

Þróun aðferðafræði fyrir mat á tæknilega mögulegu vatnsafla með notkun vatnafræðilíkana í hárra upplausn

Tinna Þórarinsdóttir^a, Sigurður Magnús Garðarsson^b, Philippe Crochet^a, Hrund Ólöf Andradóttir^b

^a Veðurstofa Íslands, Bústaðavegur 7-9, 150 Reykjavík

^b Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóli Íslands, Hjarðarhagi 2-6, 107 Reykjavík.

Fyrirspurnir:

Tinna Þórarinsdóttir
tinna@vedur.is

Greinin barst
26. september 2012.
Samþykkt til birtingar
12. júní 2013.

ÁGRIP

Rafmagnsframleiðsla Íslendinga kemur að stórum hluta frá vatnsorku. Nú eru liðin rúm 30 ár frá því að síðast var lagt mat á vatnsafl landsins og á þeim tíma hafa orðið tæknilegar framfarir sem kalla á endurnýjun þessa mats. Markmið þessarar greinar er að lýsa þróun á aðferðafræði sem nota má við útreikninga og kortlagningu tæknilega mögulegs vatnsafls þar sem þróuð hafa verið vatnafræðileg líkön í hárra upplausn, eins og er tilfellið á Íslandi. Dagleg meðalgildi rennslis fengust á reglulegu reiknineti með 1 km upplausn með hjálp vatnafræðilíkansins WasiM. Rennsli í farvegum var reiknað skv. rastagögnum úr ArcGIS gagnagrunni Veðurstofu Íslands um yfirborðshalla og samsöfnun rennslis. Úrkomugögn voru einnig notuð sem ígildi rennslis til þess að greina áhrif þess að nota margþætt vatnafræðilíkan fram yfir óbreytt úrkomugögn. Bæði var gert ráð fyrir miðluðu og ómiðluðu rennslis með því að nota mismunandi hlutfallsmörk á langæislinu sem rennslismat. Mat á mögulegu vatnsafla fór fram fyrir hvern reit sem staðsettur er í rennslisfarvegi innan reikninetts með 25 m upplausn. Tæknilega mögulegt vatnsafl er heildarvatnsafl miðað við fullkomna nýtni, án þess að gert sé ráð fyrir neinum takmörkunum, svo sem vegna náttúruverndar eða annarrar landnýtingar. Í þessari grein eru niðurstöður mats á mögulegu vatnsafla á vatnasviði Dynjanda á Vestfjörðum kynntar.

Lýkilord: Vatnsafl, vatnafræðilíkon, tæknilega mögulegt vatnsafl, vatnasvið

ABSTRACT

A large portion of the total electricity production in Iceland originates from hydropower. The last estimation of the hydropower potential was conducted thirty years ago, in 1981. Since then, there have been major technical developments that call for a renewal of estimation of hydropower potential. The aim of this paper is to describe the development of a methodology that can be used for calculating and mapping technical hydropower potential where high resolution hydrological models are available, as is the case for Iceland. Average daily discharge was provided on a gridded form with 1 km² resolution by the hydrological model WaSiM. The discharge was routed along the river channel using information about slope and flow accumulation from the ArcGIS database at the Icelandic Meteorological Office. Gridded precipitation data was also routed and used as a proxy for runoff in order to study the benefit in using an advanced hydrological model rather than a crude estimate of the water input onto the catchment. Both regulated and unregulated discharge was accounted for in the methodology by using different quintiles of a flow duration curve (FDC) derived from estimated discharge. The potential hydropower was estimated for each grid cell along the river network with a resolution of 25 m. The technical hydropower potential represents all potential hydropower with full efficiency and without assuming any limitations, such as environmental protection or other land use. Results of hydropower potential estimated for the catchment of Dynjandi River in Iceland are presented.

Keywords: Hydropower, hydrological models, technical hydropower potential, catchment

Inngangur

Vatnsaflíð er ein mikilvægasta orkulind Íslands, það stendur undir u.þ.b. 73% af heildar raforkuframleiðslu landsins (Haukur Eggertsson, Ívar Þorsteinsson, Jónas Ketilsson & Ágústa Loftsdóttir, 2010). Nýtanlegt vatnsafl er margfeldi af fallhæð og rennsli í gegnum hverfil ásamt stuðlum sem taka tillit til nýtni kerfisins og þyngdarhröðunar,

$$P = \eta \gamma Q H \quad (1)$$

þar sem P er vatnsaflíð, h er nýtni, g er eðlisþyngd, Q er rennsli í gegnum hverfilinn og H er heildar fallhæð.

Við mat á vatnsafla er því nauðsynlegt að afla upplýsinga varðandi fallhæð annars vegar og rennsli hins vegar. Rannsóknir á möguleikum vatnsafls krefjast enn fremur greiningar á þeim þáttum í umhverfinu sem hafa áhrif á fallhæð og rennsli. Landfræðileg upplýsingakerfi (LUK) ásamt fjarkönnun hafa á síðustu árum þróast sem helstu hjálpartæki við myndun þekkingargrunns fyrir mat og stjórnun ýmissa umhverfisþátta og eru saman notuð víða við kortlagningu á mögulegu vatnsafla. Fallhæð má mæla beint eða nota til þess sjálfvirkar aðferðir með stafrænu hæðarlíkani. Rennsli er hins vegar háð samþættingu mismunandi ferla í náttúrunni á hverju vatnasviði fyrir sig. Helstu áhrifaþættir rennslis eru úrkoma, snjó- og ísbráðnun, grunnvatns-

straumar, uppgufun og útgufun og getur því reynst erfitt að meta rennslisþáttinn. Þessa áhrifaþætti þarf að greina og meta. Rennslismælingar fara oftast fram á einum eða fleiri stöðum innan vatnasviða. Rennslismat er þó nauðsynlegt ef krafist er rennslisupplýsinga eftir endilöngum farvegum tiltekins vatnasviðs, eða ef rennslismælingar eru ekki nægjanlegar eða jafnvel ekki til staðar. Í þessum tilfellum er notað vatnafræðilíkan til að herma vatnsbúskap vatnasviðsins. Gerð líkansins er háð þarfagreiningu hvers verkefnis.

Með aukinni áherslu á endurnýjanlega orku á síðustu árum hafa fjölmargar rannsóknir farið fram varðandi mat á vatnsaflsauðlindum um allan heim. Kanadísk rannsókn um kortlagningu vatnsaflsauðlinda í New Brunswick byggir á notkun tölvugerðs farvegakerfis sem kallað er „synthetic hydro network“ ásamt árlegu meðal- og grunnrennsli (Cyr, Landry & Gagnon, 2011). Meðalrennsli er notað við mat á hefðbundnu vatnsafla með miðluðu rennsli en grunnrennslið við mat fyrir rennslisvirkjanir. Bandarísk rannsókn frá árinu 2004 miðaði að mati á vatnsafla með áherslu á lága fallhæð og þar með lægri orkumöguleika en stærstu virkjanirnar bjóða upp á (Hall, o.fl., 2004). Þannig var mögulegt vatnsafl metið fyrir hvern hluta vatnsfalls sem var af meðallengd tvær mílur, eða um 3.219 m. Árlegt meðalrennsli var metið með aðhvarfsgreiningu sem þróuð var fyrir hvert svæði og fallhæð reiknuð með notkun stafræns hæðarlíkans. Eins hefur farið

fram rannsókn í Noregi þar sem metnir eru möguleikar minni vatnsaflsvirkjana (Voksø, o.fl., 2004). Rennlið var metið með afrennsliskorti og fallhæð reiknuð út frá hæðarlíkani með því að fíkra sig eftir farvegakerfinu og framkvæma útreikninga á fallhæð með 50 m millibili. Afrennsliskortið var unnið úr Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV) vatnafarslíkaninu (Bergström, 1976). Líkanið var notað í 1 km² upplausn til þess að meta mánaðarlegt afrennslisli sem síðan var notað til að reikna meðalársafrennslisli fyrir útreikninga á vatnsafl. Allar fyrrnefndar rannsóknir hafa það sameiginlegt að þær miða að því að kortleggja mögulegt vatnsafl en leysa verkefnið á mismunandi hátt, háð þarfagreiningu og tiltækum gögnum á hverjum stað fyrir sig.

Vatnsaflsauðlindin hefur nokkrum sinnum verið metin hérlendis. Jón Þorláksson mat hana fyrstur árið 1920 með því að meta vatnsafl- ið í úrkomunni og giska á hversu stór hluti þess væri nýtanlegur. Niðurstaða þess mats var að nýtanleg vatnsorka væri 26 TWh/ári (Haukur Tómasson, 1981). Sigurður Thoroddsen lagði mat á vatnsafl landsins árið 1962. Hann gerði ráð fyrir ákveðnum virkjanakostum, mat orkuvinnslugetu þeirra og lagði saman til þess að fá heildarmat á vatnsafl, samtals 35 TWh/ári. Árið 1981 kynnti Haukur Tómasson (1981) niðurstöður sínar við mat á vatnsafl landsins. Matið byggðist á skiptingu landsins í reiti með möskvastærð 10-12 km. Meðalhæð reitanna var þekkt út frá mælingum á þyngdarsviði landsins en afrennslisli þeirra var áætlað annars vegar út frá því hvar úrkomun félli og hins vegar hvar vatnið kæmi fram sem yfirborðsrennslis. Afrennslis- og landhæðarupplýsingar reitanna voru svo notaðar til þess að meta vatnsafl í sniðpunktum fyrir hverja 5 km eftir farvegakerfi sem unnið var upp úr kortum í mælikvarða 1:250000 (Kristinn Einarsson, 1999). Niðurstöður gáfu 64 TWh/ári og þar af 33 TWh/ári sem féllu undir hagkvæma vatnsorku með meira en 150 GWh/ári í sérhverjum sniðpunkti (Haukur Tómasson, 1981).

Á þeim 30 árum sem liðin eru frá síðasta mati hafa orðið fjölbættar framfarir hvað varðar gæði gagna og þróun gagnagrunna með landfræðilegum upplýsingakerfum (LUK) og vatna- og straumfræðilegum rannsóknum. Þessar framfarir kalla á endurnýjun á vatnsaflsmati landsins, enda má ætla að betri tækni og aukin þekking skili nákvæmari niðurstöðum mats á vatnsafl. Enn fremur er rétt að undirstrika nauðsyn þess að fyrir liggja nákvæmar upplýsingar um heildarmat og kortlagningu á vatnsafl landsins í allri umræðu og ákvarðanatöku um verndar- og nýtingaráætlanir. Rannsókn þessari er ætlað að lýsa þróun á aðferðafræði sem má nota við endurnýjun á vatnsaflsmati landsins skv. bestu fánlegu opinberu gögnum hérlendis. Aðferðafræðina má nota við bæði útreikninga og kortlagningu tæknilega mögulegs vatnsafl á Íslandi. Hér verður aðferðafræðin rakin í stórum dráttum og gerð grein fyrir notkun rennslisgagna og upplýsingum um fallhæð. Kynntar eru niðurstöður mats á tæknilega mögulegu vatnsafl á vatnasviði Dynjanda á Vestfjörðum og mat lagt á helstu kosti og galla aðferðafræðinnar.

Aðferðafræði

Við útreikning á vatnsafl þarf að meta eða reikna bæði fallhæð og rennslisli. Til að reikna fallhæð voru notuð rastagögn úr ArcGIS gagnagrunni Veðurstofu Íslands (VÍ). Afrennslisli var metið annars vegar með aðstoð vatnafræðilíkansins WaSiM (Schulla & Jasper, 2007) og hins vegar með úrkomugögnum einum og sér með því markmiði að greina áhrif þess að nota margþætt vatnafræðilíkan fram yfir óbreytt úrkomugögn. Reitaskiptum afrennslisgögnum var veitt í farvegi með notkun gagna um yfirborðshalla og samsöfnun rennslis (e. flow accumulation) til þess að fá rennslismat eftir endilöngum farvegum vatnasviðs en ekki einungis við rennslismæli. Gert var ráð fyrir bæði miðluðu og ómiðluðu rennslisli með því að nota mismunandi hlutfallsmörk á langæislinu (e. flow duration curve) sem rennslismat. Þetta var gert með því markmiði

að aðferðafræðin gæti gefið upplýsingar miðað við rennslisvirkjanir jafnt sem virkjanir með miðlunarlóni. Tæknilega mögulegt vatnsafl var reiknað fyrir hvern reit sem staðsettur er í rennslisfarvegi innan reikninetts með 25 m upplausn. Aðferðafræðin var prófuð á þremur vatnasviðum af ólíkri stærð, staðsetningu og vatnafarslegum eiginleikum og með nýlega uppfærð afrennsliskort. Í þessari grein verða niðurstöður vegna mats á mögulegu vatnsafl á vatnasviði Dynjanda kynntar. Vinna má sambærileg gögn fyrir landið allt varðandi fallhæð en sambærileg rennslisgögn eru ekki tiltæk nema fyrir viss vatnasvið eins og er. Segja má að Vatnagrunnur VÍ annars vegar og afrennsliskortin hins vegar séu forsenda fyrir aðferðafræðinni sem þróuð er. Frekari niðurstöður má nálgast í MS ritgerð Tinnu Þórarinsdóttur (2012).

Reiknuð fallhæð

Fallhæð var reiknuð samkvæmt rastagögnum úr ArcGIS gagnagrunni VÍ. Notuð voru gögn úr Vatnagrunni VÍ til þess að kortleggja farvegi með 25 m upplausn og fallhæð reiknuð eftir endilöngum farvegum. Vatnagrunnurinn geymir m.a. vatnafarsleg kortagögn fyrir landið allt sem eru reikjanleg frá upptökum vatnsfalla til árósa, s.s. staðsetningu árfarvega, samsöfnun rennslis og rennslisstefnu út frá landhæð (Bogi B. Björnsson & Esther H. Jensen, 2010). Upplýsingar um samsöfnun rennslis voru notaðar til þess að fíkra sig frá upptökum vatnasviðs til árósa og hæðarmismunur tveggja samliggjandi reita skráður samkvæmt hæðarlíkani. Til þess að fullnýta mögulega upplausn var lágmarksfallhæð valin 1 m. Á mynd 1 má sjá alla þá staði eftir farvegum Dynjanda sem hafa 1 m fallhæð eða meira.

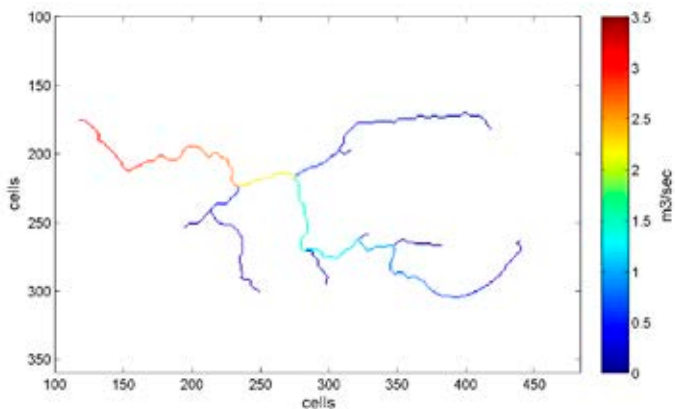


Mynd 1: Fallhæð eftir farvegum Dynjanda á Vestfjörðum.

Metið rennslisli

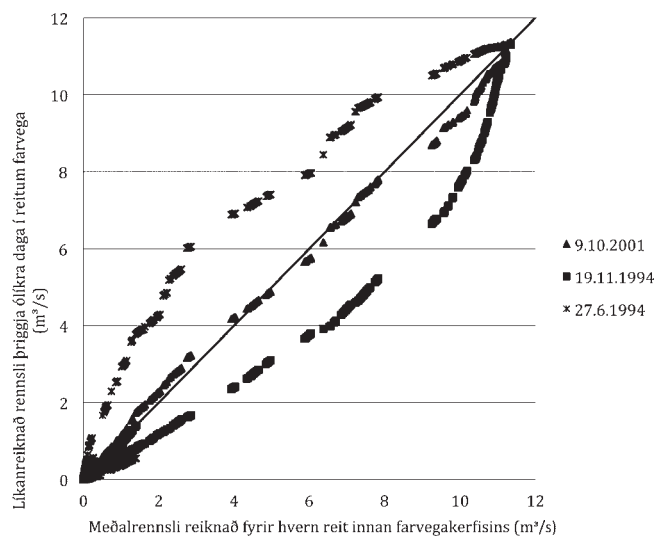
Afrennslisli var metið með aðstoð vatnafræðilíkansins WaSiM-ETH sem líkir eftir daglegum meðalgildum afrennslis á reglulegu reiknineti (Schulla & Jasper, 2007). WaSiM líkanið er svissneskt reitaskipt vatnafræðilíkan sem notað hefur verið síðustu ár á VÍ (Jónsdóttir, 2007) við gerð afrennsliskorta með 1 km upplausn. Líkanið tekur inn ýmis gögn, s.s. jarðvegsgögn, landhæð, veðurgögn, gróðurfarsgögn, lekt o.s.frv. og er kvarðað út frá mældum rennslisröðum. Ýmsar framfarir hafa orðið varðandi notkun WaSiM líkansins hérlendis síðustu ár, m.a. má nefna hálf sjálfvirka kvörðun líkansins (Crochet, 2012; Auður Atladóttir, Philippe Crochet, Sveinbjörn Jónsson & Hilmar B. Hróðmarsson, 2011) og hærri upplausn bæði úrkomu- (Crochet, o.fl., 2007) og hitastigsgagna (Crochet & Jóhannesson, 2011). Notuð var rennslisröð sem spannar 10 ár frá 1992 til 2001. Þetta tímabil var valið með því markmiði að nota nýleg gögn og nægjanlega langt tímabil til þess að gefa áreiðanlega rennslisröð en þó án þess að valda töfum á vinnslu verk-

efnisins. Við kortlagningu rennslis innan vatnasviða voru vatnafarsgögnin úr WaSiM samtvinnuð með upplýsingum úr Vatnagrunni VÍ, en þessi gögn hafa ekki verið samnýtt áður hérlendis. Ástæðan var sú að WaSiM líkanið gefur afrennslis á hverjum skilgreindum reit en gefur ekki upplýsingar um samsöfnun rennslis frá upptökum til árósa og því nauðsynlegt að fá þær upplýsingar úr Vatnagrunninum. Vatnagrunnurinn byggir á 25x25 m² myndeiningum og því voru afrennslisgögnin endurskilgreind fyrir sömu reitastærð. Vatnagrunnurinn geymir m.a. upplýsingar um rennslisstefnu hverrar myndeiningar, skilgreint út frá hæð og afleiddum halla nærliggjandi myndeininga. Með þessum upplýsingum má veita daglegum meðalgildum afrennslis niður eftir farvegum hvers vatnasviðs. Þá er gert ráð fyrir að taftími (e. *time of concentration*) innan vatnasviðsins sé 24 klst eða minna. Með þessari aðferð má meta rennslis vatnasviðs allt frá upptökum til árósa. Mynd 2 sýnir dreifingu meðalrennslis í farvegum innan vatnasviðs Dynjanda.



Mynd 2: Meðalrennslis í farvegum Dynjanda á Vestfjörðum.

Gert var ráð fyrir bæði miðluðu og ómiðluðu rennslis með því að nota mismunandi hlutfallsmörk á langæislínu sem rennslismat en langæislínan segir til um líkur þess að fá rennslis umfram tilgreint gildi. Efri hluti langæislínunnar sem nær yfir 50-100% langæi má skilgreina sem lágrennslislutann (Smakhtin, 2001). Sá hluti er því notaður við mat á vatnsorku fyrir rennslisvirkjun (ómiðlað rennslis), en neðri hluti langæislínunnar (ca. 30-50%) fyrir virkjun með miðlunarlóni. Langæislína er reiknuð fyrir hvern einasta reit innan farvegakerfisins í stað þess að miða rennslis innan vatnasviðsins við langæislínu við ós vatnasviðs. Á mynd 3 er rennslis í hverjum reit miðað út frá meðalrennslis við ós vatnasviðs borð saman við reiknað meðalrennslis hvers reits.



Mynd 3: Rennslis í hverjum reit miðað út frá meðalrennslis við ós vatnasviðs borð saman við reiknað meðalrennslis hvers reits.

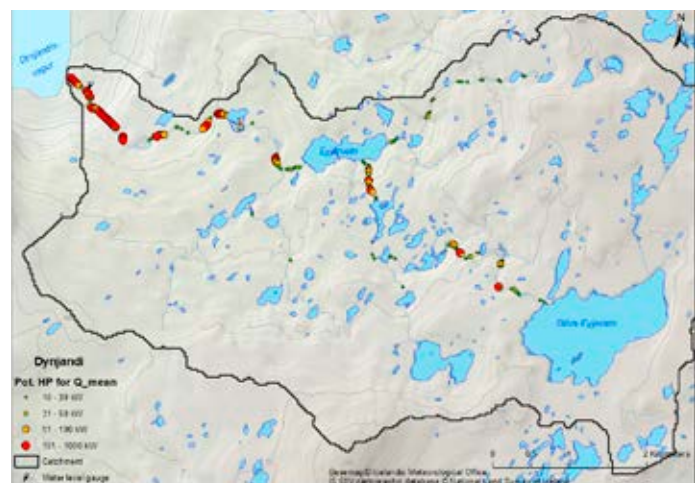
daga, þegar rennslis við ós er um 11 m³/s sem samsvarar meðalrennslis við ós viðkomandi vatnsfalls, plottað á móti reiknuðu meðalrennslis fyrir hvern reit innan farvegarins. Með þessu móti má sýna hvernig þrjú ólíkir dagar geta gefið sama heildarrennslis við ós þrátt fyrir að rennslis innan farvegakerfisins sé ólíkt. Þetta má rekja til þess að ólíkir þættir geta orsakað sama rennslis, s.s. rigning, snjóbráðnun o.s.frv. Það má því færa rök fyrir því að eðlilegra sé að meta rennslis og langæislínu fyrir hvern reit eftir endilöngum farvegum vatnasviðsins heldur en að miða rennslis allt út frá einum og sama staðnum.

Við mat á rennslis var einnig prófað að notast við úrkomugögn ein og sér sem ígildi rennslis. Ljóst er að notkun óbreyttra úrkomugagna sem ígildi rennslis er takmörkunum háð en þó er ástæða til þess að greina áhrif þess að nota margþætt vatnafræðilíkan fram yfir óbreytt úrkomugögn, enda nýleg kvörðun vatnafræðilíkans ekki til staðar á öllum vatnasviðum landsins enn sem komið er. Sömu aðferðafræði var beitt á úrkomugögnin og notuð var fyrir afrennslisgögn úr WaSiM, rennslisstefnur úr Vatnagrunninum voru notaðar til að veita vatninu í farvegi og langæislínur reiknaðar fyrir hvern reit eftir farvegakerfinu. Nánari upplýsingar um WaSiM líkanið, aðlögun þess og rakningu rennslis í farvegi má finna í M.S.-verkefni Tinnu Þórarinsdóttur (2012).

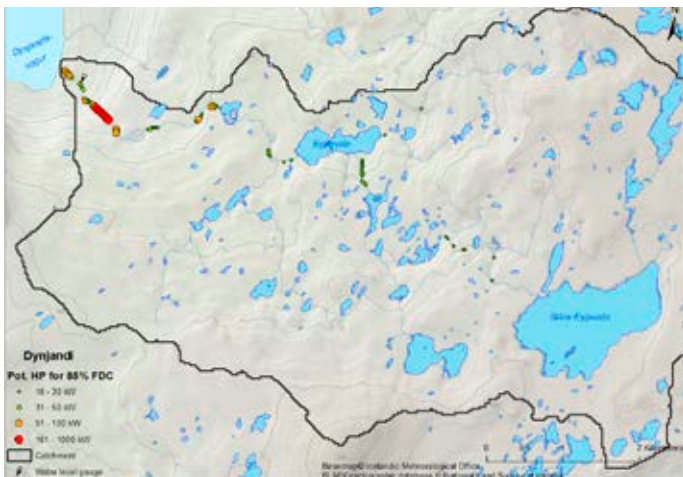
Niðurstöður og umræða

Vatnsafl var reiknað skv. jöfnu (1) með u.þ.b. 25 m millibili eftir endilöngum farvegum vatnasviðs Dynjanda á Vestfjörðum. Tæknilega mögulegt vatnsafl fæst í hverjum punkti sem hefur lágmarksfallhæð 1 m eða meira. Vatnsafl var reiknað með meðalrennslis og sex mismunandi hlutfallsmörkum langæis og þannig sýndir möguleikar miðlaðs og ómiðlaðs rennslis.

Niðurstöður eru birtar sem tæknilega mögulegt heildar vatnsafl sem og á kortum sem sýna tæknilega mögulegt vatnsafl eftir árfarvegum. Á myndum 4 og 5 má sjá kortlagðar niðurstöður fyrir vatnasvið Dynjanda bæði fyrir lágrennslis (hér 85% langæi) og fyrir meðalrennslis. Eins og búast má við sýna niðurstöðurnar mun fleiri staði með tæknilega mögulegt vatnsafl sé miðað við meðalrennslis heldur en lágrennslis. Niðurstöður mögulegs heildarafls vatnasviðsins má sjá í töflu 1, þar sem heildarafl fyrir meðalrennslis er 13,5 MW og tæp 4 MW miðað við tiltekið lágrennslis. Niðurstöður fyrir heildarafl eru einnig gefnar að frádregnum þeim reitum sem gefa minna en 10 kW og minna en 30 kW. Ólíklegt má telja að hagkvæmt sé að nýta vatnsafl af svo lítilli stærðargráðu, einkum innan við 10 kW, og því gagnlegt að skoða hve stór hluti heildaraflsins fellur undir þann flokk.



Mynd 4: Tæknilega mögulegt vatnsafl á vatnasviði Dynjanda, sé miðað við meðalrennslis eftir öllum farvegum.

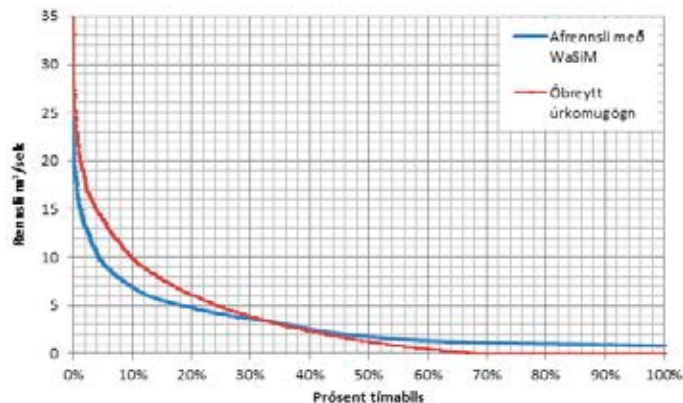


Mynd 5: Tæknilega mögulegt vatnsafl á vatnasviði Dynjanda, sé miðað við 85% á langæislinu (lágrennsli).

Tafla 1: Niðurstöður heildarafls á vatnasviði Dynjanda, sé miðað við meðalrennsli eða 85% langæi.

	Allir reitir	< 10 kW frádregið	< 30 kW frádregið
Heildarafl [kW] fyrir meðalrennsli	13.575	12.958	11.094
Heildarafl [kW] fyrir 85% langæi	3.991	3.234	2.526

Eins og búast mátti við reyndist erfitt að nýta hrein úrkomugögn í stað afrennslisgagna frá WaSiM. Á mynd 6 má sjá langæislinu við ós Dynjanda, annars vegar reiknaða með óbreyttum úrkomugögnum og hins vegar með afrennslisgögnum frá WaSiM. Niðurstöður sýna að úrkomugögnin gefa of hátt hárennsli og of lágt lágrennsli, eða í raun ekkert rennsli þann tíma sem engin úrkoma verður. Með þessu einfalda afrennslismati er ekki gerður greinarmunur á milli rigningar og snjókomu líkt og gert er innan WaSiM líkansins. Snjógeymsla og snjóbráðnun sem og aðrir þættir sem margþætt vatnafræðilíkon taka tillit til, skýra því mismun á milli afrennslis með WaSiM og með óbreyttum úrkomugögnum. Eins er ekki gert ráð fyrir grunnrennsli með því að nota einungis úrkomugögn og því ljóst að grunnvatnsrík vatnasvið krefjast flóknari aðgerða. Notkun úrkomugagna eingöngu dugur því ekki á tilteknu vatnasviði þar sem vatnafræðilíkan er ekki til staðar, sérstaklega ef skoða á há- og lágrennsli fyrir mat á vatnsafl. Það er þó mögulegt að endurbæta megi afrennslismatið með því að meta það ekki einungis út frá úrkomu heldur einnig með hitastigsgögnum



Mynd 6: Langæislinur við ós Dynjanda, reiknað með afrennsli frá WaSiM og með óbreyttum úrkomugögnum.

(Crochet, 2013). Þessháttar niðurstöður gætu nýst til bráðabirgða þar til WaSiM líkanið hefur verið endurkvarðað fyrir öll vatnasvið skv. fyrrnefndum framförum varðandi notkun líkansins.

Sú aðferðafræði sem notuð er kortleggur tæknilega mögulegt vatnsafl allra árfarvega innan reikninets með 25 m upplausn og leggur svo saman til þess að fá heildarvatnsafl vatnasviðsins. Það er mikilvægt að geta þess að sé gert ráð fyrir miðluðu rennsli með uppistöðulóni þá breytist bæði langæislinan neðar í ánni og fallhæðin eykst vegna lónsins. Þetta er ekki tekið með í reikninginn í ofangreindri aðferðafræði en má auðveldlega bæta við ef mögulegar útfærslur liggja fyrir. Þess ber einnig að geta að hér er um að ræða tæknilega mögulegt vatnsafl þar sem gert er ráð fyrir fullkominni nýtni ($\eta=1$) og engum árekstrum vegna ólíkrar landnýtingar og umhverfisverndar. Ekki er lagt mat á hagkvæmni miðlunarlóna, staðsetningar þeirra eða á virkjunarkosti að neinu leyti. Þá er ljóst að 24 klst taftími innan vatnasviða getur valdið skekkju í rennslismati þegar kemur að stærri vatnasviðum. Þess má þó geta að verið er að þróa áfram þá aðferðafræði sem lýst er hér með því markmiði að komast hjá því að veita vatninu í farvegi eftir landhæð. Þessi þróun kæmi sér ekki einungis vel á stærri vatnasviðum þar sem taftími getur verið lengri en 24 klst, heldur einnig á grunnvatnsríkum vatnasviðum þar sem yfirborðs landhæð er ekki endilega ráðandi um rennslisstefnu.

Hvað varðar enn frekari vinnu við mat og kortlagningu vatnsafls, þá væri nauðsynlegt að nota lengri rennslisráðir til þess að fá bestu mögulegu heildarmynd af rennslinu. Ennfremur væri e.t.v. eðlilegt að hækka lágmarksfallhæð og takmarka þannig óvissu hæðargagna og jafnframt að skoða útreikninga á fallhæð og þar með vatnsafl með lengra millibili eftir farvegakerfinu.

Aðferðafræðin er sambærileg þeirri sem notuð hefur verið í Noregi (Voksø, o.fl., 2004) þar sem metnir eru möguleikar minni vatnsaflsvirkjana, enda aðstæður um margt líkar í þessum löndum. Aðferðafræðin sem notuð hefur verið í Noregi nýtir þó grófara rennslismat þar sem meðalársafrennsli er notað fyrir útreikninga á vatnsafl en ekki mismunandi hlutfallsmörk langæislinu líkt og hér er gert. Erfitt er að bera niðurstöður rannsóknarinnar við fyrra mat á vatnsafl hlendis þar sem aðferðafræðin hefur einungis verið prófuð á þremur vatnasviðum enn sem komið er og skoðað er tæknilega mögulegt vatnsafl en ekki nýtanlegt líkt og í fyrra mati (Haukur Tómasson, 1981). Frekari umfjöllun um samanburð er að finna í MS ritgerð Tinnu Þórarinsdóttur (2012). Þó er ljóst að sú aðferðafræði sem beitt er nú nýtist betur en áður fyrir bændur og aðra landeigendur þar sem aðferðafræðin byggir á notkun gagna í hærri upplausn en í fyrra mati og gefur því mun nákvæmari mynd af möguleikum smávirkjana en áður. Ávinningur aðferðafræðinnar felst því ekki síst í kortlagningu og framsetningu á dreifingu tæknilega mögulegs vatnsafls innan vatnasviða. Kortlagning sem þessi gefur ennfremur möguleika á því að samtvinna ólíkar upplýsingar í gagnagrunnum svo auðvelt reynist t.d. að útiloka verndarsvæði við mat á mögulegu vatnsafl og eykur þannig möguleika á heildstæðu mati vatnsauðlindarinnar fyrir landið allt. Samsvarandi greiningar og lýst er hér að ofan voru gerðar fyrir vatnasvið Sandár í Þistilfirði og Austari-Jökulsár í Skagafirði. Þær niðurstöður má sjá í MS ritgerð Tinnu Þórarinsdóttur (2012). Unnið er að frekari þróun og vinnslu aðferðafræðinnar sem nýst getur fyrir landið allt á VÍ í samvinnu við Orkustofnun. Vatnagrunnur VÍ er tiltækur fyrir landið í heild og unnið er að endurkverðun WaSiM líkansins fyrir öll mæld vatnasvið. Einnig er verið að þróa aðferðafræði við mat á afrennsli ómældra vatnasviða.

Samantekt

Sett hefur verið fram aðferðafræði til mats á tæknilega mögulegu vatnsafl á Íslandi. Aðferðafræðinni var beitt á vatnasvið Dynjanda á Vestfjörðum. Niðurstöður sýna að mögulegt er að kortleggja tæknilega

mögulegt vatnsafl á reiknineti með 25 m upplausn. Niðurstöður sýna einnig að notkun úrkomugagna sem ígildi rennslis koma ekki í stað margþætts vatnafræðilíkans líkt og WaSiM. Ennfremur kom í ljós að nauðsynlegt er að reikna langæisliðu fyrir hvern reit innan farvega-kerfisins í stað þess að miða rennslí innan vatnasviðsins við langæisliðu við ós vatnasviðs. Aðferðafræði verkefnisins má nota á hverju vatnasviði landsins, eða á öll þau sem vatnafræðilíkani hefur verið beitt á. Ávinningur aðferðafræðinnar felst einna helst í kortlagningu tæknilega mögulegs vatnsafls í mun hærri upplausn en í fyrri rannsóknum hér-landis. Niðurstöðurnar geta nýst orkufyrirtækjum við skipulagningu stærri virkjana (>1000 kW) sem og fyrir bændur og aðra landeigendur við kortlagningu staða með möguleikum á smávirkjunum (<100 kW) og heimarafstöðvum (<30 kW). Niðurstöðurnar má flytja í Vatna-grunn VÍ og nota til frekari úrvinnslu og við mat á nýtanlegu vatnsaflí.

Heimildir

- Auður Atladóttir, Philippe Crochet, Sveinbjörn Jónsson & Hilmar B. Hróð-marsson. (2011). *Mat á flóðagreiningu með rennslisröðum reiknuðum með vatnafræðilíkaninu WaSiM. Frumniðurstöður fyrir vatnasvið á sunnanverðum Vestfjörðum*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Bergström, S. (1976). *Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments*. Norrköping: SMHI.
- Bogi B. Björnsson & Esther H. Jensen. (2010). *Vatnagrunnur Veðurstofu Íslands*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Crochet, P., Jóhannesson, T., Jónsson, T., Sigurðsson, O., Björnsson, H., Pálsson, F., Barstad, I. (2007). Estimating the spatial Distribution of Precipitation in Iceland Using a Linear Model of Orographic Precipitation. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 1285-1306.
- Crochet, P. & Jóhannesson, T. (2011). *A data set of gridded daily temperature in Iceland for the period 1949-2010*. Jökull, 61.
- Crochet, P. (2012). *A semi-automatic multi-objective calibration of the WaSiM hydrological model*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Crochet, P. (2013 (í prentun)). *Sensitivity of Icelandic river basins to recent climate variations*. Jökull, 63.
- Cyr, J.-F., Landry, M. & Gagnon, Y. (2011). *Methodology for the large-scale assessment of small hydroelectric potential: Application to the Province of New Brunswick (Canada)*. *Renewable Energy*, 2940-2950.
- Hall, D. G., Cherry, S. J., Reeves, K. S., Lee, R. D., Carroll, G. R., Sommers, G. L., Verdin, K. L. (2004). *Water energy Resources of the United States with Emphasis on Low Head/Low Power Resources*. Idaho National Engineer-

ing and Environmental Laboratory, Prepared for the US Department of Energy.

Haukur Eggertsson, Ívar Þorsteinsson., Jónas Ketilsson og Ágústa Loftsdóttir. (2010). *Energy Statistics in Iceland 2010*. Sótt 11. janúar 2011 af http://www.os.is/gogn/os-onnur-rit/orkutolur_2010-enska.pdf

Haukur Tómasson. (1981). *Vatnsafl Íslands - Mat á stærð orkulindar*. Orkustofnun, Vatnsorkudeild.

Jónsdóttir, J. F. (2008). A runoff map based on numerically simulated precipitation and a projection of future runoff in Iceland. *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), 100-111.

Kristinn Einarsson. (1999). *Verklýsingar fyrir nýtt mat á vatnsaflí Íslands*. Orkustofnun, Vatnamælingar.

Schulla, J. & Jasper, K. (2007, November). *Model Description WaSiM-ETH*. Sótt 15. júlí, 2011, frá WaSiM-ETH: http://www.wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim_2007_en.pdf

Smakhtin, V. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240(3-4), 147-186.

Tinna Þórarinsdóttir. (2012). *Development of a methodology for estimation of Technical Hydropower potential in Iceland using high resolution Hydrological Modeling*. MS ritgerð við Umhverfis- og byggingarverkfræðideild Háskóla Íslands.

Voksø, A., Stensby, H., Møllmann, K., Tovås, C., Skau, S. & Kavli, O. (2004) *Beregning av potensial for små kraftverk i Norge*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Þakkir

Þetta verkefni var styrkt af Veðurstofu Íslands og af Orkustofnun. Höfundar eru þakklátir starfsmönnum beggja stofnana fyrir að deila þekkingu sinni og reynslu.

VERKHÖNNUN
VERKFRÆÐIRÁÐGJÖF
AKRALIND 6, 203 KÓPAVOGI. Sími: 570-5800
WWW.VERKHÖNNUN.IS, VERKHÖNNUN@VERKHÖNNUN.IS

samskip

 **HS ORKA HF**

 **BLIKKSMIÐURINN**
ÞEKING - FÆRNI - ÞJÓNUSTA