

Umferðarálag á brýr

Rannsóknaverkefni styrkt af Vegagerðinni

2016



Titill:	Umferðarálag á brýr
Höfundur:	<i>Guðmundur Valur Guðmundsson og Baldvin Einarsson</i>
Fulltrúi verkkaupa:	<i>Einar Hafliðason (Vegagerðin)</i>
Skýrslunúmer:	
Verknúmer:	<i>2970-157</i>
Útgáfa :	<i>1</i>
Dagsetning:	<i>10.5.2016</i>
Staða skýrslu:	<i>Lokið</i>
Dreifing skýrslu:	<i>Dreifing með leyfi verkkaupa</i>
Höfundur:	<i>GVG</i>
Rýnt af:	<i>BE</i>
Samþykkt	<i>BE</i>
Lýsing:	<i>Samantekt og helstu niðurstöður úr rannsóknarverkefninu Umferðarálag á brýr sem styrkt var af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar</i>

Efnisyfirlit

1 Inngangur	1
2 Hönnunarálag brúa.....	2
2.1 Fram til 1950.....	2
2.2 Frá 1954 - 34 t hönnunarlest	2
2.3 Drög að álagsstaðli 1974.....	3
2.4 Evrópskir álagsstaðlar	6
2.5 Reglugerð um stærð og þyngd ökutækja	8
3 Hönnunarálag – samanburður.....	9
3.1 Samanburður hönnunarálags frá mismunandi tímum	9
3.2 Samanburður við leyfilegar álagslestir	15
4 Um öryggi brúa	18
4.1 Áreiðanleiki burðarvirkja.....	18
4.1.1 Markástand	19
4.2 Hrun brúa	19
5 Brýr á Hringvegi milli Reykjavíkur og Akureyrar	20
6 Gögn úr umferðargreinum.....	22
6.1 Þyngdargreinir Esjumelum	22
6.2 Umferðargreinar	22
7 Tölfræði umferðar.....	24
7.1 Esjumelar	24
7.2 Hermun heildarþyngdar	26
8 Álagsáhrif.....	29
9 Samanburður við hönnunarálag nýrra brúa.....	34
10 Umræða.....	36
11 Heimildaskrá	37
Myndir.....	38

1 Inngangur

Álagslíkön fyrir umferðarálág á brýr í evrópskum álagsstaðli (EN 1991-2) eru búin til og kvörðuð með tilliti til áreiðanleika og með hliðsjón af umferðarmynstri á umferðarpungum stofnbrautum í Evrópu.

Til að taka mið af litlum líkum á slíkri umferð á Íslandi er leyfilegt að nota minnkunarstuðulinn $\alpha=0,8$ á umferðarálág á brýr á Íslandi í samræmi við íslenskt þjóðarskjal sem fylgir EN 1991-2. Notkun á minnkunarstuðlinum byggir hins vegar ekki á tölfræðilegum aðferðum og er því áreiðanleiki álagsins ekki í samræmi við önnur álagstilfelli á mannvirki og brýr á Íslandi. Rekstur umferðargreina Vegagerðarinnar, og þau gögn sem safnað er þar varðandi þyngd og stærð ökutækja, gera það kleift að kanna hvort minnkunarstuðullinn eigi við hér á landi og þannig tryggja að öryggiskerfi evrópsku hönnunarstaðlanna eigi við um brýr á Íslandi.

Við útgáfu þjóðarviðauka með evrópustöðlum fyrir brýr árið 2011 var ákveðið að nota minnkunarstuðulinn $\alpha = 1,0$ á brýr á Íslandi. Þó er áfram mögulegt að nota minnkunarstuðul fyrir brýr á umferðarminni vegum.

Verkefnið er unnið með styrk rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar og var tölfræðileg úrvinnsla unnin að mestu 2011-2012 en endanleg skýrsla árið 2015. Höfundar skýrslunnar eru Guðmundur Valur Guðmundsson og Baldvin Einarsson, þau Heiðrún Ösp Hauksdóttir og Einar Óskarsson unnu að forritun og tölfræðilegri úrvinnslu gagna. Starfsmenn Vegagerðarinnar sem komu að verkefninu voru þeir Einar Hafliðason, fyrrverandi forstöðumaður brúadeildar, og Nicolai Jónasson, sem var innan handar um útvegum upplýsinga úr umferðargreinum. Þá útvegaði Jóhannes Loftsson leiðrétt gögn úr þyngdargreini Vegagerðarinnar úr Esjumelum sem hann hafði unnið úr áður.

2 Hönnunarálag brúa

Með breyttum umferðarvenjum, tegundum farartækja frá hestvögnum til stórra flutningabíla, hefur hönnunarálag á brýr á Íslandi aukist með hverjum áratug. Fyrstu stórbrýrnar á Íslandi, hengibrýr á Þjórsá og Ölfusá, sem byggðar voru um 1890, voru hannaðar fyrir jafndreifðum þunga sem samsvaraði mannþröng, álagstílfelli sem enn er í fullu gildi. Farartækin hafa hins vegar breyst og í dag samræmist hönnunarálag á brýr því að 90 tonna ökutæki sé í miðri röð 40 tonna ökutækja á þéttskipaðri brú (Sedlacek, Merzenich, Paschen, & al, 2008). Kröfur til öryggis brúa hafa einnig aukist og takmarkanir á leyfilegri þyngd ökutækja geta valdið miklum kostnaði notenda og þar með samfélagsins.

Hér er gerð grein fyrir hönnunarálagi aðalburðarvirkis brúa, stök álagstílfelli fyrir staðbundnar athuganir eru ekki til skoðunar hér. Einnig er rétt að taka fram að beinn samanburður hönnunarálags á ólíkum tímum tekur ekki tillit til öryggisstuðla, höggstuðla eða annarra þátta sem ólíkir eru í greiningar- og hönnunaraðferðum á ólíkum tímum.

2.1 Fram til 1950

Fyrstu brýrnar voru hannaðar fyrir jafndreifðum þunga 400 kg/m^2 sem jafngildir mannþröng og er það álagstílfelli enn í fullu gildi.

6-12 tonn

14+6 tonn Notað frá árinu 1920

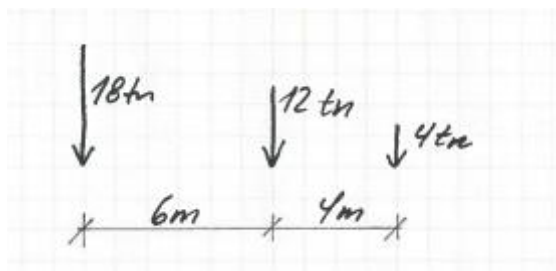
26-0 tonn

Brú á Ölfusá á Selfossi sem byggð var 1945 er hönnuð fyrir eftirfarandi álagi skv. lýsingu:

- 25 t þungur vagn dreginn af 9 t bifreið á annarri akrein. Á hinni akreininni er gert ráð fyrir 4-5 venjulegum 8 t bifreiðum. Heildarþungi bifreiða með þunga er því um 70 tonn.

2.2 Frá 1954 - 34 t hönnunarlest

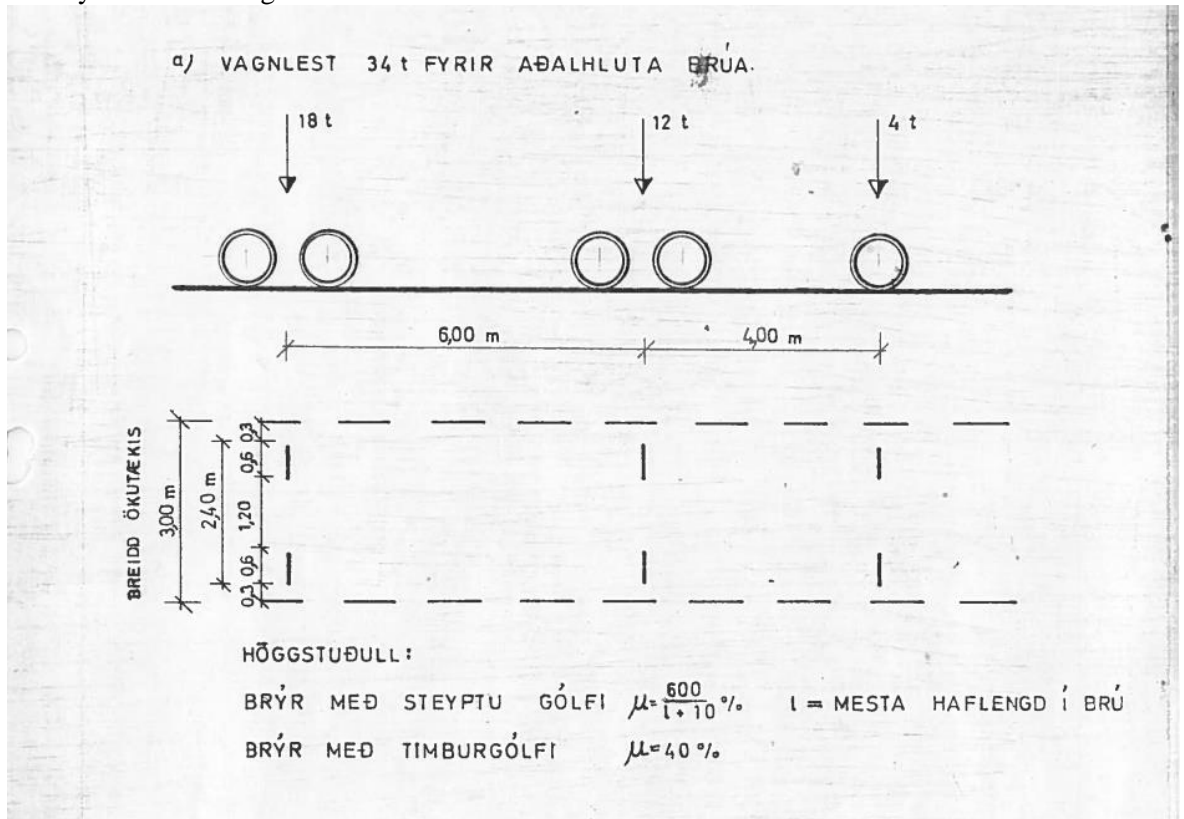
34 tonn. Notað a.m.k. frá árinu 1964.



2.3 Drög að álagsstaðli 1974

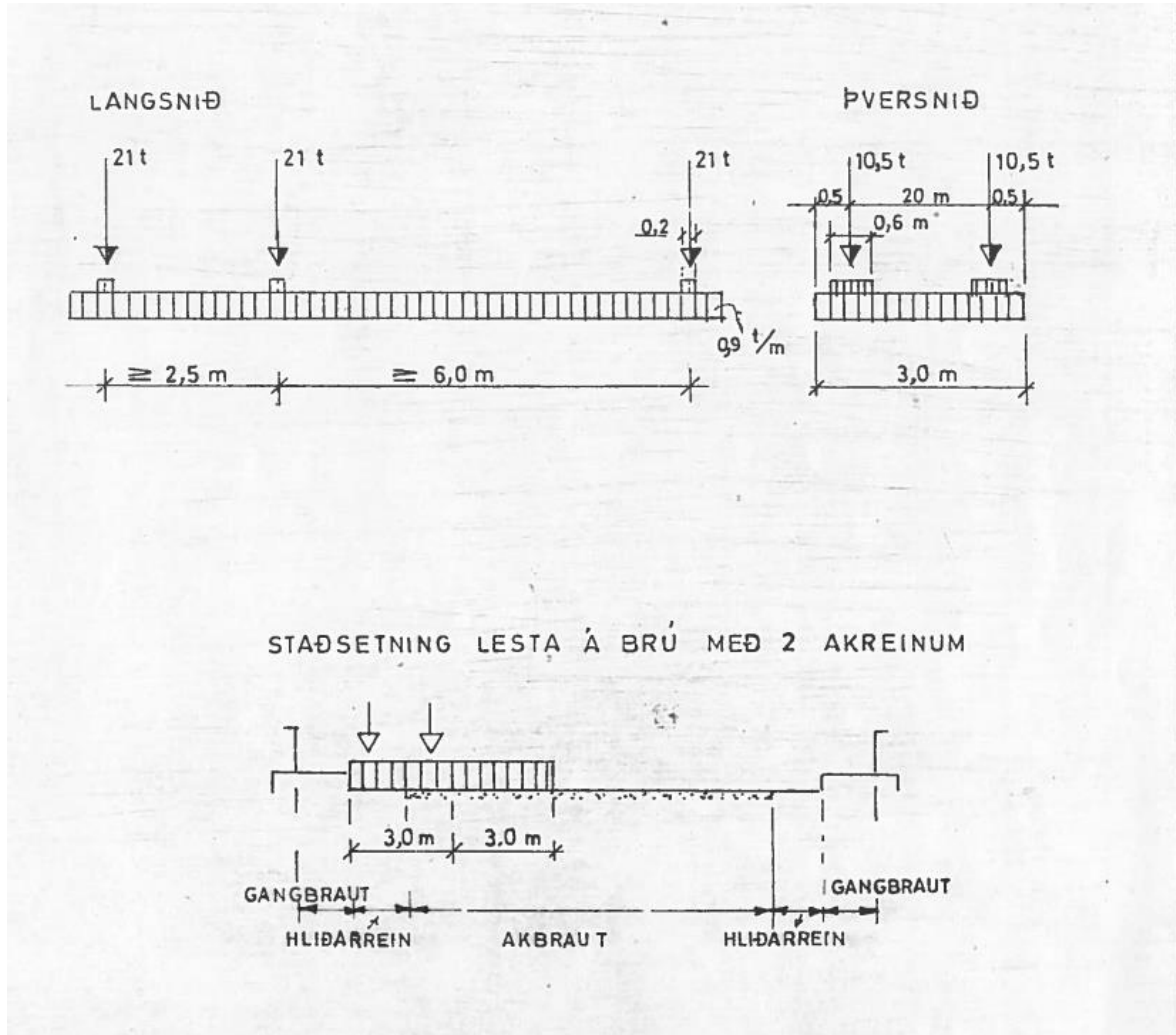
Í drögum að álagsstaðli frá 1974 (Vegagerð ríkisins, 1974) er gert ráð fyrir að nota ofangreinda 34t hönnunarlest á sýsluvegum og öðrum fáfarnari vegum. Fyrir tveggja akreina brýr skal staðsetja hönnunarlestina á óhagstæðasta stað. Ef um þriðju akrein er að ræða, skal nota helming álagsins.

- Álagslest VR (Á.V) 34 t á þremur öxlum (18 t+12 t+4 t). Öxulbil 6 m + 4m. Reiknað með höggstuðli $\mu = 40\%$ fyrir timburgólf og $\mu = 30\%$ fyrir mestu haf lengd 10 m og 12% fyrir 50m haf lengd.



Mynd 1 – Álagslest VR, 34 t vagnlest fyrir hönnun (Vegagerð ríkisins, 1974)

Álagslest NVF (Á.N.), samnorræn álagslest. 63 t heildarþyngd skipt á þrjá öxla sem hver um sig er 21 t, lágmarksbil milli 1. og 2. öxuls er 6,5 m og 2,5 m milli 2. og 3. öxuls. Öxulbil eru ákvörðuð þannig að þau gefi sem óhagstæðustu áraun. Auk öxulálags er reiknað með 0,9 t/m jafndreifðu álagi. Ekki er reiknað með höggstuðli fyrir þessa álagslest. Breidd álagslestarinnar er 3 m og er staðsetning í þverátt þannig að lestir liggja þétt saman og hreyfist sem ein heild í óhagstæðustu stöðu.

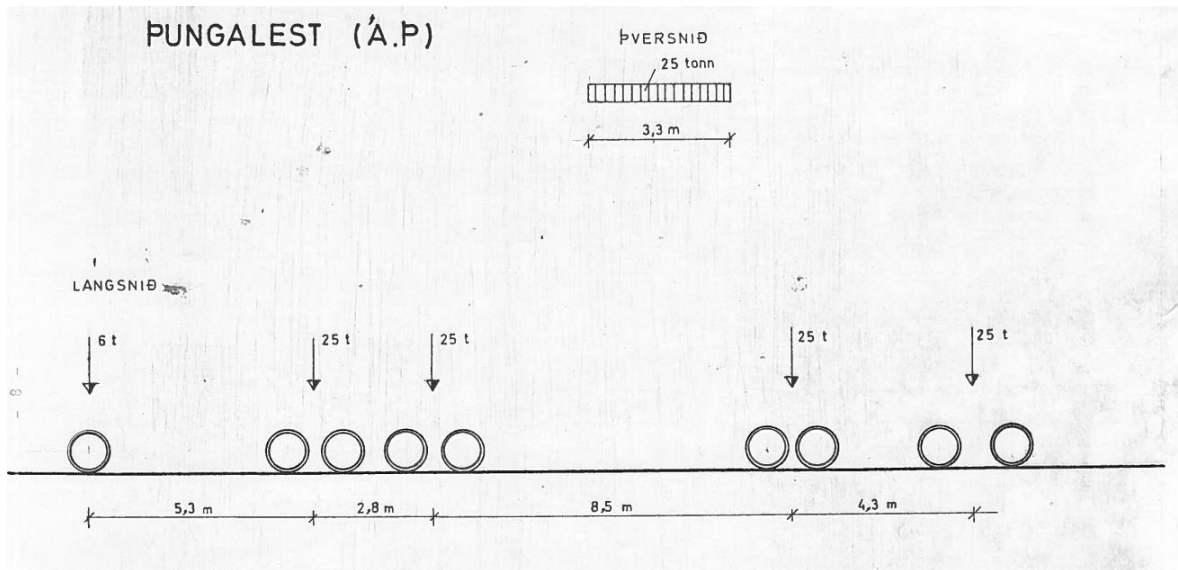


Mynd 2 – Álagslest NVF, 63t vagnlest fyrir hönnun (Vegagerð ríkisins, 1974)

Þessi álagslest NVF var notuð frá árinu 1975. Brýr í dreifbýli voru aftur á móti einungis hannaðar fyrir álagslestinni án jafndreifða þungans og var það táknað með ÁNU á teikningum og í útreikningum.

Þungalest (Á.Þ.)

Aðalhlutar brúa skulu reiknaðir fyrir þungalest með heildarþyngd þungalestar 106 t sem skiptist á 5 öxla, einn 6 t öxul og fjóra 25 t öxla. Breidd er 3,3 m og reiknast hver öxull sem jafndreifður á 3,3 m. Fyrir einbreiðar brýr er þessi lest staðsett á miðri brú án skástöðu, fyrir fleiri akreinar er hún staðsett á á miðju ystu akreinar. Höggstuðull er helmingur höggstuðuls fyrir álagslest VR. Heildarlengd lestarinnar er 20,6 m.



Mynd 3 – Þungalest, 106t álagslest fyrir hönnun (Vegagerð ríkisins, 1974)

2.4 Evrópskir álagsstaðlar.

Forstaðlar að Evrópustöðlum fyrir burðarvirkjahönnun og hönnun brúa, Structural Eurocodes, komu út um 1990 og var fljótlega farið að nota hönnunarlest skv. þáverandi forstaðli ENV-1991-3 við hönnun brúa á Íslandi. Gerð er nánar grein fyrir tölfræðilegum bakgrunni þeirrar álagslestar í ýmsum heimildum (Flint & Bernhard, 1996) og (Sedlacek, Merzenich, Paschen, & al, 2008). Í nýjustu útgáfu Evrópustaðlanna sem tóku formlega gildi á Íslandi árið 2013, er um sömu hönnunarvagnlest að ræða.

Leyfilegt er að nota minnkunarstuðul, $\alpha = 0,8$, til að taka tillit til lítilla líkinda á sambærilegu umferðarálagi og í þéttri umferð Evrópu. Um var að ræða „*recommended value*“ í þáverandi staðli. Í þjóðarviðauka fyrir Ísland sem tók gildi árið 2012, var því gildi breytt í $\alpha = 1,0$. Þessi breyting jafngildir því að fyrir álagsfléttu í brotástandi er hönnunarálag vegna umferðar 25% hærra en það var fyrir gildistöku þjóðarviðauka fyrir Ísland árið 2011.

Undantekningar eru leyfðar og má nota $\alpha_{Qi} = \alpha_{qi} = \alpha_{Qr} = 0,8$ háð leyfi Vegagerðarinnar á vegum þar sem umferð þungra ökutækja er lítil og vegurinn flokkast í flokk 3 samkvæmt staðlinum. Í EN 1991-2 er vegum skipt í eftirfarandi fjóra flokka eftir gerð umferðar:

Flokkur 1 - Vegir og hraðbrautir með 2 eða fleiri akreinum í hvora akstursstefnu og háu hlutfalli þungra ökutækja (2 milljón þung ökutæki/akrein/ári = 5500 þung ökutæki/akrein/sólarhring)

Flokkur 2 - Vegir og hraðbrautir með venjulegu hlutfalli þungra ökutækja (0,5 milljón þung ökutæki/akrein/ári = 1370 þung ökutæki/akrein/sólarhring)

Flokkur 3 - Vegir og hraðbrautir með lágu hlutfalli þungra ökutækja (0,125 milljón þung ökutæki/akrein/ári = 340 þung ökutæki/akrein/sólarhring)

Flokkur 4 - Innansveitarvegir (local and secondary roads) með lágu hlutfalli þungra ökutækja (0,05 milljón þung ökutæki/akrein/ári = 137 þung ökutæki/akrein/sólarhring.)

Í íslenskum þjóðarviðauka er einnig sérstaklega tekið fram að fyrir ákveðna tegund brúa, stálbitabryr með timburgólfi, sem eru á minniháttar vegum og einkavegum (secondary and private roads) megi nota minnkunarstuðlana $\alpha_{Qi} = \alpha_{qi} = 0,6$.

Sé gert ráð fyrir að helstu flutningaleiðir á Íslandi hafi 10% hlutfall þungra ökutækja og 2 akreinar fæst að flokkur 3 gildi fyrir vegi með ársdagsumferð í kringum 3000-7000 ökutæki. Flokkur 3 gildi því í raun fyrir flest alla vegi utan við höfuðborgarsvæðið. Leyfilegt er því að sækja um undanþágu um notkun á $\alpha=0,8$ fyrir vegi með umferð minni en $\text{ÁDU}=7000$ ökutæki/sólarhring. Miðað við sólarhringsumferð á föstum talningarstöðum Vegagerðarinnar eru það því allir vegir að undanskildum Hringvegi frá Selfossi að Hvalfjarðargöngum, (kaflar 1d4 til 1g2).

Fyrstu brýr sem hannaðar eru fyrir evrópski álagslest eru eftir 1990.

0,8 ENV frá 1992

0,8 EN frá 1998

0,6EN frá 2012

1,0EN frá 2012

Hönnunargildi álagslestar LM1 í EN 1991-2 má túlka sem: (Sedlacek, Merzenich, Paschen, & al, 2008)

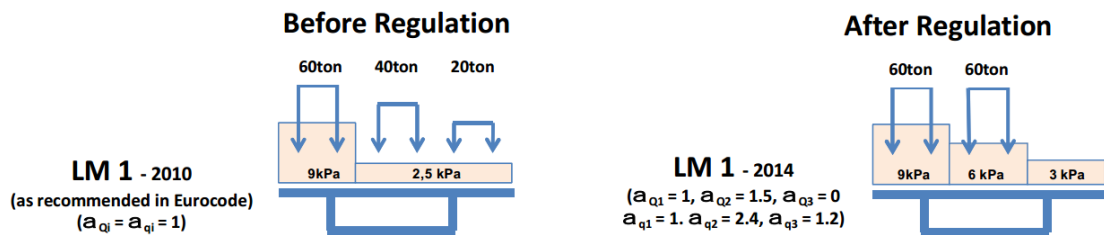
Akbraut 1 – 900 kN ökutæki í röð 450 kN ökutækja með 5 m fjarlægð á milli bíla

Akbraut 2 – 500 kN ökutæki í röð 120 kN ökutækja

Akbraut 3 – 300 kN ökutæki í röð 120 kN ökutækja

Þjóðarviðaukar með álagsstöðlum í hverju landi Evrópu innihalda mismunandi α -stuðla. Í Lettlandi hefur verið gerð greining á gögnum úr umferðargreinum þar sem umferð á stofnbraut nálægt Riga (Paeglitis & Paeglitis, 2008) var skoðuð. Stofnbrautin er með meðalsólarhringsumferð (ÁDU) um 8000 ökutæki á sólarhring. Álagslíkönin voru kvörðuð miðað við 1000 ára endurkomutíma umferðaálags, þ.e. endurkomutíma sem jafngildir 5% líkinda á 50 árum. Niðurstaða þeirra er að fyrir haflengdir 6-18 m sé mælt með því að nota $\alpha=0,8$ en fyrir haflengdir 18-30 m að nota $\alpha=0,9$.

Finnska vegagerðin (Liikennevirasto - Finnish Transport Agency) hefur gert áreiðanleikagreiningar á þungaumferð á finnskum vegum með hliðsjón af evrópsku álagslestinni. Þar er lagt til að hækka álagið til að taka tillit til aukinnar kröfu um þyngri ökutæki, þ.m.t. leyfilegt 76 t ökutæki. Eru þar lagðar til þær breytingar sem koma fram á mynd 4. Þar eru öxulálag á akrein 2 og 3 sameinuð í eina auk þess sem jafndreifður þungi á akreinar 2 og 3 er aukinn (Lillja, 2014).



Mynd 4 – Tillögur að breytingum á álagslest hjá Finnsku Vegagerðinni (Lillja, 2014).

Danska Vegagerðin (Vejdirektoratet) skiptir brúm í tvo flokka, Brokkasse 1 og Brokkasse 2. Fyrir brýr í flokki 1 eru notaðir eftirfarandi minnkunarstuðlar:

EN 1991-2 DK NA	Brokkasse 1	$\alpha_{Q1} = 1,00$	$\alpha_{Q1} = 0,67$	$\alpha_{QR} = 1,00$
	Brokkasse 2	$\alpha_{Q1} = 0,80$	$\alpha_{Q1} = 0,33$	$\alpha_{QR} = 1,00$

Í Bretlandi eru notaðir eftirfarandi stuðlar (NA BS EN 1991-2:2003)

Akrein 1	$\alpha_{Q1} = 1,0$	$\alpha_{Q1} = 0,61$
Akrein 2	$\alpha_{Q2} = 1,0$	$\alpha_{Q2} = 2,2$
Akrein 3	$\alpha_{Q3} = 1,0$	$\alpha_{Q2} = 2,2$
Aðrar akreinar	$\alpha_{Qn} = 2,2$	$\alpha_{QR} = 2,2$

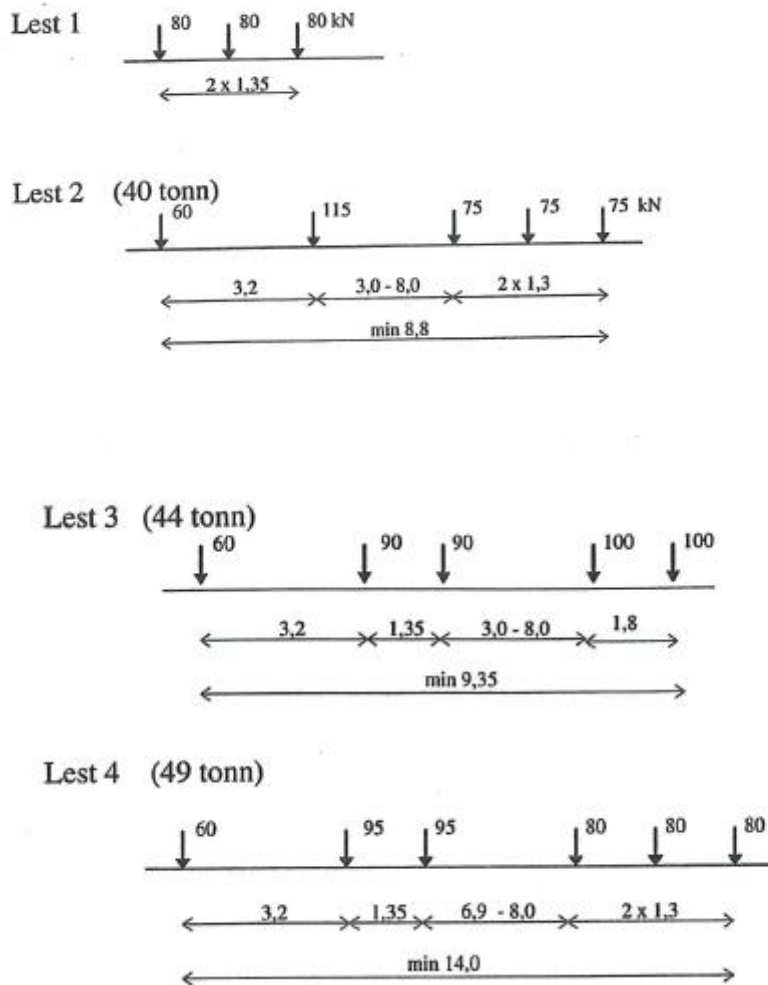
2.5 Reglugerð um stærð og þyngd ökutækja

Í gildi er reglugerð nr. 155/2007 um stærð og þyngd ökutækja þar sem skilgreind eru ákvæði um mestu leyfilega heildarþyngd og leyðan áspunga á vegum.

Í tillögu að burðarþolsflokkun brúa (Baldvin Einarsson, 1996) eru skilgreindar vagnlestir sem samræmast reglugerð um leyfilegan þunga ökutækja á þjóðvegum. Þar eru skilgreindar fjórar mismunandi vagnlestir, lest 1 (24 t), lest 2 (40 t), lest 3 (44 t) og lest 4 (49 t), sjá hér neðar.

5.2 Álag

Fyrir ESB flokk (44 tonn) verði reiknað með þremur vagnalestum sem gefa mestu áraun eftir haf lengd:



Mynd 5 – Vagnlestir sem samræmast reglugerð um leyfilegan þunga á þjóðvegum (Baldvin Einarsson, 1996)

3 Hönnunarálag – samanburður

Reiknuð hafa verið áhrif mismunandi hönnunarálags á brýr með mismunandi haflengdir.

Reiknuð eru álagsáhrif fyrir 20 m, 40 m, 60 m, 70 m, 80 m, 100 m og 120 m langar brýr. Fyrir 20 m langa brú er skúfkraftur og hafvægi reiknað fyrir 20 m haflengd en ásetuvægi fyrir 2x10 m höf. Sama er fyrir 100 m brú, þar er skúfkraftur og hafvægi reiknað fyrir 100 m haflengd en ásetuvægi fyrir 2x50 m höf.

Einnig er reiknað fyrir mismunandi brúarbreiddir. Miðað er við breidd skv. Veghönnunarreglum Vegagerðarinnar fyrir vegþversnið af gerð C8 og C10.

Þá eru niðurstöður álagsáhrifa hönnunarálags á mismunandi tímum bornar saman við leyfilega umferð á vegakerfinu, þ.e. álagslestir 2-4 sem lýst er í kafla 2.5.

Vegir sem tilgreindir eru í viðauka I í reglugerð nr.155/2007 þurfa að bera 40 t en vegir í viðauka II þurfa að bera vagnlestir með heildarþunga 44t og 49t.

Í samanburðinum er miðað við höggstuðul 1,1.

3.1 Samanburður hönnunarálags frá mismunandi tímum

Hér er borið saman hönnunarálag brúa frá mismunandi tímum. Erfitt er þó að bera saman þar sem öryggisstuðlar sem notaðir hafa verið eru ekki þeir sömu. Áður voru ekki notaðir öryggisstuðlar á álag heldur var öryggisstuðull á efnisstyrk og miðað við leyfilegar spennur. Álagsstuðull fyrir eiginþunga hefur einnig verið mismunandi eftir tímum. Nánari grein er gerð fyrir öryggiskerfinu í núgildandi Evrópustöðlum í 4. kafla.

Á mynd 6 og í töflu 1 má sjá álagsáhrif fyrir stærsta hafvægi vegna mismunandi hönnunarlesta fyrir brú með 10 m breiðu akbrautarsvæði. Sú breidd jafngildir C10 þversniði samkvæmt gildandi veghönnunarreglum. Á myndinni sést að 63 t samnorræna álagslestin, ÁN, er mjög áþekk 0,6EN, en að 1,0EN gefur frá 20-92% hærra hafvægi vegna umferðar heldur en 63 t ÁN-lestin. Munurinn er minnstur fyrir styttri haflengdir en eykst með lengri brúm, frá 20% fyrir 20 m lengd en 92% munur er fyrir 100 m haflengd. Fyrir brú með 8 m breiðri akbraut (C8) er munurinn frá 25-97%.

Þegar evrópska álagslestin var tekin upp var miðað við $\alpha=0,8$ minnkunarstuðul fram til 2012. Það hönnunarálag er táknað með 0,8LM1 hér (LM1=Load Model 1). Sé það borið saman við 63t norrænu álagslestina fæst að fyrir 20 m lengd er hafvægið það sama fyrir 0,8LM1 og 63 t en ásetuvægi og skúfkraftur er lægri. Fyrir lengri brýr verða álagsáhrifin meiri og fyrir 60 m langa brú er ásetuvægi og skúfkraftur 35-39% hærra en hafvægi 24% hærra eins og sést á mynd 7 og töflu 2.

Verulegar breytingar á hönnunarálagi brúa eru í kringum 1972 þegar 63 t norræna álagslestin er tekin upp, aftur í kringum 1990 þegar evrópska álagslestin er tekin upp með $\alpha=0,8$ og svo 2012 þegar Evrópustaðlar eru formlega teknir í notkun með útgáfu íslenskra þjóðarviðauka þar sem miðað er við $\alpha=1,0$.

Sé tekið dæmi fyrir 40 m langa brú með tveimur akreinum og akbrautarbreidd minni en 9 m, fæst að beygjuvægisáraun fyrir hafvægi jókst um 92% eftir 1972 þegar norræna álagslestin var tekin í notkun, 8% þegar byrjað var að nota evrópsku álagslestina með $\alpha=0,8$ og svo 25% þegar íslenskir þjóðarviðaukar voru gefnir út árið 2012 með notkun á $\alpha=1,0$. Sambærilegar tölur fyrir 80 m langa brú eru 96%, 24% og 25%.

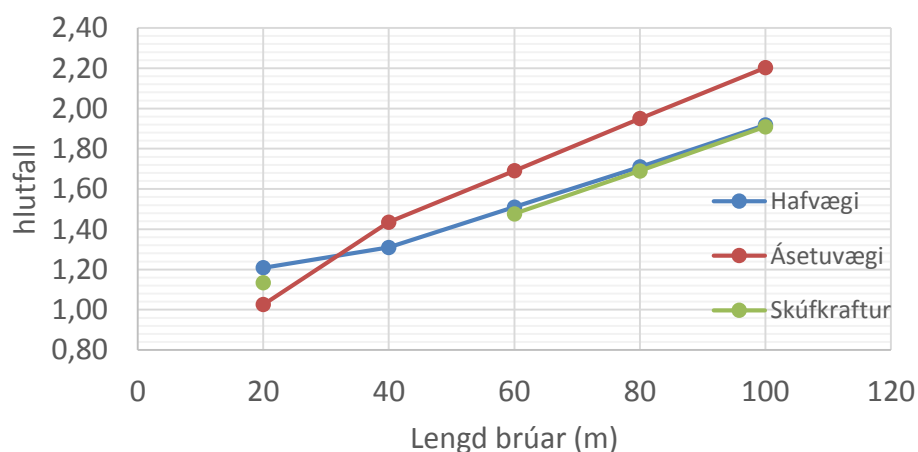
Tafla 1 – Hlutfall milli álagsáhrifa fyrir álagslestir LM1 og 63 t hönnunarlestar fyrir C10-þversnið.

Lengd	Hafvægi	Ásetuvægi	Skúfkraftur
20	1,21	1,03	1,13
40	1,31	1,44	
60	1,51	1,69	1,48
80	1,71		1,69
100	1,92	2,20	1,91

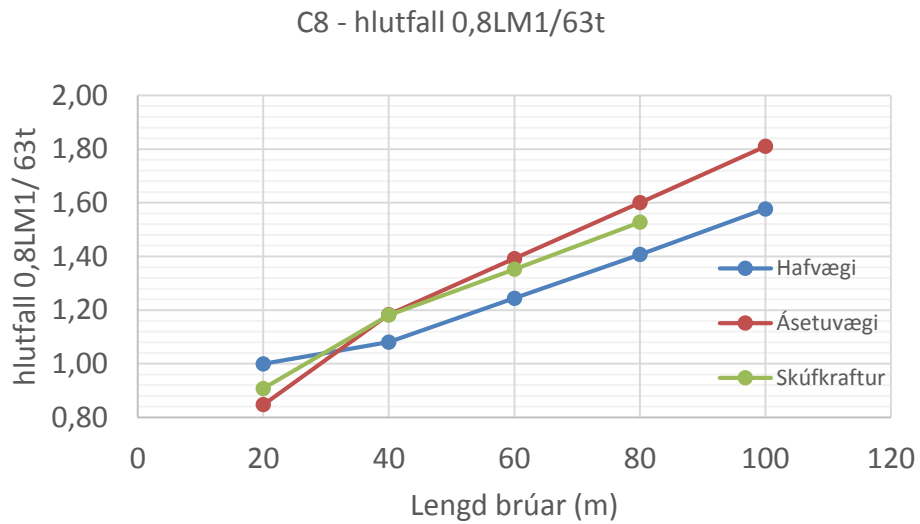
Tafla 2 – Hlutfall milli álagsáhrifa fyrir álagslestir 0,8LM1 og 63 t hönnunarlestar fyrir C8-þversnið.

Lengd	Hafvægi	Ásetuvægi	Skúfkraftur
20	1,00	0,85	0,91
40	1,08	1,18	1,18
60	1,24	1,39	1,35
80	1,41		1,53
100	1,58	1,81	

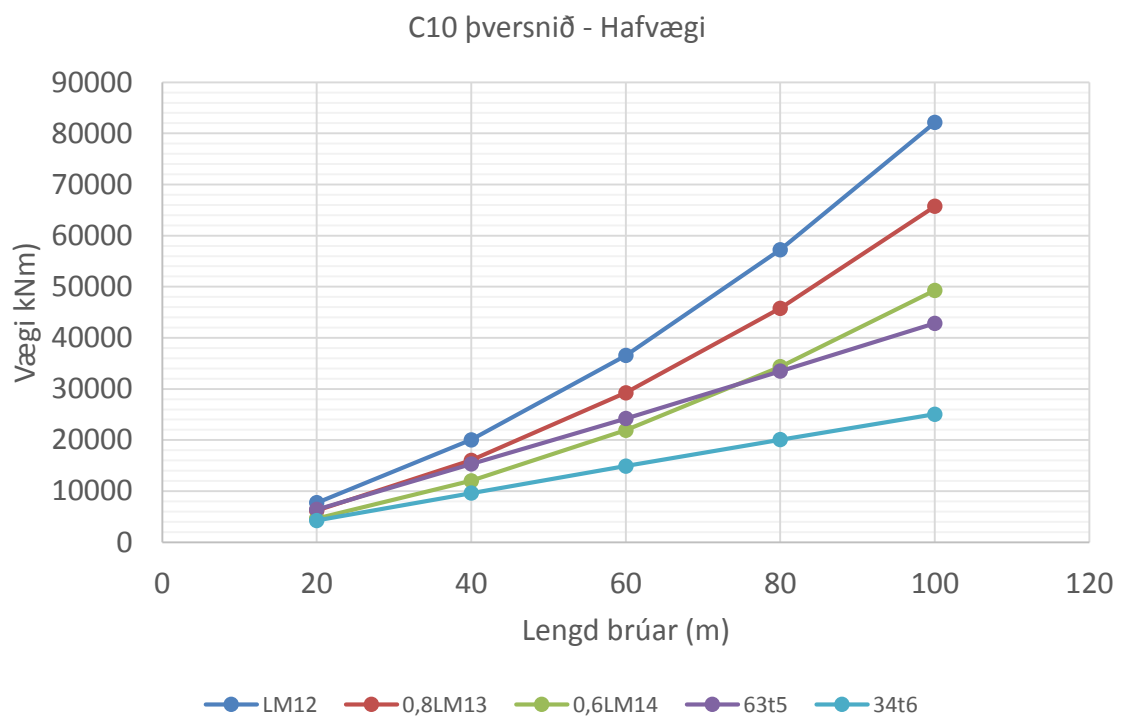
C10 - hlutfall LM1/63t



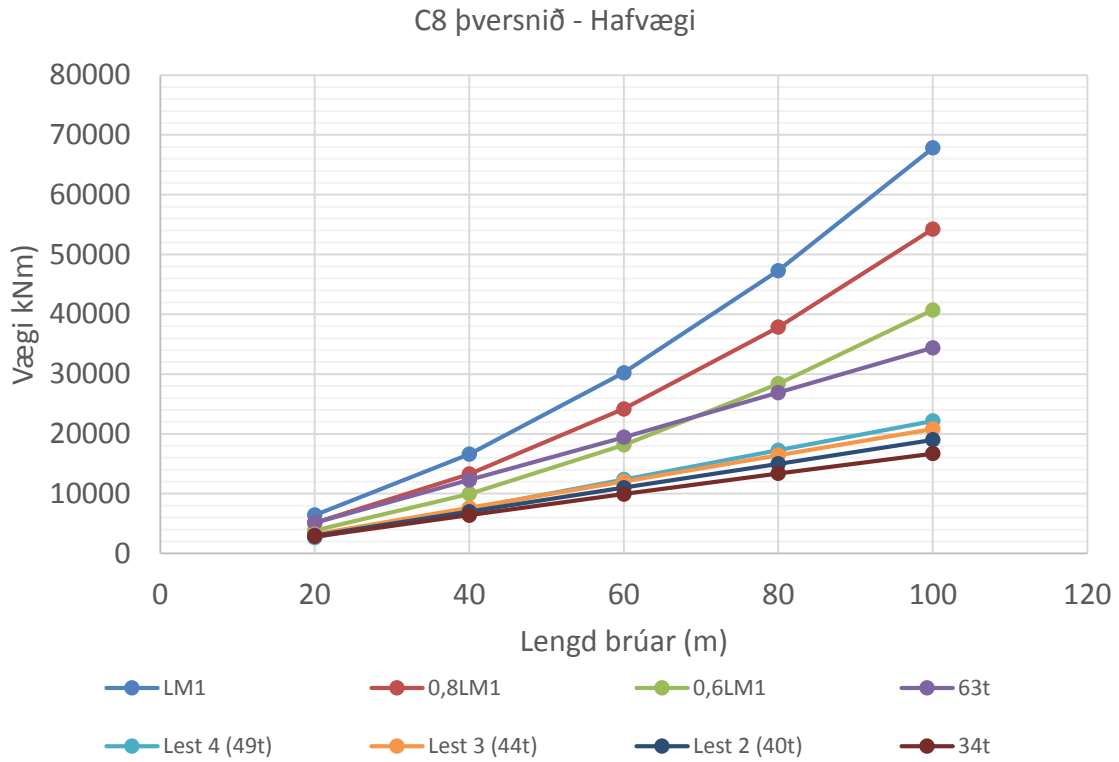
Mynd 6 – Samanburður álagsáhrifa fyrir álagslest LM1 og 63t álagslestar fyrir C10-þversnið.



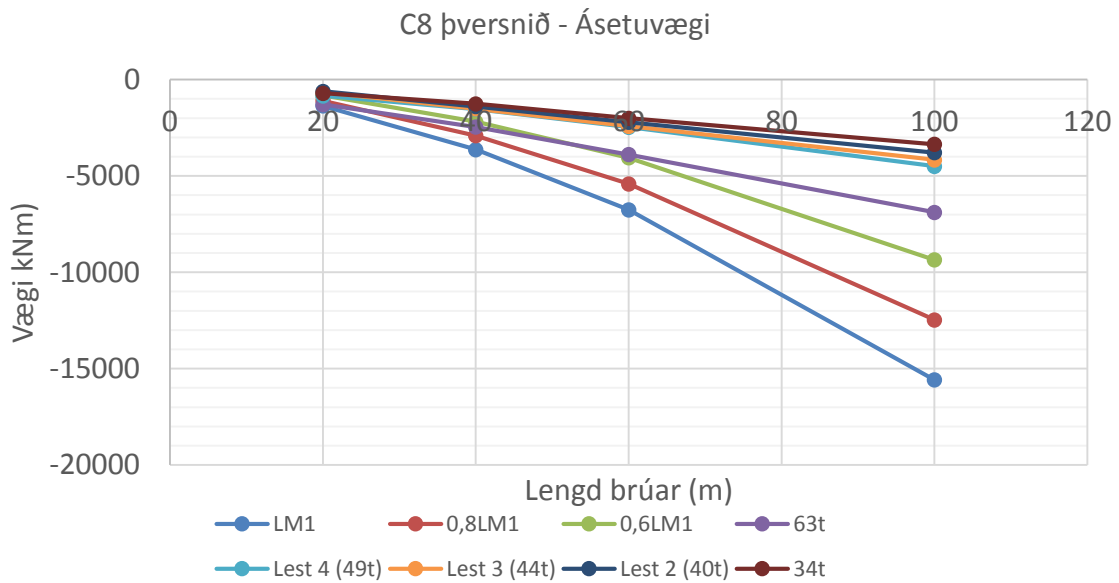
Mynd 7 – Samanburður álagsáhrifa fyrir álagslest 0,8LM1 og 63t álagslestar fyrir C8-þversnið.



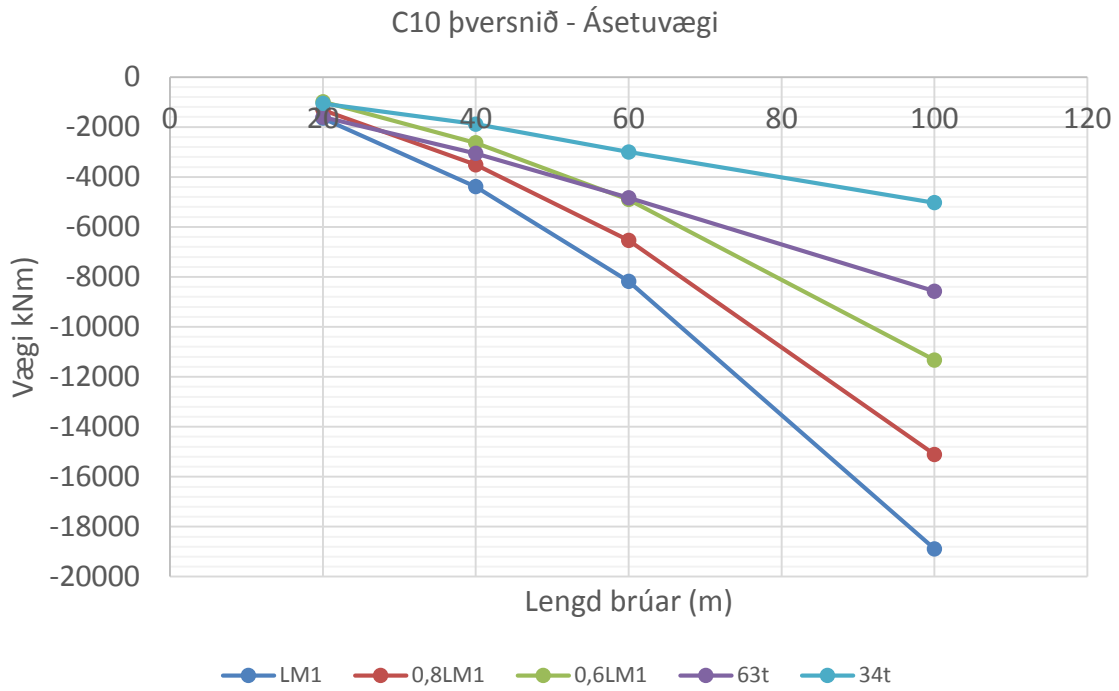
Mynd 8 – Hafvægi fyrir C10 þversnið fyrir mismunandi álagslestir



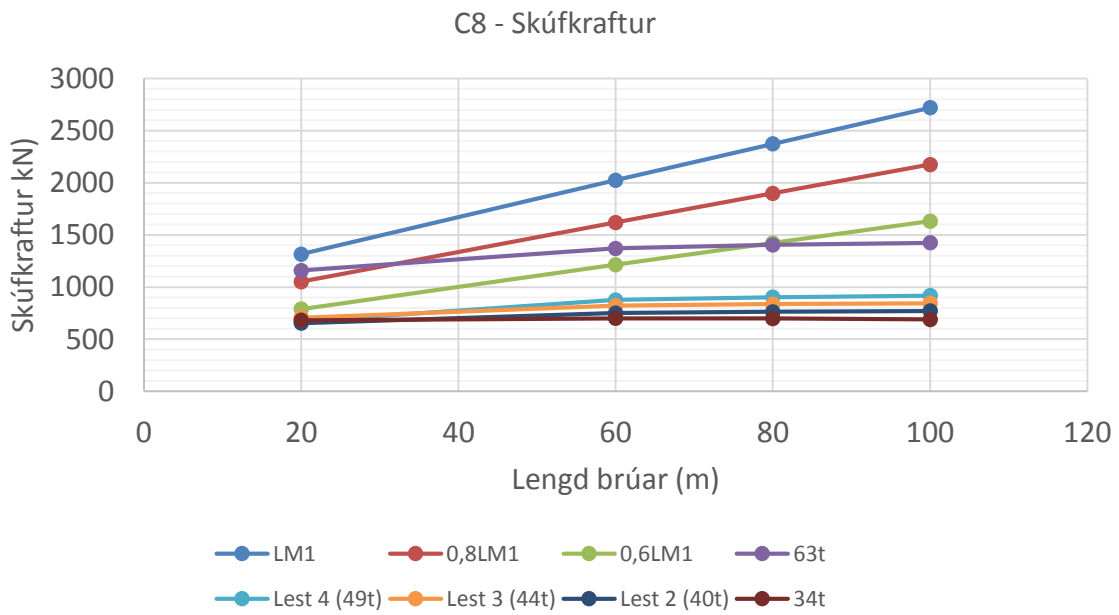
Mynd 9 – Hafvægi fyrir C8 þversnið fyrir mismunandi álagslestir (álagsáhrif fyrir Lest2-Lest4 eru einungis reiknuð á 1 akrein)



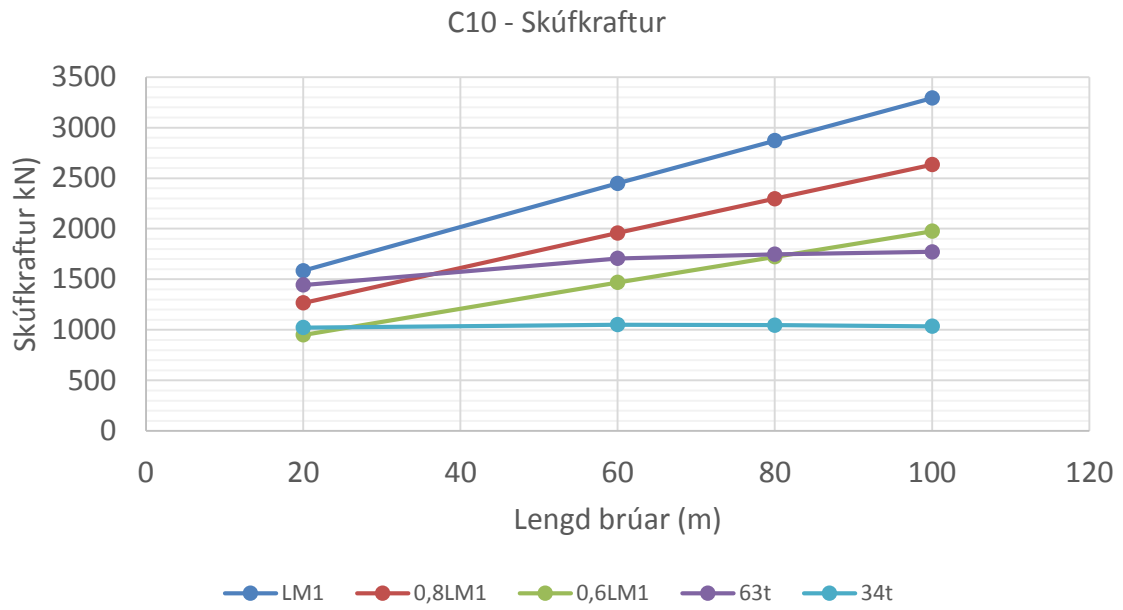
Mynd 10 – Ásetuvægi fyrir C8-þversnið fyrir mismunandi álagslestir



Mynd 11 – Ásetuvægi fyrir C10-þversnið fyrir mismunandi álagslestir



Mynd 12 – Skúfkraftur fyrir C8-þversnið fyrir mismunandi álagslestir



Mynd 13 – Skúfkraftur fyrir C10-þversnið fyrir mismunandi álagslestir

3.2 Samanburður við leyfilegar álagslestir

Hér hafa verið reiknuð álagsáhrif 49 t álagslestar á eina akrein. Í töflum 3-5 má sjá samanburð á álagsáhrifum 49 t álagslestar (Lest4-49t) við hönnunarálag frá mismunandi tímum, 34 t álagslest, 63 t álagslest og Eurocode LM1 álagslest. Í samanburðinum er gert ráð fyrir tveggja akreina brú (C8-þversnið) en álagsáhrif 49 t eru einungis reiknuð fyrir eina akrein. Væri gert ráð fyrir 49 t álagslest á báðum akreinum samtímis þarf að margfalda með 2.

Á mynd 14 og í töflu 3 sést að nógildandi hönnunarálag skv. Eurocode, LM1 með $\alpha = 1,0$, gefur hlutfall frá 2,22 – 3,06 samanborið við 49 t vagnþunga (Lest 4).

Á mynd 15 og í töflu 4 sést að fyrir brúarlengdir frá 40-100 m eru álagsáhrif 63 t ÁN hönnunarálags 53-61% hærra heldur en fyrir álagsáhrif 49 t vagnlestar á eina akrein, hvort sem er fyrir skúfkraft, hafvægi eða ásetuvægi.

Á mynd 16 og í töflu 5 er samanburður á álagsáhrif 34 t álagslestar sem notuð var fram til 1974, og álagsáhrif leyfilegra ökutækja á þjóðvegakerfinu, Lest4(49 t). Þar sést að fyrir 20 m langa brú er hlutfallið stærra en 1 fyrir hafvægi og skúfkraft en 0,84 fyrir ásetuvægi. Fyrir 40-100 m langar brýr er hlutfallið frá 0,75-0,84, þ.e. hönnunarálagið gefur minni áraun en 49 t vagnlest á eina akrein.

Tafla 3 – Hlutfall milli álagsáhrifa fyrir álagslestir Eurocode LM1 og Lest4 (49t) fyrir C8-þversnið.

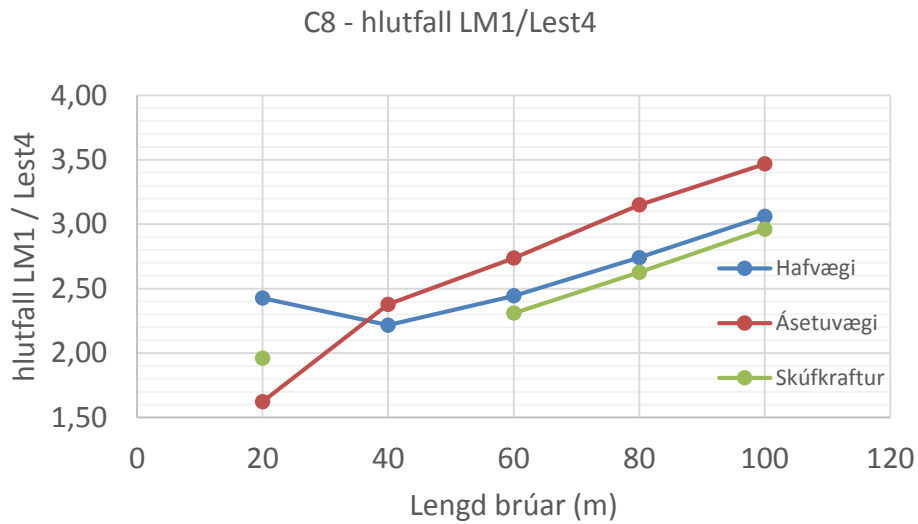
Lengd	Hafvægi	Ásetuvægi	Skúfkraftur
20	2,43	1,62	1,96
40	2,22	2,38	
60	2,44	2,74	2,31
80	2,74		2,63
100	3,06	3,47	2,96

Tafla 4 – Hlutfall milli álagsáhrifa fyrir álagslestir 63 t hönnunarlestar og Lest4 (49 t) fyrir C8-þversnið.

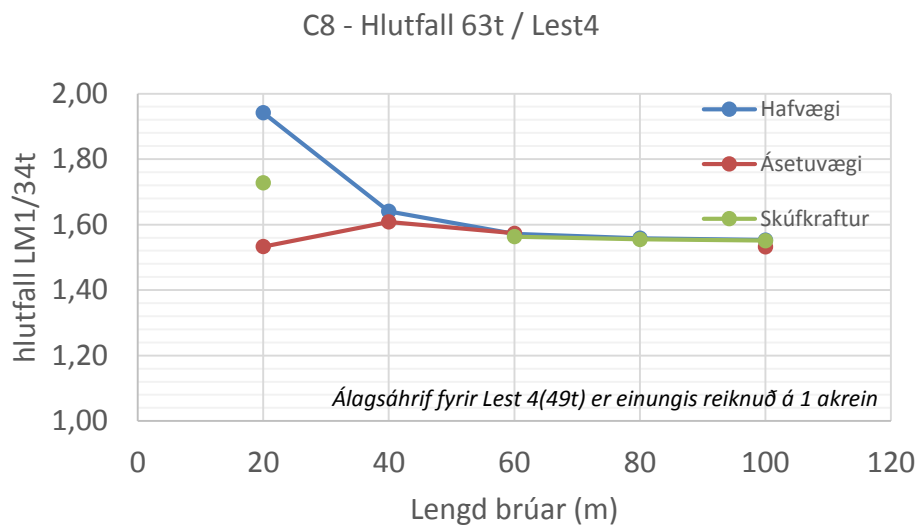
Lengd	Hafvægi	Ásetuvægi	Skúfkraftur
20	1,94	1,53	1,73
40	1,64	1,61	
60	1,57	1,57	1,56
80	1,56		1,55
100	1,55	1,53	1,55

Tafla 5 – Hlutfall milli álagsáhrifa fyrir 34 t hönnunarlest og Lest4 (49 t) fyrir C8-þversnið.

Lengd	Hafvægi	Ásetuvægi	Skúfkraftur
20	1,07	0,84	1,02
40	0,86	0,82	
60	0,80	0,81	0,80
80	0,78		0,77
100	0,75	0,75	0,75

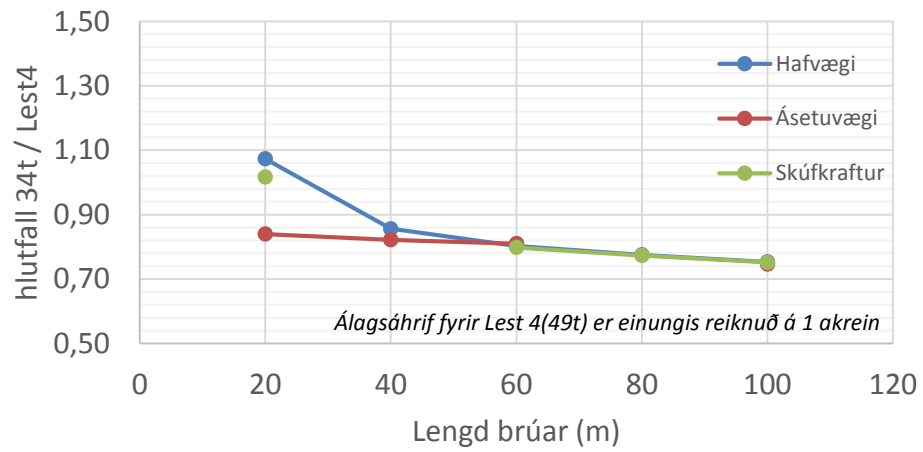


Mynd 14 – Hlutfall milli álagsáhrifa Eurocode LM1 og Lest 4(49 t) fyrir C8-þversnið.



Mynd 15 – Hlutfall milli álagsáhrifa 63t AN-hönnunarlestar og Lest 4(49 t) fyrir C8-þversnið.

C8 - Hlutfall 34t/Lest4



Mynd 16 – Hlutfall milli álagsáhrifa 34t hönnunarlestar og Lest4(49t) fyrir C8-þversnið.

4 Um öryggi brúa

Grunnstaðall hönnunarstaðla fyrir burðarvirki í Evrópu, bæði bygginga og brúa, er EN 1990 – Eurocode 0, basis of structural design. Þar eru skilgreindar kröfur og viðmið um öryggi, notagildi, endingu og áreiðanleika burðarvirkja. Fyrir brýr er jafnframt sérstakur viðauki við EN 1990, Annex A2. Sérstakir staðlar eru svo fyrir hönnun burðarvirkja, EN 1992 fyrir steypuvirki, EN 1993 fyrir stálvirki, EN 1994 fyrir samverkandi steypu-stál virki og EN 1995 fyrir trévirki. Álag á burðarvirki eru skilgreind í sérstökum staðli, EN 1991.

Þessir staðlar eiga við um þær brýr sem eru hannaðar samkvæmt ofangreindum stöðlum. Það er einnig hægt að beita þeim á eldri brýr sem hannaðar eru samkvæmt eldri stöðlum. Evrópustaðlar taka þó ekki á því hvernig meta eigi ástand núverandi mannvirkja eða hvernig tekið er tillit til þess við mat á burðargetu. Ekki er sjálfgefið að eldri brýr hafi sama áreiðanleika og nýrri brýr enda eru þær hannaðar með öðrum aðferðum.

Evrópustaðlarnir byggja á hlutstuðlaaðferð (e. *partial factor method*) og hönnun í markástandi (e. *Limit state design*). Hlutstuðlarnir eru kvarðaðir út frá ákveðnum brotlíkindum.

Taka þarf tillit til fjölmargra álagstílfella við hönnun brúa. Álagið getur verið útrænar kraftar en einnig innri kraftar vegna hitaþenslu, sigs á undirstöðum o.s.frv. Álagið getur verið varanlegt, s.s. eiginþungi og jarðþrýstingur eða tímaháð álag, s.s. vindur, snjór og umferð.

Til að taka tillit til breytileika í tíma og rúmi fyrir varanlegt og breytilegt álag er stuðst við líkindafræði og líkindadreifingar þegar álagsgildi og hlutstuðlar eru ákvarðaðir, ásamt því hvernig mismunandi álagstílfelli eru fléttuð saman. Tekið er sérstaklega á slysaálagi og jarðskjálftaálagi.

4.1 Áreiðanleiki burðarvirkja

Áreiðanleiki burðarvirkja sem hönnuð eru samkvæmt Evrópustöðlum er miðaður við svokallaða öryggisvísitölu, β . Öryggisvísitalan er reiknuð fyrir ákveðin brotlíkindi, þ.e. að hönnunarstyrkur burðareiningar (R,d) sé meiri en áraunin (E,d).

Samkvæmt grunnstaðlinum EN 1990 er, fyrir mannvirki með skilgreindan 50 ára líftíma og athugun í brotástandi miðað við öryggisvísitölu $\beta=3,8$ sem jafngildir brotlíkindum um 10^{-4} . Hægt er að nota hærri eða lægri öryggisvísitölu ef um mikilvægari byggingar er að ræða og/eða lengri líftíma. „Recommended values“ fyrir áreiðanleikaflokk RC3 (reliability class) er $\beta=4,3$ sem jafngildir brotlíkindum 10^{-5} .

Efnis- og hlutstuðlar álags sem notaðir eru við hönnun taka mið af þeirri öryggisvísitölu sem stefnt skal að og þar með af því að hvaða brotlíkindum skal stefnt.

Notendur bygginga og brúa treysta því að burðarvirki séu örugg og að í hvert skipti sem ekið er út á brú sé áhætta á slysi eða hruni lítil sem engin. Því má halda því fram að aðrar væntingar séu um öryggi vegna almennrar umferðar heldur en af völdum náttúruálags, s.s. jarðskjálfta, flóða eða vinds.

Endurkomutími umferðarálags sem notaður er fyrir brýr er því hár, eða 1000 ár, það jafngildir 9,5% líkum á 100 árum og um 2% líkum á 20 árum. Um leið og mannvirki byrja að hrörna breytast þessar forsendur. Viðhald brúa og ástandsmat þarf því að taka tillit til þess að ákveðnu öryggisstigi sé viðhaldið þar sem væntingar og kröfur notenda um öryggi eru miklar. Afleiðingar tjóns geta jafnframt verið mjög alvarlegar eins og mörg dæmi eru um.

4.1.1 Markástand

Í brotmarkaástandi (e. *ultimate limit state; ULS*) þarf að taka tillit til ólíkra brotmynda þar sem tryggja þarf öryggi fólks og öryggi mannvirkja.

- EQU, stöðufræðilegt jafnvægi
- STR, styrkur burðareininga,
- GEO, jarðtæknilegt brot
- FAT, þreytubrot

Í notmarkaástandi (e. *serviceability limit state, SLS*) er athugað hvort burðarvirki séu í notkun og óskemmd og því tekið tillit til þæginda fólks/notenda og útlits og ástands, t.d. að formbreytingar séu ekki of miklar.

4.2 Hrun brúa

Brýr geta hrundið eða brotnað af ýmsum orsökum. Ekki er alltaf um algert hrun að ræða heldur einungis hlutafjón. Tryggja þarf að krítískar burðareiningar séu öruggari heldur en aðrar burðareiningar þar sem brot í þeim geta valdið hruni. Nýlegt dæmi frá Minnesota árið 2007 sýnir hvað getur gerst skyndilega og valdið miklu tjóni, I-35W brúin yfir Mississippi hrundi fyrirvaralaust með þeim afleiðingum að 13 létust og á annað hundrað manns slasaðist auk þess sem efnahagslegar afleiðingar voru mjög miklar (National Transportation Safety Board, 2008).

Mikilvægi ástandsskoðana, viðhalds og eftirlits með framkvæmdum og breytingum á burðakerfum er því auðsjáanlega mjög mikilvægt. Ástandsskoðanir koma þó ekki í veg fyrir öll slys eins og dæmi frá Írlandi árið 2011 sýnir, þar sem járnbrautarbrú hrundi vegna rofs við undirstöður en brúin hafði verið ástandsskoðuð þremur dögum áður (Railway Accident Investigation Unit, 2010). Lestarsjórinn náði að stöðva lestina áður en ekið var út á brúna og tókst þannig að forða manntjóni.

Algengustu skemmdir á brúm á Íslandi eru vegna rofs við undirstöður, sérstaklega á það við um jökulvötn þar sem jökulhlaup geta komið í ár. Stórt jökulhlaup úr Skeiðarárjökli árið 1996 olli því að brú á Gígjukvísl hrundi og 176 m löng eining úr brú á Skeiðará hrundi einnig. Brú á Múlakvísl hrundi í litlu jökulhlaupi úr Mýrdalsjökli árið 2011. Nýjasta dæmið er við brú á Eldvatni hjá Ásum í Vestur-Skaftafellssýslu þar sem verulegt rof varð við undirstöður í Skaftárhlaupi í október 2015. Áður hafði brú á sama stað hrundið árið 1966 vegna rofs við undirstöður.

Haustið 2015 brotnaði svo stálgrindarbrú á Vatnsdalsá, innst í Vatnsdal í A-Húnavatnssýslu, undan oflestuðum vörubíl, þar sem ökumaður slapp án alvarlegra meiðsla. Ekki hafa margar brýr brotnað undan umferðarálagi. Þekkt dæmi er þó brú á Ölfusá hjá Selfossi, hengibrú sem byggð var 1891 og hönnuð fyrir umferð hestvagna, árið 1944 slitnaði burðarkapall þegar 2 vörubílar óku á brúna samtímis en takmarkanir höfðu verið settar um að einungis eitt þungt ökutæki mætti vera á brúnni í einu.

Öryggi brúa þarf að tengja við mikilvægi brúarinnar. Sama öryggisstig á ekki við um fáfarna brú á hálendi og brú á mikilvægri flutningaleið á vegum þar sem umferð er mikil og engar hjáleiðir eru. Þar valda lokanir töfum og kostnaði fyrir notendur. Tíðni og umfang ástandsskoðana og viðhalds ætti jafnframt að taka mið af slíkri forgangsröðun.



Mynd 17 – Vatnsdalsá hjá Grímstungu í ágúst 2015 (mynd Tómas Daníelsson)

5 Brýr á Hringvegi milli Reykjavíkur og Akureyrar

Á Hringvegi 1 á milli Reykjavíkur og Akureyrar eru alls 53 brýr samkvæmt brúaskrá Vegagerðarinnar. Þar af eru 29 brýr sem eru lengri en 10 m.

Nýjust er brú á Hrútafjarðará sem byggð var 2008 í nýrri veglínu Hringvegar norðan Staðarskála og kom í stað eldri brúar á Hrútafjarðará við Brú í Hrútafirði, bogabrúar sem byggð var 1912 en breikkuð 1993.

Elsta brúin, og jafnframt sú með mestu umferðina, er brú á Köldukvísl í Mosfellsbæ sem byggð var árið 1942, breikkuð árið 1972 og styrkt árið 1991. Í töflu 1 má sjá lista yfir brýr á Hringvegi 1 milli Reykjavíkur og Akureyrar ásamt skráðu hönnunarálagi.

Brýr á þessum kafla sem byggðar voru á árunum 1942 – 1973 eru hannaðar fyrir 34 t vagnþunga, að undanskildum brúnum á Gljúfurá í Borgarfirði og Blöndu á Blönduósi sem hannaðar eru fyrir 27 t vagnþunga.

Brýr byggðar á árunum 1976 – 1993 voru hannaðar fyrir 63 t vagnlest eða norrænu álagslestina sem lýst er hér í 2. kafla. Húseyjarkvísl við Varmahlíð sem byggð er 1997 er hönnuð fyrir evrópskri álagslest í samræmi við forstaðal ENV-1991 með minnkunarstuðlinum $\alpha = 0,8$.

Í kafla 2.6 er gerð grein fyrir álagsáhrifum mismunandi álagslesta á brýr af ákveðnum lengdum, stærsta skúfkraft, stærsta hafvægi og stærsta ásetuvægi.

Tafla 6 – Brýr lengri en 10 m á Hringvegi frá Reykjavík til Akureyri.

kafli	Brú	Lengd	Akbr.breidd	Byggár		Vagnþungi	ATH.
f5	Kaldakvísl	64,8	7,3	1942	SSS/A	34	breikkuð 1972
p7	Glerá (eystri akbr)	17,05	7,04	1955	SSS/B	34	
g9	Gljúfurá	63,05	7	1962	SSS/B	27	
m0	Blanda	69,39	6	1963	SFS/B	27	akbr.mjókkuð 1991, gangbr
k4	Miðfjarðará	84,17	7,01	1965	SSS/B	34	
h2	Dýrastaðaá	12,02	8,02	1967	SSS/B	34	
k9	Laxá á Ásum	20,1	8,03	1970	SSS/B	34	
m8	Djúpadalsá	50,08	8	1970	SSS/P	63	
p7	Glerá (vestari akbr)	17,05	7,05	1971	SSS/B	34	
f5	Leirvogsá	20	9,3	1972	SSS/P	34	
k7	Dalsá	14	7,5	1973	SSS/B	34	breikkuð 1997
h1	Bjarnardalsá	39	8	1976	SSS/P	63	
k7	Gljúfurá	59	8	1977	SFS/B	63	breikkuð 2001
k6	Víðidalsá	70	8	1978	SFS/B	63	breikkuð 2000
g5	Borgarfjörður	520	8,96	1979	SFS/B	63	
m5	Valadalsá	11,3	8	1979	SSS/P	63	
g8	Gufuá við Eskiholt	11,5	8	1980	SSS/P	63	
m7	Héraðsvötn	188	8	1981	SFS/B	63	
h3	Norðurá hjá Sveinatungu	27	8	1982	SFS/B	63	
h3	Norðurá hjá Fornahvammi	21	8	1982	SFS/B	63	
g3	Laxá í Leirársveit	23	8	1983	SFS/B	63	
h2	Sanddalsá	24	8	1983	SFS/B	63	
p9	Eyjafjarðará	135	8	1986	SFS/B	63	
h2	Litlaá	14	8	1987	SSS/P	63	
p1	Öxnadalsá hjá Glöppu	24	7	1992	SFS/B	63	
m7	Húseyjarkvísl	26	8,5	1997	SFS/B	0,8ENV1-3	
h4	Norðurá í Heiðarsporði	22	8,5	2002	SFS/B	0,8ENV	
k8	Vatnsdalsá	70	7,5	2003	SJS/B	0,8ENV	
n1	Norðurá í Skagafirði	63	8,5	2007	SFS/B	0,8ENV1-3	
	Hrútafjarðará, ný	62	8	2008		0,8EN	

6 Gögn úr umferðargreinum

Vegagerðin hefur sett upp og rekið umferðargreina víða um land til að safna ýmsum upplýsingum um umferð um þjóðvegakerfið. Tvær tegundir slíkra umferðargreina eru í rekstri, þyngdargreinir og öxulgreinir. Öxulgreinar mæla lengd ökutækis, öxulbil, aksturshraða og flokka ökutækið eftir gerð. Þyngdargreinar mæla að auki þyngd einstakra öxla. Gerð er grein fyrir áreiðanleika þessara gagna og notkunarmöguleika í skýrslum Jóhannesar Loftssonar og Skúla Þórðarsonar (Jóhannes Loftsson, 2009), (Jóhannes Loftsson S. E., 2011), (Skúli Þórðarson, 2008).

6.1 Þyngdargreinir Esjumelum

Þyngdargreinir Vegagerðarinnar er staðsettur á Hringvegi 1 við Esjumela (kafla 1-xx). Hann hefur verið í rekstri frá árinu 2001 og með réttri úrvinnslu mælinga er talið að hann geti gefið góðar upplýsingar um þungaumferð (Jóhannes Loftsson, 2009).

Notast var við leiðrétt gögn sem leiðrétt eru með tölfræðilegri leiðréttingaaðferð sem þróuð hefur verið af Jóhannesi en leiðréttingin er talin vera nauðsynleg vegna brenglunar sem verður í mælinum með tímanum vegna niðurbrotsáhrifa umferðarálags.

Tímabilið sem tekið var til skoðunar var einn mánuður, júní 2006.

6.2 Umferðargreinar

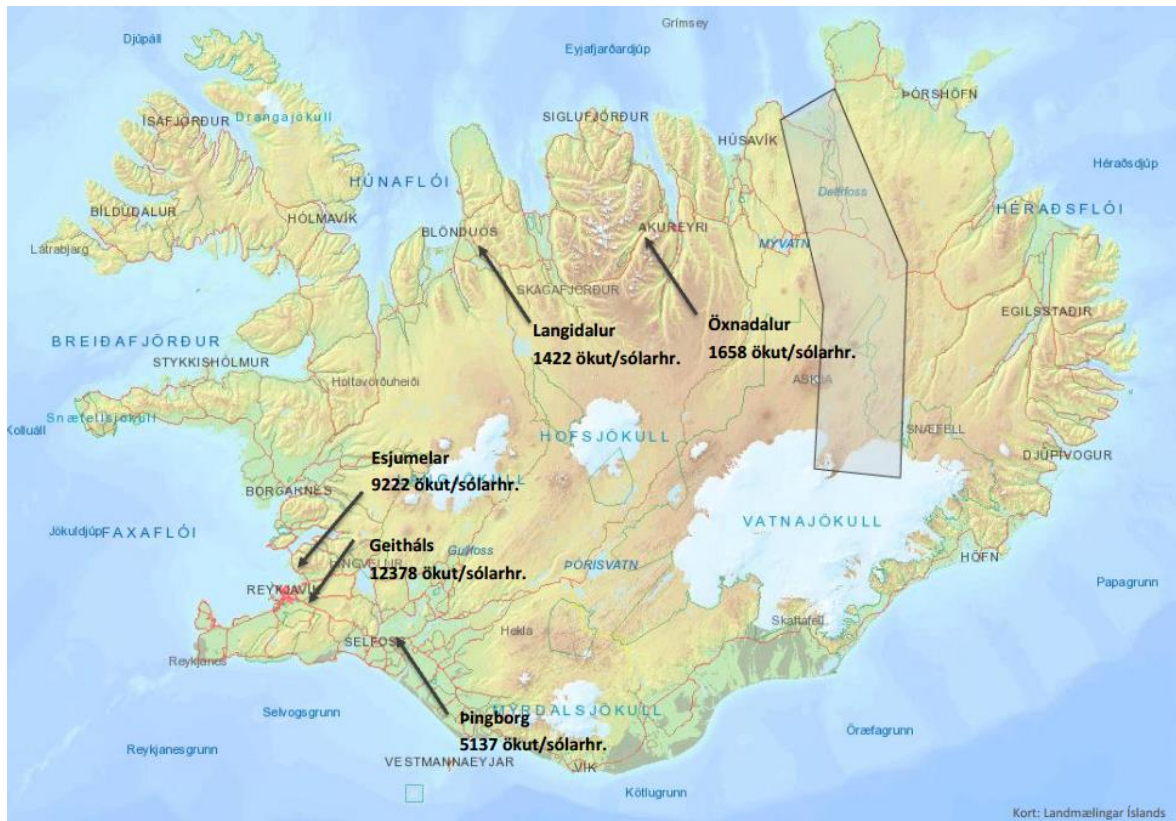
Umferðargreinar mæla ekki þyngd einstakra öxla heldur einungis lengd ökutækis, öxulbili ásamt því að flokka ökutækið í samræmi við flokkunarkerfi EUR13.

Tölfræðileg dreifing heildarþyngdar ökutækja eftir fjölda öxla fyrir þyngdargreini á Esjumelum var notuð til að herma öxulþyngdir ökutækja í öxulgreinum.

Notast var við gögn úr fjórum öxulgreinum á Hringvegi 1 og má sjá staðsetningu þeirra á mynd. Tímabilið sem tekið var til skoðunar var einn mánuður, ágúst 2008, og var umferðin mismunandi eftir stöðum. Meðaltal sólarhringsumferðar fyrir einn mánuð var frá 12378 ökutækjum/sólarhring fyrir öxulgreini á Hringvegi við Geitháls, niður í 1425 ökutæki/sólarhring í Langadal í Húnavatnssýslu.

Tafla 7 – Tölfræði gagna úr umferðargreinum

	Esjumelar	Geitháls	Langidalur	Þingborg	Öxnadalur
Heildarfjöldi bifreiða	276656	383726	44184	159248	51390
Tímabil	Júní 2006	Ágúst 2008	Ágúst 2008	Ágúst 2008	Ágúst 2008
Fjöldi daga	30	31	31	31	31
Meðalfjöldi bifreiða á dag	9222	12378	1425	5137	1658
Meðalfjöldi bifreiða á klst	384	516	59	214	69
Fjöldi bifreiða á akrein 1	142291	195424	23428	81235	26720
Fjöldi bifreiða á akrein 2	134365	188302	20756	78013	24670
Akstursstefna 1	276390	383658	42875	158005	50333
Akstursstefna 2	266	68	1309	1243	1057



Mynd 18 – Staðsetning umferðargreina sem voru til skoðunar í verkefninu.

7 Tölfræði umferðar

7.1 Esjumelar

Tölfræðileg dreifing umferðar eftir fjölda öxla fylgir ekki normaldreifingu. Dreifingarnar eru skekktar og hafa fleiri en eitt hágildi. Oft er um að ræða dreifingu með tvö hágildi sem endurspeglar bæði fulllestuð ökutæki og tóm. Nokkrar tölfræðilegar dreifingar voru prófaðar til að nálgast gögnin úr umferðargreini á Esjumelum með það að markmiði að geta notað þau við hermun öxulþyngdar fyrir aðra umferðargreina.

Gögnin frá þyngdargreininum á Esjumelum voru notuð til að ákvarða hvernig heildarþyngd dreifist á öxla fyrir mismunandi ökutæki (2 öxla, 3 öxla, ... , 9 öxla). Hver tegund var skoðuð og þyngd hvers öxuls ákvörðuð sem hlutfall af heildarþyngd ökutækisins.

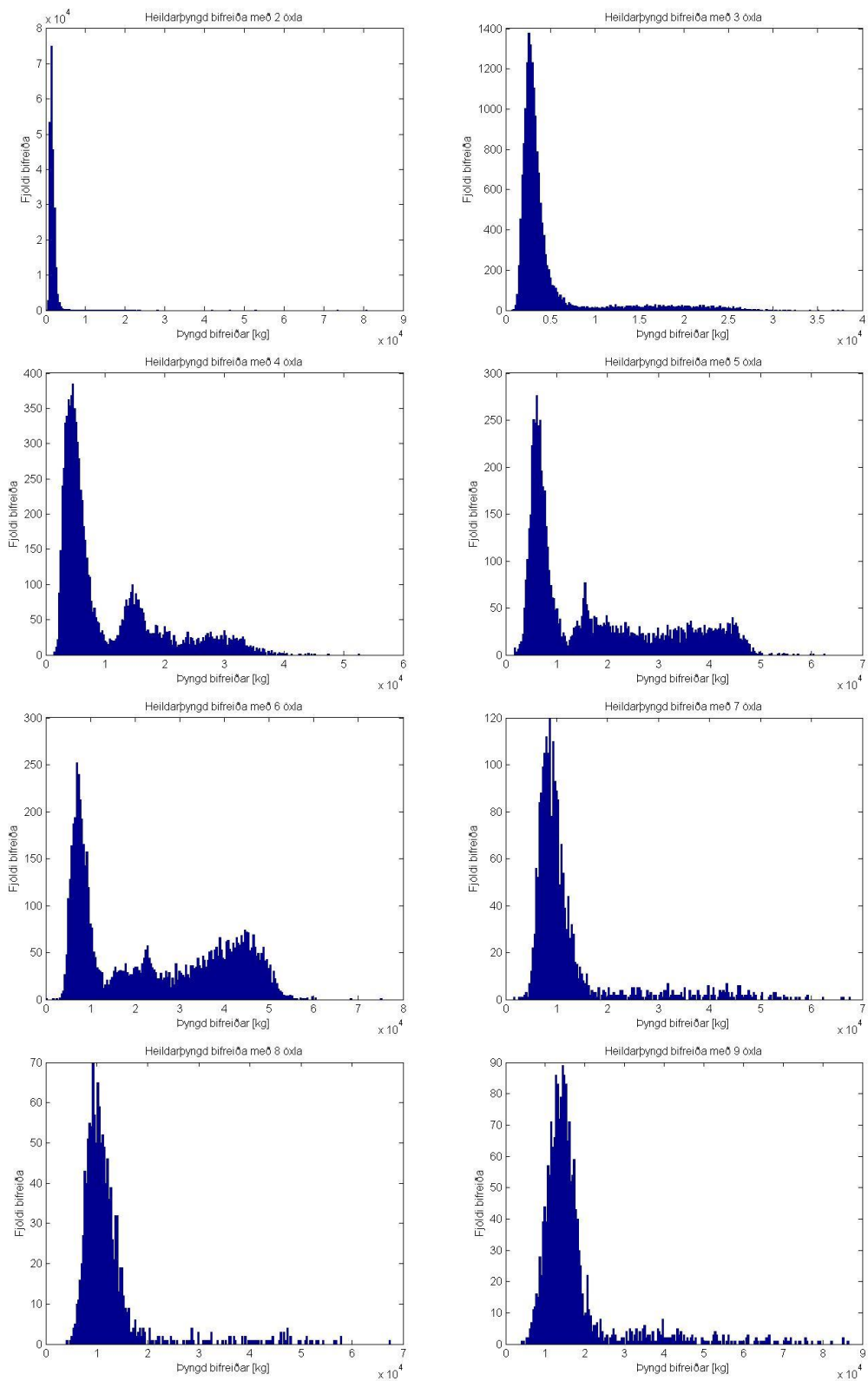
Einnig var skoðað hvernig þyngd ökutækja dreifist miðað við EUR13 ökutækjaflokkun. Sjá niðurstöður í viðauka A. Við skoðun á þeim dreifingum kom í ljós að dreifing innan flokka var ekki einsleit og reyndist sjálfvirka flokkunarkerfið ekki vera stöðugt eins og hefur komið fram í fyrri athugunum (Jóhannes Loftsson, 2009). Því var ákveðið að styðjast ekki við EUR13-flokkunina við hermun á þyngd ökutækja, heldur styðjast við fjölda öxla.

Á mynd 19 má sjá hvernig heildarþyngd dreifist fyrir mismunandi fjölda öxla.

Í töflu 8 má sjá hvernig heildarþyngd skiptist milli einstakra öxla, meðaltalsgildi fyrir gögn úr þyngdargreini á Esjumelum.

Tafla 8 – Hlutfallsleg þyngd hvers öxuls af heildarþyngd ökutækis

Fjöldi öxla ökutækis	Númer öxuls								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0,517	0,483							
3	0,374	0,386	0,240						
4	0,267	0,281	0,236	0,216					
5	0,199	0,194	0,226	0,192	0,183				
6	0,167	0,169	0,184	0,177	0,153	0,150			
7	0,123	0,123	0,137	0,154	0,159	0,157	0,146		
8	0,112	0,114	0,112	0,122	0,123	0,149	0,137	0,131	
9	0,100	0,117	0,106	0,111	0,105	0,107	0,114	0,119	0,121

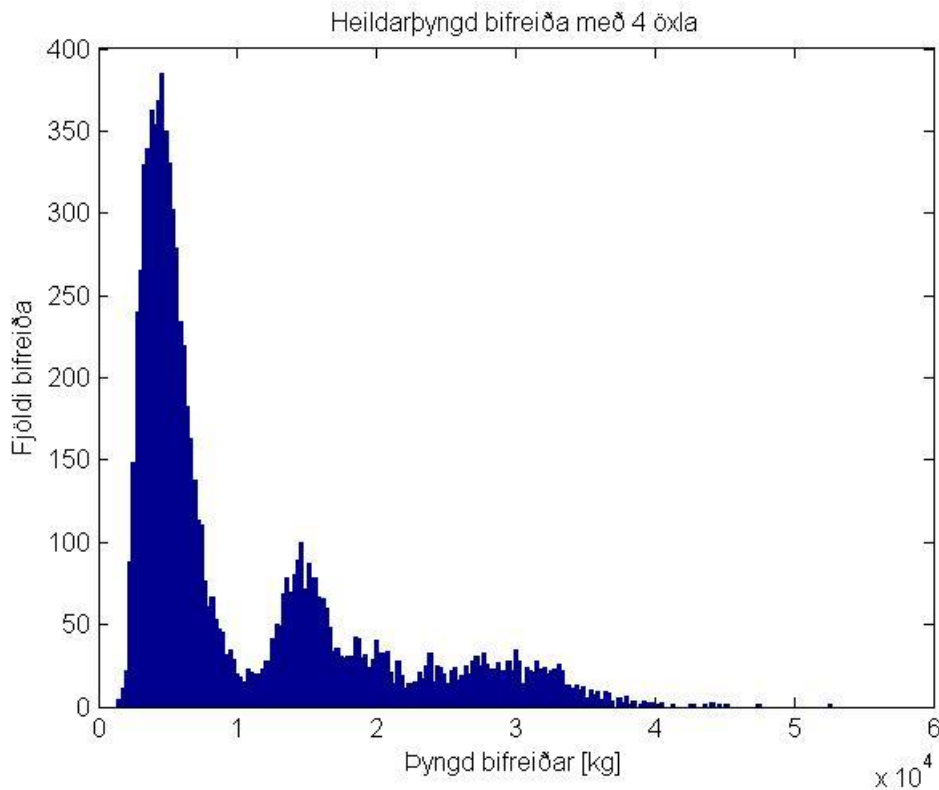


Mynd 19 – Dreifing heildarþyngdar fyrir mismunandi fjölda öxla.

7.2 Hermun heildarþyngdar

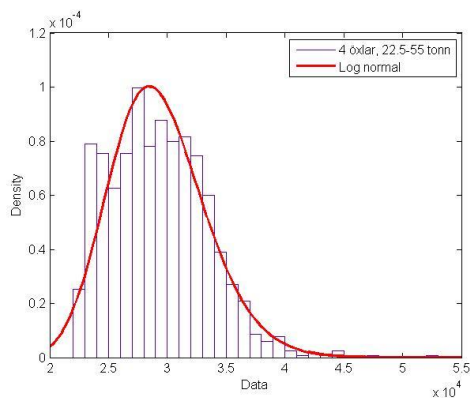
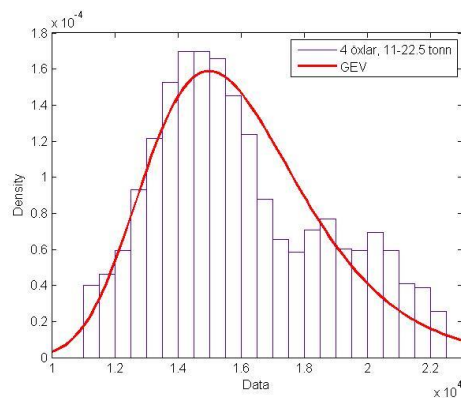
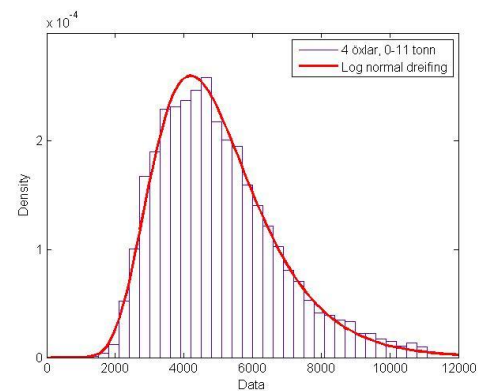
Eins og sést á myndunum hér að framan eru dreifingarnar nokkuð misjafnar. Nokkrar tölfræðilegar dreifingar voru notaðar til að lýsa þyngdardreifingu við Esjumela. Nálgun og hermun var gerð í Matlab og var stuðst við föll þar sem nálgna má tölfræðilegar dreifingar að gögnunum. Fjórar mismunandi dreifingar voru notaðar, hágildisdreifing (GEV, Generalised Extreme Value), normaldreifing, Log-Normal dreifing og Weibull-dreifing.

Dæmi um nálgun dreifinga fyrir 4-öxla ökutæki má sjá hér fyrir neðan. Notaðar voru 3 mismunandi dreifingar. Fyrir heildarþyngd 0-11 tonn var nálgæð með Log-Normal dreifingu með stikana, $\mu = 8.45993$ og $\sigma = 0.344094$. Fyrir heildarþyngd 11-22,5 tonn var nálgæð með GEV-dreifingu með stikana $k = -0.0795188$, $\sigma = 2323.97$ og $\mu = 14794.5$. Fyrir heildarþyngd $>22,5$ t var nálgæð með log-normal dreifingu með stikana $\mu = 10.2757$ og $\sigma = 0.138476$.



Mynd 20 – Dreifing heildarþyngdar fyrir 4 öxla, úr þyngdargreini á Esjumelum.

Á myndum 21a-21c má sjá hvernig þessi nálgun fellur að raunverulegri dreifingu fyrir mismunandi heildarþyngd. Rauða línan sýnir tölfræðilega fallið en súlurnar sýna dreifingu heildarþyngdar við Esjumela.

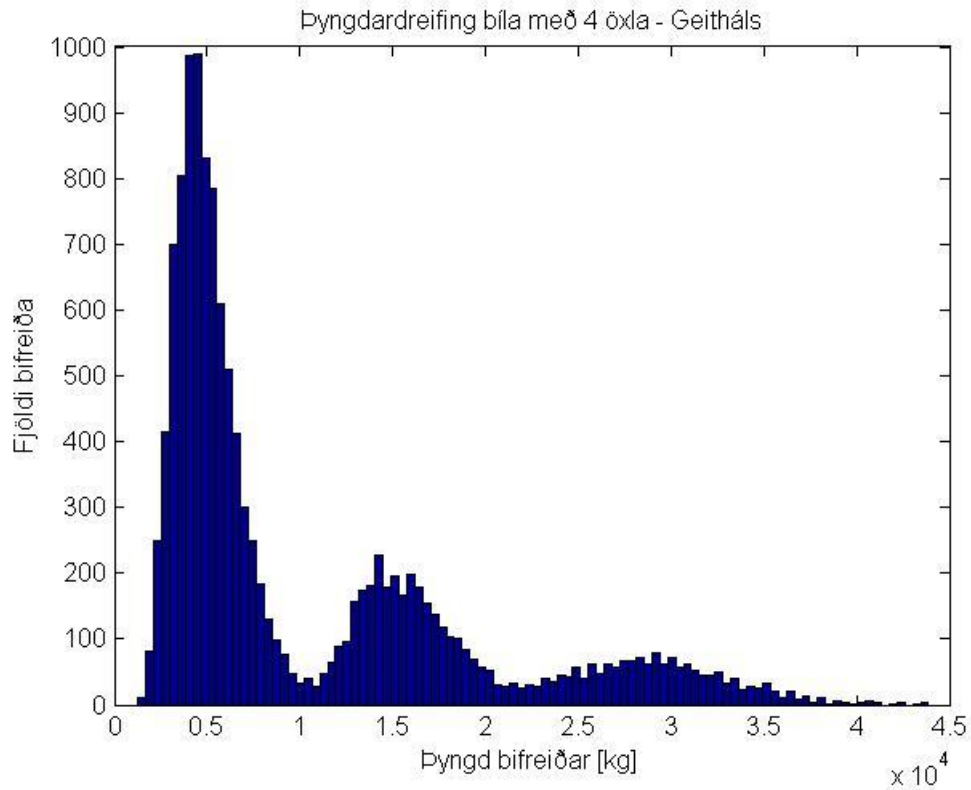


Mynd 21 – a) Log-Normal dreifing fyrir 0-11 tonn, b) GEV-dreifing fyrir 11-22,5 tonn, c) Log-Normal dreifing fyrir >22,5 tonn.

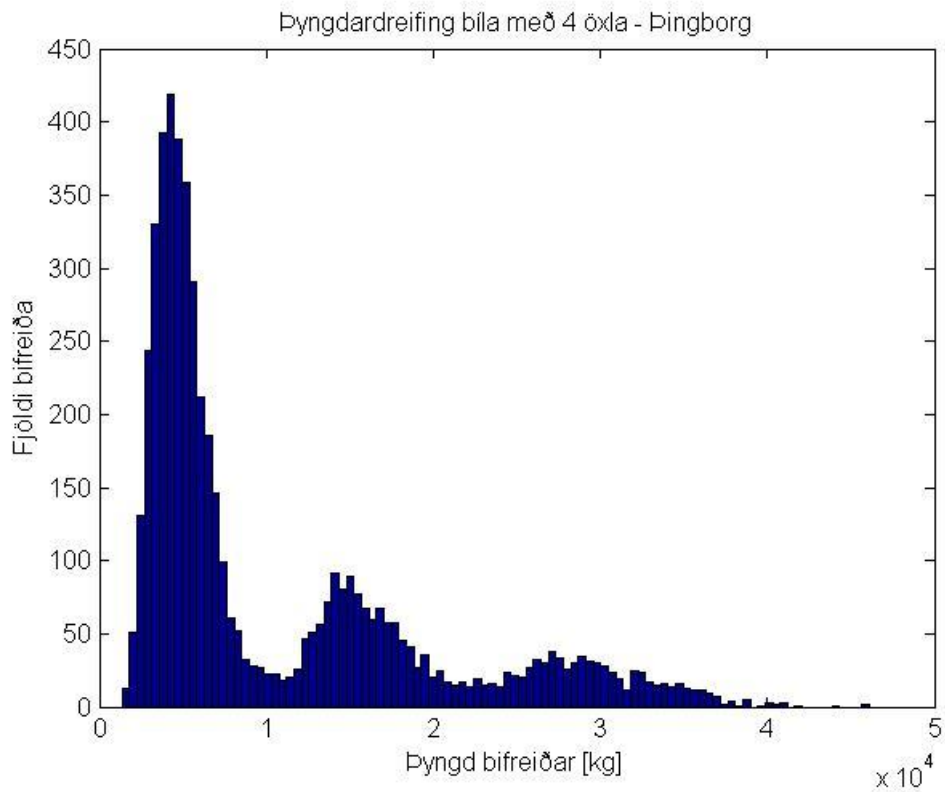
Þeim dreifingum sem lýst er hér er svo beitt á gagnasafn umferðar við aðra umferðargreina og þannig er búin til hermd stærð fyrir heildarþyngd hvers ökutækis. Umferðargreinarnir skila fjölda öxla og öxulbíl. Heildarþyngdinni er síðan dreift á öxla í samræmi við þá skiptingu sem kemur fram í töflu 8.

Þessari aðferð var beitt á gögn úr fjórum umferðargreinum á Hringvegi, umferðargreinum við Geitháls, í Langadal, við Þingborg og í Öxnadal.

Dæmi um hermda heildarþyngd fyrir 4-öxla ökutæki við umferðargreina á Geithálsi og við Þingborg má sjá á myndum 22 og 23.



Mynd 22 – Hermun á heildarþyngd ökutækja með 4 öxla við umferðargreini Geitháls.



Mynd 23 – Hermun á heildarþyngd ökutækja með 4 öxla við umferðargreini Þingborg.

8 Álagsáhrif

Gögn sem fást úr umferðargreininum eru röð ökutækja sem hafa ákveðinn fjölda öxla, með ákveðnu öxulbili og heildarþyngd, sem annað hvort er mæld með þyngdargreini eða hermd þyngd á grunni tölfræðilegrar dreifingar. Álagsáhrif eru svo reiknuð með því að öllum ökutækjunum í gagnasafninu (30 dagar) er raðað þannig að framendi ökutækis nemur við afturenda næsta ökutækis. Sú röð er svo keyrð yfir brú að lengd L, röðin er stöðvuð á 2 m fresti og álagsáhrifin reiknuð. Álagsáhrifin eru reiknuð með fyrirfram skilgreindum áhrifslínum fyrir stærsta skúfkraft, stærsta hafvægi og stærsta ásetuvægi. Þetta er gert fyrir báðar akreinar og eru þær merktar sem akrein 1 og akrein 2.

Til að fá óhagstæðustu áraun er beitt Monte Carlo hermun þar sem öll ökutæki þyngri en 5 tonn eru tekin og þeim raðað handahófskennt á sama hátt og lýst er hér að ofan. Þetta er endurtekið 100 sinnum og álagsáhrif reiknuð fyrir 100 handahófskenndar raðir af ökutækjum þyngri en 5 tonn. Fyrir hverja umferð er stærsti skúfkraftur (V), ásetuvægi (M,b) og hafvægi (M,s) skráð.

Með Monte Carlo hermuninni fæst lengri mælisería, með 100 hermunum fæst jafngildi 3000 daga álags eða rúmlega 8 ára jafngildi umferðar. Einnig væri hægt að líta á það sem 100 mismunandi mánaðarhágildi. Með því að nota hágildisdreifingar væri hægt að álykta um álagsáhrif með lengri endurkomutíma. Það var ekki gert í þessu verkefni. Við kvörðun álagslestar í EN 1991-2 (Load Model 1) var aftur á móti reiknað svokallað sólarhringshágildi út frá Monte Carlo hermuninni (Flint & Bernhard, 1996) (Sedlacek, Merzenich, Paschen, & al, 2008).

Reiknuð er tölfræðileg stærð fyrir hverja mæliröð þar sem tekin eru út hágildi álagsáhrifa fyrir tilgreindar áhrifslínur.

Reiknuð eru álagsáhrif fyrir 20 m, 40 m, 60 m, 70 m, 80 m, 100 m og 120 m langar brýr. Fyrir 20 m langa brú er skúfkraftur og hafvægi reiknað fyrir 20 m haflengd en ásetuvægi fyrir 2x10 m höf. Sama er gert fyrir 100 m brú, þar er skúfkraftur og hafvægi reiknað fyrir 100 m haflengd en ásetuvægi fyrir 2x50 m höf.

Helstu nálganir sem gerðar eru:

- Reiknað er með 1 m bili milli ökutækja.
- Ekki eru reiknuð líkindi á því að þessi röð verði
- Hágildi hverrar raðar
- Dreifing umferðar milli akreina

Fyrir styttri brýr, 20-40 m, er frjáls umferð gjarnan ráðandi álag frekar en röð þungra ökutækja. Fyrir frjálsa umferð er hraðinn meiri og dýnamísk áhrif verði því meiri. Dýnamískur stuðull getur verið á bilinu 1-1,5, algengast þó að nota 1,1-1,2. (Caprani, O'Brien, & McLachlan, 2008)

Fyrir tveggja akreina brú með umferð í báðar áttir er ólíklegt að röð þungra bíla verði á báðum akreinum í einu. Líkindi þess hafa ekki verið metin hér. Niðurstöður úr hermunum gefa til kynna að þyngdardreifing ökutækja, og þar með álagsáhrif vegna þeirra, sé mismunandi eftir akreinum.

Einkennandi gildi (characteristic values) umferðarálags fyrir Load Model 1 er skilgreint sem álag með 1000-ára endurkomutíma og notað sem grunnálag í brotástandi. Álag með 1000-ára endurkomutíma jafngildir því að 10% líkur séu að það álag verði á 100-ára líftíma mannvirkisins.

Fyrir notástand eru skilgreind álagsgildi sem hafa styttri endurkomutíma og eru hlutstuðlar skilgreindir fyrir þá endurkomutíma:

- algengt álagsgildi (frequent) sem hefur 1-viku endurkomutíma
- ekki algengt (non-frequent, rare) sem hefur 1-árs endurkomutíma

Hlutstuðlar fyrir frequent álagsgildi umferðarálags í evrópskum álagsstaðli eru notaðir sem $y_0 = 0,75$ fyrir öxulálag (TS) en $0,40$ fyrir jafndreift álag (UDL) eins og sjá má í töflu 9.

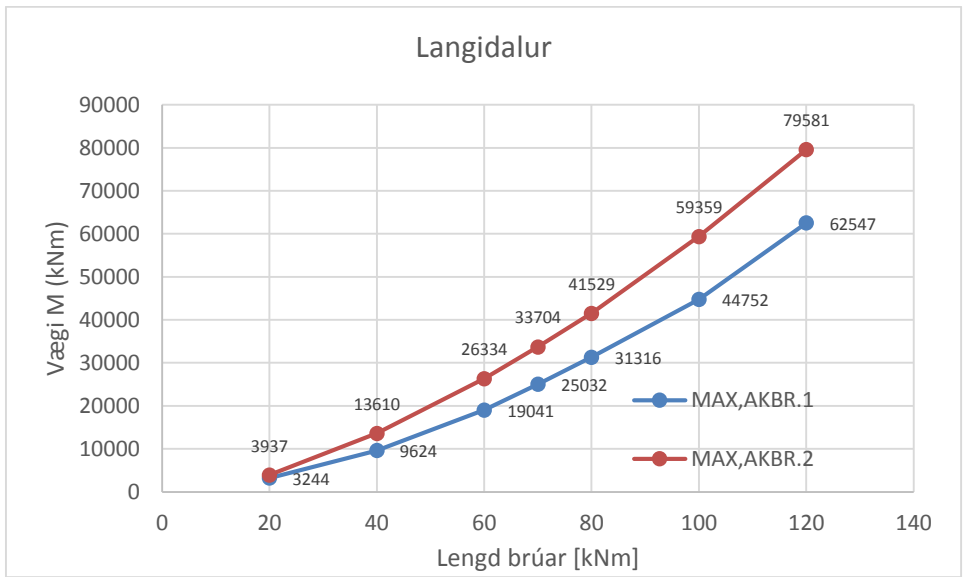
Tafla 9 – Hlutstuðlar fyrir umferðarálag skv. EN 1990.

Álagsgildi	Endurkomutími	Hlutstuðull
Frequent	1 vika	Öxulálag (TS) $\psi_0 = 0,75$ Jafndr.álag(UDL) $\psi_0 = 0,40$
Non-frequent	1 ár	$\psi_0 = 0,8$
Characteristic	1000 ár	

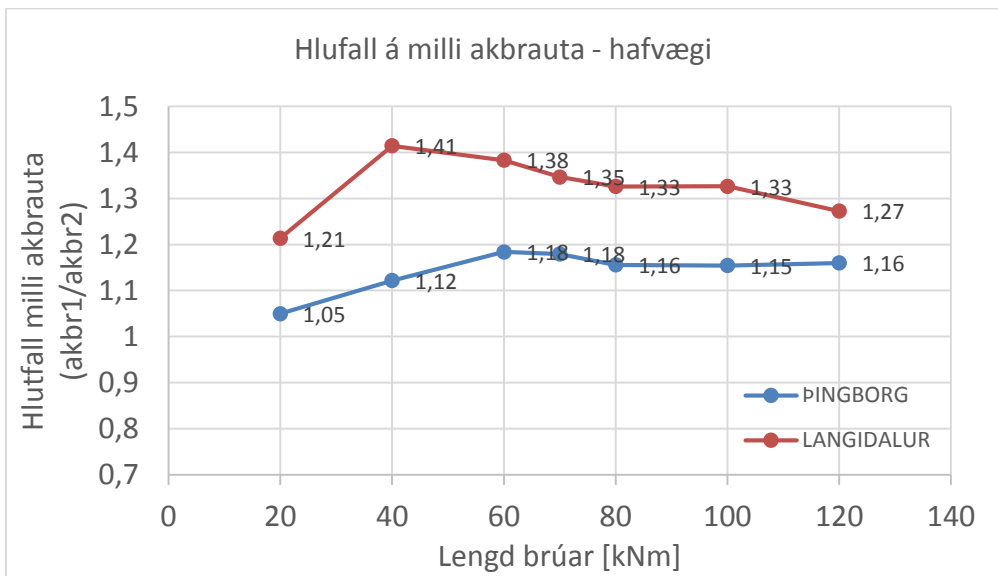
Gögn úr umferðargreinum fást fyrir hvora akrein. Þungi ökutækja getur verið mismunandi eftir akreinum og má líklegast skýra það út frá flutningaleiðum, þ.e. á hvorri leiðinni líklegra sé að fulllestuð ökutæki séu. Þetta kemur fram í útreiknuðum álagsáhrifum fyrir hermdar öxulþyngdir fyrir umferðargreina í Langadal og í Þingborg. Niðurstöður fyrir umferðargreina í Langadal má sjá á mynd 24 þar sem kemur fram stærsta beygjuvægi sem fall af brúarlengd. Á mynd 25 sést hlutfallslegur munur milli akbrauta en þar sést að útreiknuð álagsáhrif fyrir hafvægi er frá 21-41% hærra fyrir akbraut 1 en akbraut 2. Sambærilegar niðurstöður sjást þegar horft er á umferðargreini í Þingborg en ekki jafnafgerandi, þar er munurinn 5-18%.

Á mynd 26 sést að útreiknuð álagsáhrif fyrir ásetuvægi er munur upp á 14-31% milli akbrauta fyrir umferðargreini í Langadal og 2-18% fyrir Þingborg.

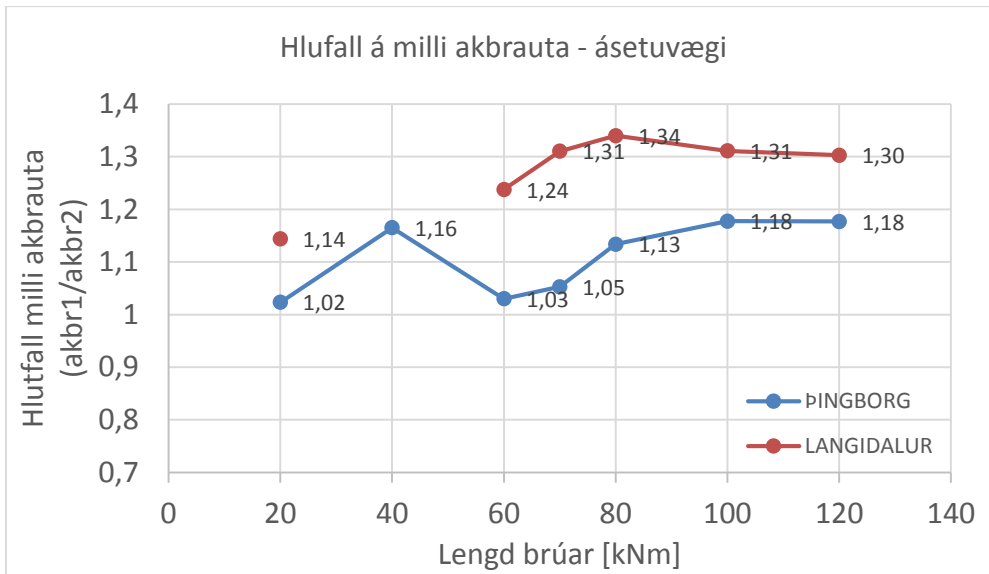
Séu álagsáhrif borin saman milli umferðargreina kemur í ljós að í Langadal veldur umferð á þyngri akreininni stærri álagsáhrifum en við Þingborg eins og sést á mynd 28. Léttari akreinin veldur aftur á móti stærri álagsáhrifum við Þingborg eins og sést á mynd 29. Mjög sambærilegar niðurstöður koma í ljós þegar borin eru saman álagsáhrif léttari akreinar fyrir umferðargreini í Langadal og í Öxnadal.



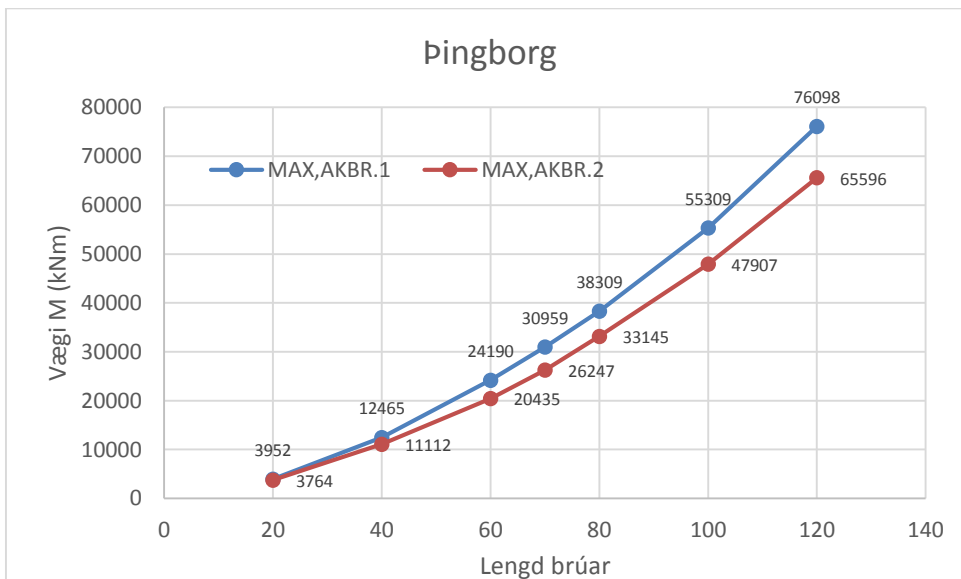
Mynd 24 – Stærsta hafvægi fyrir umferðargreini í Langadal, mismunur milli akreina.



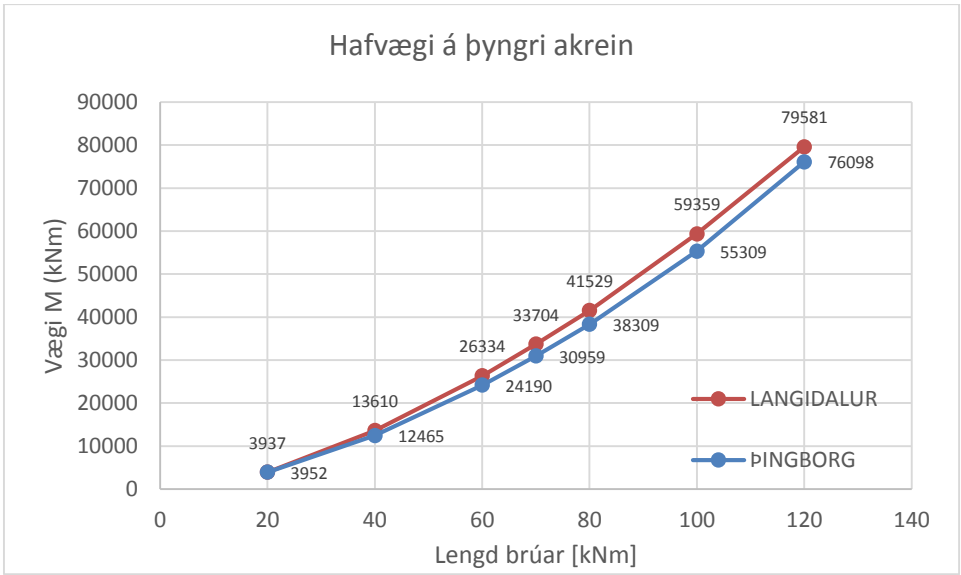
Mynd 25 – Hlutfall milli akbrauta, hafvægi.



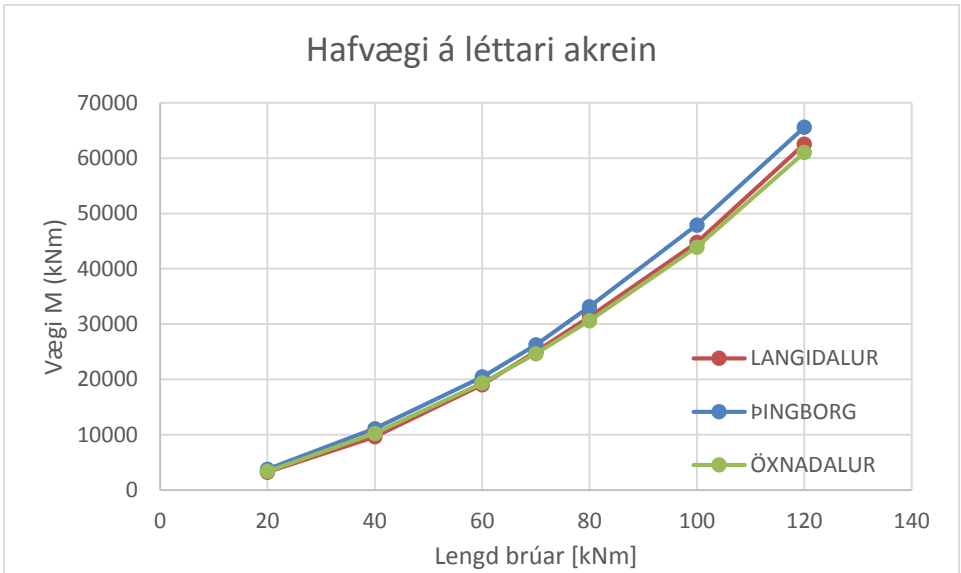
Mynd 26 – Hlutfall milli akbrauta, ásetuvægi.



Mynd 27 – Stærsta hafvægi fyrir umferðargreini við Þingborg, mismunur milli akreina.



Mynd 28 – Stærsta hafvægi fyrir þyngri akrein, samanburður milli umferðargreina



Mynd 29 – Stærsta hafvægi fyrir léttari akrein, samanburður milli umferðargreina

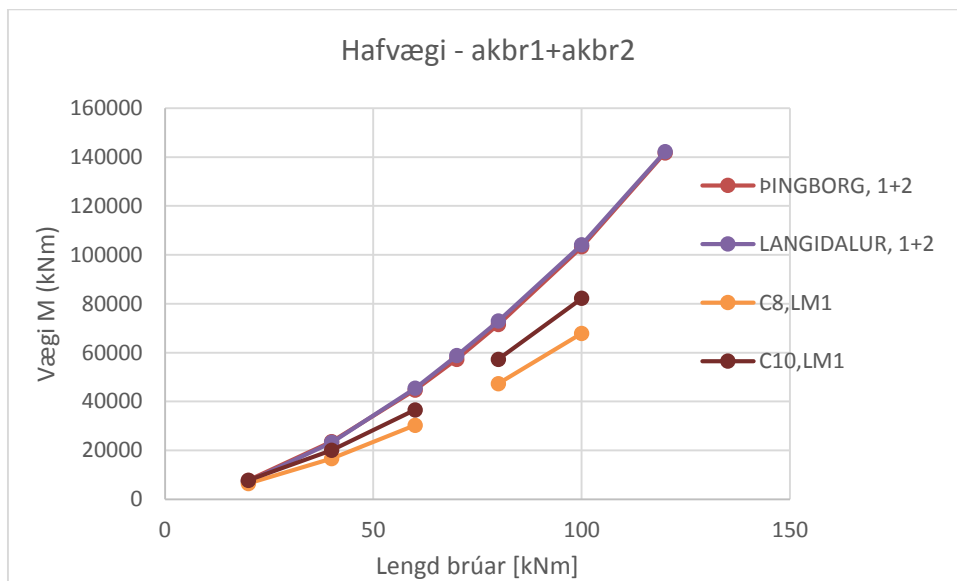
9 Samanburður við hönnunarálag nýrra brúa

Í kafla 2.6 er fjallað um hönnunarálag frá ólíkum tímum, þ.m.t. núgildandi hönnunarálag skv. EN 1991-2.

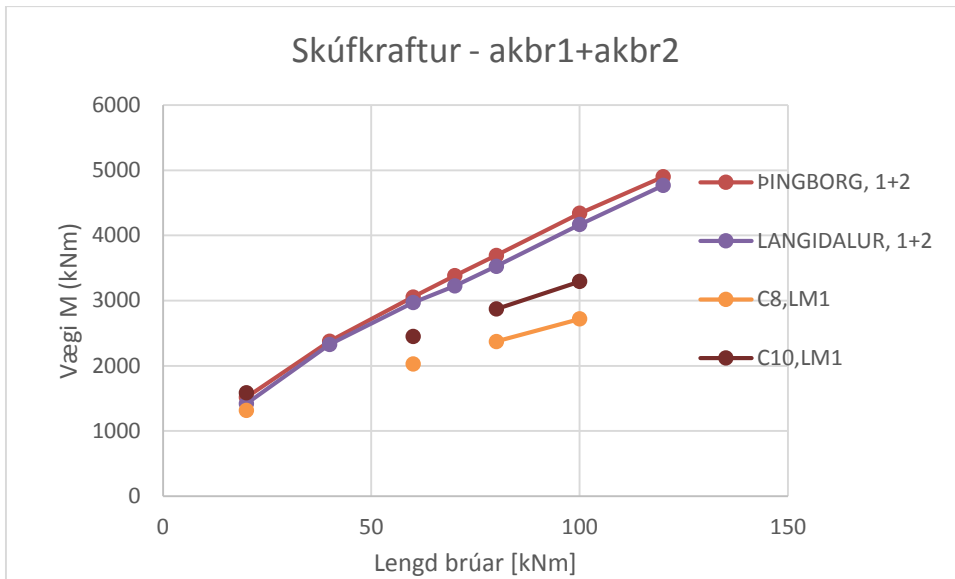
Samanburður á niðurstöðum fyrir reiknuð álagsáhrif við Esjumela gefa til kynna að notkun á α -stuðlinum $\alpha=1,0$ sé réttlætanager samborið við fyrir notkun á $\alpha=0,8$. Reynslan hefur sýnt að þungaumferð á þjóðvegum hefur aukist stöðugt og kröfur eru um að leyfa ökutæki með meiri heildarþyngd en núgildandi reglugerð segir til um. Slík þróun hefur átt stað víða um Evrópu.

Á nýjum brúm, þar sem akbrautarsvæði er 9 m eða breiðara, er gert ráð fyrir að hannað sé fyrir 3 akbrautum sem hver um sig er 3 m á breidd. Það felur í sér viðbótaröryggi og hærra heildarálag sem hannað er fyrir.

Á mynd 30 má sjá samanburð á álagsáhrifum hönnunarálags nýrra brúa samkvæmt EN 1991-2 og niðurstöðum hermunar á álagsáhrifum umferðar á Hringvegi í Langadal í A-Húnavatnssýslu og við Þingborg austan við Selfoss. Á myndinni sést að hermd álagsáhrif fyrir stærsta hafvægi eru töluvert hærri en hönnunarálagið. Ýmsar íhaldssamar nálganir eru þó gerðar eins og sést í kafla 8, þ.m.t. myndun raða, bil milli ökutækja o.s.frv. Ólíklegt er að röð myndist á báðum akreinum í einu. Þetta gefur þó til kynna að möguleikinn er fyrir hendi þó litlar líkur séu. Einnig sést á myndinni munur á hönnunaráraun fyrir 8 m breiða akbraut (C8) og 10 m breiða akbraut (C10). Sambærilegar niðurstöður sjást á mynd 31 fyrir stærsta skúfkraft.



Mynd 30 – Samanburður á hafvægi fyrir hermd álagsáhrif skv. umferðargreinum og hönnunarálagi EN 1991-2.



Mynd 31 – Samanburður á skúfkrafti fyrir hermd álagsáhrif skv. umferðargreinum og hönnunarálagi EN 1991-2.

10 Umræða

Í verkefninu hefur verið fjallað um hagnýtingarmöguleika umferðargreina og þyngdargreina við mat á álagsáhrifum umferðar á brýr á Íslandi. Sýnt hefur verið fram á að hægt sé að nota niðurstöður úr umferðargreinum sem reknir eru um allt land og nýta þær við að meta álagsáhrif á brýr með hermum öxulþyngda. Tölfræðileg dreifing öxulþyngdar ökutækja í hverjum ökutækjaflokki byggir á niðurstöðum úr þyngdargreini Vegagerðarinnar við Esjumela.

Fjölmargar óvissustærðir eru varðandi uppröðun ökutækja, líkindi á biðröðum, dýnamísk áhrif, dreifingu álags milli akreina og akbrauta. Ekki hafa verið gerðar tölfræðilegar greiningar á þeim gögnum sem söfnuðust í verkefninu en mögulegt væri að gera það. Víða um Evrópu hafa verið gerðar ítarlegar greiningar á umferðarálagi á brýr í tengslum við innleiðingu evrópskra álagsstaðla svo og hugmyndir varðandi aukningu á leyfilegri heildarþyngd ökutækja. Þessi þróun á sér að einhverju leyti stað á Íslandi með aukinni þungaumferð um þjóðvegi landsins og því mikilvægt að fylgjast vel með.

Væntingar ökumanna og annarra sem treysta á öruggar samgöngur eru miklar.

Ekki virðist vera mikill munur á samsetningu umferðar á Hringvegi austan við Selfoss og á Hringvegi í Langadal í A-Húnavatnssýslu með tilliti til álagsáhrifa á brýr. Mun meiri umferð er þó austan Selfoss, meira en 3-föld ársdagsumferð árið 2014 og því meiri líkur á löngum röðum, en einnig eru þar meiri líkur á röð á báðum akreinum. Eins og áður hefur verið nefnt voru ekki gerðar frekari tölfræðilegar athuganir á þeim líkindum í þessu verkefni.

Við innleiðingu þjóðarviðauka fyrir Ísland og með formlegri gildistöku evrópskra hönnunarstöðla fyrir burðarvirki árið 2011 var hönnunargildi fyrir umferðarálag á brýr aukið um 25% með notkun minnkunarstuðulsins $\alpha_Q = \alpha_q = 1$. Sú ákvörðun virðist vera réttlæt看leg samkvæmt niðurstöðum þessa verkefnis. Þróunin frá upphafi bílaaldar hefur verið síhækkandi umferðarálag, búið er að skipta út flestum veikari brúm sem byggðar voru fyrir 1970 á meginflutningaleiðum þó svo að einhverjar séu eftir.

11 Heimildaskrá

- Caprani, C. J., O'Brien, E. J., & McLachlan, G. J. (2008). Characteristic traffic load effects from a mixture of loading events on short to medium span bridges. *Structural Safety*, 394-404.
- Einarsson, B. (1996). *Burðarþolsflokkun brúa - Tillaga að flokkunaraðferð*. Óútféið.
- Flint, A., & Bernhard, J. (1996). Extreme traffic loads on road bridges and target values of their effects for code calibration. *IABSE Reports (Vol.74)*, 469-477.
- Jóhannes Loftsson. (2009). *Bestun á öxulflokkun umferðargreina, byggt á samþættri greiningu vettvangsmælinga og þyngdargreinisgagna*. Reykjavík: Verkís.
- Jóhannes Loftsson, S. E. (2011). *Öxulróf metið út frá gögnum WIM umferðargreinis*. Reykjavík: Verkís.
- Lillja, H. (2014). Implications of new 76 t trucks to Bridge Eurocodes in Finland. *NVF 2014 - Bridge conference*, (bls. 1-21). Reykjavík.
- National Transportation Safety Board. (2008). *Collapse of I-35W Highway Bridge, Minneapolis, Minnesota, August 1, 2007. Highway Accident Report NTSB/HAR-08/03*. Washington, DC: NTSB.
- Railway Accident Investigation Unit. (2010). *Investigation Report No.2010-R004. Malahide Viaduct Collapse on the Dublin to Belfast Line on the 21st August 2009*. Dublin, Ireland: RAIU.
- Sedlacek, G., Merzenich, G., Paschen, M., & al, e. (2008). *Background document to EN 1991- Part 2 - Traffic loads for road bridges and consequences for the design*. JRC.
- Skúli Þórðarson, A. H. (2008). *Notkun á lengdarflokkun umferðargreina til að áætla hlutfall þungra bíla af heildarumferð*. Hafnarfirði: Vegsýn.
- Vegagerð ríkisins. (1974). *Drög að álagsstaðli fyrir brýr*. Reykjavík: Óútféið.

Myndir

Mynd 1 – Álagslest VR, 34 t vagnlest fyrir hönnun (Vegagerð ríkisins, 1974).....	3
Mynd 2 – Álagslest NVF, 63t vagnlest fyrir hönnun (Vegagerð ríkisins, 1974)	4
Mynd 3 – Þungalest, 106t álagslest fyrir hönnun (Vegagerð ríkisins, 1974)	5
Mynd 4 – Tillögur að breytingum á álagslest hjá Finnsku Vegagerðinni (Lillja, 2014).	7
Mynd 5 – Vagnlestir sem samræmast reglugerð um leyfilegan þunga á þjóðvegum (Baldvin Einarsson, 1996)	8
Mynd 6 – Samanburður álagsáhrifa fyrir álagslest LM1 og 63t álagslestar fyrir C10-þversnið.....	10
Mynd 7 – Samanburður álagsáhrifa fyrir álagslest 0,8LM1 og 63t álagslestar fyrir C8-þversnið.	11
Mynd 8 – Hafvægi fyrir C10 þversnið fyrir mismunandi álagslestir	11
Mynd 9 – Hafvægi fyrir C8 þversnið fyrir mismunandi álagslestir (álagsáhrif fyrir Lest2-Lest4 eru einungis reiknuð á 1 akrein).....	12
Mynd 10 – Ásetuvægi fyrir C8-þversnið fyrir mismunandi álagslestir	12
Mynd 11 – Ásetuvægi fyrir C10-þversnið fyrir mismunandi álagslestir	13
Mynd 12 – Skúfkraftur fyrir C8-þversnið fyrir mismunandi álagslestir	13
Mynd 13 – Skúfkraftur fyrir C10-þversnið fyrir mismunandi álagslestir	14
Mynd 14 – Hlutfall milli álagsáhrifa Eurocode LM1 og Lest 4(49 t) fyrir C8-þversnið.	16
Mynd 15 – Hlutfall milli álagsáhrifa 63t AN-hönnunarlestar og Lest 4(49 t) fyrir C8-þversnið.	16
Mynd 16 – Hlutfall milli álagsáhrifa 34t hönnunarlestar og Lest4(49t) fyrir C8-þversnið.....	17
Mynd 17 – Vatnsdalsá hjá Grímstungu í ágúst 2015 (mynd Tómas Daníelsson)	20
Mynd 18 – Staðsetning umferðargreina sem voru til skoðunar í verkefninu.	23
Mynd 19 – Dreifing heildarþyngdar fyrir mismunandi fjölda öxla.....	25
Mynd 20 – Dreifing heildarþyngdar fyrir 4 öxla, úr þyngdargreini á Esjumelum.	26
Mynd 21 – a) Log-Normal dreifing fyrir 0-11 tonn, b) GEV-dreifing fyrir 11-22,5 tonn, c) Log-Normal dreifing fyrir >22,5 tonn.	27
Mynd 22 – Hermun á heildarþyngd ökutækja með 4 öxla við umferðargreini Geitháls.....	28
Mynd 23 – Hermun á heildarþyngd ökutækja með 4 öxla við umferðargreini Þingborg.	28
Mynd 24 – Stærsta hafvægi fyrir umferðargreini í Langadal, mismunur milli akreina.	31
Mynd 25 – Hlutfall milli akbrauta, hafvægi.....	31
Mynd 26 – Hlutfall milli akbrauta, ásetuvægi.....	32
Mynd 27 – Stærsta hafvægi fyrir umferðargreini við Þingborg, mismunur milli akreina.....	32
Mynd 28 – Stærsta hafvægi fyrir þyngri akrein, samanburður milli umferðargreina	33
Mynd 29 – Stærsta hafvægi fyrir léttari akrein, samanburður milli umferðargreina	33
Mynd 30 – Samanburður á hafvægi fyrir hermd álagsáhrif skv. umferðargreinum og hönnunarálagi EN 1991-2.....	34
Mynd 31 – Samanburður á skúfkrafti fyrir hermd álagsáhrif skv. umferðargreinum og hönnunarálagi EN 1991-2.....	35

Viðaukar

Viðauki A – Esjumelar, niðurstöður

Viðauki B – Geitháls, niðurstöður

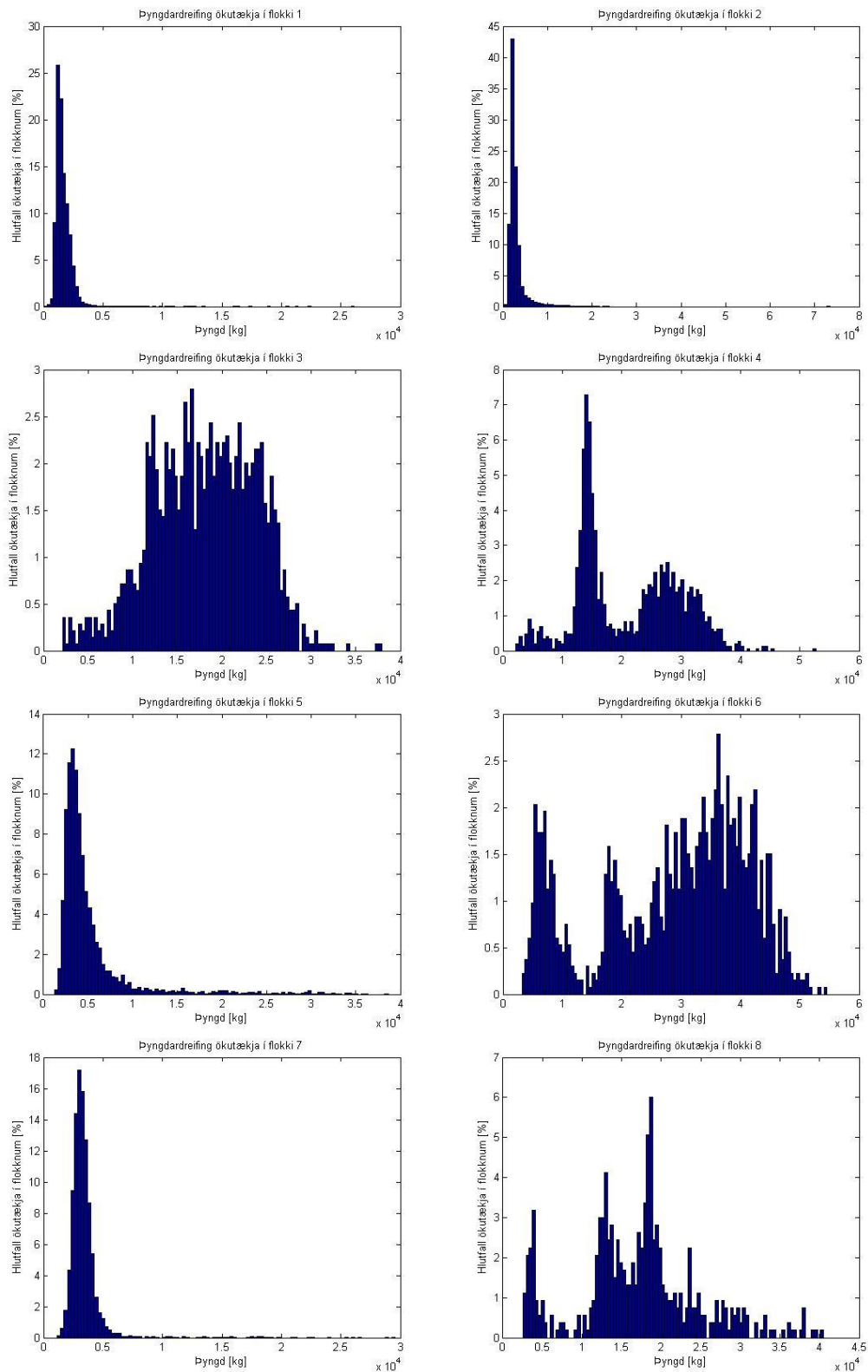
Viðauki C – Langidalur, niðurstöður

Viðauki D – Þingborg, niðurstöður

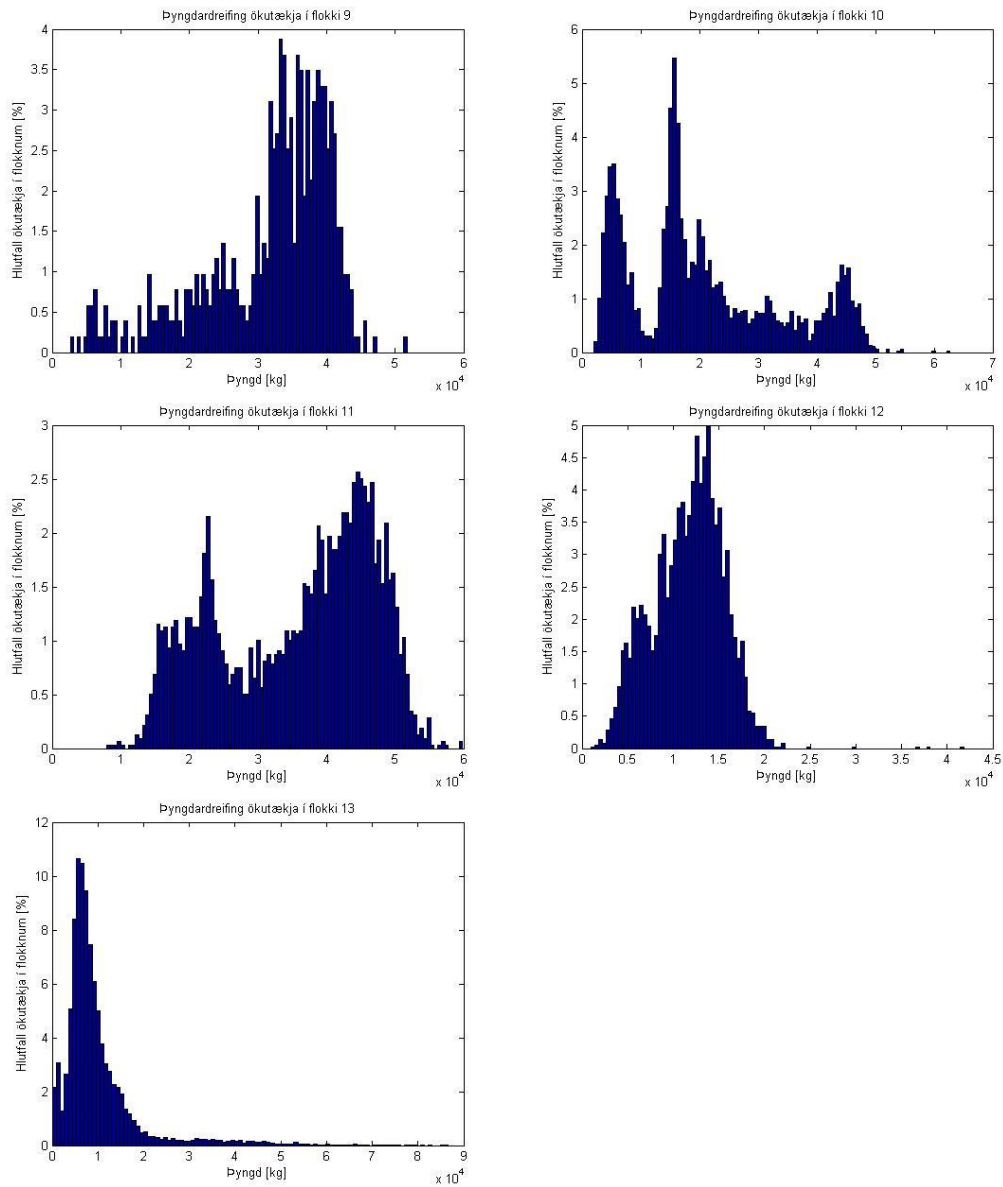
Viðauki E – Öxnadalur, niðurstöður

Viðauki F – Alagsáhrif mismunandi hönnunarálags, samanburður

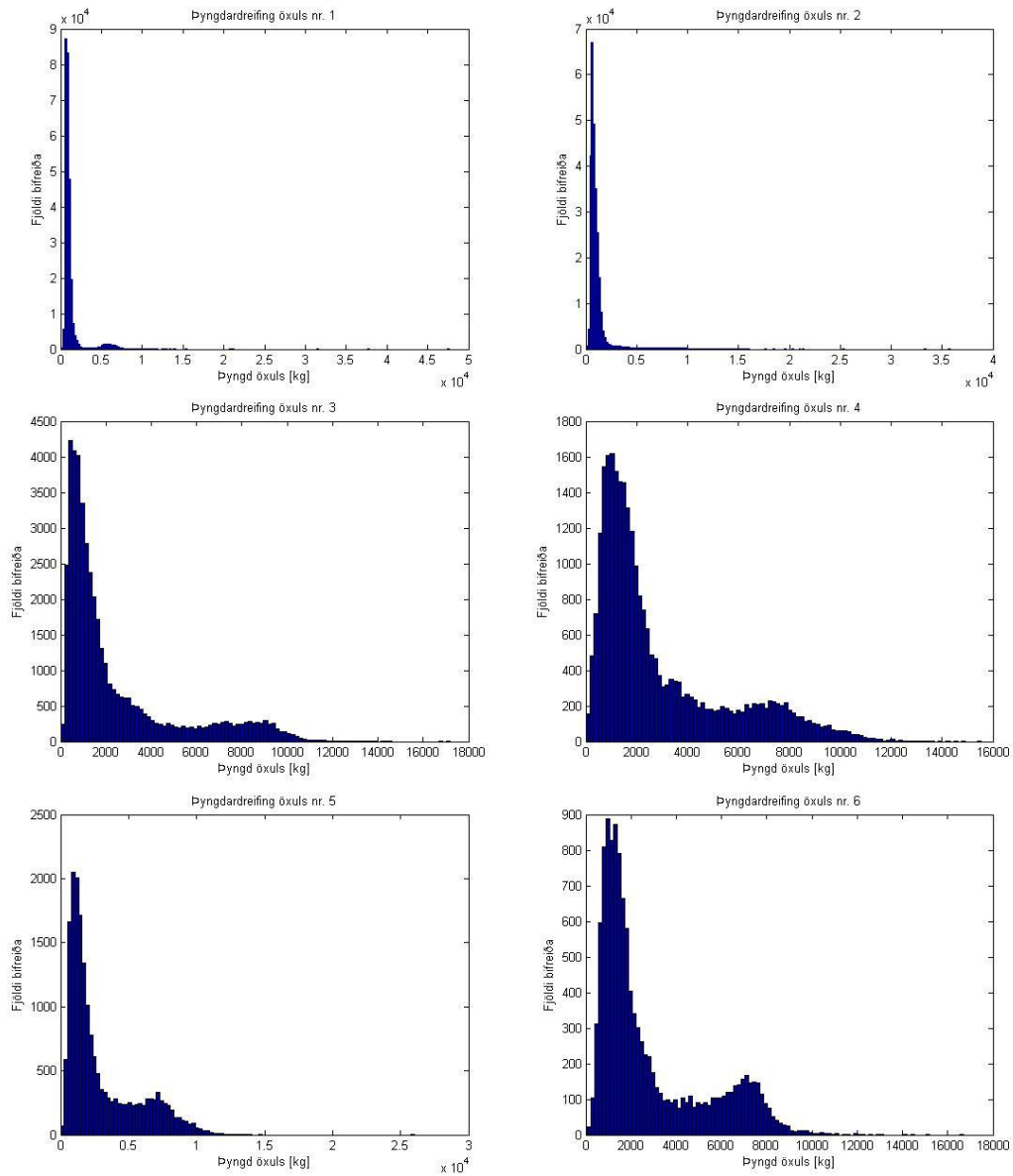
A. Esjumelar, niðurstöður



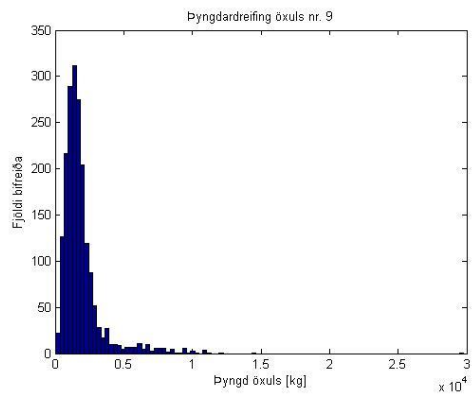
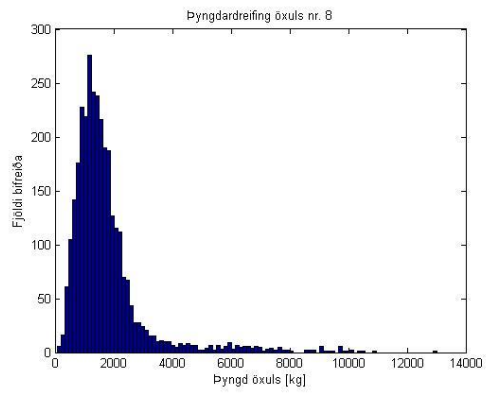
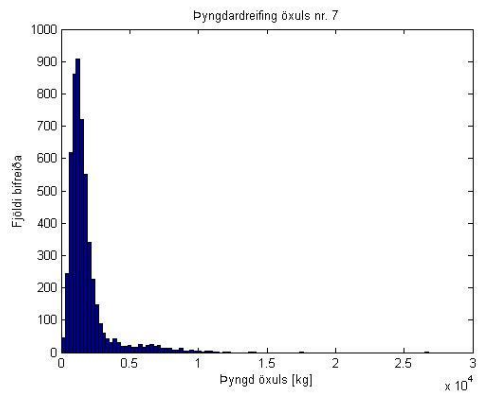
Mynd A.1 – Dreifing heildarþyngdar fyrir mismunandi flokka EUR13 (flokkur 1 – 8)



Mynd A.2 – Dreifing heildarþyngdar fyrir mismunandi flokka EUR13 (flokkur 9-13)

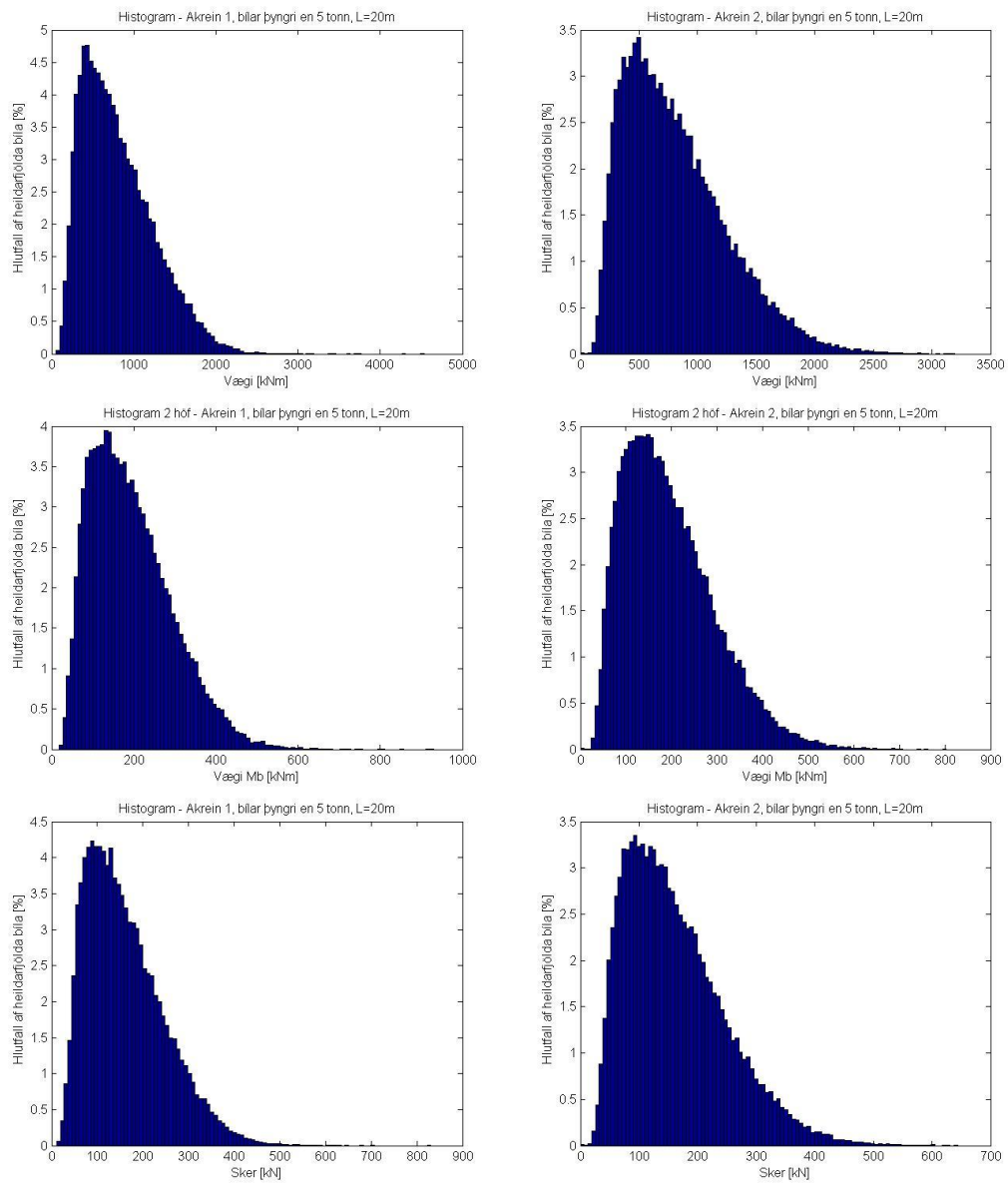


Mynd A.3 – Dreifing heildarþyngdar fyrir mismunandi óxul (öxlar nr. 1-6)

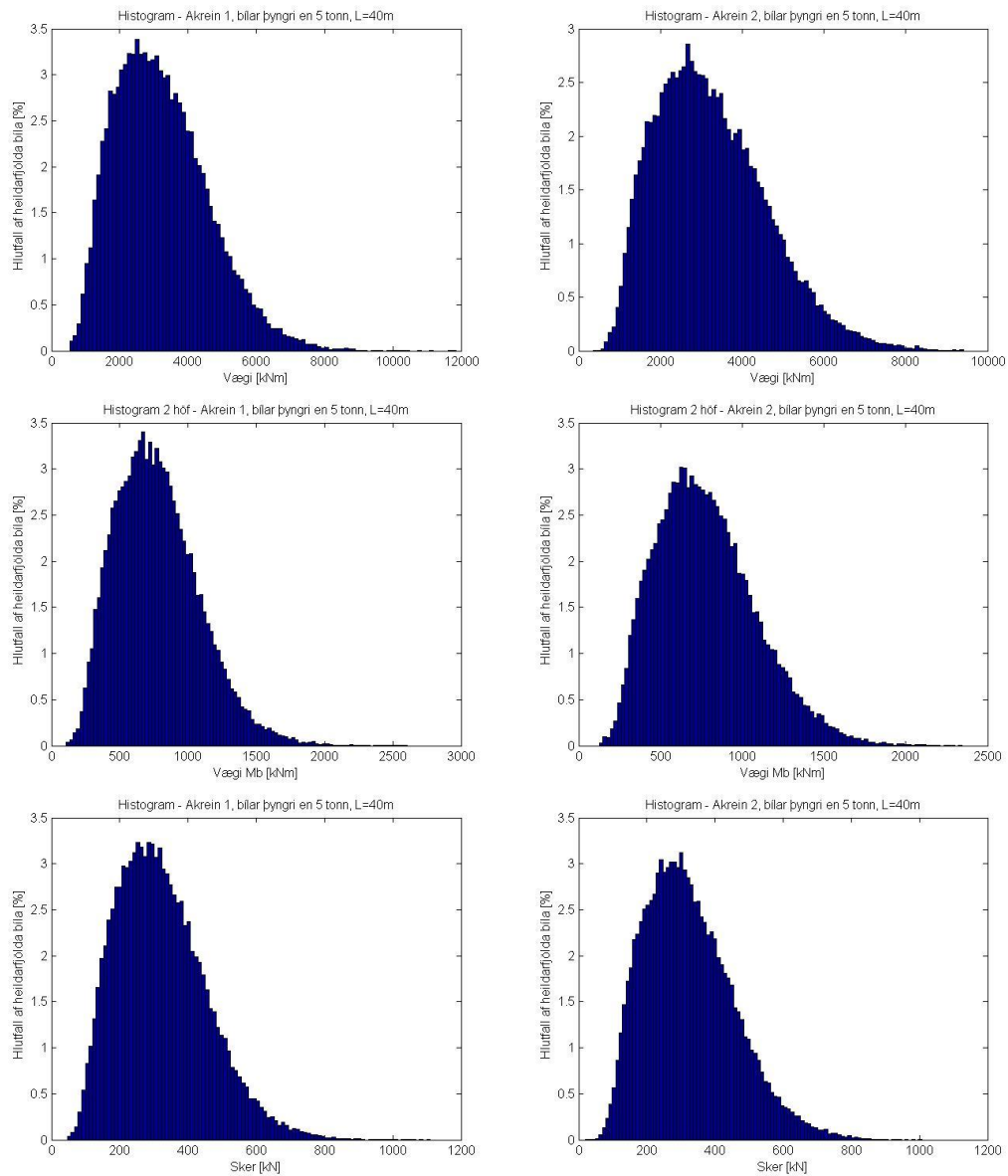


Mynd A.4 – Dreifing heildarþyngdar fyrir mismunandi öxul (öxlar nr. 7-9)

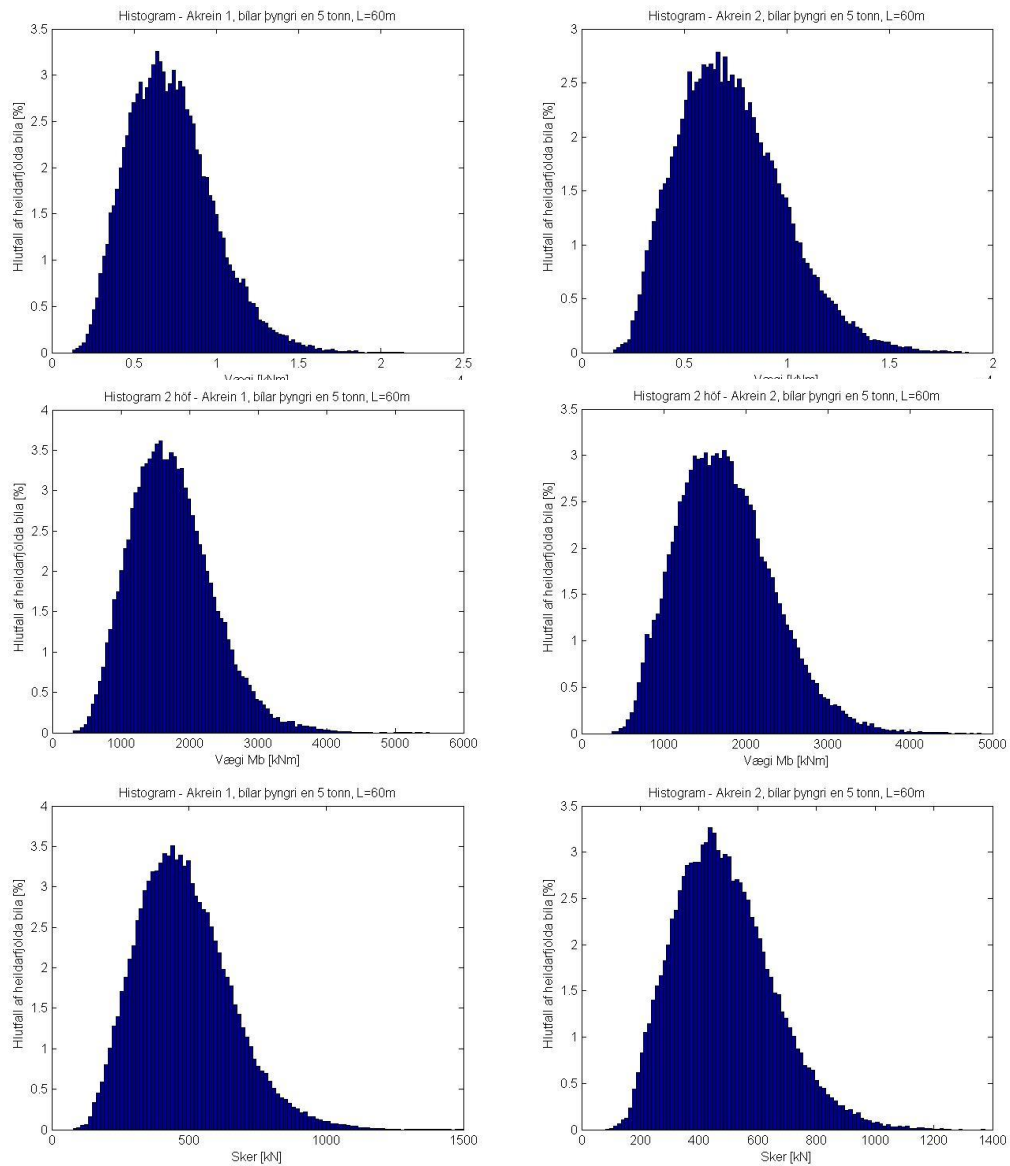
B. Niðurstöður Geitháls



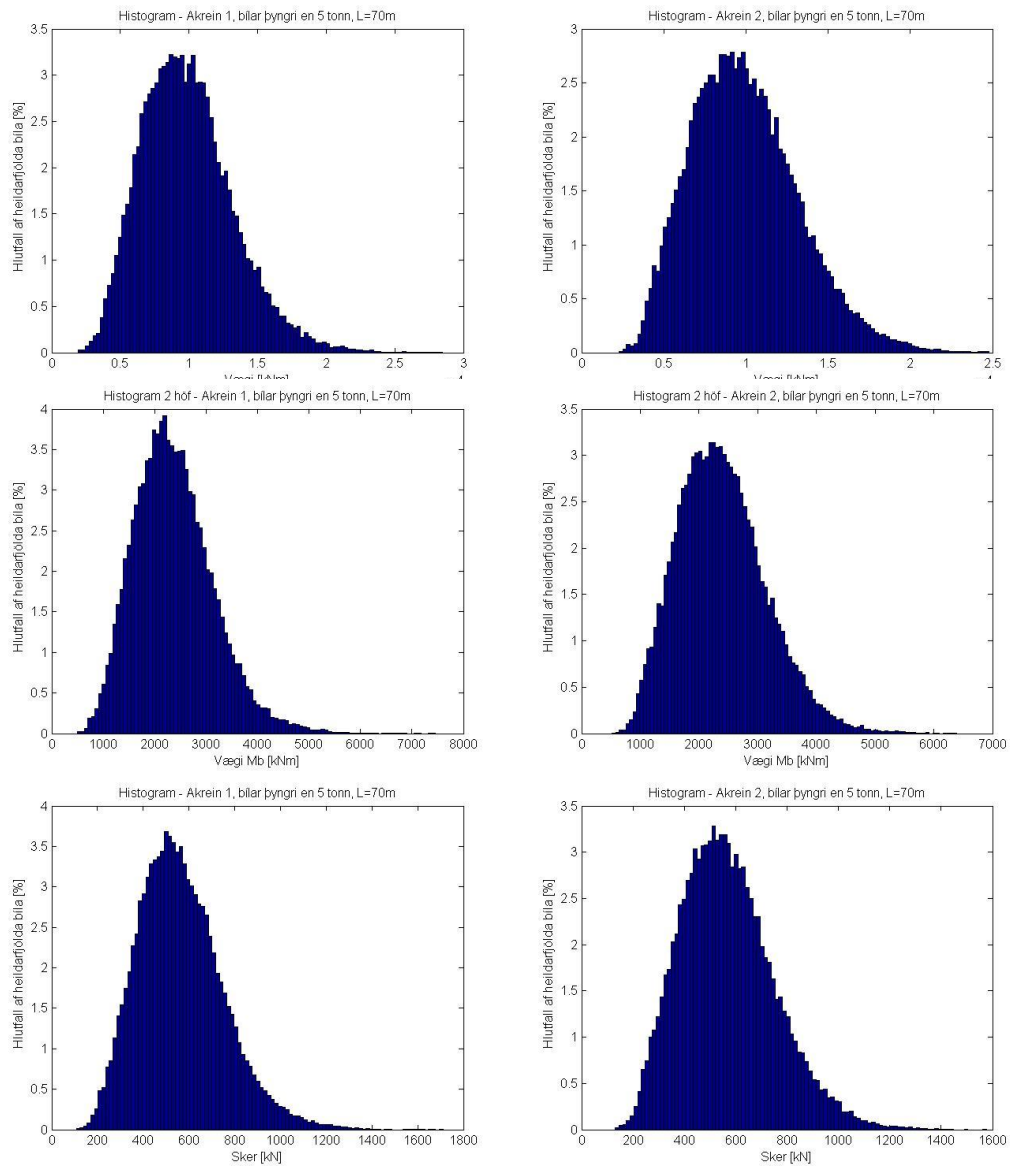
Mynd B.1 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=20$ m.



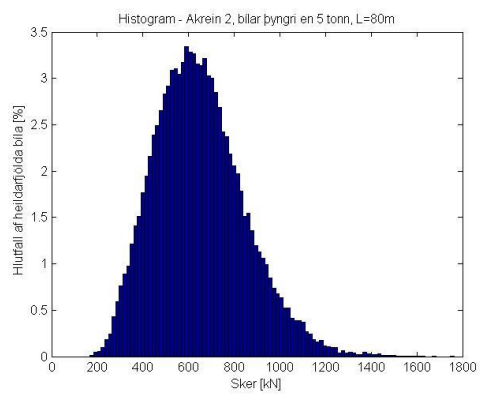
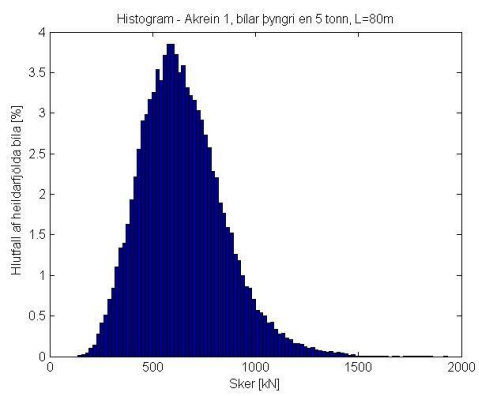
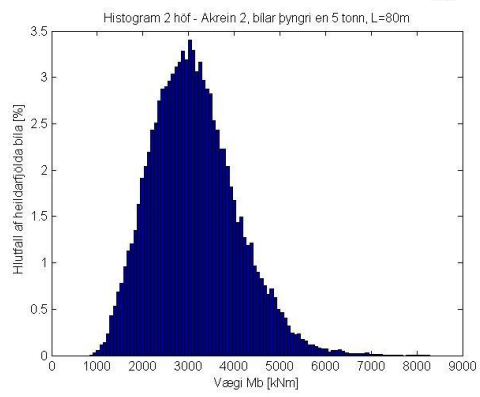
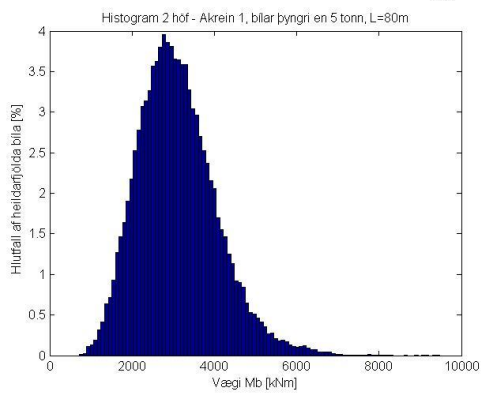
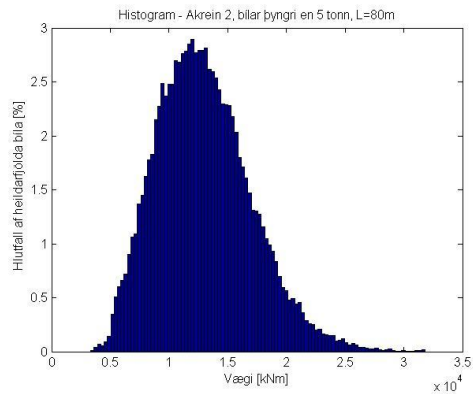
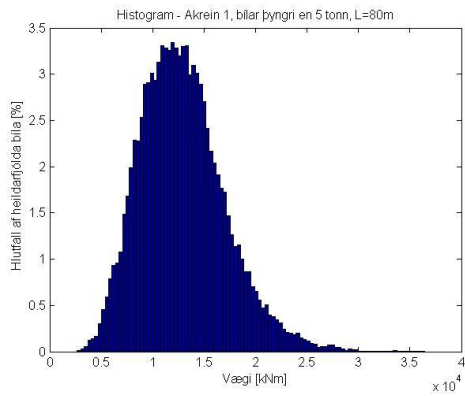
Mynd B.2 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=40 m.



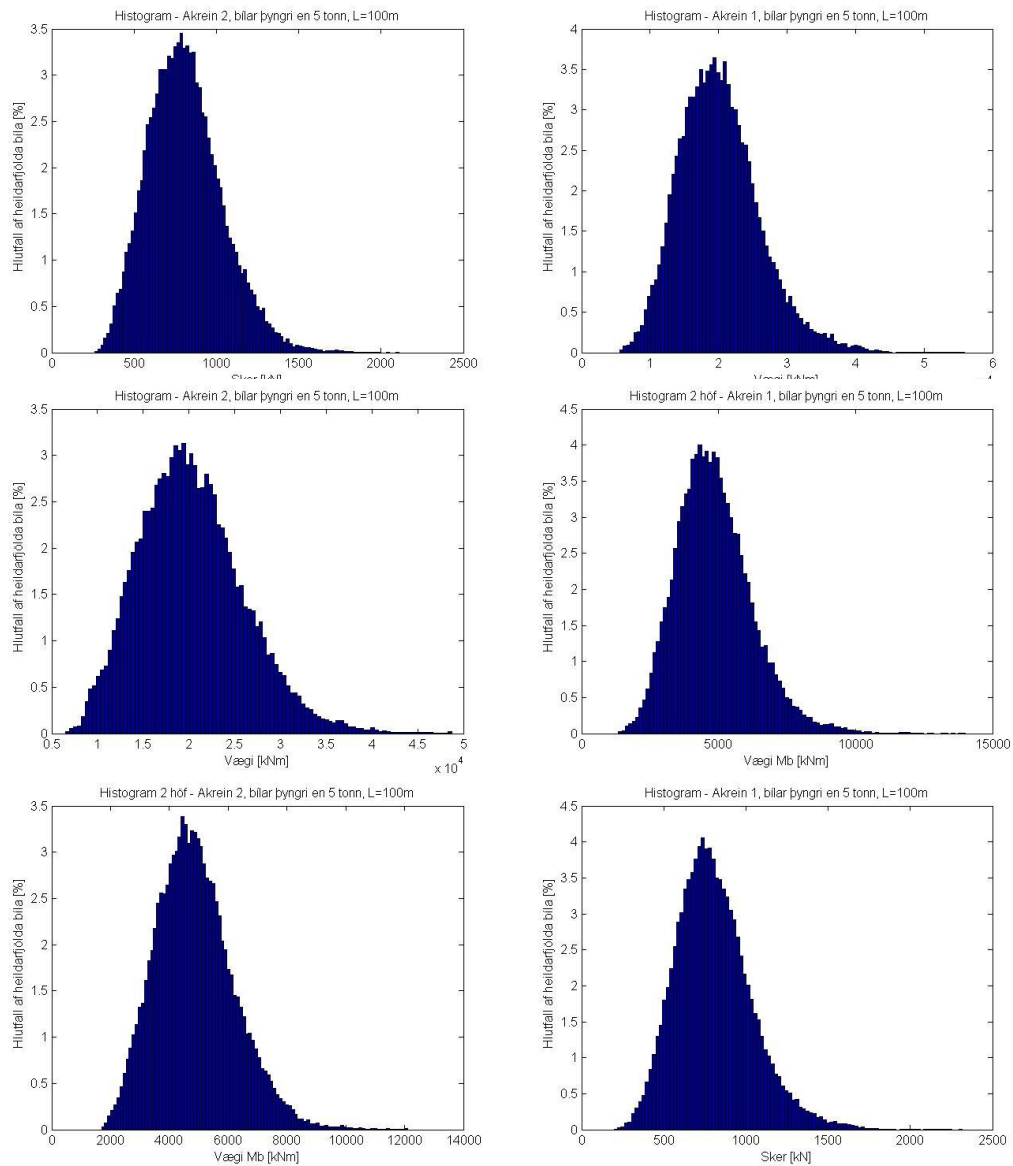
Mynd B.3 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=60$ m.



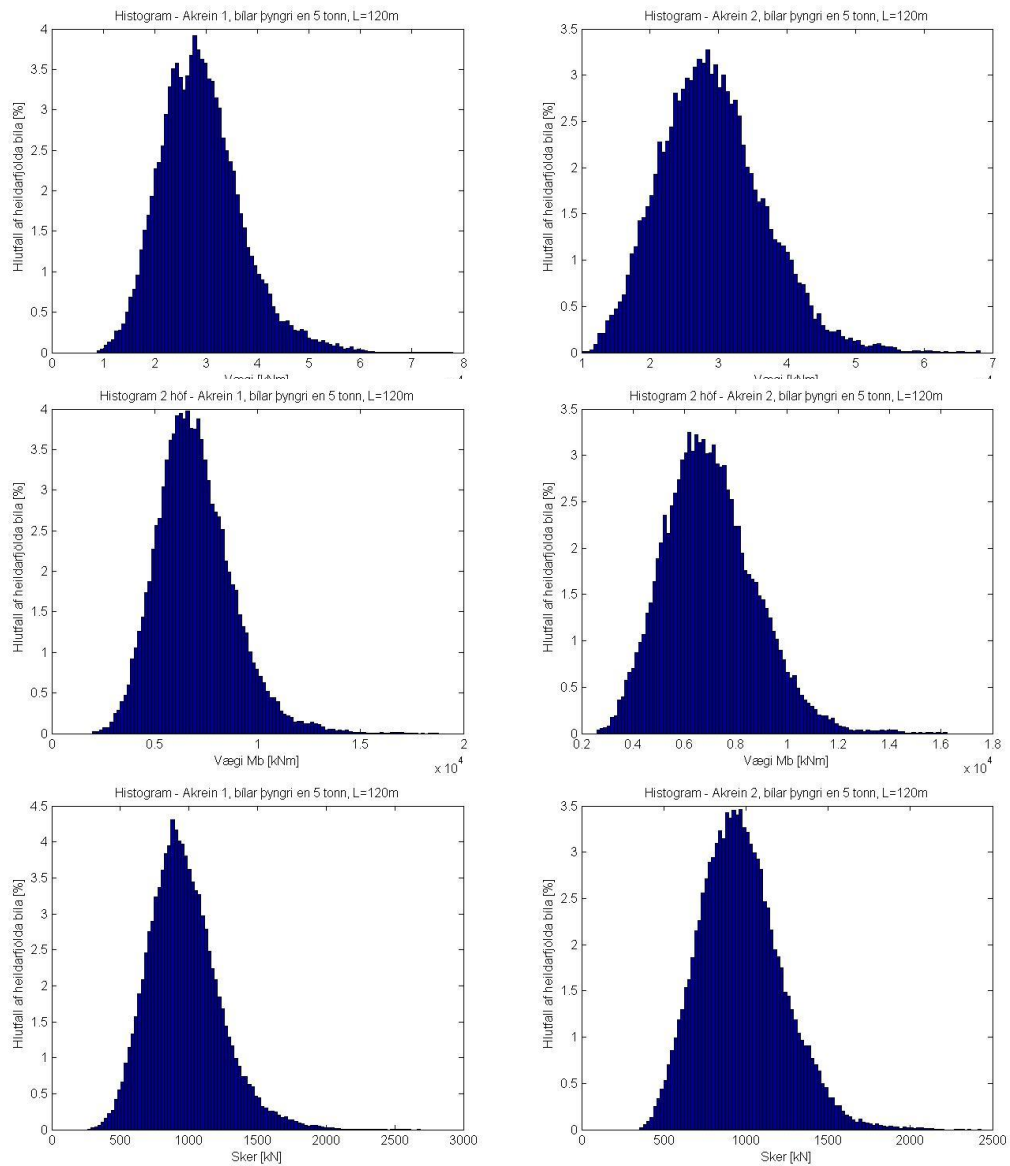
Mynd B.4 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=70 m.



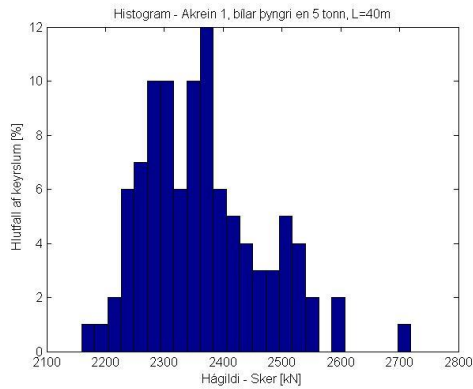
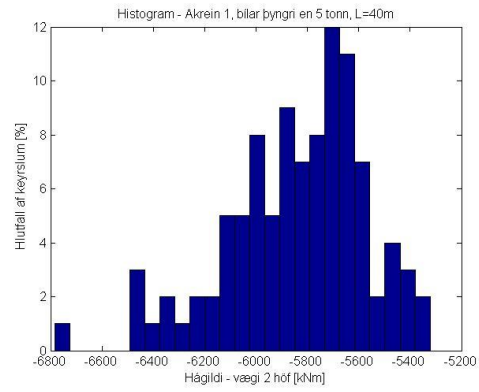
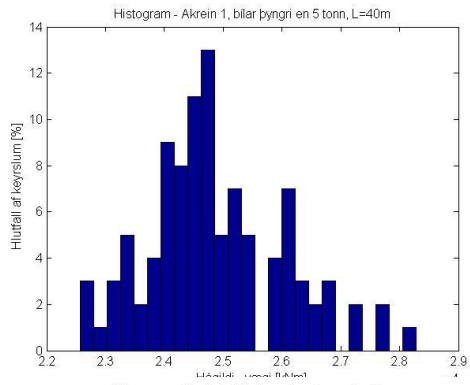
Mynd B.5 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=80$ m.



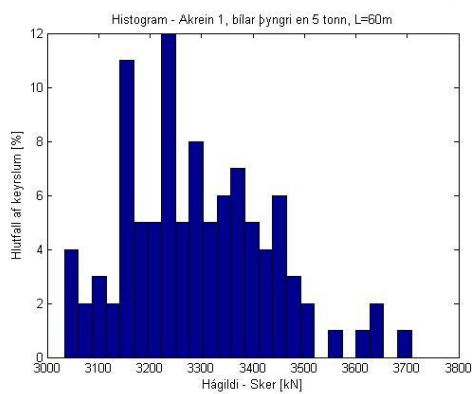
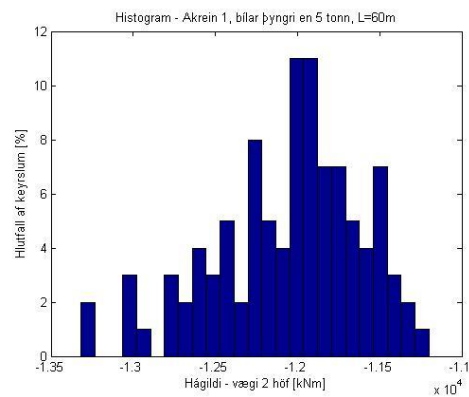
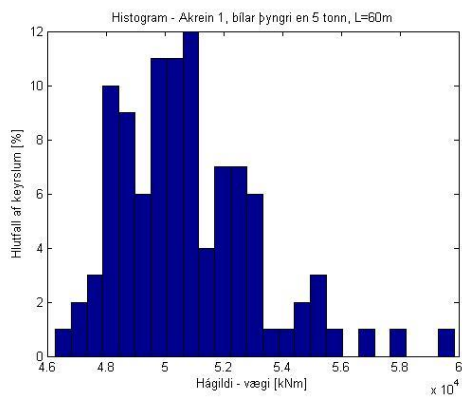
Mynd B.6 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=100 m.



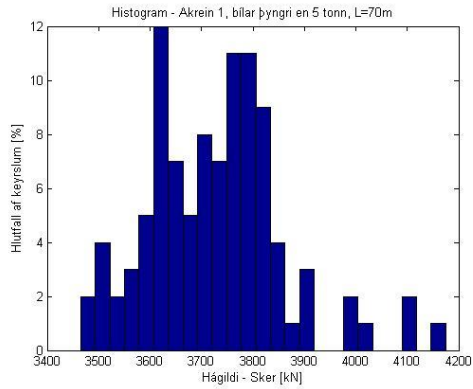
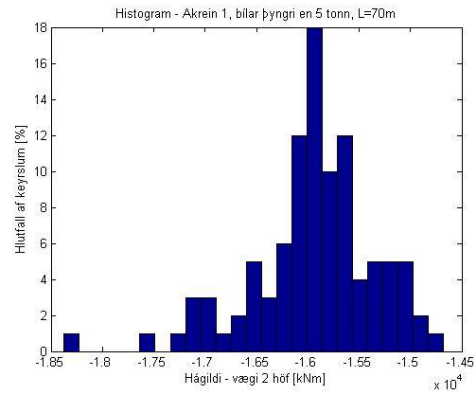
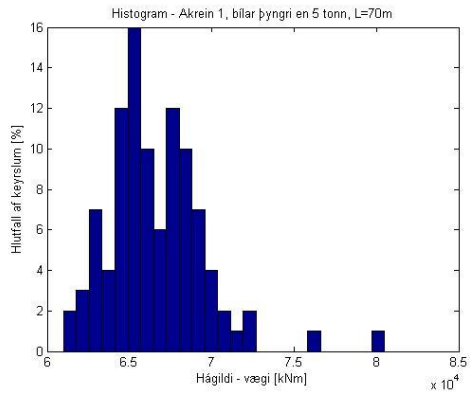
Mynd B.7 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=120 m.



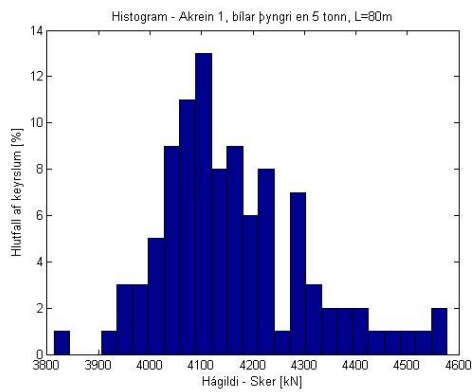
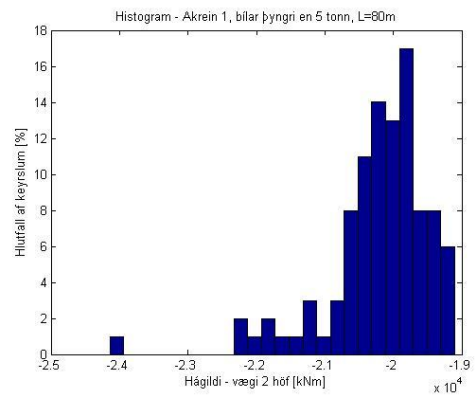
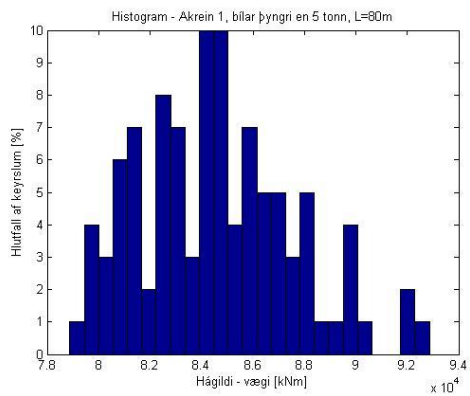
Mynd B.8 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=40 m



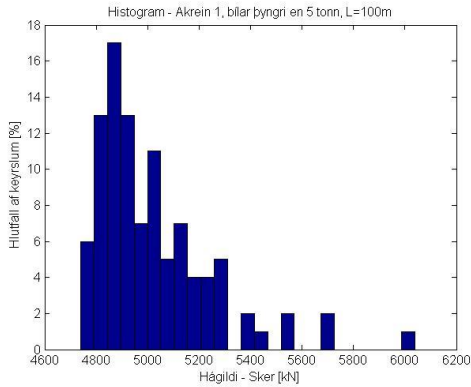
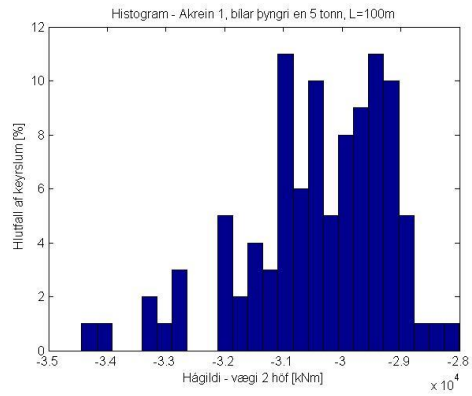
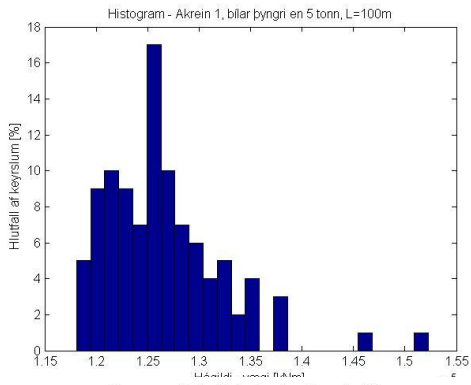
Mynd B.9 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=60 m



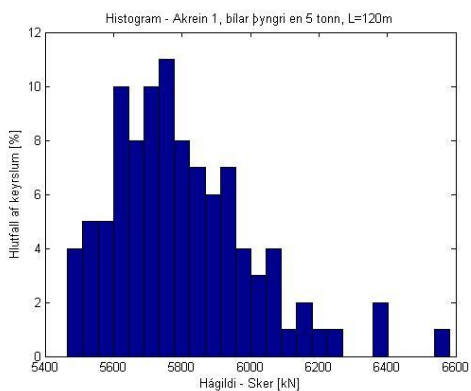
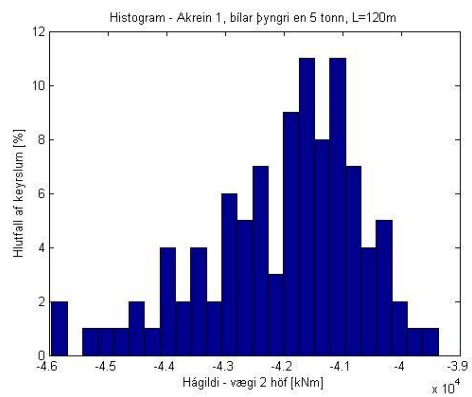
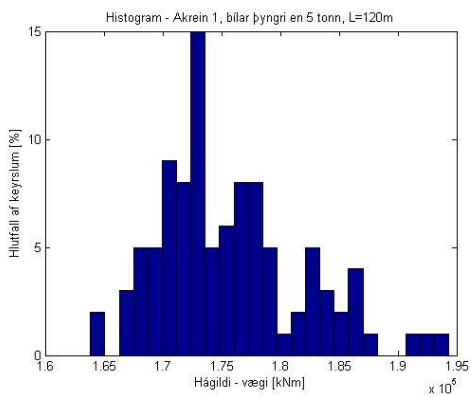
Mynd B.10 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=70$ m



Mynd B.11 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=80$ m

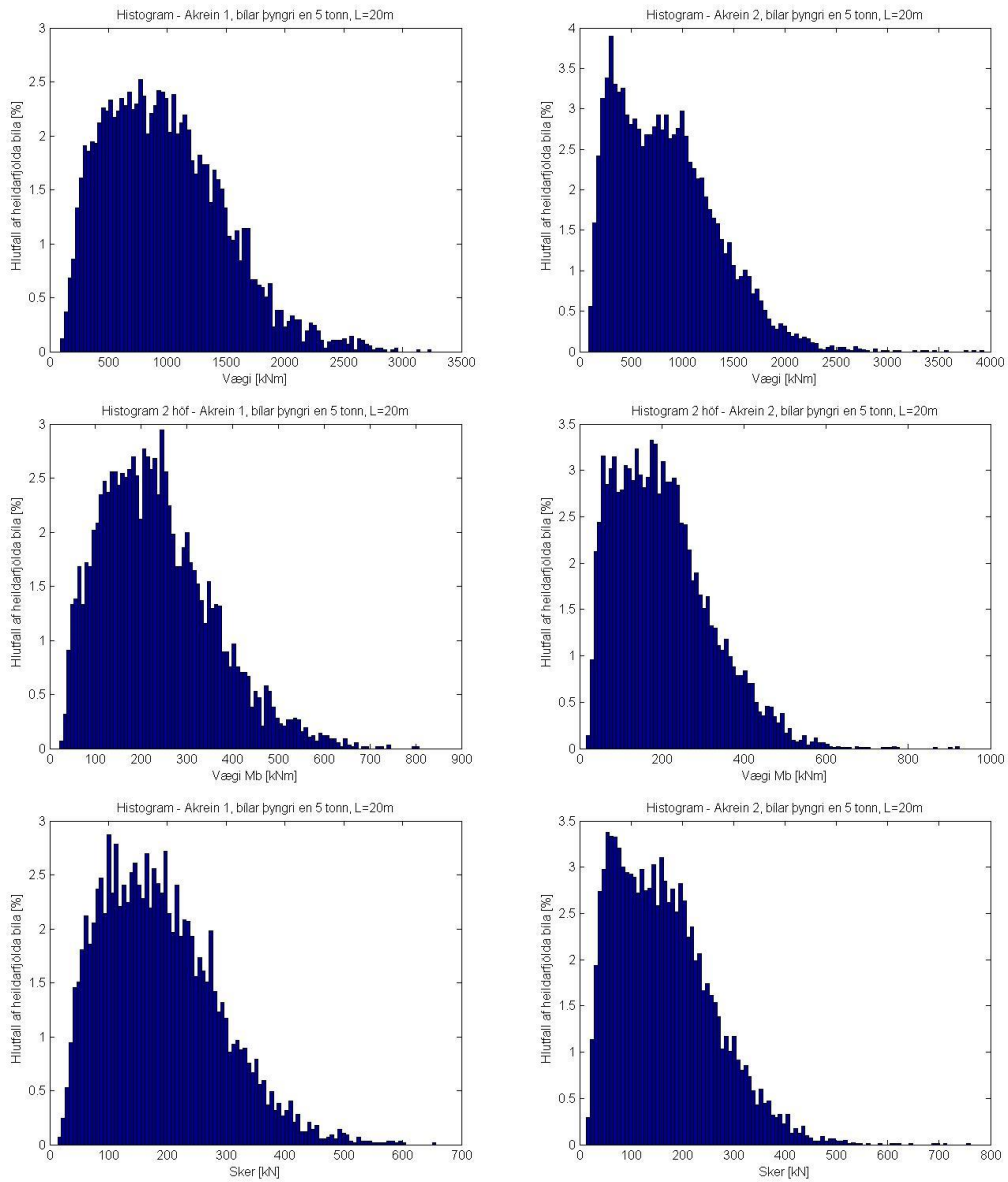


Mynd B.12 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=100 m

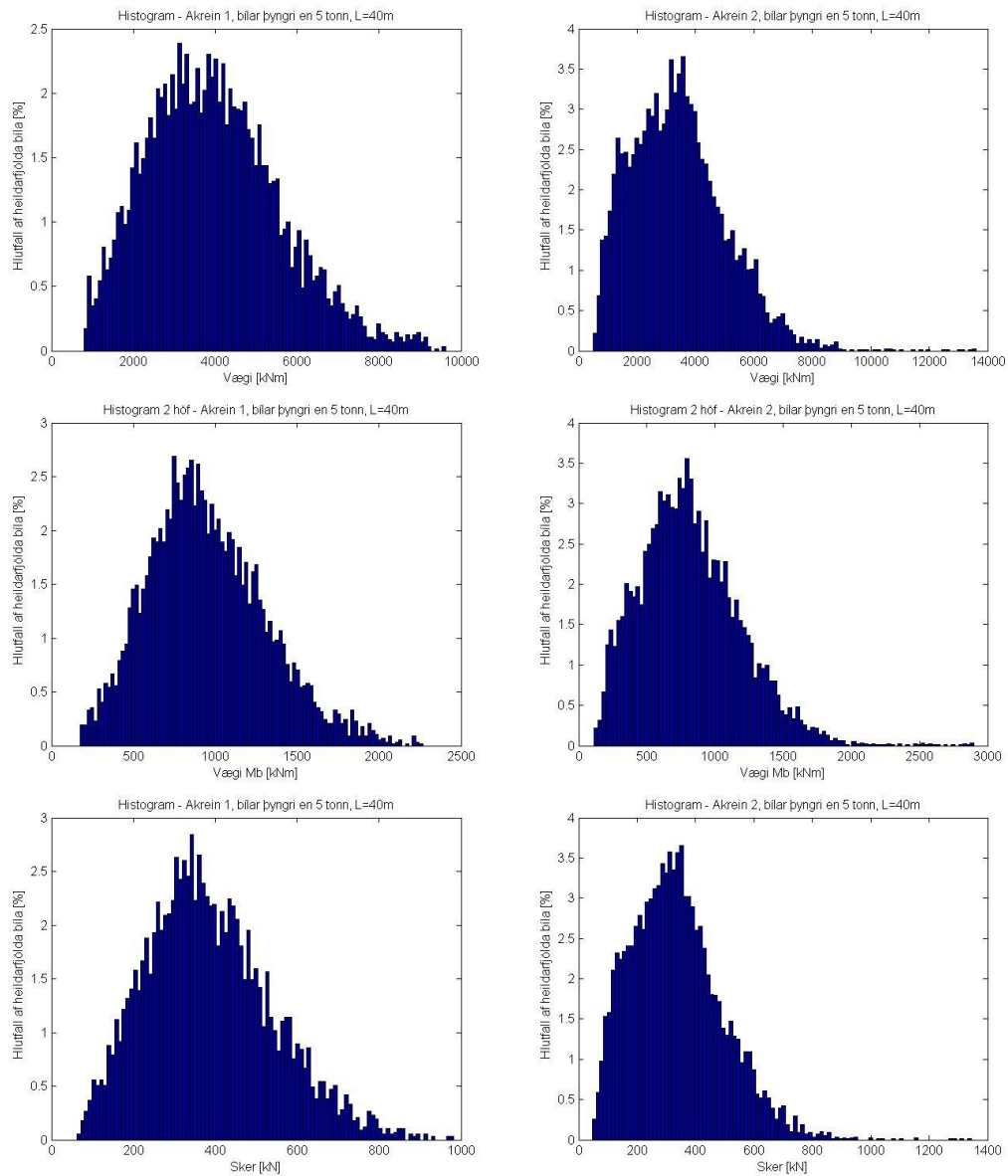


Mynd B.13 – Geitháls, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=120 m

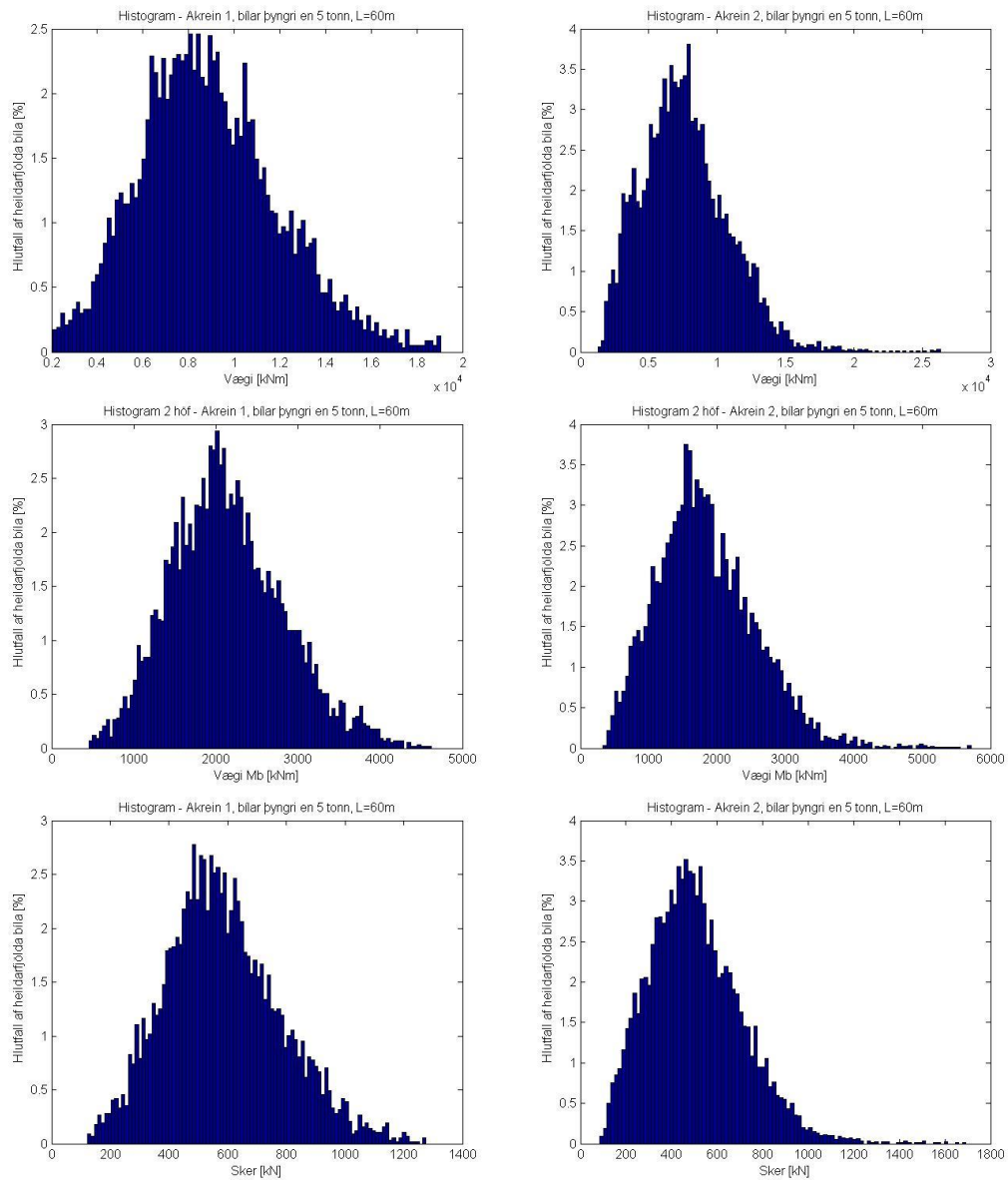
C. Langidalur, niðurstöður



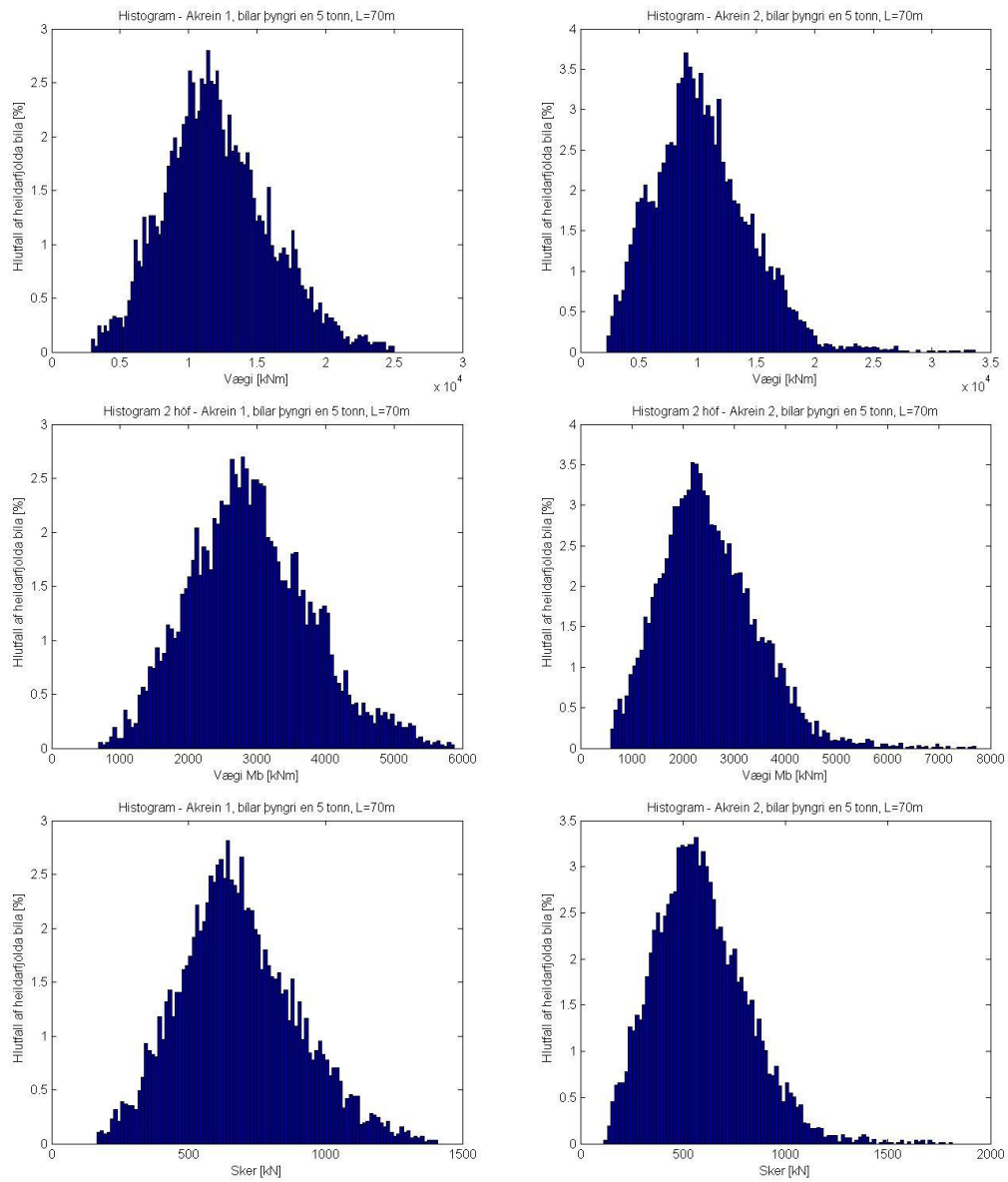
Mynd C.1 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=20 m



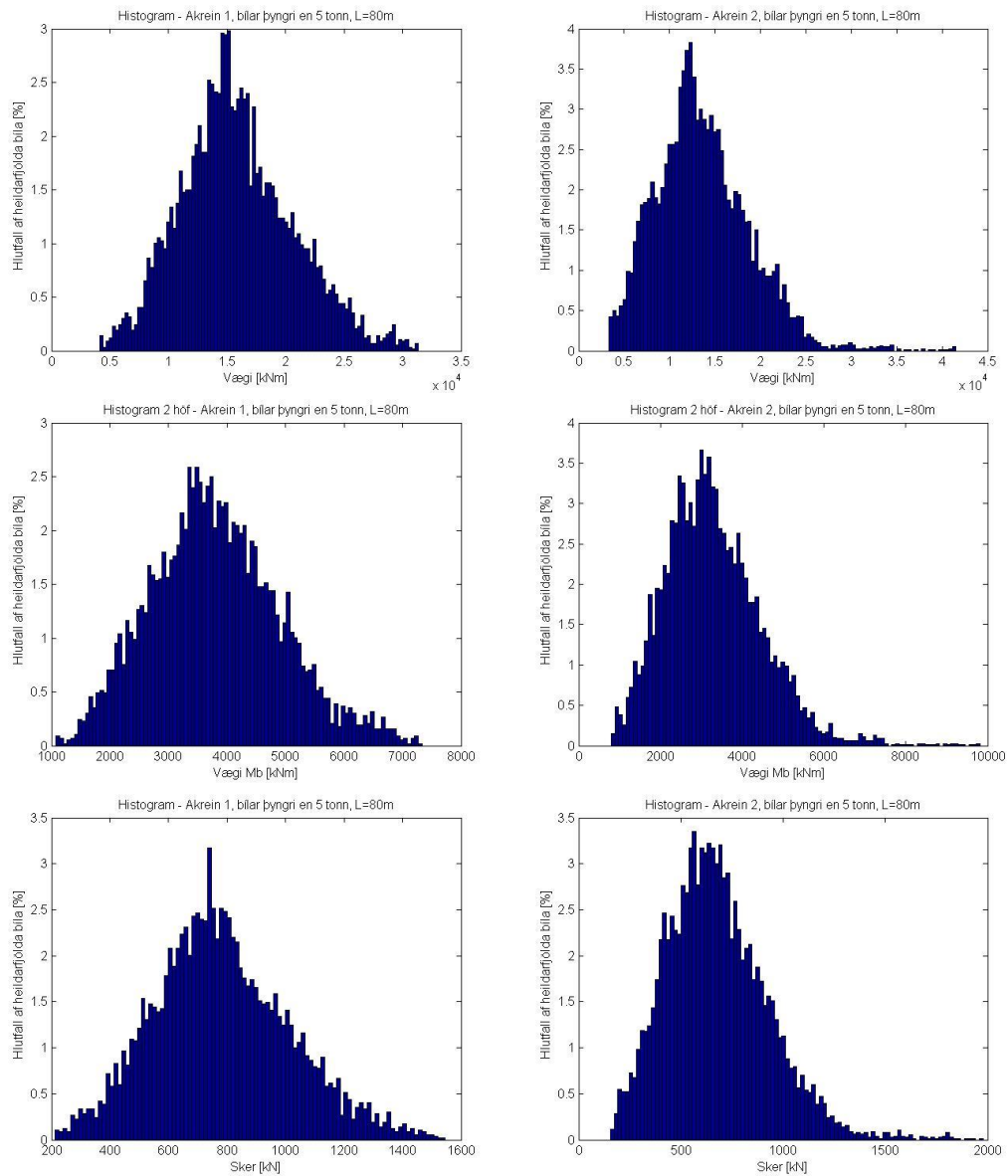
Mynd C.2 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=40\text{ m}$



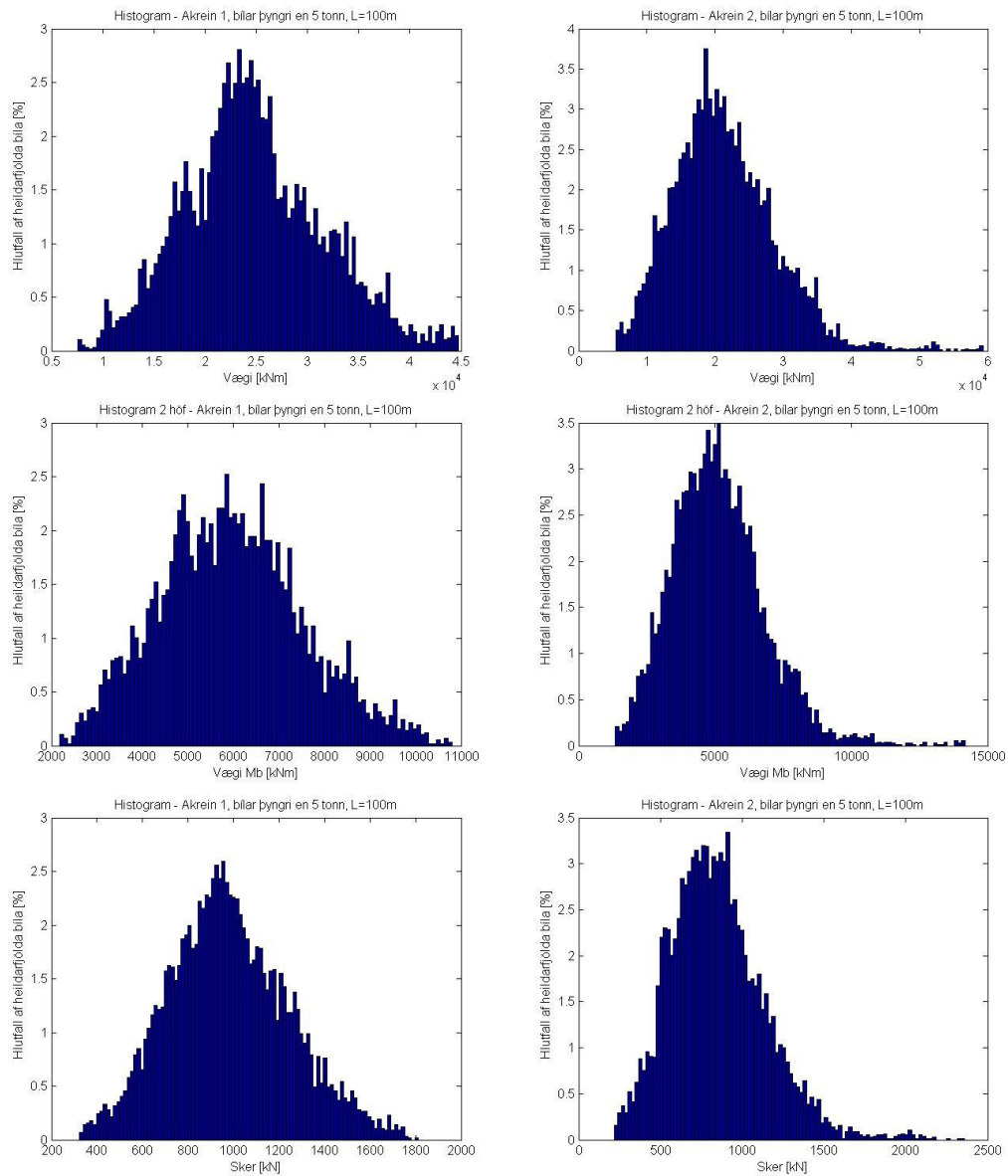
Mynd C.3 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=60 m



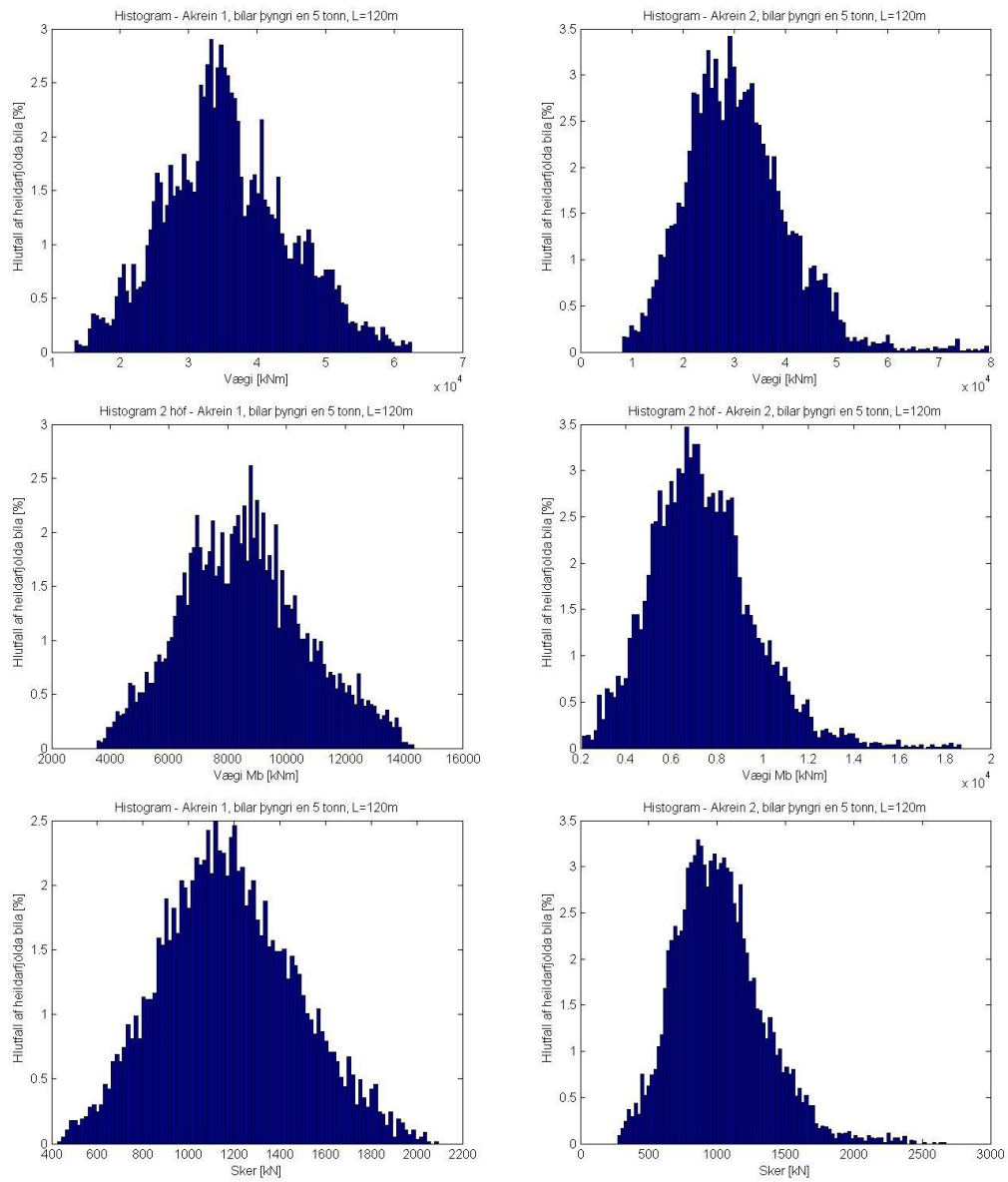
Mynd C.4 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=70 m



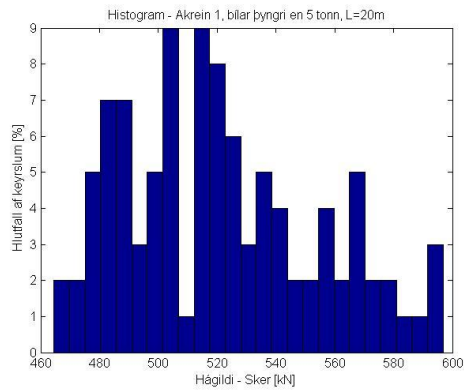
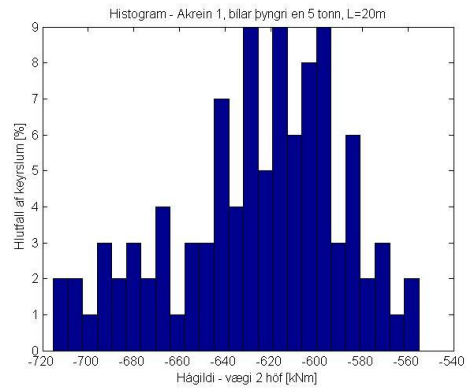
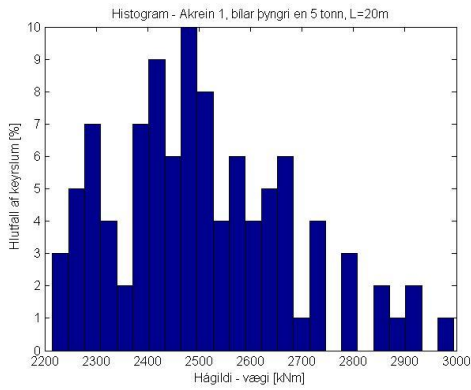
Mynd C.5 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=80\text{ m}$



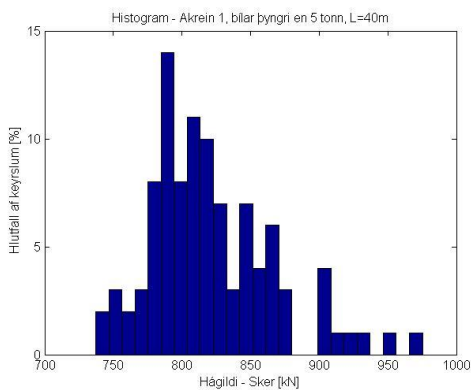
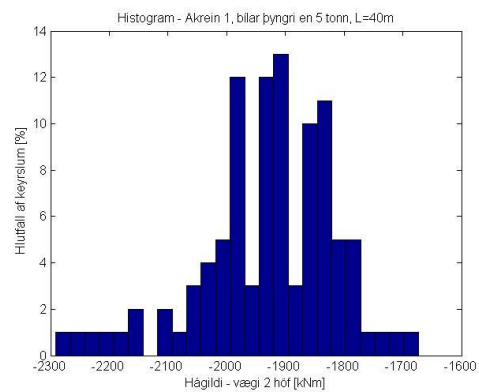
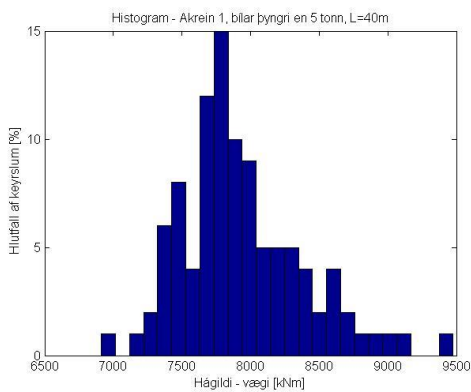
Mynd C.6 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=100$ m



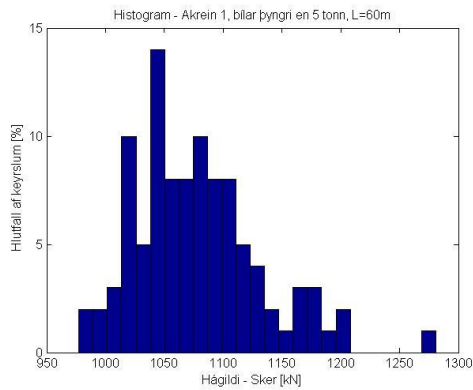
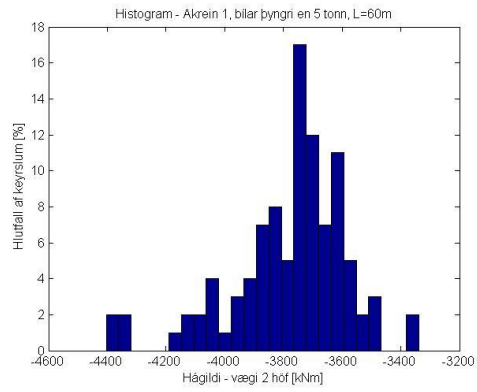
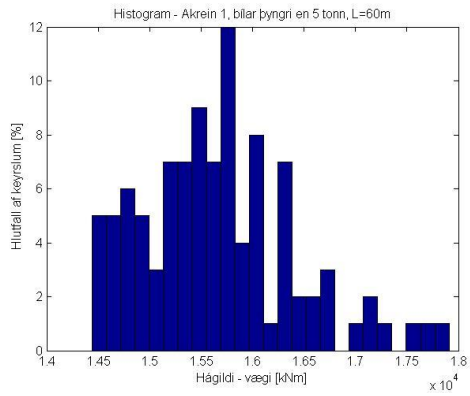
Mynd C.7 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=120 m



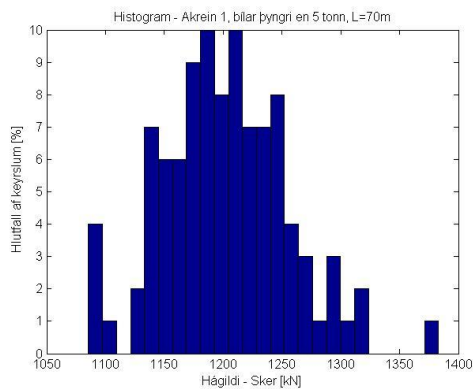
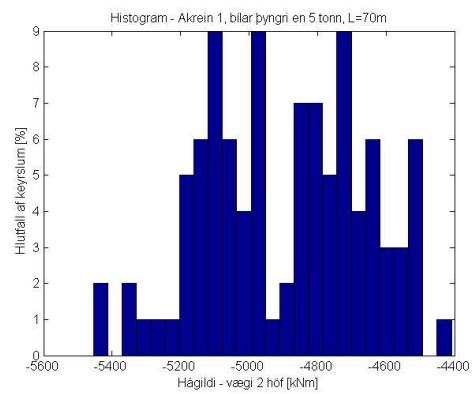
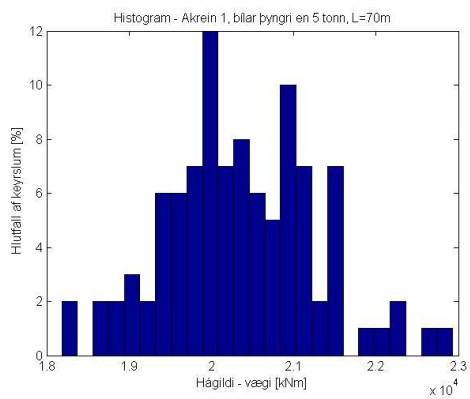
Mynd C.8 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=20\text{ m}$



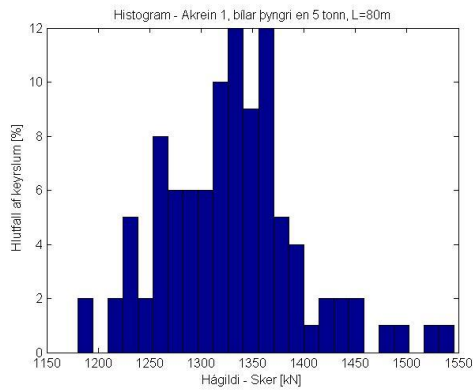
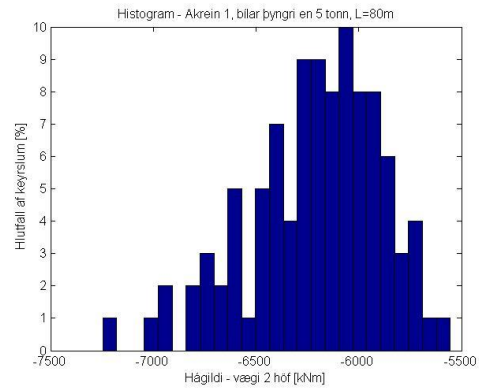
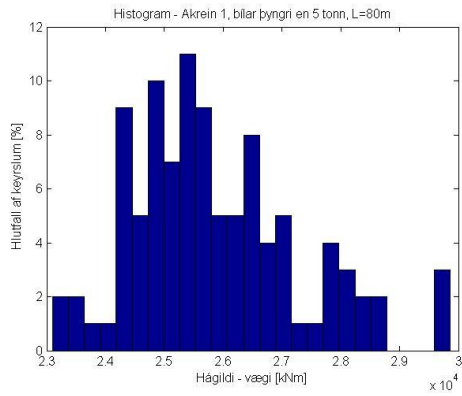
Mynd C.9 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=40\text{ m}$



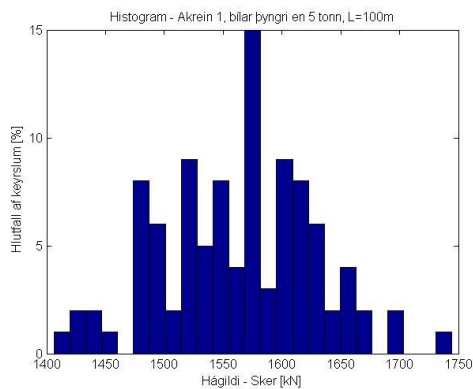
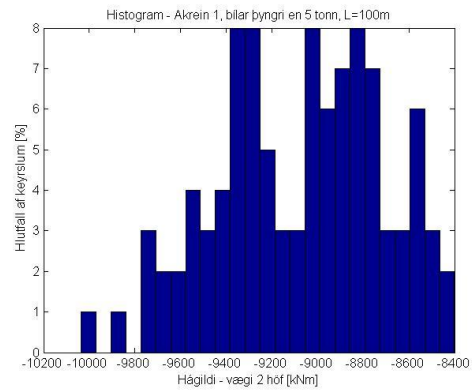
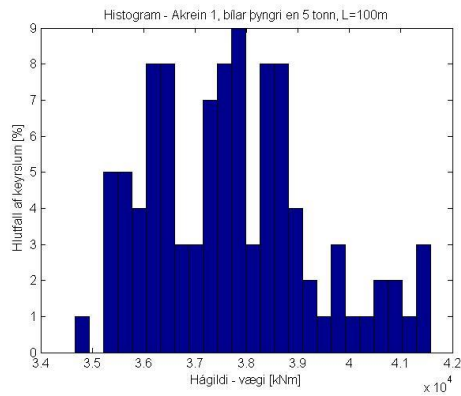
Mynd C.10 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=60 m



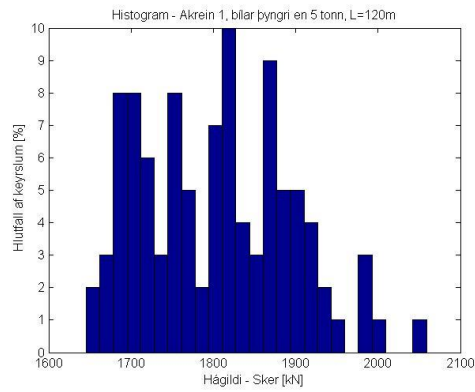
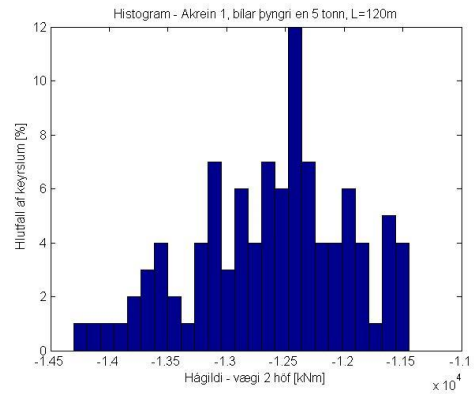
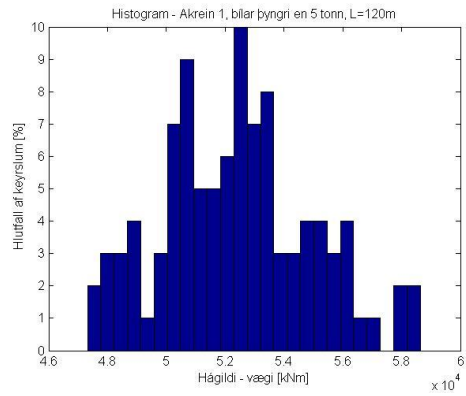
Mynd C.11 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=70 m



Mynd C.12 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=80\text{ m}$

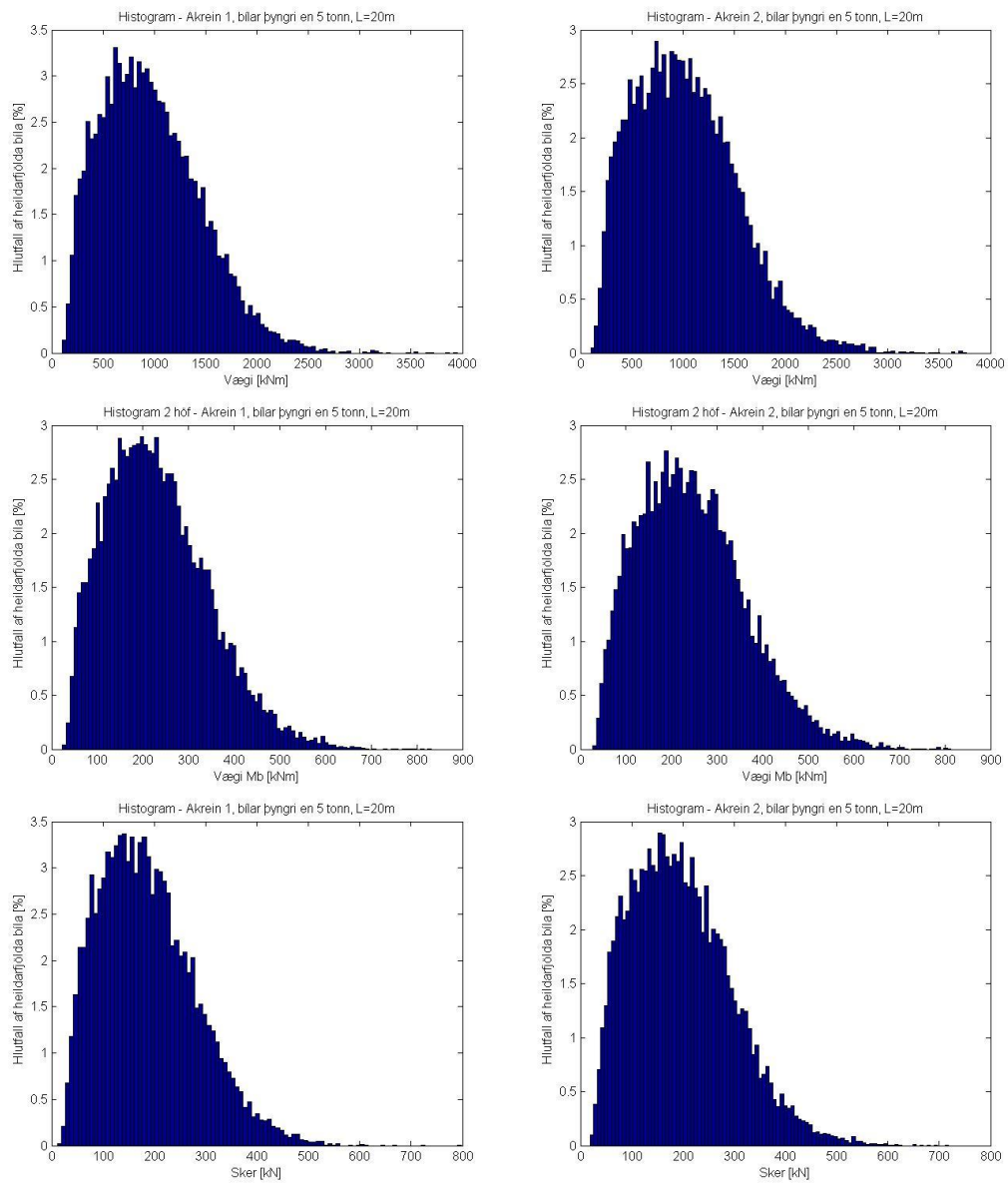


Mynd C.13 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=100\text{ m}$

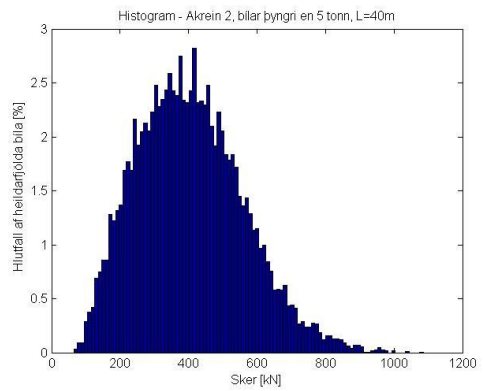
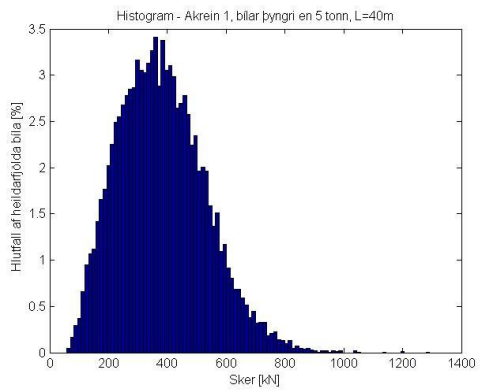
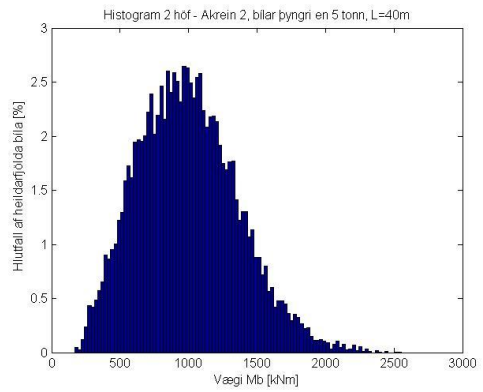
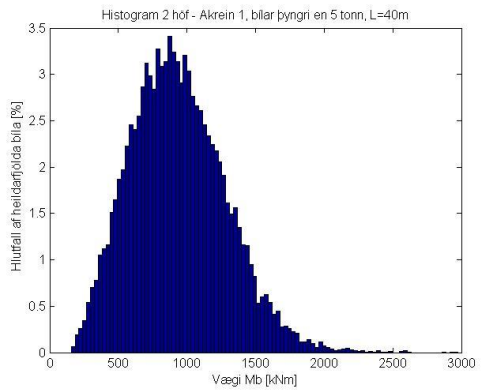
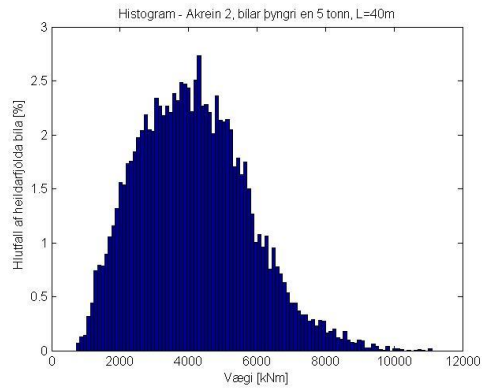
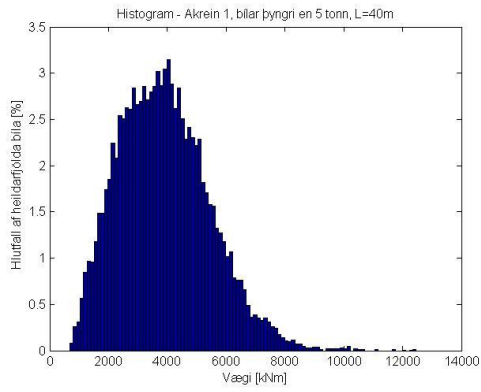


Mynd C.14 – Langidalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=120 m

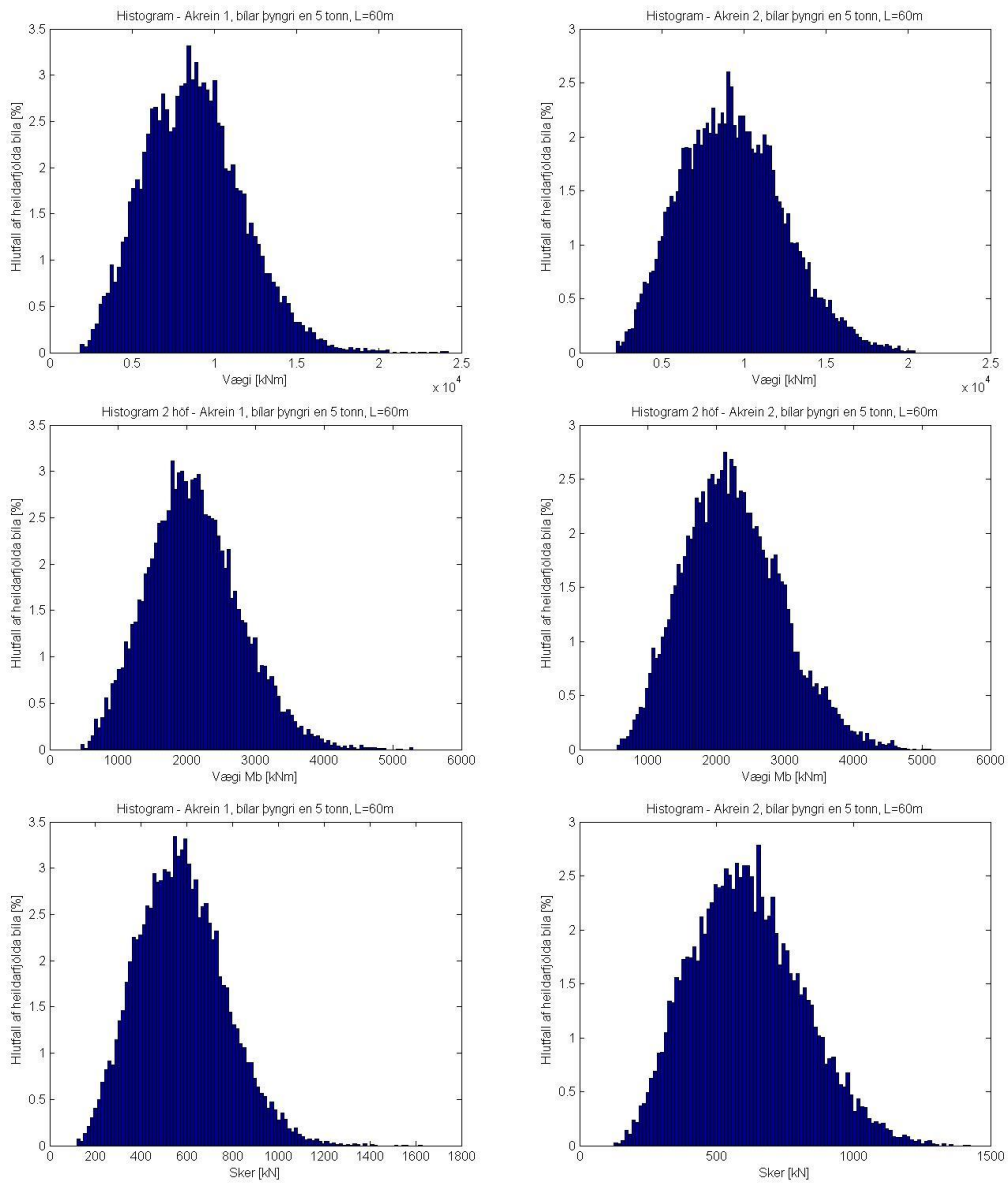
D. Þingborg – Niðurstöður



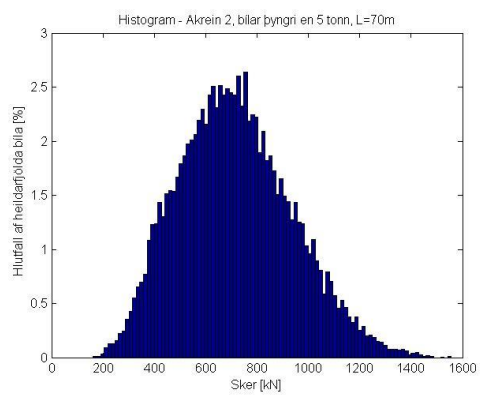
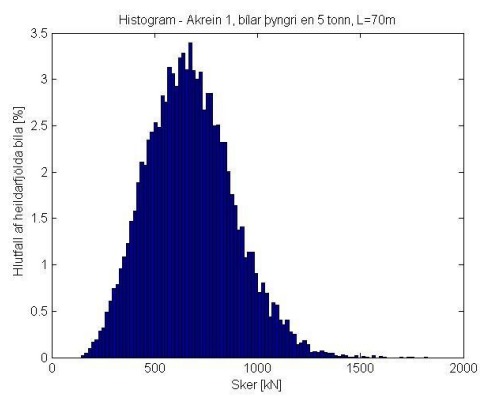
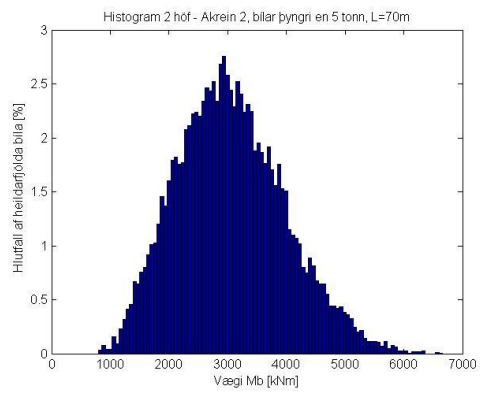
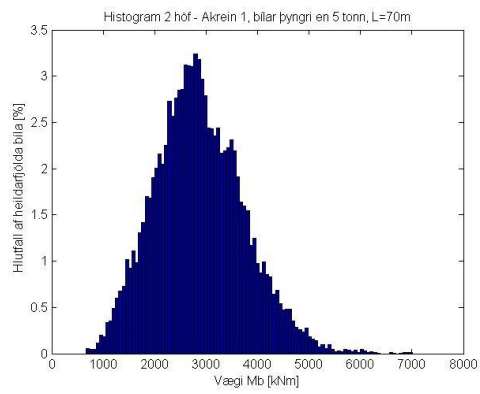
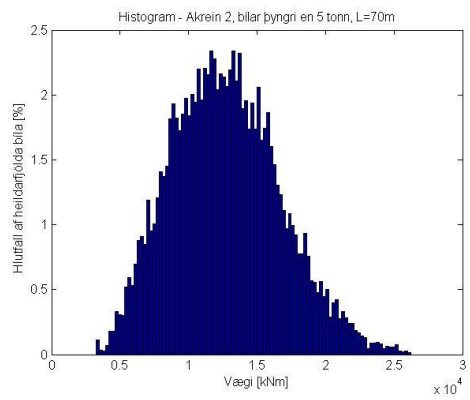
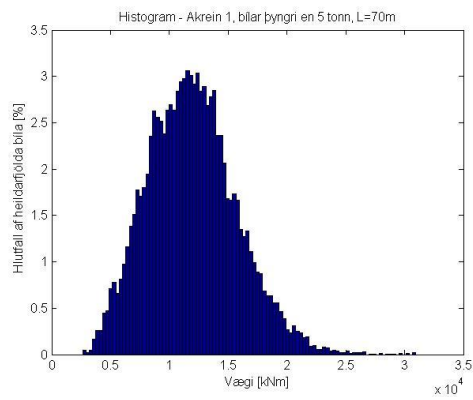
Mynd D.1 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=20 m



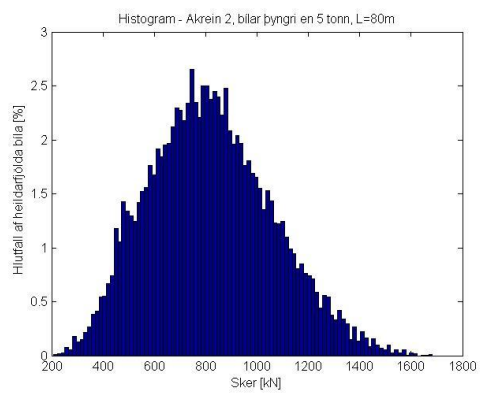
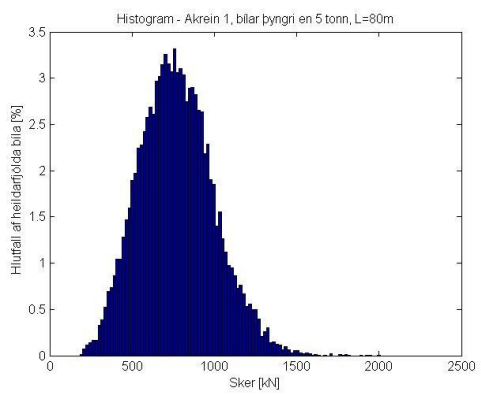
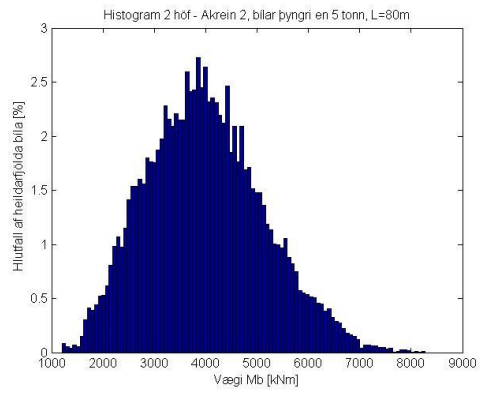
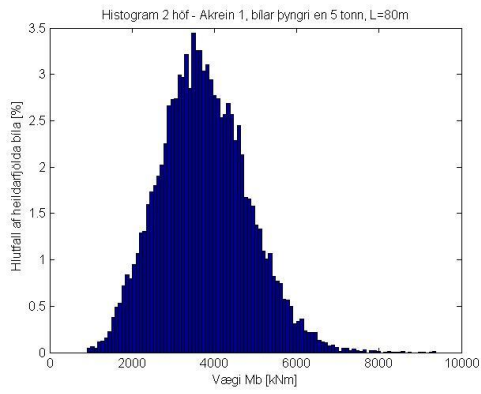
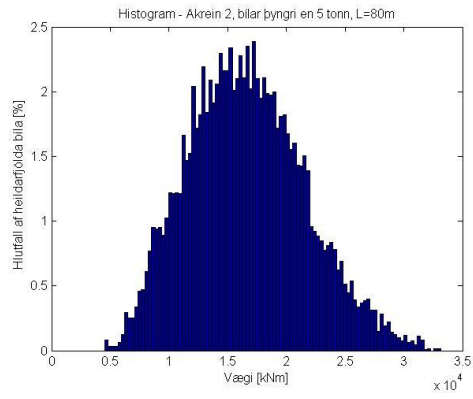
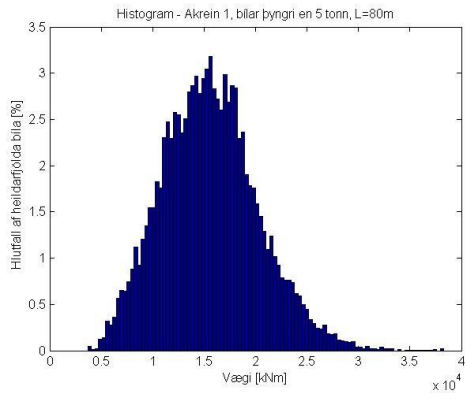
Mynd D.2 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=40\text{ m}$



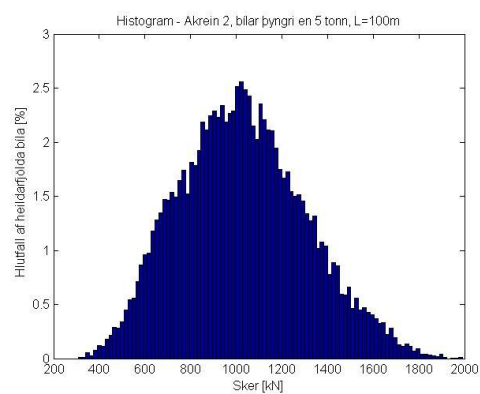
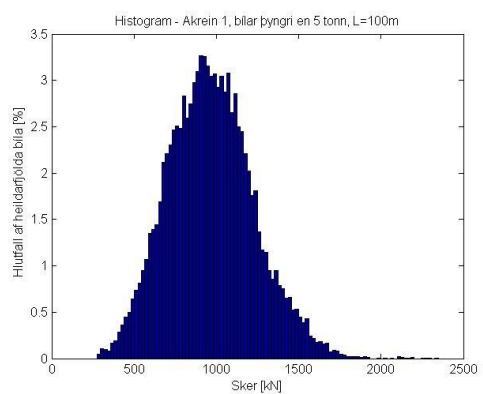
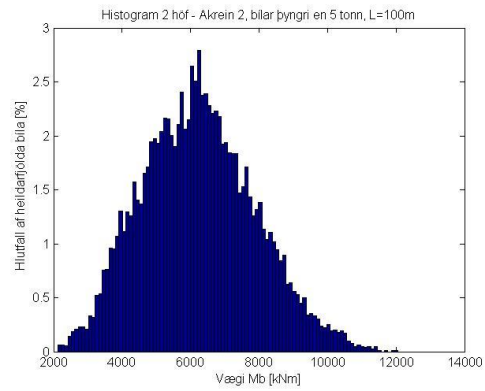
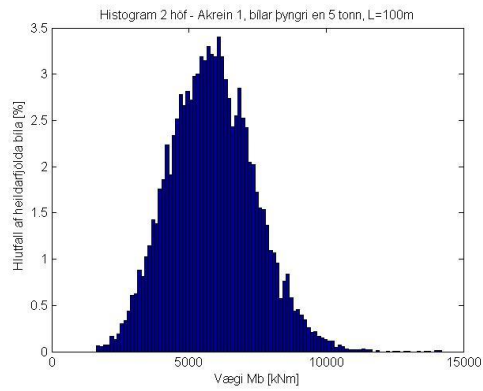
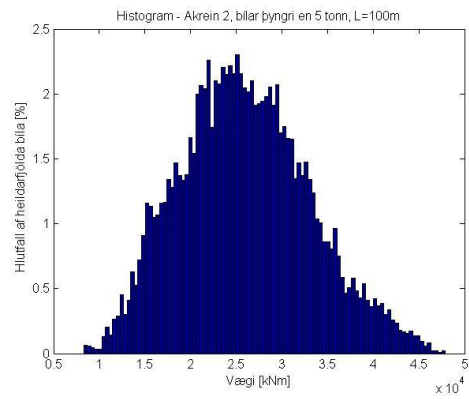
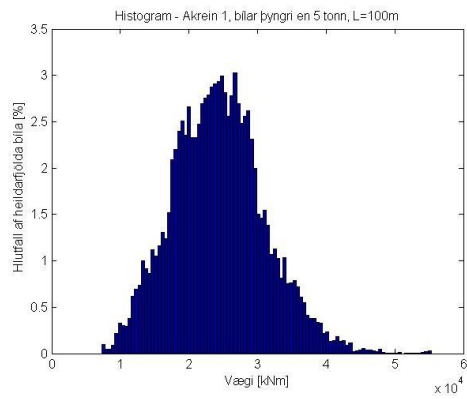
Mynd D.3 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir L=60 m



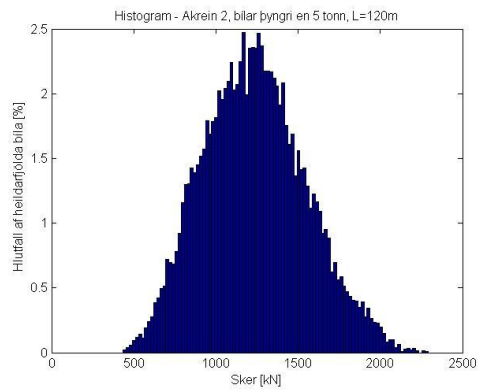
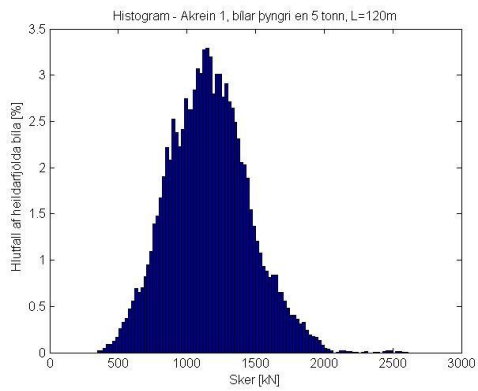
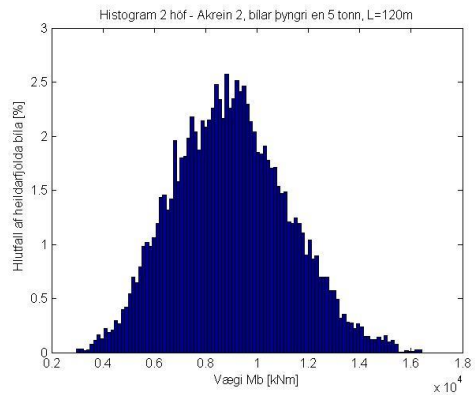
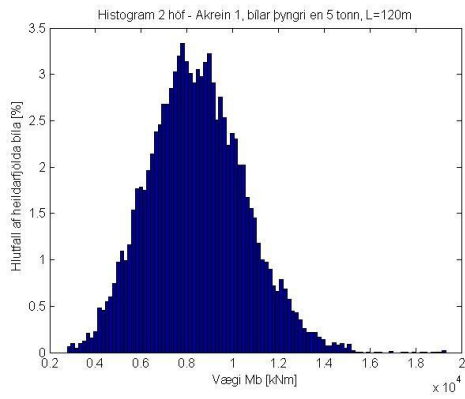
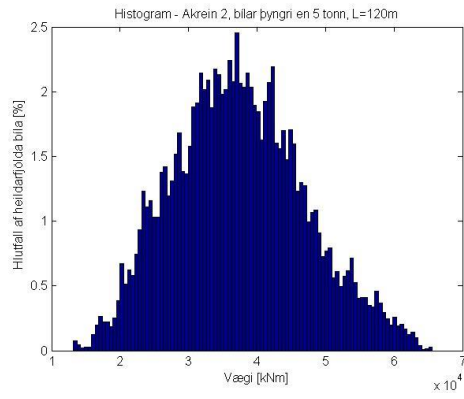
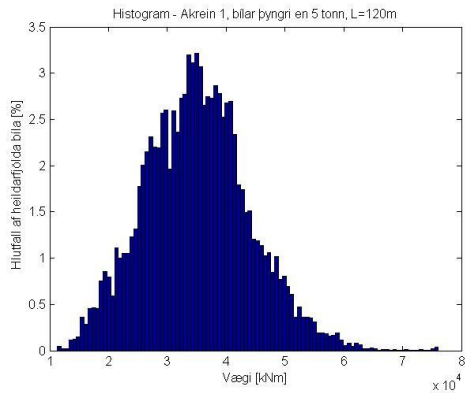
Mynd D.4 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=70\text{ m}$



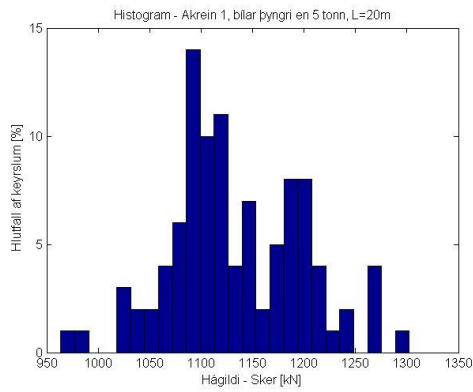
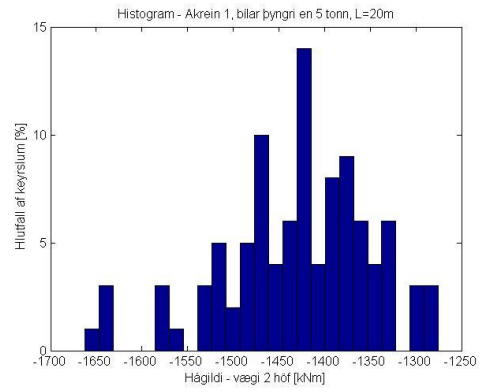
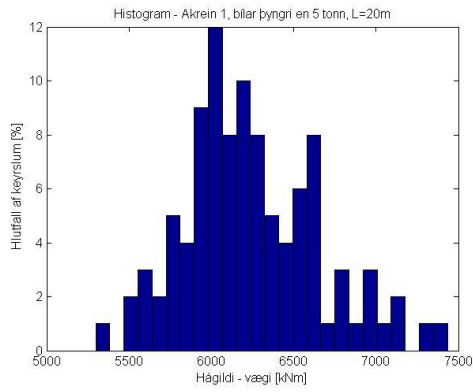
Mynd D.5 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=80\text{ m}$



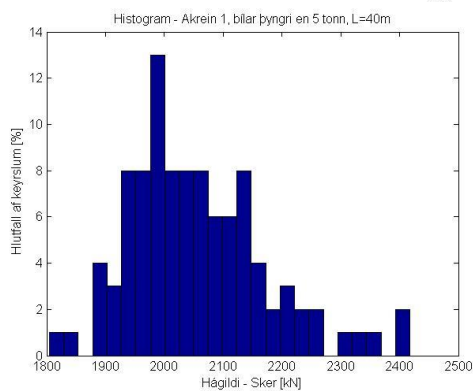
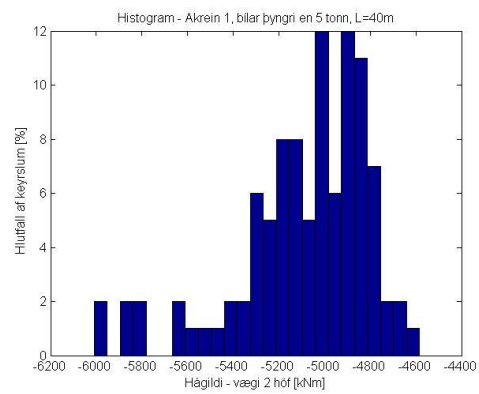
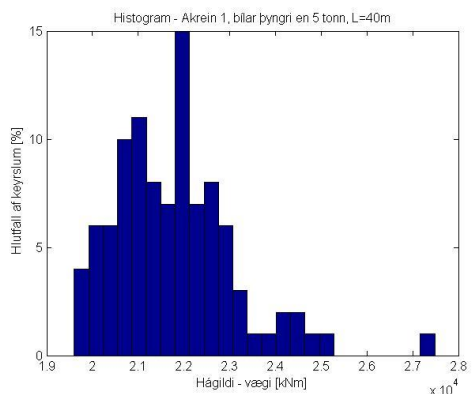
Mynd D.6 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=100\text{ m}$



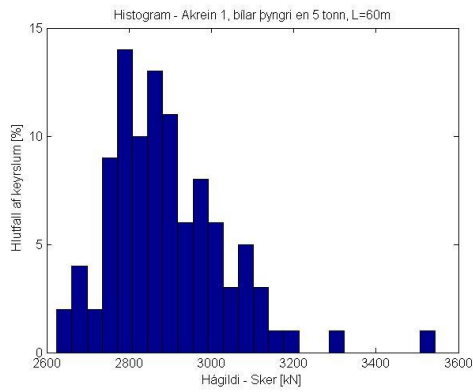
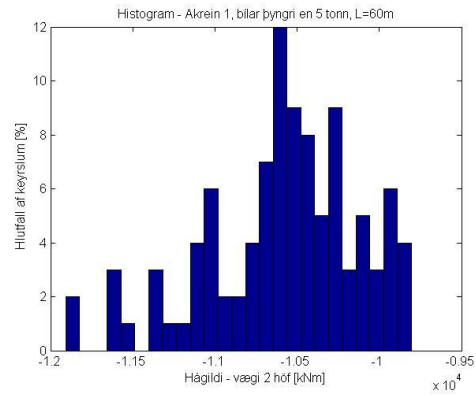
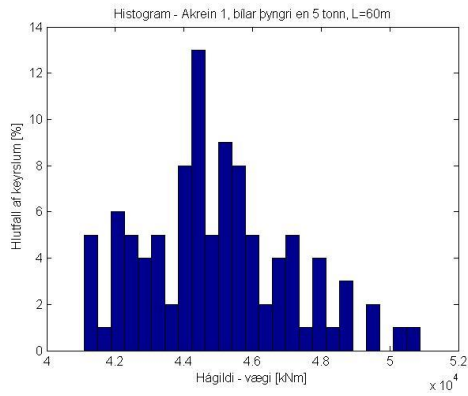
Mynd D.7 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=120\text{ m}$



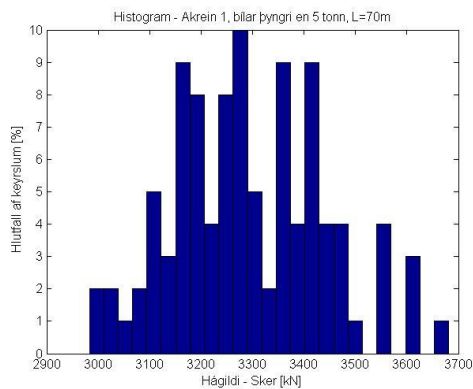
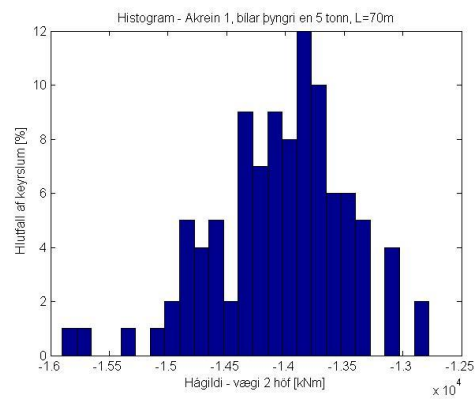
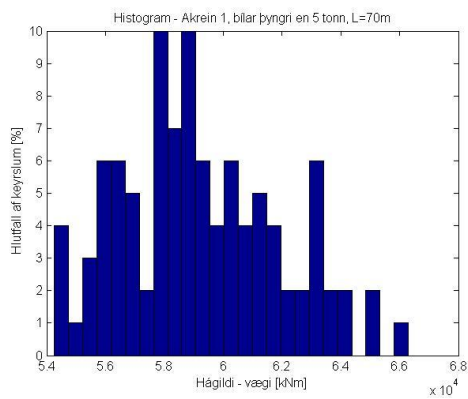
Mynd D.8 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=20 m



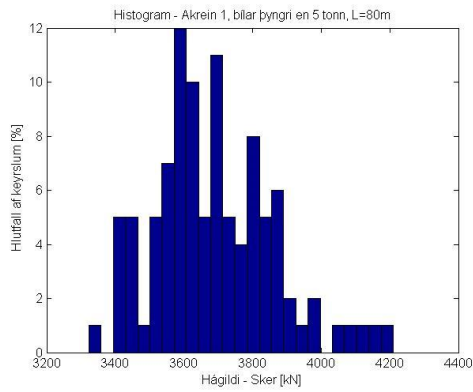
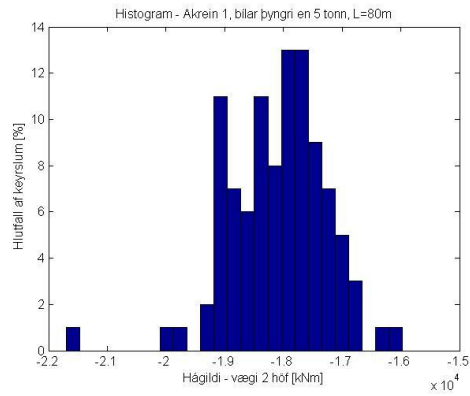
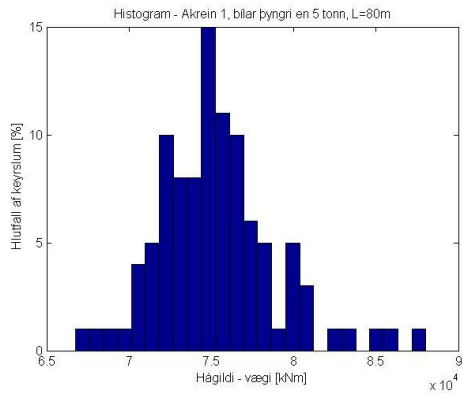
Mynd D.9 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=40 m



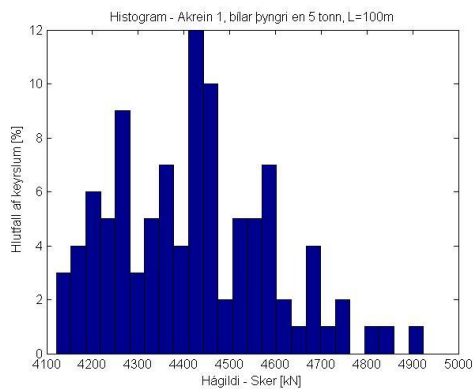
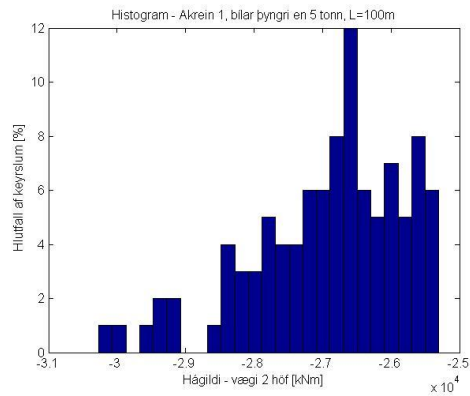
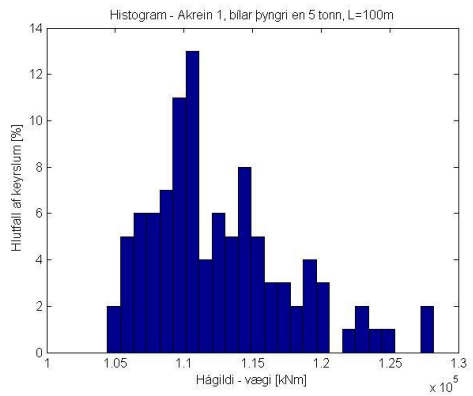
Mynd D.10 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekingum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=60$ m



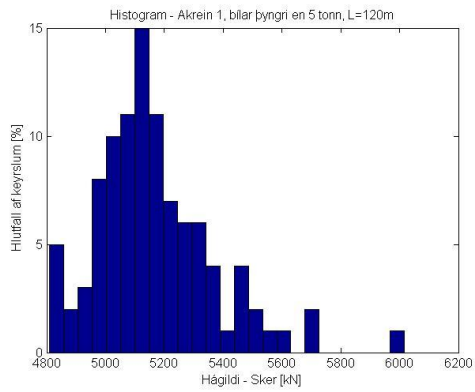
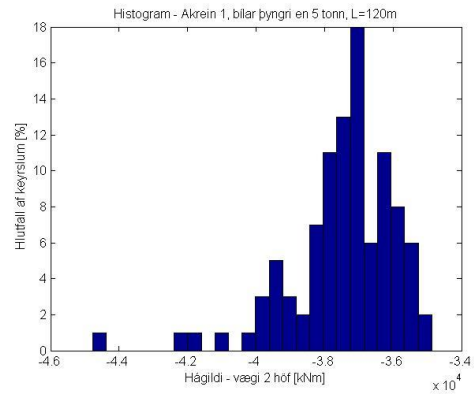
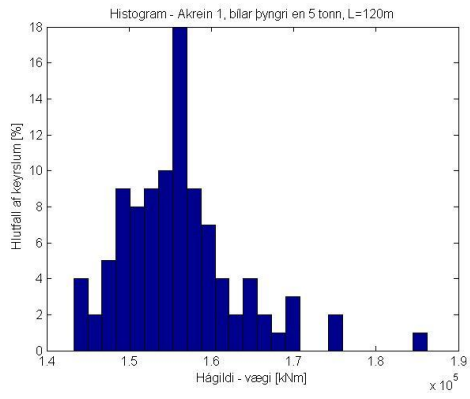
Mynd D.11 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekingum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=70$ m



Mynd D.12 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=80$ m

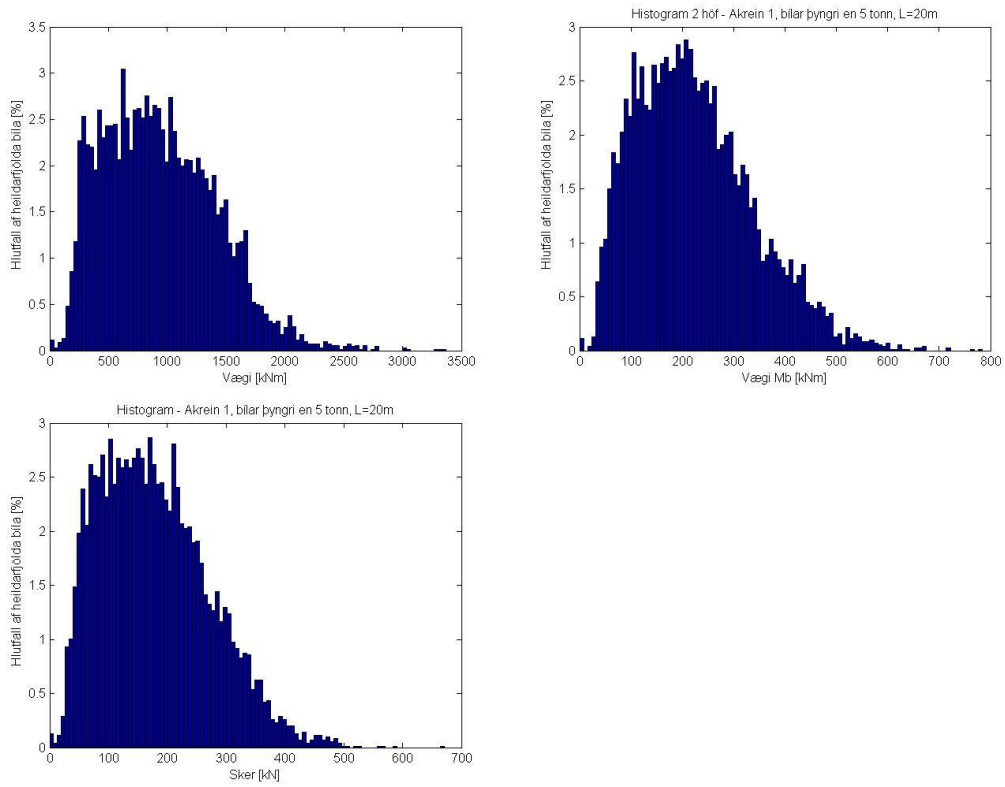


Mynd D.13 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=100$ m

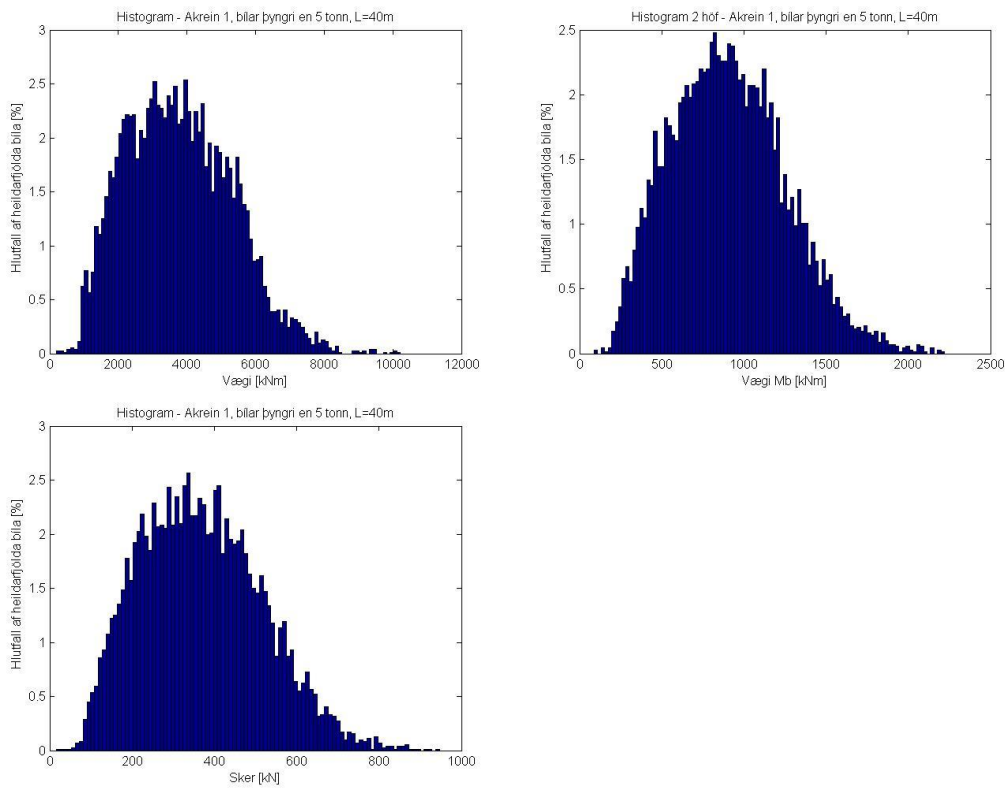


Mynd D.14 – Þingborg, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=120 m

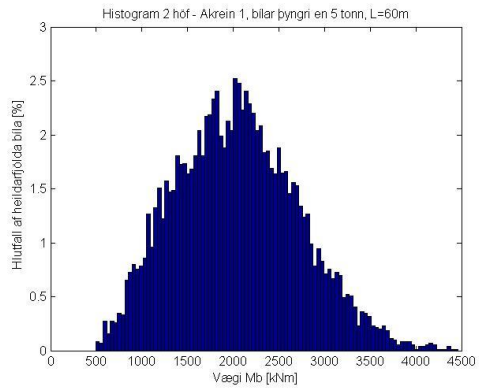
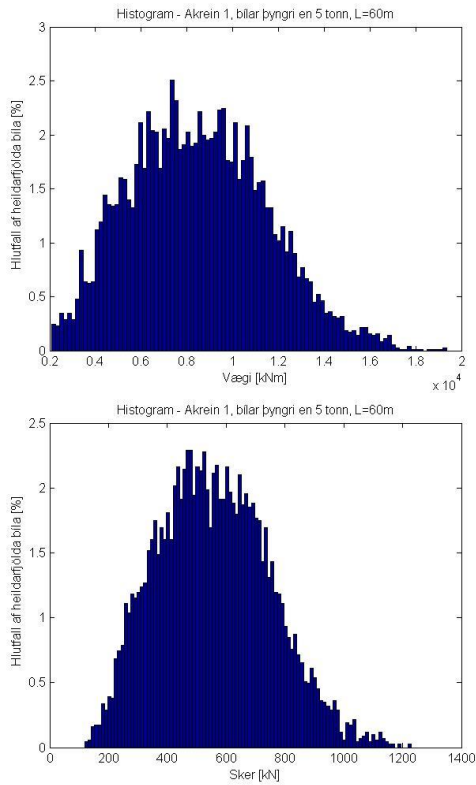
E. Öxnadalur – niðurstöður



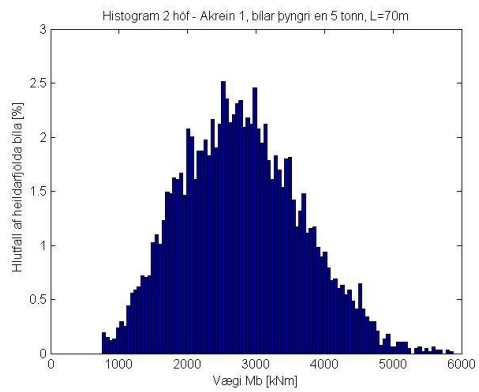
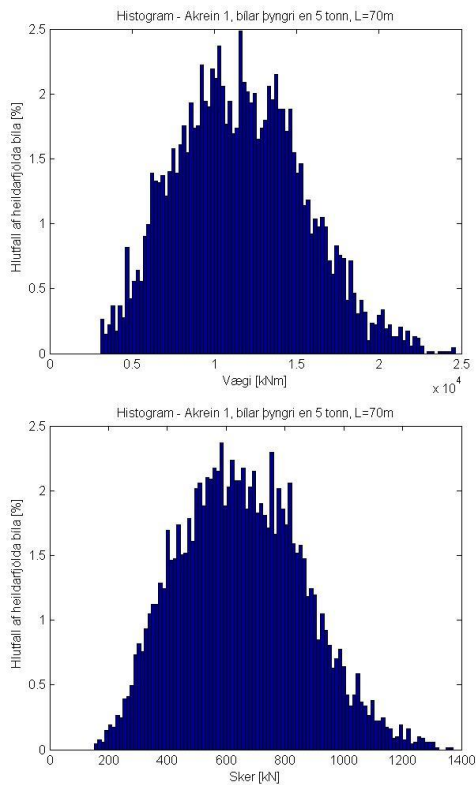
Mynd E.1 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=20$ m



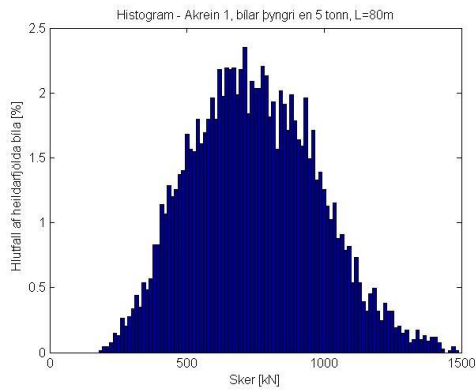
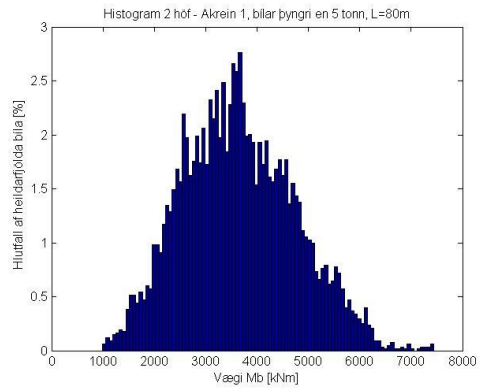
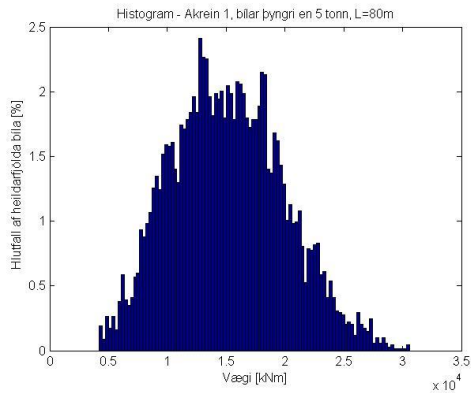
Mynd E.2 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=40$ m



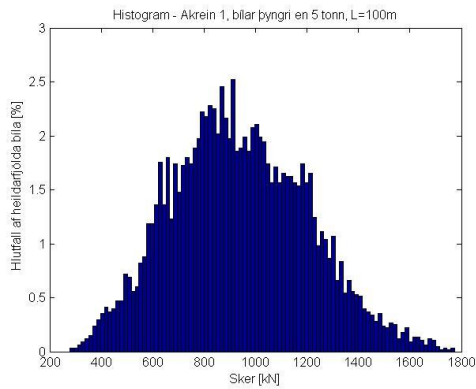
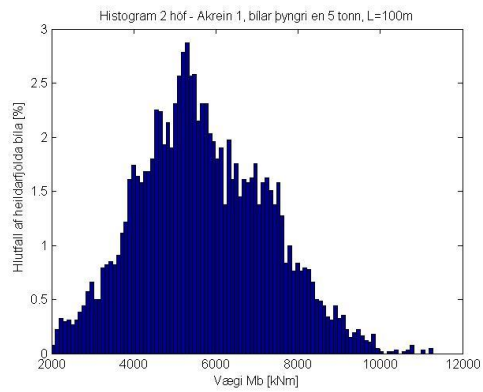
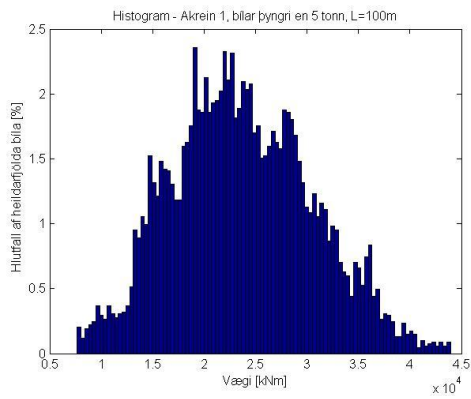
Mynd E.3 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=60$ m



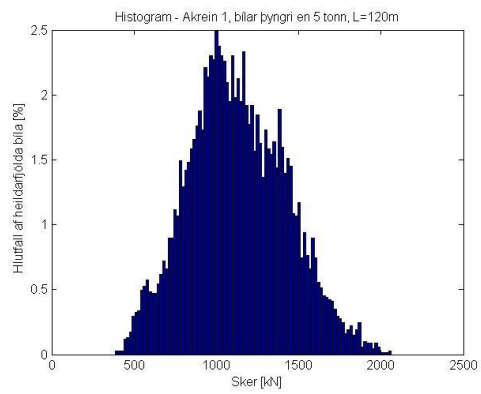
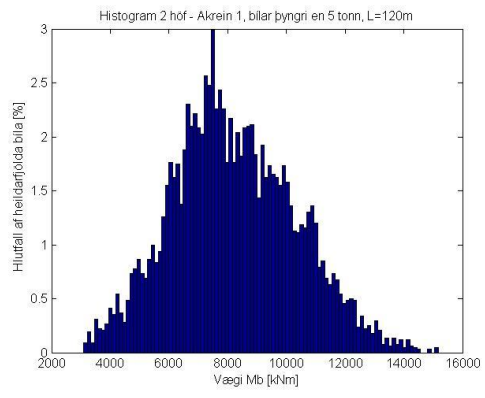
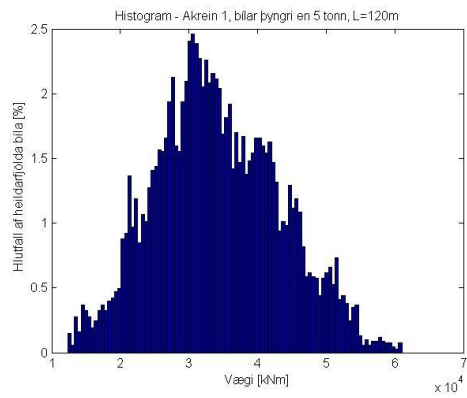
Mynd E.4 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=70$ m



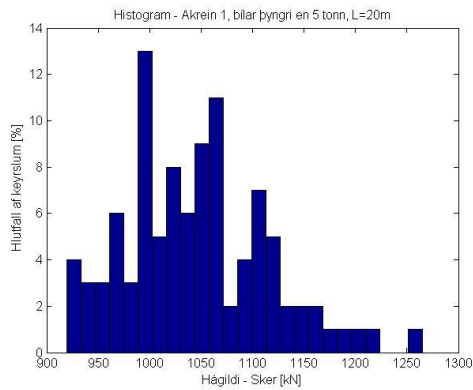
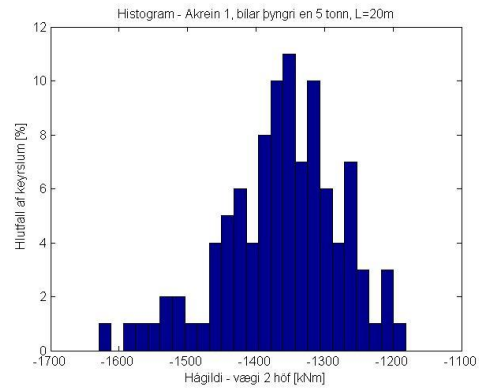
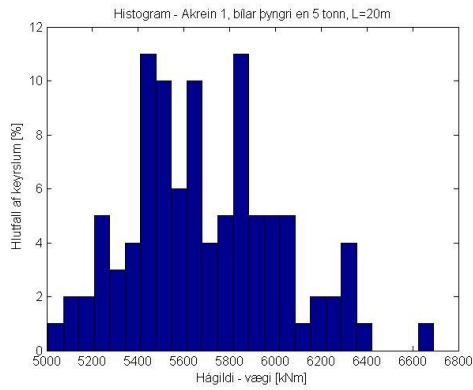
Mynd E.5 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=80$ m



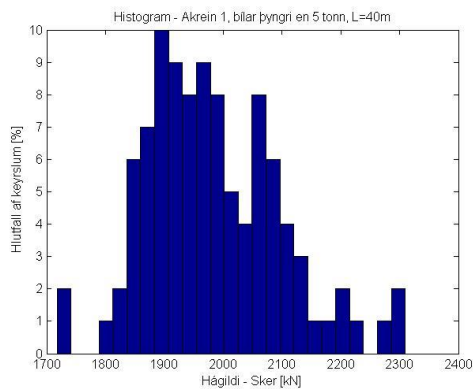
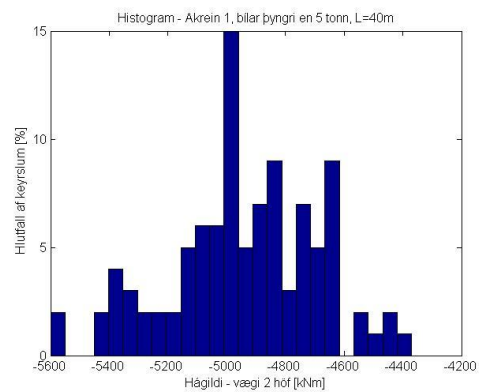
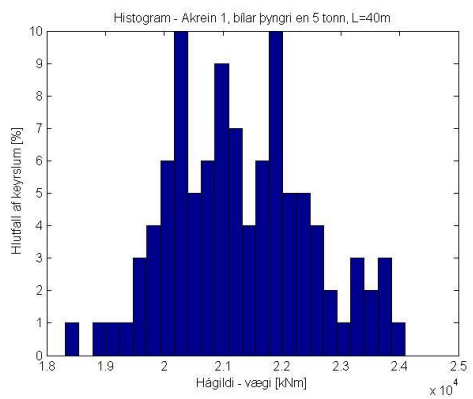
Mynd E.6 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=100$ m



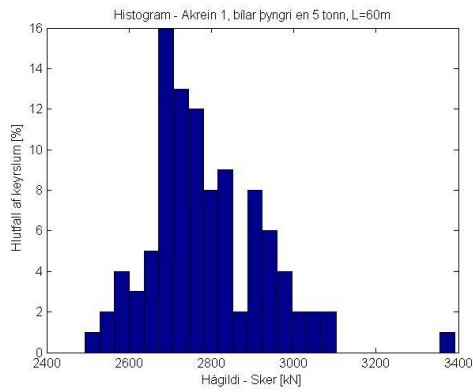
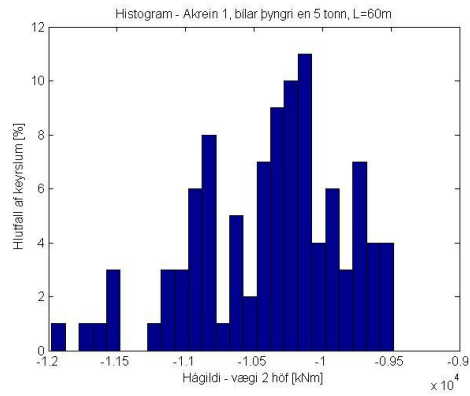
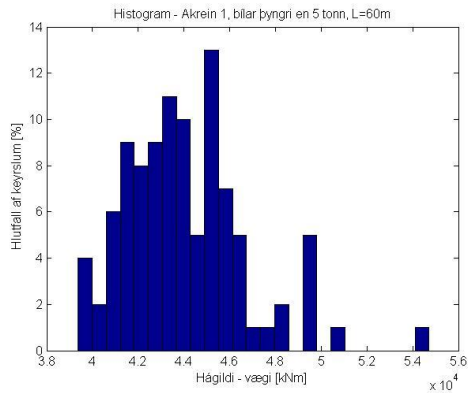
Mynd E.7 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa fyrir einn mánuð af umferð fyrir $L=120$ m



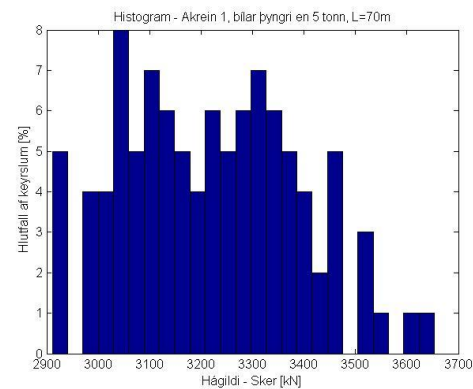
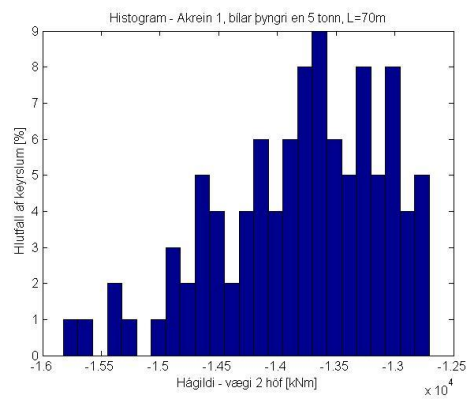
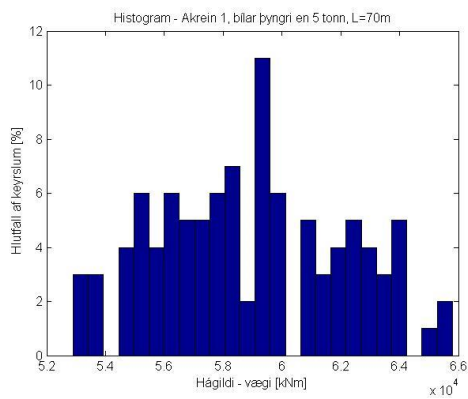
Mynd E.8 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekingum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=20m



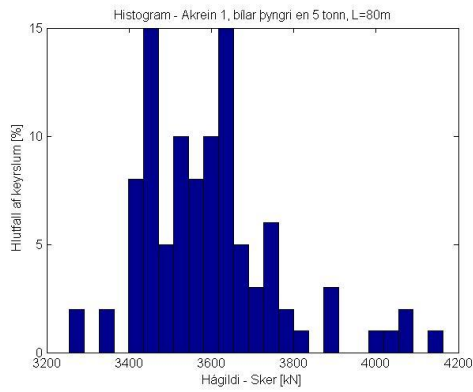
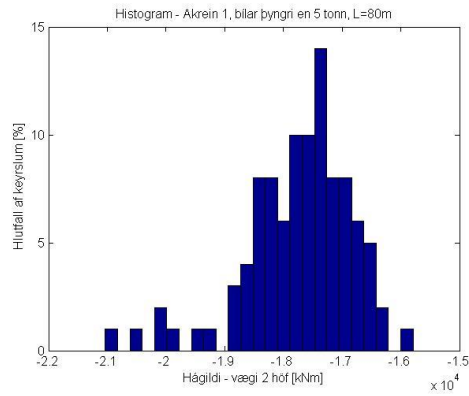
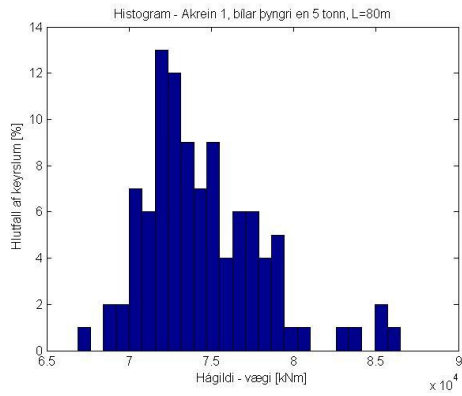
Mynd E.9 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekingum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=40 m



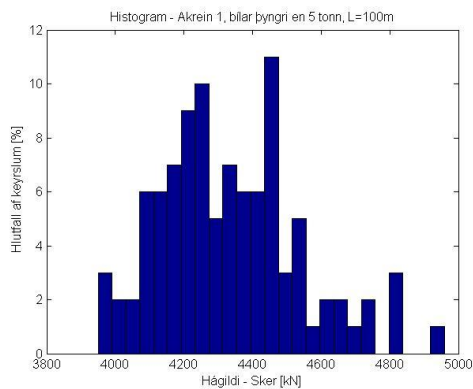
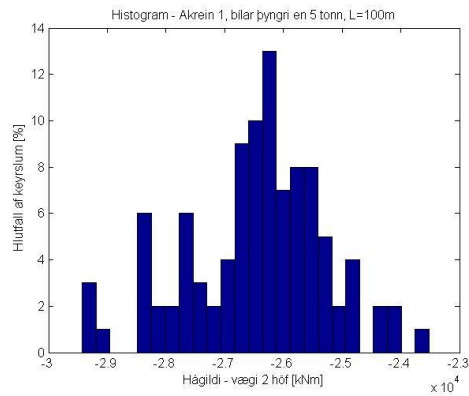
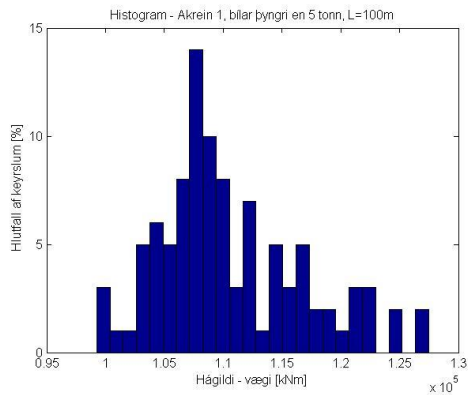
Mynd E.10 – Öxnadalar, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=60 m



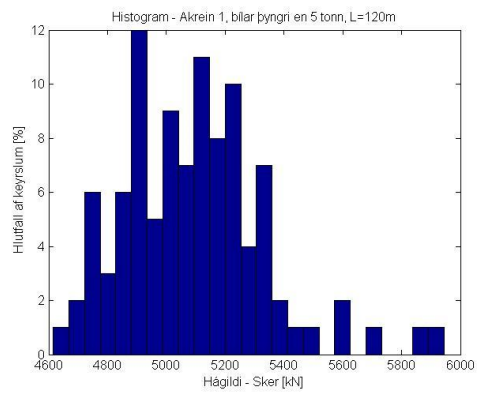
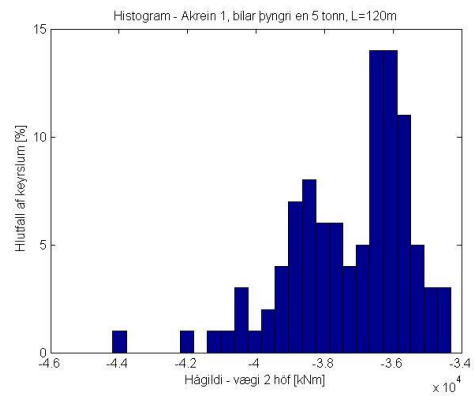
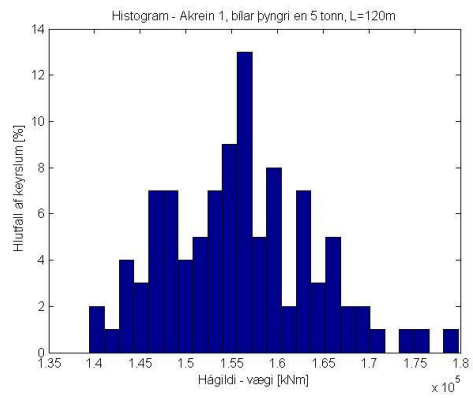
Mynd E.11 – Öxnadalar, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir L=70 m



Mynd E.12 – Öxnadalar, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=80\text{ m}$



Mynd E.13 – Öxnadalar, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=100\text{ m}$



Mynd E.14 – Öxnadalur, dreifing álagsáhrifa úr Monte Carlo hermun með 100 endurtekningum sem hver innihélt jafngildi eins mánaðar umferð - fyrir $L=120$ m

F. Álagsáhrif mismunandi hönnunarálags

		Hafvægi (kNm)													
		C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C10	C10	C10	C10	C10	
Lengd	höf	LM1	0,8LM1	0,6LM1	63t	Lest 4 (49t)	Lest 3 (44t)	Lest 2 (40t)	34t	LM12	0,8LM13	0,6LM14	63t5	34t6	
20	1	6425	5140	3855	5142	2648	3226	2993	2842	7740	6192	4644	6402	4262	
40	1	16600	13280	9960	12286	7489	7625	6992	6410	20040	16031	12023	15297	9616	
60	1	30224	24180	18135	19438	12370	12025	10991	9929	36539	29231	21924	24201	14894	
80	1	47299	37839	28380	26896	17260	16425	14991	13377	57239	45791	34343	33485	20066	
100	1	67824	54259	40694	34404	22154	20825	18991	16692	82139	65711	49283	42833	25039	
20	2	2133	1707	1280	1405	790	862	839	892	2566	2053	1539	1749	1338	
40	2	5175	4139	3105	4107	2108	2555	2390	2159	6232	4986	3739	5113	3238	
60	2	8911	7129	5347	7013	4023	4362	4027	3575	10745	8596	6447	8731	5362	
100	2	18335	14668	13287	12911	7992	7995	7330	6353	22145	17716	11001	16074	9529	

Tafla – Hafvægi (kNm)

Ásetuvægi (kNm)

		C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C10	C10	C10	C10	C10
Lengd	höf	LM1	0,8LM1	0,6LM1	63t	Lest 4 (49t)	Lest 3 (44t)	Lest 2 (40t)	34t	LM12	0,8LM13	0,6LM14	63t5	34t6
20	2	-1365	-1092	-819	-1289	-841	-655	-602	-706	-1646	-1317	-987	-1605	-1060
40	2	-3633	-2907	-2180	-2457	-1528	-1513	-1394	-1256	-4390	-3512	-2633	-3059	-1885
60	2	-6755	-5404	-4053	-3883	-2468	-2418	-2209	-1999	-8174	-6539	-4904	-4834	-2999
100	2	-15582	-12466	-9349	-6887	-4494	-4159	-3787	-3353	-18886	-15109	-11332	-8574	-5029

Tafla – Ásetuvægi (kNm)

Skúfkraftur (kN)

		C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C10	C10	C10	C10	C10
Lengd	höf	LM1	0,8LM1	0,6LM1	63t	Lest 4 (49t)	Lest 3 (44t)	Lest 2 (40t)	34t	LM12	0,8LM13	0,6LM14	63t5	34t6
20	1	1315	1052	789	1159	671	707	654	682	1584	1267	950	1443	1022
60	1	2025	1620	1215	1371	877	822	751	700	2448	1958	1469	1706	1051
80	1	2372	1898	1423	1404	903	837	763	698	2871	2297	1723	1748	1046
100	1	2719	2175	1631	1424	918	845	771	690	3293	2634	1976	1772	1036
20	2													
40	2													
60	2	1636	1309	982	1313	830	805	737	687	1974	1580	1195	1635	1030
100	2	2072	1657	1243	1401	900	839	766	686	2505	2004	1503	1744	1028

Tafla – Skúfkraftur (kN)