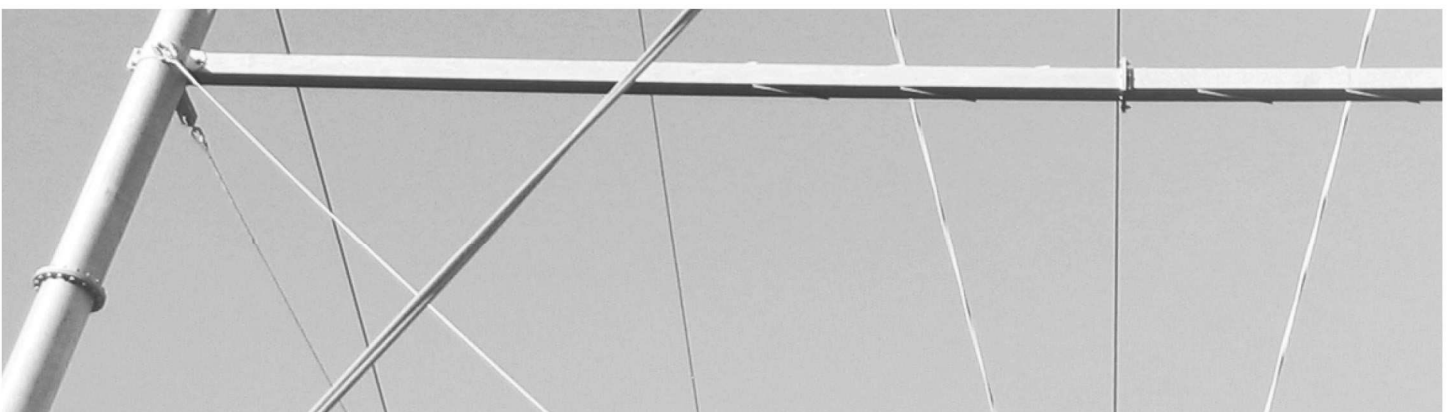




## RAFSEGULSVIÐ OG HLJÓÐ FRÁ HOLTAVÖRÐUHEIÐARLÍNU 1

Niðurstöður útreikninga

31.01.2024





## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

105435-SKY-001-V01

### SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01 / 26

### VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Kristinn Magnússon

### VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Egill Þorsteins

### LYKILORÐ

Rafsvið, segulsvið, rafsegulsvið, hljóð, útreikningar, HH1, Holtavörðuheiðarlína 1, HT1, Hrutatungulína 1

### STAÐA SKÝRSLU

- Drög
- Drög til yfirlstrar
- Lokið

### DREIFING

- Opin
- Dreifing með leyfi verkkaupa
- Trúnaðarmál

### TITILL SKÝRSLU

Rafsegulsvið og hljóð frá Holtavörðuheiðarlínu 1

### VERKHEITI

Holtavörðuheiðarlína 1 - Verkhönnun

### VERKKAUPI

Landsnet

### HÖFUNDUR

Eggert Þorgrímsson

### ÚTDRÁTTUR

Skýrsla þessi fjallar um rafsegulsvið og hljóð frá 220 kV Holtavörðuheiðarlínu 1 sem mun liggja á milli fyrirhugaðs tengivirkisins á Holtavörðuheiði og fyrirhugaðs tengivirkisins við Klafastaði í Hvalfirði. Fjallað er almennt um rafsegulsvið og hljóð frá háspennulínunni og settar fram niðurstöður útreikninga. Niðurstöðurnar sýna að rafsvið, segulsvið og hávaði eru innan marka fyrir línuna.

## ÚTGÁFUSAGA

---

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Eggert Þorgrímsson	26.01.24	Egill Þorsteins	29.01.24		
	Fyrsta formlega útgáfa					

---

---

## EFNISYFIRLIT

MYNDASKRÁ	6
TÖFLUSKRÁ	6
1 INNGANGUR	7
1.1 Línugatan	7
1.2 Uppbygging í línugötu	8
1.3 Rafsvið og segulsvið	9
1.4 Hljóð	9
1.5 Fleiri en einn leiðari í fasa	9
2 RAFSVIÐ OG SEGULSVIÐ	10
2.1 Almennt	10
2.2 Rafsegulsvið og heilsa	11
2.3 Viðmiðunargildi um leyfilegan styrk rafsegulsviðs	12
2.4 Rafsegulsvið frá loftlínunum	13
2.5 Túlkun á kröfum	14
3 HLJÓÐ	15
3.1 Almennt	15
3.2 Vindgnauð	15
3.3 Hávaði af rafrænum uppruna	16
4 FORSENDUR ÚTREIKNINGA	18
4.1 Almennt	18
4.2 Rafsegulsvið	18
4.3 Hljóð	18
5 NIÐURSTÖÐUR RAFSEGULSVIÐSÚTREIKNINGA	20
5.1 HH1 samsíða HT1	20
5.1.1 Rafsvið	20
5.1.2 Segulsvið	20
5.2 HH1 ein og sér	21
5.2.1 Rafsvið	21
5.2.2 Segulsvið	22
6 NIÐURSTÖÐUR HLJÓÐÚTREIKNINGA	23
6.1 HH1 samsíða HT1	23
6.2 HH1 ein og sér	23
7 NIÐURSTÖÐUR	25
HEIMILDASKRÁ	26

## MYNDASKRÁ

MYND 1	Línugata HH1 _____	7
MYND 2	Þversnið línugötu þar sem HH1 liggur samsíða HT1 _____	8
MYND 3	Þversnið línugötu þar sem HH1 liggur ein og sér _____	8
MYND 4	Þversnið rafsviðs í línugötu þar sem HH1 og HT1 liggja samsíða _____	20
MYND 5	Þversnið segulsviðs í línugötu þar sem HH1 og HT1 liggja samsíða _____	21
MYND 6	Þversnið rafsviðs í línugötu þar sem HH1 liggur ein _____	21
MYND 7	Þversnið segulsviðs í línugötu þar sem HH1 liggur ein _____	22
MYND 8	Útreiknaður hávaði þar sem HH1 liggur samsíða HT1 _____	23
MYND 9	Útreiknaður hávaði þar sem HH1 liggur ein _____	24

## TÖFLUSKRÁ

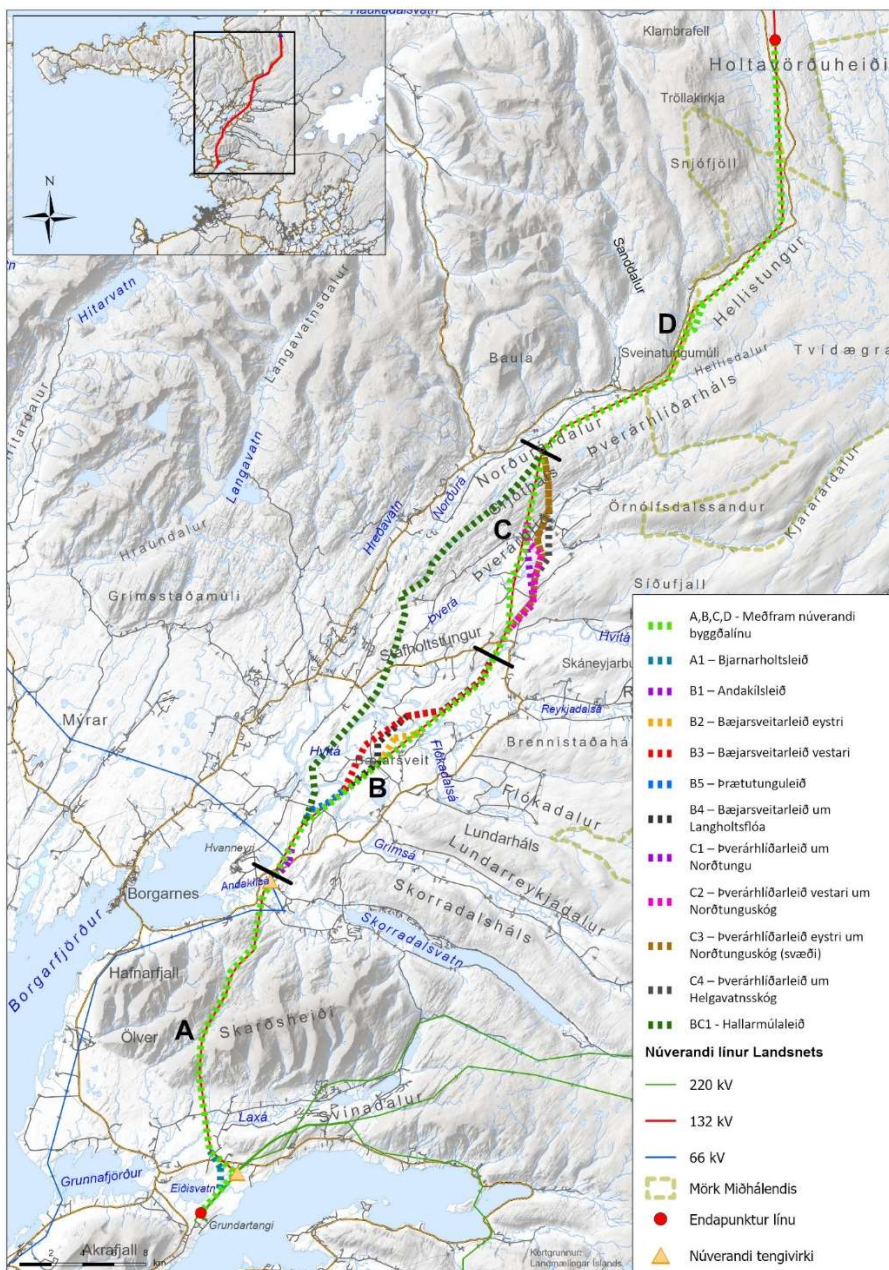
TAFLA 1	Hljóð í umhverfi mannsins (Randall McMullan 1991) _____	9
TAFLA 2	Styrkur segulsvið frá nokkrum algengum tækjum og háspennulínunum _____	10
TAFLA 3	Helstu reglugerðir og tilmæli um leyfilegan styrk rafsegulsviðs _____	12
TAFLA 4	Samanburður á viðmiðunarmörkum tilmæla um leyfilegan styrk rafsegulsviðs gagnvart almenningi (50 Hz) _____	12
TAFLA 5	Viðmiðunarmörk fyrir hávaða frá atvinnustarfsemi (Reglugerð um hávaða, B nr. 724 2008) _____	15
TAFLA 6	Málgildi flutningslínanna _____	18
TAFLA 7	Forsendur HH1 og HT1 sem miðað var við í útreikningum hér _____	18
TAFLA 8	Útreiknaður styrkur rafsviðs, segulsviðs og hljóðs frá HH1 og HT1 við nokkur „nálæg“ hús _____	25

# 1 INNGANGUR

## 1.1 Línugatan

Í þessari greinargerð eru skoðuð umhverfisáhrif af rafrænum uppruna umhverfis 220 kV Holtavörðuheiðarlínu 1 (HH1) sem liggja mun frá fyrirhuguðu tengivirki á Holtavörðuheidi (HOH) að fyrirhuguðu tengivirkinu við Klafastaði í Hvalfirði (KLA), alls um 91 km leið. Þessi áhrif eru rafsegulsvið sem skiptist í rafsvið og segulsvið en einnig getur verið um að ræða hljóð. Línan verður lögð sem loftlína alla leið.

Línugatan er sýnd á mynd 1 sem er úr matsáætlun línunnar [9].



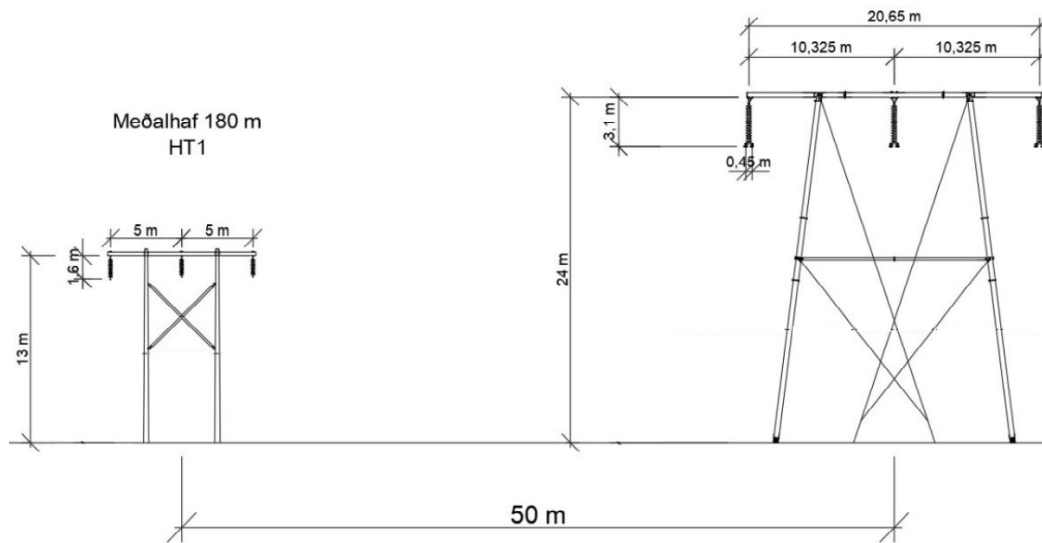
MYND 1 Línugata HH1

Línan liggur samsíða Hrutatungulínu 1 (HT1) á hluta leiðarinnar og ein sér þar fyrir utan. Línuleiðin er ekki frágengin og enn er verið að skoða valkosti eins og sjá má á mynd 1.

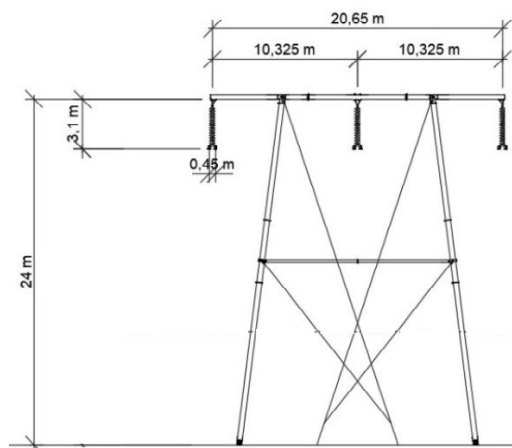
Í þessari skýrslu eru skoðuð rafsvið, segulsvið og hljóð sem berast frá línunni þar sem hún liggur samsíða HT1 og einnig þar sem hún liggur ein og sér. Til eru alþjóðlegar viðmiðunarreglur um rafsvið og segulsvið, en mörk fyrir hávaða eru skilgreind í íslenskri reglugerð um hávaða.

## 1.2 Uppbygging í línugötu

Línan verður með hefðbundnum röramöstrum með tvíleiðara (e. duplex) í láréttri uppöðun. Þversnið í línugötunni þar sem línan liggur samsíða HT1 er sýnt á mynd 2 og þversnið þar sem línan liggur ein og sér á mynd 3. Bil á milli fasa í HH1 er rúmir 10 m.



**MYND 2** Þversnið línugötu þar sem HH1 liggur samsíða HT1



**MYND 3** Þversnið línugötu þar sem HH1 liggur ein og sér

Línan liggur fjarri byggð á allri línuleiðinni, næsta íbúðarhús við hana verður í um 200 m fjarlægð frá miðlínu línugötunnar.



### 1.3 Rafsvið og segulsvið

Meðalgildi rafsviðs milli tveggja hluta, t.d. milli leiðara háspennulínu og jarðar, má reikna með því að deila með fjarlægðinni (í metrum) upp í spennumuninn á milli hlutanna (í voltum). Rafsvið er þannig háð spennumun á milli hluta og fjarlægðinni á milli þeirra en er óháð straumnum í leiðurunum.

Segulsvið myndast í kringum leiðara þegar um þá fer straumur. Styrkur segulsviðsins er eingöngu háður straumnum (mældum í Amperum) og er óháður spennu leiðarans.

Fjallað verður nánar um rafsvið og segulsvið í kafla 2, meðal annars tilgreindar alþjóðlegar viðmiðanir um hámarksstyrk.

### 1.4 Hljóð

Hávaða má skilgreina sem óæskilegt hljóð. Hljóð í umhverfi hinnar fyrirhuguðu línugötu er í dag af ýmsum toga, mest er það þó hljóð eða hávaði vegna ýmissa umsvifa mannsins, t.d. frá bílaumferð. Til viðbótar við þessi hljóð bætist hljóð frá háspennulínum, oftast nær veikt en stöku sinnum hærra. Ástæðurnar fyrir hljóðum frá háspennulínur eru tvennskonar, annars vegar vindgnauð og hins vegar af rafrænum uppruna.

Í töflu 1 eru sýnd dæmigerð gildi fyrir hljóð og hávaða í umhverfi mannsins. Þess skal getið að maðurinn skynjar aukningu í hljóðstigi um 10 dB sem tvöföldun hljóðs eða hávaða, en á hinn bóginn tvöfaldast orka hljóðs við 3 dB aukningu hljóðstigs og hætta á skaða fylgir orkuaukningu frekar en skynjun okkar á hávaðaaukningunni.

**TAFLA 1** Hljóð í umhverfi mannsins (Randall McMullan 1991)

Hljóðstig í desibelum [dB]	Dæmi um hljóð	Dæmi um hávaða
140		Sársaukamörk
120		Óþægingamörk
100		Loftpressa
80		Mikil umferð
60	Samræður	
40	Stofa	
20	Lágvært sveitaumhverfi	
0	Mörk skynjunar	

Fjallað verður nánar um hljóð í kafla 3, þar með talið leyfileg gildi fyrir háspennulínur.

### 1.5 Fleiri en einn leiðari í fasa

Vegna kröfu um mikla framtíðarflutningsgetu HH1 er fyrirhugað að hafa tvo leiðara í hverjum fasa línunnar (e. duplex). Við það eykst „virkt“ yfirborð leiðara og styrkur rafsviðsins á yfirborði þeirra minnkar verulega sem minnkar líkur á bliki (e. corona) á yfirborði þeirra, en blik er það sem skapar hljóðið frá þeim. Fjölgun á leiðurum í fasa veldur því hins vegar að dreifing rafsviðs á milli leiðaranna og jarðar verður jafnari sem leiðir til þess að styrkur rafsviðsins næst jörðu verður meiri en fyrir einn leiðara. Ef styrkur rafsviðsins við jörðu er nálægt leyfilegu hámarki fyrir einn leiðara á hvern fasa er viðbúið að hækka þurfi línuna ef hafðir eru tveir leiðarar í fasa.

## 2 RAFSVIÐ OG SEGULSVIÐ

### 2.1 Almennt

Í rafmagnsfræðum er oft talað um rafsegulsvið sem eitt svið. Rafsegulbylgjur spanna hins vegar vítt tíðniróf og verður hér aðeins fjallað um svokallaðar lágtíðni rafsegulbylgjur, þ.e. rafsegulbylgjur af svipaðri tíðni og riðstraumur sem notaður er í orkukerfum, 50 rið (Hz) í Evrópu en 60 Hz í Bandaríkjunum (á ensku er talað um ELF eða Extremely Low Frequency).

Undir þessum kringumstæðum er hægt að tala um tvö óháð svið, rafsvið og segulsvið. Rafsvið er mælt í V/m (volt á metra) eða kV/m (þúsund volt á metra) og segulsvið er mælt í einingunum tesla (T), gauss (G) eða A/m (amper á metra). Hér verður einingin Tesla notuð, eða öllu heldur míkrotesla ( $\mu\text{T}$ ;  $1 \mu\text{T} = 1/1.000.000$  úr tesla =  $0,01 \text{ G} = 10 \text{ mG} = 0,7957747 \text{ A/m}$ , í lofti) í samræmi við venjur í Evrópu.

Rafsvið er háð spennunum á milli hluta og óháð straumnum. Styrkur segulsviðs er hins vegar háður straumnum og óháður spennunni.

Maðurinn lifir og hrærist í segulsviði jarðar og þó að það sé í stórum dráttum fast og óumbreytanlegt þá eru í því daglegar sveiflur (fyrir utan langtímasveiflur) sem stafa m.a. af sólgosum og norðurljósum. Breytilegt segulsvið eða hreyfing í föstu segulsviði veldur rafstraumum. Umhverfis öll rafmagnstæki, hvort sem eru á heimilum, í raforkuverum eða flutningsvirkjum raforku, má búast við rafsegulsviði, missterku eftir efnum og aðstæðum. Til að gefa einhverja viðmiðun um styrk segulsviðs er í töflu 2 sýnt segulsvið frá ýmsum algengum tækjum auk háspennulína og til samanburðar er sýnt segulsvið jarðar. Fyrir tækin er gefið segulsvið í dæmigerðri fjarlægð miðað við notkun þeirra.

Sú orka eða geislun sem fylgir lágtíðni rafsegulsviði eins og hér er til umræðu nær ekki að kljúfa frumefni eða efnasambönd og er því sögð ójónandi eða ekki-jónandi geislun, til aðgreiningar frá hinni hættulegu hátíðni jónandi geislun, eins og t.d. röntgengeislun.

**TAFLA 2** Styrkur segulsvið frá nokkrum algengum tækjum og háspennulínum

Hlutur	Fjarlægð (m)	Segulsvið í MíkróTesla ( $\mu\text{T}$ )
Rafmagnsofnar (eldavélar)	0,3	0,15 – 0,5
Örbylgjuofnar	0,3	4 – 8
Kaffivélar	0,3	0,08 – 0,15
Matvinnsluvélar	0,3	0,6 – 10
Ryksugur	1,0	0,13 – 2
Hárþurrkur	0,3	0,01 – 7
Rafmagnsrakvélar	0,1	15 – 1500
Rafhitastrengir í gólfi	0,1	0,2 – 3
Vatnsrúm með rafmagnshitun	0,1	0,04 – 2,5
GSM símar	0,01	2-20
Segulsvið jarðar		50
Daglegar sveiflur við yfirborð jarðar		+/- 1

## 2.2 Rafsegulsvið og heilsa

Umræður um áhrif rafsegulsviðs á lífverur hafa verið talsverðar á undanförunum áratugum og gerðar hafa verið rannsóknir víða um lönd. Rannsókuð hafa verið áhrif rafsegulsviðs á krabbamein, þ.e. hvort dvöl í rafsegulsviði auki líkur á krabbameini. Þessar rannsóknir hafa bæði verið faraldsfræðilegs eðlis og einnig beinst að áhrifum raf- og segulsviðs á lifandi frumur, það er lífeðlisfræðilegar rannsóknir. Í faraldsfræðilegum rannsóknum er kannað með tölfræðilegum hætti, eftir rannsóknir á fjölda tilfella, hvort þeir sem verða fyrir meira rafsegulsviði en aðrir eigi fremur von á því að fá krabbamein. Samsvarandi faraldsfræðilegar athuganir hafa m.a. sýnt fram á með óyggjandi hætti að samband sé á milli reykinga og lungnakrabba. Í lífeðlisfræðilegum rannsóknum er reynt að finna á hvern hátt rafsegulsvið geti breytt eðlilegum frumum í krabbameinsfrumur. [2]

Þeir sjúkdómar sem hér er um að ræða eru mjög fátíðir og fjöldi tilfella því lítil, jafnvel hjá milljóna-þjóðum. Margar rannsóknir byggja á mjög fáum sjúkdómstilvikum og því er ekki hægt að fá fram tölfræðilega marktækar niðurstöður þó að sumir rannsóknaraðilar telji sig merkja einhverjar vísbendingar. Í því sambandi má einnig geta þess, að sumar athuganir hafa bent til að minni hættu sé á vissum tegundum krabbameina hjá einstaklingum sem hafa að jafnaði viðveru í sterkara segulsviði en aðrir. Almennt virðast sérfræðingar sammála um að ef einhver áhætta sé þarna a ferðinni þá sé hún mjög lítil, a.m.k. í samanburði við aðra þekktu áhættuþætti, t.d. áhrif reykinga á lungnakrabbamein. Ekki hefur heldur tekist að finna á hvaða hátt rafsegulsvið gæti valdið breytingu á erfðaefni í frumum þannig að heilbrigðar frumur breytist í krabbameinsfrumur. [2]

Bandaríkjaþing setti lög árið 1992 sem skyldaði Orkuráðuneyti Bandaríkjanna til að fela vísindaakademíu Bandaríkjanna að rannsaka þessi tengsl raf- og segulsviðs við sjúkdóma. Vísindaakademían skipaði sérfræðinganefnd til að grandskoða fyrirbyggjandi rannsóknir um hugsanleg áhrif á heilsu manna frá raf- og segulsviði. Nefndin starfaði í nærri þrjú ár og fór ofan í kjölinn á 500 rannsóknum sem gerðar höfðu verið frá 1979. Niðurstöður nefndarinnar voru gefnar út af vísindaráði Bandaríkjanna í 356 síðna bók (National Research Council 1997) [1]. Hér á eftir fylgir þýðing á hluta af niðurstöðunum í ágripi bókarinnar:

*„Það er niðurstaða nefndarinnar að fyrirbyggjandi rannsóknir sýni að áreiti frá raf- og segulsviði ógni ekki heilsufari manna. Sérstaklega er tekið fram að enginn fullnægjandi (og samstæður) vitnisburður gefi tilefni til að ætla að áreiti frá raf- og segulsviði valdi krabbameini, eða hafi áhrif á sálarlíf einstaklinga, taugaboð, æxlun þeirra eða þroska. Þessi niðurstaða er byggð á ítarlegri greiningu rannsókna á áhrifum raf- og segulsviða (sem hafa lága tíðni) á frumur, vefi og lífverur, þar á meðal menn.“*

Alþjóðaheilbrigðisstofnun (WHO) setti af stað verkefni árið 1996 sem kallaðist „The International EMF Project“. Verkefnið hefur þann tilgang að safna saman þeirri þekkingu sem er til staðar og að nýta það bolmagn sem er í alþjóðlegum lykilstofnunum, stofnunum einstakra landa og rannsóknarstofnunum. Á sviði líffræði og læknisfræði hafa á síðustu 30 árum birst um 25 þúsund greinar um efnið. Þrátt fyrir að sumum þyki að fleiri rannsókna sé þörf þá er meiri þekking á þessu málefni en til dæmis um flest kemísk efni. Byggt á nýlegri umfangsmikilli rýni („in-depth review“), hefur WHO ályktað að þekkt gögn staðfesti ekki tilvist heilsufræðilegra afleiðinga af því að vera útsettur fyrir rafsegulbylgjum af lágum styrk [2]. Samt sem áður eru göt í þekkingu á líffræðilegum áhrifum og frekari rannsókna er þörf.

### 2.3 Viðmiðunargildi um leyfilegan styrk rafsegulsviðs

Vegna þess að ekki hefur verið hægt að sýna fram á með ótvíræðum hætti að samband sé á milli rafsegulsviðs og heilsufars manna, voru yfirvöld víðast hvar lengi vel treg til að setja fram viðmiðunarglur um leyfilegan styrk raf- og segulsviðs. Þó var oft beitt varúðarreglu við lagningu nýrra orkuflutningslína, þ.e. reynt að staðsetja þær þannig að þær væru ekki of nálægt byggingum eins og barnaheimilum og barnaskólum, ef því var við komið án mikils aukakostnaðar.

Alþjóðleg nefnd um varnir gegn ó-jónandi geislum, ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection), setti fram viðmiðunargildi árið 1990 en það var með nýrri útgáfu 1998 sem þær fengu alþjóðlegt vægi [3]. Evrópuráðið setti fram leiðbeinandi viðmiðunargildi árið 1999 [4] sem byggðu á viðmiðunargildum ICNIRP frá 1998. Flestar Evrópuþjóðir tóku upp þessi viðmiðunargildi en mörg lönd settu til viðbótar kröfur um hámarksgildi á meðalsegulsviði yfir árið. Fyrirgreindar reglur fjölluðu einungis um hámarkssvið, en það er mjög breytilegt innan ársins frá flestum háspennuvirkjum. ICNIRP sendi frá sér endurskoðaðar viðmiðunarglur árið 2010 [5] þar sem hámarksgildi segulsviðs á 50 Hz var hækkað frá 100 í 200  $\mu\text{T}$  fyrir svæði þar sem almenningur dvelur í umtalsverðan tíma. Nokkur lönd hafa tekið upp þetta nýja viðmið um segulsvið, en flest lönd halda sig enn við viðmiðunargildi útgáfunnar frá 1998.

Helstu alþjóðlegar viðmiðunarglur (tilmæli) sem til eru um leyfilegan styrk rafsegulsviðs eru tilgreindar í töflu 3. Í töflu 4 eru borin saman viðmiðunarmörk tilmælanna um leyfilegan styrk rafsviðs og segulsviðs gagnvart almenningi, en viðmiðunarmörk í vinnuumhverfi eru önnur og hærri.

**TAFLA 3** Helstu reglugerðir og tilmæli um leyfilegan styrk rafsegulsviðs

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)	1990	Interim guidelines on the limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)	1998	ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 400 GHz)
The Council of the European Union	1999	Council recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)	2010	ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz - 100 GHz)

**TAFLA 4** Samanburður á viðmiðunarmörkum tilmæla um leyfilegan styrk rafsegulsviðs gagnvart almenningi (50 Hz)

Hámarksstyrkur rafsegulsviðs gagnvart almenningi (General Public)				
Aðili	Rafsvið		Segulsvið	
	Stöðug dvöl	Stutt dvöl	Stöðug dvöl	Stutt dvöl
ICNIRP 1990	5 kV/m	10 kV/m	100 $\mu\text{T}$	1000 $\mu\text{T}$
ICNIRP 1998	5 kV/m		100 $\mu\text{T}$	
EU Council 1999	5 kV/m Gildir þar sem búast má við að almenningur dveljist í umtalsverðan tíma		100 $\mu\text{T}$ Gildir þar sem búast má við að almenningur dveljist í umtalsverðan tíma	
ICNIRP 2010	5 kV/m		200 $\mu\text{T}$	

Eins og fyrr sagði hafa flestar Evrópuþjóðir tekið upp viðmiðunargildi Evrópuráðsins frá 1999, en engu aðildarríki er skylt að fara eftir tilmælunum. Tilmæli Evrópusambandsins miða að því að vernda heilsu almennings og gilda aðeins á þeim svæðum sem almenningur eyðir umtalsverðum ("significant") tíma, sbr. lið (9) í tilmælunum.

Misjafnt er milli landa hvernig þessar viðmiðunarreglur eru innleiddar. Sum lönd setja reglugerðir sem byggja á tilmælum Evrópuráðsins en önnur fela viðkomandi raforkufyrirtækjum að setja sér reglur. Þá hafa mörg lönd sett reglur um meðaltal árlegs segulsviðs sem má vera við vegg tiltekinn gerða húsa yfir árið.

Í reglugerð númer 1290 frá 2015 um háþörk geislunar starfsmanna og almennings vegna starfsemi þar sem notuð er geislun [8] segir í grein 25:

*„Háþörk ójónandi geislunar sem almenningur má verða fyrir vegna starfsemi þar sem slík geislun er notuð skulu vera innan þeirra marka sem skilgreind eru af Alþjóða geislavarnaráðinu fyrir ójónandi geislun á hverjum tíma.“*

Miðað við það gilda tilmæli ICNIRP frá 2010 á Íslandi, sjá töflu 4.

Útreikningar á rafsegulsviði frá flutningslínunum eru í dag almennt gerðir í 1 m hæð yfir jörðu, hvort sem er fyrir loftlínur eða jarðstrengi [7]. Sú hæð er skilgreind í bandarískum stöðlum, ANSI/IEEE, en hæðin er ekki skilgreind í öðrum stöðlum, t.d. IEC. Áður fyrr var oft miðað við 1,8 m sem er nálægt því að vera höfuðhæð meðalmanns, en bent hefur verið á að mikilvæg líffæri séu neðar í líkamanum. Munur á sviðsstyrki í líkamanum eftir hæð yfir jörðu getur verið um 10%.

## 2.4 Rafsegulsvið frá loftlínunum

Flutningsgeta loftlínu (hitaflutningsmörk) er skilgreind sem sá straumur sem fer eftir línunni og veldur því að leiðari er við ákveðið hitastig (hönnunarhitastig) við tiltekna umhverfisaðstæður [11]. Velja má hönnunarhitastig fyrir línu í samræmi við þörf, en þó lægra en það hitastig sem leiðarinn þolir. Við hækkað hönnunarhitastig þarf að auka hæð mastra þar sem leiðari sígur meira eftir því sem hitastig hans hækkar. Hönnunarhitastig lína hér á landi getur verið allt frá 40°C upp í 70-80°C. Leiðara í línunum þarf einnig að velja út frá styrk, t.d. vegna ísingar og vindálags, og því þarf oft að velja sverari leiðara en þörf er á út frá kröfum um flutningsgetu. Þá getur verið nægilegt að miða við lágan leiðarahita sem hönnunarhitastig, t.d. 40°C. Fyrir aðrar línur þar sem krafist er meiri flutningsgetu er miðað við herra hönnunarhitastig fyrir sams konar leiðara og er þá flutningsgetan meiri. Því geta línur með sömu leiðaragerð haft mismunandi skilgreinda flutningsgetu (hitaflutningsmörk).

Bæði rafsvið og segulsvið er sterkast undir línunum sjálfum en minnkar hratt til beggja hliða. Undir línunum í sléttu landi er það hæst á miðju hafi þar sem leiðarar eru næst jörðu, en lægst við möstur þar sem fjarlægð frá jörðu er mest. Hæð leiðara á hafi milli mastra breytist með hitastigi leiðara en hitastig leiðarans ræðst af töpum í honum sem hita hann upp og kælingu sem er háð útihita og vindi. Því er ekki hægt gefa upp ákveðið fast gildi um hæð leiðara þar sem hann kemur næst jörðu á miðju hafi. Loftlínustaðall EN 50341 skilgreinir minnstu leyfilegu hæð leiðara en í aftaka ísingu má leiðari síga 2 m neðar. Þar sem línur liggja á víðavangi í fjarlægð frá byggingum og vegum er lágmarkshæð undir 220 kV leiðara 7,0 m en 6,2 m fyrir 132 kV. Það er þó aðeins í sérstökum tilvikum sem leiðari er svo lágt frá jörðu, t.d. ef flutningur eftir línu er nálægt hönnunargildi, útihitastig hátt og logn, eða þá í ísingu.

Útreikningar á rafsegulsviði eru almennt gerðir miðað við línur í sléttu landi. Rafsegulsvið er þá sterkast þar sem leiðarar koma næst jörðu sem er almennt mitt á milli mastra, en lækkar þegar kemur nær möstrunum. Þá dvínar rafsegulsviðið mjög hratt til hliðanna.

Rafsviðsstyrkur loftlínu er eingöngu háður rekstrar spennu línunnar sem er yfirleitt mjög nálægt nafnspennu en segulsviðið er í beinu hlutfalli við strauminn í línunni sem ræðst af álagi hverju sinni sem getur verið mjög breytilegt. Spennan á línunni hefur engin áhrif á segulsviðið og því getur segulsvið frá línu á 132 kV spennu verið svipað og frá 220 kV línu, þ.e. ef straumurinn í línunum er sá sami.

Í þéttbýlum hlutum Evrópu liggja línur oft um íbúðarbyggð og víða er heimilt að háspennulínur liggi yfir íbúðarhúsum. Við slíkar aðstæður, þ.e. þegar búast má við stöðugri eða langvarandi viðveru almennings, er eðlilegt að viðhafa ströng varúðarsjónarmið varðandi rafsegulsvið. Slíkar aðstæður er ekki til staðar fyrir háspennulínur á Íslandi og þar gildir byggingarbann undir línunum. Breidd helgunarsvæðis HH1 þar sem hún liggur ein er um 50 m og á því ríkir byggingarbann. Það sama á við þar sem HH1 og HT1 liggja samsíða en þá er helgunarsvæðið um 95 m.

## 2.5 Túlkun á kröfum

Til samræmis við reglugerð númer 1290 frá 2015 verður hér miðað við að uppfylla gildandi tilmæli ICNIRP frá 2010, það er að styrkur rafsviðs fari ekki yfir 5 kV/m og styrkur segulsviðs fari ekki yfir 200  $\mu$ T, bæði innan og utan línugötunnar. Leiðarahitinn ræður sigi leiðarans og þar með hæð hans yfir jörðu í lægst punkti, en þar er rafsegulsvið í 1 m hæð yfir jörðu sterkast eins og fram hefur komið.

## 3 HLJÓÐ

### 3.1 Almennt

Hljóð af rafrænum uppruna eru vart merkjanleg á lægri spennum en koma fram þegar spenna hækkar.

Í töflu III í viðauka við reglugerð (724/2008) um hávaða frá atvinnustarfsemi [6], en telja má að flutningur raforku falli í þann flokk, eru sett fram viðmiðunarmörk fyrir mesta hljóðstig utan við glugga húsnæðis. Viðmiðunarmörkin koma fram í töflu 5 hér að neðan.

**TAFLA 5** Viðmiðunarmörk fyrir hávaða frá atvinnustarfsemi (Reglugerð um hávaða, B nr. 724 2008)

Tegund húsnæðis	Mörk fyrir atvinnustarfsemi			
	Mesta hljóðstig við húsvegg	Virka daga (07-19)	Kvöld og helgidaga (19-23)	Nótt (23-07)
		$L_{Aeq(07-19)}$	$L_{Aeq(19-23)}$	$L_{Aeq(23-07)}$
Íbúðarhúsnæði á íbúðarsvæðum	dB(A)	50	45	40
Íbúðarhúsnæði á verslunar- þjónustu- og miðsvæðum	dB(A)	55	55	40
Dvalarrými á þjónustustofnunum þar sem sjúklingar eða vistmenn dvelja í lengri tíma	dB(A)	60*	50*	50*
Iðnaðarsvæði og athafnasvæði	dB(A)	70	70	70
Frístundabyggð	dB(A)	35	35	35
Leik- og grunnskólar	dB(A)	50*		

\* Hávaði utan við húsvegg má vera meiri ef tryggð er þeim aðfærsla útilofts um hljóðgildir

Hávaðamörk í reglugerðinni miðast við jafngildishljóðstig, þ.e. hljóðstig sem samsvarar sömu hljóðorku yfir mælitímann og hinn raunverulegi breytilegi hávaði. Í þeim tilvikum sem hávaði er breytilegur er jafngildishljóðstig lægra en hámarks hljóðstig, hversu mikið lægra er ekki hægt að gefa nein algild svör um. Hljóðstigið er mælikvarði á hljóðstyrk, oftast mælt í desibelum með svonefndri A-síu sem líkir eftir næmi eyrans. Hljóðstigið er þá táknað  $L_A$  og mælieiningin er dB(A).

$L_{Aeq}(T)$  stendur fyrir jafngildishljóðstig, mælt yfir tímabil T (t.d. T=24 stundir eða T= frá kl. 07 til kl. 19). Vegið meðaltalshljóðstig, táknað  $L_{Aeq}$  er jafngildishljóðstigið nema þegar hljóðið inniheldur ríkjandi tón eða högghljóð, en þá bætast 5 dB við mæligildið. Jafngildishljóðstig er ákveðið meðaltalshljóðstig, sem samsvarar sömu hljóðorku yfir ákveðið tímabil og raunverulegur breytilegur hávaði.

### 3.2 Vindgnaúð

Vindgnaúð getur myndast við ákveðnar aðstæður, þ.e. vindhraða og stefnu, þegar vindurinn blæs í gegnum stálturna, um leiðara og einangraskálar. Hávaði af þessum orsökum er ekki háður spennu eða straum í leiðurum línunnar.

### 3.3 Hávaði af rafrænum uppruna

Hávaði af rafrænum uppruna frá loftlínunum á hárrí spennu myndast vegna blíks (kórónu) á yfirborði leiðara. Um er að ræða úrhleðslur sem verða vegna hárs styrks rafsviðs á yfirborði leiðaranna. Þessar úrhleðslur eru mestar þegar rafsvið aflagast á yfirborði leiðaranna, t.d. vegna regndropa. Þessi hávaði er því mestur í rigningu en minnstur í þurrri veðri. Vegna þess að hávaði í sjálfri rigningunni er mikill er almennt miðað við hávaða við blautan leiðara, t.d. þegar rigning hættir en vatnsdropar loða enn við leiðarana og bjaga rafsviðið á yfirborði þeirra.

Hávaðinn getur verið tvenns konar, annars vegar brak og brestir (breiðbands) og hins vegar lágtíðni tónn með tvöfaldri grunntíðni, þ.e. 100 Hz. Fyrirnefndi hávaðinn er yfirgnæfandi.

Þar sem raforkumannvirki eru í rekstri allan sólarhringinn þarf að miða við næturgildi, þ.e. 40 dB á íbúðarsvæðum og 35 dB við frístundabyggð. Mörk við iðnaðar- og athafnasvæði eru það há að þau eru langt yfir því sem búast má við frá línunum. Hávaði frá raforkumannvirkjunum er því almennt skoðaður miðað við íbúðar- og frístundabyggð. Hávaðinn eða hljóðstigið er reiknað út miðað við næmnikúrvu mannseyrans og eru mörk heyrnar við 0 dB.

Hávaði af rafrænum uppruna frá háspennulínu er með þeim hætti að hann er mjög háður veðri eins og áður sagði og því ekki hægt að áætla jafngildishljóðstig. Hávaði í góðu veðri er lítill og því hafa rannsóknir beinst nær eingöngu að því að finna útreikningsaðferðir fyrir hávaða af völdum blíks í rigningu.

Hávaði í snjókomu fer eftir hve blautur snjórinn er; hann er svipaður og í rigningu ef um er að ræða blautan snjó en mun minni ef snjór er þurr.

Hávaði af völdum blíks í góðu veðri hefur ekki verið rannsakaður jafn mikið og hávaði í slæmu veðri, en til eru aðferðir til að áætla hann út frá útreiknuðum hávaða í mikilli rigningu og ýmsum þáttum í gerð línunnar. Í útreikningum á hávaða hér á eftir verður miðað við minnstu hæð.

Leiðarar háspennulína eru lengst frá jörðu í upphengipunktum við möstur en næst jörðu á miðju hafi sé miðað við slétt land. Lítill munur er á hávaðanum frá línunni hvort sem miðað er við hæð við möstur, meðalhæð eða minnstu hæð.

Eftir því sem leiðarar eru nær hver öðrum þeim mun hærri spennustigull verður á yfirborði þeirra sem veldur meira blíki sem leiðir til meiri hávaða. Fasabil 220 kV lína Landsnets er meira en sambærilegra lína á Norðurlöndum vegna meira vindálags og því er spennustigull á yfirborði leiðara lægri. Það leiðir til þess að og 220 kV línur Landsnets eru hljóðlátari en sambærilegar línur á öðrum Norðurlöndum.

Hávaði frá háspennulínunum sem myndast vegna blíks á yfirborði leiðara er ekki samfasa, þ.e. „incoherent“, og því leggst hljóðstig frá hverri línu ekki saman með einföldum hætti, heldur á eftirfarandi hátt (sýnt fyrir N hljóðgjafa);

$$L_{A\_samfals} = 10 * \text{Log}(10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + .. + 10^{L_{An}/10} + ... + 10^{L_{AN}/10})$$

$L_{An}$  er hljóðstig í ákveðnum punkti frá hljóðgjafa n

Ef um er að ræða tvo hljóðgjafa og hljóðstigið frá hvorum hljóðgjafa fyrir sig er það sama, þá verður hljóðstigið 3 dB(A) hærra þegar þeir leggjast saman en frá einum hljóðgjafa.



Eins og fyrr hefur komið fram miðast reglugerð um hávaða við jafngildishljóðstig sem ekki er einfalt að áætla fyrir línurnar. Ströngustu gildin sem samkvæmt reglugerðinni þarf að uppfylla eru við frístundabyggð, 35 dB(A). Þar sem hávaði frá loftlínu í mikilli rigningu drukkna væntanlega í rigningarhávaðanum er eðlilegast að byggja annarsvegar á hljóðstiginu við blautan leiðara ( $L_A-50\%$ ) og hinsvegar hljóðstiginu í góðu veðri þegar metin eru áhrif af hávaða frá línunni. Slíkt er t.d. gert við umhverfismat sambærilegra lína í Danmörku. Í sumum löndum er veginn saman hávaði við mismunandi skilyrði og ræður veðurfars saga á hverjum stað hvaða vægi hver þáttur fær.

Taka skal fram að í þessari greiningu verður einungis reiknað hljóð frá leiðurum. Útreikningar á hljóð vegna blikis á einöngurum og tengibúnaði eru flóknir og tímafrekir og krefjast að auki ítarlegra upplýsinga um viðkomandi búnað sem ekki liggja fyrir á þessu stigi. Vísað er til hljóðmælinga sem fram fóru í lok árs 2022 á 220 kV Hólasandslínu 3 [10] þar sem hljóðstig mældist allt að 10 dB(A) hærra næst línu við mastur en á miðju hafi, en lækkaði hratt frá línunni og var orðið það sama og frá leiðurum 30-50 m frá línunni þar sem helgunarsvæði línu endar að jafnaði.

## 4 FORSENDUR ÚTREIKNINGA

### 4.1 Almennt

Útreikningar eru gerðir fyrir þær aðstæður þar sem línurnar eru næst jörðu miðað við slétt land.

Miðað var við þá uppröðun mastra sem fram kemur á myndum 2 og 3.

Málgildi flutningslínanna sem koma við sögu í útreikningunum eru sýnd í töflu 6.

TAFLA 6 Málgildi flutningslínanna

FLUTNINGSLÍNA	REKSTRARSPENNA [kV]	FLUTNINGSGETA [MVA]	HÁMARKSÁLAG [A]
Holtavörðuheiðarlína 1 (HH1)	220	850	2231
Hrútatungulína 1 (HT1)	132	160	700

Forsendur fyrir HH1 og HT1 sem miðað var við í útreikningum koma fram í töflu 7.

TAFLA 7 Forsendur HH1 og HT1 sem miðað var við í útreikningum hér

FLUTNINGSLÍNA	GILDI FYRIR HH1	GILDI FYRIR HT1
Gerð fasaleiðara	2 x 774-AL3	354-AL3
Gerð jarðvírs	enginn	enginn
Hönnunarhitastig leiðara	50°C	50°C
Lægsta hæð leiðara á hafi í útreikningum *	8,2 m	6,2 m
Hæð fasaleiðara við mastur (upphengipunktur)	20,9 m	11,4 m
Lárétt bil á milli fasaleiðara	10,3 m	5,0 m
Lóðrétt bil á milli fasaleiðara	0 m	0 m

\* Lægsta hæð leiðara miðar við umhverfishita 10°C, vindstyrk í hæð leiðara 2,0 m/s, vindstefnu hornrétt á leiðara, sólargeislun 300 W/m<sup>2</sup> og varmageislunareiginleika leiðara 0,5 [11]

Öll gildi voru reiknuð út fyrir 1 m hæð yfir jörðu, eins og lýst er í kafla 2.3.

### 4.2 Rafsegulsvið

Rafsegulsvið loftlínunnar var reiknað út með forriti sem EFLA hefur komið sér upp.

Rafsviðið var reiknað fyrir minnstu hæð leiðara á hafi.

Segulsviðið var reiknað fyrir hámarksálag (flutningsgetu) og minnstu hæð leiðara á hafi.

### 4.3 Hljóð

Reiknaðar voru stærðir fyrir línurnar þar sem tekið var tillit til næmnikúrvu mannseyrans, en til samanburðar er einnig sýnt áætlað hljóðstig í góðu (þurru) veðri;

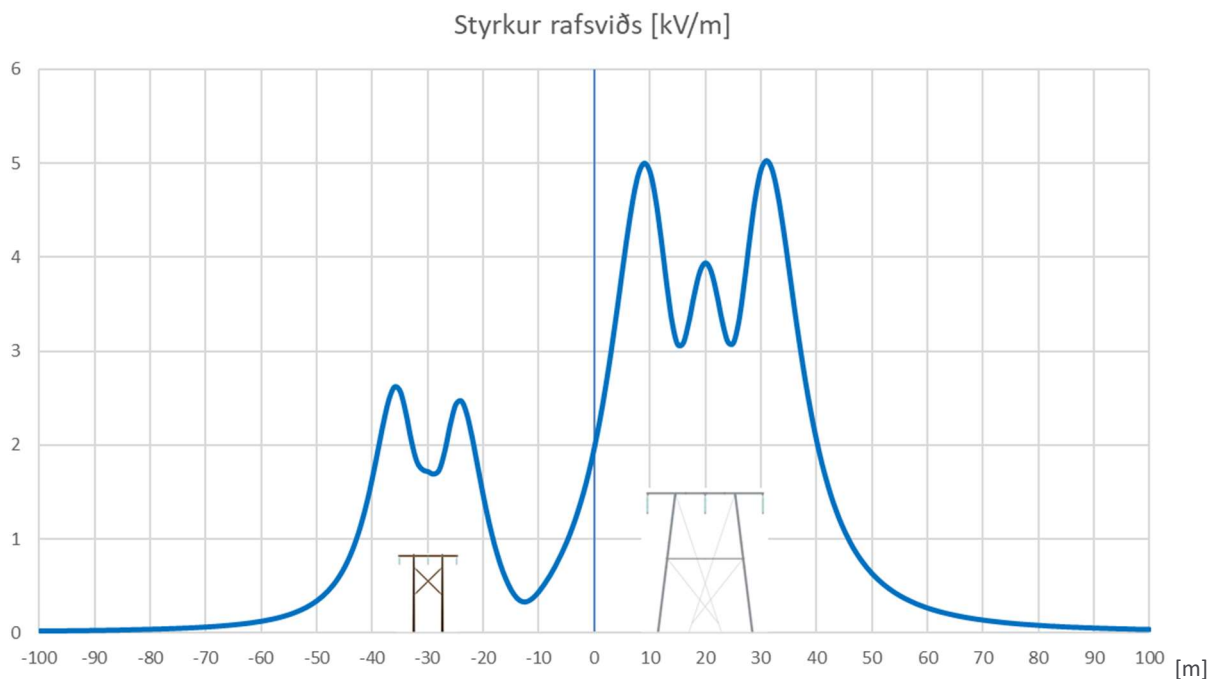
- L<sub>A</sub>-5 : Hljóðstig í mjög mikilli rigningu ("heavy rain"). Áætlað er að hljóðstigið geti einungis verið hærra 5% tímans, þ.e. tímans sem veður er slæmt.
- L<sub>A</sub>-50 : Hljóðstig þegar yfirborð leiðarans er rakt ("wet conductor"). Áætlað er að hljóðstigið geti verið hærra 50% tímans í slæmu veðri (rigningu).
- L<sub>A</sub>-75 : Hljóðstig þegar yfirborð leiðarans er þurrt ("dry conductor"). Almennt er að hljóðstigið hafi lítil sem engin áhrif.

## 5 NIÐURSTÖÐUR RAFSEGULSVIÐSÚTREIKNINGA

### 5.1 HH1 samsíða HT1

#### 5.1.1 Rafsvið

Niðurstöður útreikninga á rafsviði í línugötunni þar sem HH1 liggur samsíða HT1 eru sýndar á mynd 4.



**MYND 4** Þversnið rafsviðs í línugötu þar sem HH1 og HT1 liggja samsíða

Eins og sést á myndinni er hámarksgildi útreiknaðs rafsviðs 5,0 kV/m.

Við jaðar helgunarsvæðis línunnar er styrkur rafsviðsins kominn niður í 1,0 kV/m.

Í 100 m fjarlægð frá miðju línugötunnar er styrkur rafsviðsins kominn niður í 0,03 kV/m

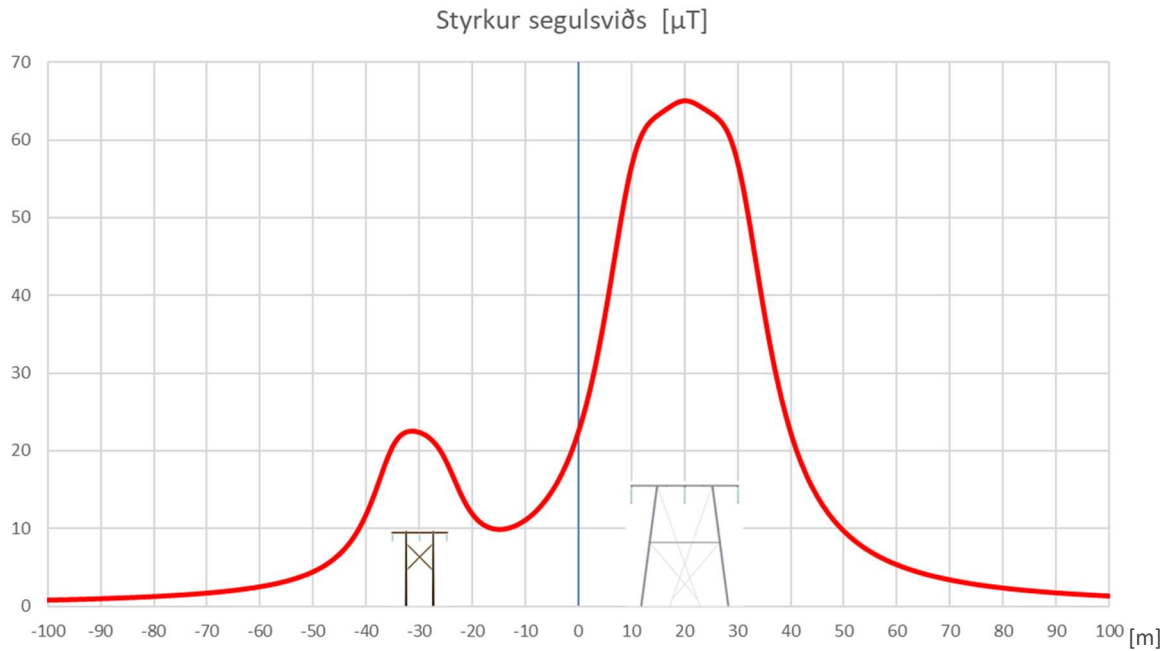
#### 5.1.2 Segulsvið

Niðurstöður útreikninga á segulsviði í línugötunni þar sem HH1 liggur samsíða HT1 eru sýndar á mynd 5.

Hámarksgildi útreiknaðs segulsviðs er 65  $\mu$ T.

Við jaðar helgunarsvæðis línanna er segulsviðið komið niður fyrir 10  $\mu$ T.

Í 100 m fjarlægð frá miðju línugötunnar er styrkur segulsviðsins kominn niður í 1,3  $\mu$ T.



**MYND 5** Þversnið segulsviðs í línugötu þar sem HH1 og HT1 liggja samsíða

## 5.2 HH1 ein og sér

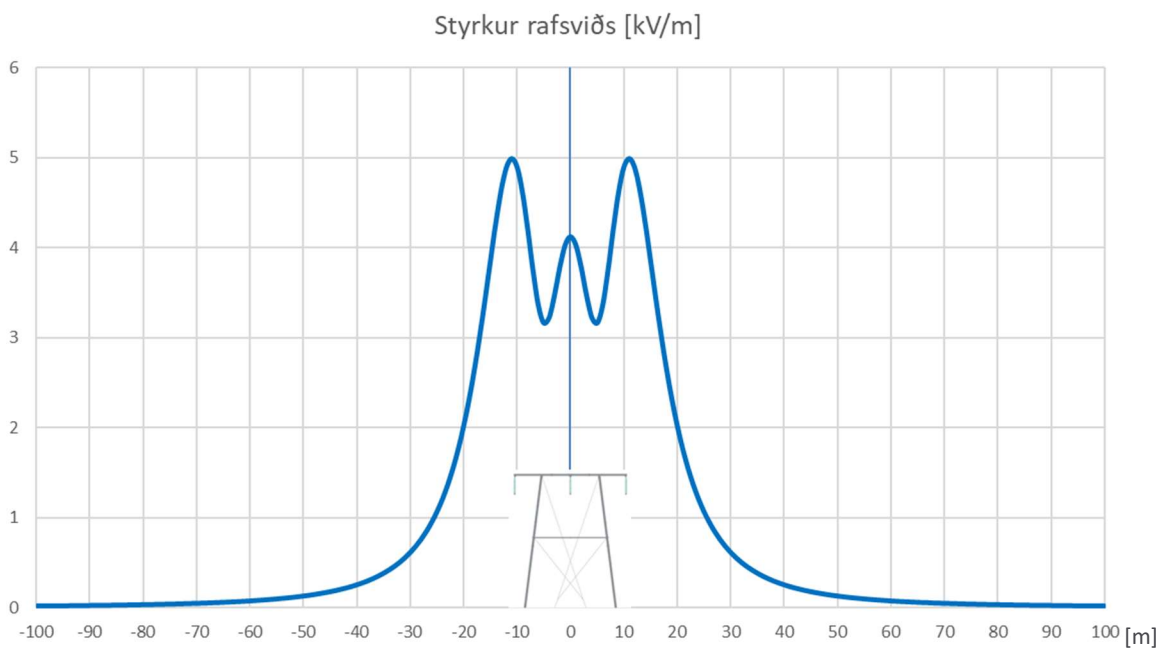
### 5.2.1 Rafsvið

Niðurstöður útreikninga á rafsviði í línugötunni þar sem HH1 liggur ein eru sýndar á mynd 6.

Eins og sést á myndinni er hámarksgildi útreiknaðs rafsviðs um 5,0 kV/m.

Við þaðar helgunarsvæðis línunnar er styrkur rafsviðsins kominn niður í 1,1 kV/m.

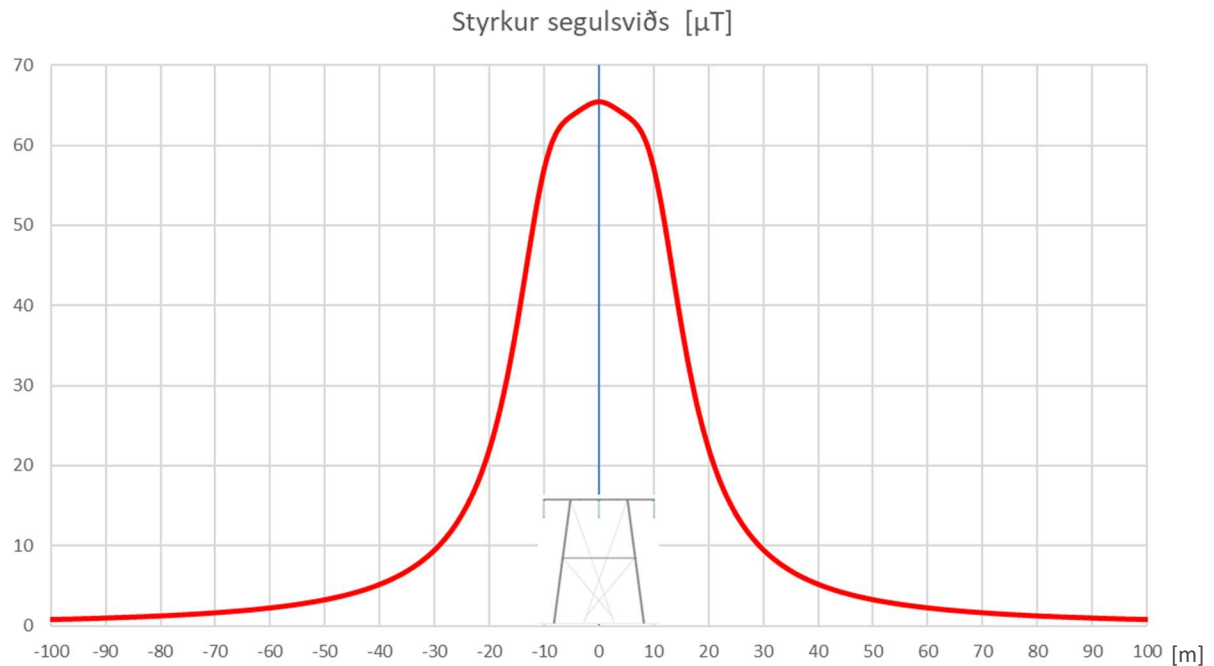
Í 100 m fjarlægð frá miðju línugötunnar er styrkur rafsviðsins kominn niður í 0,02 kV/m



**MYND 6** Þversnið rafsviðs í línugötu þar sem HH1 liggur ein

### 5.2.2 Segulsvið

Niðurstöður útreikninga á segulsviði í línugötunni þar sem HH1 liggur ein eru sýndar á mynd 7.



**MYND 7** Þversnið segulsviðs í línugötu þar sem HH1 liggur ein

Hámarksgildi segulsviðsins er  $65 \mu\text{T}$ .

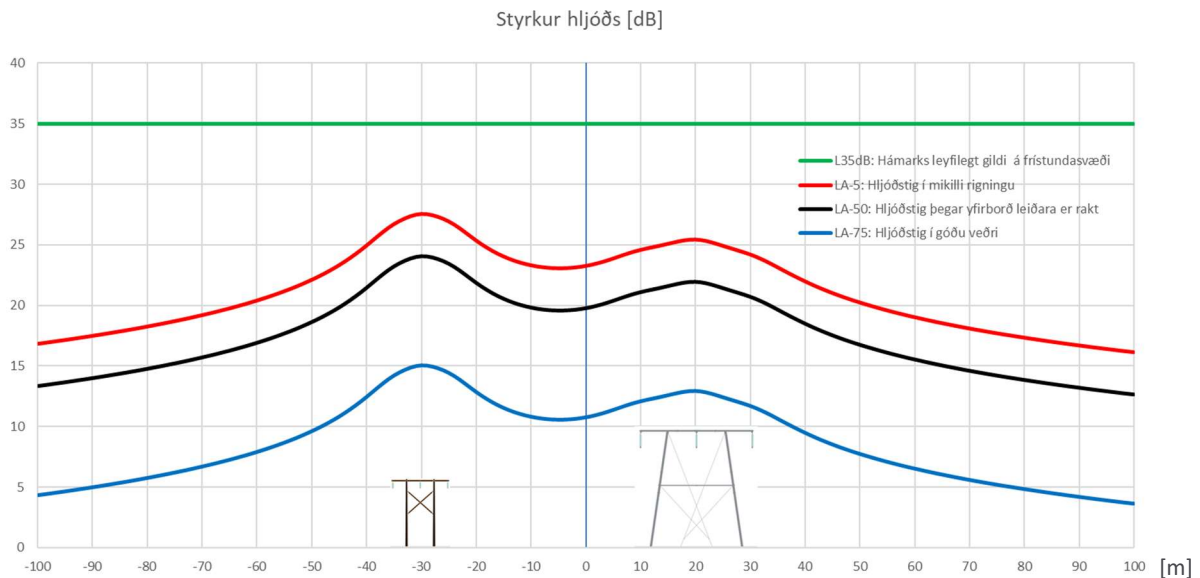
Við jaðar helgunarsvæðis línunnar er segulsviðið komið niður í  $14 \mu\text{T}$ .

Í 100 m fjarlægð frá miðju línugötunnar er styrkur segulsviðsins kominn niður í  $0,8 \mu\text{T}$ .

## 6 NIÐURSTÖÐUR HLJÓÐÚTREIKNINGA

### 6.1 HH1 samsíða HT1

Á mynd 8 má sjá útreiknaðan hávaða frá línunum þar sem HH1 liggur samsíða HT1. Á myndinni eru einnig sýnd 35 dB(A) mörkin sem gilda fyrir frístundabyggð, samanber töflu 5.

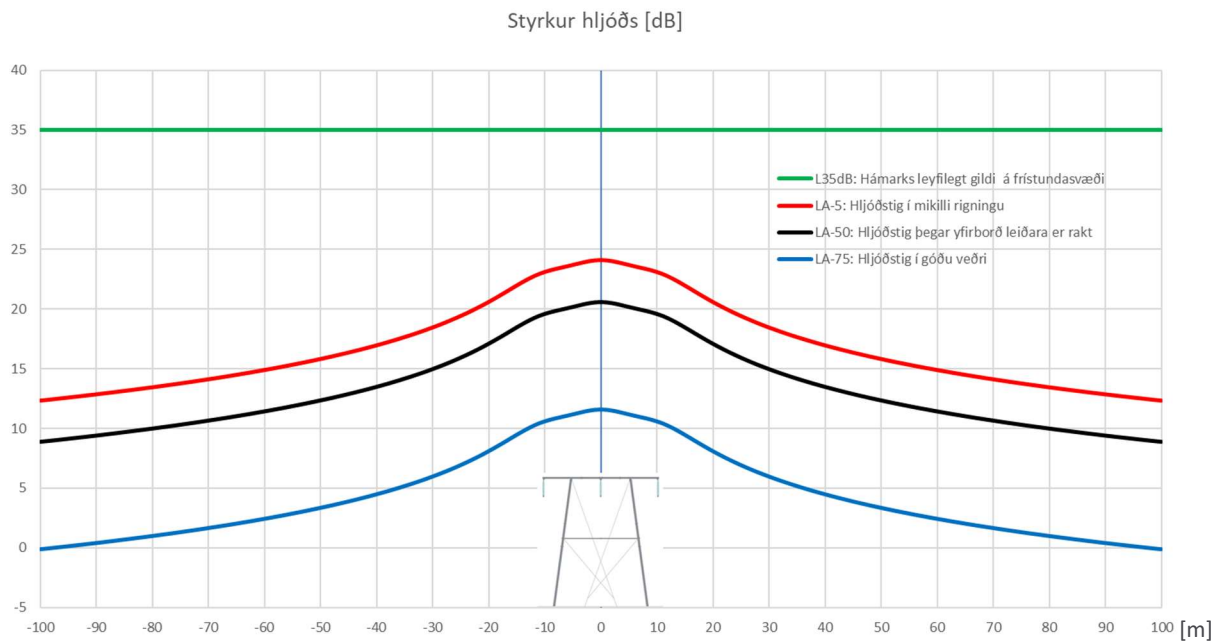


**MYND 8** Útreiknaður hávaði þar sem HH1 liggur samsíða HT1

Hæsta útreiknað gildi fyrir blautan leiðara er 24 dB(A).

### 6.2 HH1 ein og sér

Á mynd 9 má sjá útreiknaðan hávaða frá HH1 á kaflanum þar sem hún liggur ein. Á myndinni eru einnig sýnd 35 dB(A) mörkin sem gilda fyrir frístundabyggð, samanber töflu 5.



**MYND 9** Útreiknaður hávaði þar sem HH1 liggur ein

Hæsta útreiknaða gildi fyrir blautan leiðara er 21 dB(A).



## 7 NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður sem fram koma í kafla 5 sýna að hæsta útreiknaða rafsvið frá HH1 og HT1 er 5,0 kV/m, sem er hámarkgildið sem leyfilegt er af ICNIRP og Evrópuráðinu, samanber töflu 4. Bent skal á að ekki er hægt að reikna með því að almenningur eyði umtalsverðum tíma á helgunarsvæði háspennulína, enda ríkir þar byggingarbann. Við jaðar helgunarsvæðis línunnar er styrkur rafsviðsins kominn niður í 1,1 kV/m.

Hámarksgildi útreiknaðs segulsviðsins er 65  $\mu$ T sem er vel undir leyfilegu hámarksgildi sem er 200  $\mu$ T, samanber töflu 4. Við jaðar helgunarsvæðis línunnar er segulsviðið komið niður í 14  $\mu$ T.

Hæsta útreiknað gildi hávaða fyrir blautan leiðara er 24 dB(A) sem er langt undir þeim 35 dB(A) sem leyfileg eru að næturlagi við frístundabyggð. Stór ástæða þess hversu lítið hljóð berst frá HH1 er sú að hún er með tvo leiðara í hverjum fasa (e. duplex) sem minnkar verulega styrk rafsviðsins (spennugradient) á yfirborði leiðarans og þar með minnka líkur á bliki verulega.

Að lokum var stillt upp töflu yfir útreiknaðan styrk rafsviðs, segulsvið og hljóðs frá HH1 og HT1 fyrir nálægustu hús, en það nálægasta er um 200 m frá miðju línugötunnar.

**TAFLA 8** Útreiknaður styrkur rafsviðs, segulsviðs og hljóðs frá HH1 og HT1 við nálægustu hús

NÚMER	MANNVIRKI GERÐ	FJARLÆGD FRÁ MIÐJU LÍNUGÖTU [m]	ÚTREIKNAÐUR STYRKUR RAFSVIÐS [kV/m]	ÚTREIKNAÐUR STYRKUR SEGULSVIÐS [ $\mu$ T]	ÚTREIKNAÐ HLIÓÐ [dB(A)]
1	Sérbyli/frístundahús	200	0,0038	0,27	9,4
2	Sérbylishús	230	0,0021	0,17	8,3
3	Frístundahús	354	0,0009	0,08	6,3
4	Sérbylishús	357	0,0009	0,08	6,3
5	Sérbylishús	393	0,0007	0,06	5,8
6	Frístundahús	418	0,0006	0,06	5,5
7	Sérbylishús	546	0,0003	0,03	4,2
-	Viðmiðunarmörk	-	5,0	200	40/35

## HEIMILDASKRÁ

- [1] National Research Council, 1997. *Possible Health Effects of Exposures to Residential Electric and Magnetic Fields, Executive Summary.*
- [2] Alþjóða heilbrigðisstofnunin 2016. *Radiation: Electromagnetic fields.* <https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>. WHO, 4. ágúst 2016.
- [3] ICNIRP 1998. *ICNIRP GUIDELINES for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz).*
- [4] Evrópuráðið 1999. *Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0Hz to 300 GHz).* Official Journal of the European Communities, L 199/59, 1999.
- [5] ICNIRP 2010. *ICNIRP GUIDELINES for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (1 Hz – 100 kHz).*
- [6] Umhverfisráðuneytið 2008. *Reglugerð um hávaða, B nr 724 2008.*
- [7] Cigre 2020. *Power system environmental performance - Responsible management of electric and magnetic fields (EMF).* Reference: 806.
- [8] Velferðarráðuneytið 2015. *Reglugerð um háværk geislunar starfsmanna og almennings vegna starfsemi þar sem notuð er geislun, 1290/2015.*
- [9] Landsnet 2022. *Holtavörðuheiðarlína 1 – Matsáætlun.* Skjal númer Landsnet-22002.
- [10] EFLA 2023. *Landsnet - hljóðmælingar á háspennulínu HS3.* Minnisblað númer 102084-MIN-001-v01.
- [11] Landsnet 2023. *Raftæknilegar forsendur við hönnun loftlína.* Skjal Landsnet #2023-12-xx, drög dagsett 04.12.2023.