Handbók fyrir hönnunarflóð á Íslandi

Jónas Elíasson
Mars 2013

Formáli

Hefti þetta er handbók til útreikninga á hönnunarflóðum. Handbókin er ætluð þeim sem taka þurfa tillit til úrkomuflóða við hönnun á vegum, fráveitukerfum, veituvirkjum og öðrum vatnavirkjum.

Fræðilegur grunnur er línuleg kerfi innan vatnafræði og aðferðin er M5 aðferðin, en hún byggir á að taka gildi yfir 5 ára hámarksúrkomu sólarhrings af M5 korti og nota þau ásamt úrkomutölfræði til að reikna út hönnunarflóðin.

Grunnaðferðin í línulega reiknikerfinu er rökræna líkingin eins og hún er sett fram af Kuichling 1889. Hún er áfram notuð í allri þéttbýlisvatnafræði og ennfremur fyrir afrennsli hlutsvæða í nánast öllum vatnafræðiforritum.

Úrkomugögn með skammtímaupplausn fyrir svo löng tímabil sem hönnunarverkfræði útheimtir, eru af mjög skornum skammti hér á landi. Við sérstakar aðstæður er hægt að bæta úr því með beitingu stókastískrar vatnafræði, en hana er ekki minnst á í þessari handbók. Ber að athuga þennan möguleika þar sem það á við og þá má e.t.v. búa til betri hönnunargögn.

Talnagildi og stuðlar ýmiskonar eru teknar úr ritum Jónasar Elíassonar, flest eru þau aðgengileg á vefsvæði Vatnaverkfræðistofu Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands. Í þeim ritum er svo vitnað í skýrslur og rit annarra höfunda og fræði þeirra. Öll fræðileg umfjöllun í þessu hefti er í algeru lágmarki. Rit þetta er því ekki heppilegt sem kennslubók eitt og sér, en gagnast vel við þjálfun í lausn hagnýtra verkefna.

Skúli Þórðarson hefur tekið saman sýnidæmi fyrir útreikninga á flóðum og hönnunarstærðum. Lausnirnar eru útfærðar í ýmsum forritum sem um árabil hafa gengið manna á milli. Þessi forrit, M5 kortin og flóðahandbókin eru hluti af sérstökum flóðhönnunarpakka sem notið hefur styrks frá Vegagerðinni, Landsvirkjun, sveitarfélögum á Suðurlandi, Orkuveitunni og ýmsum öðrum stofnunum og fyrirtækjum.

Flóðahönnunarpakkinn inniheldur þessa handbók, Flóðahandbók 2013, 6 EXCEL hjálparforrit, landskort fyrir 1M5 og 3 landshlutakort í betri upplausn.

1 Inngangur

1.1 Hönnunarflóð

Með greiningu á mældum gögnum má reikna út meðalendurkomutíma flóða af tiltekinni stærð. Þannig má fá tölfræðilegan grundvöll til þess að velja forsendur fyrir hönnun mannvirkja sem gefa ásættanlegt öryggi á notkunartíma þeirra. Hönnunarflóð er skilgreint sem stærsta viðmiðunarflóð sem gert er ráð fyrir að mannvirki eigi að þola á notkunartíma sínum. Hönnunarflóðið hefur ákveðna stærð og ákveðinn endurkomutíma.
Tíðniháð hönnunarflóð má reikna annars vegar út frá mælingum á rennsli í farvegum og hins vegar út frá úrkomumælingum. M5 aðferðin sem er meginviðfangsefni þessarar handbókar byggir á því að nota mestu sólarhringsúrkomu með fimm ára meðalendurkomutíma, M5, ásamt tölfræðilegu samhengi milli M5 og styttri úrkomuatburða til þess að reikna hönnunarflóð. Mat á hönnunarflóðum vegna mannvirkjagerðar á Íslandi hefur einkum stuðst við þrjár aðferðir:

- M5 aðferðin. Mestur áreiðanleiki fyrir vatnasvið upp að 20 km^2 að flatarmáli, en vel hægt að nota fyrir stærri vatnasvið.
- Greining á úrkomumælingum einstakra mælistöðva. Áreiðanleiki m.a. háður stærð vatnasviðs, staðsetningu mælistöðva og lengd mæliraða.
- Mæld vatnsföll. Flóðagreiningin gildir einkum fyrir sjálft vatnasviðið, en hægt að yfirfæra á önnur vatnasvið að uppfylltum ákveðnum skilyrðum.

Allar þessar aðferðir hafa verið notaðar við ræsa- og brúahönnun hjá Vegagerðinni. Í handbókinni er farið í gegnum flóðareikninga með M5 aðferðinni, en einnig er stuttlega gerð grein fyrir notkun rennslismælinga í vatnsföllum og úrkomumælinga. M5 aðferðin er háð gæðum M5 gildis sem lesið er af korti eða fengið frá úrkomumælistöð. Vatnaverkfræðistofa HÍ gaf út M5 kort fyrir Ísland árið 1996, en einnig hafa verið unnin sérstök M5 kort af svæðum á Reykjanesskaga, hluta af Suðurlandi og höfuðborgarsvæðinu í hærri upplausn. Þá er búið að endurreikna M5 kort af öllu landinu með hjálp veðurfræðilíkans með mun meiri áreiðanleika fyrir þau svæði þar sem langt er á milli úrkomumæla.
Við útreikninga á hönnunarflóðum fyrir mannvirki á Íslandi er mælt með notkun M5 aðferðarinnar, en einnig er gagnlegt að bera niðurstöður saman við aðrar aðferðir, einkum fyrir stærri vatnasvið þegar líkur eru á að rennslismælingar geti verið verið gagnlegar.

1.2 Uppbygging bókarinnar

Í handbókinni er farið í gegnum öll nauðsynleg skref til þess að ákvarða hönnunarflóð á afrennslissvæðum af ólíkri gerð, innan og utan þéttbýlis. Efni bókarinnar er lagt upp á þann hátt að auðvelt er að nálgast reiknireglur fyrir einföld og algeng hönnunarverkefni, t.d. hönnun ræsa fyrir einföld vatnasvið utan þéttbýlis, og einnig aðferðir fyrir flóknari verkefni. Flóknari hönnunarverkefni fela t.d. í sér samsett vatnasvið þar sem farvegir kvíslast, t.d. fráveitukerfi eða verkefni sem krefjast mikils öryggis í hönnun og því áreiðanlegra mats á hönnunarflóði.

Helstu verkefni sem leysa má með þeim aðferðum sem lýst er í bókinni eru eftirfarandi:

Verkefni	**Kaflar í bók**	**Forrit**
Finna áhættuflokk mannvirkis og ákveða endurkomutíma samsvarandi hönnunarflóða.	2	
Finna þrennskonar úrkomuálag og hlákustuðul fyrir úrkomu á frosna jörð	3	MT_REIKN
Finna varanda og afrennslisstuðla og reikna hönnunarflóð með rökrænu líkingunni (*Rational formula, RF*).	2, 3, 4	FLOD_MAT
Áætla hönnunarflóð í vatnasviði á grundvelli rennslismælinga úr öðru vatnasviði	4	FLOD_MAT
Hönnunarflóð og stærðun lagna í lokuðu ofanvatnskerfi.	4	HOL_RAES
Finna þvermál vegræsis	4	VEG_RAES
Mesta flóð af vatnasviði, fundið með flóð-rakningu. Hönnunarskúr er með óbreytta heildarúrkomu en ójafna tímadreifingu	4, 5	MAX_FLOD
Flóð í vatnasviðum með miðlunaráhrifum; samsett vatnasvið eða farvegir gegnum tjarnir og lón	5	
Hermilíkan fyrir mælt vatnsrit: Nash-líkan aðfellu að vatnsriti	5	NASH
Aftakaflóð	6	
Tölfræðilegt mat	7	

Til viðbótar þeim Excel-forritum sem bókinni fylgja og talin eru upp í töflunni hér að ofan, fylgja í viðauka fjögur úrkomukort yfir mestu sólarhringsúrkomu með fimm ára endurkomutíma:

- M5 yfirlitskort fyrir allt landið
- M5 kort yfir Höfuðborgarsvæðið
- M5 kort yfir Suðurland
- M5 kort yfir Reykjanes

1.3 Notkun M5 aðferðarinnar í hnotskurn

Í stuttu máli má lýsa notkun M5 aðferðarinnar þannig:

- Velja **M5** úrkomugildi af korti (vísun í yfirlitskort og landshlutakort)
- Velja gildi fyrir stuðulinn $\mathbf{C_i}$ (sjá kafla 7.3 og 7.4)

- Reikna út úrkomugildi, **I**, fyrir ólíkan varanda regnskúra og ólíka endurkomutíma (með töflureiknisforriti MT_REIKN sem fylgir bókinni)
- Útreikningur á flóði með rökrænu líkingunni, **Q = C I A**
    - Velja afrennslisstuðul, **C**, og tíðnistuðul vegna breytileika C
    - Reikna samrennslistíma afrennslisvæðis, þ.e. þann tíma sem líður frá upphafi regnskúrar þar til úrkoma af öllu vatnasviðinu skilar sér við útfallið.
    - Velja útreiknað úrkomugildi, I, fyrir þann varanda sem samsvarar samrennslistíma afrennslisvæðisins og þann endurkomutíma sem valinn hefur verið
    - Mæla flatarmál afrennslisvæðisins, **A**
    - Reikna út Q = C I A

2 Flóðatíðni

2.1 Skilgreining

Miðað er við endurkomutímann **T** sem meðaltímann í árum milli tveggja atburða sem eru stærri eða minni en fyrirfram valið gildi. T getur verið mismunandi þegar tíminn er talinn í vikum mánuðum eða árum, sjá kafla 7.2. Hér er gert ráð fyrir árum.

Ef líkurnar á að hönnunarflóð sem valið er $\mathbf{Q_d}$ m/sek^3 komi ekki á næsta ári eru **P** þá er:

$$P(Q \leq Q_d) = F(Q) = 1 - 1/T$$

þar sem F(Q) (eru líkurnar á því að hæsta flóð ársins, Q, verði minna en Q_d.
Þá eru líkurnar á að hönnunarflóðið komi samt sem áður á næsta ári:

$$P(Q \geq Q_d) = 1 - P$$

Líkurnar P og endurkomutímann T, P = 1 - 1/T er stundum talað um sem tíðni flóðs. P samkvæmt skilgreiningunni $P(Q \geq Q_d)$ er jafnt minnkandi með hækkandi Q_d, og því er $P(Q \leq Q_d)$ vaxandi með hækkandi Q_d.

Fyrir tíðnidreifingu stærstu ársflóða, F, er notuð GEV (*General Extreme Value*) dreifingin EV1 sem er Gumbeldreifingin. Ef sérstök ástæða er til annars má velja aðra dreifingu, það breytir ekki niðurstöðum þessa kafla, en forritin í hönnunarpakkanum gilda þá ekki. Þegar fræðileg dreifing er valin skal gæta þess sérstaklega að hæstu flóðin víki ekki marktækt frá dreifingunni.

Til að finna F(Q) skal að jafnaði nota mengi hæstu flóða hvers árs. Nota má POT (*Peak over threshold*) aðferðir þegar upplausn mæliraðar er um tíundi partur af samrennslistíma eða styttri. Slík upplausn er nógu góð til að henda má út toppum sem aðeins eru skilgreindir af einum punkti án þess að tapa nákvæmni.

Mengi hæstu flóða gefur $P = 1 - 1/T_a$ þar sem T_a er talið í heilum árum. T_a er ekki sama og T_s þar sem talið í samfelldum tíma. (t.d. 1,5 ár). Fyrir T < 5 skal nota $T = T_s$. Þegar T > 20 verður skekkjan af að setja $T = T_a$ óveruleg. Sjá nánar í kafla 7.

2.2 Áhættuflokkar

Hönnun byggist á skilgreindri áhættu. Áhættuflokkurinn miðast við skilgreindar líkur p, á að hönnunarflóðið komi ekki á efnahagslegum líftíma mannvirkisins.
Hönnunarflóðið hefur endurkomutímann:

$$T = \frac{1}{p} = \frac{1}{1 - (1 - p_1)^{1/N}}$$

Hér er p_1 tekið úr töflu 2, N er lengd hins efnahagslega líftíma í árum. Þegar lítið efnahagslegt tjón er yfirvofandi þó hönnunaratburður komi, má líta á hinn efnahagslega líftíma sem meðaltímann milli stærri viðgerða. Áhættuflokka má skilgreina t.d. þannig:

Tafla 1. Áhættuflokkar.

Flokkur	Áhætta á líftímanum N ár	Líkur p_l %
1	Veruleg hætta á manntjóni	0,2
2	Hugsanlegt manntjón	5
3	Verulegt efnahagslegt tjón	20
4	Lítið efnahagslegt tjón	50

2.3 Reiknidæmi

2.3.1 Stífla

Byggja á virkjunarstíflu. Ef stíflan brestur lendir flóðið í dal þar sem þjóðvegur 1 liggur um, en hann fer ekki allstaðar í kaf, þannig að vegfarendur eiga mjög góða möguleika á að komast undan flóðinu. Áhættuflokkurinn er metinn 2.

Tafla 2. Endurkomutími í hönnun T í árum.

		Efnahagslegur líftími í árum							
Fl	**p_1**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**40**	**50**	**60**
1	**0,2**	2498	4995	7493	9990	12488	19980	24975	29970
2	**5**	98	195	293	390	488	780	975	1170
3	**20**	23	45	68	90	113	180	225	269
4	**50**	8	15	22	29	37	58	73	87

Virkjunarstíflur hafa efnahagslegan líftíma 50 – 60 ár. Í töflu 2, 3. línu að neðan, sést að hanna þarf stífluna fyrir um 1000 ára flóð til að ná markmiðinu, áhættuflokkur 2.

2.3.2 Brýr og ræsi

Þegar áhættuflokkurinn og líftími er ákveðinn, má nota töflu 2. Brýr falla í flokk 2 eða 3, ræsi eiga eðlilega heima í 3 eða 4 en meta skal flokkinn öðruvísi, ef þannig vill til að vegfarendur geta lent í lífsháska ef mannvirkið fer.

2.3.3 Fráveitukerfi

Fráveitukerfi eyðileggjast venjulega ekki þó þau flæði og ættu því að vera í flokki 4. En á hitt ber að líta að það eru yfirleitt sömu staðirnir sem lenda í flóði hvað eftir annað ef flóðin koma oft. Auk þess eru fráveituflóð heilsuspillandi og geta skapað verulega hættu í umferðinni. Hönnunartíminn T ætti ekki að vera styttri en 5 ár. Hærri hönnunartími ætti að vera í þéttbýlum hverfum.

3 Álagsflokkar úrkomu

Stærð úrkomuflóðs er háð því hvort yfirborð er autt og ófrosið, hvort jörð er frosin og skilar því stærri hluta úrkomunnar sem afrennsli, eða hvort snjór er til staðar og leggja þarf snjóbráð við afrennsli vegna úrkomu. Reikna þarf afrennsli fyrir öll þrjú tilfellin og velja það tilfelli sem hæst afrennsli gefur.

Í þessum tilgangi eru skilgreind þrjú hönnunartilfelli:

1. Úrkomugildi $\mathbf{I_a}$ l/sek/ha, eingöngu á auða ófrosna jörð sem gefur rennslið $\mathbf{Q_a}$ l/sek.
2. Úrkomugildi $\mathbf{I_f}$ l/sek/ha, á frosna jörð sem gefur rennslið $\mathbf{Q_f}$ l/sek.
3. Úrkomugildi $\mathbf{I_s}$ l/sek/ha, samfara snjóbráð sem gefur rennslið $\mathbf{Q_s}$ l/sek.

Þessi þrjú úrkomugildi verði reiknuð með varanda (*duration*) jöfnum samrennslistíma afrennslissvæðis samkvæmt kafla 3 eða öðrum hefðbundnum aðferðum í vatnafræði og viðeigandi afrennslisstuðli.

Ráðandi rennsli í hönnun verður $\mathbf{Q_d} = \text{Max}\{\mathbf{Q_a}, \mathbf{Q_f}, \mathbf{Q_s}\}$,

3.1 Regn á auða ófrosna jörð, $\mathbf{I_a}$

Notið 1M5-úrkomukort fyrir landið allt eða sérkort í hönnunarpakkanum. Áætla skal **M5** mm/dag, sem meðalgildi viðkomandi vatnasvið. Áætla skal stuðulinn $\mathbf{C_i}$ og nota þessar tvær tölur í forritinu MT_REIKN**,** $\mathbf{C_i}$ gildið skal vera meðaltal fyrir landsvæðið, en nánar er fjallað um val á $\mathbf{C_i}$ í kafla 7.3.

Mynd 1. Svæði sem sérkort af M5 gildum eru til fyrir.

3.2 Regn á frosna jörð, $\mathbf{I_f}$

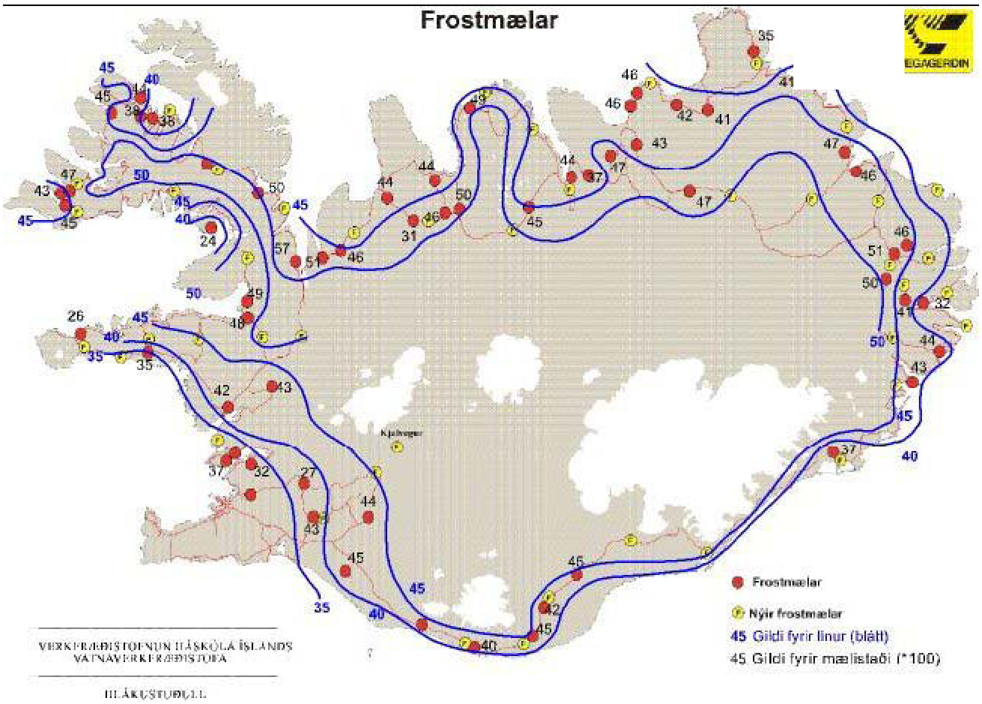
Hér er úrkomugildið sem reiknað var fyrir ófrosna jörð meðhöndlað svo að tekið sé tillit til þess að líkur eru á því að mesta skúr ársins falli utan þess tíma sem jörð er frosin.

Nota skal regluna:

$\mathbf{I_f} = \mathbf{I_a}\, \boldsymbol{\alpha_f}$ þar sem α_f er hlákustuðullinn samkvæmt korti á mynd 2.

Hlákustuðullinn er hlutfall úrkomuákefðar þegar jörð er frosin og úrkomuákefðar á ófrosna jörð. Á suðvesturhorninu gildir $\alpha_f = 0{,}37$.

Að auki þarf að gæta þess þegar rennslið $\mathbf{Q_f}$ er reiknað að notaður sé afrennslisstuðull sem lýsir freðinni jörð, sjá kafla 4.3.3.



Mynd 2. Frostmælar og hlákustuðlar.

3.3 Regn samfara snjóbráð, $\mathbf{I_s}$

Nota skal regluna (ófrosin jörð): $\mathbf{I_s} = \mathbf{I_a}\, \boldsymbol{\alpha_s} + \mathbf{10}$ þar sem α_s er snjóstuðullinn $\boldsymbol{\alpha_s} =$ **0,89** (Jónas Elíasson og Sigvaldi Thordarson 1996). Talan 10 er vegna snjóbráðar. Hún kemur sem fast afrennsli til viðbótar úrkomunni sem **10** l/s/ha í **17** klukkustundir. Þegar bráðnunartíminn er dagar eða vikur er þessi tala minni, hún er nálgun til bráðabirgða. Ef ræsi geta stíflast af snjó eða bráðnunarvatn runnið aðra leið en það mundi gera á auðri jörð ber að stækka afrennslissvæðið tilsvarandi. Frosin jörð samfara snjóbráð: Sem nálgun má reikna með stuðlinum $\boldsymbol{\alpha_s \alpha_f} =$ **0,33,** en þetta er alger nálgun og málið ekki nógu vel rannsakað til að flokka þessa reglu sem sérstakt álagstilfelli.

3.4 Reiknidæmi

1M5 = 65 mm á sólarhring og $\mathbf{C_i} = 0{,}21$ gefur gildin í töflu 3. Af töflunni má t.d. lesa að fyrir 20 sekúndna varanda skúrar með tíu ára endurkomutíma er regngildið $\mathbf{I_a} = 70$ l/s/ha.

Tafla 3. Niðurstöðutafla úr töflureiknisforritinu MT_REIKN.

	1M5						**Ci**
	65	**Reiknuð úrkomugildi (l/s/ha)**					**0,21**
	Varandi						
Ts		1	3	5	10	20	50
	10	55	73	82	93	105	120
	20	41	55	61	70	79	90
	30	35	47	52	59	67	77
	60	26	35	39	45	50	58
	120	20	26	29	34	38	43
	180	17	22	25	29	32	37
	360	13	17	19	21	24	28
	720	9	11	13	15	16	19
	1440	5	7	8	9	10	11

MT_REIKN fylgir handbókinni. Skyggðu tölurnar eru niðurstöður fyrir úrkomuna $\mathbf{I_a}$, við ýmis gildi af varanda og endurkomutíma, $\mathbf{T_S}$. Varandi skúrar er í mínútum, endurkomutíminn í árum.

4 Stærð tíðniháðra ofanflóða

4.1 Rökræna líkingin

Tíðniháð ofanflóð (hönnunarregnflóð) má reikna í einu lagi með rökrænu líkingunni (RF-líkingin, *Rational formula*):

$$Q = C\,I\,A$$

Q Flóðtoppur l/s eða m^3/s
C Afrennslisstuðull, víddar laus
I Úrkomustyrkur l/sek/ha eða m^3/sek/km^2 (10 l/sek/ha = 1 m^3/sek/km^2), háður varandanum $\mathbf{t_d}$ og endurkomutímanum T.
A Flatarmál afrennslissvæðis, talið í ha eða km^2

Flóðið hefur ekki sama endurkomutíma og úrkoman því C er breytilegt. Þegar reiknað er út I með endurkomutíma T er þess vegna rétt að setja:

$$\mathbf{Q_d}(T) = f(P)\,C\,I\,A$$

Samkvæmt meðalbreytileika regns og flóða á Íslandi er tíðnistuðullinn f(P). Gildin í töflu 4 svara til breytileikastuðuls C^v (staðalfrávik/meðalatal) 0,25 fyrir árshámörk úrkomu og 0,38 fyrir C^v ársflóða. Á svæðum þar sem stór hluti flóðanna orsakast af sérstökum aðstæðum, (t.d. frosin jörð) er C^v miklu hærra og sérstakrar athugunar er þörf.

Tafla 4. Tíðnistuðullinn f(P)

T ár	**1,5**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**	**200**	**500**	**1000**
f(P)	0,94	0,98	1,05	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17

4.2 Varandareglur fyrir úrkomutíðni

4.2.1 Skilgreiningar

Gert er ráð fyrir regnskúrum með föstum regnstyrk (I) í ákveðinn tíma sem er varandinn, $\mathbf{t_d}$. *(duration)* Hver slík skúr hefur sinn endurkomutíma (T) sem byggir eingöngu á árshámörkum úrkomu. Úrkoma með endurkomutíma minni en 5 ár, sjá kafla 2.1.

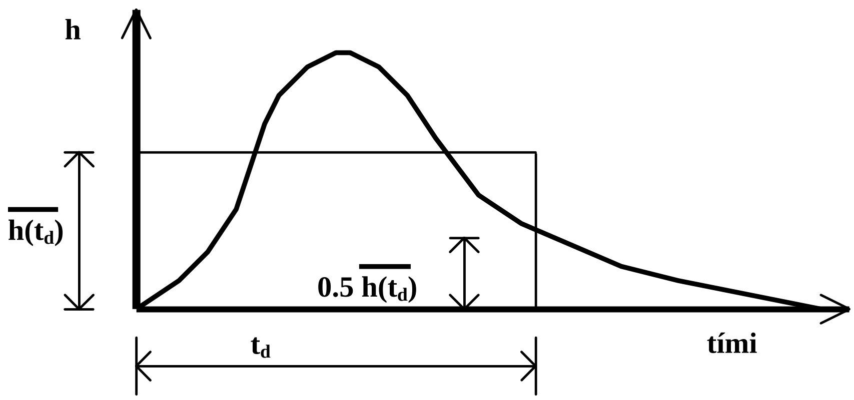
4.2.2 Varandinn

4.2.2.1 Varandi fyrir línulegt kerfi

Ef einingarflóðferill (líka kallað einingarvatnsrit) (IUH = *Instantaneous Unit Hydrograph*) afrennslissvæðisins er þekktur, er aðferðin til að finna varanda hæsta flóðs fyrir gefinn endurkomutíma T, skýrð á mynd 3. Flatarmál ferningsins er F, það er sama og flatarmálið undir h-ferlinum. Vinstri hlið ferningsins hefur stærðina (yfirstrikun þýðir meðaltal):

$$\overline{h(t_d)} = F/\mathbf{t_d}$$

og sker h línuna þar sem hæð h-ferilsins er $(1 - a)\overline{h(t_d)}$. Venjulegt gildi á a er 0,4 – 0,6 en 0,45 fyrir skúramælinn á Veðurstofunni. Mynd 3 sýnir hvernig t_d er fundið þegar a er 0,5.



Mynd 3. IUH línan er h, yfirstrikun meðaltal yfir tímann t_d.

IUH línan fæst með úrvinnslu á mældum flóðum, áætluðum út frá:

- Tilbúnum (*synthetic*) einingarflóðferli, t.d. Snyder
- Vatnafræðilegu líkani, t.d. geymaröð (Nash cascade, sjá 5.4.1)
- Hermilíkani, t.d. með því að láta fullt regn byrja á tíma t = 0 og halda áfram þangað til afrennslið hættir að breytast. Þá skilar forritið summuferlinum sem síðan má diffra til að fá út einingarferilinn.

4.2.2.2 Varandi samkvæmt samrennslistíma

Setja má varanda jafnan samrennslistíma $\mathbf{t_c}$, *(time of concentration)*, það er sá tími sem líður frá upphafi regnskúrar uns allt vatnasviðið er farið að skila afrennsli í þann stað þar sem verið er að áætla flóðið. Samrennslistíminn er því sá tími sem líður frá upphafi regnskúrar uns fjærsti staður á vatnasviðinu er farinn að skila rennsli á flóðstaðnum.

Við útreikninga á t_c er notaður meðalhraði farvegs, til að reikna hann er Manning jafnan oftast notuð. Ef farvegurinn er samsettur úr N köflum, hver með lengdina L_i, og hver í framhaldi af öðrum, þá verður samrennslistíminn t_c.

$$t_c = t_0 + \sum_1^N t_i = t_0 + \sum_1^N \frac{L_i}{V_i} \; ; \qquad \text{og síðan er sett: } \mathbf{t_d} = t_c$$

Hér er t_0 sá tími sem tekur vatnið að renna frá vatnaskilum að upphafspunkti efsta farvegs, V_i er hraðinn samkvæmt Manning. Ekki er um annað að ræða en nota mesta rennsli til að reikna V_i, það að setja $t_d = t_c$ gerir því ráð fyrir að verið sé að reikna hárennsli.

4.2.2.3 Samrennslistími samkvæmt flutningsbylgjuhraða.

Þegar innrennsli í farveg er mjög mikið og snöggt verður til flutningsbylgja (*translatory wave*) sem keyrir áfram á hraða mestu flutningsgetu, en með óbreyttri vatnsborðslínu sem hreyfist áfram eins og bylgja. Formúlan til að reikna t_c er sú sama og hraðinn getur verið sá sami, en ekki þarf að reikna með mestu flutningsgetu þegar þessi aðferð er notuð, hvaða rennsli sem er getur runnið fram sem flutningsbylgja. Ef vafi leikur á, má nota Colebrook og White formúluna til að reikna hraðann við fulla flutningsgetu.

4.2.2.4 Samrennslistími á einföldu vatnasviði

Eftirfarandi líking er notuð hjá Vegagerðinni í útreikningi á vegræsum:

$$t_c = 0{,}0078(3{,}28\sqrt{\frac{L^3}{h}})^{0{,}77}$$

t_c	Samrennslistími [mínútur]
L	Lengd vatnasviðs frá flóðstað í hæsta punkt á vatnaskilum [m]
h	Hæðarmunur á hæsta punkti á vatnaskilum og flóðstað [m]

4.2.2.5 Samrennslistími í hærri gráðu kerfum

Ef rennsliskerfið er mjög kvíslað, þ.e. margir sjálfstæðir (1. gráðu) farvegir lenda sem þverár í aðra (2. gráðu) farvegi, sem aftur lenda sem þverár í enn aðra (3. gráðu) farvegi, geta aðferðir sem reikna t_c sem rennslistímann frá fjærsta punkti (sbr. kafla

4.2.2.2 - 4.2.2.4 leitt til of hárrar tölu fyrir t_c og þar af leiðandi verður flóðtoppurinn of lítill.

Fyrir slík kerfi þarf annaðhvort að áætla IUH - ferilinn eða finna seinkunartímann með rennslisraðareikningi (sjá 4 kafla). Þegar hann er fundinn má nota regluna.

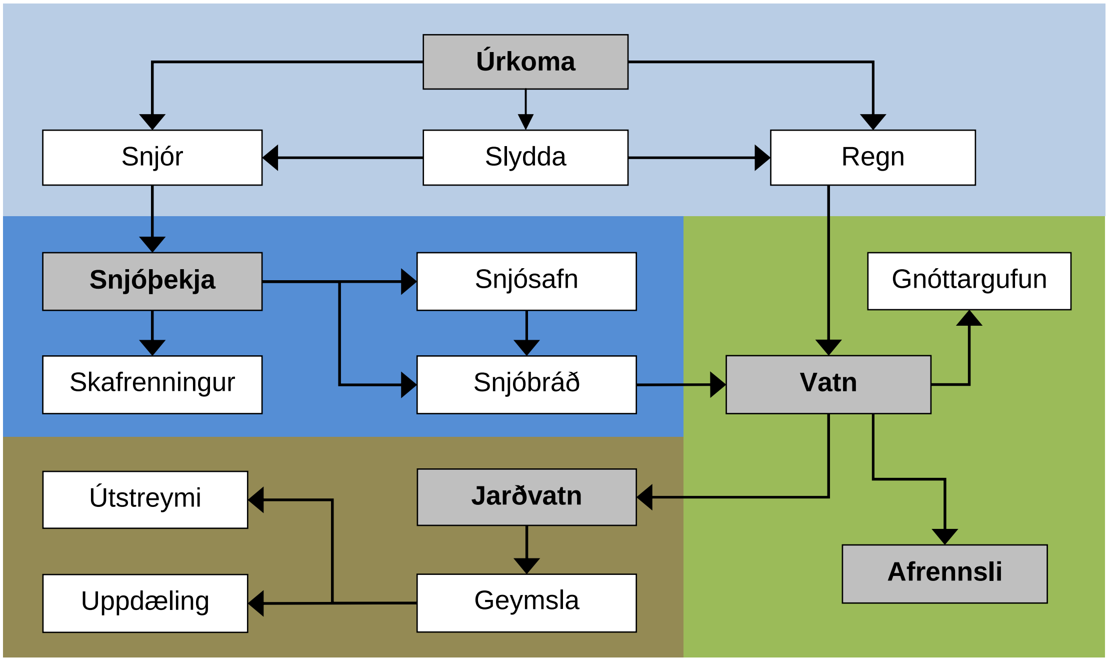
$$t_c = 1{,}42\ t_p$$

Þar sem t_p er tímaseinkunin frá regntoppi í flóðtopp.

4.3 Afrennslisstuðlar

4.3.1 Úrkomuferli

Ferill úrkomu er sýndur á Mynd 4.



Mynd 4. Úrkomuferill

Eins og Mynd 4 gefur til kynna, er það aðeins hluti úrkomunnar sem skilar sér sem afrennsli. Samkvæmt rökrænu líkingunni er sá hluti sem skilar sér sem afrennsli C, sá hluti sem skilar sér ekki 1 - C. Af þessum hluta er hvorki reiknað með tapi vegna skafrennings né snjósafni, nema þegar snjóþekja frá fyrri éljaskúrum myndar snjósafn. Þá er uppgufun nær alltaf sleppt því meðan rignir er loftraki um 100%.

Eftir er jarðvatn, og sá hluti regnskúrarinnar sem verður eftir á vatnasviðinu án þess að renna burt. Það er halinn hægra megin við kassann á mynd 3 því rennslið nær hámarki á þeirri stundu sem regnið hættir en minnkar úr því.

Með tilliti til þessa er hentugt að skipta C í tvennt og skilgreina

$$C = C_s\, C_f$$

1 - C_f Sá hluti úrkomu sem fer til jarðvatns
1 - C_s Sá hluti úrkomu sem verður eftir á vatnasviðinu.

Sá hluti sem fer til jarðvatns, C_f, er mjög breytilegur. Þurr jarðvegur gleypir mikið bæði með ísogi og við það að bleyta yfirborðið. C_s er ekki alveg eins breytilegur

4.3.2 Stuðullinn C_s

Stuðulinn C_s má reikna sem 0,85 - 0,95. Lægri gildin eru fyrir lítil vatnasvið með þéttu yfirborði. Til að reikna C_s má nota *overland flow* aðferðina. Hún virkar best á slétt yfirborð, þök, bílastæði, flugbrautir o. þ. l.

4.3.3 Stuðullinn C_f

Hér skiptir gleypni yfirborðs miklu máli. Þá eru stuðlar fyrir straumvötn mjög mismunandi, sérstaklega þar sem snjósafn kemur við sögu. Algengustu stuðlarnir eru:

Tafla 5. C_f stuðlar.

Yfirborð	**C_f %**
Þétt yfirborð	0,9 - 1,0
Frosin jörð (meðaltal)	0,9
Graslendi (ath. aldur og bratta)	0,3 - 0,5
Nútímahraun, melar og sandar	0 - 0,2

Þar sem breytileiki C_f er mjög mikill, eins og t.d á hálendinu þar sem skiptast á flóð af frosinni jörð og ófrosinni, getur breytileikastuðullinn $C_{f,\ \text{staðalfrávik}}/C_{f,\ \text{meðaltal}}$ orðið mjög stór og þá þarf að reikna út tíðnistuðulinn í töflu 4 (sjá kafla 4.1) sérstaklega,.

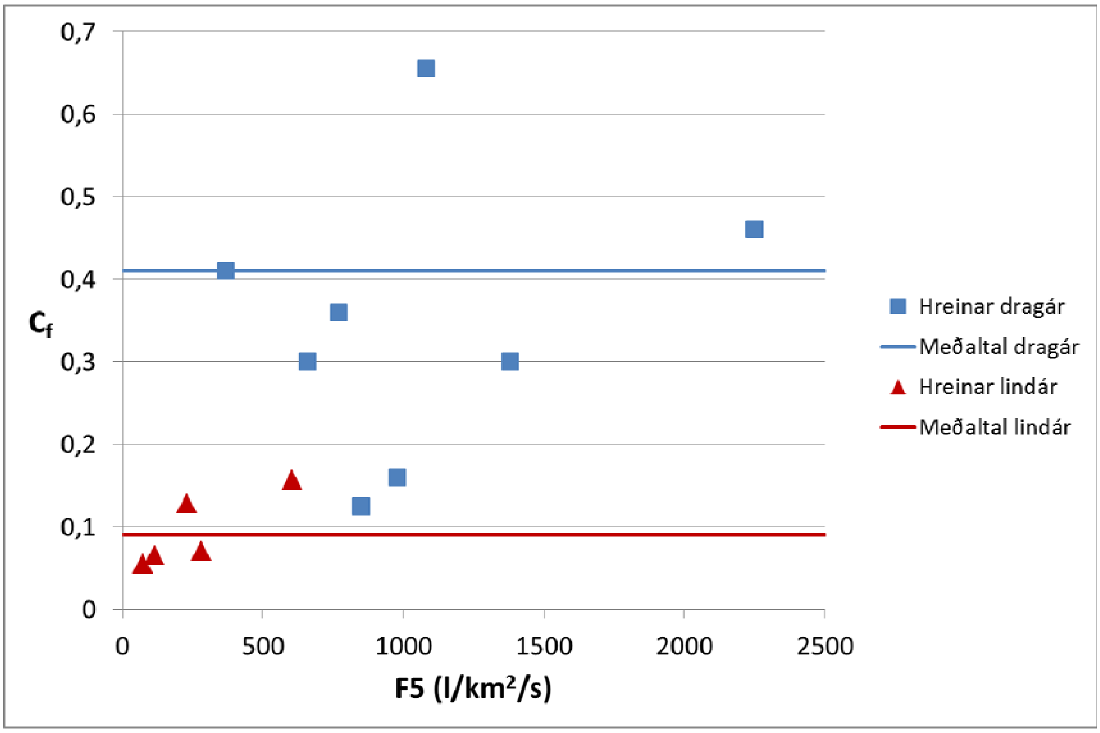
4.3.4 Afrennslisstuðlar fyrir straumvötn

4.3.4.1 Flokkun straumvatna

Höfuðflokkun straumvatna er frá Sigurjóni Rist, flokkarnir heita dragár, lindár og jökulár. Flest stærri fljót innihalda alla þessa þætti.

4.3.4.2 Dragár og lindár

Afrennslisstuðlar straumvatna eru ekki aðgreindir. Mynd 5 sýnir stuðulinn $C = C_sC_f$ fyrir dragár og lindár.



Mynd 5. Afrennslisstuðlar fyrir dragár og lindár eftir magni 5ára afrennslis F5.

Tafla 6. Meðaltal C fyrir dragár og lindár.

	Meðaltal C	**Staðalfrávik C**	**Hlutfall staðalfr. af meðaltali C^v**
Dragár	0,41	0,133	33%
Lindár	0,09	0,044	47%

4.3.4.3 Jökulár og blandaðar ár

Það sem í daglegu tali kallast jökulár eru straumvötn sem innihalda alla 3 flokka sem sérstaka rennslisþætti. Jökulvatn án lindár eða dragáráhrifa er aðeins fyrsti spottinn rétt fyrir neðan útfallið úr jöklinum.

Blandaðar ár hafa C = 0,07 – 0,37 með meðaltalið 0,2 – 0,22.

4.4 Reiknidæmi

Vatnasvið Fnjóskár

A	1132 km^2	Vatnasviðskort OS, vatnshæðarmælir
L	104 km	Vatnasviðskort OS
h	780 m	Hæðarmunur innan vatnasviðskorts OS
t_c	934 mín.	Jafna 7

4.4.1 Endurkomutími flóða fyrir Fnjóská.

1M5 55 mm/dag. Kort V.V.H.Í., þyngdarpunktur vatnasviðs.
I 899 (5 ár), 1333 (50 ár) 1464 l/s/km^2 (100 ár) samkvæmt MT_REIKN
C 0,41. Meðalgildi fyrir dragár

Flóð samkvæmt rökrænu líkingunni

		Endurkomutími í árum		
		5	**50**	**100**
I	$l/s/km^2$	899	1333	1464
Q	$l/s/km^2$	368	547	600
f(P)		1,05	1,12	1,14
Q	m^3/s	436	696	779

Niðurstöður töflunnar eru samkvæmt FLOD_MAT.xls. Til samanburðar: Q_{50} = 692, Q_{100} = 752 samkvæmt Orkustofnun 2001. (Fnjóská). Þannig vill til að C fyrir Fnjóská (= 0,401) er mjög nálægt meðal C, svo venjulega er meiri munur. En þar sem samsvörun C-gilda er svona góð, sýnir dæmið glögglega að reikna verður með f(P), annars er samsvörunin mun verri.

4.4.2 Frosin jörð

Samkvæmt Mynd 2 má áætla $\alpha_f = 0,5$. Áætla má $C_f = C_s = 0,9$.

Q_{100} = 0,9 0,9 0,5 1464 1132 1,14/1000 = 765 m^3/sek

Sem er aðeins minna en áður. Ef hærri tala hefði fengist, þá gilti sú áætlun.

4.4.3 Notkun rennslismælinga

Fyrir margar ár eru til rennslimælingar, líkt og vísað er til í dæminum um Fnjóská hér að ofan. Ef mæliraðar spanna nægilega mörg ár aftur í tímann fást mjög góðar upplýsingar um stærðir flóða með ólíkan endurkoma í þessum vatnsföllum. Slíkar rennslismælingar má nýta til þess að áætla flóð á öðru vantasviði, ef eiginleikar þess eru svipaðir.

Sé gengið út frá því að eftirfarandi forsendur séu líkar fyrir bæði vatnasviðin;

- Afrennslisstuðlar, C (sambærileg dragáreinkenni)
- Sólarhringsúrkoma með 5 ára endurkomutíma, 1M5
- Hlutfall lengdar og hæðar vatnasviðanna, L/h,

má með hjálp rökrænu líkingarinnar má leiða út samband milli flóða á þessum tveimur vatnsviðum með sama endurkomutíma, sem eingöngu er háð stærð þeirra:

$$Q_1 = Q_2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{0,8}$$

Ef verlegur munur reynist á 1M5 gildum milli vatnasviðanna má nota óstytta útleiðslu, sem einnig tekur tilliti til ólíkra lengda á hæðarmunar á vatnsviðunum:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1}{C_2}\frac{I_1}{I_2}\frac{A_1}{A_2} = \frac{I_1}{I_2}\frac{A_1}{A_2} = \frac{1M\,5_1}{1M\,5_2}\left[\frac{(t_{d1})^{-0,5}}{(t_{d2})^{-0,5}}\right]\frac{A_1}{A_2} = \frac{1M\,5_1}{1M\,5_2}\left(L_1 / L_2\right)^{-0,5775}\left(h_2 / h_1\right)^{0,1925}\frac{A_1}{A_2}$$

Reiknilíkan fyrir þessa aðferð er að finna í forritinu FLOD_MAT. Marga varnagla þarf að slá við notkun aðferðarinnar hvað varðar mat á líkum eiginleikum vatnasviða, en hún getur gefið sviðaðar niðurstöður og 1M5 aðferðin þegar eiginleikar vatnasviðanna eru líkir. Til samanburðar er því rétt að reikna ávallt samhliða með 1M5 aðferðinni fyrir bæði vatnasviðin.

4.5 Stærðun veituvirkja

4.5.1 Fráveitukerfi

Nota má forritið HOL_RAES.XLS til að finna rörastærðir. Hermun með aðkeyptum forritum (Mike Urban, Watercad o.fl.) má gera með tilbúnum rennslisröðum, sjá kafla 5.

4.5.2 Vegræsi

Nota má forritið VEG_RAES.XLS til að finna rörastærðina. Straumfræðin í forritinu gerir ekki ráð fyrir neinni fyrirstöðu neðan við útrennslið úr ræsinu.

5 Rennslisraðareikningar

Rennslisraðareikningar á flóðum byggjast á úrkomuröðum og vatnafræðilegu líkani af vatnasviðinu. Mjög nákvæmar upplýsingar þurfa að liggja fyrir um úrkomu, eiginleika afrennslissvæðis og farvegs til að viðunandi nákvæmni fáist í útreikningum á flóðum. Hægt er að rennslisraðareikna staka flóðtoppa með tilbúnum regntoppum. Slíkt er nauðsynlegt að gera þegar verulegra miðlunaráhrifa gætir, eins og t.d. þegar flóðið fer í gegnum vatn eða uppistöðulón.

Vatnafræðileg kerfi:

Mynd 6. Vatnafræðilegt kerfi fyrir ofanflóð.

Mynd 6 sýnir einfalt vatnafræðilegt kerfi. Í flóðum er grunnrennslisþátturinn oftast reiknaður sem fasti, og einfaldasta leiðin er að hafa yfirborðsgeyminn sem línulegan geymi. Að öðrum kosti er grunnrennslisþátturinn $(1 - C_f)\ I(t)$, Cs er ekki með í rennslisraðareikningum. Þegar slíkir reikningar eru framkvæmdir er betra að nota ekki rökrænu líkinguna og afrennslisstuðla, heldur draga grunnvatnsþáttinn frá úrkomunni og búa til svarfall (*response function*, hún er reiknanleg frá IUH fallinu) fyrir yfirborðsgeyminn. Rennsli úr yfirborðsgeymi er þá auðreiknanlegt frá úrkonunni. Grunnrennslið leggst síðan við.

5.1 Línuleg kerfi

5.1.1 Raðmiðlun sem línulegt kerfi

Einingarflóðferill hvers afrennslissvæðis er jafnframt línulegt svarfall, þ.e. afrennsli svæðisins vegna eldsnöggrar regnskúrar. Einfaldur línulegur einingarflóðferill er veldisfallið (Nash Cascade):

$$h(t) = (t/K)^n \exp(-t/K); \; n = 0, 1, 2, ...$$

N Fjöldi jafn stórra miðlunargeyma
K Tímastuðull hvers geymis

Kerfið með n = 0 kallast einföld línuleg miðlun. Þar skammtar magnið í geymslunni útrennslið, þá gildir

$$dS/dt = I - Q \; ; \qquad \text{og} \qquad S = KQ$$

Ef I = 0 og n = 0, þá er lausnin $S(t) = S_0\exp(-t/K)$ og $Q(t) = Q_0\exp(-t/K)$, þetta er kallað línulegt hop (*recession*) .

Öll línuleg kerfi má leysa upp í runur og samsíða brautir af einföldum línulegum miðlunum. Slík kerfi hafa útrennslið

$$Q(t) = \int_0^t h(t)\, I(t-\tau)\, d\tau$$

Hér er h(t) IUH fallið, sjá kafla 4.2.2.1. Rennslið í kerfinu á Mynd 6 verður nú (y fyrir yfirborðsgeymi og g fyrir grunnvatnsgeymi):

$$Q(t) = \int_0^t h_g(\tau)(1 - C_f)\, I(t-\tau)\, d\tau + \int_0^t h_y(\tau)\, C_f\, I(t-\tau)\, d\tau$$

Oft er $K_g >> K_y$ og þá er g-liðurinn nánast stöðugur meðan flóðtoppurinn úr yfirborðsgeyminum fer framhjá. Þá fæst

$$Q(t) = Q_g + \int_0^t h_y(\tau)\, I(t-\tau)\, d\tau$$

Þar sem grunnvatnsþátturinn Q_g er reiknaður sem fasti, eða hægt línulega vaxandi með tíma.

5.1.2 Línuleg nálgun sem tölulegt líkan fyrir langar raðir.

Töluleg líkön (SWMM, MIKE URBAN, Watercad, HEC o. fl.) eru veikt ólínuleg, en taka aðeins stuttar rennslisraðir. Áætla má einingarflóðferil fyrir kerfið (sjá 4.2.2.1) og nota hann til að herma rennsli frá eins langri regnröð og verkast vill. Regnröðin þarf að vera mæld röð yfir nógu mörg ár til að traust mengi ársflóða fyrir flóðatölfræði fáist.

5.1.3 Hermun í töflureikni.

Í töflureikningum þarf að setja h_i = meðaltal$\{h_y(\tau),\ i\,\Delta\tau < \tau < (i + 1)\,\Delta\tau\ \}$ og tilsvarandi fyrir I(t). Þá verður

$$Q(t) = Q(i\,\Delta\tau) = Q(i) = \int_0^t h_y(t)\, I(t-\tau)\, d\tau \approx \sum_{j=1}^{j=i} h_j\, I_{i-j}$$

I og h byrja í i = 1, $h_0 = I_0 = 0$ og allar tölur fyrir i < 0 eru líka núll. Svo er h_{N+1} og öll h fyrir hærri númer líka núll. Nú má snúa h röðinni við, viðsnúið h er, $hv_i = h_{N-i+1}$ og þá er

$$Q(t) = \int_0^t h_y(t)\, I(t-\tau)\, d\tau \; ; \; \sum_{j=1}^{j=N} hv_j\, I_{i+j} = Q(i+j)$$

Formúlan SUMPRODUCT sem er í öllum töflureiknum reiknar summuna í einni formúlu.

5.2 Úrkomuraðir með sundrun

5.2.1 Grunnregnröðin

Þegar þekkt regnröð hefur langan tíma milli gilda (t.d. 6 klst, eins og er í mörgum veðurstöðvum) þá skiptir nánari tímadreifing máli fyrir stærð flóðsins. Þá er notuð sundrun (*disaggregation*) til að búa til aðra dreifingu með minna tímaskrefi, t.d. Δt = 10 mínútur.

Þá er byrjað með grunnregnröð q_i, (i er raðnúmer 1, 2, 3 .....). Hún er röðin þar sem gildi nr. i er þannig, að meðaltalið af því og allra gilda fyrir framan það, er jafndreifða skúrin fyrir varandann $i\Delta t$. Í töflu 3 er 5 ára 10 mín. skúrin q_1 = 82 l/ha/sek, 20 mín. skúrin q_2 = 61 og 30 mín. q_3 = 52. Nú má setja fyrsta gildi grunnregnraðar: $G_1 = q_1$ = 82, $G_2 = 2\,q_2 - q_1 = 40$, og $G_3 = 3\,q_3 - 2\,q_2 = 34$ og þá eru þetta fyrstu 3 tölurnar í grunnregnröðinni. Ef haldið er áfram svona í t.d. 6 tíma verða til 36 tölur í lækkandi röð, en röðin getur verið eins löng og verkast vill. Sama aðferð er notuð fyrir önnur tímaskref en 10 mínútur ef það þykir henta betur. Grunnregnröð hefur þá eiginleika að allar umraðanir á henni eru mögulegir skúrir með sama heildarmagn og sama endurkomutíma og grunnröðin. Grunnregnröðin hefur áðurnefnda meðaltalseiginleika, að meðaltal fremstu úrkomugildanna varðveitir regnskúrina í töflu 1. Þannig er 30 mínútna 5 ára skúrin t.d $q_3 = (G_3 + G_2 + G_1)/3$ þannig að sérhver summa fremstu talna í grunnröðinni varðveitir skúrina með þann endurkomutíma sem byrjað er með og tímalengd ($t_d = i\Delta t$) jafna varanda summunnar. Því má klippa á grunnregnröð hvar sem er, hirða fremstu tölurnar og kalla það skúr með sama endurkomutíma og notuð var til að framleiða hana, dreifing úrkomunnar á tímann er bara ekki jöfn, heldur tröppurit með i tröppum. Slíkri grunnregnröð má raða upp eins og hver vill, allar uppraðanir hafa sama heildarregnmagn, sem aftur hefur þann fasta endurkomutíma sem varandinn segir til um.

5.2.2 Chicago regnröðin

Taka má grunnregnröðina og helminga tímaskrefið. Þá fæst röð með tveim jöfnum gildum, fremra gildi og aftara gildi. Nú má taka annan helminginn, t.d. öll aftari gildi, snúa þeirri röð við og skeyta framan við þá röð sem eftir verður. Þá er komin regnröð sem er samhverf um miðjuna svo þyngdarpunktur úrkomunnar og mesti úrkomutoppur eru á sama tíma. Slík röð er hentug til að kanna eiginleika vatnasviðsins, t. d. mæla seinkun (*basin lag*) og finna samrennslistíma samkvæmt kafla 4.2. Endurkomutími Chicago toppa er að minnsta kosti 2 – 6 sinnum lengri en M5 gildisins sem býr þá til, svo þeir eru því ekki sama hönnunartækið og jafndreifða regnið

5.2.3 Útreikningur á mismunandi skilgreindum flóðum

Til þess að reikna flóð út frá regnröðum sem fengnar eru með sundrun er notuð aðferðin í kafla 5.1. Tíminn reiknast í heilum margfeldum af tímaskrefi (Δt) þeirrar regnraðar sem notuð er. Fyrir stutta Chicagotoppa má nota aðkeypt hermilíkön. Möguleikarnir að raða grunnregnröð með N stökum eru N! og allar úrkomudreifingarnar eru jafngildar svo endurkomutími hverrar uppröðunar er T N!. Reikna má 3 flóð til að athuga hversu stórt bil mismunandi flóð geta dreift sér á vegna mismunandi uppröðunar á grunnregnröðinni. Hentugt er að skoða eftirfarandi flóð

- Q_{GR} eða GR flóðið, flóðið fyrir grunnregnröðina
- Q_{RG} eða RG flóðið, flóðið fyrir grunnregnröðina viðsnúna
- Q_{RF} eða RF flóð, rökræna líkingin, kafli 4.1 með t_d samkvæmt 4.2.2.1.
- Q_{HF} eða HF flóð, flóðið fyrir hámarksröðina, sjá 5.2.4.

Oft er Q_{HF} ekki nema 10 – 20 % stærra en Q_{RF} og aukakostnaður er lítill ef reiknað er með Q_{HF}. 20 % munur verður að teljast innan skekkjumarka hönnunar eftir rökrænu líkingunni.

5.2.4 Hámarkaða flóðið Q_{HF}.

Hæsta mögulega flóðið sem sundrunaraðferðin getur gefið fæst með því að para saman stærstu stökin í SUMPRODUCT röðinni í kafla5.2.3. Þó þetta flóð sé fræðilega mjög sjaldgæft eru til mjög margar uppraðanir sem gefa flóð sem eru litlu minni en Q_{HF}. Forritið MAX_FLOD.XLS reiknar flóðið og ber saman við önnur slík.

Inntaksstærðir		
Vatnasvið		
Lengd	km	104
Hæðarmunur	m	780
Flatarmál	km2	1132
Afrennslisstuðull		0,43
Hlákustuðull		0,4
Úrkoma		
1M5	mm	55
Ci		0,22

Úttaksstærðir			
Samrennslistími		mín	934,4
Seinkun		mín	533,9
Tímakvarði K		mín	178,0
Rennsliskvarði Qo		m3/s	1153,6
Topptími vatnsrits		tp	533,9
Fjöldi tímaskrefa	0	N	125
Tímaskref		mín	15
Hárennsli Qmax		m3/s	516,9
RF flóð, hlutfall Qmax		Maxf =	85%
Grunnröð, hlutfall		Maxf =	83%
Afrennslisstuðull		Cf	0,43
Afrennslisstuðull		Cs	0,95

Tölurnar að ofan eru úr frumútgáfu MAX_FLOD.XLS.

5.3 Miðlunaráhrif

Miðlanir eins og uppistöðulón og settjarnir minnka ofanflóð. Margar staðlaðar aðferðir eru til að rekja flóð gegnum þekkta miðlun og finna hve mikið flóðið minnkar. Að hanna uppistöðu sem minnkar flóðið niður í eitthvað ákveðið er snúnara. Miðlunaráhrifin gera að flóðtoppur mældur á ákveðnum stað í farvegi, t.d. vatnshæðarmæli, hefur venjulega hærra gildi fyrir ofan mælistaðinn en lægra fyrir neðan, ef breytingarnar á vatnasviðinu eru litlar. Miðlunaráhrif eru könnuð með rennslisraðareikningum.

5.4 Reiknidæmi

5.4.1 Línulegt kerfi samkvæmt Nash

Eðli máls samkvæmt eru öll vatnafræðileg kerfi eitthvað ólínuleg, svo gæta þarf þess að nálgunin sé nægilega góð þegar þau eru notuð, og ber þá að miða við mælingar. Línuleg kerfi ganga best þegar líkanið af vatnasviðinu er eins og mynd 6 gerir ráð fyrir, þá er hægt að fá eitt einingarvatnsrit (IUH, sama og h(t) fallið) fyrir hvern mældan flóðtopp og tilheyrandi veðurgögn. Einingarvatnsritin eru dálítið mismunandi en venjulega er hægt að finna einingarflóðferil samkvæmt Nash sem nálgar hinn rétta sæmilega. Best er að byggja reikningana á summulínunni. Í reikniforritinu NASH.XLS er tekið dæmi um hvernig Nash aðfella er fundin. Frumútgáfan er með þessum tölum:

delX	1,1	víddarlaust
delt	20	mínútur
A	1	km^2
a	0,5	

i	S mælt
1	0,12
2	0,4
3	0,61
4	0,83
5	0,95

Mesta rennsli reynist vera um 62 % af regntoppi, t_d finnst 100 mín (sjá 4.4.1)

5.4.2 Veikt ólínulegt kerfi nálgað með Nash

Flest vatnafræðileg kerfi eru veikt ólínuleg. Ef miðað er við Mynd 6, þá þýðir þetta að til lengri tíma litið þarf sama magn að koma út úr kerfinu S eins og inn í það fer. Miðað við þekkt inntak, þarf aðeins samband milli magnsins í kerfinu og útrennslis til að samfellulíkingin ein leysi það dæmi hver tímaferill útrennslisins er og hún er línuleg, dS/dt = Q – I. Sambandið Q = f(S) er hinsvegar nokkuð margbrotið og venjulega ólínulegt.

5.4.2.1 Lítil vatnasvið: Settjörn

Venjulegur frágangur á settjörn er með útrennsli á frjálsu yfirfalli þar sem $Q = C\ L\ H^{3/2}$ Þar sem H er yfirfallshæðin, C yfirfallsstuðullinn (venjulega $C = 0{,}6\sqrt{g}$) og L lengd yfirfallsins. Ef S = A H (A = flatarmál tjarnarinnar) telst nægilega nákvæmt er samfellulíkingin á víddarlausu formi.

$$dh/d\tau = i(\tau) - h(\tau)^{3/2},\ \tau = t/K,\ h = H/H_0,\ i = I/I_0,\ I_0 = C\ L\ H_0^{3/2},\ K = A\ H_0/I_0$$

Eðlilegt er að taka I_0 sem meðalrennsli inn og út og reikna flóð frá byrjunarskilyrðinu $I = I_0$ eða $i = 1$. Vegna dS/dt = Q – I = 0 er skilyrði þess að hafa flóðtopp, þarf að halda reikningunum áfram a. m. k. uns dh/dt = 0, sem verður einhverjum tíma eftir, að hönnunarflóðferillinn, $i = I/I_0$ fer í topp. Á þeim tíma er $Q = Q_{max}$ og $I < I_{max}$. Setja þarf rennslisröðina I inní forrit (töflureikni, MATLAB eða eitthvað slíkt) og tegra númeriskt. Þá er komin röð fyrir $h^{3/2}$. Hún getur verið eins löng og verkast vill með eins mörgum flóðum og verkast vill ef óskað er eftir tölfræðilegri hönnun á yfirfallinu í stað skilyrðisins $Q_{yfir} \leq Q_{max}$, sem er fyrirfram valið. Í tölfræðilegri hönnun er Q_{max} valið út úr tölfræði flóðanna, sjá kafla 3.

5.4.2.2 Lítil vatnasvið: yfirföll

Algengt er að yfirföll beini vatninu í annan viðtaka. Útreikningarnir eru eins, nú er útrennslið bara í tvennu lagi, en báðar útrennslistölurnar eru háðar $h^{3/2}$ og eina sem þarf að gera, er að halda þeim aðskildum í tveim dálkum. Venjulega eru sett ýmis skilyrði fyrir þessi yfirföll sem getur verið ótrúlega snúið að uppfylla með tölfræðilega viðunandi hætti. Í þeim tilfellum ber að klára tölfræðina, ekki bara segja t.d. að yfirfallið fari í gang 5 sinnum á ári að meðaltali, slíkt yfirfall getur hæglega farið 20 sinnum í gang eitt árið þó hönnunin sé alveg rétt. Ákvæði um blöndunarhlutfall geta verið enn verri, því blöndunarhlutfall verður ekki reiknað út frá rennslismagni annars þáttarins eingöngu.

5.4.3 Fráveitukerfi

5.4.3.1 Rakningarforrit fyrir fráveitur

Með nægileg mæligögn tiltæk er hægt að búa til regnraðir sem hafa þann eiginleika, að flæði fráveitukerfið ekki þegar þær eru notaðar þá er það rétt hannað. Slíkar raðir eru í forritinu Mike Urban og gilda þær fyrir Danmörku. Ekkert slíkt er til fyrir Ísland. Dönsk úrkoma er mjög ólík íslenskri, t.d. vantar íslensku árstíðasveifluna nokkurn vegin alveg í Danmörku, svo tölfræðin verður nokkuð ólík.

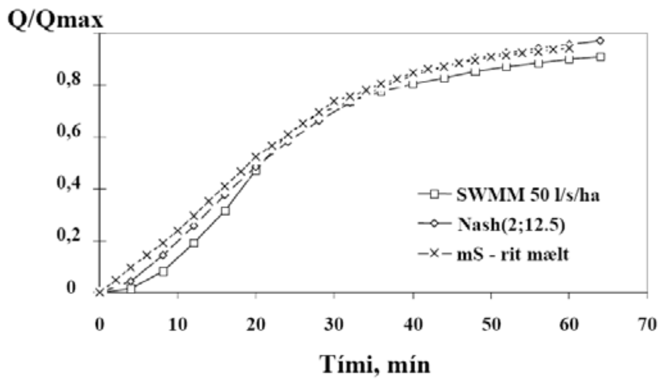
Þrátt fyrir það að forritin séu ekki hönnunartæki í upprunalegum skilningi, þá eru þau mjög gagnleg við að kanna eiginleika kerfisins. Eftirfarandi atriði má reikna og bera saman niðurstöðuna.

1. $Q_{GR}(t)$, eða flóðferilinn fyrir grunnregnröðina
2. $Q_{RF}(t)$ eða RF flóðferilinn fyrir hönnunarskúrina í neðsta punkti og $t_{max} < 3t_d$
3. $Q_{HF}(t)$ eða flóðferilinn fyrir áætlaða max-röð (sjá 5.2.4).

Í þessari rannsókn þarf að athuga skilgreiningu afrennslisstuðla, og með tilliti til þess að hnika hönnunarskúrinni til svo $Q_{max} \leq Q_d$

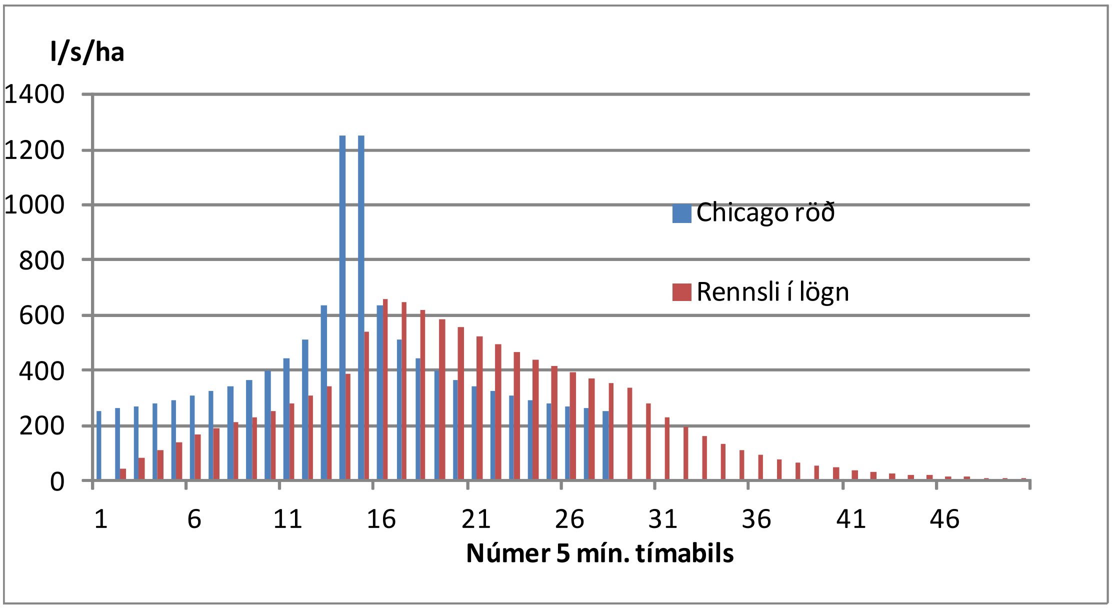
5.4.3.2 Nash nálgun fyrir rakningu

Allt þetta gefur seinkun toppsins í hverjum punkti kerfisins. Ef þær tölur ganga upp í reglunni í kafla 4.2.2.5 nægilega vel er hægt að búa til góða Nash – nálgun fyrir kerfið eins og sýnt er í mynd 7.



Mynd 7. Nash Model nálgun á mældri og reiknaðri IUH

Þar er sýndur 70 mín rennslistoppur, mældur í brunni (mS) reiknaður með rakningarforriti (SWMM) og nálgaður með Nash. Forritið Nash sér um á nálgun, sjá kafla 5.4.1.



Mynd 8. Nash Model, nálgun rennslis í lögn

Til að fá tímaröð rennslis í fráveitulögnum má nota forritið HOL_RAES.XLS til að finna Nash einingarvatnsrit og reikna tímaferil rennslis í lögninni með regnröð sem inntak. Nánast engin takmörk eru á því hvað regnröðin má vera löng svo aðferðin er góð til að ná fram stærðardreifingu flóða, fjölda yfirfallstíma o.s.frv.

6 Aftakaflóð

6.1 Skilgreiningar

Í tæknimáli táknar forskeytið *aftaka* það sama og *Probable Maximum* (PM). Aftakarigning er þá Probable Maximum Precipitation (PMP) og aftakaflóð Probable Maximum Flood (PMF). Merking er líklegt hámark. Hugtakið er notað bæði í eðlisfræðilegum og tölfræðilegum skilningi, og á fyrst og fremst við í hönnun þar sem mjög miklir hagsmunir eru í húfi. Þetta getur átt við t.d. þar sem öryggi mannfjölda er í húfi eða vegna verkefna þar sem tryggingafræðilegra úttekta er krafist.

6.2 Aftakarigning

6.2.1 Eðlisfræðileg nálgun, uppstreymis (convective) úrkoma

Þegar þessi aðferð er notuð í hönnun er búin til aftakaskúr (Probable Maximum Project Storm). Þetta eru venjulega hringlaga jafnúrkomulínur sem látnar eru færast yfir svæðið með ákveðnum hraða. Úrkomumagnið í línunum er venjulega metið út frá stighraða uppstreymi af rakamettuðu lofti á líklegu hámarkshitastigi.

6.2.2 Eðlisfræðileg nálgun, landhækkunar (orographic) úrkoma

Reiknað er með líklegum hámarks loftraka og hámarks vindhraða. Vindurinn blæs upp eftir afrennslissvæðinu. Sennilegt hámark slíkrar úrkomu er 500 – 1000 mm á sólarhring. Aftakaskúrinn yrði þá með þetta hámark í miðjunni en minnkandi úrkoma til hliðar. Hér á landi er þessi aðferð mun sennilegri en uppstreymisaðferðin. Þá eru til veðurspálíkön (*Numerical Weather Prediction* eða NWP forrit) sem geta reiknað úrkomuna nokkuð nákvæmlega eftir að hitadreifing loftsins og loftþrýstidreifing (eða vindhraði) hefur verið valin.

6.2.3 Tölfræðileg nálgun

Allt bendir til þess að tölfræðileg dreifing árshámarka sólarhringsúrkomunnar á Íslandi sé EV1 (sjá næsta kafla), sem er Gumbeldreifing. Hæsta gildi Gumbelbreytunnar y er talið:

$$y_{lim} = 10{,}71 - 0{,}0071\,M5; \qquad M5:\ \text{mm/sólarhring}$$

Það gildi á C_i sem talið er svara til aftakarigningar er:

$$C_{iH} = 0{,}1 + 6/M5^{\,0{,}8333}$$

M5 í mm/24h. Þetta svarar til:

$$PMP = M5\,(1 + C_{iH}\,(10{,}71 - 0{,}0071\,M5 - 1{,}5))$$

6.2.4 Leiðréttingarstuðlar

Leiðréttingarstuðlar sem tiltölulega lítið munar um þegar um venjulega úrkomu er að ræða, hafa mun meiri þýðingu fyrir aftakaúrkomu. Þeir helstu eru:

Tímabilsleiðrétting:	1,13 ef M5 byggir á mælingum á 24 tíma fresti.
Mælisleiðrétting	1,25, algengt gildi fyrir háan vindhraða
ARF leiðrétting	um 0,9 fyrir 200 km^2, 1 fyrir 35 km^2 og minna.

ARF er *Area Reduction Factor*. Þessa stuðla ber að nota á M5 gildið því aftakaúrkoma á að vera sennilegt hámark.

Dæmi:

Stærð vatnasviðs:	250	km^2
1M5	130	mm/slhr
Tímabilsleiðrétting	1,13	
Mælisleiðrétting	1,25	
ARF leiðrétting	0,89	
Leiðr1M5	163	mm/slhr
PMPís	408	mm/slhr

6.3 Aftakaflóð

6.3.1 Afrennslisstuðlar

Þar sem aftakaflóðið á að vera sennilegt hámark, er ekki nóg að hámarka úrkomuna. Líka þarf að hámarka afrennslisstuðulinn. Hann þarf því að vera 0,85, en þetta er sennilegt hámark með tilliti til þess að venjulegur jarðvegur fyllist og írennsli stöðvast í aftakaúrkomu. Íslensk nútímahraun eru það gropin að þau geta sennilega tekið við aftakarigningu án afrennslis að marki, en líklegasta hámark kemur þá, þegar jörð er frosin. Þá er afrennslisstuðullinn sá sami. Því ber að nota C = 0,85 hvort heldur verið er að nota rökrænu líkinguna eða reikniforrit.

6.3.2 Endurkomutímar aftakaregns og flóða

Endurkomutímar aftakanna eru í sjálfu sér ekki skilgreindir. Nota má Gumbeldreifinguna til að reikna endurkomutíma aftakaregns, hann reynist oft um 20.000 ár. Endurkomutími aftakaflóðs með C = 0,85 er mun hærri. En með tilliti til þess að þetta gildi er hámarkað, ber að reikna með f(P) = 1 þegar rökræna líkingin er notuð til að áætla aftakaflóð. Með tilliti til þessa er líklegt að endurkomutími aftakaflóða reiknist eitthvað hærri en 100.000 ár.

7 Flóðatölfræði

7.1 Fræðileg Gumbeldreifing

7.1.1 Líkingin

Gumbeldreifing er hágildadreifing af gerð I (*Extreme Value type I* eða EV1). EV2 og EV3 eru líka til en sjaldnar notaðar. Saman heita þessar dreifingar *General Extreme Value Distribution (GEV)*.

Stöðluð Gumbel hágildadreifing er skilgreind sem:

$$F(x) = \exp\left[-\exp^{-\alpha(x-\beta)}\right] \qquad (1)$$

EV1 er því tveggja stika dreifing, a er svokallaður skalastiki (scale parameter) en b er staðarstiki (location parameter). EV2 og EV3 hafa þriðja stikann svokallaðan, krappastika (shape parameter). Aðlögun á dreifingu að gagnasetti gengur betur með þrem stikum en tveim, en mjög margar ástæður eru til þess að reyna að komast af með tvo. Auk þess getur samblöndun á gögnum milli stöðva búið til falskan krappastika. Falskur krappastiki myndast líka þegar unnið er úr einni stöð og hæstu flóðin í mæliseríunni svara ekki til tímalengdarinnar, sem er hin venjulega regla fyrir flóð sem hafa endurkomutíma nálægt lengd seríunnar. T.d. eru ekki nema 63 % líkur á að 50 ára flóð komi á 50 ára seríu svo dæmi sé tekið.

7.1.2 Stikarnir

α og β eru stikar tengdir vægjum dreifingarinnar, skilgreindir á eftirfarandi hátt:

$$\alpha = \frac{C1}{S_n} \text{ og } \beta = \overline{X}_n - \frac{C2}{\alpha}$$

þar sem X_n er mælt gildi númer n. Yfirstrikun táknar meðaltal allra gilda og S er staðalfrávik. C1 og C2 eru töflugildi háð fjölda árshámarka, n, en fræðileg gildi þeirra fyrir óendanlega stórt n eru:

$$C2=\gamma = 0{,}577 \qquad \text{(Eulers fasti)}$$

$$C1 = \sqrt{\frac{\pi^2}{6}}$$

En fyrst skal athuga líkindin og tengja þau síðan við Gumbel-dreifinguna. Ef $P(X \leq x)$ eru líkindin á að árlegt hámark X sé jafn hátt eða lægra en viðmiðunargildi x

$$P(X \leq x) = F(x)$$

Ef x er jafnað eða yfirstigið r sinnum á n árum og n er hátt gildi stefnir $P(X > x) = 1 - P(X \leq x)$ á r/n. Ef endurkomutíminn fyrir x er T(x) stefnir hann á n/r en fræðilegt gildi hans er fengið úr:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{T(x)} \qquad (2)$$

þannig fæst ef (1) og (2) eru settar saman:

$$\exp\left[-\exp^{-a(x-b)}\right] = 1 - \frac{1}{T(x)} \qquad (3)$$

7.1.3 MT og M5 gildi

Ef leyst er fyrir x og stungið inn fyrir α og β fæst gildið á MT, regnmagni með endurkomutíma T, varandinn sá sami og varandinn á hinum upphaflegu X gildum:

$$MT = x = \overline{X}_n - \frac{C2}{C1}S_n - \frac{1}{C1}S_n\left(\ln\left(-\ln\left(1 - 1/T\right)\right)\right) \qquad (4)$$

Hér er stærðin – ln(-ln(1 – 1/T)) oftast kölluð Gumbelbreytan y. Þannig er hægt að áætla úrkomumagn fyrir hvaða endurkomutíma sem er, t.d. 5 ár með því að setja inn T = 5 eða setja inn y og síðan y_5 ($y_5 = 1,5$) fyrir það. Sjá nánar í 6.3.

Samband úrkomu X og tíðnibreytunnar y (sjá jöfnu 8)er bein lína ef (3) gildir, en til að reikna y er T reiknað samkvæmt líkingu Gringorten samkvæmt algengri venju í vatnafræði

$$T = \frac{n + 1 - 2a}{m - a} \qquad (5)$$

þar sem:
m = raðnúmer, lægsta úrkomugildið fær m =1, hæsta úrkomugildið fær m = n
svo m = 1, 2,....,n þar sem n er fjöldi ára á mælitímabili
a = fasti, fyrir Gumbel dreifingu gildir a = 0,44

7.2 Endurkomutími

Hugtakið endurkomutími er mjög þægilegt í hönnun. En í notkun þess fylgir ákveðin hætta ef ruglast er á grunneiningu tímans. Í fræðibókum er greint á milli þessara tilfella með því að tala um *annual series* og *partial duration series*. Þegar endurkomutími er mældur í árum liggur í hlutarins eðli að grunneiningin sé eitt ár, en það er ekki alltaf mögulegt. Tökum fjögur dæmi.

Dæmi 1:
$T = 5$ ár. Hverjar eru líkur á að atburðurinn komi á næsta ári?
$P(X \leq x) = 1 - 1/T$ Þetta eru líkurnar á að atburðurinn komi ekki. Líkurnar á að hann komi eru: $P(X \geq x) = 1 - P(X \leq x) = 1 - (1 - 1/T) = 1/T = 1/5 = 0{,}2$.

Venjulega er hægt að reikna svona, en hér er dæmi um hið gagnstæða:

Gagndæmi 2:
$T = 1$ ár. þ.e.a.s. ef atburður sem kemur fyrir einu sinni á ári að meðaltali, hverjar eru líkurnar á að hann komi á næsta ári?. Ef reiknað er eins og áðan fæst: $P(X \geq x) = 1 - P(X \leq x) = 1 - (1 - 1/T) = 1/T = 1/1 = 1$. Svarið er bersýnilega rugl. Líkur geta aldrei orðið einn.

Skýringin er sú að í gagndæmi 2 getur grunneiningin tímans ekki verið eitt ár. Grunneiningin má vera mánuður, og endurkomutíminn ekki eitt ár heldur 12 mánuðir. Hún má vera vika og endurkomutíminn 52 vikur. Í báðum tilfellum má reikna út líkurnar á að atburðurinn komi á næsta ári:

Dæmi 3:
$T = 12$ mánuðir, þ.e. ef atburðurinn kemur að meðaltali einu sinni á ári, hverjar eru líkurnar á að hann komi á næsta ári? Ef reiknað er eins og áðan fæst: $P(X \leq x) = 1 - 1/T = 1 - 1/12 = 11/12$ sem eru líkurnar á að atburðurinn komi ekki í næsta mánuði. Að atburðurinn komi ekki 12 mánuði í röð hefur líkurnar $P(X \leq x)^{12} = (11/12)^{12}$. Líkurnar á að hann komi samt sem áður eru $1 - (11/12)^{12} = 0{,}648$ eða 64.8%. Samkvæmt þessu er endurkomutíminn á ársgrundvelli ekki eitt ár heldur $1/0{,}648 = 1{,}54$ ár.

Dæmi 4:
Tökum $T = 52$ vikur, þ.e. atburð sem kemur að meðaltali einu sinni á ári, hverjar eru líkurnar á að hann komi á næsta ári? Ef reiknað er eins og áðan fæst: $P(X \leq x) = 1 - 1/T = 1 - 1/52 = 51/52$ sem eru líkurnar á að atburðurinn komi ekki í næstu viku. Að atburðurinn komi ekki 52 vikur í röð hefur líkurnar $P(X \leq x)^{52} = (51/52)^{52}$. Líkurnar á að hann komi samt sem áður eru $1 - (51/52)^{52} = 0{,}636$ eða 63,7%. Samkvæmt þessu er endurkomutíminn á ársgrundvelli ekki eitt ár heldur $1/0{,}636 = 1{,}57$ ár.

Það virðist í fljótu bragði fáránlegt hvernig endurkomutíminn eitt ár, sem óneitanlega er 12 mánuðir samkvæmt almanakinu, getur breyst í 1,54 ár sem er 18 mánuðir, og svipað skeður þegar talið er í vikum. Skýringin liggur í mismunandi úrvinnslu. Ef tekin er löng röð af óháðum tölum þar sem ein tala er fyrir hvern klukkutíma má skipta röðinni upp í ár og taka hæstu tölu hvers árs og vinna úr því. Niðurstaðan er endurkomutími í árum. Síðan má skipta eftir mánuðum og taka hæstu tölu hvers mánaðar. Það gefur auga leið að nú koma 12 sinnum fleiri tölur í úrvinnslusafnið, þar á meðal eru margar sem eru stærri en minnsta talan í árstölusafninu. Hinar þversagnakenndu niðurstöður hér að ofan endurspegla þessa staðreynd.

Spyrja má af hverju er ekki alltaf unnið á mánaðar eða vikugrundvelli. Það er nákvæmara að fá fleiri tölur en færri með í úrvinnslusafnið. Skýringin er árstíðasveifla veðurs sem er mjög sterk á Íslandi. Hæstu mánaðargildi úrkomu á Íslandi eru langt frá því að vera óháðar tölur. Hægt er að bæta úr þessu með því að búa til staðlaðar raðir sem eru stöðugar í meðaltali og staðalfráviki. Rannsóknir á slíkum röðum hafa á seinni tímum vikið fyrir rannsóknum á svokölluðum *fractal* og *multifractal* eiginleikum tímaraða.

Af þessu má sjá að endurkomutími hefur einungis merkingu ef grunneining tímans er skilgreind. Aðferðina sem notuð er hér að ofan til að komast á milli grunneininga má alhæfa. Hugsum okkur endurkomutíma Ta í árum og endurkomutíma Ts í annarri grunntímaeiningu τ þar sem $n\tau$ = eitt ár. Með því að gera eins og áður fæst formúla sem er í allmörgum bókum um hágildagreiningu:

$$P(X \leq x) = 1 - 1/Ta = (1 - 1/Ts)^n = (1 - 1/Ts)^{nTs/Ts} \simeq e^{-1/(Ts/n)} \qquad (6)$$

þegar Ts er nógu stórt. Stærðin Ts/n er einmitt endurkomutími atburðarins sem reiknaður var út í stuttu tímaeiningunni, en talinn í árum samkvæmt almanaksaðferðinni. Sé niðurstaðan úr dæmum 2 og 3 reiknuð samkvæmt þessari formúlu fæst í báðum tilfellum (Ath. Ts/n er (12 mán)/(12 mán. í ári) = 1 ár í dæmi 2 og (52 vikur)/(52 vikur í ári) = 1 ár í dæmi 3):

$$1 - 1/Ta = e^{-1/(Ts/n)} = e^{-1} = 0{,}368 \Rightarrow Ta = 1{,}58 \qquad (7)$$

Nákvæmnin er góð fyrir dæmi 3 (vikurnar) en á mörkunum fyrir dæmi 2 (mánuðina) sem aftur sýnir að Ts = 12 er tæplega nógu stórt.

Ef Ts/n er nægilega stór tala til þess að nálga megi e-fallið með fyrstu liðum Maclaurin raðar fæst:

$$Ta = Ts + 1/2$$

Nálgunin gildir vel fyrir Ta $\geq$ 2 ár.

7.3 Hallastuðullinn C_i

Gumbeldreifinguna má skrifa á eftirfarandi hátt

$$MT = x = M5(1 + C_i (y - 1{,}5)) \qquad y < y_{lim} \qquad (9)$$

$$x = x_{PM} \qquad y \geq y_{lim}$$

MT : T ára sólarhringsregn (x fyrir P = 1 – 1/T)

M5 : 5 ára sólarhringsregn (x fyrir P = 0,8 eða y = 1,5)

Í (9) er x það sólarhringsregn sem samsvarar endurkomutíma tíðninnar í y.

Stuðullinn C_i er reiknast frá fræðilega gildinu $y_5 = 1{,}5$:

$$C_i = \frac{1}{1{,}282} \frac{1}{C_v' + \frac{y_5 - 0{,}577}{1{,}282}} = \frac{0{,}78}{C_v' + 0{,}72} \tag{11}$$

Hér er:

C_V': $1/C_V$

C_V = Breytileikastuðullinn $S_n/\overline{X}_{nn}$

7.4 Tölfræðilegt mat á regnhágildum.

Tölfræðilegt mat á hágildum fer fram samkvæmt (9). Mjög þarf að vanda matið á C_i stuðlinum. Þegar um lítil vatnasvið er að ræða eru nokkrar tillögur í forritnu HOL_RAES.XLS. Algengast er C_i = 0,2 - 0,25 og á því bili ber að staðsetja C_i nema ef nærliggjandi veðurathuganir gefi tilefni til annars. Fyrir endurkomatíma 2 – 50 ár er munurinn þó lítill.

Tafla 7. Tölugildi MT/M5.

	Ta	**1,5**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**
	Ts	**1**	**1,5**	**4,5**	**9,5**	**19,5**	**49,5**
Ci	= 0,2	0,68	0,77	1,00	1,15	1,29	1,48
Ci	= 0,25	0,60	0,72	1,00	1,19	1,37	1,60

7.5 Mat á skúrum í fráveituhönnun

Hér á landi er sólarhringsúrkoma oft notuð til að meta regnskúra sem notaðir eru í fráveituhönnun. Er þá notuð formúla til að færa hámarks sólarhringsregn til tilsvarandi skúraregns, t.d. 10 eða 20 mínútna, sem mun vera mikið notað. Formúla Wussov hefur eitthvað verið notuð (Páll Bergþórsson, 1977). Ef slíkum formúlum er treyst á annað borð þá er aðferð Páls ágætlega nothæf þegar stutt er í næstu veðurstöð. Aðeins þarf að færa niðurstöðugildin sem eru sólarhringsgildi til tilsvarandi skúraregns með formúlunni.

Í þessu sambandi þarf að athuga gildissvið viðkomandi formúlu. T.d. er formúla Wussov ekki fræðilega rétt í næsta nágrenni við tímann 1440 mínútur (= 1 sólarhringur) vegna þess að þar hefur hún láréttan snertil, sem í reynd þýðir að regnið hættir eftir einn sólarhring. Afleiðingin er sú að formúlan hefur einungis takmarkað gildissvið sem í er gloppa í nánd við 1440 mínútur. Því er ekki ráðlegt að nota Wussov þegar sólarhringsúrkoman er hin mælda stærð sem skúrirnar eru reiknaðar út frá. Sé hinsvegar klukkutímaregn eða þriggja tíma regn hin mælda stærð sem skúrirnar eru reiknaðir út frá er formúlan mikið betri.

Í nánast öllum vatnafræðibókum eru til formúlur sem nota má til að reikna út skúraregn. Þær hafa það sameiginlegt að í þeim eru stuðlar sem þarf að meta með hliðsjón af úrkomumælingum. Hin tölfræðilega rétta aðferð er því sú að vinna úr úrkomugögnum með þeim hætti að byrja á því að taka hlaupandi meðaltöl með þeirri tímalengd og þau gildi á varanda sem reikna á skúraregn fyrir, t. d. 10mín., 20mín., 40 mín. o.s.frv. Þegar þetta er búið liggja fyrir jafn langar raðir og úrkomugögnin eru löng, ein röð fyrir hvern varanda. Nú má finna eftirfarandi raðir fyrir hvern varanda fyrir sig með því að tína hámörkin út úr þessum gagnaröðum:

<u>POT raðir:</u> Öll hámörk (alla toppa) sem ná upp fyrir ákveðinn þröskuld. Þetta býr til tvöfald röð fyrir hvern varanda, annarsvegar gildi þröskulds, hinsvegar fjölda hámarka sem eru hærri en þröskuldurinn.

<u>Árshámarkaraðir:</u> Stærsta hámark hvers árs. Þetta er einföld röð með jafnmörgum gildum og árin eru mörg í hinni upphaflegu röð.

Til að vinna áfram úr POT röðum þarf að átta sig á áhrifum árstíðabreytinga eins og áður segir. Helstu áhrif árstíða hér á landi eru þau, að úrkoma á vetrum er að stórum hluta snjór sem mælist illa, en ekki skal farið nánar úti í þær tölfræðilegu skekkjur sem af því leiða. Þar að auki gerist það óhjákvæmilega, að mjög háum gildum fylgir miki‘ af lægri hámörkum vegna sjálffylgninnar.

Árshámörk eru því áreiðanlegri grunnur en POT hér á landi. Gallinn við að nota þau er hinsvegar að til þess þarf 40 - 80 ára mælingar.

7.6 Úrvinnsla árshámarka

Af ýmsum ástæðum getur verið nauðsynlegt að finna M5 gildi (úrkomu eða rennsli) í nærliggjandi veðurstöðvum. Þá þarf að finna dreifinguna og meta M5.

Finna þarf öll mæld árshámörk, röðin þarf ekki að vera samhangandi. Ef röðin kallast X_1, X_2, ...,X_n, þá reiknast M5 samkvæmt kafla 7.1. Trúleikabil fyrir M5 fæst eftir venjulegum tölfræðilegum jöfnum. Almenna reynslan er sú að góð M5 gildi koma fyrir n = 40 – 80 ár. Gildi fyrir meira en 80 ára raðir eru hugsanlega ekkert betri, um 1920 verður mikil loftslagsbreyting (frá litlu ísöld yfir í nútíma veðurfar), en mælingar fyrir þann tíma er svo fáar að ekki eru til gögn svo finna megi hvaða tölfræðileg þýðingu hún hefur fyrir árshámörk.

Þá þarf að teikna upp dreifinguna og skoða hvort Gumbeldreifingin passar. Best er að búa til *normuðu* röðina nX_1, nX_2, ..., nX_n þar sem nX er:

$$nX = (X - \overline{X}_n)/S_n$$

Meðaltal nX er 0 og staðalfrávik 1. Þetta gildir fyrir allar stöðvar. Þeim er nú hægt að slá saman í eina stöð og finna dreifinguna. Allar slíkar rannsóknir sýna að áðurnefndur krappi er enginn, EV2 og EV3 er því hafnað og Gumbel (EV1) látinn gilda. Þetta hindrar ekki að EV2 eða EV3 gildi ekki betur fyrir ónormeraðar stöðvar einar sér, eða samslátt úr þeim. En slíkar niðurstöður hafa takmarkað svæðisgildi (*regional value*).

Til að sjá dreifinguna er best að endurraða nX röðinni í fallandi röð, reikna út T samkvæmt Gringorten (Kafli 6.1), reikna þá Gumbelbreytuna y og setja út (nX, y) punktana í x-y hnitakerfi. Punktana má svo bera saman við línuna:

$$y = \overline{y} + \overline{X}_n S_y$$

Ef nú (nX, y) punktarnir marka feril sem sveigist upp miðað við línuna, þá gildir EV2 dreifingin betur en Gumbel (EV1). Ef sveigjan er niður er EV3 betri.

Engin regla er til um hvað skal gera ef Gumbel passar ekki. Kíkja má á stærra svæði og sjá útbreiðslu óreglunnar. Ef engin skýring finnst á henni er hægt að horfa framhjá henni. Ef verið er að skoða fráveitukerfi í kring um stöðina og menn sannfærast um að EV2 eða EV3 passa mun betur má leiðrétta M5 matið með tilliti til hinnar réttu dreifingar.

7.7 Tölfræðilegar gildrur.

7.7.1 Skilgreiningar

Tölfræðileg gildra er það þegar unnin er tölfræðigreining en niðurstaðan er röng. Formúlurnar geta verið réttar og allt gert rétt samkvæmt venjulegri tölfræði en útkoman samt röng. Ástæðan er venjuleg einhver forsendubrestur. T.d. eru aðferðir hér að framan sniðnar fyrir vatnafræðilega skilgreind árshámörk. Séu aðferðirnar notuð á einhver önnur gögn, verður útkoman nokkuð örugglega röng.

7.7.2 Stöðugleiki tímaraða.

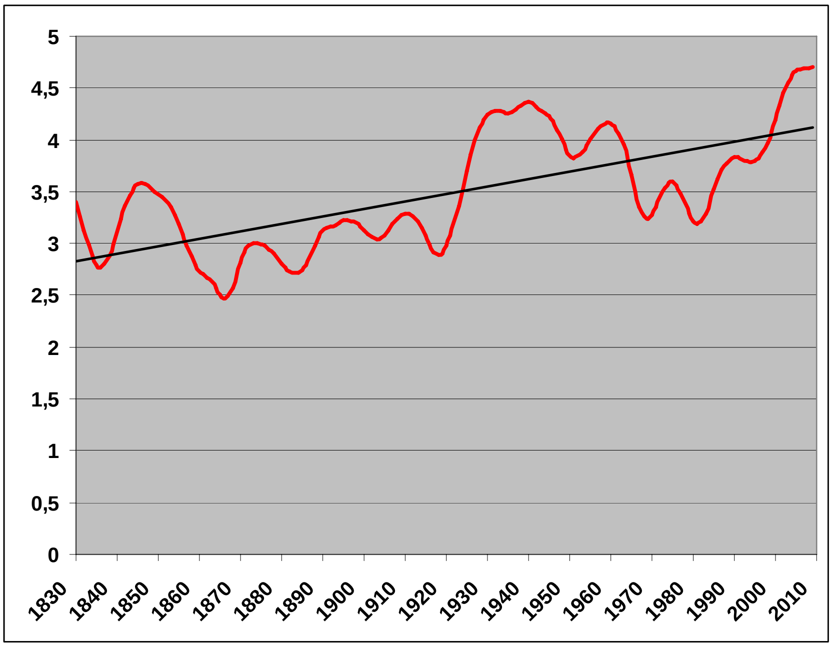
Venjuleg tímaraðagreining gerir ráð fyrir því að raðirnar séu stöðugar (*stationary*) og einslægar (*ergodic*). Vatnafræðilegar tímaraðir eru undantekningarlaust *ekki* þannig, Mynd 9 er skýrt dæmi. Stærsta undantekningin er þó *árstíðasveifla* veðurfarsins. Þá eru dægursveiflur líka algengar. Á slíkar sveiflur þarf því að beita *líkindalíkönum* (*stochastic models*) til þess að fá marktækar niðurstöður. Hér eru notaðar raðir árshámarka vegna þess að þær komast nálægt að vera stöðugar og einslægar án sjálffylgni.

7.7.3 Sjálffylgni.

Eiginleikin *sjálffylgni* (*persistance, autocorrelation*) lýsis sér þannig að gildi tímaraðarinnar eru ekki óháð hvert öðru heldur skyld. T.d. er veðrið í dag náskylt veðrinu í gær í tölfræðilegum skilningi. Að hafa langt á milli gilda útrýmir ekki skyldleikanum því reglubundin sveifla (árs- eða dægursveifla) gerir samskonar sveiflu í *sjálffylgnifallinu*, en það er sú breyta sem segir til um skyldleika tveggja stærða í röðinni með ákveðu millibili í tíma.

7.7.4 Veðurfarsbreytingar.

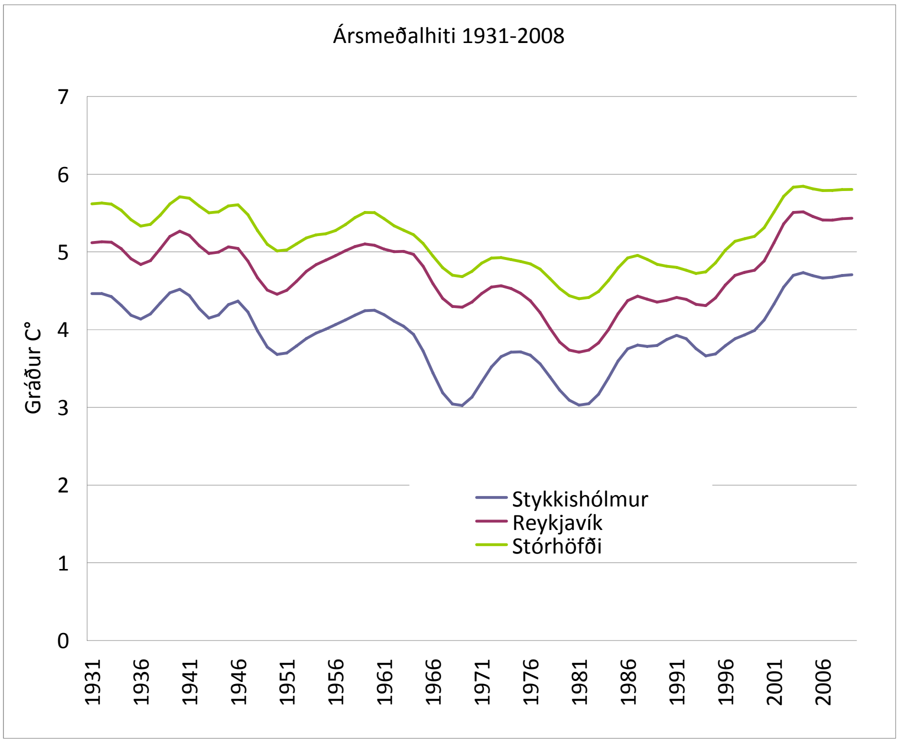
Ákveðnar og viðvarandi breytingar í veðurfari hafa í aðalatriðum sömu áhrif og annar óstöðugleiki svo sem árstíðasveifla, nema þau eru heldur víðtækari. Þannig hafa rennslissveiflur milli árstíða ekki bein áhrif á árshámörk, en breytt veðurfar hefur það. Það sem menn hafa um veðurfarsbreytingar á Íslandi eru hitamælingar



Mynd 9. Tímaröð ársmeðalhita í Stykkishólmi

Mynd 9 sýnir breytingar á ársmeðalhita sem samsvara línulegri hækkun um 1,5°C á 180 árum. Slík túlkun er þó töluvert vafasöm. Mun sennilegri túlkun er snögg hækkun um rúma ½°C 1925 – 1930, en eðlilegar sveiflur þar fyrir utan. Tímaröðin er sigtuð þannig að allar sveiflur sneggri en 7 – 10 ár eru þurrkaðar út. Aðalbreytingin sem eftir er virðist vera 50 – 80 ára sveifla.

Aðrar stöðvar líkjast mjög þessu, en þær eru ekki tiltækar nema fyrir styttri tíma.



Mynd 10. Tímaröð ársmeðalhita í 3 stöðvum.

Þegar sigtun er beitt fylgjast meðalhitaraðir ágætlega að, sjá Mynd 7.

Þessi snögga hækkun á meðalhita er greinilegt dæmi um óstöðugleika. Slíkar breytingar leiða til að dreifingarnar verða blandaðar. T.d. getur dreifing sem er EV1 beggja vegna við slíkt stökk orðið EV2 eða EV3 fyrir heildarröðin. Þetta er líka mjög algeng niðurstaða fyrir langar raðir árshámarka, algengast er að langa röðin sé EV2 meðan endarnir eru EV1 dreifðir.

Við mat á slíkum áhrifum verður að hafa í huga að hámarkatölfræði er ekki til að spá fyrir um óorðna hluti. Hún er til þess að leiða líkur að áhættunni sem mannvirkið verður fyrir á líftíma sínum. Sjá nánar í kafla 2. Líftími mannvirkja er 25 – 60 ár, 60 – 80 ár eru alveg nógur tími til að skilgreina M5, lengri raðir hafa takmarkaða þýðingu. Ef líkur eru á að veðurfarsbreyting sem skekki tölfræðina hafi orðið fyrir 60 – 80 árum er ekki ástæða til að fara með greininguna aftur í það tímabil.

Það skal þó tekið fram að þó þessi breyting í hitanum sé nokkuð greinileg, þá hefur ekki tekist að sýna fram á hana fyrir úrkomu.

8 Ritverk

Chow, V. T.; Handbook of Applied Hydrology; 1964

Chow, V. T., Maidment, D.R., Mays, L. W.,; Applied Hydrology; 1988

Einarsson, K. and Sigurðsson, O.;; Nordic Hydrology and the Greenhouse Effect (Report), ; 1990

Einarsson, M. Á.,; Veðurfar á Íslandi (Climate in Iceland); 1976

Einarsson, M. Á.,; Evaporation and potential evapotranspiration in Iceland; 1972

Einarsson, Markus A.,; Precipitation in Southwestern Iceland; 1988

Eliasson, E. and Kjaran, S. P.,; Multisite Stochastic Flow Model of the Thjorsa and Sog Rivers based on the Yevjevich Model; 1976

Eliasson, J. and Kjaran, S. P.; Practical Aspects of the Linear Groundwater Reservoir Models; 1976

Elíasson, J., ,Statistical Esimates of PMP values, Nordic Hydrology, an International Journal Vol. 25 pp. 301 - 312 1994. 1993

Elíasson, J.; ,The Relationship between the runoff coefficient and the Time of Concentration,Nordic Hydrological Conference, Akureyri 13 - 15 August, Vol. 2, pp. 638 - 637, 1996

Eliasson, J. and Solnes, J.; Statistical Investigation of Hydrological Data; 1972

Elíasson, Jónas, A statistical model for extreme precipitation, Water Resources Research, Vol. 33, NO 3, pp. 449 – 455. 1997

Elíasson, J., Design values for precipitation and floods from M5 values; Nordic Hydrology 31, (4/5) 2000, 357 – 372.

Eythorsson, Jón and Sigtryggsson Hlynur,; Zoology of Iceland, Vol I, Part 3; 1971

Flood and earthquake criteria Committee on Safety Criteria for Dams; Safety of Dams; 1985

Förland, E.; Paaregnelige ekstreme nedbörverdier; 1984

Förland, E.; Beregning av ekstreme nedbör; 1987

Förland, E.; Paaregnelig maksimal nedbör beregnet med ulike metoder; 1988

Guttormur Sigbjarnason, (ritstj.); Vatnið of Landið; 1990

Holm, S.L.and Einarsson, Kristinn; The adaption of the NAM2 Runoff Model to Icelandic Climatic Conditions With Special Emphasis on the Modelling of Snow; 1991

In Einarsson, M. Á.: Precipitation in Iceland 1931 - 1960 compiled by Sigfúsdóttir, A. B.; Veðurfar á Íslandi (Climate in Iceland) fig. 40 p. 97; 1976

International Commission on Large Dams; Sixteenth Congress on Large Dams; 1988

Johnsen, S. J., Dansgaard, W. and White, W. C.;; The origin of Artic Precipitation under present and glacial conditions;; 1989

Jónas Elíasson; Um vatnafræði; 1978

Jónas Elíasson, Vatnafræðilegar forsendur fráveituhönnunar á höfuðborgarsvæðinu. Árbók Verkfræðingafélags Íslands 1994/1995, (Ritrýnd grein) 1996

Jónas Elíasson og Sigvaldi Thordarson; Útreikningar á Skúrum Vatnaverkfræðistofa Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands 1996

Jónas Elíasson, Alhæfð hámarkadreifing fyrir sólarhringsúrkomu. Árbók Verkfræðingafélags Íslands 1993/1994, pp. 281 - 290, (Ritrýnd grein) 1995

Jónsson, T.;; Precipitation and Classification of Climatic Types;; 1987

Jónsson, T.;; Iceland and Changes in Climate;; 1990

Kite, G. W.; Frequency and Risk Analyses in Hydrology; 1977

Laikhtman, D. L. og fl.; Problems in dynamic meteorology; 1972

Lamb, H. H. and Johnson, A. I.;; Secular Variations of the Atmospheric Circulation since 1750;; 1966

Lamb, H. H.;; The changing Climate, Selected Papers;; 1966

Lamb, H. H.;; Climate, Present, Past and Future. Vol. 1. Fundamentals and Climate now;; 1972

Lamb, H. H.;; Climate, Present, Past and Future. Vol. 2. Climatic History and the Future;; 1977

Markús Á. Einarsson; Veðurfræði; 1975

Mörk, G.; Effektiv nedbör og snösmeltebidrag i noen store flomepisoder; 1989

Ponce, Victor M.; Engineering Hydrology; 1989

Rist, Sigurjón; Íslensk Vötn (Icelandic Fresh Waters); 1956

Rist, Sigurjón; Vatns er þörf (The Water is Needed); 1990

Roberson, J. A. et al; Hydraulic Engineering; 1988

Rodda, J. C.; The Precipitation Measurement Paradox - The Instrument Accuracy Problem; 1971

Ruddiman, W. F. and Glover, L. K.;; Subpolar North Atlantic Circulation at 9,300 yr B.P.: Faunal Evidence;; 1975

Ruddiman, W. F. and MacIntyre, A.;; The North Atlantic Ocean during the last deglaciation.; 1981

Sevruk, B. og Geiger, H.; Selection of Distribution Types for Extremes of Precipitation; 1981

Sevruk, B. og Geiger, H.; Distribution Types currently in Use for Frequency Analysis of Extremes of Precipitation and Floods by Hydrological and other Services; 1985

Sigfúsdóttir, Adda Bára; Úrkomumælingar við Hvalvatn (Precipitaion gauging at Hvalvatn); 1987

Sigurðsson, Flosi Hrafn; Vandamál við úrkomumælingar á Íslandi (Problems in gauging precipitation in Iceland) ; 1987

Singh, V. P. ; Hydrologic Systems, I: Rainfall - Runoff Modelling; 1988

Singh, V. P. ; Hydrologic Systems, II: Watershed Modelling; 1988

World Meteorological Organization; Estimation of Maximum Floods; 1969

World Meteorological Organizations; Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation; 1983

SKÝRINGAR:

ÁÆTLAÐ ÚT FRÁ STÖÐVARGILDUM

ÁÆTLAÐ ÚT FRÁ MEÐALÁRSÚRKOMU

SJÁ NÁNAR Í SKÝRSLU V.H.Í. AFTAKARIGNING Á ÍSLANDI II

Mælikvarði 1:1.500.000

10 5 0 10 20 30 40 50 km

VERKFRÆÐISTOFNUN HÁSKÓLA ÍSLANDS
VATNAVERKFRÆÐISTOFA

1M5 - STÖÐVARGILDI [mm]

SÓLARHRINGSÚRKOMA MEÐ 5 ÁRA ENDURKOMUTÍMA

FRUMGERÐ AXEL V. HILMARSSON 1993

ENDURSKOÐAÐ JÚLÍ 1994

VOD-VM KrG
Unnið í Arc/Info, 95.02.06