

Uppgufun í Reykjavík 1968–2006

Guðrún Elín Jóhannsdóttir
Þórður Arason
Halldór Björnsson

Uppgufun í Reykjavík 1968–2006

Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Veðurstofu Íslands
Pórður Arason, Veðurstofu Íslands
Halldór Björnsson, Veðurstofu Íslands

Lykilsíða

Skýrsla nr. VÍ 2015-010	Dags. Desember 2015	ISSN 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Uppgufun í Reykjavík 1968–2006		Upplag: 10 Fjöldi síðna: 35	
		Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir	
Höfundar: Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Þórður Arason og Halldór Björnsson		Verkefnisstjóri: Halldór Björnsson	
		Verknúmer: 3461-0	
Gerð skýrslu/verkstig:		Málsnúmer: 2015-69	
Unnið fyrir: Hagstofu Íslands			
Samvinnuaðilar:			
Útdráttur: Lýst er úrvinnslu mannaðra uppgufunarmælinga sem safnað var í mælireit Veðurstofunnar í Reykjavík, sumrin 1968–2006. Flest árin var uppgufun mæld daglega frá maí til október. Eftir 2006 var uppgufun mæld á sjálfvirkan hátt og voru þau gögn ekki notuð. Uppgufun var borin saman við nokkra veðurþætti: lofthita, rakastig, úrkomu, skýjahulu, vindhraða, vindátt, loftþrýsting, fjölda sólskinsstunda o.fl. Í ljós kom að sólskin og veðurþættir tengdir því hafa úrslitaáhrif á uppgufun. Fjöldi sólskinsstunda ná að útskýra 55% af breytileika í mælingunum og ef bætt er við rakastigi og skýjahulu má útskýra 62%. Uppgufunin er í takt við sólargang og nær að jafnaði hámarki við sumarsólstöður. Niðurstöður sýna að fyrir mælireit Veðurstofunnar í Reykjavík gufar að jafnaði meira upp frá opnum fleti en sem nemur úrkomunni á sumrin, en áætlað er að yfir árið gufi um helmingur úrkomunnar upp.			
Lykilorð: Uppgufun, veðurmæliraðir, mælingar, vatnatölfræði		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 	
		Undirskrift verkefnisstjóra:	
		Yfirfarið af: SG	

Efnisyfirlit

1	INNGANGUR.....	7
2	GÖGN OG AÐFERÐIR.....	7
3	NIÐURSTÖÐUR	12
4	UMRÆÐA.....	21
5	LOKAORÐ	27
	HEIMILDIR	27
	VIÐAUKI I. ÚRVINNSLUFERLI	29
	VIÐAUKI II. ÚRVINNSLA MEÐ ÚTGILDUM.....	31

Myndaskrá

Mynd 1.	Uppgufunarpannan í mæltreit Veðurstofunnar.....	8
Mynd 2.	Miðgildi uppgufunar í hverjum mánuði fyrir sig.....	13
Mynd 3.	Kassarit af uppgufun í hverjum mánuði.....	13
Mynd 4.	Uppgufun eftir tíma ársins.	14
Mynd 5.	Miðgildi uppgufunar á hverju ári 1968–2006, ásamt gam-ferli.....	15
Mynd 6.	Allar uppgufunarmælingar 1968–2006, ásamt gam-ferli.....	15
Mynd 7.	Uppgufun sem fall af fjölda sólskinsstunda með línu minnstu kvaðrata.	17
Mynd 8.	Miðgildi uppgufunar eftir fjölda sólskinsstunda ásamt gam-ferli.	17
Mynd 9.	Uppgufun sem fall af meðalrakastigi með línu minnstu kvaðrata.	17
Mynd 10.	Miðgildi uppgufunar eftir rakastigi, ásamt gam-ferli.	18
Mynd 11.	Uppgufun sem fall af meðalskýjahulu, ásamt gam-ferli.....	18
Mynd 12.	Miðgildi uppgufunar eftir meðalskýjahulu, ásamt gam-ferli.....	18
Mynd 13.	Uppgufun sem fall af úrkomu.....	19
Mynd 14.	Uppgufun sem fall af hita.	20
Mynd 15.	Uppgufun sem fall af vindhraða.	20
Mynd 16.	Uppgufun sem fall af vindátt kl. 15, ásamt gam-ferli.....	20
Mynd 17.	Miðgildi uppgufunar eftir vindátt kl. 15, ásamt gam-ferli.....	21
Mynd 18.	Tímaröð af uppgufun og sólgeislun í Reykjavík.....	22
Mynd 19.	Vindrós fyrir Reykjavík árin 1968 til 2006.	25
Mynd 20.	Meðalskýjahula eftir vindátt kl. 15.....	25
Mynd 21.	Fjöldi sólskinsstunda eftir vindátt kl. 15.....	26
Mynd 22.	Rakastig eftir vindátt kl. 15.....	26

Töfluskra

Tafla 1. Yfirlit yfir mannaðar mælingar á uppgufun í Reykjavík.	9
Tafla 2. Yfirlit yfir tímabil þar sem mælingar vantaði í a.m.k. viku.	10
Tafla 3. Fimm tölu samantekt fyrir sólarhringsgögnin án útgilda.	13
Tafla 4. Fylgnistuðlar og skýringarhlutföll línulegrar aðhvarfsgreiningar fyrir sólarhringsgögn uppgufunar án útgilda.	16

1 Inngangur

Vatn finnst í öllum fösum á jörðinni og fasaskipti þess eru hluti af hringrás vatnsins. Uppgufun vatns er einn mikilvægur þáttur hennar. Uppgufun vatns frá opnum fleti hefur verið mæld á sumrin í Reykjavík með hléum frá 1968. Í þessari skýrslu eru uppgufunarmælingarnar bornar saman við nokkra aðra veðurþætti.

Fyrirfram var reiknað með að þættir á borð við hita, rakastig og vindhraða hefðu töluverð áhrif á uppgufun. Til eru ýmis líkön er lýsa eiga uppgufun og gerir t.d. líking Penmans ráð fyrir að uppgufun sé háð hita, rakaþrýstingi, rakastigi, fjölda sólskinsstunda og vindhraða (Markús Á. Einarsson, 1976). Hér verður skoðað hvernig uppgufun dreifist yfir sumarið og hvernig hún hefur þróast með tíma, hversu stór hluti úrkomu gufar upp í Reykjavík og hvaða veðurþættir hafa mest áhrif á uppgufun.

2 Gögn og aðferðir

Unnið var með mannaðar uppgufunarmælingar sem safnað var yfir 39 ára tímabil á Veðurstofu Íslands í Reykjavík, en þær spanna sumarmánuði frá 1968 til 2006. Flest árin var uppgufun mæld daglega frá maí til október, en sum ár hófust mælingar í lok apríl eða náðu fram í byrjun nóvember, sjá töflu 1. Gagnasafnið inniheldur mælingar frá byrjun maí til loka septembermánaðar fyrir nánast öll árin, en mælingum var yfirleitt hætt í október. Því eru fleiri mælingar í upphafi október en í lok hans. Einstaka mælingar voru gerðar í lok apríl og byrjun nóvember. Eftir 2006 var uppgufun mæld á sjálfvirkann hátt og eru þau gögn ekki notuð í þessari skýrslu.

Mælingarnar voru gerðar í staðlaðri uppgufunarpönnu (e. USA class A evaporation pan), en pannan er hringlaga ílát úr galvaniseruðu járn sem er 120,7 cm í þvermál og 25,4 cm djúp (Markús Á. Einarsson, 1976; WMO, 2014, kafli 10). Henni var komið fyrir á lágum viðarpalli á grasi í mælireit Veðurstofunnar við upphaf mælinga ár hvert. Í hana var sett vatn og var hæð vatnsborðs í pönnunni mæld í millimetrum daglega kl. 9 árdegis. Í þurrviðri gufar vatn upp úr pönnunni og vatnsborð lækkar milli mælinga, en í bleytutíð blandast saman lækkun vegna uppgufunar úr pönnunni og ábót í hana með úrkomunni. Vatnshæðin var mæld með þar til gerðum míkromæli í miðri pönnunni. Við bestu aðstæður má þannig mæla hæð vatnsborðsins með upplausn upp á 0,01 mm.

Uppgufunarpannan er mjög einfalt mælitæki, en nokkur algeng vandamál koma upp. Í langvarandi þurrkatíð þarf við og við að bæta vatni í pönnuna og í bleytutíð þarf að ausa úr henni. Stundum kemur upp þörungablómi í pönnunni og þarf þá að þrifa hana og skipta um vatn. Pannan er alveg opin og hafa fuglar einstöku sinnum sést baða sig í henni og jafnvel fá sér að drekka. Þetta kann að eyðileggja mælingar stöku daga, en áhrif þessa á mæliröðina eru þó talin óveruleg. Á mynd 1 má sjá uppgufunarpönnuna í mælireit Veðurstofunnar.



Mynd 1. Uppgufunarpannan í mælireit Veðurstofunnar. Í miðju pönnunnar er hólkur sem dempar gárur og öldugang og míkrómælir til mælinga á hæð vatnsborðsins. Ljósmyndir: Þórður Arason 22. júlí 2015.

Fyrstu þrjú árin var pannan í mælireit Veðurstofunnar á Sóllandi í Reykjavík. Vorið 1972 voru mælingar fluttar í nýjan mælireit Veðurstofunnar að Bústaðavegi 9. Tafla 1 sýnir tímabilin sem mælt var á ári hverju. Frá upphafi mælinga og fram til 1990 var vatnsborðið mælt daglega og því er lítið um göt í gagnasafninu á því tímabili. Árið 1991 var mælingum um helgar og á hátíðisdögum hætt. Gagnasafnið er því ekki samfellt eftir það. Einstaka sinnum vantar löng tímabil inn í gagnasafnið, sjá töflu 2. Eins og sjá má í töflu 2 vantar stór tímabil inn í gagnaröðina síðustu árin sem mælt var handvirkt og gögnin frá árinu 2006 eru mjög léleg.

Fjöldi mælinga á ári var nokkuð breytilegur, enda uppgufunarmælingar háðar árferði þar sem erfitt er að mæla hana í langvarandi frosti. Fjöldi daga yfir sumarið sem pannan var úti var á bilinu 126–194 og var heildarfjöldi daga sem pannan var úti á tímabilinu 6.469 dagar. Heildarfjöldi athugunardaga var 5.392. Alls vantaði því 1.077 mælingar inn í gagnaröðina, sé miðað við að mælt sé einu sinni á sólarhring, en það eru um 16,6% af dögnum sem pannan var úti.

Við úrvinnslu gagnanna var lítið svo á að bestu gögnin fengjust þegar aðeins einn sólarhringur leið á milli mælinga, enda ákjósanlegt að hafa mælingarnar sem þéttastar. Þar sem úrkomumælingum fylgir óvissa var talið að áreiðanlegustu uppgufunargögnin mældust á þurrum dögum, en uppgufunin var leiðrétt fyrir úrkomu þá daga sem mælanleg úrkoma féll. Með því að taka út alla þá daga sem úrkomu varð vart er gagnasafnið þó rýrt til muna og að auki er hætta á því að vissir veðurþættir séu markvisst útilokaðir. Því voru niðurstöður þeirra útreikninga fyrst og fremst hafðar til hliðsjónar. Einnig voru skoðuð tveggja og þriggja sólarhringa gögn, en þá voru tekin tveggja og þriggja daga meðaltöl af uppgufuninni til þess að gögnin væru sambærileg við eins dags mælingar. Ekki var lítið á tveggja og þriggja sólarhringa gögn sem þurrar mælingar nema úrkomulaust hafi verið allt tímabilið. Ef lengra leið á milli mælinga voru þær álitnar óáreiðanlegar og voru ekki teknar til skoðunar.

Tafla 1. Yfirlit yfir mannaðar mælingar á uppgufun í Reykjavík.

Ár	Tímabil	Fjöldi daga	Fjöldi athugunardaga	Nothæfar eins dags mælingar	Nothæfar mælingar í 1-3 daga	Gagnaskil (%)
1968	31. maí – 30. okt.	153	149	145	145	95
1969	28. maí – 30. sept.	126	124	121	121	96
1970	1. maí – 31. okt.	184	174	171	171	93
1971	4. maí – 16. okt.	166	151	144	144	87
1972	29. maí – 1. nóv.	157	148	138	139	89
1973	7. maí – 19. okt.	166	142	133	134	81
1974	1. maí – 30. sept.	153	146	137	139	91
1975	2. maí – 11. nóv.	194	176	167	169	87
1976	1. maí – 29. okt.	182	175	167	167	92
1977	30. apríl – 31. okt.	185	173	166	166	90
1978	28. apríl – 10. okt.	166	158	154	154	93
1979	1. maí – 29. okt.	182	171	167	167	92
1980	2. maí – 1. okt.	153	151	149	149	97
1981	1. maí – 30. sept.	153	146	142	142	93
1982	1. maí – 1. okt.	154	139	131	132	86
1983	3. maí – 2. okt.	153	146	141	142	93
1984	1. maí – 1. okt.	154	150	146	146	95
1985	30. apríl – 1. okt.	155	137	130	131	85
1986	3. maí – 1. okt.	152	151	149	149	98
1987	6. maí – 6. okt.	154	153	152	152	99
1988	29. apríl – 8. okt.	163	156	152	152	93
1989	28. apríl – 26. okt.	182	175	169	172	95
1990	30. apríl – 2. okt.	156	153	151	151	97
1991	30. apríl – 1. okt.	155	108	82	105	68
1992	30. apríl – 29. okt.	183	116	86	109	60
1993	30. apríl – 12. okt.	166	102	76	95	57
1994	29. apríl – 31. okt.	186	109	81	100	54
1995	3. maí – 23. okt.	174	114	85	107	61
1996	30. apríl – 1. okt.	155	105	79	100	65
1997	30. apríl – 11. okt.	165	103	74	92	56
1998	30. apríl – 14. okt.	168	108	79	99	59
1999	4. maí – 3. nóv.	184	116	84	110	60
2000	28. apríl – 11. okt.	167	107	75	96	57
2001	25. apríl – 31. okt.	190	126	93	119	63
2002	30. apríl – 22. okt.	176	116	85	106	60
2003	9. maí – 6. okt.	151	99	71	92	61
2004	4. maí – 22. okt.	172	104	78	99	58
2005	29. apríl – 11. okt.	166	81	57	75	45
2006	4. maí – 18. okt.	168	72	41	60	36

Tafla 2. Yfirlit yfir tímabil þar sem mælingar vantaði í a.m.k. viku.

Tímabil
15. – 30. júlí 1973
2. – 13. júní 1985
23. júlí – 2. ágúst 1993
24. júlí – 2. ágúst 2004
24. júní – 2. ágúst 2005
14. júlí – 13. ágúst 2006
30. sept. – 8. okt. 2006

Einungis var unnið með þá daga sem vatnið í pönnunni var á fljótandi formi, þ.e. engin ísskán hafði myndast við vatnsborðið. Aðrar skráðar athugasemdir mælingamanns voru skoðaðar og voru þær mælingar sem ekki þóttu sambærilegar restinni af gögnunum teknar út úr gagnasafninu. Eftir hreinsun gagnanna stóðu eftir 5230 mæligildi. 162 mælingar voru teknar út úr gagnasafninu, en það eru 3,0% af heildarfjölda mælinga. Fjöldi skipta sem einn til þrjár sólarhringar liðu á milli mælinga hreinsuðu gagnanna, þ.e. sem hin eiginlega uppgufun var reiknuð, voru 4998. Sólarhringsuppgufun var reiknuð fyrir 4648 daga. Úrkomulaust var 1892 sinnum milli mælinga hreinsuðu gagnanna. Sólarhringsuppgufun þurra daga var reiknuð fyrir 1836 sólarhringa. Nánari lýsingu á meðhöndlun gagnanna er að finna í viðauka I.

Úrvinnsla gagnanna var gerð með úrvinnsluforritinu R. Allir útreikningar voru gerðir fyrir eins til þriggja sólarhringa gögn, einungis sólarhringsgögn og fyrir sólarhringsgögn úrkomulausra daga, með og án útgilda. Útgildi voru fundin með 1,5·IQR reglunni fyrir útgildi. Samkvæmt henni eru mæligildi útgildi ef fjarlægð þeirra frá næsta fjórðungsmarki er meiri en sem nemur einni og hálfri fjórðungsspönn (IQR) gagnanna (Anna Helga Jónsdóttir & Sigrún Helga Lund, 2013). Vegna árstíðasveiflunnar í mæliröðinni voru útgildi hvers mánaðar fundin sérstaklega og tekin út við útreikninga án útgilda. Þetta var gert fyrir röðina með sólarhringsgildum, sem og raðir með uppsafnaðri uppgufun tveggja og þriggja daga.

Útgildi hreinsuðu eins til þriggja daga gagnanna reyndust vera 59, eða um 1,2% og útgildi sólarhringsgagnanna voru 56, einnig um 1,2%. Útgildi úrkomulausra sólarhringsgagna voru 21, eða 1,1%. Eftir að útgildi höfðu verið fjarlægð úr gögnunum voru því notuð 4939 uppgufunargildi fyrir eins til þriggja sólarhringa gögn, 4592 fyrir sólarhringsgögn og 1815 fyrir úrkomulaus sólarhringsgögn. Mest var litið til hreinsuðu sólarhringsgagnanna án útgilda þar sem talið er að þau komist næst því að lýsa raunveruleikanum af áður nefndum ástæðum. Því eru allar myndir og útreikningar skýrslunnar miðuð við þau gögn, sé annað ekki tekið fram. Til samanburðar eru niðurstöður fyrir eins til þriggja sólarhringa gögn með útgildum sýnd í viðauka II.

Uppgufunargögnin voru borin saman við ýmsa veðurþætti sem talið var að gætu haft áhrif á uppgufunina. Skoðuð voru tengsl uppgufunar við heildarfjölda sólskinsstunda sólarhrings, meðalrakastig sólarhrings, meðalskýjahulu sólarhrings, heildarúrkomu sólarhrings, meðal-lofthita sólarhrings, meðalvindhraða sólarhrings, vindátt kl. 15 og meðalloftþrýsting sólarhrings. Allar eru þessar mælingar teknar í sama mælireit og ættu því að vera nokkuð sambærilegar.

Uppgufunar- og úrkomumælingarnar voru framkvæmdar kl. 9 að morgni og eru því fullkomlega sambærilegar. Fyrir aðra veðurþætti voru notuð sólarhringsmeðaltöl frá miðnætti til

miðnættis, að sólskinsstundunum og vindátt undanskildum. Þessi gildi voru borin saman við uppgufunarmælingu morguninn eftir. Í þeim tilfellum er lengra en sólarhringur leið á milli uppgufunarmælinga voru tekin tveggja og þriggja daga meðaltöl af veðurgögnunum til samræmis. Hvað sólskinsstundir varðar var heildarfjöldi þeirra frá miðnætti til miðnættis notaður. Sólin er hæst á lofti í Reykjavík um kl. 13:30, en það er þó breytilegt yfir árið (13:11–13:42), en er þó mitt á milli vindáttarmælinganna kl. 12 og 15. Nota þarf staka vindáttarmælingu þar sem vindátt getur verið breytileg yfir daginn og meðalvindátt ekki vel skilgreind. Leitast var við að nota vindáttarmælingu þegar uppgufun var í hámarki, en það er þegar sólin er hæst á lofti. Mælingin kl. 15 reyndist gefa herra skýringarhlutfall en sú kl. 12 og varð því fyrir valinu. Teknar voru út þær mælingar er vindhraði kl. 15 var undir 5 m/s þegar vindátt var tekin til skoðunar. Vindur er mældur í 10 m hæð yfir jörðu en þar er vindhraði yfirleitt meiri en niðri við uppgufunarpönnuna. Álitid var að vindátt við lítinn vindhraða skipti ekki máli.

Kosið var að lýsa miðju gagnanna með miðgildi þar sem dreifing gagnanna er hægri skekkt. Því verður meðaltal þeirra herra en miðgildið og lýsir gögnunum ekki jafn vel. Einnig gefur miðgildi betri mynd af miðju gagna en meðaltal þegar útgildi eru í gagnasöfnum. Við lýsingu á gögnunum var fimm-tölu-samantekt notuð, en hún samanstendur af hæsta- og lægsta gildi, miðgildi og neðri- og efri fjórðungsmörkum (Q_1 og Q_3) og gefur því miklar upplýsingar um dreifð og miðju gagnanna (Anna Helga Jónsdóttir & Sigrún Helga Lund, 2013). Mikið var unnið með gögnin myndrænt. Notuð var svokölluð gam aðferð (e. generalized additive models) til að reikna mýktan feril um gögnin og teikna á myndirnar. Aðferðin er stikalaus og notar gögnin sjálf til að skilgreina ferilinn. Aðferðin virkar vel fyrir stór gagnasöfn ($n > 1000$) og er hentug til að skoða samband háðra og óháðra breyta myndrænt (SAS Institute Inc., á.á.). Í þeim tilfellum er teiknaður var besti ferill fyrir miðgildi var notuð loess aðferð. Hún er á margan hátt lík gam aðferðinni en hentar betur fyrir minni gagnasöfn.

Skoðað var hvort tveggja hvernig uppgufun dreifist yfir sumarið og hvernig hún þróast með tíma. Bornir voru saman ferlar uppgufunar eftir degi ársins og reiknaðrar sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring eftir degi ársins. Meðalsólgeislun á láréttan flöt á sólarhring var reiknuð fyrir árið 2014, en þá voru sumarsólstöður rétt fyrir hádegi 21. júní. Við útreikninginn var miðað við að alltaf væri heiðskírt og tekið var tillit til ljósbrots í andrúmslofti. Notuð var reynslutala fyrir Ísland við ákvörðun afls á flöt hornrétt í stefnu sólar, eða 950 W/m^2 .

Framkvæmt var staðlað einhliða tilgátupróf fyrir mismun meðaltala fyrstu tíu ára gagnaraðarinnar og árána 1995 til 2004 til þess að athuga hvort uppgufun væri að aukast. Ástæða þess að seinustu tvö árin eru ekki notuð er að löng tímabil vantar inn í gagnaröðina frá þeim tíma, sjá töflu 2. Við prófið var miðað við α -stig 5% ($\alpha = 0.05$), en það táknar líkur þess að núlltilgátu prófsins sé ranglega hafnað (Anna Helga Jónsdóttir & Sigrún Helga Lund, 2013).

Einnig var reiknað hversu hátt hlutfall úrkomu í Reykjavík gufar upp. Fyrir úrkomuna voru notaðar útgefnar tölur af Veðurstofu Íslands yfir sólarhringsúrkomu í Reykjavík. Þar sem uppgufunargögnin ná einungis yfir sumarmánuði ársins var hlutfallið reiknað á tvo vegu; annars vegar út frá mælingunum og hins vegar út frá útreiknuðu meðalafli sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring, en þeim ferli svipar mjög til ferils uppgufunarinnar. Notaðir voru maí- til septembermánuðir til þess að reikna bæði hversu hátt hlutfall ársúrkomu gufar upp þá mánuði og einnig hlutfall uppgufunar af úrkomu þess tímabils. Þessa mánuði vantaði tiltölulega sjaldan mælingar í gagnasafnið og urðu þeir því fyrir valinu. Notuð var aðferð minnstu kvaðrata til þess að finna hvernig ferill meðalafls sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring félli best að gögnunum, en við þá útreikninga voru notaðar eins til þriggja daga

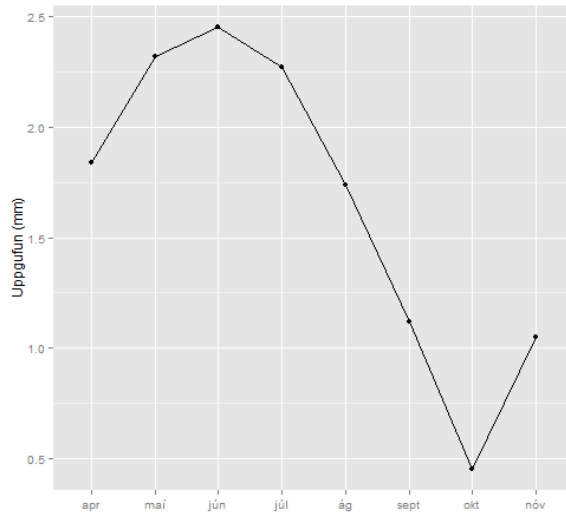
mælingar með útgildum. Einnig var lagt mat á hlutfall ársuppgufunar og ársúrkomu í Reykjavík út frá ferli meðalafls sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring.

Þegar reiknað var út frá mælingum hversu stórt hlutfall úrkomu í maí til september gufar upp í Reykjavík var heildaruppgufun þeirra daga á tímabilinu sem gögnin ná yfir reiknuð á móti heildarúrkomu tímabilsins. Einhverjar mælingar vantar í gagnaröðina og ef gert var ráð fyrir að þau göt dreifðust jafnt yfir tímabilið var hægt að finna hvert hlutfallið væri fyrir allt tímabilið. Sama aðferð var notuð til að finna hversu stórt hlutfall ársúrkomu gufar upp í maí til september. Sömu hlutföll voru reiknuð út frá ferli meðalafls sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring og einnig var metin heildarársuppgufun í Reykjavík og hlutfall hennar og heildarársúrkomu yfir árabilið 1968 til 2006.

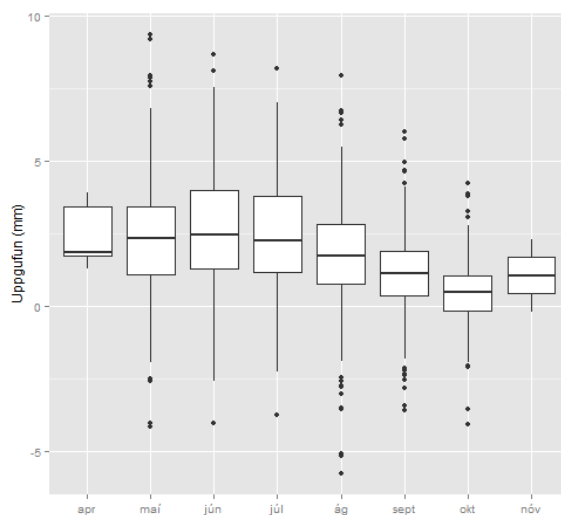
Við útreikninga á sambandi uppgufunar og tiltekinna veðurþátta var gerð einföld línuleg aðhvarfsgreining. Fylgnistuðull breytanna var reiknaður með 95% öryggisbili í hverju tilfelli fyrir sig og skýringarhlutfall breytanna var skoðað. Skoðað var mat á skurðpunkti og hallatölu aðhvarfslínunnar, auk þess sem 95% öryggisbil hennar var skoðað. Fyrir þær breytur sem hæstu skýringarhlutfalli skiluðu var framkvæmt línulegt fjölþáttaaðhvarf og einnig fyrir allar veðurbreyturnar sem teknar voru til skoðunar.

3 Niðurstöður

Gagnaröðin sem unnið var með spannaði 39 sumur og ætti því að gefa nokkuð góða mynd af þeirri uppgufun sem hér verður á sumrin og hugsanlegri langtímaþróun hennar. Í töflu 3 má finna fimm tölu samantekt fyrir sólarhringsgögnin án útgilda. Skoðun efri- og neðri fjórðungsgilda sýnir að helmingur mælinganna liggur á bilinu 0,73 til 3,07 mm/dag (sólarhring) og miðgildið er 1,78 mm/dag. Greinileg árstíðasveifla sést í gögnunum, en uppgufun er mest í júní og örlítið lægri í maí og júlí. Í ágúst til október lækkar uppgufunin hratt, sjá myndir 2 og 3. Miðgildið í apríl virðist passa við það mynstur sem myndin sýnir en það í nóvember sker sig mikið úr. Mælingar í þessum mánuðum voru fáar og einungis við bestu aðstæður og því lýsa gögnin líklega ekki því sem almennt gerist þá mánuði. Þegar uppgufun er teiknuð sem fall af tíma árs sést nokkuð greinilega að uppgufun er mest í kringum sumarsólstöður, en þær eru á bilinu 20. til 22. júní ár hvert. Ferillinn verður enn meira afgerandi þegar aðeins eru tekin úrkomulaus sólarhringsgögn án útgilda, sjá mynd 4. Blái ferillinn á myndinni sýnir besta feril eftir gam-aðferð fyrir gögnin og skyggða svæðið 95% öryggisbil hans. Á mörgum síðari myndum er samsvarandi gam-ferill með blárri línu og skyggðu svæði sem sýnir 95% öryggisbil. Á mynd 4 er einnig teiknað útreiknað meðalafll sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring og eru ferlarnir keimlíkir. Það er því líklegt að sólin stýri uppgufun að miklu leyti.



Mynd 2. Miðgildi uppgufunar í hverjum mánuði fyrir sig. Mjög fáar mælingar voru gerðar í apríl og nóvember.



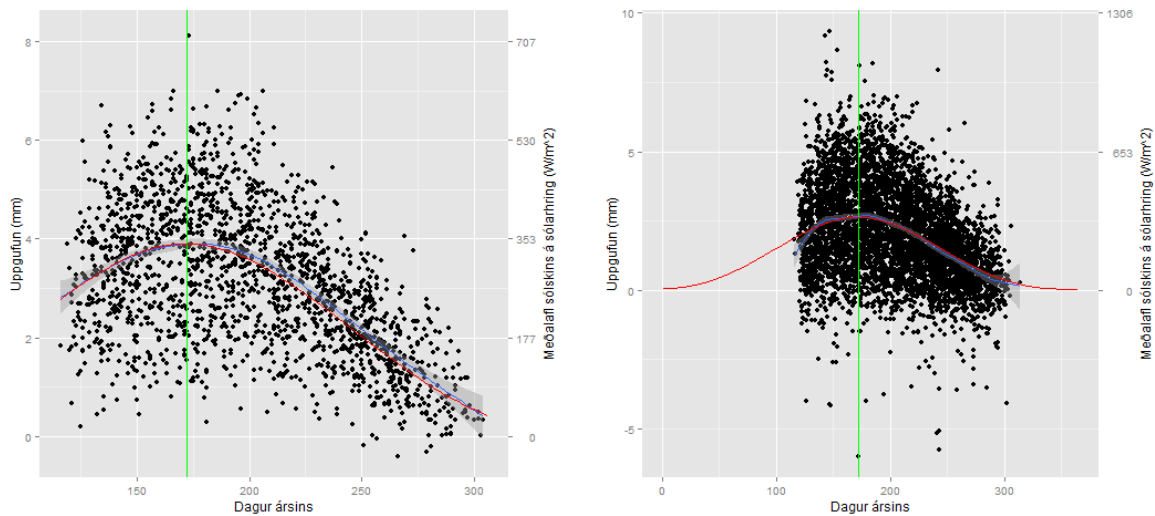
Mynd 3. Kassarit af uppgufun í hverjum mánuði. Kassarnir spanna það bil sem helmingur mælinganna liggur innan og línan innan þeirra táknar miðgildið. Punktarnir sýna útgildin sem sleppt var í útreikningum.

Tafla 3. Fimm tölu samantekt fyrir sólarhringsgögnin án útgilda.

Lægst	Q ₁	Miðgildi	Meðaltal	Q ₃	Hæst
-2.60	0.73	1.78	1.97	3.07	7.54

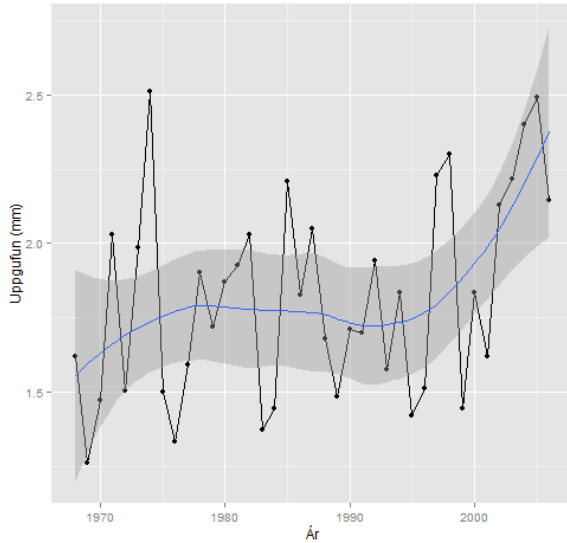
Q₁: Neðri fjórðungsmörk

Q₃: Efri fjórðungsmörk

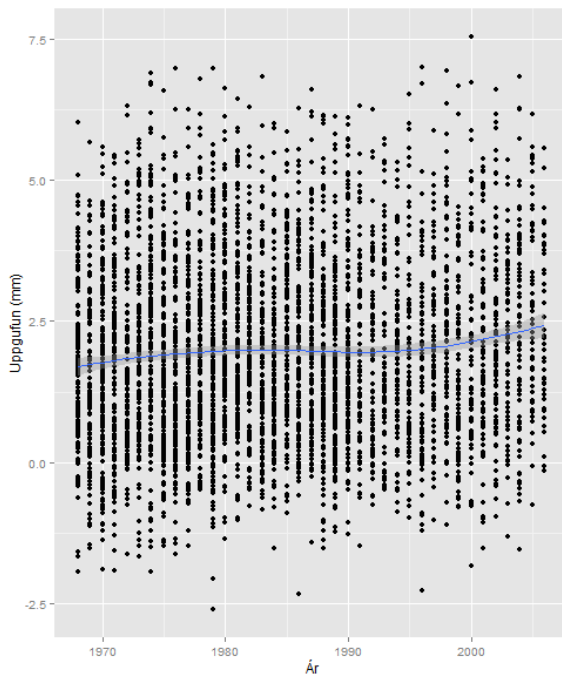


Mynd 4. Uppgufun eftir tíma ársins. Rauði ferillinn sýnir útreiknað meðalafl sólgeislunar á láréttan flöt á hverjum sólarhring. Græna línan er við sumarsólstöður, 21. júní. Vinstri myndin sýnir eins dags gögn úrkomulausra daga án útgilda en sú hægra eins til þriggja daga gögn með útgildum. Blái ferillinn á myndinni sýnir besta feril eftir gam aðferð fyrir gögnin og skyggða svæðið 95% öryggisbil hans. Sams konar blár gam-ferill er á mörgum síðari myndum.

Langtímaþróun uppgufunar má sjá á myndum 5 og 6. Uppgufun er sveiflukennt fyrirbæri, en að öllum líkindum hefur þar árferði mest að segja. Þegar horft er á heildarmyndina virðist uppgufun hafa farið vaxandi fyrsta áratug mælitímabilsins og aftur upp úr miðjum tíunda áratug síðustu aldar. Þess á milli virðist hún hafa haldist nokkuð jöfn. Myndirnar gefa tilefni til þess að ætla að uppgufun hafi verið meiri undir lok mælitímabilsins en í upphafi þess. Framkvæmt var staðlað einhliða tilgátupróf fyrir mismun tveggja meðaltala til þess að athuga hvort tilgáta þessi ætti við rök að styðjast. Til skoðunar voru fyrstu tíu ár mælitímabilsins, 1968 til 1977 og árin 1995 til 2004 og var α -stig prófsins 0,05. Notuð voru hreinsuð sólarhringsgögn án útgilda. Þannig voru þau sem áreiðanlegust án þess þó að útiloka alla þá daga er einhver úrkoma féll þar sem það rýrir gagnasafnið talsvert. p -gildi prófsins reyndist vera $6 \cdot 10^{-5}$ sem er töluvert lægra en α . Því var núlltilgátunni um að meðaltölin séu þau sömu hafnað og ályktað að meðaltal uppgufunar árin 1995 til 2004 væri hærra en meðaltal fyrstu tíu ára mælitímabilsins.



Mynd 5. Miðgildi uppgufunar á hverju ári 1968–2006, ásamt gam-ferli.



Mynd 6. Allar uppgufunarmælingar 1968–2006, ásamt gam-ferli.

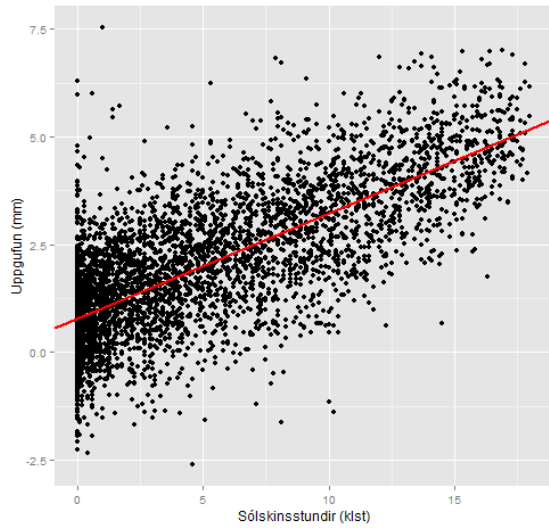
Miðgildi uppgufunar yfir sumartímann er 1,8 mm/dag, en meðaltalið er 2,0 mm/dag. Reiknað meðaltal uppgufunar á dag út frá meðalfla sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring er 2,1 mm/dag fyrir maí til september en 1,2 mm/dag yfir árið í heild. Reiknað hlutfall uppgufunar og úrkomu í maí til september er 1,1, þ.e. það gufar meira upp en rignir þann hluta ársins. Heildaruppgufun í maí til september nemur að meðaltali 318 mm, eða um 38% af ársúrkomu í Reykjavík. Sömu niðurstöður fást þegar hlutfallið er reiknað út frá meðalfla sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring. Mat á meðalheildaruppgufun yfir árið var reiknað út frá ferli meðalfls sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring og gaf það 434 mm/ár. Hlutfall meðalársuppgufunar og meðalársúrkomu fyrir árin 1968 til 2006 reyndist þá vera 0,52. Því má áætla

að u.þ.b. helmingur ársúrkomu gufi upp af opnum vatnsfleti yfir árið í Reykjavík að meðaltali, sé gert ráð fyrir að aldrei myndist ís á vatninu.

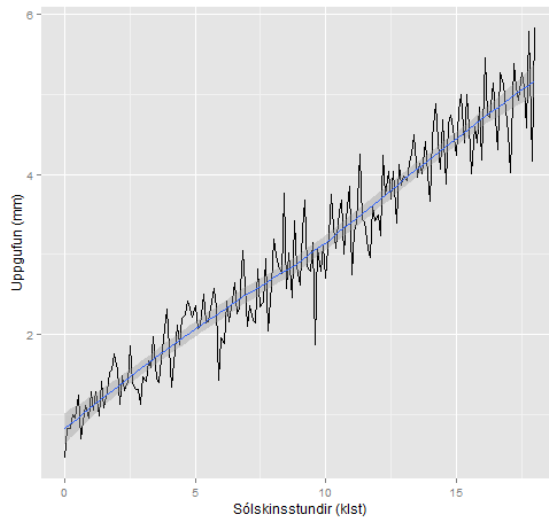
Stóran hluta breytileika uppgufunar má skýra með nokkrum veðurþáttum. Línulegt samband er á milli uppgufunar og fjölda sólskinsstunda á sólarhring, sjá myndir 7 og 8. Töluverð jákvæð fylgni er á milli breytanna og skýringarhlutfallið því hátt, sjá töflu 4. Um 55% af breytileika í uppgufun má skýra með fjölda sólskinsstunda. Það verður að teljast allmikið, enda mikið suð í gögnunum. Rakastig hefur einnig töluverð áhrif á uppgufun, en neikvæð fylgni er á milli rakastigs og uppgufunar, sjá töflu 4. Sambandið virðist vera nokkuð línulegt, sjá myndir 9 og 10, og skýra má um 35% af breytileika í uppgufun með rakastigi. Sé myndin skoðuð nánar sést að lína minnstu kvaðrata er nálægt því að skera punktinn (100, 0). Raunar nær 95% öryggisbil línunnar yfir þann punkt, en fræðunum samkvæmt ætti raunveruleg lína að gera það þar sem engin uppgufun verður þegar loftið er að fullu rakamettað. Meðal-skýjahula hefur einnig eitthvað að segja, enda nátengd sólskini og loftraka. Neikvæð fylgni er á milli meðal-skýjahulu og uppgufunar, sjá töflu 4. Svo virðist vera að fyrir meðal-skýjahulu á bilinu þrír til sjö sé nokkuð línulegt samband við uppgufun, sjá myndir 11 og 12, en að á bilinu sjö til átta minnki uppgufun hratt. Skýringarhlutfallið milli breytanna er 0,35. Uppgufun virðist hins vegar haldast svipuð fyrir meðal-skýjahulu á bilinu einn til þrír. Ástæða þess að lítið samband virðist milli sólskins og skýjahulu 0-3 getur falist í að í sólskini í Reykjavík er oft skýjakragi á fjöllum í kring og uppgefin skýjahula hefur því lítil áhrif á styrk þess sólarljóss sem fellur á uppgufunarpönnuna.

Tafla 4. Fylgnistuðlar og skýringarhlutföll línulegrar aðhvarfsgreiningar fyrir sólarhringsgögn uppgufunar án útgilda.

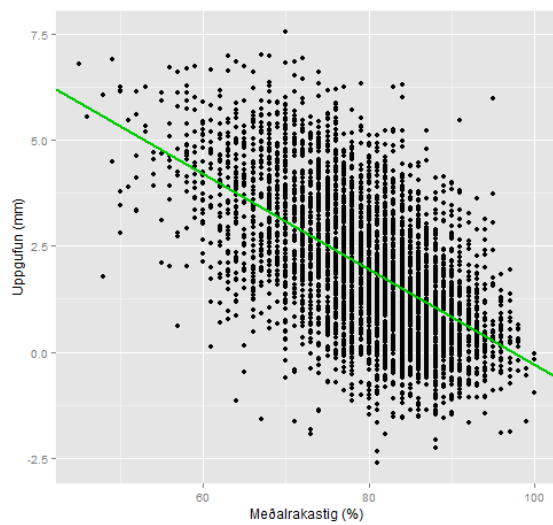
Veðurþáttur	Fylgnistuðull (r)	Skýringarhlutfall (R ²)
Einföld línuleg aðhvarfsgreining:		
Fjöldi sólskinsstunda	0.7408	0.55
Meðalrakastig	-0.5917	0.35
Meðal-skýjahula	-0.5938	0.35
Úrkoma	-0.3946	0.16
Meðalhitastig	0.1666	0.03
Meðalvindhraði	-0.1153	0.01
Meðalloftþrýstingur	0.0528	0.003
Fjölþætt línuleg aðhvarfsgreining:		
Sólskinsstundir, rakastig og skýjahula		0.62
Allir ofangreindir þættir		0.67



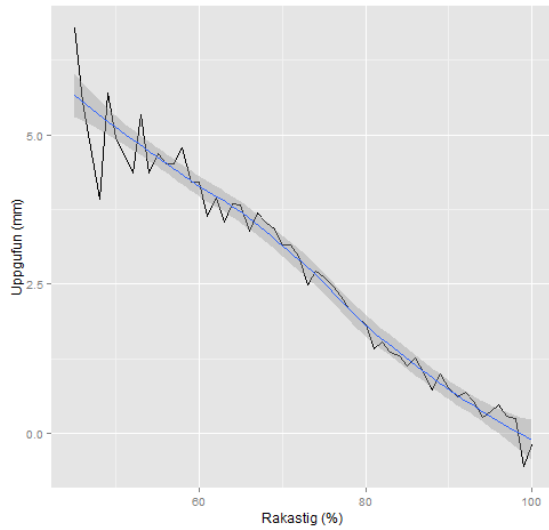
Mynd 7. Uppgufun sem fall af fjölda sólskinsstunda með línu minnstu kvaðrata.



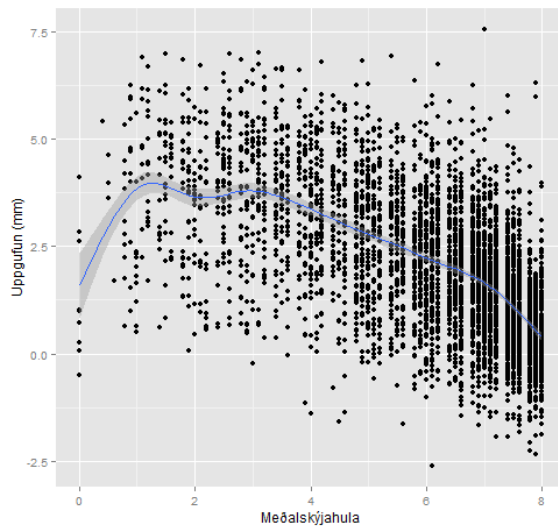
Mynd 8. Miðgildi uppgufunar eftir fjölda sólskinsstunda ásamt gam-ferli.



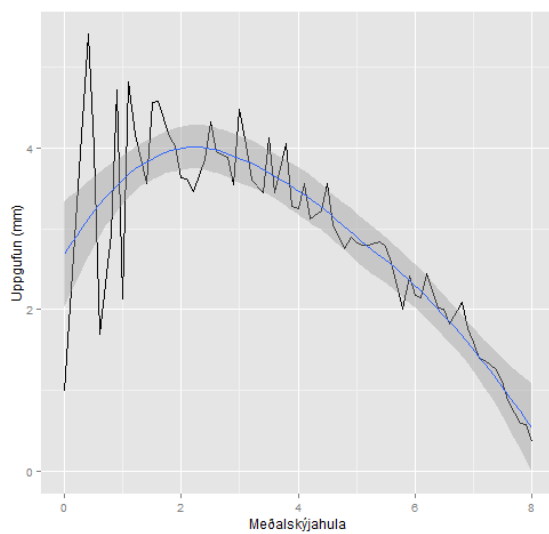
Mynd 9. Uppgufun sem fall af meðalrakastigi með línu minnstu kvaðrata.



Mynd 10. Miðgildi uppgufunar eftir rakastigi, ásamt gam-ferli.



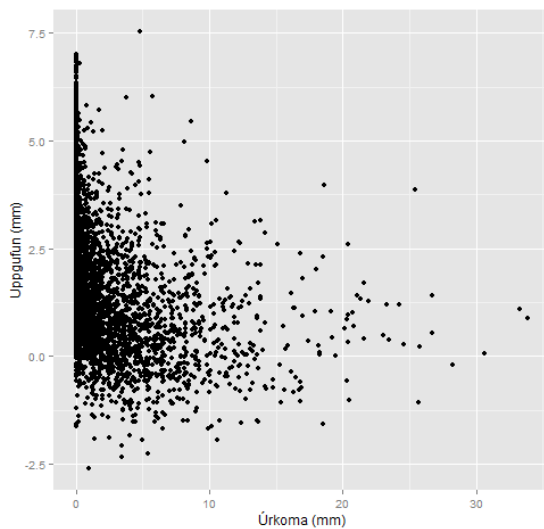
Mynd 11. Uppgufun sem fall af meðalskjáhulu, ásamt gam-ferli.



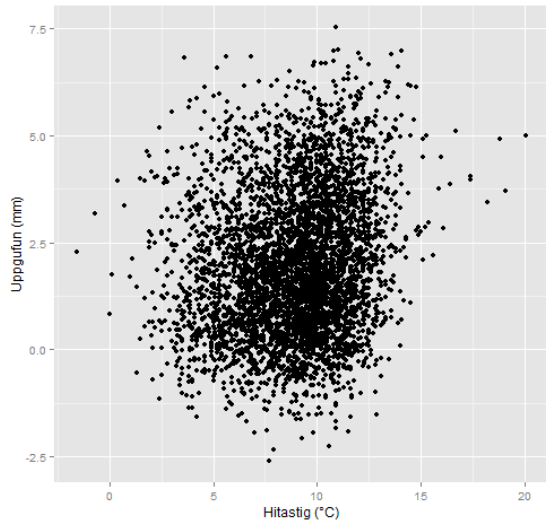
Mynd 12. Miðgildi uppgufunar eftir meðalskjáhulu, ásamt gam-ferli.

Ekki fannst skýrt samband á milli úrkomu og uppgufunar, sjá mynd 13. Þó virðist uppgufun vera lítil í mikilli úrkomu og uppgufun getur orðið mikil þegar úrkoma er í lágmarki. Myndin gefur að auki dæmi um þá óvissu sem mælingunum fylgir, en hún sýnir að hækkað hefur í pönnunni nokkrum sinnum þrátt fyrir að úrkoma hafi verið lítil sem engin. Athygli vekur að lofthiti virðist hafa lítil áhrif á uppgufun, sjá mynd 14. Þó er veik jákvæð fylgni milli breytanna, sjá töflu 4.

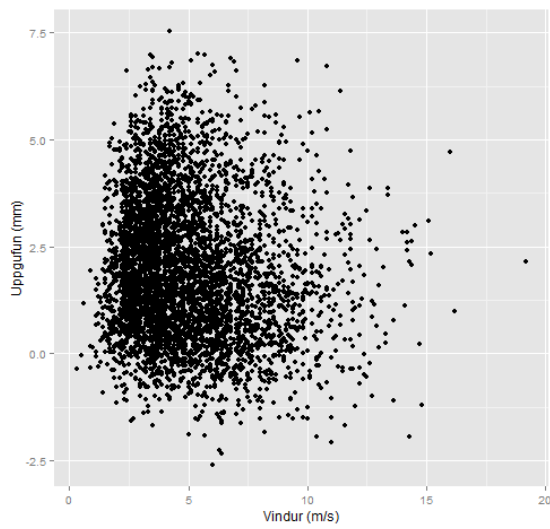
Mynd 15 sýnir að samband vindhraða og uppgufunar er mjög lítið ef nokkurt. Þetta kemur á óvart, því almennt er gert ráð fyrir að uppgufun yfir opnu vatni sé háð vindhraða (Peixoto og Oort, 1992). Þrátt fyrir nánari skoðun á gögnunum fannst ekkert marktækt samband uppgufunar og vindhraða. Taka verður þó fram að hliðar pönnunar skýla vatnsfletinum að nokkru. Einnig má hafa í huga að á sumrin er sólin sterkari og vindur minni en að vetri til, og því ekki ómögulegt að hlutfallsleg áhrif vinds kæmu frekar fram á öðrum árstímum. Áhrif vinds koma þó fram þegar vindáttin er skoðuð. Á myndum 16 og 17, sem sýna vindátt kl. 15, sést að mest uppgufun verður í norðlægum áttum (u.þ.b. VNV-átt til NNA-áttar) og minnst í sunnanáttum (u.þ.b. S-átt til VSV-áttar). Hún er þó áberandi minnst í suðvestanátt og mest í norðanátt sem tengist líklega mismunandi loftraka í þessum vindáttum. Mjög veikt samband virðist vera á milli uppgufunar og loftþrýstings. Þó virðist uppgufun aukast með hærri loftþrýstingi.



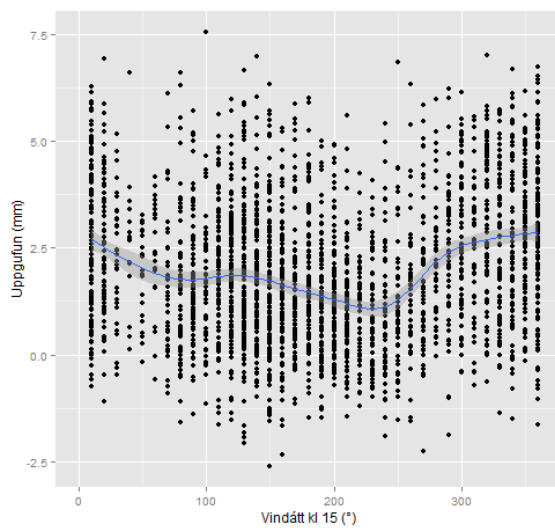
Mynd 13. Uppgufun sem fall af úrkomu.



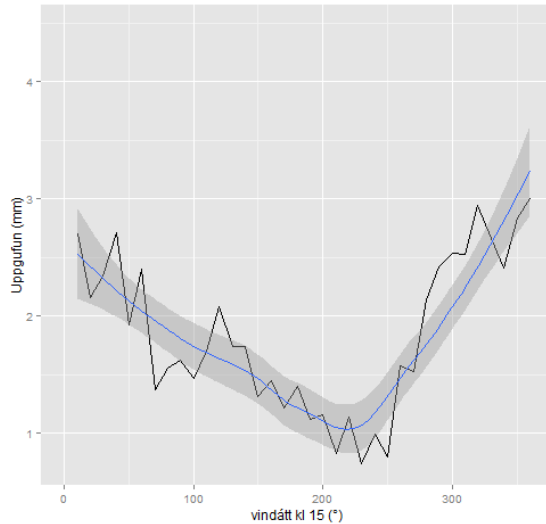
Mynd 14. Uppgufun sem fall af hita.



Mynd 15. Uppgufun sem fall af vindhraða.



Mynd 16. Uppgufun sem fall af vindátt kl. 15, ásamt gam-ferli.



Mynd 17. Miðgildi uppgufunar eftir vindátt kl. 15, ásamt gam-ferli.

Framkvæmt var línulegt fjölpáttaaðhvarf og skoðað hversu stóran hluta breytileika uppgufunar má skýra með samspili áðurnefndra þátta. Í ljós kom að um 62% af breytileika uppgufunar má skýra með fjölda sólskinsstunda, rakastigi og meðalskýjahulu, sjá töflu 4. Ef teknir eru saman allir þeir veðurþættir er skoðaðir voru verður skýringarhlutfallið 0,67 og því má skýra um tvo þriðjuhluta af breytileika í uppgufun til veðurþátta.

Þegar skýribreytur eru teknar á þennan hátt og samband þeirra við svarbreytu er skoðað er mikilvægt að átta sig á því að sumar skýribreyturnar geta verið innbyrðis háðar. Slíkt er tilfellið þegar um veðrið er að ræða, enda spila margir þættir saman við myndun veðuráðstæðna hverju sinni. Hér verður að setja þann fyrirvara að ekki er gert ráð fyrir því að spábreytur séu innbyrðis háðar, en nánari greining verður ekki gerð í þessari rannsókn.

4 Umræða

Í ljósi lengdar gagnaraðarinnar má gera ráð fyrir að gögnin gefi góða mynd af uppgufun í Reykjavík. Gagnaröðin er nánast alveg heil fram til 1990 og sjaldan vantar löng tímabil inn í hana. Þó vantar allnokkuð af mælingum árin 2005 og 2006 en þegar litið er á heildarmyndina virðast þau ekki skera sig úr að ráði. Það ætti því ekki að hafa mikil áhrif á niðurstöðurnar. Miðgildi uppgufunar er 1,78 mm/dag, og fyrstu- og þriðju fjórðungsmörk eru 0,73 mm/dag og 3,07 mm/dag, sjá töflu 3. Helmingur mælinganna raðast því á það bil, en mælingarnar ná allt frá -2,60 mm/dag upp í 7,54 mm/dag. Í þeim tilfellum þegar uppgufun mælist neikvæð er það sökum þess að hækkað hefur meira í pönnunni en mæld sólarhringsúrkoma segir til um. Auk óvissu í mælingum á vatnsborðshæð uppgufunarpönnu fylgir mikil óvissa úrkomumælingum og vitað er að í mikilli úrkomu getur mælst minni úrkoma en fellur í raun (Markús Á. Einarsson, 1976). Því er ekki óeðlilegt að reiknuð uppgufun geti mælst neikvæð þrátt fyrir að skilgreiningu samkvæmt eigi hún ekki að verða það. Hámarksgildið er töluvert frá miðgildinu. Það er bæði vegna mælióvissu og sökum árstíðasveiflu í gögnunum, uppgufun er oft mikil í lok júní.

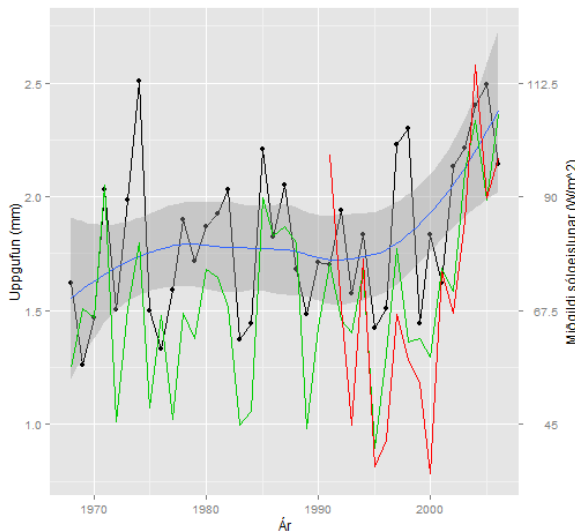
Mikil árstíðasveifla sést í gögnunum, enda virðist megnið af breytileika uppgufunar skýrast með veðurþáttum sem geta bæði verið sveiflukenndir á stuttum tíma og eru breytilegir eftir árstíðum. Mest uppgufun verður í júní og aðeins minni í maí og júlí. Hún hrapar svo hratt frá

ágúst og fram í október. Taka verður gildin í apríl og nóvember með fyrirvara sökum fæðar mælinga. Kassaritin af uppgufun í hverjum mánuði á mynd 3 gefa þó ágæta hugmynd um það á hvaða bili mælingar liggja. Að líkindum liggur hið raunverulega miðgildi nokkuð neðar í báðum tilfellum. Þær fáu mælingar sem gerðar voru í apríl og nóvember voru gerðar þegar helst voru aðstæður til þess, en það hefur þá að líkindum verið óvenju hlýtt miðað við árstíma, auk þess sem einungis voru gerðar mælingar í lok apríl og í byrjun nóvember. Mynd 4 lýsir ef til vill hinni raunverulegu uppgufun í apríl og nóvember betur, en þar er teiknuð uppgufun eftir degi ársins. Þó er sú mynd byggð á sömu gögnum svo gera má ráð fyrir að hali raunverulegs ferils lægi nokkru neðar en á þeirri mynd.

Árstíðasveifla uppgufunarinnar líkist fjölda sólskinsstunda eftir tíma árs, enda kemur á daginn að uppgufun er mest í kringum sumarsólstöður, sjá mynd 4. Ferillinn er keimlíkur reiknuðu meðalafli sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring og lægju halar hans litlu neðar en á myndinni væru ferlarnir enn nær hvor öðrum. Því má segja að sólin stjórni uppgufun nánast að fullu.

Þegar á heildarmyndina er litið virðist uppgufun hafa farið vaxandi fyrsta áratug mælitímabilsins en svo staðið nokkuð í stað fram undir miðjan tíunda áratug síðustu aldar er hún hóf að aukast hratt. Ljóst er að meðaluppgufun fyrstu tíu áranna er lægri en í lok tímabilsins.

Á síðasta áratug var nokkuð fjallað um hnattræna rökkvun (e. global dimming) í vísindaritum, en mælingar víðsvegar um heim benda til þess að dregið hafi úr sólgeislun við yfirborð á tímabilinu 1950 til 1980, en um miðjan 9. áratuginn hafi sólgeislun við yfirborð farið aftur að aukast (Wild, 2009). Mælingarnar hér ná einungis yfir síðari hluta rökkvunartímabilsins en sýna greinilega aukninguna fyrir og eftir aldamót, sjá mynd 18. Litudu ferlarnir sýna niðurstöður tvennskonar útreikninga á styrk sólgeislunar en báðum ber saman um að styrkur sólgeislunar við yfirborð jarðar í Reykjavík hafi aukist á 10. áratugnum og eftir aldamót, en á því tímabili jókst uppgufun einnig.



Mynd 18. Tímaröð af uppgufun og sólgeislun í Reykjavík. Svarti ferillinn sýnir miðgildi uppgufunarmælinganna fyrir hvert ár, en grænu og rauðu ferlarnir sýna tvær ólíkar aðferðir við að meta sólgeislun þá daga sem uppgufunarmælingar ná til. Rauði ferillinn byggir á klukkutíma mælingum á fjölda sólskinsstunda og sólarhæð hverju sinni, en græni ferillinn byggir á skýjahuluathugunum á þriggja tíma fresti og sólarhæð.

Þegar litið er á tímabilið í heild sinni virðist um helmingur úrkomu sem fellur á opinn vatnsflöt gufa upp yfir árið í Reykjavík, ef gert er ráð fyrir að aldrei myndist ís á vatninu. Þar af gufa yfir 70% upp í maí til september, en um 38% af ársúrkomu gufa upp á því tímabili. Útreiknuð meðalársuppgufun í Reykjavík eru 434 mm, en í maí til september gufa að meðaltali upp 318 mm. Mynd 4 gefur góða hugmynd um það hvernig uppgufun dreifist yfir árið. Gera má ráð fyrir að stór hluti þess sem gufar upp utan þessa tímabils gufi upp í apríl, en uppgufun er lítil á Íslandi yfir vetrartímamann. Yfir sumartímamann gufar að meðaltali hins vegar meira upp af opnum vatnsfleti í Reykjavík en rignir á hann. Mismunur ársúrkomu og ársuppgufunar eru um 400 mm.

Lítið hefur verið skrifað um uppgufun á Íslandi og raunar hefur hún ekki verið skoðuð síðan stuttu eftir að uppgufunarmælingar hófust hér á landi. Markús Á. Einarsson (1972) reiknaði þá uppgufun fyrir árin 1958-1967 fyrir 28 staði á landinu út frá veðurfarsaðstæðum á hverjum stað fyrir sig með jöfnu Penmans. Þar talar hann um að 75-95% af ársuppgufun verði í apríl til september. Útreikningar út frá ferli meðalafls sólgeislunar á láréttan flöt á sólarhring benda til að 85% ársuppgufunar gufi upp í apríl til september. Markús talar einnig um að mest uppgufun verði í júní og júlí og að hún sé lítil á veturna. Hann reiknar vatnsjöfnuð sem mismunur úrkomu og gnóttargufunar með meðaltölum úrkomu (e. precipitation normals) fyrir árin 1931-1960. Hlutfall gnóttargufunar og uppgufunar frá opnum vatnsfleti er 0,84 (Markús Á. Einarsson, 1976). Hann fann út að vatnsjöfnuður væri neikvæður í apríl til september og yfir árið er hann ekki fjarri útreiknuðum mismunur ársúrkomu og ársuppgufunar miðað við áðurgreint hlutfall. Ársuppgufun Markúsar er þó talsvert meiri en útreikningar út frá ferli meðalafls sólgeislunar á láréttan flöt gera ráð fyrir, eða 610 mm í Reykjavík. Þegar skoðaðir eru maí til september sérstaklega fær hann meiri uppgufun en ársúrkoma útreikninganna gefur, eða 462 mm.

Þessi mismunur þarf þó ekki að vera óeðlilegur, enda eru bæði tímabilin sem undir eru og aðferðirnar sem notaðar eru talsvert ólík. Útreikningar Markúsar ná yfir tíu ára tímabil, 1958-1967, en það skarast ekki við það mælitímabil sem hér er til skoðunar. Markús ber þó niðurstöður útreikninga sinna saman við fyrstu þrjú sumrin er uppgufun var mæld í Reykjavík, þ.e. sumrin 1968-1970. Hann talar um að þau gildi sem hann fái fyrir maí til september séu lægri en mælda uppgufunin gefur og að munurinn sé mestur í maí og september en að gildin séu nær lagi sumarmánuðina júní til ágúst. Eins og áður segir eru bæði uppgufun og veðurlag sveiflukennd fyrirbæri og því þarf ekki að vera að útreikningar Markúsar séu fjarri lagi. Þó ber að hafa í huga að þættir á borð við vindhraða og hitastig koma fyrir í jöfnu Penmans en þeir hafa þar ekki jafn afgerandi áhrif og sólgeislun og þurrkur loftins (Markús Á. Einarsson, 1976).

Um tvo þriðjuhluta breytileika uppgufunar má skýra með veðurþáttum þeim er til skoðunar voru. Rétt er þó að endurtaka þá fyrirvara sem gerðir voru að ofan um að veðurþættir séu innbyrðis háðir en einnig má benda á að mælingar veðurþáttanna ná ekki allar yfir sama tímabil og uppgufunarmælingarnar og einnig er nokkuð suð í mælingunum. Hinsvegar er ljóst að þessar mælingar gefa góða hugmynd um stærðargráðu uppgufunar í Reykjavík og einnig hugmynd um hvaða áhrif hinir ýmsu veðurþættir hafi á uppgufun.

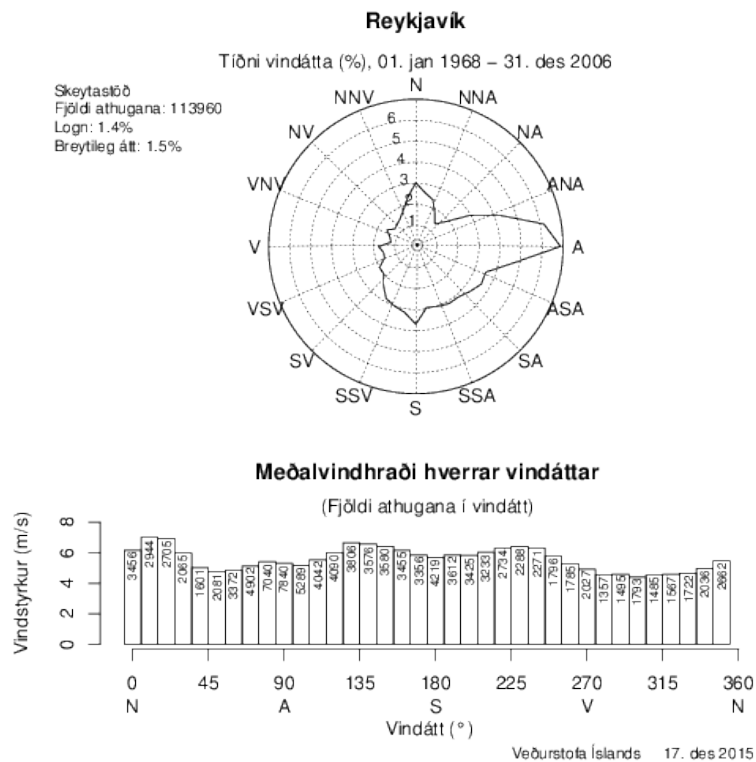
Ljóst er að fjöldi sólskinsstunda stýrir stærstum hluta uppgufunar, en skýra má rúman helming breytileika hennar með sólskinsstundum einum og sér. Því kemur ekki á óvart að uppgufun er í hámarki um sumarsólstöður þegar sólin er hæst og lengst á lofti. Línulegt samband er á milli fjölda sólskinsstunda og uppgufunar, sjá myndir 7 og 8. Rakastig loftins hefur einnig töluvert að segja, enda gengur uppgufun hraðar fyrir sig er það er lágt. Rakastig

er sjaldan mjög lágt í Reykjavík og það skýrir suðið í mynd 10 sem annars sýnir nokkuð línulegt samband uppgufunar og rakastigs. Auk þessara tveggja þátta gaf meðalskýjahula nokkuð hátt skýringarhlutfall úr einfaldri línulegri aðhvarfsgreiningu, enda stýrir hún fjölda sólskinsstunda þegar sólin er á lofti á annað borð.

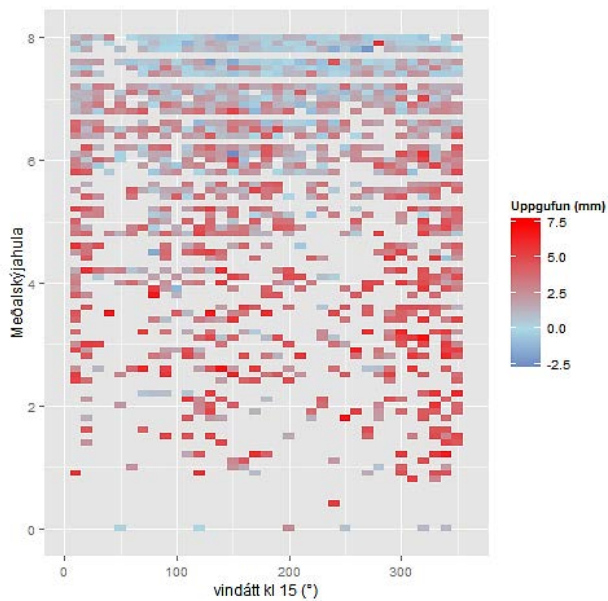
Samband uppgufunar og meðalskýjahulu á mynd 11 virðist ekki vera línulegt fyrir litla skýjahulu þrátt fyrir að vera nálægt því þegar hún er mikil. Fyrir meðalskýjahulu á bilinu þrír til sjö áttundu virðist samband hennar við uppgufun vera nokkuð línulegt. Hallatalan er neikvæð, en hún lækkar enn frekar á bilinu sjö til átta. Uppgufun virðist hins vegar vera nokkuð jöfn fyrir skýjahulu á bilinu einn til þrír. Ástæða þessa getur legið í að í bjartviðri er oft sólskin í Reykjavík þótt ský séu á fjöllum í kringum borgina. Því mælist almennt áþekkt magn uppgufunar þegar léttskýjað er.

Skýringarhlutfallið milli úrkomu og uppgufunar er tæplega 16%, en ekkert sýnilegt samband fannst á milli breytanna á mynd 13. Að líkindum liggur orsök þessa skýringarhlutfalls í nánu sambandi úrkomu og skýjahulu. Ekki verður úrkoma nema ský séu á himni og skýin hafa bein áhrif á sólskin. Úrkoman sjálf hefur því ólíklega áhrif á uppgufunina að öðru leyti en því hvernig hún er reiknuð út þá daga sem úrkoma hefur fallið. Hiti er einnig óverulegur áhrifavaldur breytileika í uppgufun. Veikt jákvætt línulegt samband er á milli breytanna, en að líkum skýrist það af áhrifum hita á rakastig sem aftur hefur bein áhrif á uppgufun. Þekkt er að ef öllum öðrum breytum er haldið föstum er rakastig lægra við hærra hitastig (Markús Á. Einarsson, 1976) sem eykur hæfileika loftins til þess að taka við vatnsgufu. Því hefur hiti óbein áhrif á uppgufun. Athygli vekur að ef einungis er litið til úrkomulausra daga eykst fylgni meðalhita og uppgufunar. Möguleg orsök þess er að á úrkomulausum dögum er rakastigið almennt lægra en þá daga sem úrkoma fellur.

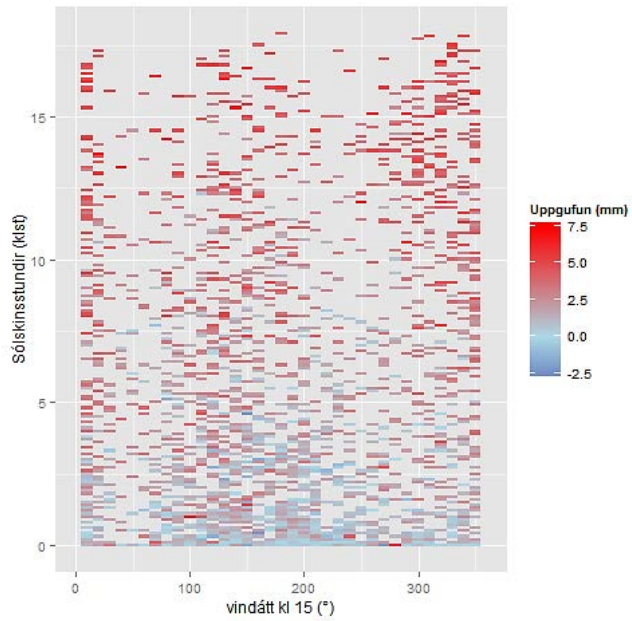
Meðalvindhraði sólarhrings virðist lítil sem engin áhrif hafa á uppgufun. Ekkert sýnilegt samband fannst á milli meðalvindhraða og uppgufunar, sjá mynd 15. Samt sem áður hefur vindur áhrif á uppgufun þar sem vindáttin virðist hafa nokkuð að segja. Er gögnin eru skoðuð myndrænt, sjá mynd 16, liggur ljóst fyrir að uppgufun er meiri í norðlægum áttum en suðlægum. Mynd 19 sýnir vindrós fyrir Reykjavík á mælitímabilinu. Glögglega má sjá að austanátt er algengust, en þá virðist uppgufun vera í meðallagi. Vindátt sem slík hefur þó líklega ekki bein áhrif á uppgufun, öllu heldur þeir þættir sem einkenna vindáttina. Mest uppgufun verður í norðlægum áttum, en þeim fylgir gjarnan bjartviðri sunnanlands. Lægðakerfum við landið sem oft valda suðlægum áttum á landinu fylgja gjarnan mikil skýjakerfi og úrkoma (Markús Á. Einarsson, 1976), enda er skýjahula sjaldan lítil í suðlægum áttum í Reykjavík og uppgufun þar af leiðandi lítil, sjá mynd 20. Því verða sólskinsstundir sjaldan margar í sunnan- og suðvestanáttum í Reykjavík en þær eru líklegri í norðlægum áttum, sjá mynd 21. Auk þess er rakastig gjarnan lægra í norðanáttum en suðlægum, sjá mynd 22. Það að draga virðist úr uppgufun með lægri loftþrýstingi styður að auki þá ályktun að uppgufun sé meiri í norðlægum áttum en suðlægum, þrátt fyrir að loftþrýstingur skýri lítið af breytileika í uppgufun. Því valda þeir þættir sem jafnan einkenna ólíkt veðurlag því að uppgufun reynist mismikil eftir vindátt.



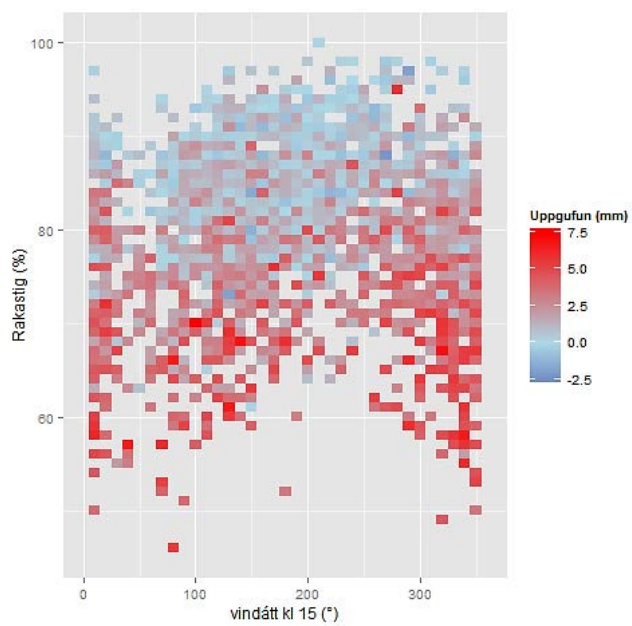
Mynd 19. Vindrós fyrir Reykjavík árin 1968 til 2006.



Mynd 20. Meðalskýjahula eftir vindátt kl. 15. Litirnir sýna hversu mikil uppgufun varð að meðaltali í hverjum punkti.



Mynd 21. Fjöldi sólskinsstunda eftir vindátt kl. 15. Litirnir sýna hversu mikil uppgufun varð að meðaltali í hverjum punkti.



Mynd 22. Rakastig eftir vindátt kl. 15. Litirnir sýna hversu mikil uppgufun varð að meðaltali í hverjum punkti.

5 Lokaorð

Uppgufun í Reykjavík er mjög árstíðabundin, en hún er mest um sumarsólstöður. Sólin stýrir langstærstum hluta uppgufunar og ferill uppgufunar er áþekkur ferli afls sólgeislunar á láréttan flöt. Svo virðist vera að uppgufun hafi verið minni á áttunda áratug tuttugustu aldar en í upphafi tuttugustu og fyrstu aldarinnar. Styrkur sólgeislunar á láréttan flöt virðist hafa aukist fyrir aldamótin, rétt eins og uppgufun. Í Reykjavík virðist um helmingur ársúrkomu gufa upp. Uppgufunin verður nánast öll yfir sumartímann og á sumrin gufar að meðaltali meira upp frá opnum vatnsfleti en rignir á hann. Um 55% breytileika í uppgufun má skýra með fjölda sólskinsstunda. Rakastig er einnig mikilvægur þáttur uppgufunar, enda gufar lítið upp ef loftið er nánast mettað. Athygli vekur að hvorki hiti né vindhraði virðast hafa afgerandi áhrif á uppgufun.

Ýmsa þætti væri áhugavert að skoða í framhaldi rannsóknarinnar, s.s. prófa að reikna uppgufun alfarið út frá ferli sólgeislunar yfir árið og einnig mætti skoða þróunina eftir 2006, en þá var hætt að mæla handvirkt og tekinn upp sjálfvirkur mælir sem hefur mælt síðan þá með hléum.

Heimildir

- Anna Helga Jónsdóttir & Sigrún Helga Lund (2013). *Tölfræði frá grunni* (4. útg). Reykjavík: Háskólafjölritun.
- Hydrological Services Pty Ltd (2003). *Instruction Manual: Evaporation pan: Class A* [bæklingur]. Liverpool B.C: Hydrological Services Pty Ltd. Skoðað 27. júlí 2015 á: <http://www.hydrologicalusa.com/images/uploads/mcaep2.pdf>
- Markús Á. Einarsson (1972). Evaporation and potential evapotranspiration in Iceland. *Nordic Hydrology*, 3(4), 183-198.
- Markús Á. Einarsson (1976). *Veðurfar á Íslandi*. Reykjavík: Iðunn.
- Peixoto, J. P. & Oort, A. H. (1992). *Physics of Climate*. New York: American Institute of Physics.
- SAS Institute Inc. (á.á.). *The GAM Procedure*. Skoðað 27. júlí 2015 á: http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63962/HTML/default/viewer.htm#statug_gam_sect001.htm
- Wild, M. (2009). Global dimming and brightening: A review. *J. Geophys. Res.*, 114, D00D16, doi:10.1029/2008JD011470.
- WMO (2014). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO-No. 8, World Meteorological Organization.

Viðauki I. Úrvinnsluferli

Frumgögn sérmælinga í mælireit Veðurstofunnar voru skráð á mánaðarblöð og safnað saman í möppur. Mælingar á vatnsborði í uppgufunarpönnu kl. 9 árdegis eru þar handskrifaðar í sérstakan dálk. Stundum eru skráðar athugasemdir við mælingu. Uppgufunarmælingarnar voru slegnar inn í tölvu og voru meðhöndlaðar á eftirfarandi hátt:

1. Búin var til frumgagnaskrá sem innihélt frumgögnin á tölvutæku formi. Hún hefur fjóra dálka, dagsetningu, vatnsborðshæð, endurstillingu og athugasemdir. Þessi skrá inniheldur gögnin eins hrein og kostur er, þ.e. í henni eru mæligildi skrifuð inn á sama hátt og í frumgögnunum sjálfum ásamt þeim athugasemdum sem athugunarmaður skráði. Alla jafna voru einungis fyrstu tveir dálkarnir notaðir, skráð var hæð vatnsborðs við viðeigandi dagsetningu. Í þeim tilfellum er hreyft var við hæð vatnsborðsins, t.d. þegar bætt var í vatni eða ausið úr eða ef skipt var um vatn, var hin nýja staða vatnsborðsins skráð í endurstillingareitinn. Í athugasemdareitinn voru skráðar þær athugasemdir úr frumgögnunum er vörðuðu uppgufunarmælingarnar.
2. Búin var til önnur skrá til þess að vinna með. Vinnsluskráin inniheldur sömu reiti en þar hefur verið átt orlitið við gögnin í samræmi við þær athugasemdir sem fylgdu í frumgögnunum. Bætt var við dálkum sem innihéldu veðurupplýsingar til þess að hægt væri að bera uppgufunina saman við veðrið hverju sinni. Einnig var bætt við reitum með útreiknuðum gildum út frá gögnunum. Uppgufunin var alla jafna reiknuð sem mismunur vatnsborðshæðar dags og dagsins á undan.
3. Átt var við frumgögnin á eftirfarandi hátt við gerð vinnsluskrárinnar:
 - Ef mæling var ekki gerð á hefðbundnum tíma, kl. 9, var hún meðhöndluð sem hver önnur mæling, hafi hún verið gerð fyrir hádegi. Ef lengur dróst að mæla var skráð NA (mælingu vantar) og vatnshæð sett í athugasemd. Þá var mæliröðin endurstíllt daginn eftir.
 - Ef hrært var í vatnsborðsstöðu eftir mælingu var hin nýja staða vatnsborðsins skráð sem endurstilling þannig að útreikningur á uppgufun daginn eftir yrði réttur. Í þeim tilfellum að hreyft var við stöðu vatnsborðsins síðar um daginn fór það eftir því hvaða upplýsingar athugunarmaður skráði hvað hægt var að gera við upplýsingarnar. Þegar staða vatnsborðs var mæld fyrir og eftir inngrip á þurrum dögum var hægt að leggja saman uppgufunina fyrir og eftir inngrip. Ef úrkoma var þann daginn reyndist erfitt að meta það hve mikið hafði gufað upp fyrir og eftir inngrip og því var endurstíllt með mælingu dagsins á eftir. Á sama hátt var endurstíllt daginn eftir þar sem einungis var skráð vatnsborðsstaða eftir inngrip. Ef ekki var skráð sérstaklega hvenær stöðu vatnsborðs var breytt var það túlkað á sama tíma og aðrar mælingar, þ.e. kl. 9.
 - Ef ís var á pönnunni eða aðrar athugasemdir sem bentu til þess að hluti vatnsins hafi verið frosinn voru þær mælingar skráðar í athugasemdir og að öðru leyti meðhöndlaðar eins og mælingar vantaði. Var þetta gert þar sem margir eiginleikar vatns á föstu og fljótandi formi eru gerólíkir og því væru uppgufunarmælingar á milli ekki sambærilegar. Mæligildi dagsins á eftir var sett sem endurstílling.
 - Ef annars konar athugasemdir voru við mælingar í frumgögnunum sem bentu til þess að mælingarnar væru óreiðanlegar eða ósambærilegar á einhvern hátt voru

þær meðhöndlaðar líkt og það vantaði mælingu og mæligildið og skýring sett í athugasemd.

4. Reiknaður var mismunur vatnsborðshæðar tiltekins dags og síðustu mælingar. Auk þess var reiknaður sérstakur uppgufunardálgur. Hann var eins á þurum dögum en fyrir úrkomudaga var tekinn mismunurinn á úrkomumælingunni og vatnsborðshækkunar í pönnunni. Þannig var gert ráð fyrir að sú úrkoma sem ekki skilaði sér í vatnsborðshækkun pönnunnar hafi gufað upp. Í einhverjum tilvikum hækkaði meira í pönnunni en sem nam úrkomunni og varð þá reiknuð uppgufun neikvæð. Ástæða neikvæðrar uppgufunar er líklega bæði vegna ónákvæmni í úrkomumælingum og mælingu á vatnsborðshæð. Úrkomumælingar eru t.d. ónákvæmar í miklum vindi.
5. Einungis voru notaðar eins til þriggja sólarhringa mælingar. Ef meira en þrjú sólarhringar liðu á milli mælinga var mæliröðin endurstíllt.
6. Fyrir tveggja- og þriggja daga mælingar var tekið meðaltal af vatnsborðsbreytingunni og uppgufuninni til þess að gæta samræmis við eins dags mælingar. Þetta var einnig gert fyrir þá veðurþætti sem til skoðunar voru. Þá voru meðaltölin einungis skráð á þann dag sem mælt var en ekki á alla þá daga er meðaltölin náðu yfir.

Viðauki II. Úrvinnsla með útgildum

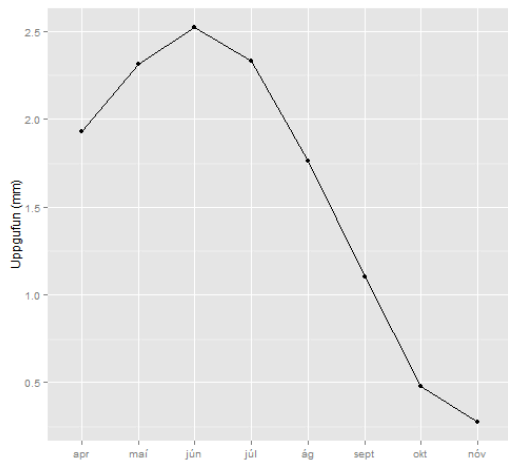
Til samanburðar eru hér birtar sömu myndir og niðurstöður og í skýrslunni fyrir eins til þriggja daga gögn með útgildum.

Tafla 5. Fimm tölu samantekt fyrir eins til þriggja daga gögnin með útgildum.

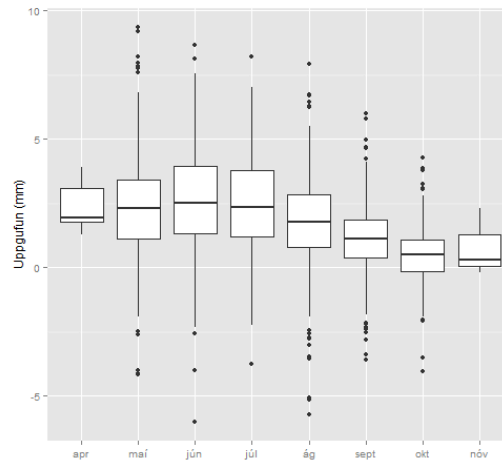
Min	Q ₁	Miðgildi	Meðaltal	Q ₃	max
-6.01	0.74	1.80	1.97	3.08	9.34

Tafla 6. Fylgnistuðlar og skýringarhlutföll línulegrar aðhvarfsgreiningar fyrir eins til þriggja daga gögnin með útgildum.

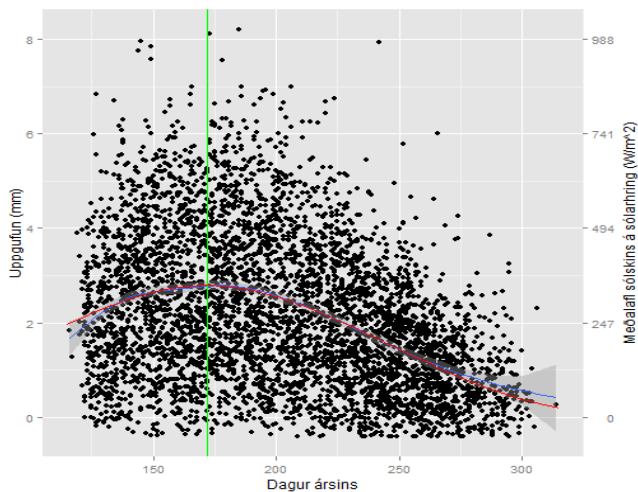
Veðurþáttur	Fylgnistuðull (r)	Skýringarhlutfall (R ²)
Einföld línuleg aðhvarfsgreining:		
Fjöldi sólskinsstunda	0.7193	0.5173
Meðalrakastig	-0.5776	0.3337
Meðalskýjahula	-0.5652	0.3195
Úrkoma	-0.3857	0.1487
Meðalhitastig	0.1555	0.0242
Meðalvindhraði	-0.1099	0.0121
Vindátt kl. 15	0.1074	0.0115
Meðalloftþrýstingur	0.0523	0.0027
Fjölþætt línuleg aðhvarfsgreining:		
Sólskinsstundir, rakastig og skýjahula		0.5823
Allir saman		0.6313



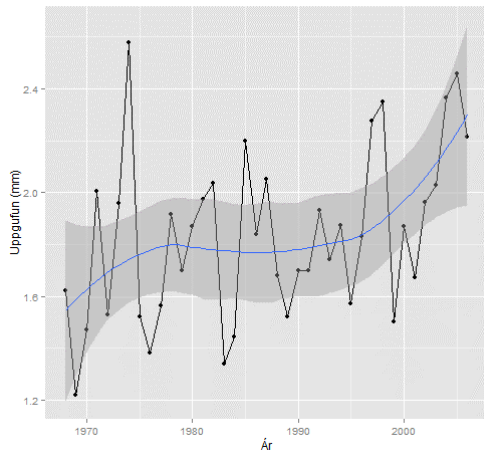
Mynd 23. Miðgildi uppgufunar í hverjum mánuði fyrir sig.



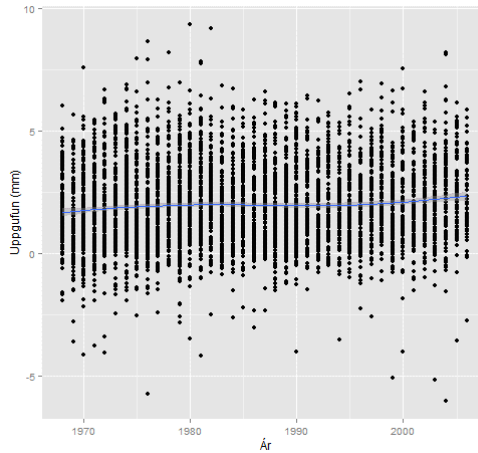
Mynd 24. Kassarit af uppgufun í hverjum mánuði. Kassarnir spanna það bil sem helmingur mælinganna liggur innan og línan innan þeirra tákna miðgildið. Punktarnir sýna útgildin sem tekin voru út úr gagnasafninu við útreikninga.



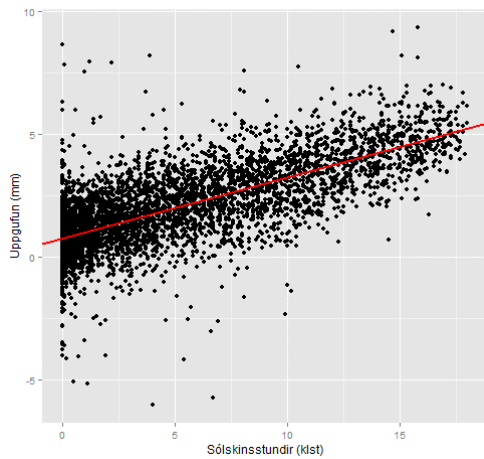
Mynd 25. Uppgufun eftir degi ársins, ásamt gam-ferli. Rauði ferillinn sýnir útreiknað meðalafl sólskins á láréttan flöt á hverjum sólarhring. Græna línun merkir inn sumarsólstöður, 21. júní.



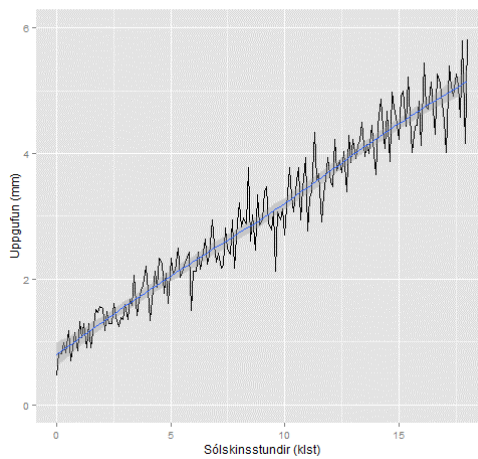
Mynd 26. Miðgildi uppgufunar á hverju ári, ásamt gam-ferli.



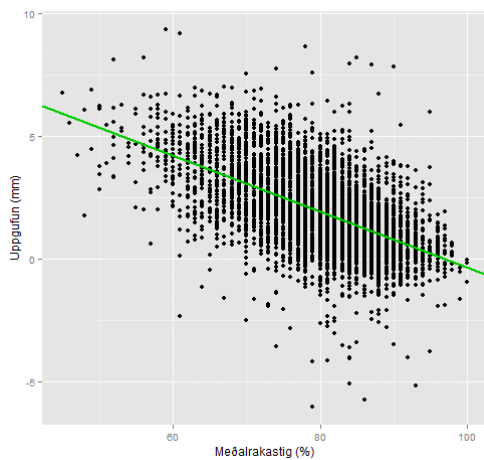
Mynd 27. Miðgildi uppgufunar á hverju ári, ásamt gam-ferli.



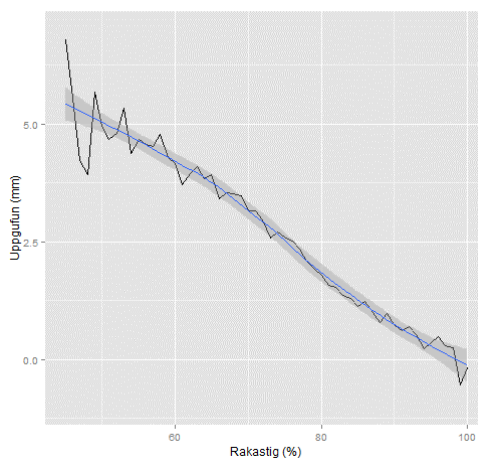
Mynd 28. Uppgufun sem fall af fjölda sólskinsstunda með línu minnstu kvaðrata.



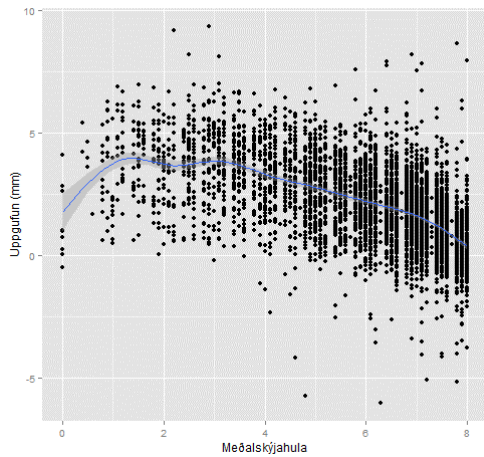
Mynd 29. Miðgildi uppgufunar eftir fjölda sólskinsstunda, ásamt gam-ferli.



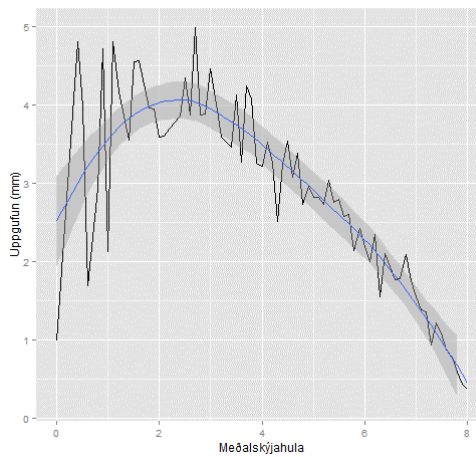
Mynd 30. Uppgufun sem fall af meðalrakastigi með línu minnstu kvaðrata.



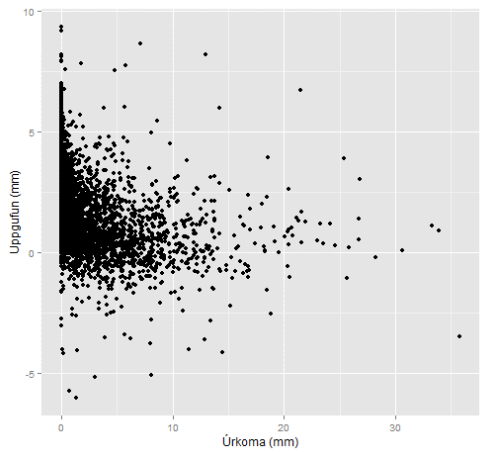
Mynd 31. Miðgildi uppgufunar eftir rakastigi, ásamt gam-ferli.



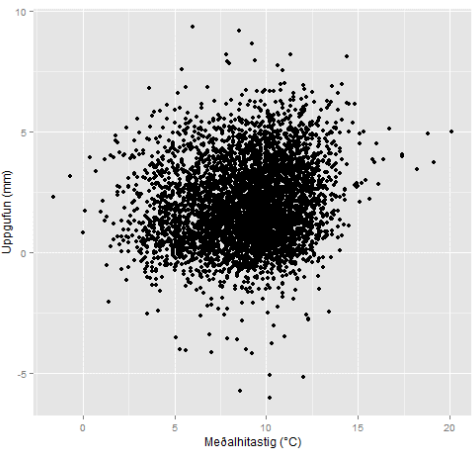
Mynd 32. Uppgufun sem fall af meðalskýjahulu, ásamt gam-ferli.



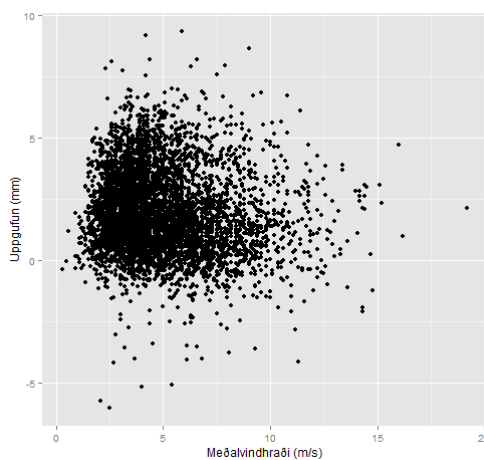
Mynd 33. Miðgildi uppgufunar eftir meðalskýjahulu, ásamt gam-ferli.



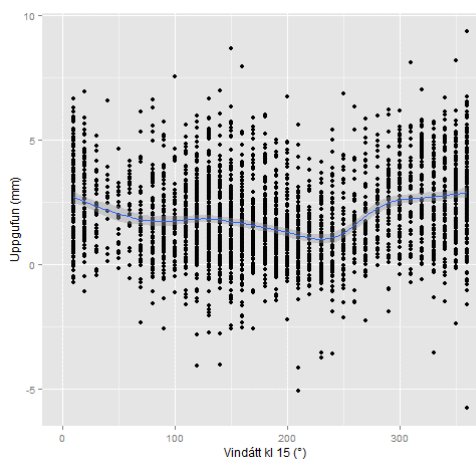
Mynd 34. Uppgufun sem fall af úrkomu.



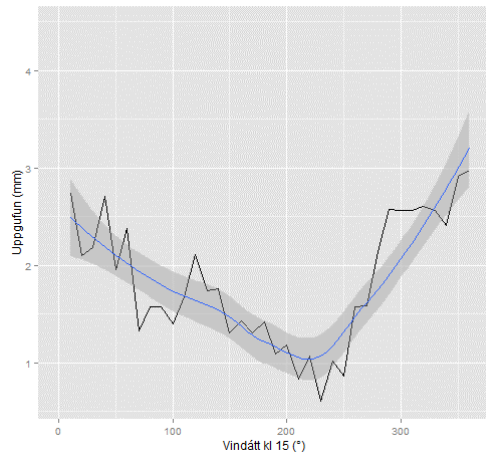
Mynd 35. Uppgufun sem fall af meðalhita.



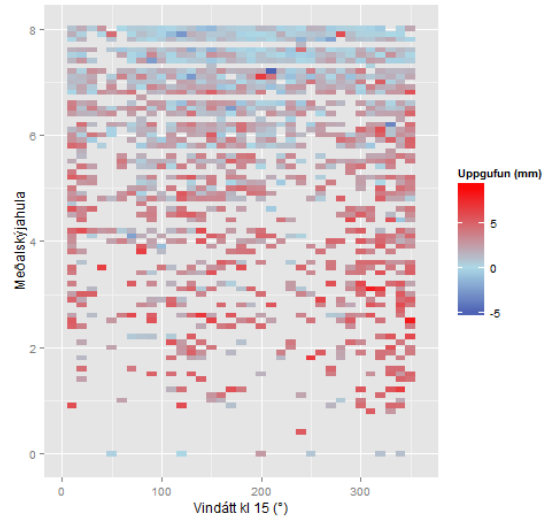
Mynd 36. Uppgufun sem fall af meðalvindhraða.



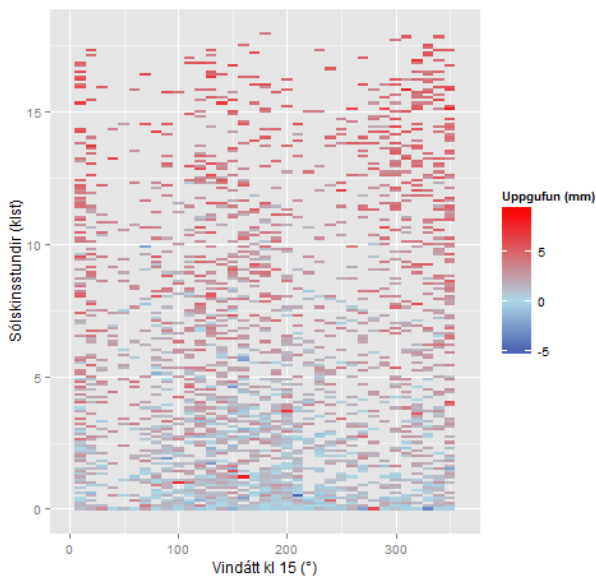
Mynd 37. Uppgufun sem fall af vindátt kl. 15, ásamt gam-ferli.



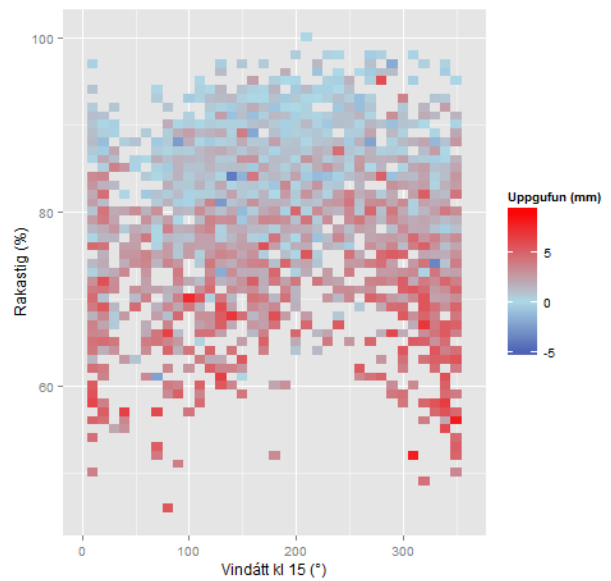
Mynd 38. Miðgildi uppgufunar eftir vindátt kl. 15, ásamt gam-ferli.



Mynd 39. Meðalskjárhula eftir vindátt kl. 15. Litirnir sýna hversu mikil uppgufun varð að meðaltali í hverjum punkti.



Mynd 40. Fjöldi sólskinsstunda eftir vindátt kl. 15. Litirnir sýna hversu mikil uppgufun varð að meðaltali í hverjum punkti.



Mynd 41. Rakastig eftir vindátt kl. 15. Litirnir sýna hversu mikil uppgufun varð að meðaltali í hverjum punkti.