undir veg, t.d. þar sem mislæg gatnamót eru.



Mynd 17 Strengir lagðir í rör í vegþverun

Þar sem jarðstrengir þvera símastrengi, aðra rafstrengi eða kaldvatnsrör þarf að ganga þannig frá að hætta á skemmdum á jarðstrengnum séu eins litlar og hægt er.

Við þverun jarðstrengja og hitaveitulagna þarf að gæta að því að hitastreymi frá hitaveitulögn rýri ekki flutningsgetu strengsins með því að halda jarðvegi umhverfis hann á mun hærra hitastigi en reiknað var með.



Mynd 18 Strenglögn í borgarumhverfi

3.3 Fyrirkomulag strenglagna

3.3.1 Fyrirkomulag strengja í skurði

Jarðstrengslagnir á hárrí spennu samanstanda af þremur einleiðurum hið minnsta, en stundum er þörf á tveimur leiðurum eða fleiri í hverjum fasa. Heildarfjöldi leiðara er því yfirleitt margfeldi af þremur, þ.e. 3, 6 eða 9.

Minnstu strengirnir og þeir meðfærilegustu eru lagðir í þríhyrning á sandlag í skurðbotni. Þetta á einkum við um strengi á 132 kV spennu og lægri auk minnstu strengjanna á 220 kV. Þyngri strengirnir eru lagðir hlið við hlið á skurðbotninn og er algengt að hafa 7-20 cm bil á milli þeirra. Þegar bilið á milli strengja í flatrí uppröðun er aukið, verður flutningsgetan meiri. Það kallar þá á breiðari skurð og meiri söndun.



Mynd 19 Strengir lagðir í þríhyrning



Mynd 20 Strengir lagðir í plan



Mynd 21 Jarðstrengur lagður í þríhyrning, 132 kV, 500 mm² álleidari.

3.3.2 Samtengingar strengja og víxlanir leiðara og skerma

Strengir koma frá framleiðendum á keflum úr tré eða stáli. Keflin er af mismunandi stærðum en lengd strengs á hverju kefli ræðst af þvermáli strengsins. Því eru lengdir

á hverju kefli háðar gerð strengsins. Meðfylgjandi mynd sýnir úrdrátt úr töflu þar sem sýnd er hámarkslengd strengja á hverri tegund keflis, eftir þvermáli strengjanna.

Cable lengths in metres on standard wooden drums K14 - K30 and steel drums St 28 - St 43																					
Dia. mm	Wooden drum										Steel drum										
	K14	K16	K18	K20	K22	K24	K26	K28	K30		St 28	St 30	St 32	St 34	St 35	St 36	St 37	St 38	St 39	St 40	St 43
36	570	780	850	1155	1580	2090	2660	4000	5800	4600	6090	7570	8350	9830	11130	11750	13000	13800	14800	17700	
38	470	630	620	1075	1290	1780	2490	3800	4900	4300	5335	6830	8420	8970	10110	10700	11200	12500	13100	15700	
40	450	610	690	900	1100	1560	2220	3200	4400	3700	5085	6030	7530	8050	9130	9680	10250	11400	12000	14500	
42	430	500	660	870	1070	1510	2160	3100	3950	3800	4485	5860	6820	7320	8360	8880	9400	9900	11100	12900	
44	340	480	530	720	1030	1310	1830	2800	3900	3000	3830	5100	6000	6475	7400	7940	8450	8900	9500	11740	
48	330	450	510	690	860	1260	1780	2430	3480	2900	3895	4500	5800	6260	6720	7200	7690	8100	8600	10840	
48	310	380	480	660	820	1070	1540	2380	3130	2450	3175	4340	5170	5800	6040	6490	6950	7400	7900	9960	
50		380	400	560	670	1020	1490	2090	2820	2410	3120	3880	4670	5090	5520	5960	6410	7300	7800	9330	
52		340	385	530	670	910	1280	1830	2750	2300	2990	3720	4490	4890	5300	5730	6165	6600	7080	8500	
54		320	360	505	640	870	1280	1775	2450	1880	2520	3200	3920	4300	4680	5080	5490	5900	6340	7890	
56		280	360	475	610	825	1090	1715	2390	1840	2470	3130	3850	4220	4600	5000	4990	5400	5810	7120	
58		240	275	385	510	720	1040	1550	2090	1800	2410	2740	3410	3775	4140	4510	4900	5300	5710	6660	
60			275	365	480	680	990	1490	2030	1780	2050	2680	3340	3690	4060	4050	4430	4800	5200	6450	
62			250	365	480	680	480	1270	1770	1390	1840	2540	2850	3170	3500	3850	4200	4570	4570	5730	
64			250	345	450	545	825	1270	1730	1350	1890	2180	2780	3100	3420	3420	3675	4100	4470	5220	
66			240	345	370	545	825	1230	1535	1320	1575	2125	2710	2710	3020	3340	3675	4000	4010	5100	
68			240	320	345	515	785	1025	1475	1280	1530	2080	2340	2640	2940	3250	3250	3580	3910	4610	
70				250	345	515	670	1030	1475	1280	1530	2080	2340	2640	2940	2960	3250	3600	3910	4610	
72				250	345	480	635	985	1280	1010	1490	1750	2290	2290	2580	2980	3190	3180	3510	4190	
74				250	320	400	635	985	1280	980	1440	1690	1950	2230	2510	2800	2800	3100	3420	4080	
76				230	320	400	625	810	1210	940	1170	1640	1890	2160	2430	2430	2720	3000	3010	3630	
78				230	320	400	600	810	1210	910	1130	1590	1830	2090	2090	2350	2635	2635	2920	3520	
80					230	325	500	810	1015	910	1130	1360	1630	1840	2090	2350	2370	2635	2920	3520	
82					230	325	470	775	1015	885	1090	1310	1540	1780	2030	2030	2295	2560	2560	3140	
84					210	300	470	660	1015	880	1090	1310	1540	1780	2030	2030	2295	2310	2560	3140	
86					210	300	470	615	885	660	1050	1270	1490	1720	1720	1970	2220	2220	2495	3050	
88					210	275	440	615	840	630	820	1220	1430	1430	1680	1680	1890	2140	2140	2670	
90					210	275	440	615	840	630	820	1220	1430	1430	1680	1670	1890	2140	2140	2670	
92								355	585	800	610	785	970	1380	1380	1600	1600	1835	1835	2070	2580
94								325	585	800	610	785	970	1180	1380	1390	1600	1835	1835	2070	2340
96								325	485	755	585	755	930	1130	1330	1330	1540	1540	1760	1760	2240
98								325	485	640	580	755	930	1130	1330	1330	1540	1540	1760	1760	2240
100								325	455	640	580	755	930	1130	1140	1330	1340	1540	1760	1760	2240
102											560	725	900	1080	1080	1280	1280	1490	1490	1710	1930
104											560	725	900	1080	1080	1280	1280	1490	1490	1710	1930
106											385	530	690	860	1040	1040	1230	1230	1430	1430	1860
108											380	530	690	860	1040	1040	1230	1230	1430	1430	1860
110											380	530	690	860	1040	1040	1230	1230	1430	1430	1860
112											365	505	660	820	990	990	990	1180	1180	1370	1570
114											360	505	660	820	980	980	980	1180	1180	1370	1570
116											360	505	660	820	980	980	980	1180	1180	1370	1570
118											345	480	625	785	780	960	960	1120	1120	1120	1500

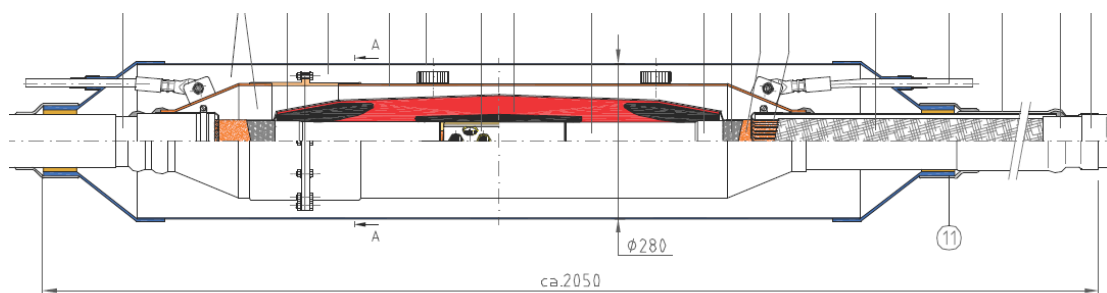
Mynd 22 Hámarkslengd strengja á keflum, eftir þvermáli strengjanna. Heimild: ABB

Sem dæmi má taka 132 kV jarðstreng með 500 mm² álleiddara. Þvermál hans er 78 mm og hann vegur 6,1 kg/m. Ef valin er algeng stærð af trékefli, K28, þá er hámarkslengd á keflin 810 m og heildarþyngdin, kefli og strengur, er 6,4 tonn. Með því að velja stærra kefli, t.d. stálkefli St30 má setja 1130 m á keflið og heildarþyngdin verður 8,6 tonn.

Ef við skoðum hins vegar 220 kV streng með 1600 mm² álleiddara, þá er þvermál hans 118 mm og þyngdin 14,6 kg/m. Það er ekki raunhæft að nota trékefli en St30 kefli tekur aðeins 480 m og vegur 8,7 tonn. Til að ná nálægt 1000 m lengdum þarf að nota kefli af stærðinni St37 (950 m) og vegur það samtals 16,9 tonn.

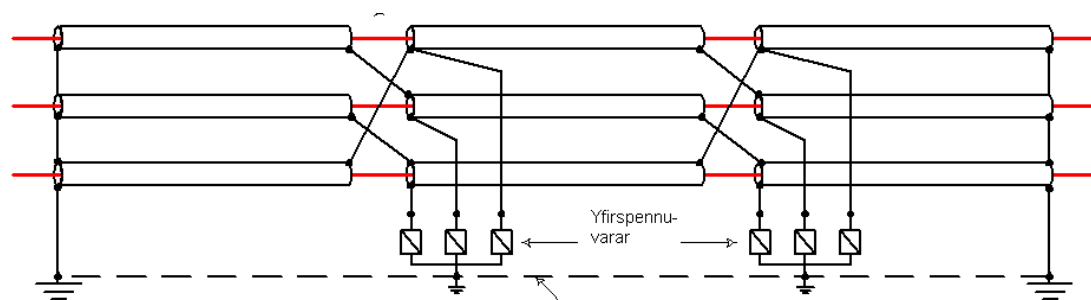
Að ofangreindu er ljóst að eftir því sem hægt er að vinna með þyngri kefli, þeim mun færri verða samsetningar á strengjunum. Rekstraraðilar jarðstrengja vilja hafa sem fæstar samtengingar þar sem meiri hætta er á bilunum í þeim en í sjálfum strengjunum. Því er oftast reynt að hafa sem stærst kefli, en það er þó takmarkað af þeim tækjabúnaði sem vinna á með og aðkomu að lagningarsvæði.

Samsetningar strengja eru gerðar með sérstökum tengimúffum. Leiðararnir eru yfirleitt bræddir saman með því að kveikja í blöndu af púðri og málmi. Síðan er samtenging leiðaranna pússuð niður þannig að hún sé í engu frábrugðin leiðaranum í þvermál. Ef þessi samsetning leiðaranna er ekki fullkomin getur orðið mikil hitamyndun samtengingunni þegar strengurinn er rekinn á miklu álagi og leitt til einangrunarbilunar.



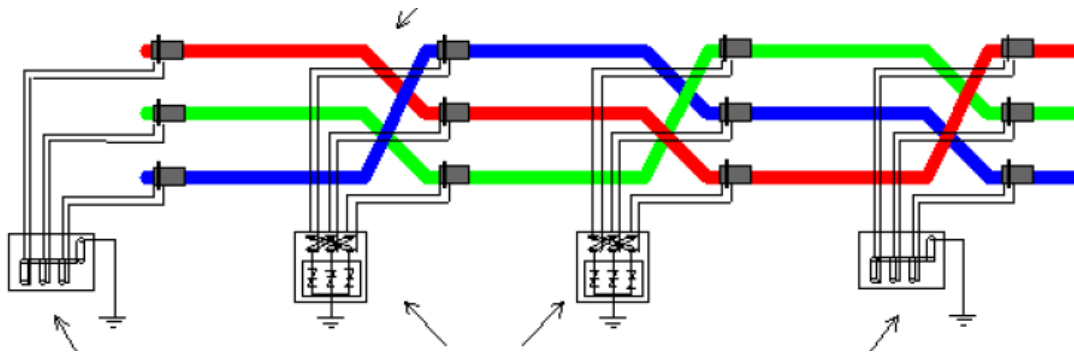
Mynd 23 Tengimúffa fyrir 132 kV streng

Eftir að leiðarinn hefur verið tengdur er einangrunin byggð upp og að lokum er gengið frá skermum og ytri kápu. Þegar um er að ræða lengri strengi þarf að víxla skermum með ákveðnu millibili til að draga úr spönuðum straumum í skermum strengjanna og hárrí spennu á þeim. Strengleiðinni er þá skipt í þrjá jafna hluta eða fleiri (margfeldi af þremur) og skermum víxlað eins og sýnt er á myndinni. Þetta gengur undir nafninu krossbinding skerma.



Mynd 24 Krossbinding skerma

Þegar strengir eru lagðir í plan er nauðsynlegt að víxla innbyrðis röð leiðaranna til að gera raffræðilega eiginleika eins samhverfa og hægt er. Þetta er þá gert um leið og skermar eru krossbundnir.



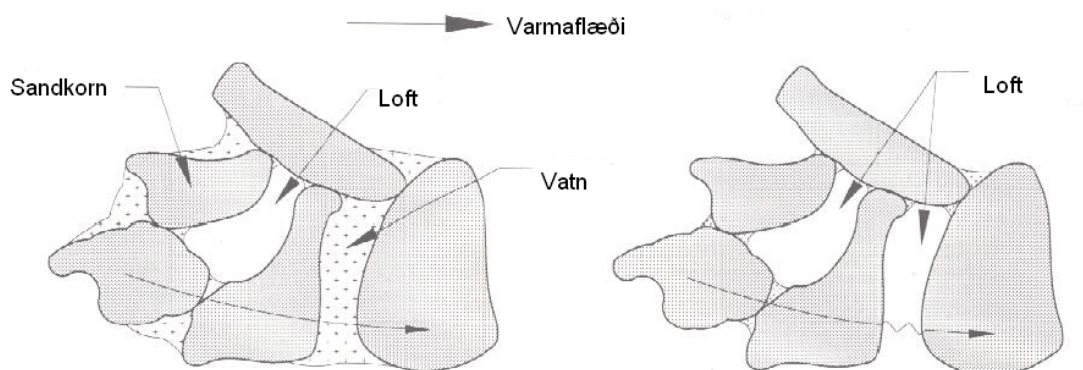
Mynd 25 Innbyrðis víxlun strengja og krossbinding skerma

Þegar unnið er að samtengingu leiðara þarf að búa til góðar vinnuástæður til að tryggja gæði aðgerðarinnar. Sérstaklega er mikilvægt að ekki komist óhreinindi eða raki í einangrunina þegar hún er byggð upp umhverfis leiðarann. Fyrir 400 kV strengi þarf að koma upp rými sem líkja má við rannsóknarstofu með steypu gólfi, gámahúsi yfir og forrými þar sem tæknimenn geta skipt úr útifötum yfir í sérstakan klæðnað. Minni kröfur eru gerðar á lægri spennu og er á 132 kV yfirleitt sett plastklædd trégrind yfir tengiholuna. Tengivinnan tekur frá einum til tveim dögum á hverja múffu fyrir 132 kV og upp undir eina viku fyrir 400 kV.

3.3.3 Söndun strengja og þjöppun

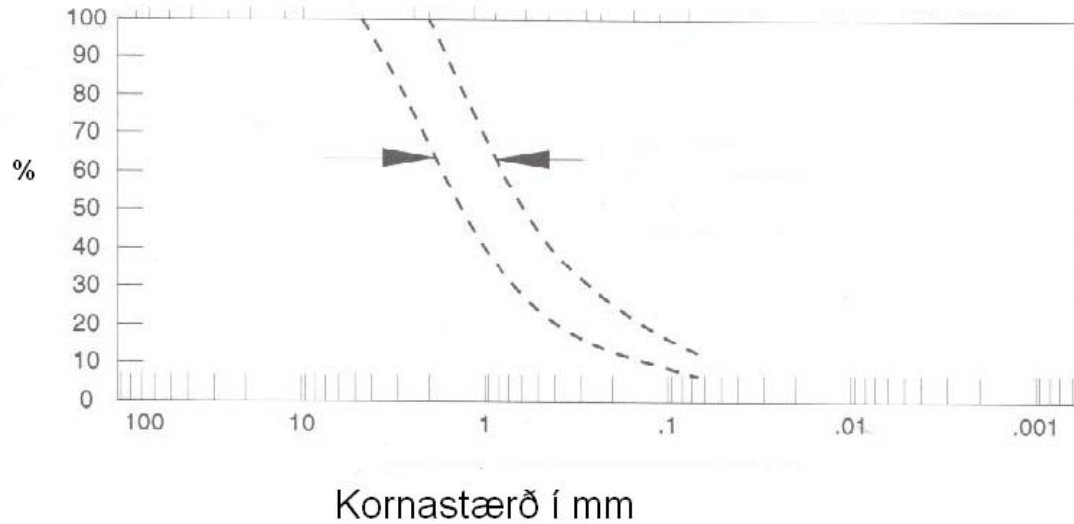
Eins og fjallað hefur verið um hér að framan hefur varmaviðnám jarðvegs mikil áhrif á flutningsgetu strengja og því er nauðsynlegt að vanda mjög til þess hvernig fyllt er að jarðstrengnum. Hér á landi er venjan að setja sand að strengjunum en víða erlendis er oft gripið til þess ráðs að steypa yfir strengina með sérblandaðri léttsteypu til að tryggja stöðugleika í varmaflæði frá þeim.

Þegar sandað er yfir streng skiptir gerð sandsins miklu máli, svo sem kornastærð, kornalögun og raki. Á skýringarmyndinni hér að neðana sést vel hvernig varmaflæðið á greiðari leið í gegnum rakan sand þar sem „hólfín“ milli kornanna eru full af vatni. Þar sem loft einangrar mjög vel, leiðir varminn í þurrum sandi mest um snertifleti kornanna.



Mynd 26 Varmaflæði um rakan sand (til vinstri) og þurrur sand (til hægri)

Til að lýsa gerð fyllingarsandsins er sett upp svokölluð kornakúrfurfa sem sýnir hvernig á að sigta sandinn þannig að sem bestir eiginleikar náist.



Mynd 27 Æskileg kornastærð í fyllingarsandi að strengjum

Síðan þarf að þjappa sandinum að strengnum til að fá fram þá eiginleika sem sóst er eftir.

4 JARÐSTRENGSLÖGN - JARÐVINNA

4.1 Leiðarval

Þegar kemur að leiðarvali jarðstrengja er reynt að hafa hana sem stysta. Við leiðarval í þéttbýli þarf að hafa í huga bann við byggingum á lagnaleið og að nauðsynlegt er að hafa góða aðkomu að lagnaleið strengsins. Innan þéttbýlis eru strengir yfirleitt notaðir en það þýðir að deiliskipulag fyrirhugaðs leiðarvals þarf að liggja fyrir.

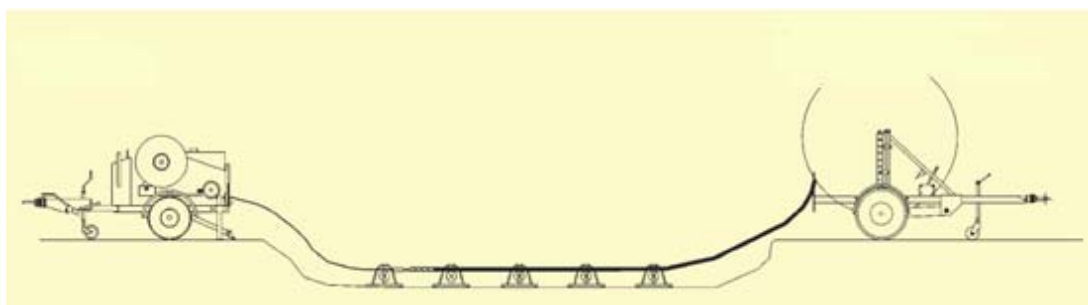
Í raun er leiðarval jarðstrengs nokkuð fastmótað frá upphafi þar sem byggðaskipulag og nýting landssvæðis er í fyrsta sæti. Ef lengd háspennustrengs er meiri en 5-20 km og spenna á bilinu 132-400 kV er nauðsynlegt að gera ráð fyrir útjöfnunarstöðvum en þær geta þurft allt að 1000 m² landrými innan girðingar.

Kæling jarðstrengs er einn stærsti ákvörðunarþáttur við skilgreiningu á flutningsgetu hans. Nauðsynlegt er að áætla kæligetu jarðvegs umhverfis jarðstrenginn og þar með talið hvort strengurinn liggja nálægt öðrum strengjum, hitaveitustokkum, skolplögnum o.þ.h. sem getur haft áhrif á kælingu strengsins í jarðveginum. Fara þarf eftir allri lagnaleið strengsins til að kortleggja varmaviðnám jarðvegsins og annað sem hefur áhrif á flutningsgetu strengsins. Þegar þær upplýsingar liggja fyrir er hægt að staðfesta endanlega gildleika strengsins út frá aðstæðum á lagnaleið og kröfum um flutningsgetu.

4.2 Aðferðir við lagningu jarðstrengja

Við niðurlagningu jarðstrengja eru aðallega notaðar tvær aðferðir:

- útdráttur strengs af kefli í tilbúin skurð
- útdráttur strengs af kefli í gegnum pípur eða stokka
- strengur plægður niður



Mynd 28: Lagning strengs í opinn skurð

Af þessum aðferðum þá er aðferðin við að plægja niður jarðstreng nánast eingöngu bundið við 11 kV dreifistrengi í dreifbýli. Almenna reglan er að strengir eru dregnir út ofan í skurð eða eftir pípum og stokkum.



Mynd 29 Strengur lagður í opinn skurð



Mynd 30 Strengur dreginn í gegnum rör



Mynd 31 Þrír einleiðarar plægðir niður samtímis

Við undirbúning lagningar jarðstrengs þurfa að liggja fyrir upplýsingar um

- a. burðarþol þjónustuvegar meðfram lagnaleið
- b. burðarþol og afkastgeta tækja til að flytja og draga út strengjahluta
- c. lengdir og staðsetning samsetnigarmúffa

Þyngd strengjakefla getur verið frá 5-8 tonnum upp í allt að 20-25 tonn allt eftir gerð og gildleika leiðarans og stærð strengjakefla. Því er mikilvægt að hönnun slóða/vegar meðfram lagnaleiða sé byggður með það í huga.



Mynd 32 Strenglögn í opnu landi - Skurður og einfaldur slóði



Mynd 33: Leggja þarf öfluga þjónustslóða við lagningu á 400 kV jarðstrengjum

Af þessu er ljóst að jöluvert jarðrask fylgir lagningu 132-400 kV jarðstrengja því auk skurðar þarf aðkomuveg og vinnusvæði fyrir uppgröft o.þ.h.

4.3 Verkpættir í jarðvegsvinnu

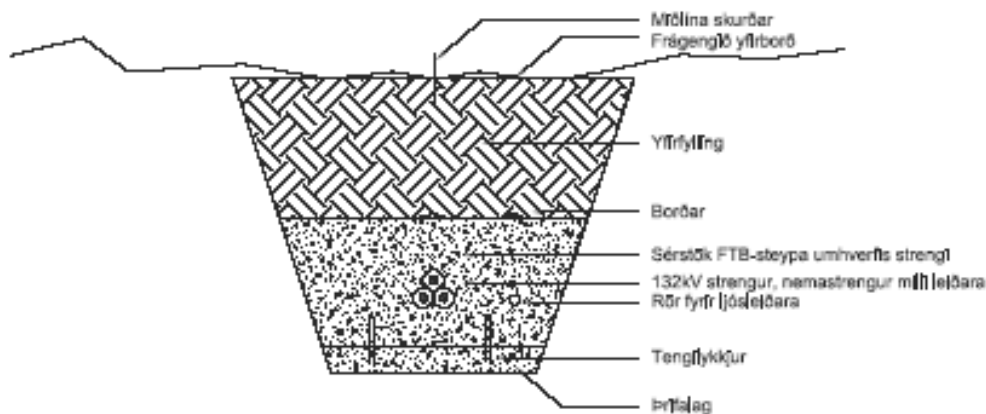
Þegar leiðarval strengs liggur fyrir þarf að skilgreina mögulegar hindranir. Þessar hindranir eru aðrar lagnir í jörðu s.s. hitaveiturör, hindranir á leiðinni s.s. náttúrlegar gjár, umferðaræðar og annað sem krefst sértækra lausna.

Nausynlegt er að skrá allar þveranir annara lagna til að fyrirbyggja, eins og hægt er, að lagnir skemmast þegar grafið er. Góður undirbúningur er forsenda þess að jarðvinna og útlagning strengs gangi vel.

4.3.1 Hönnun skurðsniðs

Þegar ákvörðun leiðarvals jarðstrengja liggur fyrir þarf að skilgreina snið lagnaskurðar strengsins. Tryggja þarf að lagnaleið strengs uppfylli deiliskipulag sveitarfélagsins þar sem það á við og að nauðsynlegt vinnusvæði sé til staðar. Leysa þarf fyrirkomulag allra þverana t.d. hitaveitulagna og rafstrengja í dreifikerfi.

Þegar búið er að ákveða lagnaleið er snið skurðarins á tilteknum lykilstöðum skilgreint. Yfirleitt er lagnadýpt háspennustrengja miðað við 1 m undir frágengnu yfirborði. Botnbreidd lagnaskurðar tekur mið af gildleika strengjanna og því fyrirkomulagi sem þeir eru lagðir (flatir eða í þríhyrning). Hafður er 10°-20° halli á hliðum skurðarins til að takmarka efnishrun úr skurðbökkum sem mest.



Mynd 34 Dæmi um skurðsnið 132 kV jarðstrengslagnar

Í botni skurðarins er komið fyrir 20-30 cm lagi af fingerðum sandi. Þetta er gert til að háspennustrengurinn verði ekki fyrir áverkum þegar hann er lagður og gegnir einnig hlutverki í varmaleiðni frá strengnum.

Jarðvír (Cu-vír) er yfirleitt komið fyrir með háspennustrengjum. Hann er ýmist lagður samhliða strengnum í ákveðna fjarlægð út frá endastöð hans eða alla leið á milli endastöva. Þegar hann er lagður aðeins hluta lagnaleiðar þá gegnir hann því hlutverki að vera jarðskaut. Ef hann er lagður alla leið eins og gjarnan er gert í innanbæjarkerfum, þá gegnir hann hlutverki jarðleiðara og jarðskauts.

4.3.2 Uppgröftur

Við uppgröft lagnaleiðar jarðstrengja þarf að skilgreina vinnusvæði uppgrafar töluvert umfangsmeira en skurðisins sjálfs sem myndar lagnaleið strengjanna. Svæðið þarf að vera enn breiðara ef losna á við að keyra uppgröft í burtu þar sem hann verður notaður sem fylling eftir að búið er að leggja streng í lagnaskurð.

4.3.3 Söndun strengja – Efnisval og eiginleikar

Þegar talað er um söndun strengja þá er átt við að sandi, með tiltekinni kornastærð, er komið fyrir á botni lagnaskurðs, til hliðar við og yfir háspennustreng áður og þegar búið er að leggja hann. Öll lögin (í botni, til hliðar og ofan á) eru þjöppuð til að sem minnst breyting verði á jarðveginum eftir því sem hann sígur og að sandurinn leggist sem þéttast að strengnum til að kæling strengsins verði sem mest. Þessi sandur þarf að hafa ákveðna eiginleika sem fjallað hefur verið um hér að framan.

4.3.4 Yfirborðsfrágangur

Þegar búið er að sanda streng eftir niðurlagningu er uppgröftur yfirleitt notaður til uppfyllingar. Eins og áður hefur komið fram þá eru strengir frekar notaðir í þéttbýli þannig að yfirborðsfrágangur ræðst af því umhverfi þar sem strengurinn er lagður.

Yfirborðsfrágangur getur því t.d. legið í að þekja eða helluleggja lagnaleið strengsins. Til að stytta viðbragðs og viðgerðartíma sem mest er nauðsynlegt að kortleggja lagnaleið strengsins vandlega t.d. með GPS hnitkerfi.

5 JARÐSTRENGSLÖGN - KOSTNAÐUR

Kostnaður við jarðstrengslögn er mikill, bæði vegna innkaupa á efni og vegna vinnuliðar. Við strengi á hærri spennum er hvert verkefni fyrir sig boðið út en við framkvæmdir í dreifikerfi á lægri spennu sameinast veitur um magninnkaup. Skipta má kostnaði við jarðstrengslagnir í þrjá meginhluta;

- Innkaup á erlendu efni
 - Innkaup á streng og tengiefni
 - Flutningur til landsins
 - Kaup á þjónustu erlendra sérfræðinga vegna samtenginga
 - Opinber gjöld
- Jarðvinna
 - Uppgröftur, fleygun, borun og undirbúningur fyrir strenglagningu
 - Söndun og frágangur í skurði eftir lagningu
 - Yfirborðsfrágangur
- Útdráttur, lagning og tengivinna
 - Strengir dregnir út
 - Strengjum komið fyrir á skurðbotni í samræmi við hönnun
 - Útbúnað tengiholur og skýli
 - Tengivinna erlendra sérfræðinga

Hér á eftir verður öllum þessum þáttum lýst nánar.

5.1 Innkaup á streng, tengiefni og tengivinnu

Þegar helstu eiginleikar jarðstrengslagnar hafa verið ákveðnir út frá kerfislegum forsendum, þ.e. á hvaða spennu strengurinn á að vera og hver eigi að vera flutningsgetan, þá þarf að velja útfærslu strengsins út frá aðstæðum á strengleiðinni. Þegar það hefur verið gert er hægt að bjóða út strenginn á alþjóðlegum markaði.

5.1.1 Útboð á strengjum, tengiefni og tengivinnu

Útboðsgögn eru miðuð við alþjóðlega staðla um gerð og eiginleika strengja og krafist er vottaðra gæðakerfa frá viðkomandi verksmiðjum. Útboðsgögnin innihalda bæði almenna kafla og tæknilega kafla og hafa þróast í áranna rás. Afgreiðslutími strengja fer mjög eftir aðstæðum á alþjóðamörkuðum og því er nauðsynlegt að taka tillit til þess svo tryggja megi næga þátttöku í tilboðum og hagstætt verð.

Í útboðsgögnum er magnskrá sem innheldur þá þætti sem bjóða á í. Bjóðandi fyllir inn í magnskrána. Tilboðsverð er oftast miðað við ákveðið verð á áli og kopar sem tiltekið er í tilboðsgögnum. Einingarverð getur því tekið breytingum fram að þeim tíma sem samningur er frágenginn. Sumir framleiðendur miða við álverð á Lundúnmarkaði (LME) en aðrir við skráð verð á áli og kopar til notkunar í strengi, t.d. „Fachverband kabel und isolierte drahte“ (www.kabelverband.org).

Meginþættirnir sem boðið er í eru sýndir hér að neðan ásamt dæmi um líkleg tilboðsverð fyrir 15 km langa 132 kV jarðstrengslögn, sem samsvarar þá 45 km löngum einleiðara;

Tafla 2 Erlent efni og vinna

	Magn	Einingarverð bjóðanda	Heildarverð
Strengur, einleiðari samkvæmt tæknilýsingu	45.000 metrar	40 evrur/m	1.8000.000 evrur
Langtengingar	50 stk	2.500 evrur/stk	125.000 evrur
Vinna sérfræðings við samtengingar	50 stk	4000 evrur/stk	200.000 evrur
Samtals kostnaður við erlent efni og erlendum vinnuliðum			2.125.000 evrur

5.1.2 Flutningskostnaður og opinber gjöld

Yfirleitt er skilgreint í útboðsgögnum hvar framleiðandi skilar af sér vörunni til kaupanda. Stundum er viðtökustaðurinn skilgreindur sem „Höfn við Norður-Atlantshaf með reglulegum siglingum til Íslands“ en í öðrum tilvikum á að skila vörunni hér á landi. Kostnaður við flutninga er lítið brot af heildarverðinu, venjuleg 2 til 4 %.

Á rafstrengi eru lögð nokkur gjöld af hálfu ríkisins umfram virðisaukaskatt, þar sem megin kostnaðurinn er 15% vörugjald, sbr neðangreindan texta úr tollskrá.

Tafla 3 Upplýsingar úr tollskrá

[8544.60](#) — Aðrir rafmagnsleiðarar fyrir meira en 1000 V spennu
[00](#)

Valið tollskrárnúmer 8544.6000 og		
viðmiðunardagur: 24.03.2009 Innflutningur		
Gildistími	01.01.1988 - 99.99.9999	GATT-binding
Krafa um		Prósentubinding (%)
Tekur fastnúmer	Nei	Magnbinding
Hlutfallsprósentur	PP hlutfall PL hlutfall	Magntölukröfur
	5,00 % 0,00 %	
Skilmálar tollskrárnúmers		
Tollar		Krónur
A	Almennur tollur skv. tollskrá (A og A1)	
Gjöld		Taxti
Ö2	Virðisaukaskattur 24,5% VSK	24,50 %
BV	Úrvinnslugjald á pappa/pappírsumbúðir - 7,00 kr/kg.	7,00 Kr
BX	Úrvinnslugjald á plastumbúðir - 3,00 kr/kg.	3,00 Kr
QA	Gjald af eftirlitsskyldum rafföngum (0,15%)	0,15 %
XC	Vörugjald 15%	15,00 %
Ábendi		
TKRIT	Tollskrárnúmer með 2 mánaða uppgjörstímabil v/skuldfærslu.	

Ef haldið er áfram með dæmið hér að framan um 15 km langa jarðvegslögn þá má bæta við flutningskostnaði og vörugjaldi eins og gert er í eftirfarandi töflu.

Tafla 4 Erlent efni og vinna með flutningi og vörugjaldi

	Magn	Einingarverð bjóðanda	Heildarverð
Strengur, einleiðari samkvæmt tæknilýsingu	45.000 metrar	40 evrur/m	1.800.000 evrur
Langtengingar, efni	50 stk	2.500 evrur/stk	125.000 evrur
Vinna sérfræðings við samtengingar	50 stk	4000 evrur/stk	200.000 evrur
Samtals tilboð			2.125.000 evrur
Flutningskostnaður, 4% á efni			77.000 evrur
Vörugjald, 15% af efni og flutningi			300.300 evrur
Verkkostnaður - erlendur þáttur, með flutningi og gjöldum.			2.502.300 evrur

5.2 Jarðvinna

Í kjölfar útboðs á efni er jarðvinna boðin út. Í útboðsgögnum er þá skilgreind lagnaleið og magntölur um uppgröft á lausu efni, fleygun, borun o.s.v.fv. Þá er fjallað mjög ítarlega um frágang í skurðinum, kröfur til söndunar og yfirborðsfrágangs.

Kostnaður við jarðvinnu er mjög háður aðstæðum og erfitt að gefa eitthvað dæmigert verð. Hér verður þó sýndur ímyndaður magntölulisti fyrir 15 km langa jarðstrengslögn þar sem einungis helstu liðir eru teknir með;

Tafla 5 Jarðvinna

	Magn	Einingarverð bjóðanda	Heildarverð
Verkbú	Föst upphæð	25 Mkr	25 Mkr
Losun klappar	5.000 m ³	5.000	25 Mkr
Gröftur	25.000 m ³	800	20 Mkr
Slóðagerð	12.000 m	3.000	36 Mkr
Söndun, efni og vinna	12.000 m ³	5.000	60 Mkr
Fylling yfir strengi	16.000 m ³	500	8 Mkr
Frágangur	40.000 m ²	500	20 Mkr
Borun ofl.			60 Mkr
Samtals verk- kostnaður jarðvinnu			254 Mkr

5.3 Útdráttur, frágangur í skurði og aðstoð við tengivinnu

Í þessum hluta verksins er útdráttur strengja, frágangur þeirra á skurðbotni, gerð tengihola og uppsetning tjalda til að skýla tengingarmönnum. Hér að neðan er sýnd áætlun um þennan kostnað.

Tafla 6 Útdráttur og lagning strengja

	Magn	Einingarverð bjóðanda	Heildarverð
Útdráttur og frágangur í skurði	45.000 m	400 kr	18 Mkr
Undirbúningur og aðstoð við tengingurvinnu	48 stk	60.000	2,9 Mkr
Samtals verkkostnaður útdráttur og lagning			21 Mkr

5.4 Annar kostnaður

Á liðnum áratugumum hefur verið þróað líkan sem notað hefur verið við gerð áætlana um kostnað við gerð orkumannvirkja. Líkanið byggir á útreiknuðum verkkostnaði eins og farið hefur verið í gegnum hér að framan og viðbótarliðum vegna ófyrirséðs kostnaðar, vegna alls undirbúnings, hönnunar, umhverfismats, framkvæmdaleyfa, bóta til landeigenda o.fl. Stærð verkefnis hefur áhrif og staða þess einnig. Þannig er ófyrirséður kostnaður lægri prósentu eftir því sem verkið er komið lengra í hönnun og undirbúningi. Hér að neðan er sýnt dæmi um hvernig framkvæmdakostnaður verkakupa er áætlaður útfrá áætlun um verkkostnað.

Verkkostnaður	Viðbót	Samtals
		100,0%
Ófyrirséð	16,5%	
Verktakakostnaður		116,5%
Ráðgjöf og hönnun	5,0%	
Umsjón og eftirlit	5,0%	
Undirbúningur	3,5%	
Annar verkkaupakostnaður	3,0%	
Framvæmdakostnaður		135,7 %

Fyrir þetta dæmi sem að framan hefur verið rakið myndi kostnaðaráætlun líta út á eftirfarandi hátt;

Tafla 7 Framkvæmdakostnaður jarðstrengslagnar - Einfaldað dæmi

	Erlendur kostnaður	Gengi	Kostnaður M ÍSK
Erlent efni og tengivinna, með flutningi og gjöldum	2.502.300 evrur	154,0	385
Jarðvinna			254
Útdráttur ofl			21
Verkkostnaður			660
Ófyrirséð, 16,5%			109
Verktakakostnaður			769
Ráðgjöf og hönnun, 5%			38
Umsjón og eftirlit, 5%			38
Undirbúningur, 3,5%			27
Annar verkkaupakostnaður, 3%			23
Framvæmdakostnaður			895
Framkvæmdakostnaður á lengdareiningu	59,7 M ÍSK á km		

Hér skal ítrekað að um upphugsað dæmi er að ræða þar sem ýmsum kostnaðarliðum er sleppt sem upp geta komið í jarðvegsvinnunni.

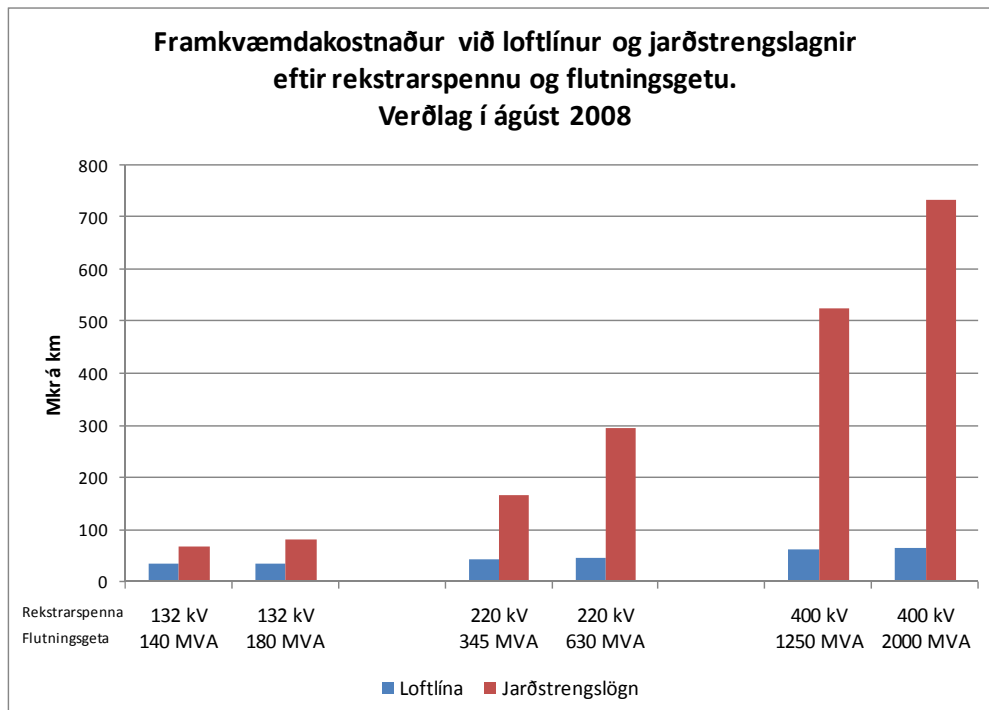
5.5 Samanburður á stofnkostnaði loftlína og jarðstrengja

Ef bera á saman kostnað við jarðstrengi og loftlínur af einhverri nákvæmni þá er nauðsynlegt að gera það á grundvelli hvers verkefnis fyrir sig þar sem aðstæður geta verið mjög mismunandi. Þannig er mjög dýrt að fara með jarðstrengslögn í gegnum hraunasvæði, en kostnaður við loftlínu á slíku svæði þarf ekki að vera hár.

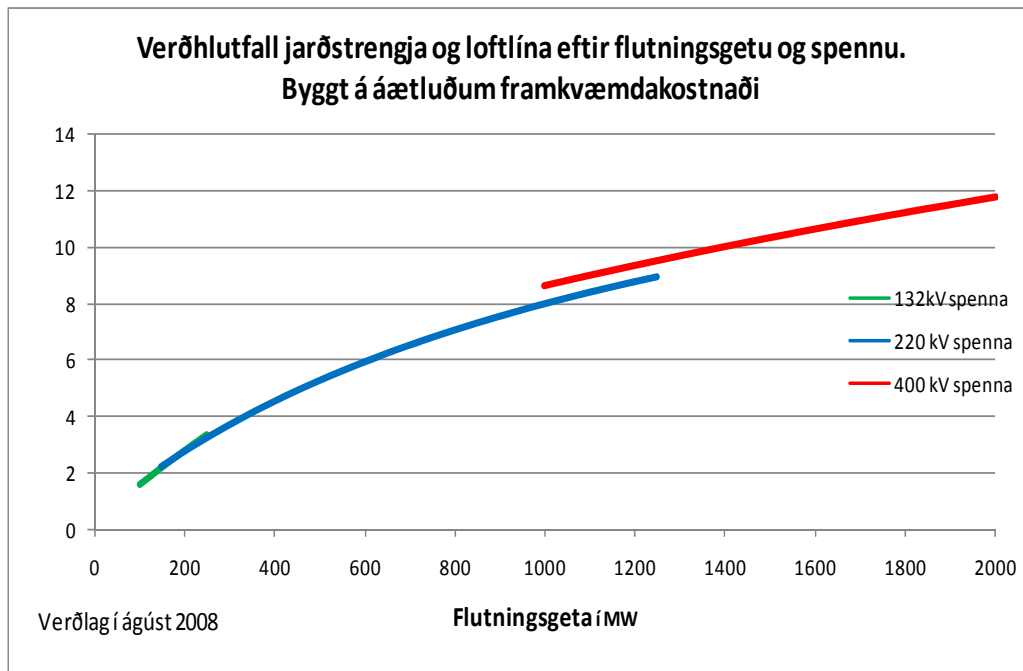
Þegar óskað er eftir einfölduðum samanburði er gjarnan gripið til samanburðar á hlutfallslegum kostnaði jarðstrengslagna og loftlína. Við slíkan samanburð koma eftirfarandi meginniðurstöður í ljós;

- Hlutfall jarðstrengskostnaðar og loftlína er háð tveimur meginþáttum;
 - Rekstrarspennu mannvirkjanna
 - Flutningsgetu mannvirkjanna

Þetta sést vel á meðfylgjandi myndum þar sem kostnaðarmat byggir á „meðalaðstæðum“ í kostnaðarlegu tilviki.



Mynd 35 Framkvæmdakostnaður við loftlínur og jarðstrengslagnir



Mynd 36 Kostnaðarhlutfall jarðstrengslagna og loftlína, eftir flutningsgetu og spennu

Líftími jarðstrengja er mun styttri en háspennulína eða 30-40 ár á móti 50-70 árum hjá loftlínunum. Því þarf að öllu öðru jöfnu að endurnýja jarðstrengslögn einu sinni á líftíma loftlínu, með tilheyrandi kostnaði.

5.6 Samanburður á rekstrarþáttum loftlína og jarðstrengja

Jarðstrengir eru varðir fyrir veðri og vindum og því þarf ekki að búast við truflunum á rekstri þeirra þegar stórviðri ganga yfir eins og raunin er oft með loftlínur. Á móti kemur önnur náttúruvá sem þeir eru viðkvæmari fyrir, t.d. skriður, úrrennsli og hreyfingar í yfirborði. Þá getur jarðhiti í námunda við streng rýrt mjög flutningsgetu hans og kallað á dýrari strengi en ella. Þó búast megi við færri truflunum á jarðstrengjum en loftlínunum þá eru viðgerðir mun tímafrekari. Við bilun á 220 kV jarðstreng þarf að kalla til erlenda tengingarmenn til að setja strenginn saman og má búast við að viðgerðartími sé um 2 vikur. Hins vegar er yfirleitt hægt að gera við loftlínur til bráðbirgða á nokkrum klukkutímum og sæta færissíðar að fara í fullnaðarviðgerð.

Kerfislegir eiginleikar jarðstrengja eru einnig aðrir en loftlína og geta undir vissum kringumstæðum valdið truflunum, einkum þegar hlutfall jarðstrengja í kerfinu hækkar mikið. Um þetta er fjallað í næsta kafla.

Sveigjanleiki er mun meiri við loftlínur en jarðstrengi. Þannig má ef forsendur breytast mjög, t.d. ef álag verður meira en upphaflegar áætlanir sögðu, styrkja möstur og skipta um leiðara í loftlínunum án mjög mikils tilkostnaðar. Fyrir jarðstrengi er engin slík lausn til heldur verður að leggja nýja strengi til viðbótar.

6 TÆKNILEGIR ÞÆTTIR JARÐSTRENGSKERFA

Í þessum kafla er fjallað um nokkur tæknileg atriði í jarðstrengskerfum og hvernig eiginleikar þeirra eru frábrugðnir kerfum sem gerð eru úr loftlínum.

Í fyrsta hlutanum er fjallað um jarðstrengi sem kerfiseiningar, en síðan er minnst á helstu takmarkanir jarðstrengja og jarðstrengskerfa. Að lokum er fjallað örstutt um strengi framtíðarinnar.

6.1 Strengir sem kerfiseiningar

6.1.1 Samsíða rekstur loftlínu og jarðstrengs

Raforkukerfið er eins og vegakerfi þar sem fleiri en ein leið er möguleg á milli tveggja punkta í kerfinu. Í vegakerfinu er það bílstjórinn sem ræður hvaða leið skuli farin, en í raforkukerfinu er raforkuflæðið samkvæmt lögmálum eðlisfræðinnar eða rafmagnsfræðinnar. Einfaldasta dæmið er samsíða rekstur tveggja flutningsrása milli tveggja punkta. Ef báðar flutningsrásirnar eru nákvæmlega eins skiptast flutningarnir til helminga á milli punktanna en ef flutningsrásirnar eru frábrugðnar hvor annarri þá leiðir það til ójafnrar skiptingar.

Almennt gildir um flutning milli tveggja punkta, A og B;

$$P_{A-B} = \frac{V_A * V_B * \sin(\delta)}{X_{A-B}}$$

Þar sem,

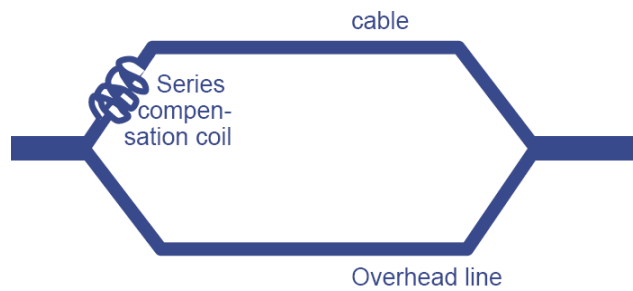
P_{A-B} er aflflutningur frá A til B, t.d. í MW

V_A og V_B eru tölugildi spennunnar í hvorum punkti, t.d. í kV

δ er hornið milli spennuvektoranna í punktunum A og B

X_{A-B} er launviðnám flutningsrásarinnar milli A og B

Launviðnám loftlínu er gjarnan um 0,4 ohm/km en launviðnám jarðstrengs er nær því að vera 0,15 til 0,2 ohm/km. Ef jafnlöng loftlína og jarðstrengur eru samsíða milli tveggja punkta þá skiptist flutningurinn þannig að um 2/3 fer eftir strengnum og 1/3 eftir loftlínunni. Þessir mismunandi eiginleikar gera það oft að verkum að erfitt er að bæta jarðstrengjum inn í kerfi með loftlínum þar sem hætta er á að yfirálag verði á strengjum. Því þarf stundum að setja raðtengdar spólur við jarðstrengi til að jafna álagsskiptinguna. Slíkar spólur eru þá settar upp í aðveitustöð við enda jarðstrengsrásarinnar.



Mynd 37 Álagsjöfnun samsíða strengs og loftlínu með spólu

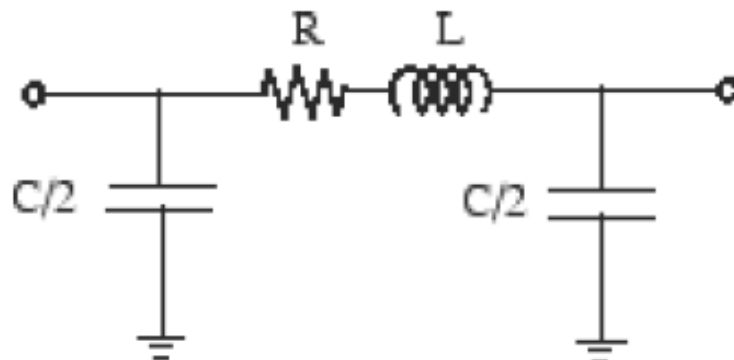
Mynd 38 Spóla

6.1.2 Yfirspennur, yfirtónar eigintíðni

Það er ekki einungis launviðnám strengja sem er frábrugðið eiginleikum loftlína, heldur munar mestu á rýmd milli leiðara og jarðar. Loftlínuleiðari er í 10-15 m hæð yfir jörðu en frá leiðara jarðstrengs yfir í jarðtengdan umlykjandi skerm er ekki meir en 15-30 mm, allt eftir þeirri spennu sem strengurinn er hannaður fyrir. Jarðstrengir eru því á ýmsan máta eins og þéttar. Allt sem viðkemur því að rjúfa jarðstrengi frá kerfinu leiðir því til meiri hættu á yfirspennu á sama hátt og þegar þéttavirki eru rofin frá kerfinu. Þá lækkar eigintíðni kerfanna með auknum hlut strengja og meiri hætta er á að sjálfsvæifla (resonans) verði í kerfunum vegna yfirtóna, með tilheyrandi truflunum og skemmdum á búnaði. Því er óhætt að slá fram, að efir því sem háspennt raforkukerfi innihalda meira af strengjum, þeim mun meiri verða tæknileg vandkvæði við rekstur.

6.2 Takmarkanir á lengd jarðstrengjakerfa

Til að skýra raffræðilega eiginleika loftlína og strengja er hentugt að setja upp líkan af þeim með svokölluðum π -liðum sem lýsa þeim með hefðbundnum grunneiningum rafmagnsfræðinnar, þ.e. viðnámum, spólum og þéttum. Þetta er sýnt á næstu mynd.



Mynd 39 Raffræðilegt líkan af loftlínu eða streng sem π -liður

Ef bornir eru saman eiginleikar loftlína og jarðstrengja á 220 kV spennu með svipaða flutningsgetu þá kemur eftirfarandi í ljós:

Tafla 8 Raffræðilegir eiginleikar loftlína og strengja – Samanburður

Dæmigerðar 220 kV flutningsrásir	Raunviðnám, R Ohm/km	Launviðnám, X ($X=2*f*\pi*L$), ohm/km	Rýmd til jarðar, B microS/km
Loftlína	0,07	0,4	2,5
Jarðstrengur	0,02	0,2	72
Hlutfall grunnstærða Jarðstrengur/loftlína	0,35	0,5	29

Lægra raunviðnám jarðstrengs leiðir til minni orkutapa en í loftlínu við sama flutning. Ólíkt launviðnám jarðstrengja og loftlína veldur vandkvæðum við samrekstur í möskvuðum kerfum þar sem jarðstrengir og loftlínur eru samsíða. Í tilfelli samsíða loftlínu og jarðstrengs myndi stærsti hluti álagsins fara eftir strengnum.

Mesti munur á eiginleikum er hins vegar í rýmd til jarðar. Það má skýra út frá fjarlægð leiðara frá jörðu. Í tilfelli loftlínu er hver leiðari í 10-15 m hæð yfir jörðu en þegar um jarðstreng er að ræða skilur einungis rúmlega 2 cm einangrun leiðarann frá jarðtengdum skerm umhverfis einangrunina. Strengurinn er því eins og stór þéttir.

Eins og fram kemur í töflunni er rýmd strengs til jarðar nær þrítugföld hjá jarðstrengnum miðað við loftlínurnar. Þetta þýðir að launaflsmyndun í jarðstreng af þessari gerð er þrítugföld miðað við loftlínuna. Launaflsmyndun í strengjum er í réttu hlutfalli við lengd þeirra og tekur upp hluta af flutningsgetunni. Þetta takmarkar því lengd strengja ef ekki er gripið til aðgerða.

Launaflsmyndunin er í réttu hlutfalli við lengd strengsins og þegar komið er yfir ákveðna lengd er nauðsynlegt að reisa sérstakar stöðvar til launaflsútjöfnunar. Grunneiningin í slíkum stöðvum er spóla sem eyðir launafl frá strengnum.

Ekki er hægt að setja fram neinar einhlítar forsendur um hámarks lengd strengja áður en grípa þarf til útjöfnunar á launafl. Þar spila inn í aðrar kerfislegar aðstæður, t.d. möguleikar á spennustýringu í kerfinu á svæðinu. Fyrir 132 kV línur er hámarks lengdin í kringum 40 km, 20 km fyrir 220 kV línur og 12-15 km fyrir 400 kV. Rýmd jarðstrengja er mörgum sinnum meiri en hjá loftlínunum á sömu spennu og því framleiða þeir meira launafl þegar þeir eru í rekstri. Launaflid streymir út úr strengjunum, öðru megin eða báðu megin, og er notað af orkunotendum eða gleypst af rafölum virkjana.

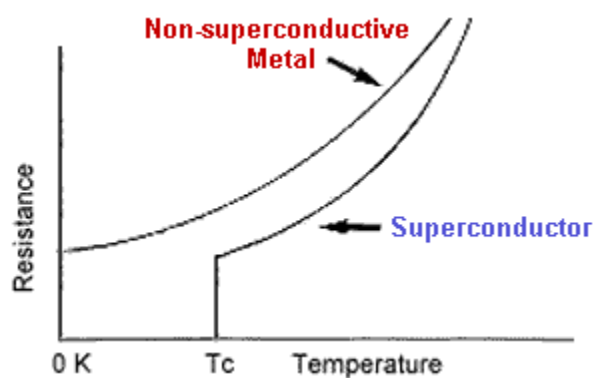
6.3 Jarðstrengir framtíðarinnar

Framleiðsla háspenntra jarðstrengja tók stórstígum framförum upp úr 1960 þegar byrjað var að nota plastefni til að mynda einangrun umhverfis leiðarann en áður hafði eingangrun sem byggist á notkun olíu verið ráðandi. Fyrst í stað náði notkun plasteinangrunar einungis til lægstu spennunnar en smám saman hefur tekist að nota

plasteinangrun fyrir hærri spennu, t.d. fyrir strengi á 400-500 kV spennu um aldamótin 2000. Þetta plastefni sem notað er til einangrunar kallast XLPE (cross-linked-polyethelene). Eftir því sem spennan hækkar eru gerðar meiri kröfur til hreinleika efnisins og þess að plastefnið sé laust við loftbólur. Í sumum löndum, t.d. Bandaríkjunum, eru þó enn notaðir olíufylltir strengir á hærri spennum, en olía er mjög góð einangrun í raffræðilegum skilningi. Í þeim tilvikum er einangrunin byggð upp með því að vefja pappírseinangrun sem gegndreypt er í olíu utan um leiðarann. Þessi tækni er einnig mikið notuð í jafnstraumsstrengjum.

Eins og komið hefur fram, þá hefur varmaflæði frá strengjum mjög afgerandi áhrif á flutningsgetu þeirra. Þessi varmi skapast vegna orkutapa í strengjunum og því er horft til aðferða til að minnka þessi töp. Um langa hríð hafa verið gerðar tilraunir með ofurleiðandi strengi og hafa margar áhugaverðar niðurstöður fengist. Ofurleiðarar hafa þá eiginleika að þegar komið er niður fyrir ákveðið hitastig, þá fellur viðnám þeirra niður í nánast ekki neitt.

Þróunarvinnan hefur beinst mjög að því að þróa ofurleiðara sem ná þessum eiginleikum við venjulegar umhverfisaðstæður en það er áhugaverðast fyrir raforkukerfi. Sú tækni kallast HTS (High Temperature Superconductor) en flutningsgeta slíkra strengja er væntanlega 3-5 sinnum meiri en hefðbundinna strengja. Slíkir strengir hafa verið settir upp til prófunar, t.d. 600 m langur 138 kV strengur hjá Long Island rafveitunni í Bandaríkjunum, með flutningsgetu upp á 570 MVA.



Mynd 40 Viðnám hefðbundins leiðara og ofurleiðara með hitastigi

Búast má við að ofurleiðandi strengir verði algengastir í stórborgum framtíðarinnar þar sem flytja þarf mikla orku neðanjarðar frá úthverfum inn í miðborgirnar.

7 UMHVERFISÁHRIF JARÐSTRENGJA

7.1 Sýnileiki jarðstrenglagnar

7.1.1 Jarðstrengslögn í skipulögðu þéttbýlissvæði

Flutningskerfi raforku nær yfirleitt að tengivirkjum við bæjarmörk þar sem tekið er á móti raforku og hún spennt niður á lægri spennu til dreifingar innanbæjar. Dreifing innanbæjar fer yfirleitt fram með 11 kV strengjum frá aðveitustöð að dreifistöðvum þar sem spennt er niður í 400/230 V spennu til almennra nota. Í stærri bæjarfélögum þarf fleiri en eitt tengivirki og er þá rafmagn flutt að þeim á hærri spennu. Þannig er raforka flutt að innanhúss tengivirkjum í Reykjavík á 132 kV spennu. Sú orka er flutt úr þremur áttum inn í Reykjavík með jarðstrengjum.



Vegna mikilvægis liggja strengir á hæstu spennu yfirleitt ekki um íbúðargötur heldur er frekar reynt að leggja þá með stærri umferðaræðum þar sem minni líkur eru á að hreyfa þurfi við jarðvegi vegna annarra lagna. Auðvitað þarf í einhverjum tilvikum að gera undanþágu þar á.

Þar sem jarðstrengslögnin er gerð í manngerðu umhverfi sjást afleiðingar lagnarinnar yfirleitt ekki.

Mynd 41 Strenglögn meðfram umferðaræð

7.1.2 Jarðstrengslögn meðfram vegi utan skipulagðs þéttbýlis

Utan skipulags þéttbýlis má oft leggja strengi meðfram vegi og spara með því gerð sérstaks vegslóða vegna lagningarinnar. Hér á landi var þetta t.d. gert við lagningu Nesjavallastrengs frá Bringum ofan við Gljúfrastein að aðveitustöðinni við Korpu.

Með þessu móti má spara umtalsverðan kostnað vegna slóðagerðar og umhverfisáhrifum þannig haldið í lágmarki. Við yfirborðsfrágang á Nesjavallastreng var gerður göngu- og hjólastígur yfir strengnum. Með því má telja að umhverfisáhrif af lagningunni hafi verið jákvæð.



Mynd 42 Yfirborðsfrágangur Nesjavallastrengs í Mosfellsdal

7.1.3 Jarðstrengslögn í grónu landi

Við jarðstrengslögn í grasi grónu landi má á tiltölulega stuttum tíma endurheimta þá ásynd sem áður var á svæðinu. Vegna nauðsynlegrar aðkomu til viðgerða geta þó slóðir þurft að vera áfram að einhverju marki.

Þar sem um er að ræða lögn í gegnum skóglendi þarf að fjarlægja trjágróður á strengleiðinni og takmarka framtíðar trjávöxt yfir strengnum og næst honum þar sem rætur trjánna geta hæglega skemmt strengina og raskað frágang á þeim sem nauðsynlegur er til að þeir anni þeirri flutningsþörf sem stefnt var að.



Mynd 43 Strenglögn um skógræktarsvæði

7.1.4 Jarðstrengslögn í gegnum hraun

Það er við lagningu jarðstrengja í gegnum ósnortið hraun sem mestu umhverfisáhrifin verða þar sem ekki er hægt að ganga frá yfirborðinu á eftir á þann veg að ásýndin verði óbreytt. Það má segja það sama um aðrar lagnir í hrauni, t.d. vatnslögnina um hraunið neðan við Bifröst.

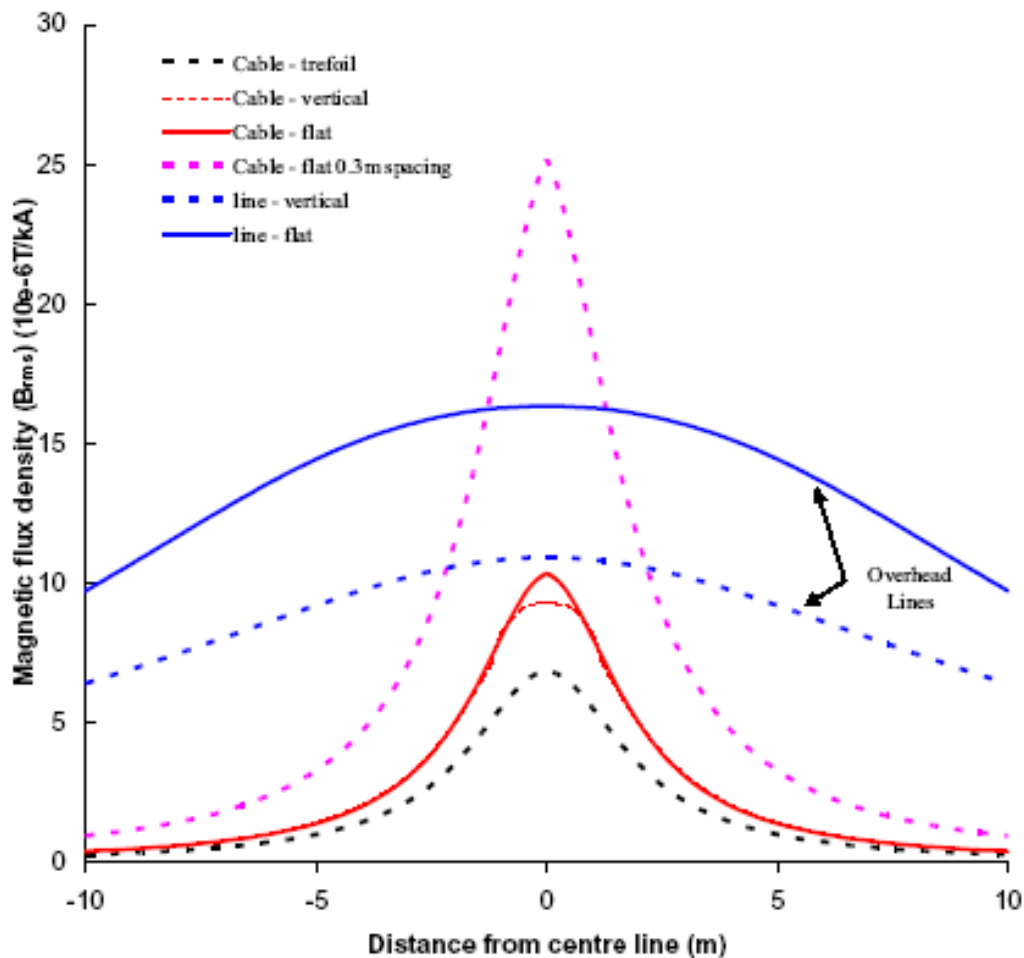


Mynd 44 Ummerki eftir kaldavatnslögn um ósnortið hraun

7.2 Rafsegulsvið

Rafsegulsvið fyrir ofan jarðstrengslagnir er mjög frábrugðið sviði undir loftlínunum. Í fyrsta lagi er ekkert rafsvið en segulsvið er til staðar á afmörkuði svæði ofan við lögnina. Segulsviðið er háð frágangi strengja, hvort þeir eru í þríhyrning eða í flatri uppöðun og hversu langt er milli einleiðara.

Á myndinni má sjá dæmigert segulsvið ofan við jarðstrengslögn fyrir mismunandi útfærslu strengjanna og til samanburðar er sýnt segulsvið undir loftlínu með sama álagi.



Mynd 45 Segulsvið í $\mu\text{T}/\text{kA}$ ofan við jarðstrengslögn fyrir mismunandi fyrir komulag strengja. Segulsvið frá loftlínu til samanburðar. Ath: Gildin skalast með álagsstraum í kA.

Segulsviðið getur því hæglega verið meira ofan við jarðstrengslögn en undir háspennulínu, en það er einungis á takmörkuðu svæði beint fyrir ofan lögnina. Segulsvið frá jarðstrengslögn deyr mun hraðar út til hliðanna en segulsvið frá loftlínu.

7.3 Líftími jarðstrengslagna og afturkvæmni

Líftími jarðstrengslagna er almennt talinn vera á bilinu 30 til 40 ár. Eftir þann tíma má búast við aukinni tíðni truflana sem rekja má til öldrunar í einangrun. Þessi tími er þó ekki einhlýtur, heldur ráða rekstraraðstæður einhverju þar um. Þannig aldrast fyrir strengur sem rekinn er á hitastigi sem fer yfir leyfilegt hitastig. Slíkur rekstur getur verið vegna yfirálags, lélegs frágangs sem leiðir til ónógrar kælingar eða of hás jarðvegshita, t.d. frá hitaveitulögnum eða vegna jarðhita.

Þegar jarðstrengur hefur lokið líftíma sínum þá þarf að fjarlægja hann og leggja nýja lögna í staðinn. Oft yrði það með þeim hætti, að nýr strengur væri lagður og tengdur og síðan sá gamli fjarlægður, en í þeim tilvikum þar sem önnur aðflutningsleið orku til staðar má hugsanlega taka gamla strenginn úr rekstri, fjarlægja hann og leggja síðan annan í staðinn og tengja. Í síðarnefnda tilvikunum er þá um að ræða tímabundinn kerfisrekstur með skertu afhendingaröryggi.

7.4 Samanburður á umhverfisáhrifum loftlína og jarðstrengja

Skipta má umhverfisáhrifum orkuflutningsmannvirkja í nokkra meginþætti. Hér að neðan verður farið í gegnum helstu þætti þessa samanburðar.

Landslag og sjónræn áhrif

Loftlína hefur mun meiri sjónræn áhrif á umhverfi sitt en jarðstrengur enda geta loftlínur verið sýnilegar í allt að 5km fjarlægð frá línustæði en sýnileiki þeirra er mjög háður því landslagi sem þær liggja í. Hinsvegar má ekki gleyma því að jarðstrengur veldur einnig sjónrænum áhrifum þó í minna mæli sé enda má gera ráð fyrir að lagningu hans fylgi rask á beltum umhverfis jarðstrengslögnina. Einnig verður í samanburði að taka tillit til fasviksleiðréttingastöðva á leið strengjarins en þeirra er þörf við langa strengi.

Samkvæmt samanburði á jarðstrengslögn og loftlínu, raskast um 6-sinnum meira svæði við jarðstrengslögn en við reisingu loftlínu.

Niðurrif loftlína veldur litlu raski og skilar landi í svipuðu ástandi og fyrir línulögn. Ef fjarlægja þarf jarðstreng og farga veldur það svipuðu raski og við lögna hans þar sem grafa þarf ofan af honum. Þetta á einnig við um viðhald strengja og viðgerðir.

Gróður

Ef farið er um gróið land raskast meira gróðursvæði við lagningu jarðstrengs en loftlína, auk þess sem auðveldara er að lágmarka áhrif á gróður við slóðagerð milli mastrastæða.

Jarðmyndanir

Við lagningu háspennulína og strengja er nauðsynlegt að leggja vegslóða vegna aðkomu með efni og tæki. Við val á jarðstrengsleiðum er mikilvægt að reyna að nýta eins og kostur er fyrirbyggjandi vegi og slóðir og leggja strengi í jaðar þeirra, en oftast er þó óhjákvæmilegt að fara einhvern hluta leiðarinnar um óraskað land. Getur þá reynst erfitt að aðlaga slóðir meðfram strengnum að landslagi þar sem það þýddi oft á

tíðum umtalsverða lengingu lagnaleiðar. Auðveldara er að fella slóða að mastrastæðum að landinu og sveigja hjá hraunmyndunum auk þess sem nýting fyrirbyggjandi slóða er auðveldari. Því er hættara við að jarðmyndanir raskist við lagningu jarðstrengs og valdi meiri varanlegum áhrifum en lagning vegslóða meðfram loftlínu.

Ferðamennska og útivist

Áhrif háspennulína á ferðamennsku og útivist er fyrst og fremst vegna sjónrænna áhrifa þar sem þær breyta upplifun og útsýni þaðan sem þær sjást. Þannig dregur sýnileiki háspennulína úr aðdráttarafli staða og tilfinningu fyrir óspilltri náttúru. Jarðstrengir hafa einnig áhrif á sýnileika eins og fyrr sagði en það rask sést ekki í jafn mikilli fjarlægð og hefur því ekki jafn mikil áhrif. Þess verður einnig að geta að línuvegir hafa lengi verið nýttir sem ferðamannavegir og gert ýmsa staði aðgengilega fyrir öktæki sem áður voru það ekki.

Raf- og segulsvið

Raf- og segulsvið er í einhverjum mæli í kringum öll rafmagnstæki og rafbúnað, allt frá heimilstækjum upp í flutningsvirki raforku. Í kringum háspennulínur er styrkurinn mestur undir þeim miðjum þar sem leiðarar koma næst jörðu mitt á milli mastra. Umhverfis jarðstrengi er einungis segulsvið, mest á mjóu belti beint fyrir ofan þá og þá gjarnan meira en undir sambærilegri loftlínu. Alþjóðaráðið um varnir gegn ójónandi geislun (ICNIRP) hefur sett mörk um hversu mikið segulsvið og rafsvið megi vera í umhverfi almennings. Þá hefur Evrópusambandið sett fram viðmiðunargildi um hámarksgildi raf- og segulsviðs á stöðum þar sem almenningur dvelur umtalsverðan tíma. Einstaka lönd hafa síðan sett sínar eigin reglur um leyfilegan styrk raf- og segulsviðs við íbúðarhús, skóla og þ.h. Við hönnun háspennulína á Íslandi er tekið mið af þeim alþjóðlegu viðmiðunarmörkum sem nefnd eru.

Fornleifar

Um fornleifar á sama við og um jarðmyndanir. Illmögulegt getur verið vegna landfræðilegra aðstæðna að sveigja til strengleiðina og þar með erfiðara að taka tillit til einstakra fornminja en við lagningu loftlína.

Fuglar

Áhrif línulagnar á fuglalíf geta almennt verið þrenns konar. Í fyrsta lagi breyting á búsvæðum, t.d. ef slóðagerð raskar kjörlendi fugla. Í öðru lagi truflun af völdum umferðar á framkvæmdatíma eða síðar. Í þriðja lagi áflugshætta, og eru það helst stórir og þungfleygir fuglar sem geta drepist við að fljúga á línur.

Fyrstu tveir þættirnir eiga bæði við um jarðstrengi og loftlínur en eðli málsins samkvæmt er aðeins hætta á áflugi þegar lagðar eru loftlínur. Hversu mikil áhrifin verða fer eftir því hvort umferð fugla um svæðið sé mikil og hvort varpsvæði séu í nágrenni við fyrirhugaða línu.

Önnur landnotkun

Ef skógur er í línustæði þarf að ryðja hann á ákveðnu belti vegna jarðstrengs þar sem rætur trjáanna geta hæglega valdið hreyfingu á strengnum í jörðinni og rýrt

nauðsynlega kælingu hans. Ef loftlína er lögð um skógasvæði þarf að halda trjánum innan ákveðinna hæðartakmarka undir og við línuna, t.d. með notkun lágvaxinna plantna, annars er náttúran undir línunni óhreyfð.

Notkun jarðstrengja getur verið nauðsynleg til að samræma línuleið landnotkun á svæðinu, t.d. nálægt aðflugi flugbrauta. Byggingarbann er á beltí í kringum loftlínur, það er misbreitt eftir því hversu há spenna er á línunum,

Hér að neðan eru dregnir saman helstu kostir jarðstrengja og loftlína;

- **Helstu kostir jarðstrengja umfram loftlínur**

- Sýnileiki lítill
- Óháðir ýmsum ytri þáttum (ísing, saltmengun, vindur, snjóflóð, áflug fugla)
- Minna svæði sem fer undir byggingarbann

- **Helstu kostir loftlína umfram jarðstrengi**

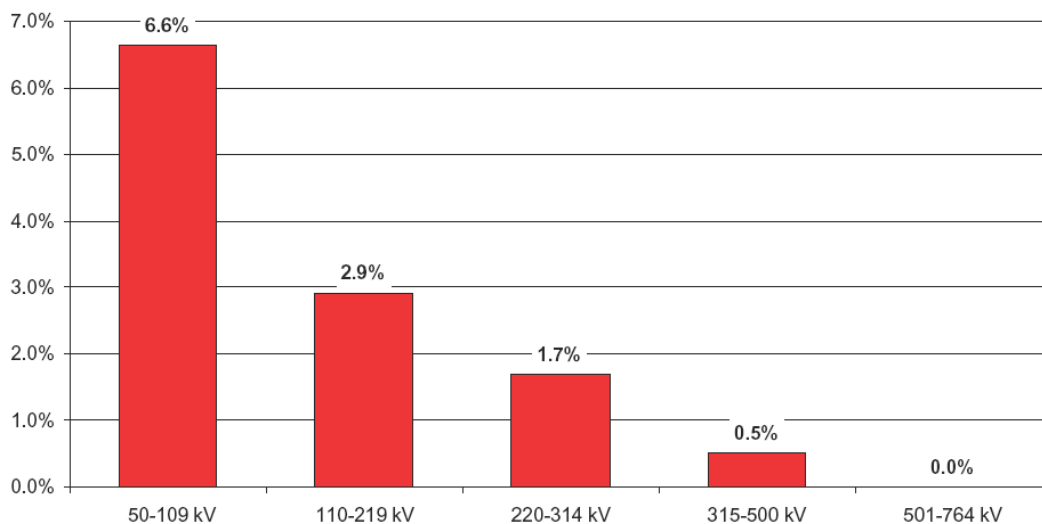
- Lægri kostnaður
- Meiri flutningsgeta m.v. sama leiðaraþvermál
- Þola mikla yfirlestun undir ákveðnum veðurskilyrðum
- Auðveldari bilanaleit og styttri viðgerðartími
- Lengri endingartími
- Meiri sveigjanleiki við endurnýjun
- Þola betur jarðskjálfta
- Vegslóði að hverju mastri, að öðru leyti getur slóði fylgt landslaginu
- Minna jarðrask

8 NOTKUN JARÐSTRENGJA Í RAFORKUKERFUM

Það er ekki bara á Íslandi sem augu fólks beinast að jarðstrengjum sem lausn á flutningi raforku. Raforkufyrirtæki vilja hins vegar byggja áfram á notkun loftlína og veldur kostnaðarþátturinn miklu þar um en tæknileg atriði skipta þó einnig miklu máli.

Á vegum CIGRE var settur á stofn vinnuhópur til taka saman upplýsingar um útbreiðslu jarðstrengja í raforkukerfum og birtust niðurstöður þess í skýrslu árið 2007. Könnunin náði til 16 landa.

Á myndinni hér að neðan sést hlutfall jarðstrengja eftir spennustigi fyrir öll þau lönd sem könnunin náði til.



Mynd 46 Hlutfall jarðstrengja í flutningsrásum eftir spennustigi í kV

Útbreiðsla strengja er þó mjög mismunandi milli landa, en því þéttbýlli sem löndin eru, þeim mun hærra er hlutfall strengja.

Á næstu myndum má sjá upplýsingar um lengdir loftlína og jarðstrengja í flutningskerfinu á Íslandi eftir spennustigi og samsvarandi yfirlit fyrir þau lönd sem voru með í þeirri könnun sem fjallað er um hér að ofan. Þar sést að hlutfall jarðstrengja á Íslandi er ekki frábrugðið því sem er annars staðar. Að vísu eru engir 220 kV jarðstrengir í flutningskerfinu hér, sem ræðst af aðstæðum á Íslandi, en erlendis eru þeir víða til að koma orku inni í stórborgir. Í Reykjavík nægir t.d. að nota 132 kV strengi.

Flutningskerfið á Íslandi 2008

- Flutningskerfið 66 kV – svæðisbundinn flutningur
- Flutningskerfið 132 kV - aðalbrautir
- Flutningskerfið 220 kV og hærra - hraðbrautir

Spenna	Heildar lengd [km]	Lengd jarðstrengja [km]	Lengd loftlína [km]	Hlutfall [%]
66 kV	1052	69	983	6.6 %
132 kV	1268	28	1240	2.2 %
220 kV	853	0	853	0 %

Mynd 47 Loftlínur og jarðstrengir í flutningskerfi Íslands [3]

	50-109 kV	110-219 kV	220-314 kV	315-500 kV	501-764 kV
Australia	4.2	1.5	0.2	0.9	
Austria		6.9	0.1	2.2	
Belgium	8.0	7.6	0.0	0.0	
Brazil	0.2	0.0	1.5	0.8	
Canada	0.9	1.6	0.8	0.1	0.0
China		27.0	8.6	0.0	
Croatia		1.1	0.0	0.0	
Denmark	24.3	12.4	0.0	3.8	
Finland		1.8	0.0	0.0	
France	4.5	0.1	3.4	0.0	
Germany	6.1	6.1	0.2	0.4	
Ireland		3.6	5.8	0.0	
Israel		2.2		0.0	
Italy	0.0	2.3	1.8	0.3	
Japan	14.7	4.8	6.5	0.8	
Korea	0.2	11.3		2.8	0.0
Mexico	3.6	1.3	0.6	0.0	
Netherlands	89.9	16.3	0.9	0.3	
New Zealand	0.7	2.0	0.0		
Poland		0.2	0.0	0.0	0.0
Portugal	5.0	0.1	0.6	0.0	
Romania		1.1	0.1	0.0	0.0
Singapore	100		100	100	
Spain	4.5	1.5	2.5	0.4	
Sweden	2.6	2.3	0.6	0.1	
Switzerland	13.5	25.3	0.9	0.0	
United Kingdom	32.2	11.3	7.3	1.5	
USA	0.6	0.9	0.6	0.4	0.0

Mynd 48 Hlutfall jarðstrengja í % af heildarlengd orkuflutningslína, eftir löndum og spennustigi.

9 STEFNA LANDSNETS Í NOTKUN JARÐSTRENGJA

Á Landsneti hvílir sú lagaskylda að gæta hagkvæmni við uppbyggingu raforkukerfisins. Því verður Landsnet að taka tillit til kostnaðarþátta við sínar ákvarðanir.

Viðmið Landsnets varðandi jarðstrengslagnir er eftirfarandi;

- **66 kV**
Jarðstrengslausn er skoðuð til jafns við loftlínulausn.
- **132 kV**
Jarðstrengslausnir skoðaðar í þéttri byggð, á styttri vegalengdum og þar sem um tengingu einstakra viðskiptavina ræðir.
- **220 kV**
Jarðstrengslausn er ekki tæknilega eða kostnaðarlega fýsileg á þessu spennustigi. Hún kemur eingöngu til athugunar á styttri köflum, til einstakra viðskiptavina og við mjög sérstakar aðstæður:
 - Einstæðar umhverfisaðstæður
 - Þétt íbúðabyggð

HEIMILDASKRÁ

- [1] Working Group B1.07; „Statistics of AC Underground Cables in Power Networks“. CIGRE Technical Brochure No. 338. CIGRE Decemeber 2007.
- [2] „Power Engineering Guide“, 5th ed. Siemens 2008
- [3] Íris Baldursdóttir; „Loflína eða jarðstrengur – Stefna Landsnets“. Kynning, Landsnet 2008.
- [4] „XLPE Cable Systems - User’s guide“. ABB