

Loftlínur eða jarðstrengir

– Samanburður valkosta –



Um höfundinn:

Íris Baldursdóttir er rafmagnsverkfræðingur með B.Sc. próf frá verkfræðideild HÍ 1999 og M.Sc. próf frá KTH í Stockhólmi 2001. Hún starfar nú sem deildarstjóri Kerfisbrúnar hjá Landsneti.

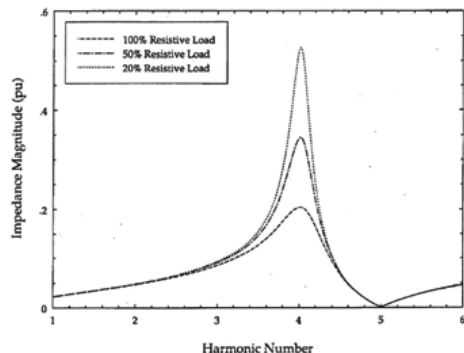
Raforkunotkun hefur farið ört vaxandi á síðustu áratugum, að miklu leyti vegna uppbyggingar stóriðju og aukinnar álvinnslu hérlendis. Þar af leiðandi hefur framleiðslueiningum fjölgað og raforkuflutningur aukist jafnt í flutningskerfi sem og dreifikerfum. Til að anna aukinni eftirspurn þarf að styrkja kerfið og má m.a. gera það með því að endurbýggja eldri línur eða byggja nýjar flutningslínur á milli tiltekinnar spennistöðva í kerfinu. Umræða á Íslandi um þann möguleika að leggja rafmagnslínur í jörð hefur aukist mikið að undanförmu samhlíða vaxandi umhverfismæðu og -meðvitund Íslendinga. Tilgangur þessarar greinar er að bera saman þessa tvo kosti til rafmagnsflutnings með riðstraum.

Almennt um notkun jarðstrengja

Flutningslínur rafmagns hér á landi eru að lang stærstum hluta loftlínur, en með flutningslínur er átt við línur sem eru reknar á 132 kV málspennu eða hærri. Í þeim tilvikum er jarðstrengir hafa verið lagðir, hefur það verið vegna sérstakra aðstæðna og á afmörkuðum og stuttum kafla. Innan þéttbýlissvæða er lögð áhersla á að leggja allar lagnir í jörð og hefur rekstrarspenna slíkra strengkerfa farið hækkandi undanfarna áratugi í samræmi við meiri flutningsþörf og tæknilegar framfarir í framleiðslu strengja sem hafa gert strenglagnir á hærri spennu hagkvæmari en áður var. Í Reykjavík eru t.d. meginlínur aðveitustöðva Orkuveitunnar 132 kV jarðstrengir. En hvers vegna er notkun jarðstrengja ekki eins útbreidd og notkun loftlína? Helsta ástæða þess er mikill munur þegar litið er til stofnkostnaðar en einnig hafa tæknilegar takmarkanir strengja sem og vandkvæði við rekstur jarðstrengja á háum spennum áhrif á útbreiðslu þeirra.

Ef litið er til annarra landa má sjá að líkt og hérlendis

verða strengir fyrir valinu þegar um raforkuflutning í miklu þéttbýli er að ræða. Einnig verða þeir fyrir valinu nálægt aðflugi flugbrauta og þegar þvera þarf ár og vötn þar sem loftlínur verður ekki komið við. Í sumum tilvikum er um tæknilegar ástæður að ræða t.d. nálægð við tengivirki eða þverunar við aðra stóra línu. Sæstrengir eru auk þess víða notaðir til að þvera firði, flóa og sund þar sem loftlínur verður ekki við komið. Tafla 1 gefur yfirlit yfir hlutfall jarðstrengja í flutningskerfum erlendis til samanburðar við Ísland. Tölurnar byggja á síðustu úttekt sem CIGRÉ gerði á notkun jarðstrengja í dreifi- og flutningskerfum þeirra landa sem aðilar eru að CIGRÉ en hún er frá 1996 [8].

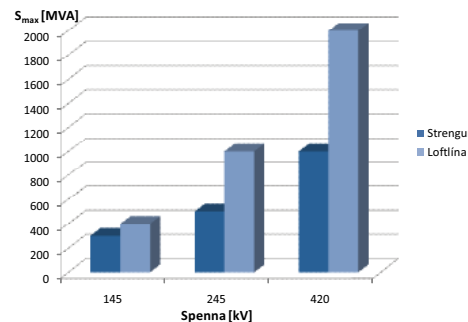


Mynd 1: Dæmi um tíðniháð samviðnám og áhrif annars vegar raunálags og hins vegar stærðar hliðtengs þéttis á hámark hliðtengdrar eigintíðni (e. Parallel Resonance Peak).

Frá því 1996 hefur ein ný 132 kV tenging (loftlína eða jarðstrengur) verið byggð á Íslandi. Samanlögð lengd er 31 km en um helmingur hennar eða 15,5 km er jarðstrengur (NE1). Á hærri spennu hafa þrjár 220 kV loftlínur verið byggðar samtals 14 km og fimm 400 kV loftlínur (BÚ3A, SU2, SU3, FL3 og FL4), samtals að lengd 328,4 km. Þess skal þó getið að allar 400 kV loftlínurnar eru reknar í dag á 220 kV. Að teknu tilliti til þessara framkvæmda þá er hlutfell strengja á Íslandi í dag orðin 3,5% á spennum h110 – 219 kV. Hlutfell strengja á

hærri spennu er í dag óbreytt frá því sem var 1996 eða nálægt núlli.

Óhætt er að fullyrða að notkun jarðstrengja er að mestu bundin þéttbýlum svæðum og að notkun þeirra í dreifbýlum sé lítil. Sterkt samhengi er milli notkunar strengja og þéttleika álags og þar af leiðandi er meiri útbreiðsla strengja líklegri í þéttbýlum löndum með mikla orkunotkun. Dæmi um slík lönd eru Bretland, Holland, Japan og Danmörk.



Mynd 2: Flutningsgeta strengja og loftlína eftir spennu, miðað við þversnið 1.600 mm²

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

Tæknilegur samanburður

Raftæknilegir eiginleikar lína og strengja eru ólíkir og gæta þarf að því við hönnun og uppbyggingu flutningskerfisins. Áhrif strenglagnar á flutningskerfið þarf að kanna sérstaklega í hvert sinn sem strengkostur er skoðaður. Þetta leiðir til flóknari og umfangsmeiri undirbúnings framkvæmda.

Eftir því sem spenna hækkar eykst bilið á milli eiginleika lína og strengja.

Rýmdaráhrif strengja valda margskonar erfiðleikum bæði við hönnun flutningskerfisins sem og við byggingu og rekstur strengja. Rýmd strengsins leggst samhlíða samviðnámi flutningskerfisins og hefur sambærileg áhrif og hliðtengdur þéttir (e. *shunt capacitor*). Jarðstrengur hefur því áhrif á tíðniháð samviðnám (e. *impedance*) flutningskerfisins og leiðir til lækunar eigintíðni þess. Þar með eykst hættan á eigintíðnivandamálum í flutningskerfinu en sú hættan er ekki til staðar þegar um loftlína ræðir. Lækkun eigintíðni eykur líkur á sveiflum og yfirspennum í kerfinu og svörun kerfisins við snöggum breytingum t.d. vegna útleysinga verður síðri. Einnig eykst skammhlaupsafl og yfirtónar magnast. Jarðstrengslögn hefur því neikvæð áhrif á rafmagnsgæði á afhendingarstöðum og ganga þarf úr skugga um að annar búnaður sé hannaður til að þola þá áraun sem kann að verða vegna hliðrunar eigintíðni (mynd 1).

Þegar rýmdaráhrif strengsins verða of mikil hamlar það flutningi raunafis um hann. Til að koma í veg fyrir það eru settar upp fassvikleiðréttingarstöðvar eftir þörfum. Á þetta einkum við um langa strengi en einnig eykst þörfin eftir því sem spenna er hærri. Fassvikleiðréttingarstöðvar þarf að setja upp með um 40-70 km millibili með 132 kV strenglögnum og með allt niður í 15-20 km millibili fyrir 200 til 420 kV streng.

Flutningsgeta háspennulínu og strengs með sama leiðaraþversniði er ekki hin sama. Líkt og með annan samanburð þá eykst þessi munur með hækkandi spennu og á spennum um og yfir 220 kV flytur loftlína með ákveðið þversnið nær tvöfalt meira afl heldur en strengur með sama þversniði. Afleiðingin er að leggja þarf tvo leiðara í jörðu fyrir hvern einn sem er í loftlínu við hæstu spennu.

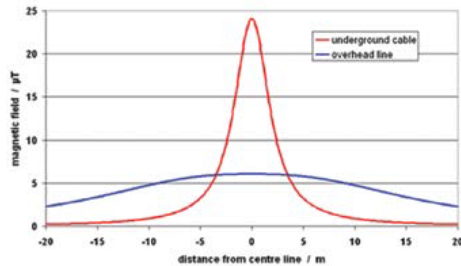
Á mynd 2 má sjá samanburð á flutningsgetu loftlínu og strengs eftir spennu miðað við sama þversniði leiðara.

Ef borinn er saman áreiðanleiki strengja og loftlína kemur í ljós að þrátt fyrir að strengir eru vel varðir fyrir erfiðum veðurskilyrðum þá er áreiðanleiki þeirra lægri en loftlína. Bilanatiðni strengja er jafn eða lægri en bilanatiðni loftlína

Tafla 2: Niðurstöður úttektar Evrópusambandsins frá árinu 2003 á mati rafveita á hlutfallslegum kostnaði jarðstrengjar í samanburði við loftlínu.

	400 kV	150 – 220 kV	Heimild
	Hlutfall strengkostnaðar og loftlína	Hlutfall strengkostnaðar og loftlína	
Austurríki	8	–	Verbund APG Styria
Belgía	Ekki gefið	Ekki gefið	Elia neitaði að gefa kostnaðarhlutfall
Danmörk	7,2	4	Eltra/Elkraft
Finnland	3,5		Fingrid
Frakkland, dreifbýli	10	2,2 – 3	RTE-Piketty Report
Írland	–	7,7	ESB National Grid
Ítalía	5,9	5,5	Electricity Authority
Noregur	6,5	4,5	Statnett
Bretland	15-25	Ekki gefið	National Grid
ETSO	Umframkostnaður við strengi: 5millj.Evrur/km		ETSO: Samtök Evrópskra netfyrirtækja.

en á hinn bóginn er viðgerðartími strengja oft margfaldur á við viðgerðartíma loftlína og eykst viðgerðartíminn með hækkandi spennu. Tiltæki háspennustrengja er því jafnt eða lægra en loftlína og fer hraðlækkandi með spennu. Í skýrslu Transpower á Nýja Sjálandi um áreiðanleika jarðstrengja kemur fram að bilanatíðni 220 kV jarðstrengja er skv. reynslu 1.62/100km/ári en til samanburðar er bilanatíðni 220 kV loftlína í íslenska flutningskerfinu um 0.50/100km/ári [6]. Viðgerðartími 220 kV jarðstrengs er skv. sömu skýrslu Transpower milli 6 og 19 dagar, eða 144 til 456 klst en til samanburðar er meðalviðgerðartími 220 kV loftlína í flutningskerfi LN um 3,8 klst. Hér skal tekið fram að þegar áætlaður er viðgerðartími strengjar er gert ráð fyrir að allir varahlutir sem og þekking séu til staðar og að aðgengi að streng sé gott en þessir þættir ásamt því að oft er tímakrefjandi og erfitt að staðsetja bilun á strengjum, hafa mikil áhrif á viðgerðartíma strengja á yfir 100 kV spennu. Líkt og bent var á fyrr þá eru strengir varðir fyrir slæmum veðurskilyrðum sem geta aukið bilanatíðni loftlína í ákveðnum tilvikum. Hins vegar eru strengir mun viðkvæmari fyrir flóðum, jarðskjálftum og öðrum jarðhræringum. Loftlínur standast hins vegar þessi náttúruöfl til tölulegra vel vegna sveigjanleika þeirra. Af þessum orsökum getur strenglögn á ákveðnum svæðum hérlendis verið erfiðleikum bundin eða jafnvel útilokaður valkostur til raforkuflutnings.



Mynd 4: Samanburður á segulsviði loftlínu og jarðstrengs

Aðrir þættir sem hafa áhrif á hagkvæmni fjárfestingar er líftími búnaðar. Líftími strengja er metinn talsvert undir líftíma loftlína, eða um 30 ár á móti 60-100 ára líftíma loftlína. Einnig koma áhrif tapa inn í hagkvæmniútreikninga en vegna lægri straumpétteleika í leiðurum jarðstrengja eru tölur þeirra almennt lægri í samanburði við loftlínu.

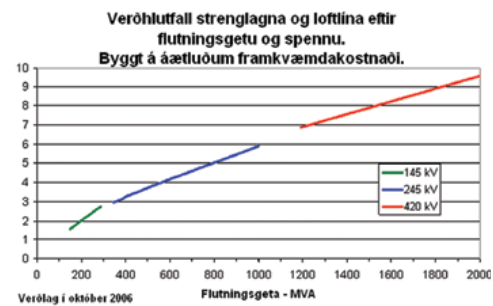
Umhverfisáhrif

Umhverfisáhrif mannvirkja og takmarkanir þar að lútandi ráðast af stöðlum, opinberum viðmiðunarreglum og álit almennings. Sjónræn áhrif loftlína eru meiri en strengja en þau eru þó að einhverju leiti háð því landslagi sem loftlínan er byggð í. Ávallt er reynt að láta loftlínu falla að landslaginu og framfarir hafa orðið í hönnun masta þar sem stög eru notuð í stað undirstaða en það léttir möstrin og dregur úr sýnileika þeirra.

Við lagningu strengja ber að hafa í huga að með hækkandi spennu þarf fassvikleiðréttingarstöðvar með reglulegu millibili og tengibúnað til að tengja inn á strenginn. Einnig bera að gæta að því að við lagningu strengjar fylgir slóð eða veglögn meðfram öllu strengstæðinu. Við byggingu loftlínu nægir hins vegar slóð að hverju mastri. Það fylgir því meira jarðrask vinnu við lögn jarðstrengjar en eftir lögn hans sést slóðin meðfram strenglöggninni, auðkennismörking strengsins (hælar), tengikassar og fassvikleiðréttingarstöðvar en þær geta krafist talsverðs landrýmis (1.000-2.000 m² fyrir hverja stöð í 220 kV streng).

Segulsvið í kringum streng annars vegar og línu hins vegar er sýnt á mynd 4. Þar sést að það er talsvert hærra beint yfir strengnum en til hliðar við strenginn fer rafsegulsvið hraðar minnkandi í samanburði við loftlínu.

Mun auðveldara er að skila landi í sambærilegu ástandi eftir notkun loftlína en jarðstrengja. Reynsla er af slíku á Íslandi sbr. ríf Elliðaárlínu 1 á 132 kV. Ef grafa þarf upp streng vegna úreldingar þá er það talsvert og kostnaðarsöm aðgerð sem veldur svipuðu jarðraski og við lagningu hans.



Mynd 3: Verðhlutfall strenglagna og loftlína, samanburður stofnkostnaðar.

Kostnaðarsamanburður

Háspennustrengir eru enn sem komið er í öllum tilvikum dýrari en loftlínu með sambærilega flutningsgetu en verðmunurinn er minni á lægri spennu. Auk þess kemur í ljós í nýjum samanburði sem Verkfræðistofan Afí framkvæmdi að flutningsgeta tengingarinnar hefur talsvert áhrif á hlutfall kostnaðar [5]. Á mynd 3 er samanburður á kostnaði lína og strengja sýndur og þar sést hvernig hann getur verið upp undir tífaldur fyrir 400 kV tengingu. Auk þess sýnir samanburður að mun hagkvæmara er að auka flutningsgetu loftlína heldur en strengja. Tvöföldun flutningsgetu 220 kV loftlínu veldur eingöngu um 10% kostnaðaraukningu en tvöföldun flutningsgetu strengs tvöfaldar verð hans að sama skapi. Hér skal tekið fram að í samanburði er ekki tekið tillit til kostnaðar vegna mögulegra fassvikleiðréttingastöðva strengja þar sem þörf þeirra er háð lengd strengsins.

Á vegum Evrópusambandsins var gerð viðamikil úttekt á kostnaði við lagningu loftlína og jarðstrengja á árinu 2003 [2]. Niðurstöðurnar eru sýndar eftir löndum sem hlutfall á milli stofnkostnaðar 1 km af streng annars vegar og loftlínu



RAFORKUFLUTNINGUR - OKKAR FAG

Nú geta allir raforkunotendur, þar með talin heimilin í landinu, ráðið af hvaða framleiðanda raforkan er keypt.



Landsnet gegnir lykilstutverki í markaðs-væðingu raforkuferfisins. Starfsemi þess snertir hvert byggt ból og Íslendinga alla.

Landsnet stýrir rekstri og uppbyggingu flutningskerfis raforku og tengir þannig saman framleiðendur og notendur raforku með áreiðanleika, öryggi og hagkvæmni að leiðarljósi.

Til flutningskerfisins teljast allar línur sem eru með 66 kV spennu og hærra, auk nokkurra 33 kV lína, samtals um 3000 km af línunum. Landsnet á og rekur einnig um 70 tengivirki víðs vegar um land.

Landsnet er ábyrgt og framsækið þjónustufyrirtæki með öflugra liðsheld, sterka samfélagsvitund og í fremstu röð í alþjóðlegum samanburði.

Lokaorð

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

- Sýnileiki lítill
- Minna segulsvið að undanskildu svæði beint yfir miðju strengs
- Óháðir veðurþáttum, s.s. eldingum, isingu, salt mengun eða vind
- Trufanir vegna áflugs fugla útilokað
- Minni töp

Af þeim samanburði sem farið hefur fram á loftlínunum og strengjum má taka saman nokkur mikilvæg atriði sem taka þarf tillit til áður en ákvörðun er tekin að leggja streng í stað loftlínu:

- Kostnaðarmunur strengja og loftlína er umtalsverður en flutningsgeta hefur þar mikið að segja um endanlegt hagkvæmnimat. Áætlaður líftími, áreiðanleiki og töp strengjarins þarf einnig að taka tillit til í heildarmati.
- Rýmdareiginleikar strengsins hafa áhrif á tíðniháð samviðnám flutningskerfisins og getur valdið aflsveiflum, resónans, minni dempun og hærri skammhlaupsstraumum.
- Lægri áreiðanleiki og lengri viðgerðartími strengja þarf að taka tillit til við rekstur kerfis og meta þarf áhrif þess á afhendingaröryggi flutningskerfisins.
- Vegna takmarkaðra möguleika til yfirlestunar strengja eru þeir líklegri til þess að valda flöskuhálsu í kerfinu. Sveigjanleiki til aukinnar flutningsgetu er lítill sem enginn.
- Í umhverfismati þarf að taka tillit til mögulegs búnaðar vegna faskvæmleikar þegar um lengri strengi er að ræða.
- Meta þarf hæfi staðsetningar til strenglagningar m.t.t. jarðhreyfinga og jarðskjálfta. ■

Heimildir

- [1] IEEE Std. 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, June 1992.
- [2] BACKGROUND PAPER - UNDERGROUNDING OF ELECTRICITY LINES IN EUROPE, Brussels, 10 December 2003
- [3] First Comments on the BACKGROUND PAPER - UNDERGROUNDING OF ELECTRICITY LINES IN EUROPE, Brussels, 10 December 2003
- [4] Samanburður jarðstrengja og loftlína, október 2000

- [5] Samantekt á verði lína og strengja, nóvember 2006
- [6] An International Survey of Reasons for Undergrounding Transmission Lines, New Zealand, 2005
- [7] Comparison of the Reliability of a 400 kV Underground Cable with an Overhead line for a 200 km Circuit, New Zealand, 2005
- [8] Comparison of high-voltage lines and underground cables. Report and guidelines. 1997.
- [9] ETSO Position on use of Underground Cables to Develop European 400 kV Networks, 2003
- [10] Out of Sight, Out of Mind ? - A study on the cost and benefits of undergrounding overhead power lines. July 2006.



www.vso.is

GOTT FÓLK

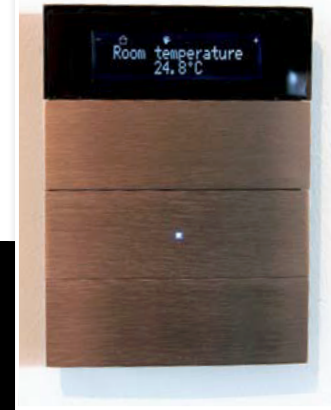
VSÓ RÁÐGJÖF hefur starfað frá árinu 1958 og er ein af rötgrönustu verkefnafræðistofum landsins. Við erum leiðandi á okkar sviði og veitum viðskiptavinum okkar alhliða verkefnafræðingjör með það að markmiði að tryggja þeim hagkvæmstu lausnirnar í hverju verkefni fyrir sig. Hjá VSÓ starfa nú um 70 manns. Í fyrirtækinu ríkir jákvæður starfsandi og starfsmenn reka öflugt starfsmannafélag. Vegna mikilla ana og sérlega góðrar verkefnastöðu óskum við eftir **GÓÐU FÓLKI** til að starfa með okkur.

VSÓ RÁÐGJÖF
Borgartúni 20, 105 Reykjavík, sími: 585 9000, heimasíða: www.vso.is

Notagildi, glæsileiki og fjölbærni lýsa best **BERKER** raflagnaefninu frá **VOLTA** - Myndirnar tala sínu máli.



Við bjóðum, ásamt samstarfsaðilum okkar, upp á heildarlausnir í rafkerfum húsbýgginga.



Hússtjórnarkerfi, raflagnaefni, snertiskjái, fjarstýringar, rofar, dimmar og tenglar frá BERKER og fleirum í samstarfi við rafhönnuði og rafverktaka.

Hljómflutningstæki og hljóðkerfi í samstarfi við Bang & Olufsen.

Lýsingarbúnaður og lampar í samstarfi við GH - iGuzzini.

LED-ljóstvistar, ljósgjafar framfaririnnar frá OSRAM.

VOLTI - val vandlátra húseigenda.

Sími: 570-0000 - www.volti.is