



Loftslagsbreytingar og vegagerð

Undirbúningur vegna veðurfarsaðlögunar í
starfsemi Vegagerðarinnar

Titill: Loftslagsbreytingar og vegagerð
Undirbúningsvinna vegna
veðurfarsaðlögunar í starfsemi
Vegagerðarinnar

Höfundur: Skúli Þórðarson, Dr.ing.
Vegsýn ehf
Reykjavíkurvegur 60
220 Hafnarfjörður
Sími: 562 0600 / 846 7253
skuli@vegsyn.is

Verkkaupi: Vegagerðin

Ágrip

Í skýrslunni er samantekt á sviðsmyndum (scenarios) fyrir Ísland vegna spár um loftslagsbreytingar á 21. öldinni. Þá eru teknar saman helstu niðurstöður úr starfi vinnuhóps NVF 41 um loftslagsbreytingar 2004 til 2008. Þar kemur fram að ógn vegna skyndilega atburða sem tengjast aukinni úrkomu er mest áberandi. Hér á landi gæti þetta valdið meiri hættu á stærri flóðum í ám og vötnum og aukinni tíðni skriðufalla og annarra vatnstengdra ofanflóða (s.s. krapaflóða og aurflóða). Aukin úrkoma er einnig talin valda auknu sliti á burðar- og slitlögum vega, en það gildir einnig um tíðari frostþíðusveiflum yfir veturinn. Í skýrslunni er fjallað um tilurð IceClimate öndvegisseturs um loftslagsbreytingar á Íslandi sem Vegagerðin á aðild að og tók þátt í að mynda. Þar kemur fram lýsing á öndvegissetrinu og því starfi sem þar er væntanlegt og lýst þeim tillögum að rannsóknarverkefnum á sviði vegagerðar sem hugsanlega gætu orðið hluti af þeim rannsóknum sem þar verða unnar. Greint er frá stöðu norska rannsóknarverkefnisins *Klima og Transport*. Þar er tekist á við viðfangsefni sem mörg hver eru áhugaverð í ljósi aðstæðna á Íslandi og vert er að fylgjast með og leita samstarfs við ef slíkt er talið henta. Í skýrslunni er yfirlit yfir svið í starfsemi Vegagerðarinnar þar sem yfirfara þarf áhrif loftslagsbreytinga með tilliti til breytts verklags eða annarrar aðlögunar. Gerð er tillaga að því að hópur verði stofnaður innan Vegagerðarinnar með þessu markmiði.

Efnisyfirlit

Ágrip.....	3
Efnisyfirlit	4
1 Inngangur	6
1.1 Stefnumörkun íslenskra stjórnvalda í loftslagsmálum	6
2 Umfang loftslagsbreytinga	6
2.1 Hnatrænar loftslagsbreytingar	6
2.2 Túlkun sviðsmynda fyrir Ísland.....	9
2.2.1 „Íslandsreiturinn“ í hnatrænum líkönum	9
2.2.2 Niðurkvarðanir fyrir Ísland	11
2.3 Hugleiðing um veðurfar og meðaltöl og hágildi veðurbreyta.....	12
3 Rannsóknastarf og aðlögun að loftslagsbreytingum	13
3.1 Íslenskt öndvegissetur: <i>IceClimate</i>	13
3.2 Verkefni norsku vegagerðarinnar: <i>Klima og Transport</i>	14
3.3 ERA Net Road	15
3.4 NVF Rekstur og viðhald: Starf vinnuhóps um loftslagsbreytingar 2004-2008	15
3.5 NVF Rekstur og viðhald: Starf vinnuhóps um loftslagsbreytingar 2008-2012	17
3.6 NVF Veghönnun: Vinnuhópur um loftslagsbreytingar 2008-2012.....	18
4 Vísbendingar um áhrif loftslagsbreytinga á íslenska vegakerfið.....	18
4.1 Skipulag samgangna og forgangsröðun framkvæmda.....	18
4.2 Vetrarþjónusta og hálkuvörnir	18
4.3 Ending slitlaga og burðarlaga	19
4.4 Vatnafar, ræsi og brýr	20
4.5 Ágangur sjávar.....	20
4.6 Grjóthrun og ofanflóð	20
4.7 Vegaöryggi í víðara samhengi	21
5 Innleiðing í starfsemi Vegagerðarinnar	21
5.1 Almenn atriði	21
5.2 Tillögur að starfi Vegagerðarinnar að loftslagsaðlögun 2009	22
6 Þakkir.....	24
Heimildir.....	25

1 Inngangur

Markmið verkefnisins er kanna hvaða áhrif veðurfarsbreytingar, sem afleiðingar af aukinni losun gróðurhúsalofttegunda, hafa á vegagerð til framtíðar. Í því sambandi þarf að huga að áhrifum af breytingum á hitastigi, úrkomu, vindafari og sjávarstöðu á hönnun, viðhald og rekstur vegakerfisins. Í þessari skýrslu er fjallað um áætlað umfang loftslagsbreytinga á Íslandi á 21. öldinni og greint frá innlendri og erlendri starfsemi um rannsóknir á loftslagsbreytingum og aðlögun innviða samfélagsins að breyttu veðurfari. Metið er hvar í starfsemi Vegagerðarinnar er mikilvægast að gera úttekt á áhrifum loftslagsbreytinga og fjallað er um það hvernig veðurfarsaðlögun geti orðið eðlilegur hluti af starfseminni þar sem það á við.

1.1 Stefnumörkun íslenskra stjórnvalda í loftslagsmálum

Nú er í gildi stefnumörkun íslenskra stjórnvalda í loftslagsmálum frá því í febrúar 2007, sem er hin þriðja í röðinni [1]. Þar er sett fram sú langtímasýn um að minnka nettólosun gróðurhúsalofttegunda um 50 – 70 % fram til ársins 2050 m.v. losun ársins 1990. Þetta skal gert á sem hagkvæmasta hátt, m.a. með innleiðingu nýrrar tækni, hagrænum aðgerðum, með bindingu kolefnis í gróðri og jarðvegi og með fjármögnun á aðgerðum erlendis. Margt bendir til þess að á heimsvísu séu afleiðingar óheftrar losunar gróðurhúsalofttegunda margfalt kostnaðarsamari en aðgerðir til þess að draga úr styrk þeirra í lofthjúpnunum. Auk þess að íslensk stjórnvöld hyggjast standa við skuldbindingar sínar innan ramma Loftslagssamnings Sameinuðu þjóðanna og Kýótó-bókunarinnar um takmörkun losunar er það hluti af stefnumörkuninni að efla rannsóknir og undirbúa aðlögun að loftslagsbreytingum. Ekki hefur verið undirbúin aðgerðaáætlun um aðlögun að loftslagsbreytingum en vert er að benda á að ýmsir aðilar, t.d. Siglingastofnun og Vegagerðin hafa á síðustu árum stundað rannsóknir og hafið aðlögun að loftslagsbreytingum.

Sérfræðinganefnd um loftslagsbreytingar á vegum Umhverfissráðuneytisins sem skilaði skýrslu árið 2008 [3] benti á að hækkun sjávarstöðu og breytt afrennsli vegna loftslagsbreytingar geti haft í för með sér aukna náttúruvá. Mikilvægt er að beita heilstæðri aðferðafræði til að takast á við áhættumat, forvarnir, viðbrögð við hamförum og endurmat á áhættu í kjölfar hamfara. Nefndin leggur til að stofnaður verði vinnuhópur sem geri tillögur um hvernig innleiða megi áhættustýringu vegna náttúruvá og loftslagsbreytinga. Hérna má einnig benda á nýlega Evróputilskipun (2007/60/EC) um áhættumat og stjórn flóðasvæða og við endurskoðun á skipulagsreglum á flóðasvæðum þar sem stjórnvöldum er uppálagt að kortleggja flóðahættu við vatnsvegi og strandir með hliðsjón af loftslagsbreytingum. Skv. tilskipuninni skal árið 2011 liggja fyrir bráðabirgðamat á flóðahættu og yfirlit yfir staði þar sem líkur eru á flóðum, árið 2013 skulu liggja fyrir hættu- og áhættukort yfir varhugaverða staði og árið 2015 skulu liggja fyrir áætlanir um áhættustjórnun á þessum stöðum.

2 Umfang loftslagsbreytinga

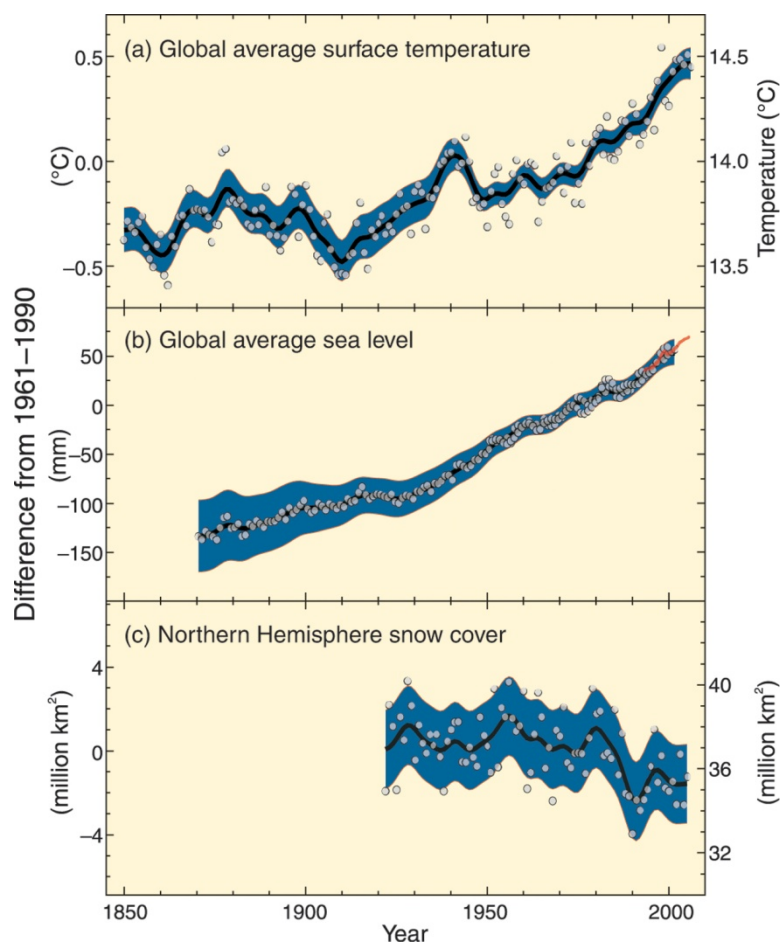
2.1 Hnattrænar loftslagsbreytingar

Milliríkjanefnd Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (IPCC) gaf árið 2007 út fjórðu úttekt sína á loftslagsbreytingum vegna aukinna gróðurhúsaáhrifa [4]. Í nýútkomin skýrslu sérfræðinganefndar umhverfissráðuneytisins [3] er meðal annars að finna samantekt yfir niðurstöður IPCC auk greiningar

á sviðsmyndum loftslagsbreytinga fyrir Ísland og líklegum áhrifum þeirra hér á landi. Umfjöllun hér á eftir er að byggð á gögnum úr skýrslu IPCC, skýrslu Umhverfisráðuneytisins auk þess sem vitnað er í niðurstöður íslenskra vísindamanna.

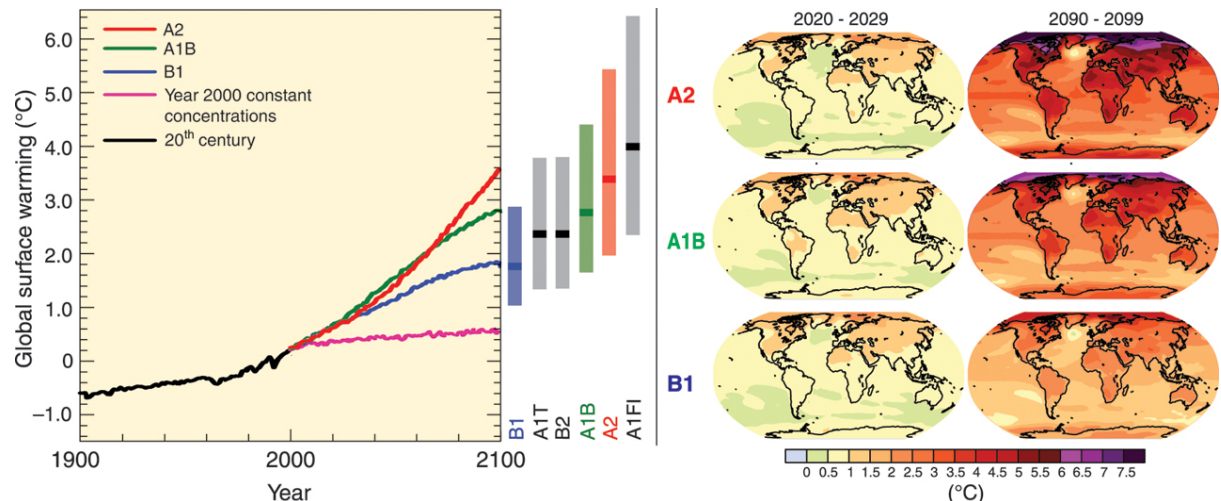
Í fjórðu úttekt IPCC kemur fram að hitastig á jörðinni hefur hækkað um $0,74^{\circ}\text{C}$ á síðustu öld og að 11 ára tímabilið frá 1995 til 2006 er að finna meðal 12 heitustu árana frá 1850. Einnig er staðfest hækkun sjávarborðs og samdráttur snjóþekju á norðurhveli. Á Mynd 1 má sjá hnattrænar breytingar á lofthita og sjávarstöðu ásamt snjóþekju á norðurhveli frá 1850.

Spár IPCC um loftslagsbreytingar byggja á mismunandi sviðsmyndum um losun gróðurhúsa-lofttegunda, sem aftur byggja á ólíkum forsendum um t.d. efnahagslega þróun og tækniframfarir. Niðurstöður loftslagslíkana benda til þess að loftslagsbreytingarnar verði breytilegar milli svæða og árstíða. Hækkun lofthita verður meiri á norðurhveli og eykst eftir því sem norðar dregur. Líklegast er talið að hitastig á hnattræna vísu muni hækka um 1,8 til $4,0$ gráður og allt að $6,4$ gráður sé tekið tillit til óvissu í spám.



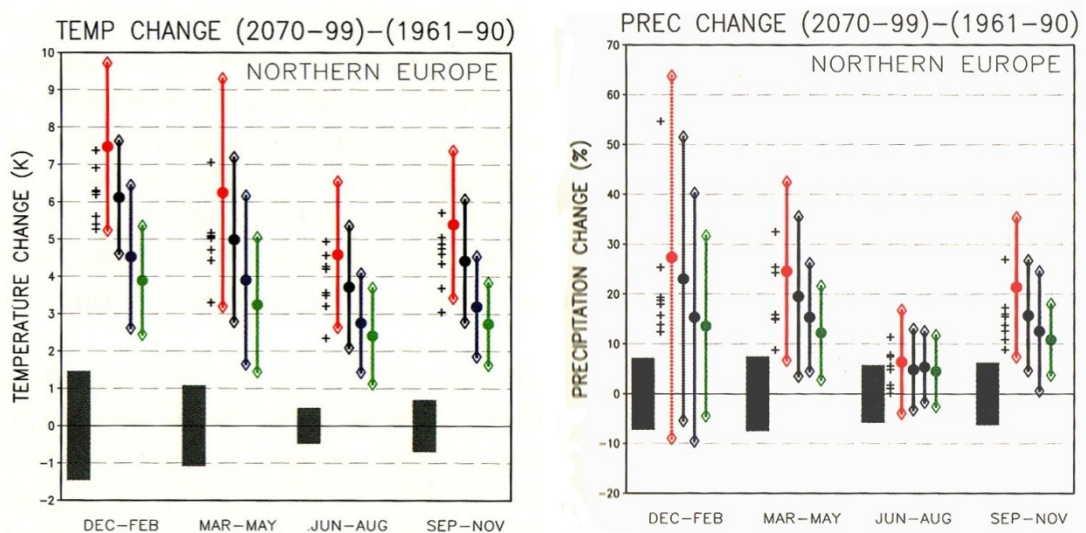
Mynd 1. Hnattrænar breytingar á lofthita, sjávarstöðu og snjóþekju á norðurhveli frá 1850.

Líklegustu sviðsmyndir gera ráð fyrir $0,2^{\circ}$ hlýnun á áratug næstu tuttugu ár. Sjávarstöðuhækkun á öldinni er talin verða 18-59 cm. Líklegt er að hitabylgjur og ofsaúrkoma verði algengari og að fellibyljir verði stærri og tíðari og beri með sér meiri úrkomu.



Mynd 2. Til vinstri: Hnatræn hlýnun fyrir mismunandi sviðsmyndir. Línurnar á myndinni sýna niðurstöður fyrir A2, B1 og A1B auk þess sem sýnd er niðurstaða fyrir tilvik þar sem styrkur gróðurhúsalofttegunda breytist ekkert eftir árið 2000 (neðsta línan). Einnig eru sýndir reikningar fyrir 20. öldina. Stöplarityð til hægri sýnir þá hlýnun í lok aldarinnar sem leiðir af hverri sviðsmynd, auk sviðsmyndanna A1T, A1FI og B2 sem ekki eru sýndar á línuritinu. Myndin er byggð á útreikningum margra líkana, og eru breiðu línurnar meðaltöl allra líkana en skyggðu svæðin gefa til kynna dreifingu niðurstaðna. (Heimild IPCC, íslenskur texti frá [3]). Hægri: Áætluð breyting hitastigs snemma og seint á 21. öldinni í hlutfalli við tímabilið 1980-1999. (Heimild IPCC, íslenskur texti frá [3]).

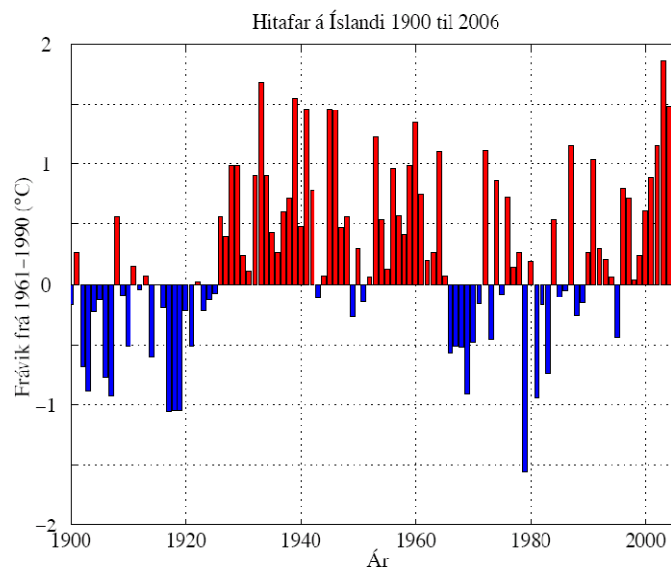
Unnt er að nýta niðurstöður úr hnatrænum loftslagslíkönum inn í þéttari svæðisbundin líkön, s.k. niðurkvörðun. Þetta hefur t.d. verið gert í þeim tilgangi að meta áhrif loftslagsbreytinga á orkuframleiðslu [5]. Í Norður-Evrópu og á Norðurlöndum er hlýnunin talin verða meiri en sem nemur hnatrænni hlýnun. Vísbendingar eru um að bæði hitastig og úrkoma muni aukast á öllum árstíðum en þó nokkru meira á vetrum en yfir sumarið, sjá Mynd 3.



Mynd 3. Áætlaðar breytingar á hitastigi og úrkomu á norðurslóðum. Lóðréttu strikin spanna 95% öryggisbil fyrir sviðsmyndirnar A1FI (rautt), A2 (svart), B2 (blátt) og B1 (grænt). Svörtu súlurnar tákna innbyrðis mun milli ólíkra líkana [5].

2.2 Túlkun sviðsmynda fyrir Ísland

Mikilvægt er að skoða breytingar á loftslagi í ljósi náttúrulegs breytileika. Á síðustu öld var breytileiki veðurfars mikill á Íslandi milli ára og áratuga eins og Mynd 4 gefur til kynna, en hana er að finna í skýrslu Umhverfissráðuneytisins. Myndin sýnir kuldatímabil í upphafi aldarinnar og annað á síðari hluta hennar, og einnig að hlýndaskeið var um miðbik aldarinnar og aftur við lok hennar. Hlýnun frá 1975 til 2008 jafngildir tæplega 0,35°C á áratug, sem er næstum tvöfalt hærra en kemur út úr meðaltali hnattrænna líkana yfir hlýnun hvern áratug komandi aldar. Líklegt er því að hlýnun á Íslandi síðustu áratugi sé bæði tilkomin vegna náttúrulegs breytileika og hlýnandi loftslags vegna aukinna gróðurhúsaáhrifa. Hitafar eftir aldamótin 2000 hefur verið sambærilegt við það sem gerðist fyrir miðja 20. öldina.



Mynd 4. Hitabreytingar á Íslandi frá 1900. Frávik ársmeðalhita frá meðaltali árána 1961 – 1990 [3].

2.2.1 „Íslandsreiturinn“ í hnattrænum líkönum

Í skýrslu Umhverfissráðuneytisins [3] er fjallað um niðurstöður úr hnattrænum líkönum fyrir svæðið í kringum Ísland. Til samanburðar við niðurstöður frá niðurkvörðunum í næsta kafla er ágætt að skoða helstu niðurstöður þessara líkana í töflunum hér á eftir.

Tafla 1. Töflurnar byggjast á 10 ára meðaltölum MMD líkananna fyrir tvö mismunandi tímabil og sýnir vik frá meðaltali árána 2001–2015 (þ.e. frá væntigildi ársins 2008). Vinstri: Hlýnun (°C) í Íslandsreitnum. Sýnd eru meðaltöl líkana og einnig 90% vikiörk (það bil sem 90% af 10 ára meðaltölum liggja á). Hægri: Hlýnun (°C) við Ísland skipt niður á árstíðir [3].

Hlýnun frá 2001 - 2015 (°C)			
Tímabil	10 ára meðaltal	Vikiörk	
		5%	95%
Sviðsmynd A2			
2016-2025	0,1	-0,9	0,8
2046-2055	1,1	-0,1	2,1
2091-2100	2,4	1,0	3,6
Sviðsmynd A1B			
2016-2025	0,2	-0,7	0,7
2046-2055	1,2	0,1	2,2
2091-2100	2,0	0,7	2,9
Sviðsmynd B1			
2016-2025	0,3	-0,4	0,8
2046-2055	0,8	-0,3	1,9
2091-2100	1,4	0,0	2,9

Hlýnun frá 2008 skipt niður á árstíðir				
	2046–2055		2091–2100	
	meðal-tal	Vikiörk [5% 95%]	meðal-tal	Vikiörk [5% 95%]
Sviðsmynd A2				
DJF	1,5	[-1,5 3,0]	3,2	[0,8 5,6]
MAM	1,2	[0,1 2,5]	2,5	[0,8 3,5]
JJÁ	0,8	[-0,1 1,5]	1,8	[0,7 2,7]
SÓN	1,0	[0,1 1,9]	2,2	[0,9 3,4]
Sviðsmynd A1B				
DJF	1,6	[0,1 3,5]	2,7	[0,7 3,9]
MAM	1,1	[0,1 2,3]	1,9	[0,2 3,6]
JJÁ	0,9	[-0,1 1,5]	1,5	[0,4 2,4]
SÓN	1,2	[0,0 2,1]	2,1	[1,0 3,3]
Sviðsmynd B1				
DJF	0,9	[-0,7 2,4]	1,6	[-0,6 3,8]
MAM	0,8	[0,0 2,0]	1,4	[-0,0 2,7]
JJÁ	0,5	[-0,4 1,5]	0,9	[0,0 1,8]
SÓN	0,7	[-0,3 1,9]	1,3	[0,0 2,9]

Tafla 2. Úrkomubreytingar í Íslandsreitnum, sama framsetning og í töflu fyrir hitastig hér að framan.

Úrkomubreytingar frá 2001 - 2015 (%)		
Tímabil	10 ára meðaltal	Vikiörk
		[5% 95%]
Sviðsmynd A2		
2016-2025	0,8	[-4,8 6,5]
2046-2055	3,7	[-3,1 10,8]
2091-2100	6,8	[-1,9 18,6]
Sviðsmynd A1B		
2016-2025	1,1	[-3,1 5,4]
2046-2055	3,6	[-2,3 8,6]
2091-2100	5,3	[-1,0 13,3]
Sviðsmynd B1		
2016-2025	-0,1	[-3,5 4,3]
2046-2055	1,7	[-4,3 7,4]
2091-2100	4,0	[-0,8 9,6]

Úrkomubreytingar frá 2008 skipt niður á árstíðir				
	2046–2055		2091–2100	
	meðal-tal	Vikiörk [5% 95%]	meðal-tal	Vikiörk [5% 95%]
Sviðsmynd A2				
DJF	3,9	[-7,6 12,9]	3,7	[-11,0 16,5]
MAM	2,6	[-9,8 14,4]	5,6	[-5,1 17,1]
JJÁ	3,1	[-8,6 12,6]	11,0	[-1,6 25,3]
SÓN	5,1	[-1,8 13,9]	8,9	[-3,0 26,1]
Sviðsmynd A1B				
DJF	3,1	[-7,3 17,4]	3,6	[-5,8 14,4]
MAM	2,8	[-5,4 9,6]	4,0	[-6,5 13,8]
JJÁ	4,0	[-9,8 17,4]	8,0	[0,0 19,0]
SÓN	4,7	[-0,8 12,2]	7,2	[-0,7 15,3]
Sviðsmynd B1				
DJF	-0,5	[-10,3 9,9]	1,3	[-8,7 11,7]
MAM	2,1	[-8,0 13,1]	5,6	[-3,2 16,4]
JJÁ	3,9	[-5,4 20,1]	6,0	[-4,7 17,2]
SÓN	2,0	[-4,2 7,4]	4,0	[-3,6 10,7]

Í skýrslu Umhverfisráðuneytisins eru eftirfarandi punktar teknir saman um breytingar í Íslandsreit hnattrænna líkana:

- Líklegast er að hlýna muni mest að vetrarlagi en minnst á sumrin. Þessi munur nemur að jafnaði um helmingi af hlýnuninni á ársgrundvelli.
- Óvissa er mun meiri fyrir einstakar árstíðir en fyrir árið í heild sinni og er óvissan mest fyrir vetrarmánuðina.
- Vísbendingar eru um að úrkoma muni aukast meira að sumarlagi en að vetrarlagi.
- Óvissa í niðurstöðum er hinsvegar veruleg, og líkönum ber ekki alfarið saman um aukningu.
- Líklegt er að úrkomuákefð aukist og dögum án úrkomu fækki.
- Líklegt er að kuldaköstum að vetri fækki en hitabylgjum að sumri fjölgi.
- Líklegt er að snjóhula að vetri minnki.

2.2.2 Niðurkvarðanir fyrir Ísland

Í verkefninu *Veður og Orka* [1] voru gerðar niðurkvarðanir sem leyfa túlkun veðurfarsbreytinga fyrir einstök landsvæði á Íslandi og árstíðir.

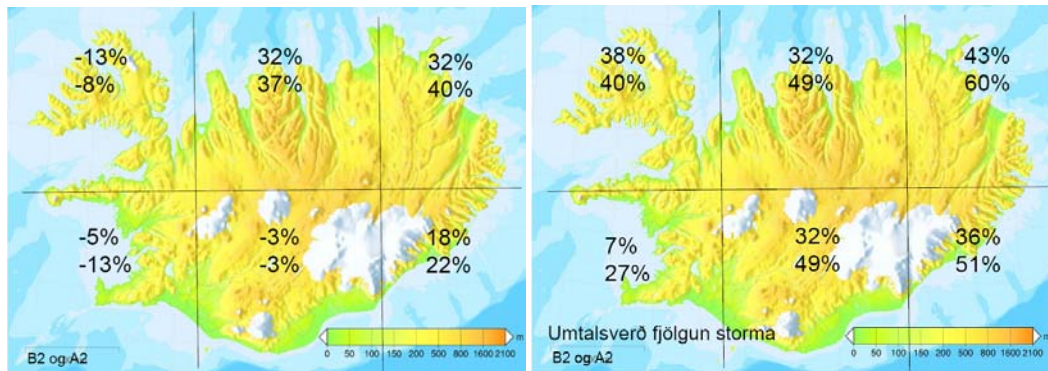
Ef litið er á úrkomu, þá hafa verið gerðar þéttari hermanir með HIRHAM (útgáfa af NWP líkaninu HIRLAM) undir *PRUDENCE* verkefninu. Jaðarskýrði þessara fínna hermana eru niðurstöður hnattrænna hermana fyrir sviðsmyndir A2 og B2 frá Hadley Centre.

- Á veturnum getur úrkoma SV-lands minnkað um 10-20% en aukist um allt að 30% NA-lands.
- Á vorin getur úrkoma minnkað um 10% um allt land og allt að 30% NA-lands.
- Á sumrin getur úrkoma minnkað um 10% um allt land en aukist um allt að 30% á NA-landi.
- Á haustin gæti úrkoman aukist um 30% S-lands en verið óbreytt norðantil. Reikna má með því að aukin úrkoma að vetrarlagi birtist fyrst og fremst sem regn á láglandi, en huganlegt að magn snjókomu til fjalla aukist.

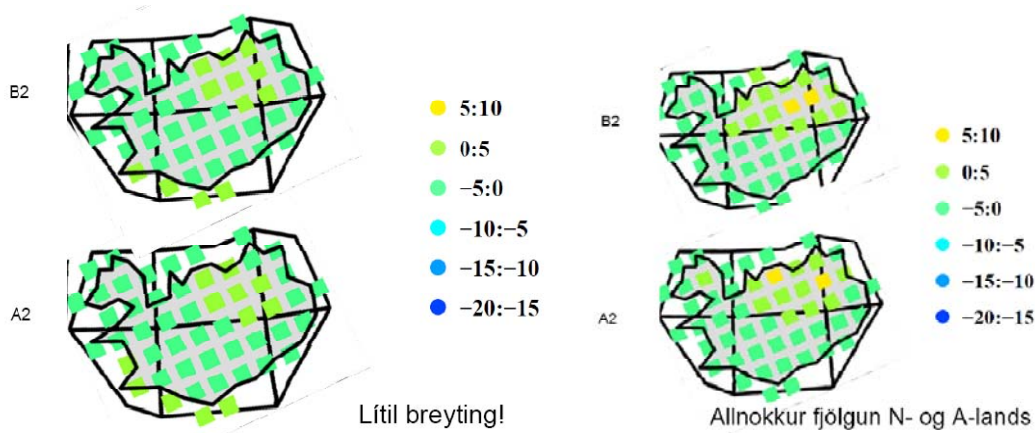
Aftakaatburðir

Haraldur Ólafsson veðurfræðingur hefur verið í forsvari fyrir rannsóknarverkefni fyrir Vegagerðina sem fjallar um breytta tíðni og stærð aftakaatburða í framtíðarveðurfari. Á rannsóknaráðstefnu Vg í nóvember 2008 voru kynntar niðurstöður frá þessu verkefni [8]. Gefin var vísbending um áætlaða fjölgun hlýrra daga árlega að meðaltali úr 35 við núverandi veðurfar í 46 við lok aldarinnar og fækkun kuldakasta úr 23 dögum í u.þ.b. 3.

Niðurstöður fyrir breytingu á aftakaúrkomu að vetri, fjölgun vetrarstorma og fannfergisdaga koma fram á myndunum hér á eftir.



Mynd 5. Til vinstri: Breyting á tíðni aftakaúrkomu að vetri á 21. öldinni, til hægri: Breyting á tíðni vetrarstorma á 21. öld [8].



Mynd 6. Fjöldi árlegra fannfergisdaga. Við sjávarmál til vinstri, í 500 m hæð til hægri [8].

Rétt er að benda á að hér eru á ferðinni niðurstöður sem taka mið af ákveðnum forsendum og eru háðar þeim líkönum sem til grundavallar eru, og þess vegna er hér aðeins um hugsanlegar sviðsmyndir að ræða frekar en endanlega spá.

2.3 Hugleiðing um veðurfar og meðaltöl og hágildi veðurbreyta

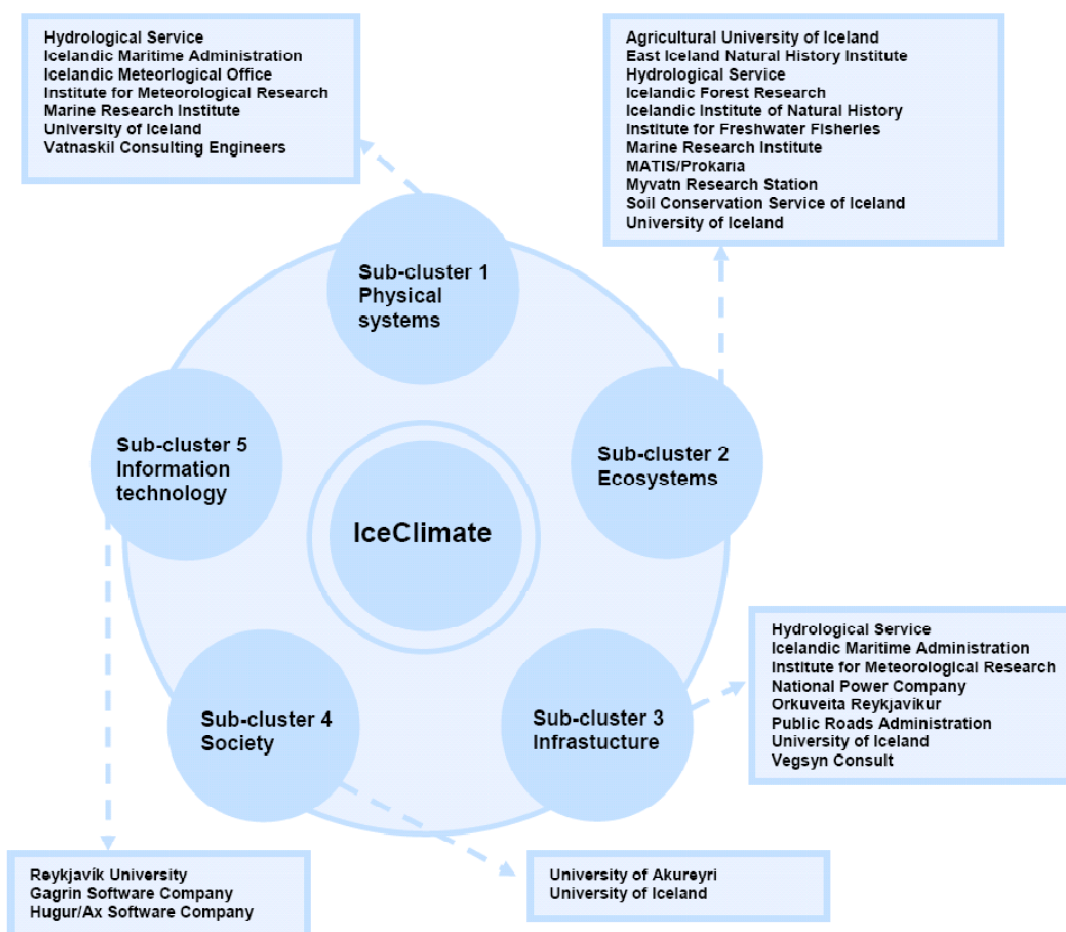
Mikilvægt er að skilgreina hvaða atriði það eru sem raunverulega hafa áhrif á vegi. Fljótt á litið mætti ætla að hlýnun á Íslandi hefði í för með jákvæð áhrif, hvort heldur sem er að vetri eða sumri en ljóst er að það er veðrið sjálft og sveiflur þess á bakvið meðaltölin sem skipta öllu máli. Í þessu ljósi er vert að benda á að vísbendingar eru um breytta meginleið lægða við Ísland sem gæti valdið öðru mynstri í veðurfari en nú er [3]. Þá er vitað að útbreiðsla hafiss norður af Íslandi hefur mikil áhrif á veðurfar hér á landi. Aukning meðalúrkomu hefur lítið að segja fyrir brýr og ræsi á vegakerfinu, en þar sem hún hefur áhrif á grunnvatnsstöðu hefur hún áhrif á vatn í burðarlögum vega sem aftur hefur áhrif á burðarþol og líftíma vega. Hágildi úrkomu hafa hins vegar áhrif á ræsi og brýr, sérstaklega þegar horft er á hættuna sem stafar af aftakaúrkomu í leysingum á miðjum vetri þegar jörð er frosin og snævi þakin. Breytingar á hitastigi einar og sér eru ekki líklegar til þess að hafa áhrif á vegi á Íslandi að sumarlagi. Þetta á hins vegar við sunnar í Evrópu, en jafnvel í Danmörku hafa auknir sumarhitar haft áhrif á val bindiefna í slitlög. Hitasveiflur að vetri hafa hins vegar áhrif á frostþíðusveiflur sem valda auknu niðurbroti vega.

3 Rannsóknastarf og aðlögun að loftslagsbreytingum

3.1 Íslenskt öndvegissetur: *IceClimate*

Íslenskir vísindamenn hafa lagt grunn að öndvegissetri um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi undir heitinu *IceClimate*. Markmið verkefnisins er að koma á fót víðtæku neti vísindamanna, stofnana og fyrirtækja til þess að takast á við samþættar rannsóknir á loftslagsbreytingum, með sérstakri áherslu á breytingar á 21. öld og afleiðingar þeirra fyrir íslenskt umhverfi og samfélag.

Vinnuhópar á vegum verkefnisins munu beita fræðilegum líkönum af loftslagi, jöklum, vatnafari, hafstraumum og vistkerfum, auk þess sem rannsökuð verða áhrif breytinganna á margvíslega þætti þjóðlífs; t.d. orkunýtingu, samgöngumannvirki, byggðamynstur og skipulag. Fyrir hönd Vegagerðarinnar tóku Helgi Jóhannesson og Matthildur B. Stefánsdóttir þátt í undirbúningsvinnu *IceClimate* ásamt Skúla Þórðarsyni, en Þórir Ingason hjá Vegagerðinni situr í verkefnisstjórn. Rannsóknarfé sem veitt verður í gegnum öndvegissetrið verður að stærstum hluta varið til rannsóknarvinnu M.Sc.- og doktorsnema. Sótt var um fjármagn til verkefnisins í markáætlun Rannís um rannsóknarklasa og öndvegissetur haustið 2008 en verkefnið hlaut því miður ekki fjármögnun að þessu sinni. Yfirlýsingar stjórnvalda benda þó til þess að markáætlun um öndvegissetur og klasa muni halda áfram og að fleiri úthlutanir muni verða þó tímasetning sé óviss. Þrátt fyrir að ekki hafi enn náðst að fjármagna þá starfsemi sem lýtur að vinnu meistara- og doktorsnema þá hefur Vegagerðin hér aðgang að öflugum neti sérfræðinga til stuðnings við veðurfarsaðlögun í vegagerð.



Mynd 7. Uppbygging *IceClimate* öndvegissetursins.

Í verkefnislýsingu *IceClimate* voru gerð drög að stúdentaverkefnum sem fjalla m.a. um vegagerð og þverfaglega tengingu við aðra málaflokka undir setrinu. Verkefnin sem gerð hafa verið drög að fjalla um jöklabreytingar og áhrif þeirra á farvegi jökuláa, aukna úrkomu og breyttar grunnvatnsaðstæður og áhrif þess á líftíma vega, tíðni bráðra ofsaflóða í ám og áhrif á samgönguöryggi og flutningskostnað, áhrif loftslagsbreytinga á vetrarþjónustu á vegum auk verkefna sem einnig snerta aðra innviði samfélagsins en vegi s.s. forsendur hönnunarflóða og sjávarstöðubreytingar en þessir þættir varða t.d. hafnir og orkukerfi.

Óháð *IceClimate* verkefninu vinnur Veðurstofan nú að verkefninu *Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á orkukerfi og samgöngur (LOKS)*, sem unnið er samhliða fjögurra ára norrænu samstarfsverkefni sem Veðurstofan stjórnar, *Climate end Energy systems*.

3.2 Verkefni norsku vegagerðarinnar: *Klima og Transport*

Verkefni norsku vegagerðarinnar *Klima og Transport* hófst vorið 2007 og mun standa yfir í 4 ár [9]. Margir sameiginlegir þættir milli Íslands og Noregs eru hvað varðar náttúrufar, veðráttu og gerð vegakerfisins og því er þetta verkefni sérstaklega áhugavert fyrir Vegagerðina. Verkefninu er skipt upp í 7 undirverkefni eða verkætti.

1. Samræming og skilgreiningar
2. Gagnagrunnur veðurfarsgagna og vegakerfis
3. Varnir gegn flóðum og vatnsrofi
4. Skriðuföll, grjóthrun og snjóflóð
5. Ástandsþróun burðar- og slitlaga
6. Afleiðingar fyrir vetrarþjónustu
7. Viðbúnaður og áhættugreining

Þegar þetta er skrifað hafa verið birtar fyrstu niðurstöður frá vinnupakka 5 um ástandsþróun burðar- og slitlaga. Vitnað er í þessar niðurstöður í kafla 4.3 hér á eftir. Undir verkefninu er haldin opin kynningarráðstefna hvert vor, en annars eru áfangaskýrslur birtar jafnharðan á vefsíðu verkefnisins.

Til viðbótar við rannsóknir undir verkþáttunum sem nefndir eru hér að ofan er samhliða unnið við tilraunaverkefni við veðurfarsaðlögun á völdum stöðum auk þess að bjóða fram stúdentaverkefni.

Hagnýt forverkefni (Pilotprojekter)

Á völdum vegarkafli (E136 Dombås – Ålesund) er nú unnið við prófun á aðferðum við áhættugreiningu, hermun á niðurbroti vegar, mat á krapaflóðahættu og endurskoðun vetrarþjónustu. Þá er á öðrum stöðum unnið við t.d. mat á ástandi og afköstum ræsa og brúa, rofvarnir við brýr og áhættumat m.t.t. sjávarhæðar og ölduálags vegna mannvirkja á strandsvæðum.

Stúdentaverkefni

Skilgreind hafa verð verkefni undir flestum málaflokkum sem boðin verða til sumarvinnu stúdenta og meistaraaritgerða.

Tillögur til aðgerða strax

Verkefnisstjórn *Klima og Transport* hefur nú þegar gefið út tillögur til aðlögunar að loftslagsbreytingum sem taka gildi strax. Dæmi um þessar tillögur eru:

- Tímabundin ákvörðun um varfærið mat á endurkomutíma flóða (t.d. 200 ár í stað 100 ár áður), eða; auknar skurðdýptir og veghæðir, auknar grjótvarnir
- Aukin áhersla á loftslagsbreytingar við forgangsröðun varna gegn ofanflóðum (aurskriður, krapa- og snjóflóð)
- Bætt skráningin á veðurtengdum atburðum sem valda truflunum á vegagakerfinu
- Endurskoðun á ákvæðum verktökusamninga sem fela í sér tilvísun í „sérstakar veðuraðstæður“, „hefðbundnar veðursveiflur“ og „náttúruhamfarir“.
- Aukin áhersla á viðbúnað við flóðum m.t.t. reksturs og viðhalds
- Meiri notkun á veðurgögnum í viðhaldsáætlunum og notkun á veðurspám vegna viðbúnaðar

3.3 ERA Net Road

Vorið 2008 rann út umsóknarfrestur í kalli eftir verkefnum um loftslagsbreytingar og vegagerð undir ERA Net Road samstarfsnetinu. ERA Net eru evrópsk samstarfsverkefni undir rammaáætlunum Evrópusambandsins um rannsóknir og tækniþróun (7. rannsóknaráætlunin er í framkvæmd 2007-2013). Netin miða að því að samræma rannsóknarstefnu undir tilteknum málaflokkum í þátttökuríkjunum og koma á fót sameiginlegum rannsóknaráætlunum þar sem valin verkefni með þátttöku rannsóknaraðila frá 3 eða fleiri aðildarríkum eru fjármöggnuð sameiginlega. Ísland er ekki aðili að ERA Net Road, en íslenskir aðilar geta þó tekið þátt í verkefnum þar í samstarfi við rannsóknarhópa í þátttökuríkjunum.

Vorið 2008 kallaði ERA Net Road eftir umsóknum um verkefni um loftslagsbreytingar og vegagerð undir titlinum „*Road Owners getting to Grips with Climate Change*“. Þau verkefni sem þessi áætlun leiðir af sér eru að hefjast um þessar mundir og verða kynnt á ráðstefnu *Klima og Transport* í Osló í lok mars 2009. Þessi verkefni fjalla m.a. um aðferðir við áhættumat fyrir vegi í breyttu loftslagi, mat á líklegum skemmdum á vegum vegna breytts vatnafars, þróun á nýrri vetrarvísitölu (e. winter index) vegna viðhaldsþarfar og aðlögunar vega að breyttu veðurfari og rannsóknir á líftíma slitlaga í breyttu veðurfari¹.

3.4 NVF Rekstur og viðhald: Starf vinnuhóps um loftslagsbreytingar 2004-2008

Mikið má læra af þeirri vinnu sem veghaldarar í nágrannalöndum hafa unnið á þessu sviði, og hefur verið fylgst með þessu starfi m.a. í gegnum þátttöku skýrsluhöfundar í vinnuhópi um loftslagsbreytingar undir NVF nefnd um rekstur og viðhald vega á tímabilinu 2004-2008.

¹ Verkefni ERA Net Road um loftslagsbreytingar og vegagerð eru:

SWAMP: Storm water prevention - Methods to predict damage from the water stream in and near road pavements in lowland areas

RIMAROCC: Risk management for roads in a changing climate

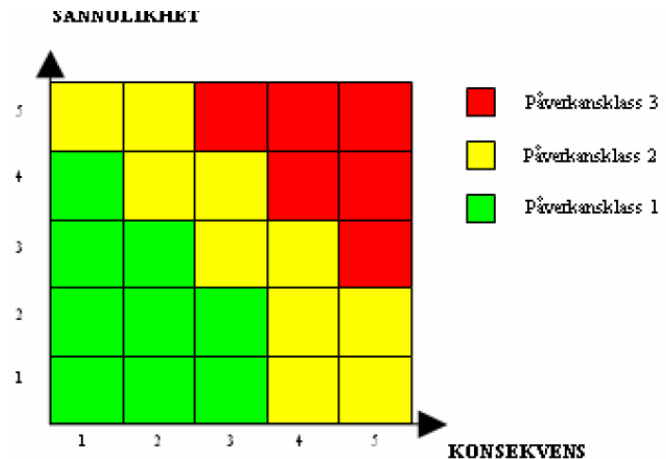
P2R2C2: Pavement performance and remediation requirements following climate change

IRWIN: Improved local road winter index to assess maintenance needs and adaptation costs in climate change scenarios

Vinnuhópurinn gerði tillögu að einfaldri aðferðafræði til þess að meta mikilvægi einstakra málaflokka. Aðferðin er í anda hefðbundinnar áhættugreiningar, þar sem leitast er við að meta líkur á því að tiltekinna áhrifa gæti og kostnað vegna þessara áhrifa, að því gefnu að engin viðbrögð umfram hefðbundið verklag eigi sér stað. Töflurnar tvær hér að neðan voru notaðar til þess að gefa líkindum og kostnaði einkunn, sem síðan gefur af sér áhættuflokk táknaðan með litakóða.

Sannolikhet	Ord	Í gáng þá
1	Extremt liten	100 ár
2	Mycket liten	25 ár -100 ár
3	Liten	10 – 25 ár
4	Vis	1 – 10 ár
5	Pátalig	árligen
Konsekvens	Ord	Síffror
1	Mycket liten	< 10 Mkr
2	Liten	10- 50 Mkr
3	Stor	50- 100 Mkr
4	Mycket stor	100- 500 Mkr
5	Katastrofal	>500 Mkr

Island och Färöarna bör dividera värdena för konsekvens i tabellen med 10 för att få relevanta jämförelsetal.



Páverkansklass avser en generell bedömning på nationell nivå. Det innebär att enskilda vägsträckor kan ha en högre påverkansnivå utifrån att de t ex kräver en omedelbar åtgärd.

Mynd 8. Tillaga vinnuhóps NVF að áhættumatskerfi fyrir vegi vegna loftslagsbreytinga.

Eins og fram kemur hér að ofan er gert ráð fyrir því að minni lönd þurfi að kvarða niður kostnaðartölur sínar til þess að fá samanburðarhæfar niðurstöður.

Hér að neðan er tafla yfir niðurstöður, miðað við þau gögn sem tiltæk voru veturinn 2007-2008. Íslensku niðurstöðurnar byggja á veikum upplýsingagrunni, og því þarf að gera ráð fyrir því að fleiri málaflokkar færi í hærri áhættuflokk en hér kemur fram þar sem mati á áhættu var frekar stillt í hof.

Páverkan av klímat-förändringar och extrema väderhändelser	Sverige	Norge	Finland	Danmark	Island	Färöarna
Förändring av nederbörd och flöden						
Större skred och ras	Yellow	Red	Green	Green	Yellow	Green
Bortspolad väg och bro	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Green	Yellow
Oversvämningar	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Förändringar av temperatur						
Slitage på beläggningar	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Nedbrytning av vägoverbbyggnad	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green
Vintertransporter på tjälad väg	Red	Yellow	Red	Green	Yellow	Green
Nedbrytning av betongkonstruktioner	Yellow	Red	Yellow	Green	Green	Green
Nedisning av broar	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green
Temperaturpåverkan på broar	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green
Vinterväghållning	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Green	Green
Stensprängning	Green	Red	Green	Green	Yellow	Green
Förändring av vindhastigheter						
Stora broar och andra utsatta ställen	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green
Stora mängder träd över vägar	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Green
Stängning av högfjällsvägar	Green	Red	Green	Yellow	Yellow	Green
Förändring av havsvattennivåer						
Tunular	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Vägar	Green	Yellow	Red	Yellow	Green	Green
Färjelägen	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green

Mynd 9. Niðurstöður áhættumats vega á Norðurlöndum m.v. fyrirbyggjandi upplýsingar veturinn 2007-2008.

Niðurstöður í þessari töflu almennt eru ekki settar fram sem endanlegar tölur, hér er fyrst og fremst um tillögu að aðferðarfræði að ræða, sem tekur mið af þeim upplýsingum sem tiltækar voru.

Mikilvægustu niðurstöður NVF vinnuhópsins eru eftirfarandi:

1. Það munu verða breytingar
2. Mikilvægt er að sinna rannsóknum til þess að bera kennsl á mikilvæg áhersluatriði
3. Mikilvægt er að gera áhættugreiningar
4. Ekki má gleyma að huga að kostnaði samfélagsins vegna truflana á samgöngum
5. Hugsa þarf að þróun upplýsingagjafar til vegfarenda
6. Hefjum aðlögun að loftslagsbreytingum strax
7. Fyrirbyggjandi aðgerðir eru oftast hagkvæmari

Ekki reyndist unnt að fullvinna skýrslu frá nefndinni, en kjarni niðurstaðna var lagður fram á ViaNordica 2008. Síðustu vinnuútgáfu skýrslunnar er hægt að nálgast á vefsíðu nefndarinnar [6] eða í ráðstefnugögnum VIANORDICA 2008.

3.5 NVF Rekstur og viðhald: Starf vinnuhóps um loftslagsbreytingar 2008-2012

Niðurstöður úr samantekt nefndarinnar frá fyrra tímabili benda til þess að almennt virðist ógn vegna skyndilega atburða sem tengjast aukinni úrkomu vera mest áberandi. Hér á landi gæti þetta valdið meiri hættu á stærri flóðum í ám og vötnum og aukinni tíðni skriðufalla og annarra vatnstengdra ofanflóða (s.s. krapaflóða og aurflóða). Á yfirstandandi starfstímabili 2008-2012 verður því sjónum beint sérstaklega að þessum efnum. Markmiðslýsing hópsins gerir ráð fyrir því að miðlað verði upplýsingum um starf að veðurfarsaðlögun í rekstri og viðhaldi vega með áherslu á "best praksis"-

dæmi. Haldið verður Norrænt seminar um efnið á tímabilinu, líklegast vorið 2010. Skilgreind verða nemendaverkefni í samvinnu við háskóla í aðildarlöndunum (þ.m.t á Íslandi) en hópurinn telur mikilvægt að kennsla í fögum vegagerðar taki nú þegar mið af þörf fyrir veðurfarsaðlögun.

3.6 NVF Veghönnun: Vinnuhópur um loftslagsbreytingar 2008-2012

Vinnuhópur undir NVF nefnd um veghönnun muni á næsta tímabili fjalla um áhrif loftslagsbreytinga á undirbyggingu vega, og er áætlað að íslenskir þátttakendur verði þar á meðal.

4 Vísbendingar um áhrif loftslagsbreytinga á íslenska vegakerfið

4.1 Skipulag samgangna og forgangsröðun framkvæmda

Veður og veðurfar og atriði sem tengjast því eru aðeins lítil hluti af álitamálum sem tekið er tillit til við forgangsröðun framkvæmda. Vegabætur og aðrar aðgerðir sem lúta að því að tryggja greiðar samgöngur og öryggi umferðar og mannvirkja vegna veðurfarsþátta, þar með talið vegna vatnafars og ofanflóða taka mið af núverandi veðurfari. Þegar tímakvarði fyrir sjáanlegra loftslagsbreytinga á öldinni er skoðaður, má í flestum tilfellum ætla að önnur atriði en veðurfarsþættir ráði meira um val á framkvæmdakostum og forgangsröðun þeirra. Breytingar á veðurfari gerast tiltölulega hægt í samanburði við breytingar á kröfum til samgangna og vegakerfis almennt. Í þessu ljósi er ósennilegt að upplýsingar um loftslagsbreytingar kunni að kalla á sérstaka skoðun á viðameiri framkvæmdum í vegaáætlun. Ætla má að ákvarðanir um minni háttar framkvæmdir og úrbætur vegna veðurálags muni í framtíðinni taka mið af þeirri reynslu og þörf sem fyrir liggur, líkt og áður hefur verið. Engu að síður eru atriði hér sem gætu þarfnast frekari skoðunar, t.d. meiriháttar mannvirki á strandsvæðum sem geta orðið fyrir áhrifum frá sjávarstöðubreytingum og brýr yfir vatnsföll frá jökuljöðrum sem hoga og leiða til farvegabreytinga vatnsfalla.

4.2 Vetrarþjónusta og hálkuvarnir

Háلكuvarnir

Vetrarþjónusta á íslenska vegakerfinu hefur verið í mikilli þróun undafarin ár, og kröfur um þjónustu aukast jafnt og þétt. Hlýnandi loftslag og breytt úrkomufar mun að líkindum breyta skilyrðum og þörf fyrir vetrarþjónustu þegar fram í sækir. Hins vegar er hugsanlegt að aðrar kröfur en loftslagsbreytingar muni hafa meiri áhrif á þróun vetrarþjónustu í framtíðinni. Áhrif loftslagsbreytinga á vetrarþjónustuþörf eru ennþá lítt rannsökuð, en bent hefur verið á að tíðari hitasveiflum um frostmark samfara hlýnun kunni að kalla á auknar háلكuvarnir þrátt fyrir styttri vetur. Kanna þarf hvort bregðast þurfi við auknu umhverfisálagi vegna aukinnar saltnotkunar á helstu aðalleiðum vegna þessa. Vegagerðirnar í Svíþjóð og í Noregi [9] búast við því að landfræðileg skil milli veðurfarssvæða færast norður á bóginn, og hugsanlega mun svipuð þróun eiga sér stað hér á landi.

Snjómokstur

Búast má við því að með hlýnandi veðurfari dragi úr snjókomu almennt, að minnsta kosti á láglandi. Aukin úrkoma til fjalla að vetrarlagi kann þó að hafa í för með sér aukna þörf fyrir mokstur á vissum stöðum. Ef tíðni sterkra vinda og óveðra eykst mun það einnig kalla á aukinn mokstur vegna aukins skafrennings.

Vöktun og umferðarstýring vegna óveðra

Hugsanleg aukning snjókomu og óveðra á fjöllum myndi kalla á aukinn viðbúnað við vöktun og umferðarstýringu samfara kröfum um aukið öryggi og upplýsingagjöf til handa vegfarendum og þjónustuaðilum. Þetta þarf sérstaklega að hafa í huga vegna hugsanlegrar uppfærslu á vegflokki á hálendinu.

Samningsform verktöku

Er líklegt að endurmeta þurfi núverandi fyrirkomulag útboða og samninga við verktaka í vetrarþjónustu með hliðsjón af breytingum á veðurfari? (Sjá tillögur til aðgerða strax undir kafla 3.2).

4.3 Ending slitlaga og burðarlaga

Aukin úrkoma er fyrirsjáanleg í framtíðinni. Breytingarnar verða líklega bæði árstíða- og staðbundnar. Vísbendingar eru um aukna úrkomu að hausti og á veturnum. Gera þarf ráð fyrir aukinni ársúrkomu og aukinni tíðni skilgreindra hágilda úrkomu. Þetta veldur því að álag á vegi vegna vatns mun aukast. Aukin úrkoma og breytt grunnvatnsstaða mun auka álag á bæði burðarlög og slitlög og stytta líftíma þeirra en á þetta hefur verið bent í áfanganiðurstöðum frá *Klima og Transport* verkefninu. Taflan hér að neðan er fengin úr áfangaskýrslu frá *Klima og Transport* [10]:

Tafla 3. Áætluð áhrif loftslagsbreytinga á mismunandi hluta vegarins.

	Asfaltdekker	Grusdekker	Stabiliserte bærelag	Ubundne bærelag	Forsterknings lag	Undergrunn
Mildere vintre	Lavtemp. - sprekkar	Kortere frosset sesong		Telehiving	Telehiving	Telehiving
Varmere somre	Deformasjónar	Støvproblemar	Deformasjónar			
Oftere telelösning	Sprekkar	Bæreevne Framkom-melighet		Bæreevne		
Flere fryse/tine vekslinger	Bestandighet					
Mer nedbor	Bestandighet	Oppbløtning Erosjon av overflate				
Mindre snødekke	Piggdekk-slitasje	Spor				
Økt grunnvannstand				Bæreevne	Bæreevne	Bæreevne
Økt salting	Piggdekk-slitasje					
Økt havvannstand	Kan ha betydning lokalt enkelte steder der grunnvannstanden øker pga. økt havvannstand					
Mer vind	Kan påvirke broer, skiltportaler og lignende					
Flom	Kan ha stor betydning lokalt med utvasking av materialer ol.					

Liten betydning	Positiv betydning	Negativ betydning	Usikker betydning
-----------------	-------------------	-------------------	-------------------

Eins og sést hér að ofan mun aukinn fjöldi hitasveiflna kringum frostmark samfara hækkuðum meðalhita vetrarins auka áhrif frostverkunar í vegum með hættu á aukinni þörf fyrir þungatakmarkanir og aukinni viðhaldsþörf. Þetta er niðurstaða úr líkönum fyrir líftíma og viðhaldsþörf vega sem taka mið af veðurbreytum (e. pavement management systems, PMS) en

samantekt um virkni og hentugleika nokkurra slíkra líkana hefur verið unnin undir *Klima og Transport*.

Fylgjast þarf með rannsóknum í nágrennalöndum um slitlög, burðarlög og loftslagsbreytingar. Rétt er að skoða nýjustu spár um staðbundnar breytingar í úrkomufari á landinu með hliðsjón af gæðum vegakerfis og áætlunum um styrkingu og endurbyggingu vega. Yfirstandandi vinna hjá Þjónustudeild Vegagerðarinnar varðandi frostdýptarmælingar í vegum, vöktun burðarpöls og hermun á frosthegðun burðarlaga gefur upplýsingar sem skoða þarf með hliðsjón af breyttu veðurfari, en þannig mætti þar fá upplýsingar sem nýtast við gerð viðhaldsáætlana. Þá er mikilvægt að huga að því að áætlanir um endurfyllingu í skurði þarf að skoða með hliðsjón af mögulegum áhrifum loftslagsbreytinga á grunnvatnsstöðu.

4.4 Vatnafar, ræsi og brýr

Breytingar í loftslagi hafa í eðli sínu í tvenns konar áhrif á Íslandi í þessum málaflokki. Annars vegar vegna áhrif breyttrar úrkomu á vatnafar og afrennslispörf við vegamannvirki og hins vegar eru það áhrif jöklabreytinga á rennsli áa og áhrif þess á brýr. Almennt séð má ætla að núverandi öryggisstuðlar hönnunar gefi svigrúm fyrir hærri úrkomutoppa og aukið meðalrennsli að vissu marki. Hins vegar er e.t.v. ástæða til þess að kanna betur samspil snjóafars, vorleysinga og regns á vissum stöðum. Reynsla undanfarinna ára og áratuga sýnir að hop jökla hefur áhrif á rennsli og farvegi jökuláa. Vegagerðin hefur vaktað þessa þróun og þess má vænta að því verði haldið áfram. Bráðnun jökla veldur auknu meðalrennsli sem ólíklegt er að hafi áhrif á brýr, en hugsanlegar breytingar á tíðni og hegðun jökulhlaupa eru þó atriði sem gætu haft áhrif. Miklar rannsóknir hafa verið unnar á Íslandi um afrennsli af landi og áhrif á orkuframleiðslu og hafa þær gagnast Vegagerðinni vel við hönnun brúa.

Búast má við því að skemmdir og lokanir á vegum vegna vatnavaxta aukist í framtíðinni. Í Svíþjóð hefur verið unnið talsvert í þessum málum t.d. með þróun aðferða við úttekt á áhættu vegna flóða við vegi, sjá t.d. [13] og [14]. Víða á íslenska vegakerfinu eru engar hjáleiðir þegar lokanir verða, en kortleggja þyrfti stofnvegakerfið með hliðsjón af þessu og gera áætlanir um endurgerð ræsa þar sem þurfa þykir og viðbragðsáætlanir vegna lokana.

4.5 Ágangur sjávar

Hækkun sjávarborðs á 21. öldinni er skv. IPCC áætluð á bilinu 18 - 59 cm til aldarloka, ef ekki er gert ráð fyrir skyndilegri aukningu á flæði jökulíss á heimskautasvæðunum. Aukinn vindur kann að hafa í för með sér hærra ölduálag. Þetta veldur auknu álagi á grjótvarnir vega á strandsvæðum, t.d. við fjarðaþveranir og búast má við aukinni truflun fyrir umferð þar sem alda brotnar á fyllingum.

Rannsóknir á sjávarstöðu og öldufari eru á höndum Siglingastofnunar. Rétt er að hönnunarforsendur og endurbætur vegamannvirkja taki mið af þeim forsendum sem Siglingastofnun vinnur með hverju sinni. Vegagerðin hefur nú þegar ákveðið að taka mið af 50 cm hækkun sjávarborðs við hönnun mannvirkja á strandsvæðum.

4.6 Grjóthrun og ofanflóð

Aukin úrkoma og aukinn tíðni frostþíðusveiflna eru líklegar til þess að hafa áhrif á frostverkun sem leiðir til grjóthruns í fjallshlíðum og í bergskeringum. Jafnframt mun aukin úrkoma hafa í för með sér tíðari aurskriður á vissum stöðum. Athuganir í Noregi benda til þess að snjóflóð í lægri hlíðum verði færri, þar sem úrkoma fellur frekar sem regn en snjór, en aftur á móti kunna að vera líkur á auknum

krapaflóðum þar sem regn fellur ofan í snjóþekju í fjallshlíðum og giljum. Að sama skapi kunna snjóflóð úr háum fjöllum að verða tíðari þar sem aukin vetrarúrkoma fellur sem snjór, og sérstaklega ef vindar aukast með tilheyrandi skafrenningsáhrifum til fjalla.

Hafa ber í huga að varnir sem gagnast við snjóflóð geta haft takmarkaða virkni gegn krapaflóðum. Rík áhersla er lögð á rannsóknir sem tengjast ofanflóðum af völdum vatns í *Klima og Transport* verkefninu norska (n. vannrelaterte skredtyper), [9]. Gagnlegt væri að gera yfirlit yfir staði þar sem grjóthrun og skriðuföll hafa valdið truflun á umferð og meta þörf fyrir fyrirbyggjandi aðgerðir, s.s. að hreinsa laust berg í skeringum eða draga úr bratta þeirra.

4.7 Vegaöryggi í víðara samhengi

Hættum sem ógna öryggi vega má skipta upp í ólíka þætti [11]:

- Umferðarslys
- Náttúruhamfarir
- Veðurofsi
- Hættur sem rekja má til hönnunar eða byggingar mannvirkja
- Skemmdarverk

Hér hafa loftslagsbreytingar áhrif á áhættu vegna veðurfarstengdra þátta eins og veðurofsa og tiltekinn náttúruhamfara (sjávarflóð, ofanflóð, vatnsflóð) og jafnvel áhættu vegna bilunar í mannvirkjunum sjálfum sem tengist veðurfari. Í nýtkominni skýrslu Utanríkisráðuneytisins um áhættumat fyrir Ísland [12] kemur fram að gera þarf áhættumat og viðbragðsáætlanir fyrir vegi á landinu. Öryggi vega með hliðsjón af loftslagsbreytingum þarf að skoða í samhengi við vegaöryggi almennt og jafnfram í samhengi við áhættumat annarra samfélagsþátta vegna loftslagsbreytinga, líkt og lagt var upp með í skilgreiningu IceClimate verkefnisins. Í skýrslu Utanríkisráðuneytisins kemur fram að nú er hafin vinna við að rannsaka flóð með áherslu á hættumat og áhættugreiningu vegna flóða í ám á Suðvesturlandi.

5 Innleiðing í starfsemi Vegagerðarinnar

5.1 Almenn atriði

Innleiðing á loftslagsaðlögun í starfsemi Vegagerðarinnar mun krefjast þverfaglegar aðkomu og þátttöku ólíkra deilda og jafnframt þarf að huga að samstarfi við aðrar samgöngustofnanir og hagsmunaaðila s.s. siglinga- og flugmál, sveitarfélög o.s.frv.

Æskilegt er að starfsemi Vegagerðarinnar taki mið af nýjustu upplýsingum hverju sinni um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra. Til þess að innleiða viðhorf gagnvart loftslagsbreytingum þarf að kynna þær fyrir starfsmönnum, sérstaklega þeim sem bera ábyrgð á tilteknum málaflokkum og virkja þá til þess að yfirfara starfsemi sinna deilda enn frekar en nú er gert með tilliti til loftslagsaðlögunar. Nokkur verkefni Vegagerðarinnar síðustu ár hafa á beinan eða óbeinan hátt fjallað um aðlögun og viðbúnað vegna loftslagsbreytinga, og almennt séð tekur starfsemi Vegagerðarinnar í miklum mæli mið af því veðurfari sem nú ríkir á Íslandi. Dæmi um verkefni síðustu ár sem tengjast loftslagsbreytingum á einn eða annan hátt:

- Kortlagning á undirlagi jökla til þess að áætla breytingar á rennsli jökuláa þegar jöklar hopa. Upphaf þessarar vinnu má rekja til þess að náttúrlegar sveiflur í veðurfari Íslands á síðustu öld hafa krafist þess, sem kemur sér vel nú þegar hnattræn hlýnun er staðreynd.
- Frostmælavæðing í burðarlögum vega. Aukin tíðni frostþíðusveiflna á miðjum vetri hefur aukið þörf fyrir markvissa vöktun og stýringu þungatakmarkana og síðasta viðbótin við þessa vinnu er spálíkan fyrir frostdýpt í burðarlögum vega.

Markmið með skoðun á starfsemi Vegagerðarinnar með hliðsjón af loftslagsbreytingum er að svara þeirri spurningu hvar ástæða er til þess að breyta út af núverandi venjum varðandi hönnun, rekstur og viðhald. Ein leið í átt að þessu marki er að meta kostnað sem breytt veðurfar mun hafa í för með sér ef ekkert er að gert og bera hann saman við kostnað og ábata vegna viðbragða. Slík aðferðarfræði eða áhættugreining er algengur framgangsmáti í fjölda verkefna í nágrannalöndunum.

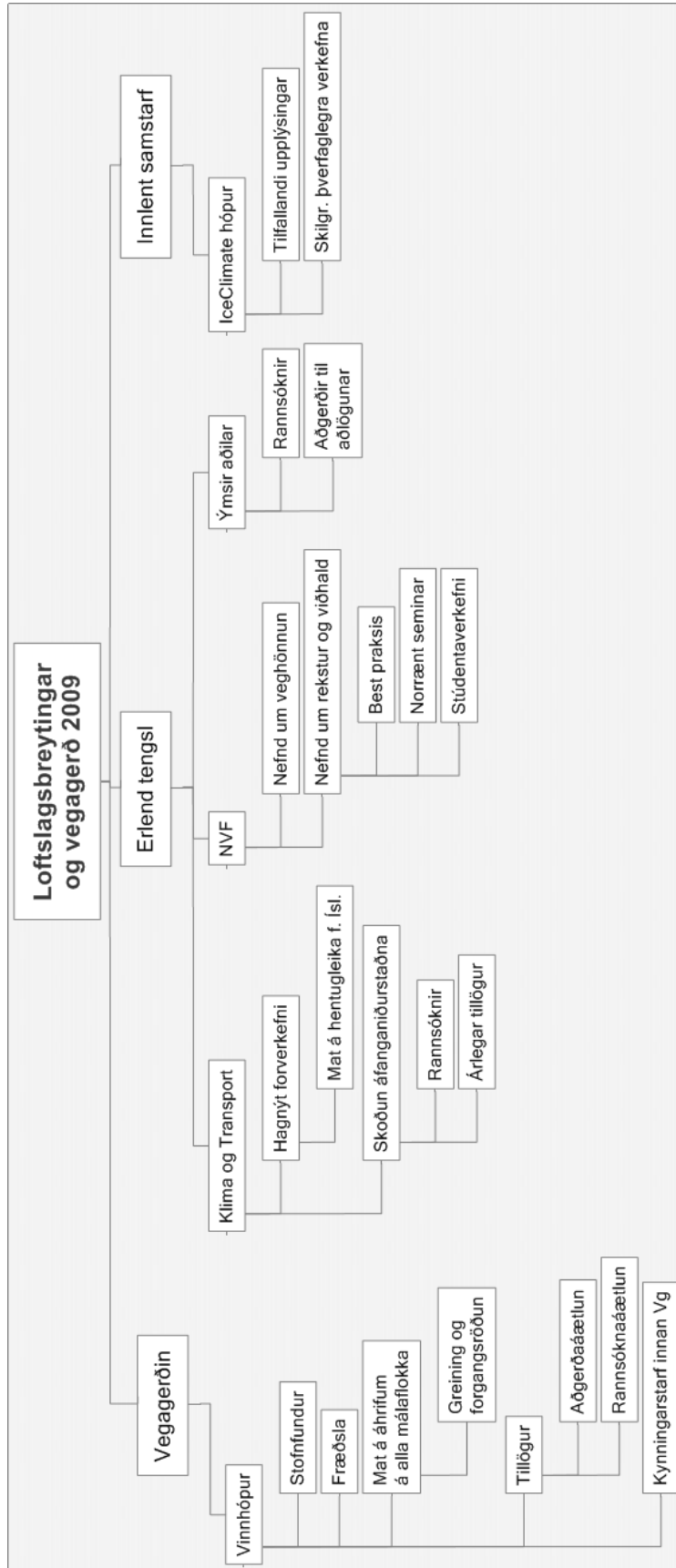
Hafa þarf í huga að þó loftslagsbreytingar séu hnattrænar, áhrif þeirra verður alltaf að skoða og meta staðbundið þ.e. á innviði samfélags og náttúru. Vegna þessa er nauðsynlegt að virkja þá sem staðbundna þekkingu hafa til þess að innleiða nýja hugsun, en með því móti eru bestar líkur á því að takist að bera kennsl á þau atriði sem skoða þarf nánar.

5.2 Tillögur að starfi Vegagerðarinnar að loftslagsaðlögun 2009

Hér er gerð er tillaga um að komið verði á fót hópi fulltrúa fyrir þau svið í starfsemi Vegagerðarinnar þar sem veðurfarsaðlögun þarf að sinna. Þessi hópur þarf að tileinka sér nýjustu upplýsingar um loftslagsbreytingar á Íslandi og um veðurfarsaðlögun í starfsemi veghaldara á hinum Norðurlöndunum. Slík aðlögun mun felast t.d. í endurskoðun verklags og leiðbeininga, skilgreiningu á rannsóknarverkefnum sem vinna þarf, að stuðla að því að þau verði unnin og niðurstöður þeirra hagnýttar.

Lagt er til að hópurinn hittist reglulega til fræðslu og upplýsingaskipta og vinni markvisst að mati á núverandi verklagi, leiðbeiningum og annarri starfsemi, með hliðsjón af veðurfarsaðlögun. Mikilvægt verkefni þessa hóps er að meta hvenær niðurstöður erlendra rannsókna er hægt að hagnýta hér á landi og að skilgreina þörf fyrir nýjar rannsóknir.

Helsti ávinningur af þessu starfi verður sá að starfsmenn og ráðgjafar Vegagerðarinnar verða upplýstari um áhrif loftslagsbreytinga á vegi og starfsemi Vegagerðarinnar, og að unnar verða áætlanir um aðgerðir og rannsóknir. Jafnframt verður lagður grunnur að því að veðurfarsaðlögun, vegna áhrifa loftslagsbreytinga, verði hluti af forsendum sem til grundavallar eru við þróun á starfsemi Vegagerðarinnar. Á næstu síðu er að finna tillögu að skipuriti fyrir starf að veðurfarsaðlögun hjá Vegagerðinni.



Mynd 10. Tillaga að skipuriti fyrir starf Vegagerðarinnar við aðlögun að loftslagsbreytingum.

6 Þakkir

Höfundur þakkar Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar fyrir stuðning við verkefnið undanfarin ár. Ég þakka einnig þeim Matthildi Báru Stefánsdóttur hjá Vegagerðinni og Helga Jóhannessyni fyrrverandi starfsmanni Vegagerðarinnar fyrir samstarf að þessu verkefni. Annað samstarfsfólk i *IceClimate* hópnun fær bestu þakkir fyrir ánægjulegt og lærdómsríkt samstarf við mótun hugmynda að öndvegissetri um loftslagsbreytingar með von um áframhaldandi árangursríkt samstarf. Einar Sveinbjörnsson fær bestu þakkir fyrir yfirllestur texta og góðar ábendingar.

Heimildir

- [1] Umhverfissráðuneytið, 2007. Stefnumörkun í loftslagsmálum.
- [2] Tómas Jóhannesson, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Helgi Björnsson, Philippe Crochet, Elías B. Elíasson, Sverrir Guðmundsson, Jóna Finndís Jónsdóttir, Haraldur Ólafsson, Finnur Pálsson, Ólafur Rögnvaldsson, Oddur Sigurðsson, Árni Snorrason, Óli Grétar Blöndal Sveinsson, Thorsteinn Thorsteinsson, 2007. Effect of climate change on hydrology and hydro-resources in Iceland. Skýrsla fyrir íslenska samstarfsverkefnið VO: Veður og Orka. OS-2007/011.
- [3] Halldór Björnsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Anna K. Daníelsdóttir, Árni Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, Einar Sveinbjörnsson, Gísli Viggósson, Jóhann Sigurjónsson, Snorri Baldursson, Sólveig Þorvaldsdóttir og Trausti Jónsson. 2008. Hnatrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar. Umhverfissráðuneytið.
- [4] IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- [5] Nordic Council of Ministers, 2007: *Impacts of Climate Change on Renewable energy Resources*. J. Fenger (ed.). Copenhagen 2007. ISBN 978-92-893-1465-7.
- [6] Nordic Road Association, 2008. *Klimatförändringar – Påverkan på väghållningen*. (e. Climate Change – Influence on road management). Draft report of Technical Committee 41, Working Group on climate change.
- [7] ICECLIMATE, 2008. Verkefnislýsing fyrir öndvegissetur um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi. Umsókn í markáætlun um öndvegissetur og klasa.
- [8] Haraldur Ólafsson, Reiar Kravik og Ólafur Rögnvaldsson. Aftök í framtíðarveðri. Erindi flutt á Rannsóknaráðstefnu Vegagerðarinnar, 7. nóvember 2008.
- [9] Statens vegvesen, 2008. Klima og transport. Etatsprosjekt 2007 – 2010. Prosjektplan 2008-04-04.
- [10] Lerfald B.O., Hoff I (2007): Klimapåvirkning av vegbyggingsmateriale. State of the art studie, Statens vegvesen Etatsprosjekt Klima og transport, Sintef rapport nr SBF IN A07014, 2007-12-04
- [11] Línuhönnun, 2008: Vulnerability and risk analysis of the road infrastructure in Reykjavik. Unnið fyrir Vegagerðina.
- [12] Utanríkisráðuneytið, 2009: Áhættumatsskýrsla fyrir Ísland. Hnatrænar, samfélagslegir og hernaðarlegir þættir. Unnið af þverfaglegum hópi á vegum Utanríkisráðuneytisins.
- [13] Vägverket, 2006. Arbetet med klimat och sårbarhetsutredningens delbetänkande om Vätern, Mälaren och Hjälmarén. Konsult dnr PP20 2006: 242.

- [14] Vägverket Konsult, 2009. Metod för att hitta och åtgärda vägavsnitt med höga risknivåer till följd av stora nederbördsmängder. Vägverket Konsults uppdragsnummer: 490 60 002.