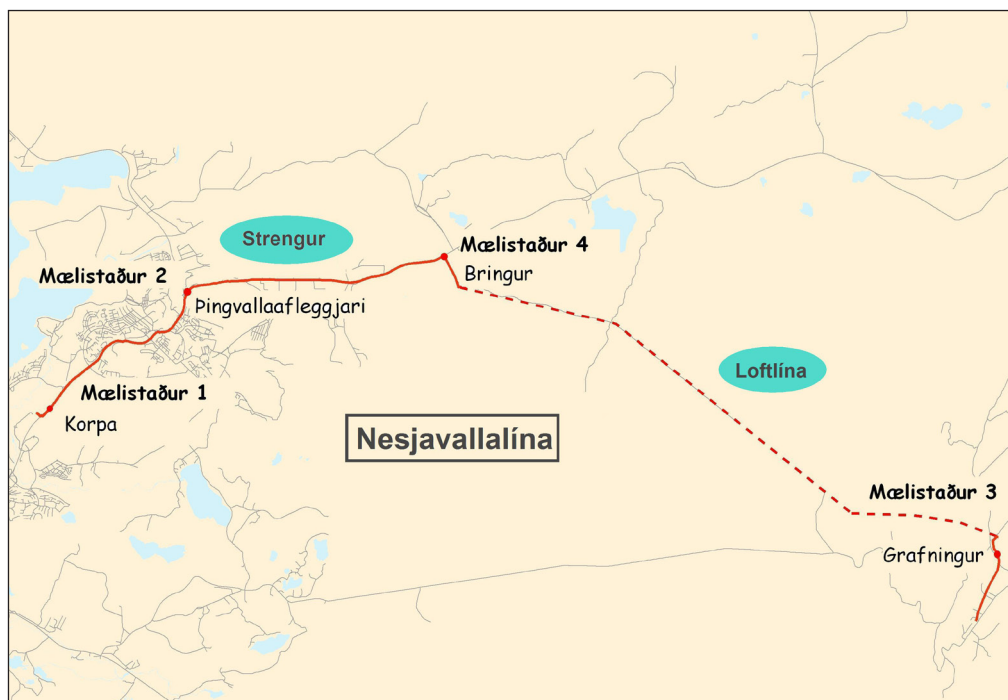


Varmalosun frá jarðstrengjum Áhrif þurrka á Nesjavallastreng



Varmalosun frá jarðstrengjum Áhrif þurrka á Nesjavallastreng

Einar Sveinbjörnsson, veðurfræðingur
Berglind Orradóttir, vistfræðingur

Verkefnið var styrkt af Umhverfis- og orkurannsóknasjóði Orkuveitu Reykjavíkur

Júní 2009

Efnisyfirlit

SAMANTEKT	2
1.1 Summary in English	2
1.2 Samandregnar niðurstöður	2
INNGANGUR	3
2.1 Bakgrunnur	3
2.2 Varmaleiðni jarðvegs	3
2.3 Vatn í jarðvegi	3
NESJAVALLASTRENGUR OG JARÐVEGUR LÍNULEIÐAR	4
3.1 Nesjavallastrengur og umhverfi hans	4
3.2 Lýsing á jarðefni umhverfis streng og eðliseiginleikar þess	5
MÆLINGAR	5
4.1 Fyrirliggjandi mælingar við jarðstreng	5
4.2 Tiltækar mælingar á lofthita og úrkomu	5
HITNUN VIÐ KÁPU STRENGS SUMARIÐ 2007	5
5.1 Ástandið sumarið 2007	5
5.2 Tilgáta um tengsl vatnsinnihalds í jarðvegi og hita við kápu strengs á Korpu sumarið 2007	6
5.3 Tilgáta um þátt úrkomu á Korpu í viðhaldi jarðvegsraka	7
HITI VIÐ STRENG - SKOÐUN Á ÖÐRUM TÍMABILUM	8
6.1 Sumarið 2005 - tengsl álags á streng og hitastigs	8
6.2 Júlí 2008 - mat á hitastigsaukningu	9
6.3 Dæmi um vetrarástand og þátt úrkomu og leysinga á Korpu	10
6.4 Reynslan frá Hamranesi 2007	10
ÚRKOMA - TÖLFRÆÐILEGUR SAMANBURÐUR OG MAT Á ENDURKOMUTÍMA	11
7.1 Hugleiðingar um þurrkatímabil og lýsing á landfræðilegri úrkomudreifingu suðvestanlands	11
7.2 Tiltækar úrkomuraðir og tengsl við mælingar á Korpu	12
7.3 Tilgáta um lengd þurrka að sumarlagi og úrkomumagn út frá ofhitnuninni sumarið 2007	13
7.4 Líkleg tilvik þurrka frá 1920 - tíðni og endurkomutími	13
7.5 Áhrif hnattrænna loftslagsbreytinga á úrkomu suðvestanlands	13
NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐUR	14
8.1 Helstu niðurstöður	14
8.2 Umræður og tillögur um betrubætur varðandi frágang háspennustrengja í jörð	15
SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR	15
HEIMILDIR	16

Samantekt

1.1 Summary in English

Thermal dissipation from underground power cables - the influence of droughts on the Nesjavellir power cable.

The 132 kV Nesjavellir power line transmits up to 125 MW from the Nesjavellir geothermal power station to the Korpa substation in Reykjavík. About half of the 30 km transmission line is underground and reaches from Bringur above Gljúfrasteinn, into the municipality of Mosfellsbær, along Vesturlandsvegur highway and into the substation Korpa. Orkuveita Reykjavíkur and Landsnet have closely observed soil temperature, soil water content and cable temperature at several locations along the Nesjavellir underground power cable. Their observations show that water content impacts the thermal conductivity of the backfill material, and hence the cooling and efficiency of the underground cable.

Dangerously high cable temperatures have been recorded during summer droughts. High temperatures may shorten the life of underground cables and increase the risk of thermal breakdown. During droughts in summer 2007, power production at Nesjavellir had to be reduced in order to avoid the risk of thermal breakdown. This highlights the importance of proper installation of power cables despite normally high precipitation and cool climate in Iceland.

The purpose of this project was to: 1) evaluate soil water measurements at several locations along the underground power cable and estimate the influence of soil, vegetation and local conditions on soil water content, 2) identify droughts that have caused dangerously rapid heating of the cable, such as the one in summer 2007, and evaluate the effect of precipitation and evapotranspiration in creation of such conditions, and 3) analyze daily precipitation measurements from Reykjavik back to 1920 to estimate the frequency of droughts of similar or more severe magnitude than occurred in 2007.

The results indicate that the water holding properties of the sand, used as backfill material around the Nesjavellir power cable, is not sufficient. When water content reaches a certain minimum during drought, the water content drops rapidly resulting in dramatic increase in thermal resistivity. During such critical conditions the cable temperature can rise 1°C per day if the load is close to its full current rating. The formation of such critical conditions depends not only on precipitation but also on site-specific conditions such as groundwater level, inflow of surface and subsurface water, soil type, surface conditions, loss of soil water with evapotranspiration and landscape. Therefore it is not easy to determine minimum precipitation amount along the power cable. We used the precipitation amount and pattern in summer 2007, when critical conditions formed at the cable, as a proxy for minimum precipitation. The relative frequency of similar or worse droughts turned out to be 16 % during the years 1920 to 2008 or having a return period of six to

seven years. Such drought periods were more frequent in the warm years from 1920 – 1965 than in the last 35 years of the twentieth century. Soil water content in winters was always sufficient to maintain good thermal dissipation.

In the near future the use of underground power cables will increase. It is vital that the backfill material and soil around cables efficiently conducts the heat, to avoid shortening cable life and reduce the probability of cable failure. Low soil water content, a result of low precipitation or droughts, is a high risk factor for low thermal conductivity. The choice of backfill material around transmission cables with regard to its water holding capacity as well as thermal properties is very important. Other factors such as height of water table, weather and landscape also need to be considered.

1.2 Samandregnar niðurstöður

Hnökrar hafa verið á flutningi raforku um Nesjavallastreng sem liggur í jörð um 15 km leið, úr Mosfellsdal ofan Gljúfrasteins í tengivirkni á Korpu. Við langvarandi þurrka getur sandur, sem er notaður til fyllingar umhverfis jarðstrenginn, farið að virka sem einangrari. Varmi frá strengnum á þá ekki greiða leið út í umhverfið með þeirri afleiðingu að strengurinn ofhitnar og sú hætta skapast að strengurinn brenni yfir.

Frá 2005 hefur verið fylgst markvisst með hita og raka við strenginn og hefur vatnsinnihald jarðvegs nokkrum sinnum orðið það lágt að aukið varmaviðnám sandsins hefur leitt til þess að hiti næst strengnum hækkar um allt að 1,0°C/ sólarhring sé flutningsálag strengsins ekki lækkað á sama tíma.

Greining úrkomugagna í Reykjavík og samanburður þeirra við úrkomumælingar á Korpu leiðir í ljós að þurrkar á borð við þá sem urðu sumarið 2007 geta komið á 6 - 7 ára fresti. Að vetrarlagi virðist vatnsinnihald jarðvegs ekki vera takmarkandi. Bæði er að haust- og vetrarúrkoma er meiri en að sumar- og vorlagi, en ekki síður munar um þátt uppgufunar og útgufunar gróðurs á vaxtartíma.

Niðurstöður þessarar rannsóknar gefa sterklega til kynna að mikilvægt er að vanda mun betur val fyllingarefnis við jarðstrengi en gert hefur verið. Þurrkar líkt og sumarið 2007 endurtaka sig með það stuttu millibili að taka verður ríkt tillit til þeirra við frágang háspennujarðstrengja og við mat á rekstraröryggi þeirra.

Inngangur

2.1 Bakgrunnur

Nesjavallastrengurinn er langmikilvægasti jarðstrengurinn í raforkuflutningskerfi Landsnets hér á landi. Rekstrar spennan hans er 132 kV og lengdin er 15 km. Aðrir jarðstrengir með sambærilega spennu eru mun styttri og auk þess nálægt spennustöðum og tengivirkjum. Orkuveita Reykjavíkur (OR) lagði strenginn og rak fram að yfirtöku Landsnets 1. janúar 2008, til samræmis við nýja skipan raforkumála.

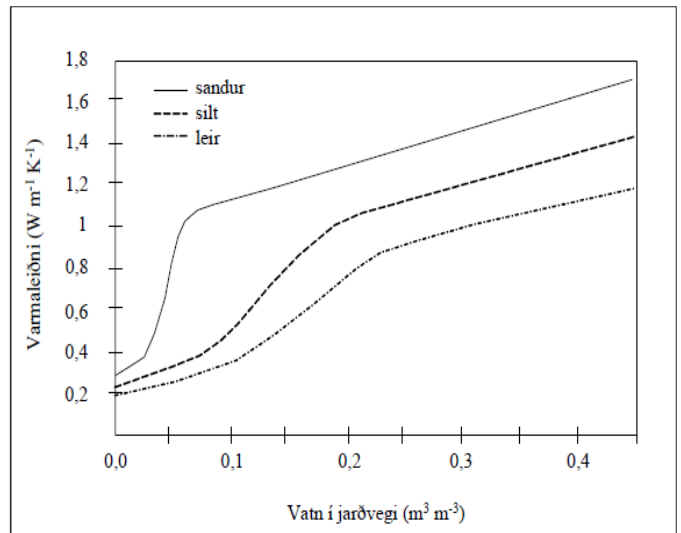
OR, og síðar Landsnet, hafa fylgst grannt með rekstraröryggi strengsins, sérstaklega frá 2005 eftir stækkun Nesjavallastöðvar. Í því skyni var komið fyrir hita- og rakanemum á nokkrum stöðum við strenginn. Erlendis hefur það gerst að jarðstrengir hafa brunnið yfir vegna ofhitunar sem rekja má til lélegrar varmaleiðni fyllingarefna og jarðvegs umhverfis. Þetta hefur gerst í kjölfar þurrktímabíla. Í sumarþurrkum árið 2007 var gripið til þess ráðs að lækka flutningsálagið á strengnum og þar með framleiðslu Nesjavallastöðvar til að koma í veg fyrir ofhitnun. Í apríl 2008 varð síðan bílun á strengnum sem leiddi til straumleysis frá 6. til 14. apríl.

Há varmaleiðni jarðvegs er grundvallaratriði í rekstraröryggi jarðstrengja svo hiti, sem strengviðnámið veldur, berist hratt úti í umhverfið. Í þessu verkefni eru skoðaðar tiltækar mælingar á jarðvegsraka við strenginn með það að markmiði að meta áhrif jarðvegsgerðar, gróðurs og staðbundinna umhverfisþátta. Þáttur úrkomu er metinn svo og upp- og útgufun úr jarðvegi. Einnig er gerð tilraun með greiningu úrkomuraða til að meta endurkomutíma þurrktímabíla að sumarlagi svipað því sem varð árið 2007.

2.2 Varmaleiðni jarðvegs

Mikilvægi jarðvegs við jarðstrengi er mikið þar sem eiginleikar hans hafa áhrif á hve auðveldlega varmi flyst frá strengnum. Varmaleiðni jarðvegs ræðst af samsetningu hans og hlutfalli bergefna, lífrænna efna, vatns og lofts. Bergefnin hafa hæsta varmaleiðni, þá vatn, lífræn efni og loft sem hefur lægstu varmaleiðnina. Varmaleiðni bergefna er nokkuð breytileg og hefur basalt til dæmis mun lægri varmaleiðni ($2,2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) en kvars ($8,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Í samanburði við bergefnin hafa lífræn efni lága varmaleiðni ($0,25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Vatn hefur mun hærri varmaleiðni en loft eða $0,59 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ samanborið við $0,025 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ við 20°C (Bristow, 2002). Loft er því óæskilegt umhverfis jarðstrengi og mikilvægt að hægt sé að þjappa jarðefninu vel. Jafnframt er lífrænt efni ekki æskilegt vegna lélegrar varmaleiðni og gildir einu hvort efnið er blautt eða þurrt.

Vegna lítillar varmaleiðni lofts hefur þurr jarðvegur yfirleitt mjög svipaða varmaleiðni, óháð gerð jarðvegsins (Bristow, 2002). Varmaleiðnin ræðst þá af loftfylltu holurými jarðvegsins. Þegar jarðvegurinn blotnar bætist vatn í holurými hans og eykst þá varmaleiðnin hratt. Eftir því sem vatnið fyllir stærra hlutfall holurýmísisins dregur úr aukningu varma leiðninnar og föstu efnin fara að stjórna varmaleiðninni



Mynd 2.1 Dæmigerð áhrif vatnsinnihalds á varmaleiðni sands, siltríks jarðvegs og leirkennds jarðvegs. Myndin er byggð á Bristow (2002).

(mynd 2.1). Varmaleiðni jarðvegs ræðst því mjög af vatnsinnihaldi hans.

2.3 Vatn í jarðvegi

Þeir þættir sem hafa áhrif á vatnsinnihald jarðvegs eru innrennsli vatns í jarðveginn, tap vatns úr jarðveginum og vatnsheldni hans. Innrennsli vatns í jarðveginn ræðst af úrkomu og hve stór hluti úrkomu sígur í jarðveginn (ísig, e. infiltration). Jafnframt berst vatn í jarðveg með innrennsli grunnvatns og með yfirborðsvatni og jarðvegsvatni af landi sem liggur hærra. Vatn tapast úr jarðvegi með útgufun plantna, uppgufun af yfirborði, flæði niður í grunnvatn og með flæði í jarðveginum undan halla og ræðst vatnstapið m.a. af því hve auðveldlega vatn flyst um jarðveginn (vatnsleiðni jarðvegs, e. hydraulic conductivity of soil) og lagskiptingu hans. Vatnsheldni jarðvegs ræðst af magni og gerð leirs og lífræns efnis.

Yfirborð jarðvegsins ræður miklu um hve auðveldlega vatn sígur ofan í hann. Gróður eykur holurými jarðvegs og hrjúfleika yfirborðs og eykur því ísig vatns í jarðveg. Í þurrkum getur gróður hins vegar valdið meira tapi vatns úr jarðvegi samanborið við gróðurlausan jarðveg vegna útgufunar gróðursins. Það á sérstaklega við þar sem gróður er mikill og rætur liggja djúpt. Jafnframt stoppar stærri hluti úrkomu á yfirborði gróskumikillar og lagskiptrar gróðurþekju samanborið við strjálán gróður. Það vatn getur gufað upp af gróðrinum og berst þá ekki í jarðveginn. Þannig getur gróðurþekja haft mikil áhrif á vatnsbúskap jarðvegsins.

Lagskipting jarðvegs hefur áhrif á flutning vatns um hann. Þannig geta t.d. gróf gjóskulög hindrað að vatn sígi niður en í staðinn flyst vatnið um jarðveginn ofan gjóskulagsins. Þessu veldur að moldin ofan gjóskulagsins togar meira í vatnið (hárpípukraftur, e. capillary force) en grófa lagið. Þegar jarðvegurinn ofan gjóskulagsins hefur mettast af vatni hættir þó gjóskulagið að hindra flæði vatns niður. Að sama skapi geta gróf lög hindrað að vatn stígi upp í jarðveg vegna skorts á hárpípukrafti. Þegar um fint lag er að ræða þá tefur lægri vatnsleiðni fína lagsins flæði vatns niður.

Mælingar á ísigi vatns í íslenskan jarðveg sýna hátt ísíg yfir vaxtartímann, en á vetrum getur klaki í jörðu dregið mjög úr eða jafnvel hindrað ísíg vatns (Orradóttir o.fl., 2008; Berglind Orradóttir og Ólafur Arnalds, 2007). Leirinn sem einkennir eldfjallajarðveg, sem er algengasta jarðvegsgerðin á Íslandi (Arnalds, 2004), veldur því einnig að vatnsleiðnin er há (Shoji o.fl., 1993). Vatn berst því greiðlega í og um jarðveginn þegar hann er ófrosinn. Jafnframt er vatnsheldni íslensks jarðvegs mikil vegna leirsins sem einkennir eldfjallajörð og háshinningslífræna efna (Kimbale o.fl., 1998; Arnalds, 2004; Jón Guðmundsson o.fl., 2006a). Tap vatns úr jarðvegi með upp- og útgufun hefur verið metið hér á landi. Markús Á. Einarsson (1972) mat gnóttargufun (hámarks upp- og útgufun, e. potential evapotranspiration) í Reykjavík út frá reiknaðri sólgeislun og veðurgögnum frá árunum 1958 - 1967. Í júní og júlí reyndist gnóttargufun vera 3,1 mm á dag en 2,3 mm á dag í ágúst. Til samanburðar var gnóttargufun innan við 0,5 mm á dag frá október og út febrúar. Jón Guðmundsson o.fl. (2006b) hafa svo metið raungufun (raunveruleg upp- og útgufun, e. actual evapotranspiration) á nokkrum landgræðslusvæðum yfir sumartímann. Notuð voru gögn í reiknilíkanið um vatnsheldni jarðvegsins og veðurgögn frá árinu 1991 og reyndist raungufun vera um 1 mm þá daga sem engin úrkoma var, en raungufun fór í nær 3 mm á úrkomudögum.

Vatnsjöfnuður jarðvegs ræðst því af mörgum þáttum sem lúta að gerð og lagskiptingu jarðvegsins, þekju á yfirborði, magni og gerð gróðurs, veðurþáttum og landslagi.

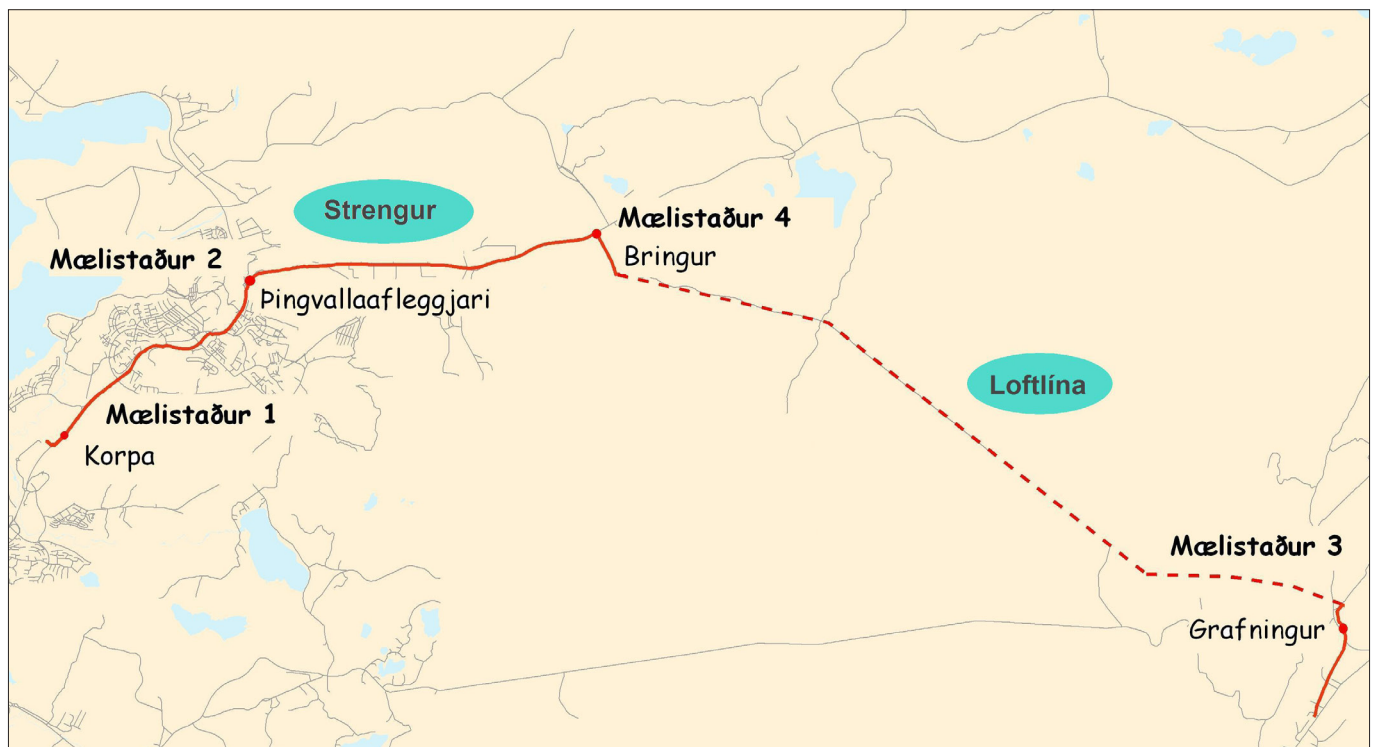
Nesjavallastrengur og jarðvegur línuleiðar

3.1 Nesjavallastrengur og umhverfi hans

Nesjavallalína flytur raforku frá gufuaflstöðinni á Nesjavöllum að tengivirkinu á Korpu. Uppsett afl Nesjavallastöðvar er 120 MW og Nesjavallalína er eina flutningsleið raforkunnar frá virkjuninni. Nesjavallalína er 30 km löng og helmingur hennar liggur í jörð eins og sýnt er á mynd 3.1. Loftlína er tekin niður við Bringur, ofan Gljúfrasteins, og liggur eftir Mosfellsdalnum að mestu samsíða Þingvallavegi og yfir ásana að gatnamótum Vesturlandsvegjar. Þaðan liggur strengurinn nærri veginum að austanverðu og fer að síðustu undir Vesturlandsveg til móts við tengivirkið á Korpu.

Strengurinn liggur að mestu meðfram þjóðveginum og því er gróðurfur nokkuð raskað. Gróðurfarið einkennist ýmist af strjálum melagróðri eða graslendi, en ofarlega í Mosfellsdalnum er land blautara og þar vaxa fífur með gróskumiklum grösom. Eftir Mosfellsdalnum liggur strengurinn undir malbikuðum göngu- og hjólastíg og meðfram stígunum er afrennslisskurður.

Samkvæmt jarðvegskorti RALA (Ólafur Arnalds og Einar Grétarsson, 2001) eru algengustu jarðvegsgerðir á línuleiðinni brúnjörð (Brown Andosol) og sambland brúnjarðar og blautjarðar (Hydric Andosol) en mójörð (Histosol) kemur einnig fyrir. Þessar jarðvegsgerðir tilheyra allar eldfjallajörð (Arnalds, 2004).



Mynd 3.1 Lega Nesjavallalínu frá aflstöð á Nesjavöllum að Korpu. Mælistaðir jarðvegshita og -raka eru sýndir sérstaklega.

3.2 Lýsing á jarðefni umhverfis streng og eðliseiginleikar þess

Við lagningu jarðstrengja eru notuð fyllingarefni umhverfis strenginn. Fyllingarefnið þarf að vera vel varmaleiðandi þannig að ekki skapist hætta á ofhitnum strengsins. Sandurinn sem notaður var sem fyllingarefni við lagningu Nesjavallastrengs samanstendur af köntuðum basaltglerkornum, en finni hluti sandsins (<0,125 mm; <10 % af sandinum) er aðallega móbergskorn (Brynhildur Magnúsdóttir og Jón Haukur Steingrímsson, 2009). Kornastærðargreining á sandinum sem verkfræðistofan EFLA gerði (Brynhildur Magnúsdóttir og Jón Haukur Steingrímsson, 2009) sýndi að sandurinn er mjög einkorna (um 60 - 70 % sandsins er 0,25 - 1,0 mm) og þjappast því illa. Það þýðir að holurými sandsins er ekki aðeins mikið heldur einnig mjög einsleitt, þ.e. af svipaðri stærð. Sandurinn heldur því litlu vatni þegar hann þornar og grunnvatn stígur lítið upp í sandinn. Sandurinn er lélegur varmaleiðari nema hann innihaldi nokkuð vatn og virkar sem einangrari þegar hann er þurr eins og mælingar EFLU sýna (Brynhildur Magnúsdóttir og Jón Haukur Steingrímsson, 2009).

Búast má við að vatn berist ekki eins greiðlega og kostur væri niður í sandinn sem umlykur strenginn. Yfir sandinum eru steinsteypar hlífðarhellur og þar fyrir ofan mold. Það eru því skörp skil í kornastærð milli sandsins og moldarinnar sem geta tafið vatnssig niður í sandinn. Hlífðarhellurnar geta jafnframt tafið sig vatnsins niður að strengnum og sveigt það af leið. Þar sem malbikaður hjóla- og göngustígur er á yfirborði bætist við enn ein hindrunin á vatnsflæði niður í jarðveginn.

Mælingar

4.1 Fyrirliggjandi mælingar við jarðstreng

Orkuveita Reykjavíkur og Landsnet hafa mælt bæði jarðvegshita og vatnsinnihald jarðvegs á fjórum stöðum við Nesjavallastreng undanfarin ár: 1) Ofan Vesturlandsvegur við tengivirkið á Korpu, 2) við vegamót Vesturlands- og Þingvallavegar, 3) við vegamót Nesjavalla- og Grafningsvegur og 4) við Þingvallaveg til móts við Bringur en nemarnir frá vegamótum Vesturlands- og Þingvallavegar voru fluttir þangað í maí 2007 (mynd 3.1) (Guðleifur M. Kristmundsson, 2007). Mælingar á jarðvegshita hófust í mars 2004 en mælingar á vatnsinnihaldi jarðvegs hófust í maí 2006.

Nemunum var komið fyrir í þversniði skurðar við strenginn. Á hvern stað voru settir fjórir hitanemar og tveir nemar sem mæla vatnsinnihald. Hitanemarnir voru settir um 20 sm undir yfirborðið, rétt ofan og neðan við hlífðarhelluna og sá fjórði límdur á hlífðarkápu strengsins. Nemar sem mæla vatnsinnihald voru settir um 20 sm undir yfirborði jarðvegsins og annar í mold ofan við hlífðarhellu (Guðleifur M. Kristmundsson starfsmaður Orkuveitu Reykjavíkur, munnl. uppl.). Nemarnir eru látnir mæla á 5 mínútna fresti en hér eru aðeins notuð 60 mínútna meðaltöl.

Við mælingar á vatnsinnihaldi jarðvegsins hafa verið

notaðir siritandi nemar (EC-20 nemar frá Decagon Devices) sem ákvarða rúmmálsprósentu vatns í jarðvegi (Starr og Paltineanu, 2002). Nemarnir mæla aðeins vatn á vökvaformi og gefa því ekki rétta mynd af vatnsinnihaldi jarðvegs þegar klaki er í jörð á vetrum. Nemarnir mæla frá 0 % vatnsinnihaldi til mettunarmarks jarðvegs, en við mettunarmark er allt holurými jarðvegsins vatnsfyllt. Nákvæmni nemanna er ± 4 % þegar kvörðun frá framleiðanda er notuð og nemana má nota upp að 50°C.

Á Korpu hefur gögnum um vatnsinnihald jarðvegsins verið safnað nokkuð samfelld frá 12. maí 2006 til dagsins í dag, en mælistaðurinn er sérlega hentugur vegna nálægðar við veðurathuganir sem gerðar eru nærri tengivirkinu á Korpu. Frá Þingvallaaflægjara eru til gögn fyrir tímabilið 24. maí 2006 til 11. apríl 2007, en þann 15. maí 2007 voru þeir nemar fluttir að Þingvallavegi til móts við Bringur eins og áður sagði og þar var gögnum safnað til 13. september 2007. Frá Nesjavöllum eru til nokkuð samfelld gögn fyrir tímabilið 12. maí 2006 til 14. nóvember 2007. Hafa verður í huga þegar mælingar frá þessum stöðum eru bornar saman að nemarnir voru ekki kvarðaðir sérstaklega fyrir jarðveginn á hverjum stað.

Vorið 2008 var mælistöðum fjölgað um átta. Nýju stöðvarnar eru á milli mælistaðanna við Korpu og Bringur. Þar er fylgst með hitastigi við kápu strengsins.

4.2 Tiltækar mælingar á lofthita og úrkomu

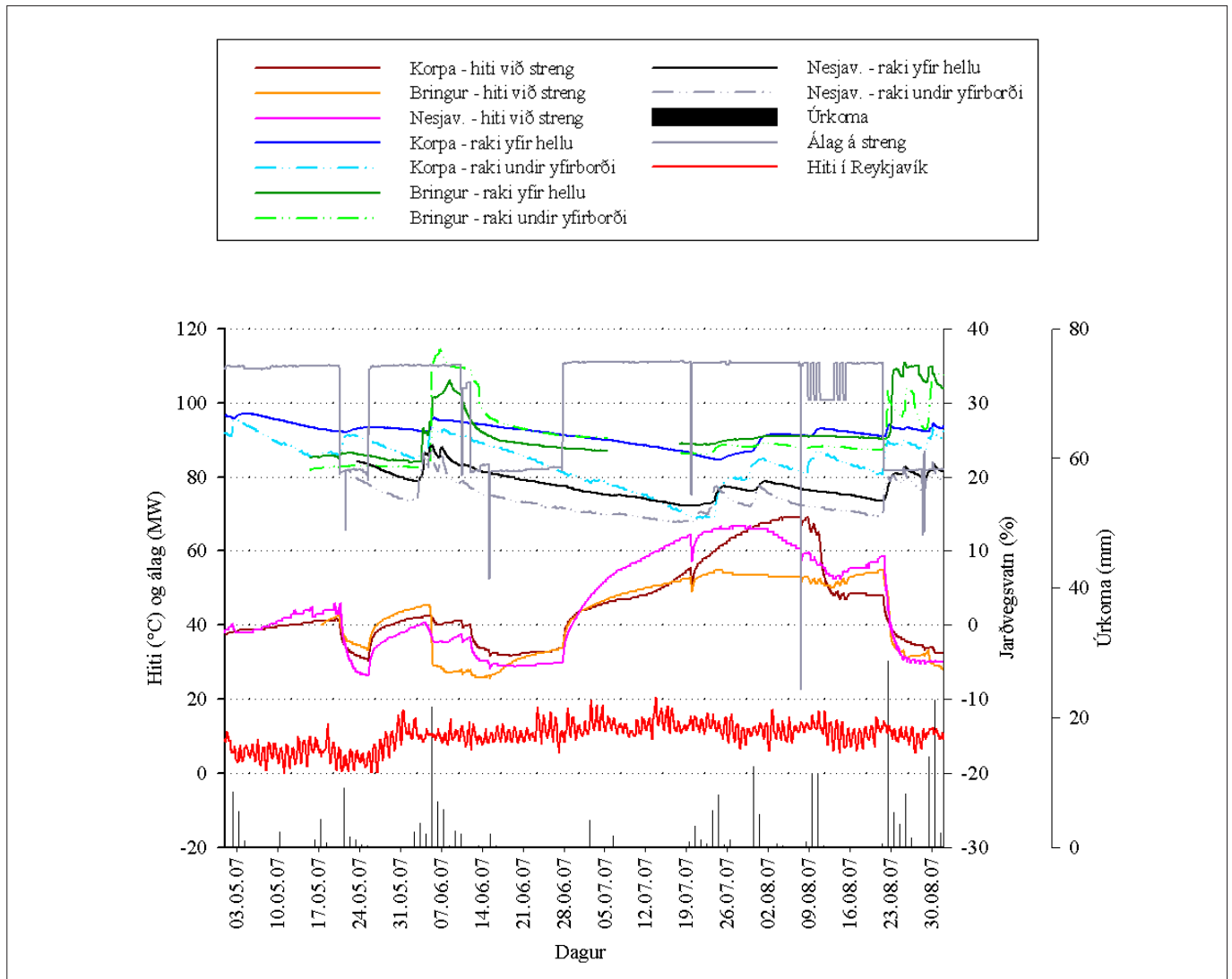
Áreiðanlegar veðurmælingar eru aðgengilegar til samanburðar við hita- og rakamælingar við strenginn. Fyrst er að nefna sjálfvirka veðurstöð á Korpu, þar sem mælingar eru gerðar m.a. á lofthita og úrkomu. Jafnframt er sólarhringsúrcoma þar mæld handvirkt. Þá eru gerðar daglegar mælingar á úrkomu á Nesjavöllum. Við athugun á endurkomutíma úrkomu og skoðun á sambærilegum þurrkum og áttu sér stað sumarið 2007 er nærtækt að líta til úrkomumælinga sem gerðar hafa verið á vegum Veðurstofu Íslands í Reykjavík samfelld frá árinu 1920 (Trausti Jónsson, 2003). Nálægð mælistaða á Korpu og Reykjavík gerir samanburð og brúun gagnaraða tiltölulega einfalda.

Nánar er fjallað um veðurmælingar og breytileika úrkomu suðvestanlands í kafla 7.

Hitnun við kápu strengs sumarið 2007

5.1 Ástandið sumarið 2007

Sumarið 2007 var afar þurr suðvestanlands fram yfir miðjan ágúst. Þannig var samanlögð mæld úrkoma á Korpu 74 mm frá 10. júní til 20. ágúst. Sú úrkoma samsvarar rétt um 1 mm á sólarhring. Vatnsinnihald jarðvegsins féll hægt á öllum þremur mælistöðunum frá því fyrir miðjan júní og þar til í lok júlí og hitanemar á kápu strengsins sýndu stöðugt hækkandi hitastig á sama tímabili (mynd 5.1). Álagið á Nesjavallalínu var fullt framan af júnímánuði eða 110 MW, en var lækkað 12. júní í um 80 MW. Svo hélst til 27. júní er álagið var aftur hækkað í um 110 MW. Við álagsaukninguna



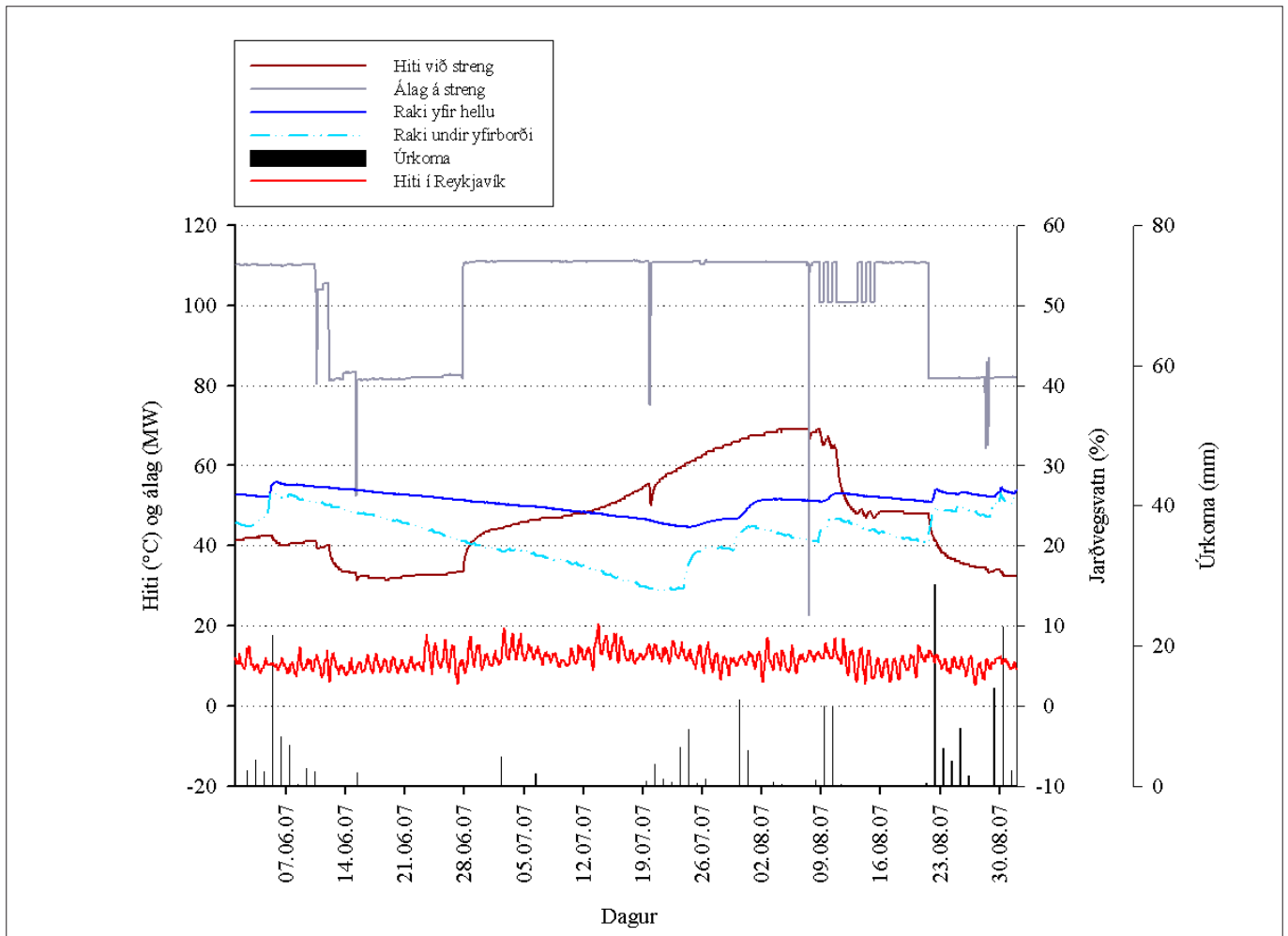
Mynd 5.1 Hiti (°C) við kápu Nesjavallastrengs og vatn í jarðvegi (rúmmáls %) ofan hlífðarhellu og um 20 sm neðan yfirborðs á Korpu, við Bringur og við vegamót Nesjavalla- og Grafningsvegur í maí til ágúst 2007. Jafnframt er sýndur lofthiti (°C) í Reykjavík, sólarhringsúrkomu (mm; mannaðar mælingar) á Korpu og álag (MW) á Nesjavallastreng á sama tímabili.

hækkaði hitastig við kápu strengsins en næstu daga hægði á hitaaukninguni þó mun hægar við vegamót Nesjavalla- og Grafningsvegur en á hinum tveimur mælistöðunum (mynd 5.1). Hæst fór hiti við kápu strengsins í 67°C dagana 26. - 29. júlí við vegamót Nesjavalla- og Grafningsvegur og í 69°C á Korpu 3. - 7. ágúst. Þá var rekstraradilum hætt að litast á blikuna og þann 8. ágúst var ákveðið að lækka álag strengsins um 10 MW fyrst um nætur en síðan alla helgina 11. - 12. ágúst (Guðleifur M. Kristmundsson, 2007). Í lok júlí og byrjun ágúst rigndi nokkuð og féll hiti við strenginn, en þó ekki samtímis á mælistöðunum þremur. Úrkoman 23. og 24. júlí, sem mældist 13,7 mm á Korpu, jók vatn í jarðvegi yfir hellu á öllum þremur stöðunum (mynd 5.1) en hiti við strenginn lækkaði aðeins við Bringur. Við Nesjavallaveg dró úr hækun hitans en það var ekki fyrr en eftir úrkomuna 30. og 31. júlí (17,5 mm á Korpu) sem hitinn lækkaði þar. Á Korpu dró úr hitahækkuninni eftir úrkomuna í lok júlí en hitinn lækkaði ekki fyrr en eftir að dregið var úr álagi og í kjölfar úrkomunnar 9. og 10. ágúst (22,6 mm). Staðbundnir þættir hafa því greinilega áhrif á hitasveiflur við strenginn, þó nokkurt samræmi sé á hita- og rakasveiflum á mælistöðunum þremur (mynd 5.1). Þannig virðist til dæmis innrennsli vatns í jarðveginn vera mun háðara úrkomu á Korpu og við Nesjavallaveg en við Bringur.

5.2 Tilgáta um tengsl vatnsinnihalds í jarðvegi og hita við kápu strengs á Korpu sumarið 2007

Mælistaðurinn á Korpu er sérlega hentugur vegna nálægðar við veðurathuganir sem gerðar eru nærri tengivirkinu á Korpu. Gögnin frá Korpu eru því skoðuð sérstaklega.

Hitanemi á kápu strengsins við Korpu sýndi hækkanði hitastig frá því í lok júní og fram að lækkuðu álagi á línunni 8. ágúst og úrkomu 9. og 10. ágúst. Á þessu tímabili var hitaaukningin ekki jöfn heldur hækkaði hitinn hægar fyrri hluta tímabilsins en á síðari hlutanum (mynd 5.2). Frá 29. júní til 14. júlí nam hitahækkunin um 0,5°C/dag, en frá þeim degi og til loka mánaðarins hækkaði hitinn að jafnaði um 1,0°C/dag. Hallatölur hitaaukningarinnar á þessum tveimur tímabilum skerast um 14. júlí en þá var vatnsinnihald í mold yfir hellu komið niður í 24%. Við þetta rakastig yfir hellunni tekur hiti við streng að hækka hraðar en áður. Rakastigið í sandinum umhverfis strenginn virðist þarna ná kritísku lágmarki eða nokkurs konar markgildi sem veldur því að varmaviðnám sandsins eykst mjög hratt og hiti við hlífðarkápu tekur að hækka það hratt að tala má um hitagos. Við þetta markgildi rakastigs berst ekki lengur



Mynd 5.2 Hiti (°C) við kápu Nesjavallastrengs og vatn í jarðvegi (rúmmáls %) ofan hlífðarhellsu og um 20 sm neðan yfirborðs á Korpu í júní, júlí og ágúst 2007. Jafnframt er sýndur loftþiti (°C) í Reykjavík, sólarhringsúrskoma (mm; mannaðar mælingar) á Korpu og álag (MW) á Nesjavallastreng á sama tímabili.

vatn á vökvaformi um holurými sandsins til að bæta upp vatnstapið sem hitinn frá jarðstrengnum veldur. Vatn berst því aðeins um sandinn á gufuformi, en það er afar hægfara ferli. Sandurinn þornar því enn frekar sem eykur viðnámið og stuðlar að frekari hækkun hitans. Mynd 2.1 sýnir vel hvernig þetta gerist, þ.e. hvernig varmaleiðni í sandi snöggglækkar þegar raki fer niður fyrir ákveðið lágmark.

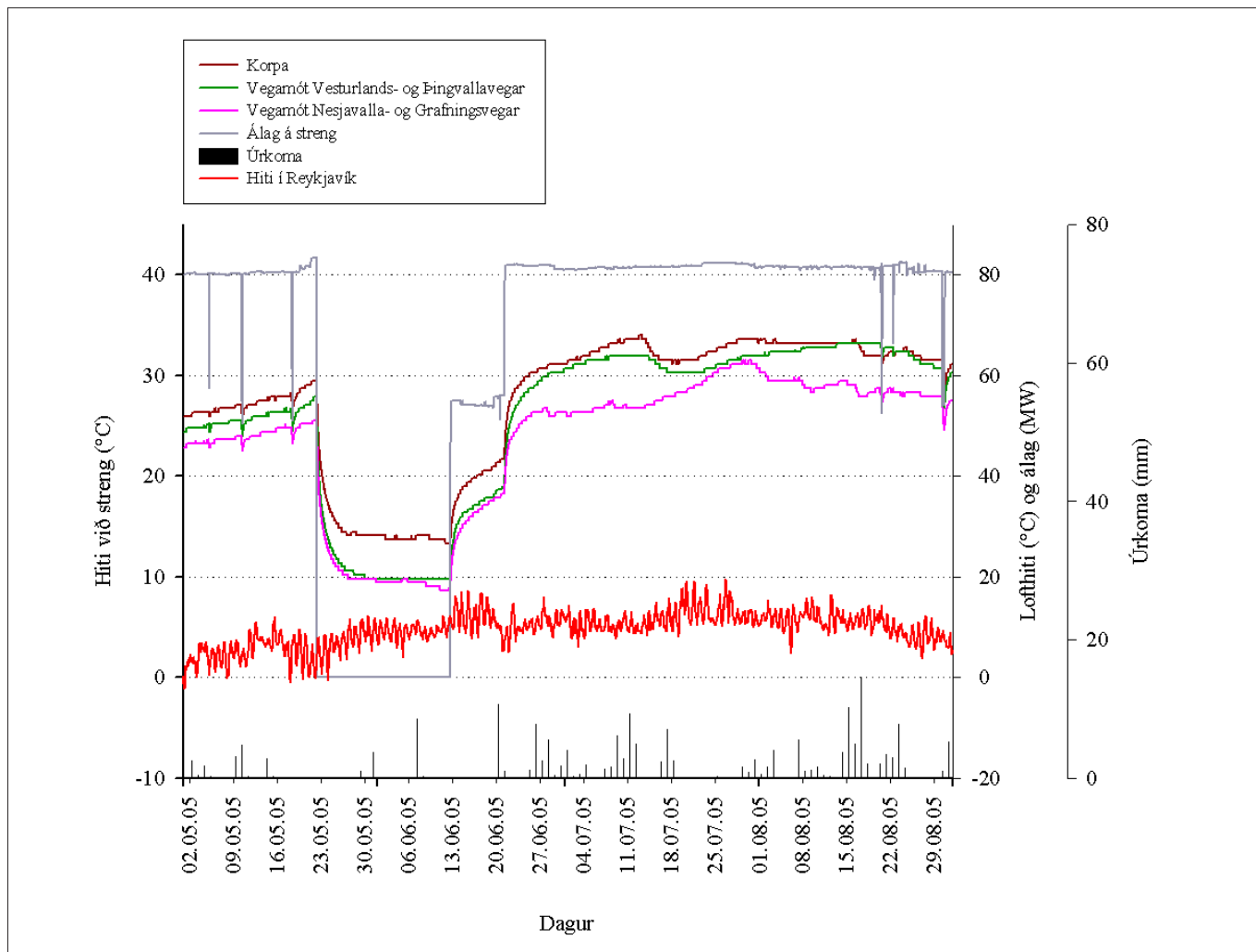
Þegar hitastigsaukningin jókst þann 14. júlí hafði verið mjög þurr í fimm vikur eða frá 8. júní til 14. júlí, en á því tímabili mældist úrkoma aðeins 13,5 mm á Korpu, eða um 0,36 mm hvern dag að meðaltali. Nokkur úrkoma mældist frá 19. til 26. júlí, en það var ekki fyrr en eftir 12,4 mm og 5,1 mm úrkomu dagana 30. og 31. júlí sem raki yfir hellu fór aftur í 25 % og við það dró úr þeirri öru hitahækkun sem hafði verið linnulaus frá því um miðjan mánuðinn, eða í um 18 daga.

Hiti við strenginn varð nokkuð stöðugur þegar raki yfir hellu fór í um 26 %, en hitinn lækkaði þó ekki fyrr en álag á strenginn var lækkað. Taka verður fram að líklega hefði þetta lágmarks rakastig myndast fyrr ef álagið á strengnum hefði verið 110 MW í upphafi þurr tímabilsins, en þegar álagið var hækkað 27. júní höfðu um 20 dagar liðið frá því einhver úrkoma féll að ráði. Jafnframt er ljóst að ekki er hægt að heimfæra 24 % markrakastigið í jarðvegi yfir hellu á Korpu á hina staðina eins og sést glögg á mynd 5.1.

Hvernig úrkomuvatn skilar sér niður í sandlagið er háð jarðvegsgerðinni, skilum milli jarðvegs og sandlags, gróðurfari og landslagi á viðkomandi stað eins og komið hefur fram. Markrakastig í jarðvegi yfir hellu getur því verið nokkuð mismunandi milli mælistaða. Ef vatn í sandinum umhverfis strenginn hefði aftur á móti verið mælt, hefðu fengist upplýsingar um hvert markrakastigið er sem veldur hitagosi. Það rakastig ætti þá að gilda um viðkomandi fyllingarefni, að því gefnu að efninu hafi verið þjappað eins umhverfis allan strenginn.

5.3 Tilgáta um þátt úrkomu á Korpu í viðhaldi jarðvegsraka

Sú litla úrkoma sem mældist á Korpu í júní og júlí 2007 dugði engan veginn til að viðhalda raka í jarðveginum. Samkvæmt Markúsi Á. Einarssyni (1972) og Jóni Guðmundssyni o.fl. (2006b) er upp- og útgufun yfir sumarmánuðina á bilinu 1 mm á þurrum dögum til 3 mm þá daga þegar vatn er lítt takmarkandi. Þar sem jarðvegur á landgræðslusvæðunum þar sem raungufun var metin (Jón Guðmundsson o.fl., 2006b) er grófari en á Korpu, þá má búast við hærri raungufun á Korpu á þurrum dögum eða e.t.v. nærri 2 mm á dag. Við gerum því ráð fyrir að um 2 - 3 mm sólarhringsúrskoma bæti engum raka við jarðveginn heldur vegi aðeins upp daglegt tap með upp- og útgufun.



Mynd 6.1 Hiti (°C) við kápu Nesjavallastrengs á Korpu, við vegamót Vesturlands- og Þingvallavegar, og vegamót Nesjavalla- og Grafningsvegar í maí til ágúst 2005. Jafnframt er sýndur lofthiti (°C) í Reykjavík, sólarhringsúrkoma (mm; mannaðar mælingar) á Korpu og álag (MW) á Nesjavallastreng á sama tímabili. Staðsetningu mælistaðanna má sjá á mynd 3.1.

Í þurrkum leitar vatn í neðri jarðvegslögum upp í þurrari yfirborðsjarðveginn þar sem vatnstapið er mest. Við langvarandi þurrka geta efstu lög jarðvegsins því orðið mjög þurr og nokkuð mikla úrkoma getur þurft til að vatn nái niður í neðri jarðvegslögin. Krítískar aðstæður geta því myndast líkt og gerðist á Korpu sumarið 2007. Hvort slíkar aðstæður myndast ræðst þó ekki aðeins af veðurfari heldur einnig af náttúrulegum umhverfisáðstæðum svo sem grunnvatnsstöðu og aðrennsli vatns frá landi sem liggur hærra.

Hiti við streng - skoðun á öðrum tímabilum

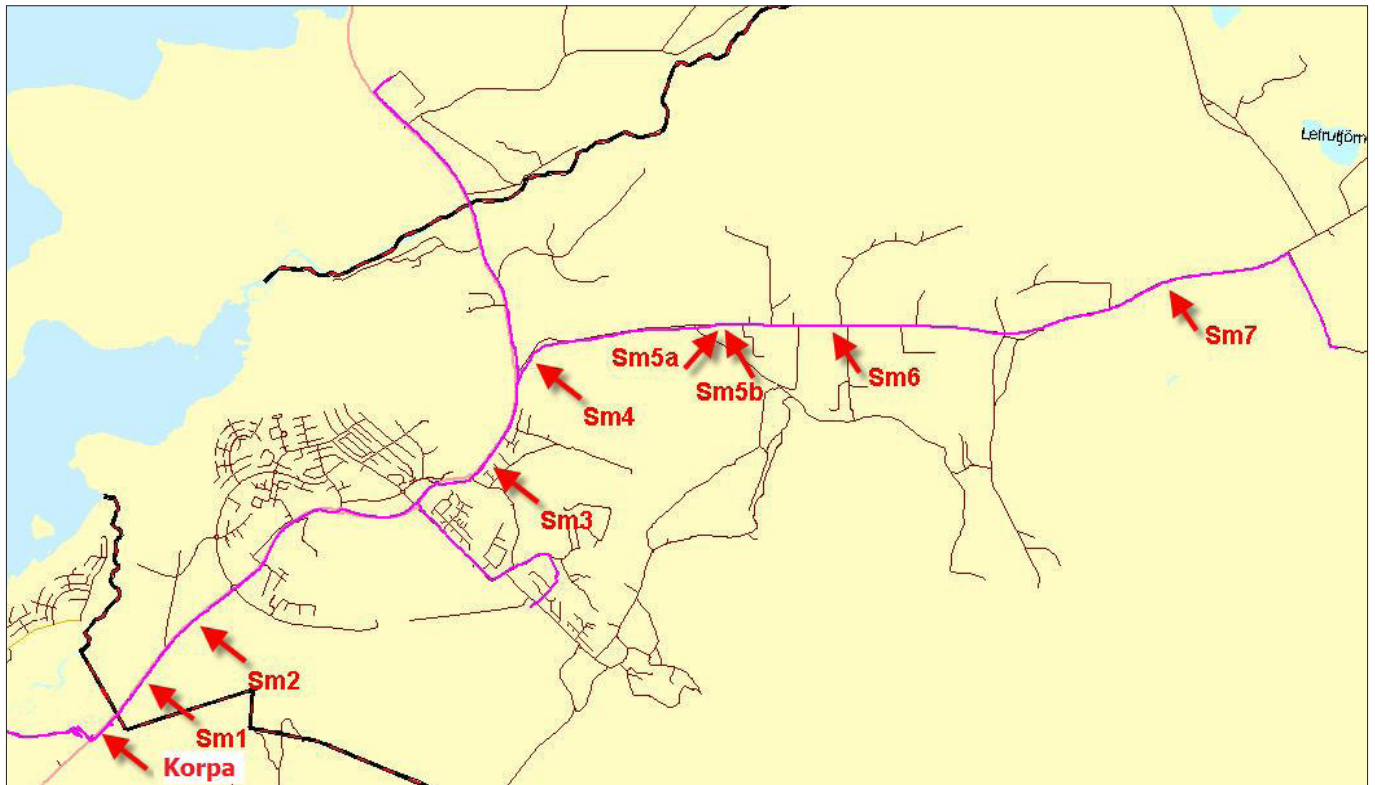
6.1 Sumarið 2005 - tengsl álags á streng og hitastigs

Framan af sumrinu 2005 var þurrt í veðri. Hitastig við strenginn fór smám saman hækkandi í maí á öllum þremur mælistöðvunum sem sýndar eru á mynd 6.1, alveg þar til Nesjavallastöð var tekin niður 21. maí. Stöðin var ekki í rekstri næstu þrjár vikurnar eða til 12. júní, en þá daga mátti vænta hitagoss vegna þurrðar. Síðari hluti sumarsins var fremur vætusamur og hitastig við kápu strengsins hélst nálægt

30°C. Seint þetta haust var afl Nesjavallastöðvar aukið og þar með álag strengsins úr 80 MW í rétt tæp 110 MW.

Áhugavert er að bera saman hitann við strenginn eftir því sem álag hans breytist á þeim tímum sem gnótt jarðvatns virðist vera nægjanleg til að leiða varmann áfram út í umhverfið. Mælingar síðari hlutann í júlí og ágúst 2005 gefa til kynna að við 80 MW álag virðist jafnvæghiti vera um 30°C eins og áður er getið. Mælingar að vetrinum við sama álag sýna að sambærilegt jafnvægi er við 23°C eða svo (gögn ekki sýnd). Eftir að aflið var aukið í 110 MW hækkaði jafnvæghitinn og var hann um 45°C sumarið 2006, þann tíma sem úrkoma var næg s.s. í júlí og framan af ágúst (gögn ekki sýnd). Við 110 MW álag er hitinn um 37°C að vetrinum. Á sumrin hækkar því jafnvæghitinn um 15°C við hækkað álag strengsins úr 80 í 110 MW. Á veturna er hitastigullinn við aukið álag svipaður. Þetta segir að gera megí ráð fyrir að hiti við kápu strengsins hækki um 0,5°C fyrir hvert MW í aukið álag, að því gefnu að jarðvegsraki sé nægur.

Flutningsgeta Nesjavallastrengs er á bilinu 115 - 125 MW, háð aðstæðum hverju sinni, en eftir að fjórða vél Nesjavallastöðvar var tekin í notkun haustið 2005 þjónar virkjunin föstu álagi eða því sem næst 108 MW (Guðleifur M. Kristmundsson, 2007). Væru afköst Nesjavallastrengs fullnýtt í 120 MW mætti gera ráð fyrir að væntigildi hita við



Mynd 6.2 Nýir mælistaðir hita við kápu Nesjavallastrengs sumarið 2008: Sm1 - Sm7. Eldri mælistaður við Korpu er einnig sýndur.

kápu strengsins að sumarlagi væri um 50°C. Er þá miðað við bestu aðstæður jarðvegsraka í umhverfinu. Þá er notast við þá einföldun að varmaleiðnin og þar með hiti við strenginn vaxi línulega með auknu álagi flutnings. Auðvelt er að gera sér í hugarlund, hve lítið þyrfti út af að bregða hvað varðar úrkomu og þurrk ef flutningsgeta strengsins væri fullnýtt og miðað við núverandi frágang umhverfis strenginn.

6.2 Júlí 2008 - mat á hitastigsaukningu

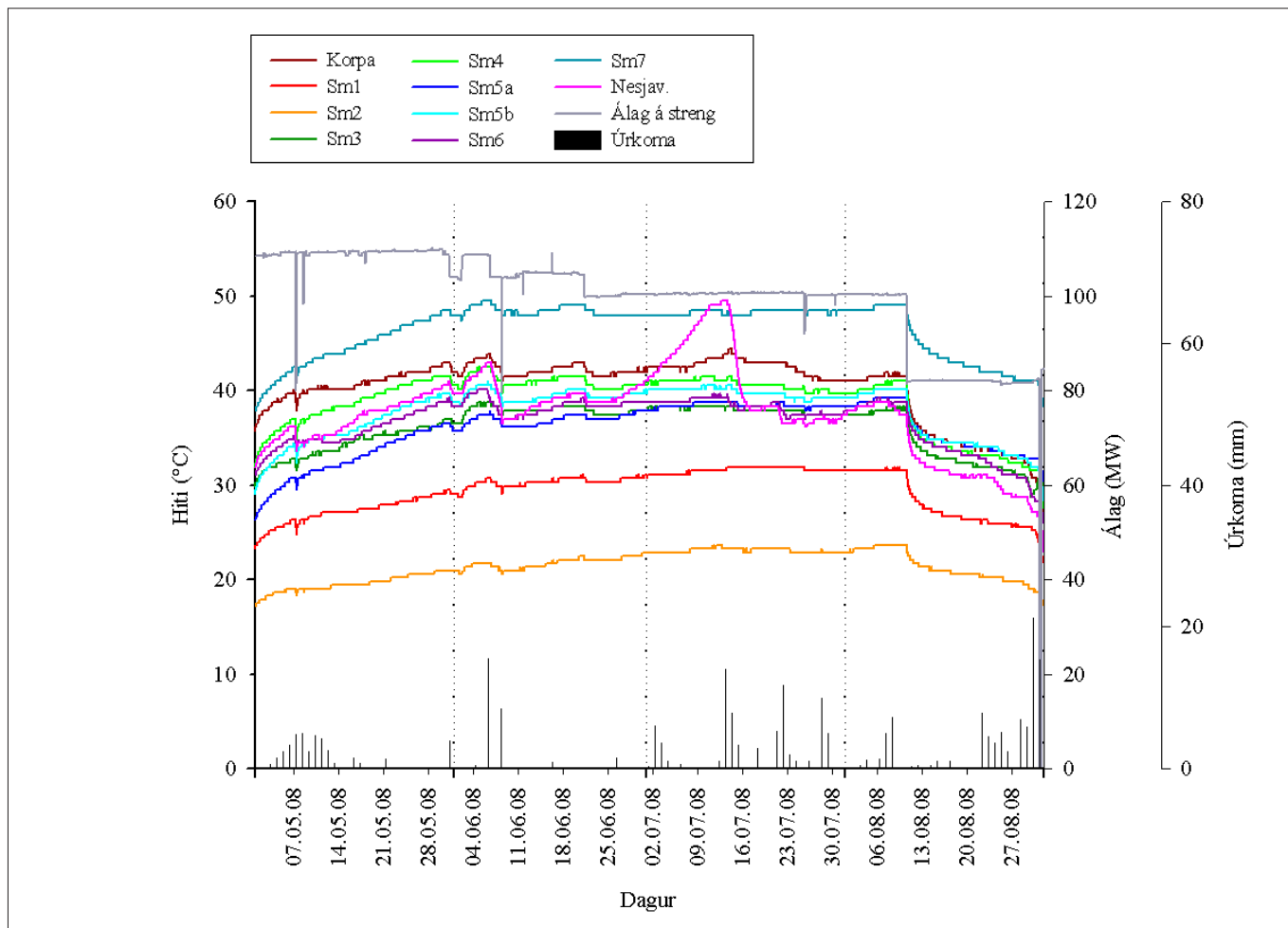
Vorið 2008 var átta nýjum mælistöðum bætt við, þar sem fylgst er með hitastigi við kápu strengsins (mynd 6.2). Af þessum mælistöðum var áberandi lágur hiti á Sm1 og Sm2 og áberandi hár hiti á Sm7 sumarið 2008 (mynd 6.3).

Mælistaðirnir Sm1, Sm2 og Korpa eru allir undir hlíðum Úlfarsfells og að þeim sígur vatn úr hlíðum fellsins. Þrátt fyrir það mældist mikill munur á hita við strenginn á þessum þremur stöðum (mynd 6.3). Hitinn var lægstur við mælistaðinn Sm2 en þar er land greinilega blautara en á hinum stöðunum. Nærri mælistöðum Sm1 og Korpu er vatn ræst fram undir Vesturlandsveg og veldur því líklega að þar er land þurrara og hiti við streng hærri. Áhrif framræslu á vatnsinnihald jarðvegs voru greinileg á Korpu sumarið 2006 (gögn ekki sýnd) en þá vann Vegagerðin við lagfæringar ofan Vesturlandsveg að lokinni tvöföldun vegarins og þurfti m.a. að þurrka svæðið og ræsa fram (Jóhann J. Bergmann starfsmaður Vegagerðarinnar, munnl. uppl.).

Á mælistaðnum Sm7 liggur strengurinn óvenju djúpt (á um 150 sm), en það á einnig við um mælistaðina Sm5a og Sm5b þar sem hiti við streng mældist mun lægri en á Sm7 (mynd 6.3). Samkvæmt úttekt verkfræðistofunnar EFLU í apríl 2008 stóð grunnvatn hærra á Sm7 en á Sm5a og Sm5b (Brynhildur Magnúsdóttir og Jón Haukur

Steingrímsson, 2009) sem er öfugt við það sem búast hefði mátt við af hitatölum að dæma. Þó verður að hafa í huga að grunnvatnsstaða getur sveiflast nokkuð eftir árstíma.

Á mynd 6.3 má einnig sjá hita við streng við vegamót Nesjavalla- og Grafningsvegur, en þar hækkaði hiti ört fyrri hlutann í júlí sem ekki sést á öðrum mælistöðum. Við skoðun á úrkomumælingum á Nesjavöllum kemur í ljós að fyrstu vikuna í júní rigndi hressilega (23,7 mm þann 6. og 21,4 mm þann 8. júní). Eftir 18. júní kom þurrkakafli sem stóð til 12. júlí. Aðeins rigndi minniháttar fjórum sinnum. Hitagosið má skýra með þverrandi jarðvegsraka og tímasetning þess kemur heim og saman við úrkomuþurrðina. Hækkun hitans jafngildir um 0,65°C/sólarhring til 12. júlí en þann dag rigndi mikið (26 mm) á Nesjavöllum og hiti við kápuna féll strax í kjölfarið. Það skýtur hins vegar skökku við að hitagosið skuli eingöngu koma fram á Nesjavöllum en ekki öðrum mælistöðum. Þannig er úrkoma á Nesjavöllum sambærileg úrkomu á Korpu. Að kvöldi 1. júlí gerði reyndar skúradambu á Korpu (6 mm), en úrkoma mældist ekki í grenndinni. Rakaneminn á 20 sm dýpi svaraði ágætlega úrkomunni, en hún var ekki næg til að hafa áhrif á jarðvegsrakann dýpra þ.e. ofan hlífðarhellunnar (ekki sýnt). Það að sambærilegt hitagos varð ekki á öðrum stöðum, t.d. við Korpu á líkan hátt og í júlí 2007, gæti skýrst af minna álagi á strengnum (um 100 MW í stað 110 MW). Jafnframt má benda á að í júlí 2007 óx hiti við vegamót Nesjavalla- og Grafningsvegur mun hraðar en á Korpu (mynd 5.1). Þannig virðast umhverfisaðstæður við Nesjavallaveg valda því að vatnspurrð verði fyrir við strenginn, en jafnframt hafi úrkoma fyrr áhrif samanborið við Korpu.



Mynd 6.3 Hiti (°C) við kápu Nesjavallastrengs á tíu mælistöðum frá maí til ágúst 2008. Jafnframt er sýnd sólarhringsúrkomu (mm; mannaðar mælingar) á Korpu og álag (MW) á Nesjavallastreng á sama tímabili. Staðsetningu mælistaðanna má sjá á mynd 3.1 (Korpa og vegamót Nesjavalla- og Grafningsvegur) og 6.2 (Sm1 - Sm7).

6.3 Dæmi um vetrarástand og þátt úrkomu og leysinga á Korpu

Frá hausti til vors veturna 2006 til 2007 og 2007 til 2008 var vatnsinnihald jarðvegs yfir hellu aldrei takmarkandi og hiti við streng fór lítið yfir 40°C á Korpu. Samanborið við sumrin þá hélt raki yfir hellu hár. Jarðvegurinn mettaðist nokkrum sinnum yfir veturinn, en það gerðist aldrei yfir sumartímann. Þegar jarðvegur er mettaður er allt holurými hans vatnsfyllt og ræðst vatnsinnihald jarðvegsins við metnun af heildar holurými hans.

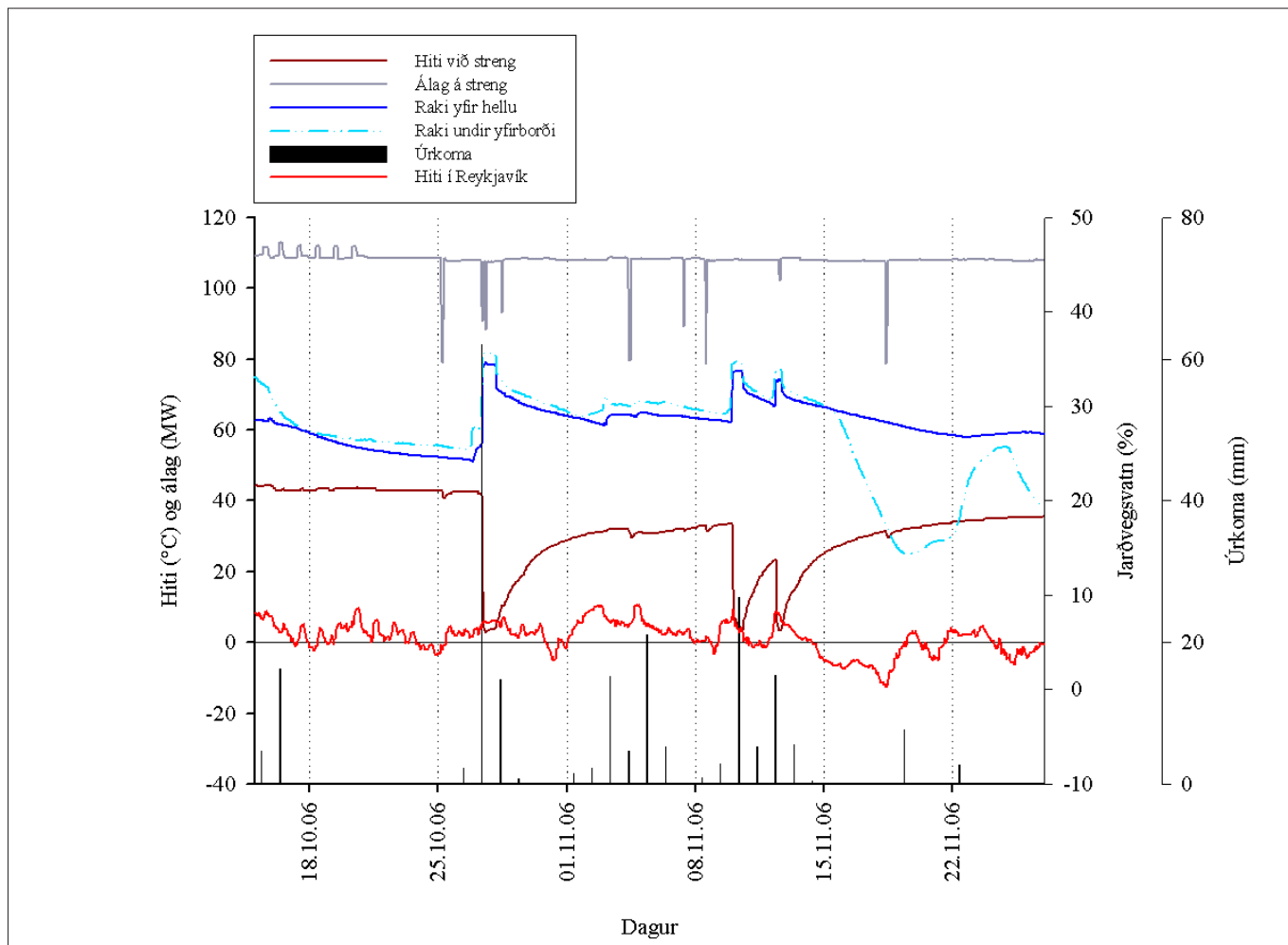
Í mikilli úrkomu og asahláku féll hiti við streng oft mjög hratt niður fyrir 10°C. Þetta gerðist þegar úrkoma og/eða vatnsagi vegna asahláku mettaði jarðveginn og laust vatn (vatn sem hripar fljótt úr jarðveginum, e. gravitational water) seig því líklega tiltölulega hratt niður að strengnum. Stöðugt streymi vatns að streng hámarkar varmaleiðni sandsins umhverfis hann og jafnframt flyst varmi burt með vatni sem streymir áfram niður. Dæmi um haustrigningar sem ollu miklu hitafalli við streng eru frá 27. október og eins 9. og 12. nóvember 2006 en þá fór vatnsinnihald yfir hellu í 33 - 34 % (jarðvegur mettaður) og hiti við streng lækkaði í kjölfarið í um 3°C (mynd 6.4). Sólarhringsúrkoman sem olli þessari hitalækkun mældist 62 mm, 26,4 mm og 15,3 mm á Korpu. Þann 12. nóvember féll hiti við strenginn eftir mun minni úrkomu (15,3 mm) en hina tvo dagana, sem skýrist af

því að vatn í jarðvegi var enn mikið þegar sú úrkoma féll.

Þessa tvo vetur kom fyrir að vatn í jarðvegi ofan hlífðarhellu hækkaði snögg og hiti við streng féll snögg í kjölfarið þó svo að ekki hafi mælst mikil úrkoma. Þetta skýrist af hláku þegar snjór er á jörðu. Dæmi um slíkan atburð er frá 23. janúar 2007 (mynd 6.5). Þá fór vatn í jarðvegi yfir hellu í 34 - 35 % í nokkurn tíma en snjócoma mældist í Reykjavík dagana á undan (7., 10. og 12. - 15. janúar). Hiti við strenginn lækkaði í kjölfar hlákunnar um 9°C. Þúast hefði mátt við meiri hitalækkun við strenginn vegna þess hve mikið vatn mældist í jarðveginum, sem hélt í nokkurn tíma. Líklegt er að lítið gegnumstreymi vatns við strenginn og þar af leiðandi minni varmaflutningur skýri hvers vegna hitinn lækkar mun minna en í haustrigningunum 2006.

6.4 Reynslan frá Hamranesi 2007

Við tengivirkni í Hamranesi ofan Straumsvíkur liggja tveir 132 kV strengir um 40 - 50 metra langa leið þar sem Suðurnesjalína er tekin inn í tengivirkni. Í upphafi eða fyrir um 20 árum voru strengirnir plægðir ofan í hraunið sem þarna er. Fljótlega kom í ljós að þeir áttu það til að ofhitna og hreinlega brenna yfir. Þá var gripið til þess ráðs að fjarlægja hraunið og skipta um jarðveg (Aðalsteinn Guðmannsson starfsmaður Landsnets, munnl. uppl.). Strengirnir eru sambærilegir að gerð og Nesjavallastrengur. Sandur umlykur



Mynd 6.4 Hiti (°C) við kápu Nesjavallastrengs og vatn í jarðvegi (rúmmáls %) ofan hlífðarhellu og um 20 sm neðan yfirborðs, á Korpu frá miðjum október út nóvember 2006. Jafnframt er sýndur lofthiti (°C) í Reykjavík, sólarhringsúrkoma (mm; mannaðar mælingar) á Korpu og álag (MW) á Nesjavallastreng á sama tímabili. Mikil lækkun jarðvegsvatns undir yfirborði frá miðjum nóvember skýrist af því að jarðvegurinn er að frjósa, en nemarnir mæla aðeins vatn á vökviformi.

strengina, en ekki hlífðarhellur líkt og við Nesjavallastreng. Lengi vel var álag lágt á strengjunum og raforkuflutningurinn var frá Hamranesi suður um, á Suðurnes. Með orkusölu Hitaveitu Suðurnesja til stóriðju snerist flutningurinn við og álagið hækkaði í um 130 – 140 MW í áttina að Hamranesi.

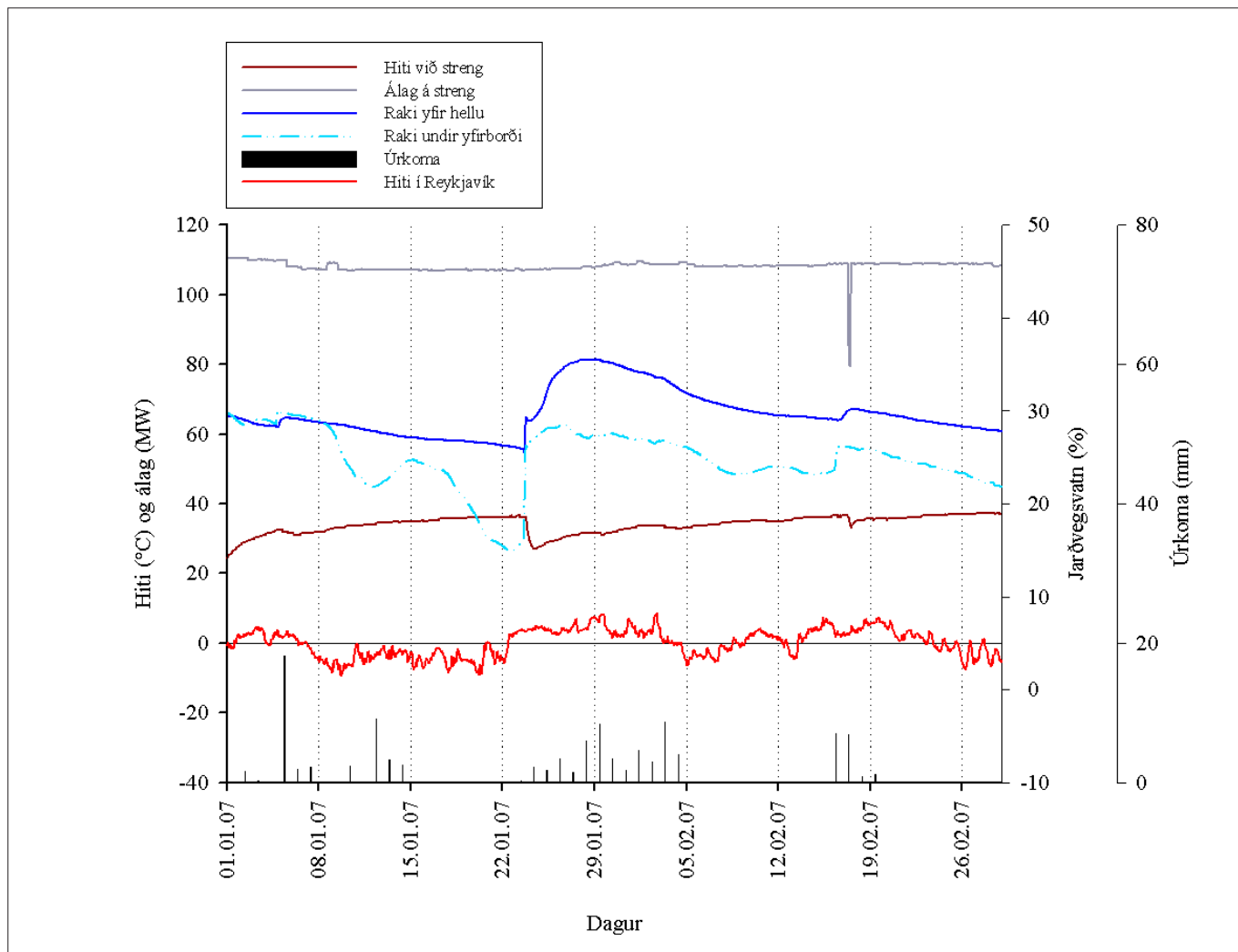
Í júní 2008 var komið fyrir hita- og rakanemum við strengina. Úrkoma var lítil sem engin og hitinn við kápu hækkaði stöðugt. Gripið var til þess bragðs að gera tilraun með vökvun strengjanna. Hitinn var þá kominn yfir 50°C. Guðleifur M. Kristmundsson verkfræðingur á Verkfræðideild Orkuveitu Reykjavíkur gerði í Árbók VFÍ/TFÍ ágætlega grein fyrir þessari tilraun (Guðleifur M. Kristmundsson, 2008). Vökvunin gaf góða raun, rakastig jarðvegs næst strengjunum svaraði vel vökvuninni og þar með varmaleiðnin. Að mati Guðleifs sýndi þessi tilraun með óyggjandi hætti fram á mikilvægi jarðvegraka fyrir kælingu háspennujarðstrengja sem þjóna eiga álagi með háan nýtingartíma og jöfnu álagi.

Úrkoma - tölfræðilegur samanburður og mat á endurkomutíma

7.1 Hugleiðingar um þurrkatímabil og lýsing á landfræðilegri úrkomudreifingu suðvestanlands

Úrkoma sem fellur suðvestanlands er ákaflega breytileg eins og gefur að skilja. Skiptast gjarnan á þurrir kaflar og votviðrasamir. Úrkomumælingar suðvestanlands til áratuga sýna glögg að til jafnaðar er meðalúrkoman hvað mest á haustin (október) og minnst á vorin og snemmsumars (maí og júní). Þannig er úrkomun í maí í Reykjavík ekki nema rétt um helmingur úrkomunnar í október. Helstu úrkomuáttirnar eru SA- og S-átt (Markús Á. Einarsson, 1990). Í þeim vindáttum lyftist loftið áveðurs við Reykjanessfjallgarðinn og Hengilinn þar sem mikil úrkoma fellur, en að sama skapi nýtur ströndin við Faxaflóa úrkomuskugga fjallanna í austri og suðaustri rétt eins og sýnt er á mynd 7.1.

Úrkoma á Nesjavöllum er um það bil tvöföld ársúrkoma á Korpu. Það segir hins vegar lítið sem ekkert um fjölda úrkomudaga, en þeir eru áþekkir á báðum stöðum. Munurinn liggur í því að úrkomumagn er mun meira á Nesjavöllum þegar skil ganga yfir með S- eða SA-átt en Korpa nýtur vars



Mynd 6.5 Hiti (°C) við kápu Nesjavallastrengs og vatn í jarðvegi (rúmmáls %) ofan hlífðarhellu og um 20 sm neðan yfirborðs, á Korpu í janúar og febrúar 2007. Jafnframt er sýndur lofthiti (°C) í Reykjavík, sólarhringsúrskoma (mm; mannaðar mælingar) á Korpu og álag (MW) á Nesjavallastreng á sama tímabili. Mikil lækkun jarðvegsvatns undir yfirborði 8. - 23. janúar skýrist af því að jarðvegurinn er að frjósa.

frá fjöllum í þessum áttum. Borin hefur verið saman úrkoma í Bláfjöllum og Reykjavík eftir vindáttum. Í ljós kemur að í SA-átt er úrkomumagn í Bláfjöllum sjö sinnum meira en í Reykjavík (Hálf dán Ágústsson, 2001).

7.2 Tiltækar úrkomuraðir og tengsl við mælingar á Korpu

Ágætis mæligögn úrkomu eru tiltæk úr nágrenni þess svæðis sem hér er til skoðunar. Áður hefur verið minnst á úrkomumælingar á Korpu. Þar er hefðbundinn úrkomumælir sem starfsmenn LbhÍ tæma einu sinni á sólarhring. Mælingar eru færðar í bók Veðurstofu Íslands. Þessar úrkomumælingar hafa verið samfelldar frá árinu 1987. Sjálfvirkur úrkomumælir var settur upp árið 2000 og með honum er hægt að sjá klukkustundargildi mælinga og þar með t.a.m. að greina úrkomu sem fellur í skúraveðri á sumrin. Í Stardal sunnan Skálafells hefur verið mönnum úrkomustöð allt frá árinu 1964 og á Nesjavöllum hafa starfsmenn aflstöðvarinnar annast daglegar úrkomumælingar frá árinu 1996. Gagnasafnið þaðan er þó með eyðum og mælingar eru ekki samfelldar.

Eins og getið hefur verið um áður (7.1) eykst úrkomumagn

í heildina tekið mjög frá Reykjavík austur til Nesjavalla. Í töflu 7.1 er borin saman ársúrskoma eins árs, þ.e. 2006, á milli fjögurra stöðva. Það ár var úrkoma í Stardal nærri tvöföld ársúrskoma Reykjavíkur og Nesjavallir með yfir þrefalda úrkomu á Korpu. Eins og áður er getið verður að hafa hugfast að breytileikinn í úrkomu kemur einkum fram í helstu úrkomuáttunum þegar á annað borð er vætusamt.

Í Reykjavík eru til sólarhringsgildi úrkomu áratugi aftur í tímann. Mælingar þaðan eru áreiðanlegar og gagnaröðin hefur verið yfirfarin og leiðrétt m.t.t. flutnings á mæli.

Tafla 7.1 Borin saman ársúrskoma árið 2006 frá Reykjavík og þremur öðrum stöðvum í nágrenni Nesjavallastrengs.

Úrkomustöð	Úrkoma 2006 mm
Nesjavallir	3436
Stardalur	1736
Korpa	1133
Reykjavík	890

7.3 Tilgáta um lengd þurrka að sumarlagi og úrkomumagn út frá ofhitnuninni sumarið 2007

Sumarið 2007 er heppilegt til speglunar við veðurfarssöguna. Sérstaklega tímabilið miðsumars þegar álagið á Nesjavallastreng var lengst af um 110 MW. Dagana 8. júní til 8. ágúst hækkaði hitastigið nær stöðugt við strenginn. Álagið var fullt fyrstu dagana, en var síðan lækkað 12. júní í 80 MW og hélst svo til 28. júní er það var aftur hækkað í 110 MW. Hélt svo út tímabilið. Samanlögð úrkoma reyndist um 54 mm á Korpu, en 40 mm í Reykjavík tímabilið 8. júní til 8. ágúst. 9. og 10. ágúst rigndi síðan rúmlega 20 mm samanlagt á báðum mælistöðvunum og virðist sem sú úrkoma hafi nægt til kælingar, en reyndar var álagið lækkað í 101 MW um svipað leyti. Hitafallið við streng er þó það mikið að úrkomu kemur þar nær örugglega við sögu.

Í ljósi þessa er sett fram eftirfarandi tilgáta: Ofhitnunar verður vart á strengnum við þornun jarðvegs sem verður þegar samanlögð úrkoma í 60 daga í Reykjavík er 40 mm eða minni á tímabilinu frá því í maí til september.

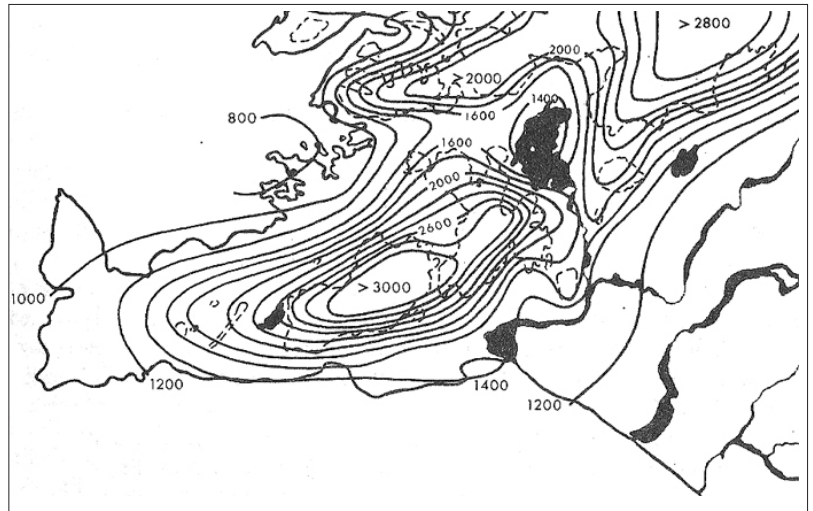
7.4 Líkleg tilvik þurrka frá 1920 - tíðni og endurkomutími

Þegar skoðuð er úrkomuröðin í Reykjavík frá árinu 1920 kemur í ljós að þau sumur þegar úrkomusumma 60 daga er minni en 40 mm a.m.k. í einn dag í senn, ná því að verða 19 talsins. Frá 1920 gerir það um 22 % tilvika. Hafa verður hugfast að 60 daga uppsöfnuð úrkoma þann 1. júní nær aftur til 3. apríl. Vafasamt er að telja með eitt tilvikið, þ.e. þurrkinn í apríl - maí 1979, en þá var í raun vetrarástand langt fram eftir maí og vorkoma a.m.k. 4 vikum síðar en í meðalári. Að þeirri forsendu gefinni að allt að 40 mm falli í smáum skömmtum þá 60 daga sem krafa er gerð um, er hægt að fella út tvö sumur. Um er að ræða 1932 og 2005, en í báðum tilvikum gerði góða rigningardembu á þurrkatímabilinu (sóláhringsúrskoma 15,9 mm 1932 og 13,3 mm 2005).

Greining gagnaraðarinnar fyrir Reykjavík frá árinu 1920 gefur til kynna að uppsöfnuð úrkoma í 60 daga sem er minni en 40 mm komi fyrir í 1,75 % allra daga á tímabilinu 1. júní - 30. september.

Út frá sambandi hitnunar á streng á Korpu sumarið 2007 og þurrðar í jarðvegi má frekar ætla að miða eigi við skemmra þurrktímabil, þ.e. 40 daga í stað 60. Sama viðmiðun útgilda í greiningu gagnanna er notað þ.e. 1,75 %. Það gefur markgildið 17,8 mm í 40 daga uppsafnaðri úrkomu.

Þessi greining þar sem gert er ráð fyrir innan við 18 mm uppsafnaðri úrkomu á 40 dögum leiðir í ljós að alls á 22 árum, á árabílinu frá 1920 til 2008 hafa aðstæður verið a.m.k. svipaðar eða verri en sumarið 2007 m.t.t. til þurrks á línuleið Nesjavallastrengs á tímabilinu frá júníbyrjun og til loka september (7.2 tafla). Af þessum 22 árum teljast 8 vera



Mynd 7.1 Meðalársúrskoma (mm) suðvestanlands. Teikning Markúsar Á. Einarssonar byggð á úrkomu 1931 - 1960 (Markús Á. Einarsson, 1990).

væg tilfelli sé miðað við sumarið 2007 sem er til sérstakrar skoðunar.

Þegar vægu tilfelli í töflu 7.2 eru ekki talin með, þá er hlutfallsleg tíðni miðað við úrtak þessara ára um 16 % og endurkomutíðnin er 6 til 7 ár. Nokkur sumur frá 1920 greina sig á áberandi hátt úr í gagnaröð Reykjavíkur fyrir langan þurrkakafla. Þetta eru sumurinn: 1931, 1935, 1946, 1956 og 1958 (7.2 tafla). Ef í dag gerði svipaða úrkomuþurrð og varð hvert þessara sumra má gera ráð fyrir að mikil og langvarandi vandræði yrðu samfara ofhitnun Nesjavallastrengs miðað við núverandi frágang hans.

Athygli vekur að öll umrædd sumur eru í kaffa í veðurfarssögu landsins sem kallað hefur verið hlýindaskeið 20 aldarinnar, 1920 - 1965 (Halldór Björnsson o.fl., 2008). Einnig er athyglisvert að sjá að þurrkakaflar að sumarlagi voru nánast óþekktir á kalda tímabilinu á árunum 1965 - 1986, ef undan er skilið hið þurra og kalda vor 1979. Frá árinu 1986 hefur þurrð í Reykjavík sambærileg við árið 2007 komið sumarið 1993 og að auki tvisvar á þessari öld, þ.e. 2005 og 2008. Þessir þurrkakaflar að sumarlagi eru þó í allt öðrum og minni flokki en þeir sem gerðir hafa verið að umtalsefni á hlýindaskeiðinu 1920 - 1965.

7.5 Áhrif hnattrænna loftslagsbreytinga á úrkomu suðvestanlands

Í skýrslu vísindanefndar um loftslagsbreytingar er fjallað nokkuð um horfur á breytingum á úrkomu hér á landi til ársins 2100. Hnattræn loftslagslíkön sýna greinilegt samband milli úrkomubreytinga og hlýnunar loftslags. Með niðurvörðun stærri loftslagslíkana áætlaði vísindanefndin svæðisbundnar breytingar við Ísland. Líklegast er að úrkoma aukist þegar líður á öldina, eða um 2 - 3 % á hverja gráðu sem hlýnar. Vísendingar eru um að úrkoma muni aukast meira að sumarlagi en að vetrarlagi. Óvissa í niðurstöðum er hins vegar veruleg og líkönun ber ekki alfarið saman um aukningu (Halldór Björnsson o.fl., 2008).

Tafla 7.2 Tímabil að sumri í Reykjavík þar sem samanlögð uppsöfnuð úrkoma 40 daga var minni en 18 mm. Greiningin var gerð fyrir árin 1920 til 2008. Mánuðir vísa til þess þegar 40 daga summunni er náð og þurrktímabilinu líkur.

Ár	Mánuðir	Lengd tímabila dagar	Athugasemdir
1929	ág	1	Vægt tilfelli
1931	jún	24	Óvenjulega þurrt sumar, engin úrkoma í maí
1932	jún	9	
1935	jún	27	Mjög þurrt frá miðjum maí fram í miðjan júní
1939	júl	2	Vægt tilfelli
1943	sept	1	Vægt tilfelli
1945	jún	7	
1946	jún	1; 22	Afar þurrt í maí og júní. Tímabil sundurslitið
1956	ág-sept	29	Óvenjulega þurrt frá um 25. júlí til 20. september
1958	jún; ág	2; 22	Afar lítil úrkoma í júlí og ágúst
1960	sept	5	
1962	ág	1	Vægt tilfelli
1967	ág	3	Vægt tilfelli
1979	jún	5	
1980	jún-júl	7	
1983	jún	1	Vægt tilfelli
1987	jún	3	Vægt tilfelli
1993	jún	8	
1997	jún	2	Vægt tilfelli
2005	jún	6	
2007	júl	9	
2008	jún-júl	8	

Niðurstöður og umræður

8.1 Helstu niðurstöður

- Sandurinn sem notaður var sem fyllingarefni við lagningu Nesjavallastrengs er að mestu úr basalti sem hefur lága varmaleiðni miðað við önnur bergefni. Einsleit kornastærð sandsins veldur því að stærðardreifing holurýmis í sandinum er lítil. Þetta veldur snöggri lækkun á vatnsheldni sandsins þegar ákveðnu lágmarks vatnsinnihaldi er náð. Hann er því lélegur varmaleiðari nema hann innihaldi nokkuð vatn
- Við langvarandi þurrka getur fyllingarefni umhverfis jarðstrengi orðið það þurrt að það varmaeingangi þá frá umhverfinu. Hversu langan tíma það tekur fyrir slíkar aðstæður að myndast veltur ekki aðeins á veðurfari heldur einnig á umhverfisaðstæðum á hverjum stað, svo sem aðstreymi grunnvatns eða vatns frá landi sem stendur hærra, jarðvegsgerð og -þykkt, gróðurfari sem og landslagi.
- Mælingar á hita og raka við streng á mælistað á Korpu í þurrkunum sumarið 2007 leiddu í ljós að þegar vatnsinnihald í mold ofan hlífðarhellu fer niður í 24 %, tekur hiti við hlífðarkápu að hækka hratt þannig að tala megi um hitagos. Við þær þurru aðstæður og fullt flutningsálag strengsins hækkaði hitinn af stærðargráðunni um 1,0°C/sólarhring. Telja má víst að þegar tilteknu lágmarks rakainnihaldi jarðvegs er náð aukist varmaviðnám sandsins mjög hratt og hitagos verði í jarðveginum næst strengnum.
- Sú litla úrkoma sem mældist á Korpu í júní og júlí 2007 dugði engan veginn til að viðhalda raka í jarðveginum. Gera má ráð fyrir að úrkoma sem er ekki nema um 2 - 3 mm á sólarhring bæti að sumarlagi engu vatni við jarðvegin,

heldur vegi aðeins upp daglegt tap með upp- og útgufun.

- Ekki er hægt að gefa upp ákveðna lágmarksúrkomu sem dugar til að viðhalda nægum raka í fyllingarefni við streng. Það er vegna þess að staðbundnar aðstæður hafa mikil áhrif á hve auðveldlega vatn berst niður að streng og hvernig raka í jarðvegi er viðhaldið.
- Þann tíma frá 2005 sem fylgst hefur verið markvisst með hita og rakainnihaldi við strenginn hefur vatnsinnihald jarðvegs yfir hellu aldrei verið takmarkandi að vetrarlagi. Þrátt fyrir að stundum myndist jarðklaki sem hindrar ísig úrkomu virðist jarðvegsraki ævinlega vera nægur frá því á haustin og til loka vetrar. Bæði er að haust- og vetrarúrkomu er meiri en að sumar- og vorlagi, en ekki síður munar um þátt uppgufunar og útgufunar gróðurs á vaxtartíma.
- Við samanburð hitamælinga við ólíkt flutningsálag strengsins, má sjá að á sumrin hækkar jafnvægisshiti við kápu strengsins um 15°C við hækkað álag úr 80 í 110 MW. Á veturna er hitastigullinn við aukið álag svipaður. Í raun má álykta sem svo að gera megi ráð fyrir að hiti við kápu strengs hækki um 0,5°C fyrir hvert MW í aukið álag að því gefnu að jarðvegsraki sé nægur.
- Í ljósi reynslunnar frá 2007 voru greind dagleg úrkomugögn í Reykjavík allt frá árinu 1920 og sérstaklega litið til tímabila þegar samanlögð 60 daga úrkoma í Reykjavík var minni en 40 mm á tímabilinu frá því í maí til september. Talning leiddi í ljós að dagar með samanlagða úrkomu síðustu 60 daga innan þessa þröskuldar reyndust vera í 1,75 % tilvika. Út frá sambandi hitnunar á streng við Korpu sumarið 2007 og þurrðar í jarðvegi var miðað við skemmra þurrktímabil, þ.e. 40 daga. 1,75 % hlutfall útgilda þess tíma

færir úrkomuþröskuldinn niður í 17,8 mm á 40 dögum.

- Í 14 tilvikum á árabílinu frá 1920 til 2008 hafa aðstæður verið a.m.k. svipaðar eða verri m.t.t. til þurrks á Nesjavallastreng á tímabilinu frá júníbyrjun og til loka september, en þær voru 2007. Hlutfallsleg tíðni miðað við úrtak þessara ára er því um 16 %. Gera má ráð fyrir þurrktímabilum sambærilegum þeim sem urðu sumarið 2007 á sex til sjö ára fresti.

- Það vekur athygli að sumarþurrkar voru tíðari á hlýindaskeiðinu 1920 - 1965, en síðustu þrjátíu og fimm ár 20. aldar.

8.2 Umræður og tillögur um betrubætur varðandi frágang háspennustrengja í jörð

Niðurstöðurnar gefa sterklega til kynna að mikilvægt er að vanda val á fyllingarefni við jarðstrengi mun betur en gert hefur verið. Þurrkar sambærilegir þeim sem urðu sumarið 2007 eru það tíðir að taka verður ríkt tillit til þeirra þegar gengið er frá jarðstrengjum og rekstraröryggi þeirra metið.

Dreifðari kornastærð og hærra hlutfall fins sands myndi bæta varmaleiðni sandsins þar sem hann þjappast þá betur, en þó skiptir ekki síður máli að vatnsheldni sandsins mundi batna. Sandur með góða kornastærðardreifingu hefur holurými af mismunandi stærð sem tæmist þá ekki allt í einu þegar jarðvegurinn þornar eins og gerist í einsleitum sandi. Þegar sandur með góða kornastærðardreifingu þornar þá tæmist vatn fyrst úr stærsta holurými sandsins og eftir því sem vatnsinnihaldið minnkar tæmist vatn úr sífellt minna holurými og vatnið verður bundið við smæsta holurými sandsins. Slíkur sandur heldur því betur í vatnið og viðheldur varmaleiðni við lægra vatnsinnihald en einsleitur sandur. Einnig væri æskilegra að fyllingarefnið væri úr öðru en basalti, þar sem varmaleiðni þess er lág.

Þau gögn sem safnað hefur verið við Nesjavallastreng benda ekki til þess að skörp skil í kornastærð milli sandsins og moldarinnar tefji vatnssig niður í sandinn. Þrátt fyrir að þetta virðist ekki vera vandamál, þá er æskilegt að draga úr líkum á að slíkt geti gerst t.d. með því að blanda mold og fyllingarefni saman þar sem þessi efni mætast. Mest hætta er á að skörp kornastærðarskil hindri vatnssig þar sem mikill munur er á kornastærð jarðvegs og fyllingarefnis. Þannig er slík hætta meiri þar sem jarðvegur inniheldur mikið af leir og lífrænum efnum og er því mjög vatnsheldinn. Þetta á sérstaklega við um hallandi land þar sem vatn sígur frekar undan halla í jarðveginum en niður í fyllingarefnið.

Staðsetning jarðstrengja er mikilvæg. Forðast ber að hafa strengi við afrennslisskurði, nema strengurinn liggi neðar en botn skurðar. Einnig skal forðast að malbika yfir línustæði strengja til að hamla ekki ísíg úrkomu og leysingavatns í jarðveginn. Forðast ber að setja niður trjágróður eða annan gróður sem notar mikið vatn og hefur djúpar og víðáttumiklar rætur, s.s. eins og aspir. Þá þarf að huga að halla lands og aðstreymi vatns.

Þar sem ofþornun við jarðstrengi getur verið mjög staðbundin

er rétt að velja gaumgæfilega þá mælistaði þar sem fylgst er með hita við strenginn. Hætta á ofþornun er mest þar sem vatn sígur frá en ekki að streng. Því er ráðlegt að mæla hita við streng t.d. á hryggjum og þar sem strengur liggur meðfram frárennslisskurði og liggur ofar í jarðvegi en sem svarar botni skurðarins. Jafnframt er ráðlegt að mæla hita þar sem gróður er ríkulegur, svo sem þar sem aspir eru yfir streng í Mosfellsbænum.

Samandregnar niðurstöður

Hnökrar hafa verið á flutningi raforku um Nesjavallastreng sem liggur í jörð um 15 km leið, úr Mosfellsdal ofan Gljúfrasteins í tengivirkið á Korpu. Við langvarandi þurrka getur sandur, sem er notaður til fyllingar umhverfis jarðstrenginn, farið að virka sem einangrari. Varmi frá strengnum á þá ekki greiða leið út í umhverfið með þeirri afleiðingu að strengurinn ofhitnar og sú hætta skapast að strengurinn brenni yfir.

Frá 2005 hefur verið fylgst markvisst með hita og raka við strenginn og hefur vatnsinnihald jarðvegs nokkrum sinnum orðið það lágt að aukið varmaviðnám sandsins hefur leitt til þess að hiti næst strengnum hækkar um allt að 1,0°C/ sólarhring sé flutningsálag strengsins ekki lækkað á sama tíma.

Greining úrkomugagna í Reykjavík og samanburður þeirra við úrkomumælingar á Korpu leiðir í ljós að þurrkar á borð við þá sem urðu sumarið 2007 geta komið á 6 - 7 ára fresti. Að vetrarlagi virðist vatnsinnihald jarðvegs ekki vera takmarkandi. Bæði er að haust- og vetrarúrkoma er meiri en að sumar- og vorlagi, en ekki síður munar um þátt uppgufunar og útgufunar gróðurs á vaxtartíma.

Niðurstöður þessarar rannsóknar gefa sterklega til kynna að mikilvægt er að vanda mun betur val fyllingarefnis við jarðstrengi en gert hefur verið. Þurrkar líkt og sumarið 2007 endurtaka sig með það stuttu millibili að taka verður ríkt tillit til þeirra við frágang háspennustrengja og við mat á rekstraröryggi þeirra.

Heimildir

- Arnalds, Ó., 2004. Volcanic soils of Iceland. *CATENA*, 56: 3-20.
- Berglind Orradóttir og Ólafur Arnalds, 2007. Ísig – áhrif landgræðslu og árstíma. *Fræðaging landbúnaðarins 2007*: 513-515.
- Bristow, K. L., 2002: Thermal conductivity. Í: Dane, J. H. and Topp, G. C. (eds.), *Methods of soil Analysis. Part 4. Physical methods*. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, bls. 1209-1226.
- Brynhildur Magnúsdóttir og Jón Haukur Steingrímsson, 2009. *Varmaleiðni Íslenskra jarðefna. Rannsóknir við fyrirhugaðan Nesjavallastreng*. EFLA verkfræðistofa, rannsóknarskýrsla Landsnet-09001, 28 bls.
- Guðleifur M. Kristmundsson, 2007. Varmaleiðni jarðvegs og hitamyndun við kápu Nesjavallastrengs. *Árbók VFÍ/TFÍ 2007*: 61-64.
- Guðleifur M. Kristmundsson, 2008. Tilraun með vatnskælingu háspennujarðstrengs. *Árbók VFÍ/TFÍ 2008*: 3-6.
- 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*. Umhverfisráðuneytið.
- Hálf dán Ágústsson, 2001. *Samanburður á úrkomumælingum í Bláffjöllum og Reykjavík*. Veðurstofa Íslands, Reykjavík, greinargerð 01015, 19 bls.
- Jón Guðmundsson, Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson, 2006a. Vatnsheldni mismunandi jarðvegsflokka. *Fræðaging landbúnaðarins 2006*: 362-364.
- Jón Guðmundsson, Hlynur Óskarsson og Ólafur Arnalds 2006b. Er vatn takmarkandi þáttur í landgræðslu? *Fræðaging landbúnaðarins 2006*: 358-361.
- Kimble, J.M., Ping, C.L., Sumner, M.E. og Wilding, L.P., 1998. Andisols. Í: Sumner, M.E. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. Boca Raton, Florida: CRC Press, bls. E209– E224.
- Markús Á. Einarsson, 1972: *Evaporation and potential evapotranspiration in Iceland*. Veðurstofa Íslands, Reykjavík, 27 bls.
- Markús Á. Einarsson, 1990. *Úrkoma Suðvestanlands*. Vatnið og landið, Orkustofnun, Reykjavík 1990, bls. 185-195.
- Orradóttir, B., Archer, S. R., Arnalds, Ó., Wilding, L. P. og Thurow, T. L., 2008: Infiltration in Icelandic Andisols: the role of vegetation and soil frost. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40: 412-421.
- Ólafur Arnalds og Einar Grétarsson, 2001. Jarðvegskort af Íslandi. 2. útgáfa. Rannsóknastofnun landbúnaðarins. Stafrænt kort, sjá <http://www.rala.is/yimir>
- Shoji, S., Nanzyo, M. og Dahlgren, R., 1993. Physical characteristics of volcanic ash soils. Í: Shoji, S., Nanzyo, M., Dahlgren, R.A. (Eds.), *Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization*. Amsterdam: Elsevier, bls. 189– 207.
- Starr, J.L. og I.C. Paltineanu, 2002. Capacitance devices. Í Dane, J. H. and Topp, G. C. (eds.), *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods*. Madison, WI: Soil Science Society of America, bls. 463-474.
- Trausti Jónsson, 2003. *Langtímasveiflur II, úrkoma og úrkomutiðni*. Veðurstofa Íslands, Reykjavík, greinargerð VÍ-ÚR10, 29 bls.

