



## Veður og orka

### Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á vatnafar og orkuframleiðslu

Útdráttur úr skýrslunni:

Effect of climate change on hydrology and hydro-resources in Iceland

**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, Þorsteinn Þorsteinsson**

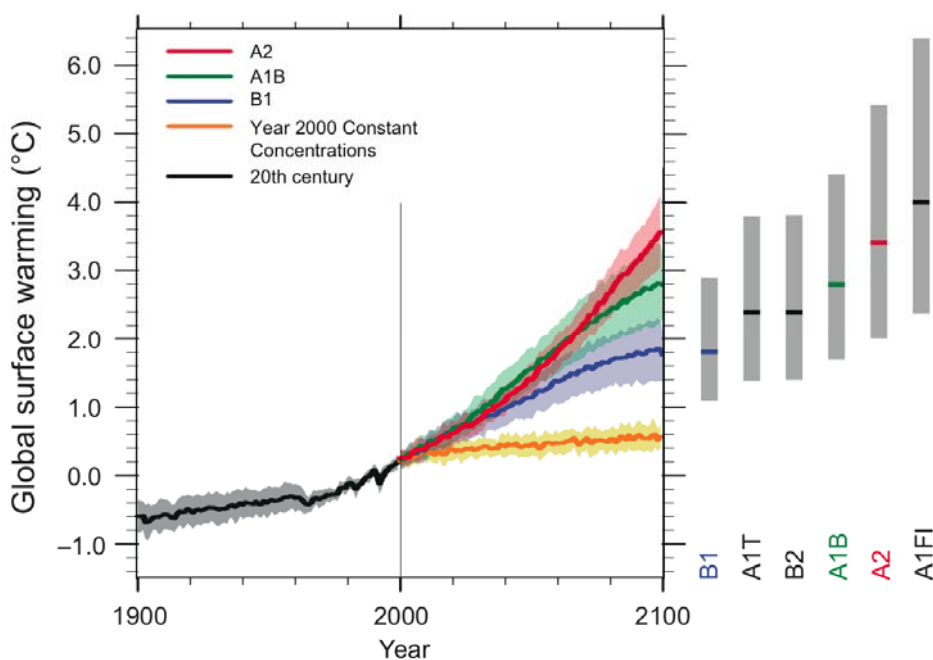
Orkustofnun, OS-2007/011



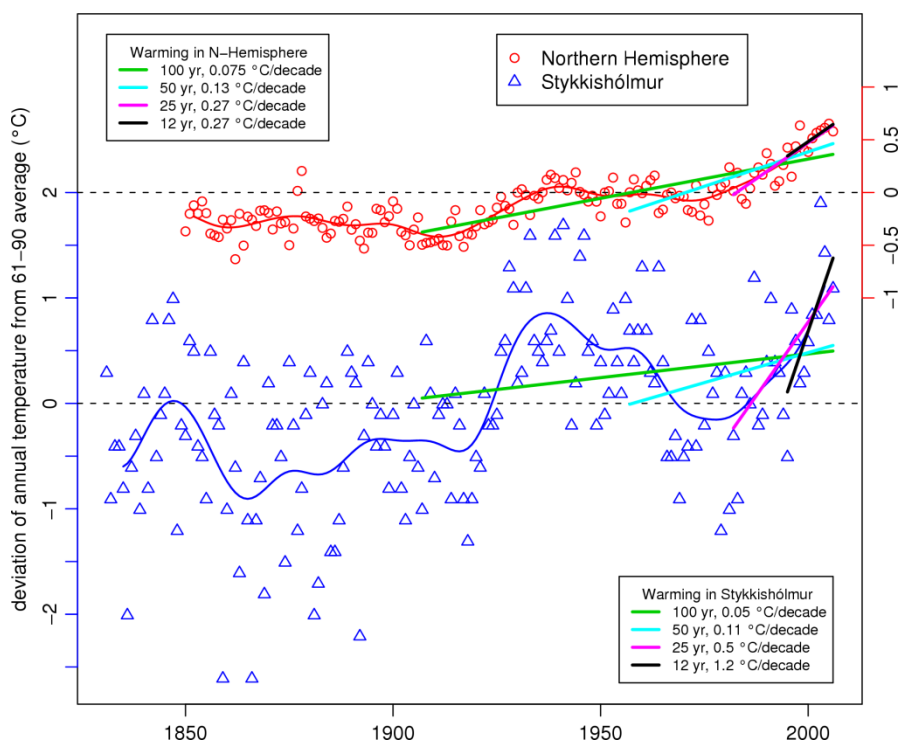
## Inngangur

Loftslagsbreytingar af mannavöldum eru af flestum taldar meginorsök hlýnunar sem víða verður nú vart. Fyrr á þessu ári birti alþjóðlegur hópur sérfræðinga um veðurfarsbreytingar (IPCC) í fjórða sinn mat á áhrifum mannkyns á loftslag nú og til framtíðar. Helstu niðurstöður eru þær að yfir 90% líkur séu á því að athafnir mannsins geti skýrt þær breytingar á loftslagi sem hafa átt sér stað á síðustu öld og líklegt sé að hlýna muni um 1,1–6,4 °C á þessari öld (1. mynd). Hlýnunin er talin verða meiri nærri heimskautionum en við miðbaug og meiri á meginlöndum en á úthöfum. Þessar niðurstöður eru mjög svipaðar því sem fram kom í IPCC skýrslunni 2001 og er það til marks um vaxanda einingu vísindamanna á þessu sviði.

Loftslagsbreytingar hafa áhrif á framboð og eftirspurn eftir orku vegna þess að framboð á orku frá endurnýjanlegum orkugjöfum er í mörgum tilfellum háð veðurfari og það er einnig sum orkunotkun, til dæmis til hitunar og loftkælingar. Á undanförunum árum hefur verið unnið að norræna samstarfsverkefninu „Climate and Energy“ (CE) um áhrif loftslagsbreytinga á endurnýjanlega orkugjafa, fjármagnað af Norræna orkusjóðnum („Nordic Energy Research“, NER) og fyrirtækjum innan norræna orkugeirans. Samhliða þessu verkefni hefur verið unnið að sambærilegu verkefni hér innanlands sem kallað er „Veður og orka“ (VO) og er samstarfsverkefni Landsvirkjunar og Vatnamælinga Orkustofnunar, en Orkusjóður og iðnaðarráðuneytið styrkja verkefnið með fjárframlögum. Bæði verkefni eru undir verkefnastjórn Vatnamælinga Orkustofnunar og meðal íslenskra þátttakenda eru Veðurstofa Íslands, Reiknistofa í veðurfræði og Jarðvísindastofnun Háskólans. Norræna verkefninu lauk á síðasta ári og því íslenska lýkur í árslok 2007.



**1. mynd.** Heilar línur sýna hækkun á yfirborðshita jarðar byggð á mörgum líkönum (miðað við tímabilið 1980–1999) fyrir losunarsviðsmyndir A2, A1B og B1. Appelsínugula línan sýnir reikninga þar sem styrkur gróðurhúsalofttegunda í framtíðinni er hafður óbreyttur frá árinu 2000. Lituð belti ofan og neðan ferlanna og súlur hægra megin myndarinnar sýna óvissu um þróun loftslagsins.



**2. mynd.** Ársmeðalhiti norðurhvels jarðar 1850–2006 og í Stykkishólmi 1831–2006 og vegið, hlaupandi meðaltal yfir 10–15 ára tímabil. Línur í mismunandi litum sýna meðalhlýnun fyrir síðustu 100, 50, 25 og 12 ára tímabil.

Nýju norrænu verkefni til fjögurra ára sem fjármagnað er af NER hefur verið hrundið af stað í framhaldi af CE og nefnist það „Climate and Energy Systems“ (CES) og unnið er að undirbúningi íslensks systurverkefnis þess. Meginviðfangsefni þessara verkefna er áhrif veðurfarsveiflna og -breytinga á norræna orkukerfið næstu áratugi.

Í CE og VO verkefnunum voru rannsakaðar mælingar á veðri og vatnafari hér á landi og kannað hvort þær bendi til veðurfarsbreytinga sem tengjast umsvifum mannsins. Sett voru upp ný líkön af úrkomu- og vatnafari landsins, útbúin sviðsmynd af veðurfarsbreytingum hér á landi til loka þessarar aldar og reiknaðar breytingar á jöklum og rennsli fallvatna á grundvelli sviðsmyndarinnar. Hér á eftir er tekið saman yfirlit yfir niðurstöður þessara rannsókna en ítarlegar er gerð grein fyrir þeim í lokaskýrslu VO verkefnisins. Vísað er til lokaskýrslunnar um heimildaskrá. Hún tekur bæði til greina sem hafa birst í vísindaritum og tæknilegra skýrslna sem hafa verið gefnar út í tengslum við þessi verkefni. Á vef CE verkefnisins, „<http://www.os.is/ce>“ er unnt að nálgast þessar greinar og skýrslur.

### **Sögulegar hitabreytingar**

Á 2. mynd er sýndur meðalhiti ársins á norðurhveli jarðar síðan 1850 (gögn frá bresku veðurstofunni og Climatic Research Unit, University of East Anglia) og í Stykkishólmi síðan 1831 (gögn frá Veðurstofu Íslands). Myndin sýnir verulega hlýnun síðan seint á 19. öld. Hlýnunin er svipuð hér á landi og að meðaltali á norðurhveli þegar litið er til langs tímabils. Hröðust er hlýnunin í Stykkishólmi á tímabilunum 1920–1940 og 1981–2006. Á öðrum tímabilum sem myndin sýnir er loftslag stöðugt eða kólnandi. Myndin sýnir skýrt hvernig þróun loftslags ræðst af samspili náttúrulegs breytileika, sem ætla má að ráði miklu um greinilegar sveiflur í

hita, sérstaklega í Stykkishólmi, og hægfara hlýnun sem flestir sérfræðingar eru nú sammála um að sé að verulegu leyti af mannavöldum. Hlýnun hér á landi síðustu 20–30 árin er mun hraðari en ætla má að skýrist af almennri hlýnun jarðarinnar.

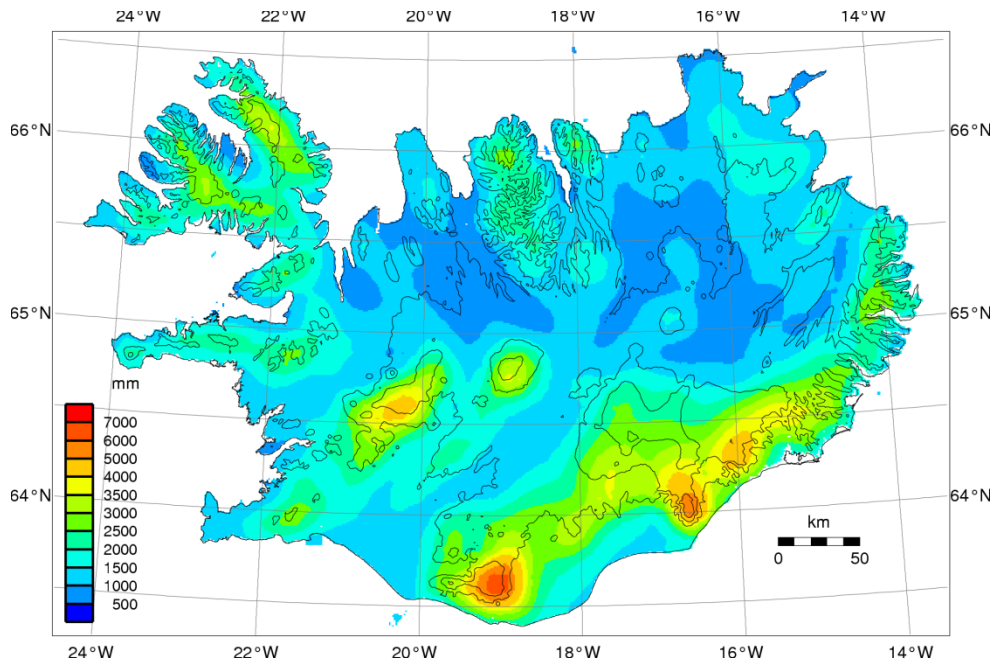
### ***Líkangerð af veður- og vatnafari liðinna ára***

Vegna gisinna og ónákvæmra mælinga á úrkomu á Íslandi hefur mikil áhersla verið lögð á að gera líkan af úrkomu við núverandi veðurfar. Eftir viðamiklar tilraunir hefur úrkoma á árunum 1961–1990 verið kortlögð með veðurlíkaninu MM5 og með líkani af áhrifum landslags á úrkomu sem nefnist LT líkanið. Möskvastærð MM5 líkansins er 8 km að vídd, en möskvar LT líkansins eru 1 km víðir. Niðurstöðurnar eru sýndar á 3. og 4. mynd. Ársúrkoma á landið allt reiknast 1660–1790 mm fyrir tímabilið 1961–1990. Líkönunum ber nokkuð vel saman og gefa þau trúverðuga mynd af dreifingu úrkomu á landinu. Líkönin voru kvörðuð og sannreynd með úrkomumælingum, afrennismælingum og jöklamælingum. Úrkoma á hálendi landsins hefur verið illa þekkt vegna örðugleika á úrkomumælingum þar. Niðurstöður úrkomulíkanareikninga bæta úr brýnni þörf fyrir upplýsingar um úrkomudreifingu, einkum á hálendinu.

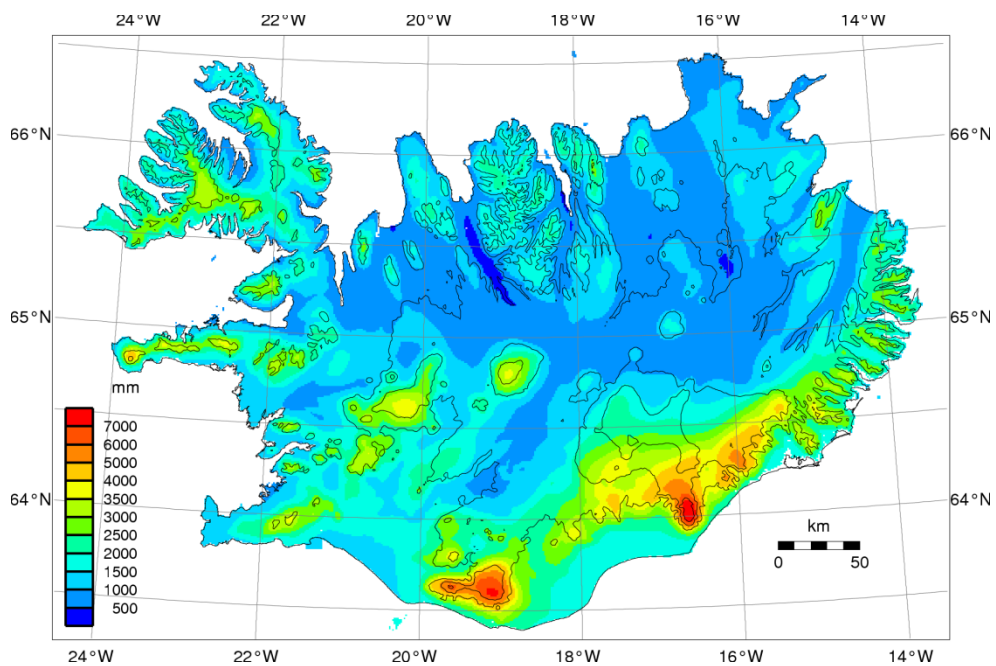
Nýtt líkan af vatnafari landsins var sett upp og keyrt með veðurgögnum frá MM5 veðurlíkaninu sem fyrr var nefnt. Um er að ræða svissneska líkanið WaSiM sem byggir á 1 km reitaskiptingu landslags og vatnafarsflokkun sem unnin hefur verið af landinu öllu á Orkustofnun. Líkanið var keyrt fyrir áratuginu 1961–1990 og er niðurstaðan sýnd á 5. mynd, bæði meðalafrennsli ársins og afrennsli árstíðanna fjögurra. Heildarafrennsli af landinu öllu reiknaðist 4770 m<sup>3</sup>/s að meðaltali fyrir þetta tímabil sem samsvarar meðalafrennslinu 1460 mm á ári. Uppgufun var metin um 280 mm á ári að meðaltali.

### ***Framtíðarloftslag***

Við reikninga framtíðarveðurfars á Íslandi var notast við útreikninga er byggja á keyrslum með norræna HIRHAM líkaninu sem aftur byggja á hnattrænum reikningum breska HadAm3 líkansins fyrir losunarsviðsmyndir A2 og B2. Niðurstöður beggja sviðsmynda eru svipaðar. Frekar lítilli aukningu er spáð í ársmeðaltali úrkomu, en breytingar innan ársins eru meiri og misjafnar eftir landshlutum. Árstíðarsveifla í hita breytist þannig að minnst hlýnar að vetri og yfir hásumarið, en mest hlýnun kemur fram bæði vor og haust, sjá 6. mynd. Blotar að vetri munu einnig verða algengari, og gæti það breytt verulega þeim skilyrðum sem ráða vetrarflóðum. Loftslagssviðsmynd CE og VO verkefnanna er sýnd á 7. mynd þar sem fram kemur hlýnun í °C á áratug og úrkomuaukning í % á áratug milli tímabilanna 1961–1990 og 2071–2100 að meðaltali yfir landið.

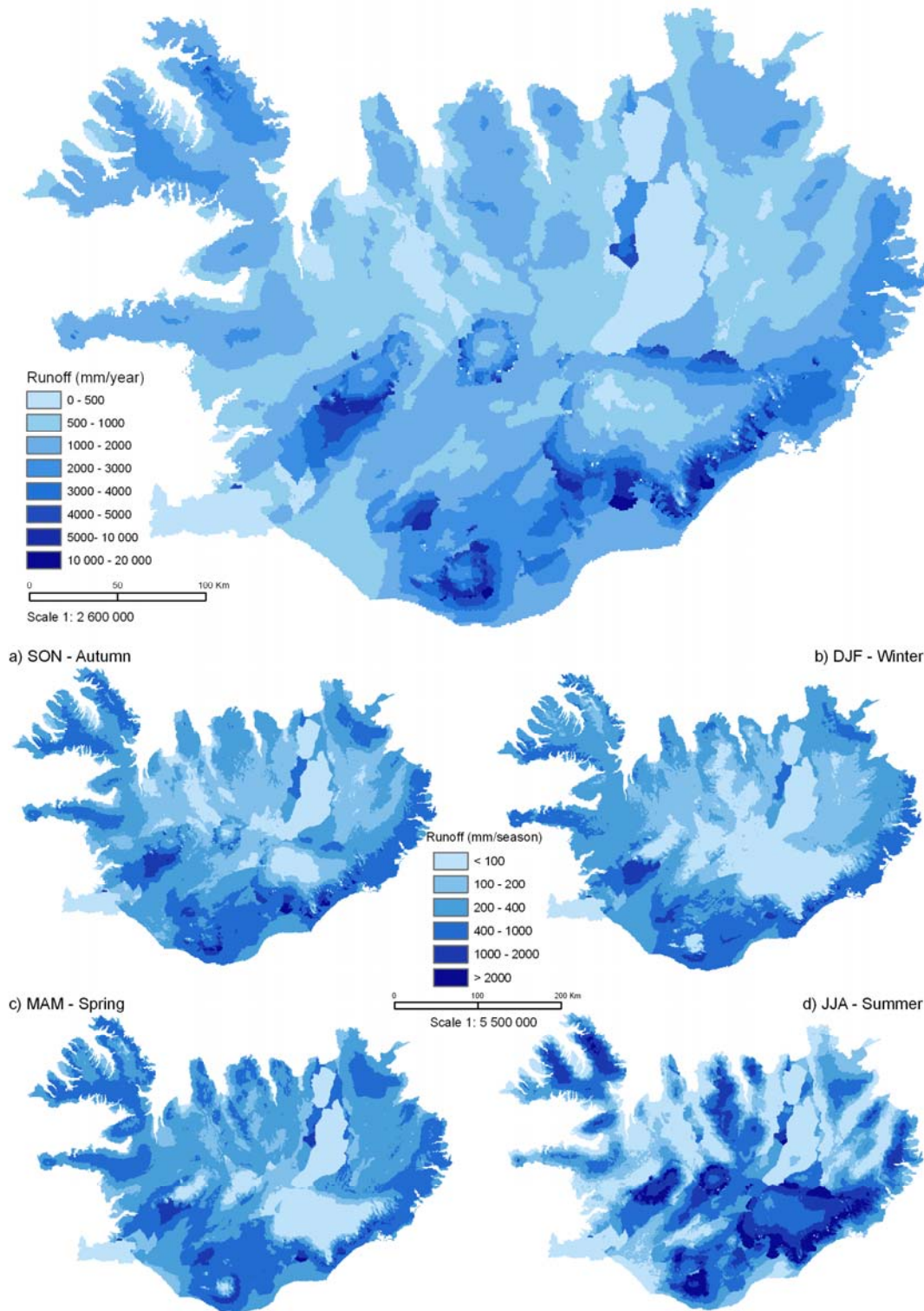


**3. mynd.** Meðalársúrkoma á Íslandi árin 1961–1990 samkvæmt hermun MM5 veðurlíkansins, með 8 km möskvum og jaðarskilyrðum frá endurgreiningu Reiknimiðstöðvar Evrópuveðurstofa (ECMWF).

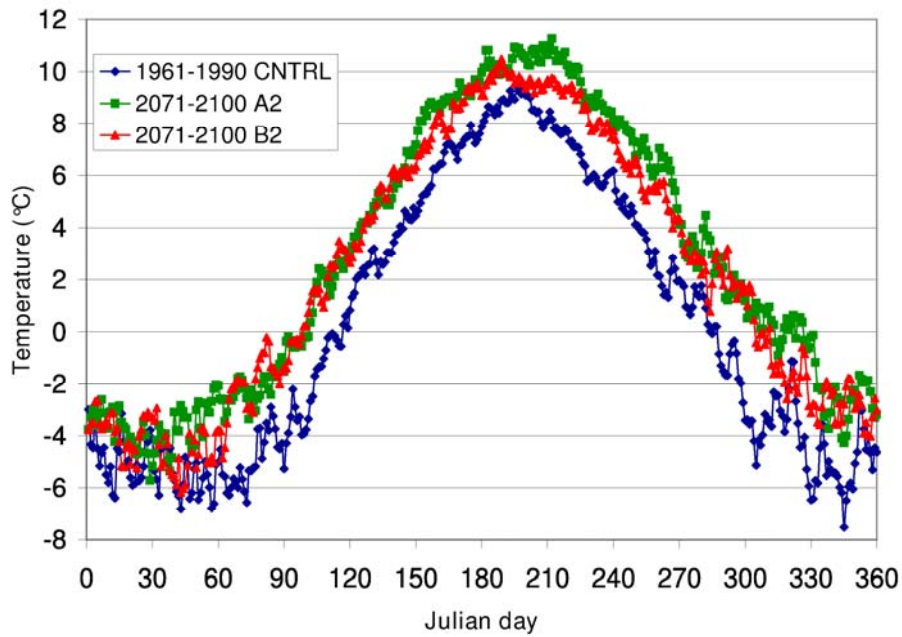


**4. mynd.** Meðalársúrkoma á Íslandi árin 1961–1990 samkvæmt hermun LT úrkomulíkansins, með 1 km víðum möskvum og jaðarskilyrðum frá endurgreiningu Reiknimiðstöðvar Evrópuveðurstofa (ECMWF).

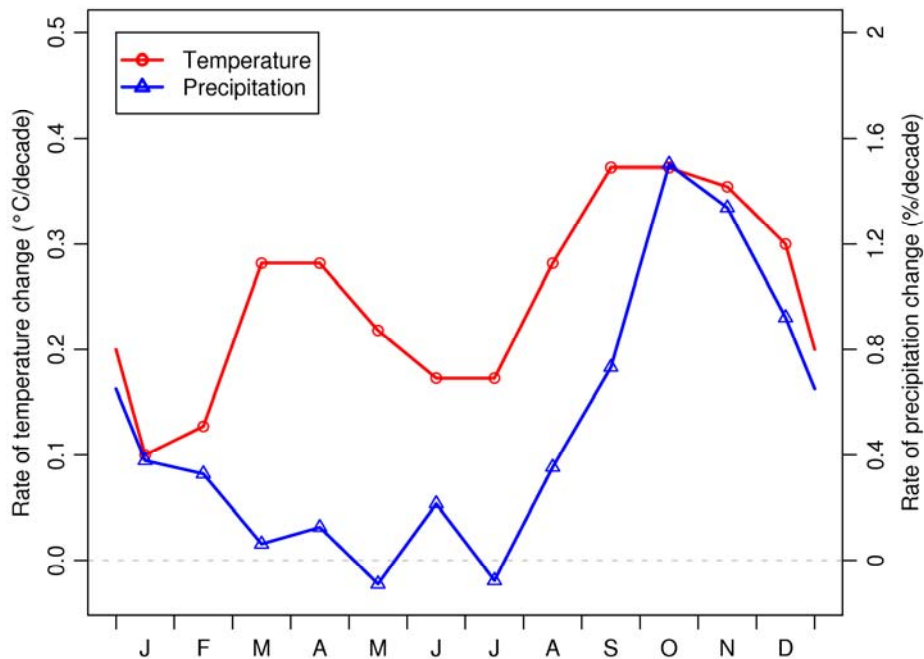




5. mynd. Meðalafrennsli af Íslandi fyrir tímabilið 1961–1990 reiknað með WaSiM líkaninu.



6. mynd. Árstíðabundnar breytingar á lofthita á Suðvesturlandi frá tímabilinu 1961–1990 til tímabilsins 2071–2100 miðað við niðurstöður HIRHAM líkans, byggt á HadAm3, sviðsmyndum A2 og B2. Gögnin miðast við tiltekinn punkt í reiknineti líkans með 50 km möskvastærð og væru í þessu tilviki sambærileg við gögn úr mælistöð á hálendinu.

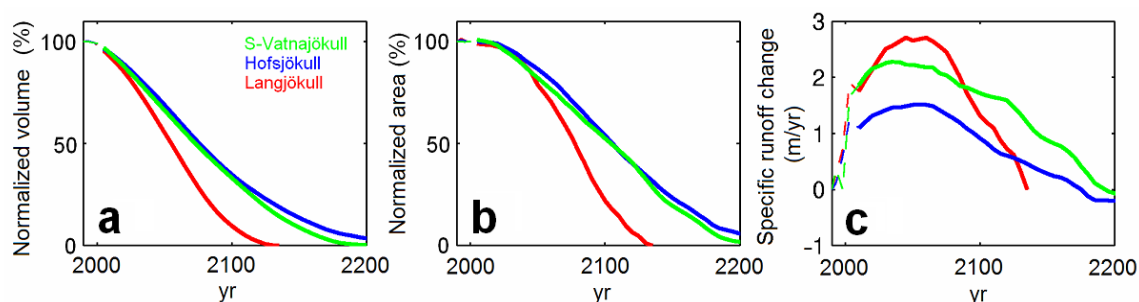


7. mynd. Loftslagssviðsmynd CE og VO verkefnanna fyrir Ísland. Sýnd er hlýnun í °C á áratug og úrkomuaukning í % á áratug milli tímabilanna 1961–1990 og 2071–2100 að meðaltali yfir landið.



## Jöklar

Áhrif jökla á umhverfi og vatnafar og mikilvægi vatnsafls í orkubúskap þjóðarinnar leiða til þess að hugsanleg hlýnun hefur hlutfallslega meiri áhrif á rennsli vatnsfalla og orkuframleiðslu hér á landi en í flestum öðrum löndum. Áhrif hlýnunar á afrennsli frá jöklum fela í fyrstu í sér aukið meðalafrennsli, svo og meira hámarksrennsli í flóðum, og verulega aukningu á dægursveiflu. Úr áhrifunum dregur eftir því sem jöklarnir hopa og jökulhulið svæði minnkar og þar kemur að heildarafrennslið verður aftur svipað og á þeim tímabilum fortíðar þegar jöklar voru í jafnvægi. Þá verða hins vegar bæði árstíðasveifla og dægursveifla mun minni en meðan áhrifa jöklanna gætti. Auk beinna áhrifa á afkomu jökla eru ýmis gagnvirk áhrif mikilvæg í tengslum við viðbrögð jökla við loftslagsbreytingum. Meðal annars kunna vatnaskil á jökli og farvegir vatns undir jökli að breytast, en það getur haft áhrif á hönnunarforsendur brúa, vega og margra annarra mannvirkja. Viðbrögð Langjökuls, Hofsjökuls og sunnanverðs Vatnajökuls voru könnuð með líkönum sem reikna afkomu og hreyfingu jökla og þau keyrð fram í tímann miðað við sviðsmyndir verkefnisins um breytingar í loftslagi.



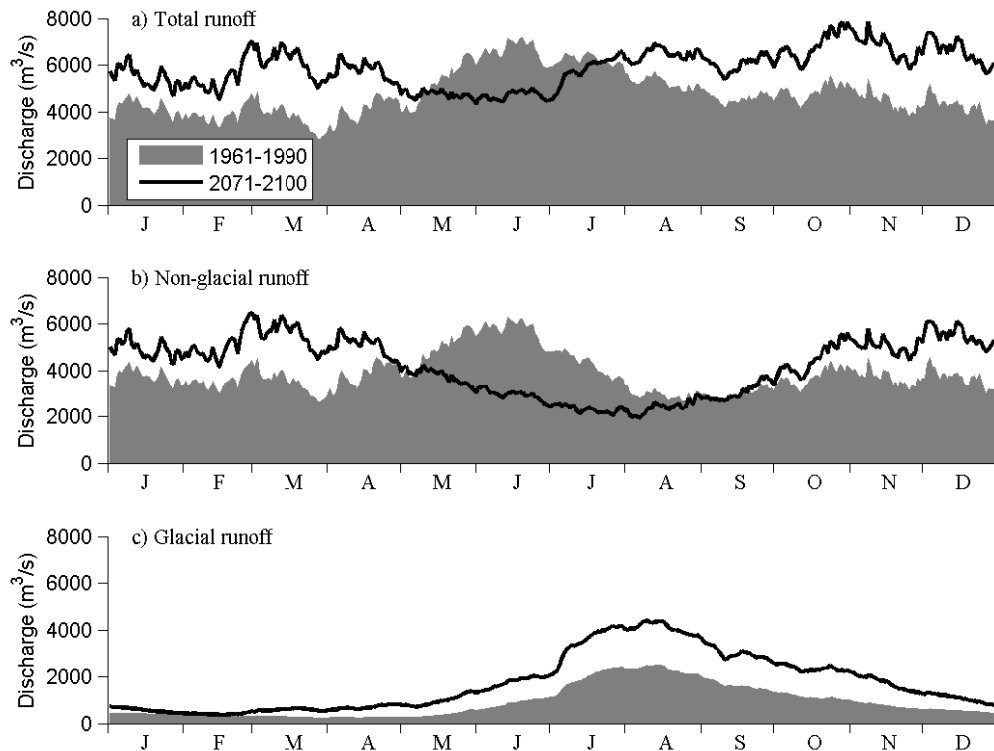
8. mynd. Reiknað rúmmál íss, flatarmál og afrennslisbreyting (frá vinstri til hægri) frá svæði sem var hulið jökli í upphafi reikninga, fyrir Langjökul, Hofsjökul og sunnanverðan Vatnajökul frá 1990 til 2200.

Á 8. mynd er sýnt hvernig rúmmál og flatarmál jöklanna minnkar og afrennsli frá þeim breytist næstu 100–200 árin. Samkvæmt reikningunum munu jöklarnir rýrna hratt og hverfa að mestu á þessum tíma. Um 2030 er því spáð að afrennslið muni hafa aukist um 1.5–2.5 m vatns á ári. Aukningin nær tiltölulega flötu hámarki milli 2025 og 2075 þegar vaxandi leysing á flatarmálsseiningu vegna hlýnunar er sem næst vegin upp af minnkandi flatarmáli jöklanna. Í öllum tilvikum er mesta afrennslisaukningin á bilinu 50–100% af núverandi afrennsli frá því svæði sem jöklarnir þekja nú.

Afrennslisaukningu íslensku jöklanna má bera saman við meðalafrennsli þeirra, sem meta má á bilinu 2.4–4.1 m vatns á ári 1981–2000, en þá er talið að margir íslenskir jöklar hafi verið nærri jafnvægi. Það hefur talsverð áhrif á niðurstöðuna að verulegur hluti hlýnunarinnar miðað við tímabilin 1961–1990 og 1981–2000 er þegar fram kominn vegna þess hve allmörg síðustu ár hafa verið hlý. Einnig skiptir máli að CE/VO sviðsmyndin fyrir Ísland gerir ráð fyrir mestri hlýnun vor og haust, en það hefur meiri áhrif á jöklaleysingu en hlýnun að vetri. Í reikningunum er gert ráð fyrir að hlýnun síðustu ára sé að nokkru leyti varanlega fram komin og því kemur afrennslisaukningin tiltölulega hratt fram. Ljóst er að jöklabreytingar eru langmikilvægasti þáttur áhrifa hugsanlegra loftslagsbreytinga í framtíðinni á vatnafar á Íslandi og líklega einn mikilvægasti þáttur breytinga á náttúrufari á landinu af þeirra völdum.

## Afrennslisbreytingar

Áhrif hlýnunar, úrkomubreytinga og breytinga á jöklum á afrennsli voru reiknuð með WaSiM líkaninu sem fyrr var nefnt og er niðurstaðan birt á 9. mynd sem sýnir breytingu milli tímabilanna 1961–1990 og 2071–2100. Afrennsli mun skv. sviðsmyndinni aukast um rúmlega 25% og vegur þar þýngst bráðnun jökla. Árstíðaskipting afrennslisins breytist jafnframt verulega þannig að vetrarrennsli eykst og hámarksrennsli ársins færir frá fyrri hluta sumars yfir á síðari hluta ársins.



**9. mynd.** Reiknaðar breytingar á afrennsli frá Íslandi vegna veðurfarsbreytinga frá 1961–1990 (fylltur ferill) til 2071–2100 (lína). a) Rennsli af öllu yfirborði Íslands, b) Rennsli af landi utan jökla, c) Rennsli frá jöklum.

## Heimildir

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 og Þorsteinn Þorsteinsson (2007). *Effect of climate change on hydrology and hydro-resources in Iceland*. Skýrsla nr. OS-2007/011, Orkustofnun, Reykjavík.