

# Hringrás vatns á jörðinni

Ragnar Heiðar Þrastarson

Vatnsameindin er sennilega eitt mikilvægasta efni jarðarinnar. Enda hefur hún oft verið nefnd „lífssameindin“. Vatn þjónar fyrst og fremst hlutverki miðils í náttúrunni, miðils milli lífvera og umhverfis þeirra. Eiginleikar efnisins eru einstakir og gera jörðina á margan hátt byggilega. Á jörðinni eru um 1400 milljón km<sup>3</sup> af vatni í þremur megin geymum, í sjó, á landi og í andrúmslofti. Jörðin hefur oft verið kölluð blá pláneta því yfirborð hennar er um 70% vatn. Hringrás vatns á jörðinni er ákaflega mikilvæg og hefur mikið verið rannsökuð. Á síðustu áratugum hefur hringrásin jafnvel fengið ennþá meiri athygli vegna áhrifa mannsins á umhverfi sitt og hlýnunar sjávar. Í þessari ritgerð verður farið í uppruna og eiginleika vatns, helstu vatnsgeyma og svo hringrásina sjálfa. Að lokum verður farið stuttlega í þær breytingar sem geta átt sér stað á hringrásinni.

## Uppruni vatns

Allt það vatn sem finna má á jörðinni í dag er talið eiga sér tvo aðgreinda uppruna. Vísindamenn deila ennþá um þessar kenningar og þær deilur verð ekki leystar með þessum skrifum. Þess í stað verða báðar þessar kenningar reifaðar og ef til vill má útskýra uppruna vatns á jörðinni með þeim báðum.

Sú fyrri gerir ráð fyrir að vatnið hafi komist á yfirborð jarðar með gosgufum úr eldgosum. Venjuleg hraunkvika getur innihaldið talsvert vatn, en gosgufur eldgosa geta líka verið vatn að stórum hluta. Sem dæmi má nefna að í Skaftáreldum árið 1783 komu upp um 15 km<sup>3</sup> af kviku. Ætla má að um 200 tonn af vatni hafi losnað í þessum eldsumbrotum. Þetta er ekki mikið magn ef tekið er tillit til þess mangs vatns sem er á jörðinni, en gefur einhverja hugmynd um það magns sem hefur

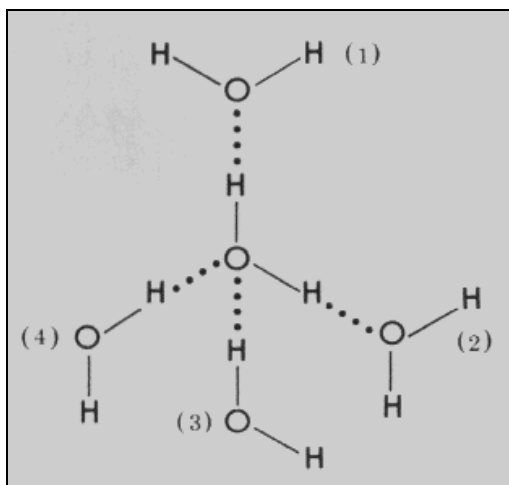
losnað í þá miljarða ára sem jörðin hefur verið til.

Seinni kenningin gerir ráð fyrir því að vatn hafi borist til jarðar með halastjörnum. Flestar halastjörnur eiga uppruna sinn í Oort skýinu og í Kuipar beltinu sem er rétt fyrir utan sporbaug Neptúnusar. Loftseinar geta flutt mikið af ís með sér auk koldíoxíðs og metans. Fyrir um 4,5-4 miljörðum ára varð jörðin fyrir tíðum árekstrum loftseina. Þyngdarafli jarðarinnar var á þeim tíma nægilega mikið til þess að halda einhverju af því vatni sem barst með þessum lofsteinum.

## Eiginleikar vatns

Vatn er eitt algengasta og útbreiddasta efni jarðar. Það býr yfir sérstökum eiginleikum sem gera það frábrugðið flestum öðrum eignum heimsins, sérstaklega hvað varðar eðlisfræðilega

eiginleika. Eitt af lykilatriðunum í þessu samhengi er að eðlismassi vatns er mestur við 4°C. Þetta veldur því að ís flýtur á vatni frekar en að setjast á botninn eins og flest önnur efni. Þar að auki þenst vatn út um níu af hundraði við að frjósa og þar af leiðandi fáum við fyrirbæri eins og frostveðrun. Þessi hegðan er ólík hliðstæðum frumefnum sem bindast vetni, eins og brennisteinn [S] og selen [Se], en öll tilheyra þau VI. flokk lotukerfisins. En hver er ástæða fyrir þessum sérstöku eiginleikum? Hún felst fyrst og fremst í vetnistengjum. Þegar vetnisatóm tengist mjög rafeindadrægu atómi (súrefni), getur það myndað nýtt tengi við annað rafeindadrægt atóm sem hefur óbundið rafeindapar. Þetta kallast vetnistengi og er sýnt á mynd 1 þar sem vetnisatóm einnar sameindar tengist súrefnisatómi annarrar.



**Mynd 1.** Vetnistengi milli fjögurra vatnssameinda.

Þegar vatnsgufa þéttist og breyttist í ís taka vetnistengin að myndast. Vatnið nær hámarks eðlismassa við 4°C. Þá eru sameindirnar eins nálægt hvor annarri eins og kostur er. Eftir það fer vatnið að kristallast og mynda ís. Þessi kristalbygging veldur því að vatnið þenst út og eykur rúmmál sitt.

### Helstu vatnsgeymar jarðar

Eins og fram hefur komið eru um 1400 milljón km<sup>3</sup> af vatni á jörðinni. Þessi gríðarlega mikla magni má skipta niður í nokkra geyma (e. reservoirs). Eins og sjá má í töflu 1 þá er langstærstur hluti vatns á jörðinni geymdir í höfunum.

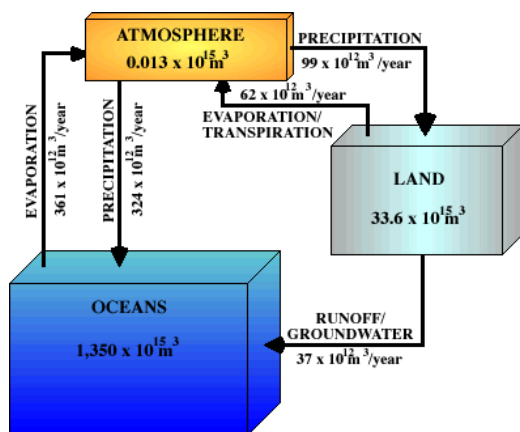
**Tafla 1.** Helstu vatnsgeymar jarðar.

Geymir	Rúmmál (10 <sup>6</sup> km <sup>3</sup> )	Hlutfall (%)
Höf	1348	97,39
Jöklar og ís	27,820	2,01
Grunnvatn	8,062	0,58
Stöðuvötn og ár	0,225	0,02
Andrúmsloft	0,013	0,001
Samtals	1384,120	100
Ferskvatn	36,020	2,6

Heimild: Unnsteinn Stefánsson 1991

Stærsta einstaka hafið er Kyrrahaf með  $181,34 \times 10^6$  km<sup>3</sup>. Þess ber þó að geta að aðeins hluti af öllu vatnsmagni úthafanna er aðgengilegur fyrir hringrá vatns. Eins og sést í töflu 1 er aðeins um 0,001% af vatni jarðarinnar geymt í andrúmsloftinu. Ef tekið er saman það

magn af vatni sem rignir á jörðina er það 30 sinnum það magn sem geymt er í andrúmsloftinu á hverjum tíma. Þetta þýðir að færsla vatns í og úr þessum geymi er mjög hröð, auk þess sem hún hefur mikil áhrif á veðurfar jarðarinnar. Talið er að það magn vatns sem fer í gegnum hringrásina árlega sé um  $577.000 \text{ km}^3$ . Á mynd 2 má sjá einfalda mynd af vatnsgeymum jarðar. Á henni sést einnig færsla vatns milli mismunandi geyma í þúsund miljörðum rúmmetra á ári ( $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$  á ári).



**Mynd 2.** Vatnsgeymar og færslur á milli þeirra (Ath. ekki rétt stærðarhlutföll)  
Heimild: Peixoto og Kettani

Í jöklum og ís er um 2% af öllu vatni jarðarinnar. Um 90% af því magni er geymt á suðurskautinu. Restin er nánast öll í Grænlandsjökli. Jöklar þekja um 10% als lands á jörðinni. Ísmassi jarðar hefur gengið í gegnum miklar breytingar í gegnum jarðsöguna þar sem skipst hafa á hlýskeið og kuldaskið. Ef allur sá

ísmassi sem hylur jörðina í dag yrði bræddur gæti það valdið hækkun á sjávarborði um 60-70 metra.

### Þættir í hringrás vatns

Á mynd 3 má sjá alla helstu ferla í hringrásinni. Hægt er að skipta þessum ferlum í nokkra þætti sem farið verður í hér á eftir:

1. Uppgufun og útgufun
2. Þétting
3. Úrkoma
4. Afrennsli og írennsli
5. Grunnvatns- og yfirborðsrennsli

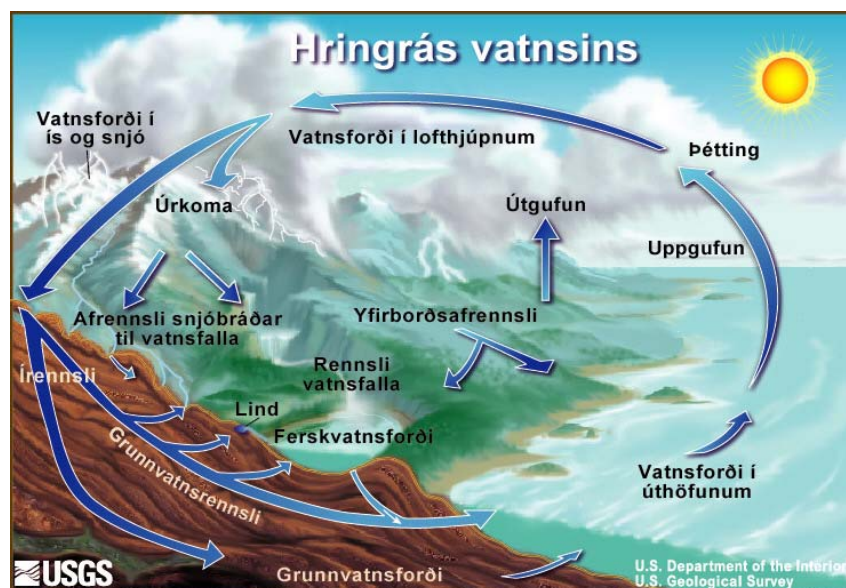
Við hefjum ferðalag vatnsins í höfunum. Í þeim er geymdur nánast allur vatnsforði jarðar. Magn þess vatns sem þar er að finna er þó breytilegt, sérstaklega þegar farið er í gegnum jarðsöguna. Talið er að fyrstu höf jarðar hafi jafnvel gufað nokkrum sinnum upp áður en þau mynduð stöðug höf. Tilvist hafstrauma er líka mikilvægur þáttur í hringrás vatns. Með þeim færast mikið magn vatns og varma langar vegalengdir og hefur mikil áhrif á t.d. veðurfar. Á Íslandi þekkjum við áhrif Golfstraumsins vel og hvernig tilvist hans veldur því að hitastig á landinu er talsvert herra en annarsstaðar á sömu breiddargráðu. Breytingar á staðsetningu meginlanda

hafa haft mikil áhrif á þessa varmaflutninga.

Færsla vatns yfir í andrúmsloftið á sér stað með tveimur ferlum, uppgufun og útgufun (sjá mynd 3). Í þessu þrepi hringrásarinnar breytir vatnið um fasa og fer úr fljótandi formi yfir í gufuform. Sú orka sem þarf til þess að vatn geti gufað upp kemur frá sólinni. Frá sólinni kemur einnig öll sú orka sem þarf til þess að knýja hringrásina. Um 88% af allri upp- og útgufun á sér stað milli 60° norðlægar breiddar og 60° suðlægar breiddar. Þetta endurspeglar dreifingu á orku sólar á jörðinni. 90% af því vatni sem gufar upp í andrúmsloftið kemur úr höfum, ám og vötnum (uppgufun). Restin kemur frá plöntum og beint úr jarðvegi. Það ferli kallast útgufun og er sýnt á mynd 3. Stærri plöntur gefa frá sér meira magni en litlar, t.d. fara um 150.000 lítrar af

vatni í gegnum eitt eikartré á ári. Þurrugufun er einn að þeim ferlum sem fela í sér uppgufun vatns, en þá breytist ís beint yfir í gufu. Þurrugufun á sér stað í mjög litlu mæli samanborið við uppgufun og útgufun. Til þess að þurrugufun geti átt sér stað þurfa að fara saman lágt hitastig, talsverður vindur, sterkt sólarljós og lágur loftþrýstingur. Þessar aðstæður er oft að finna í háum fjallgördum eins og í Himalayafjallgarðinum.

Í andrúmsloftinu er um 13.000 km<sup>3</sup> af vatni. Ef öllu þessu vatni myndi skyndilega rigna jafnt á yfirborð jarðar væri yfirborð þess aðeins 2,5 cm á hæð. Þetta litla dæmi sýnir kannski hversu mikill munur er á úrkomu í heiminum og hversu mikið eða lítið vatn er í andrúmsloftinu. Þetta vatn hefur samt gífurleg áhrif á loftslag jarðarinnar.

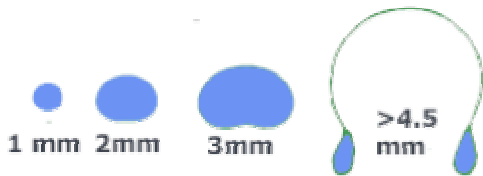


Mynd 3. Helstu ferlar í hringrás vatns

Talið er að vatnssameind sé að meðaltali 10 daga í andrúmsloftinu áður en hún þéttist og fellur sem úrkoma.

Úrkoma á jörðinni dreifist mjög misjafnt landfræðilega. Til að mynda gufar meira upp úr höfunum heldur en rignir aftur og þar af leiðandi rignir meira á landi heldur en gufar upp. Þessi mismunur er vegin upp með grunnvatns- og yfirborðsrennsli af landi.

Úrkomu er yfirleitt skipt í fjóra flokka; rigningu, snjókomu, slyddu og hagl. Til þess að úrkoma geti myndast og fallið í formi til jarðar þurfa regndroparnir að vera nógu stórir og þungir til þess að vega upp á móti uppstreymiskröftum andrúmsloftsins. Mynd 4 sýnir hin ýmsu form vatnsdropa.



Mynd 4. Form vatnsdropa í andrúmslofti

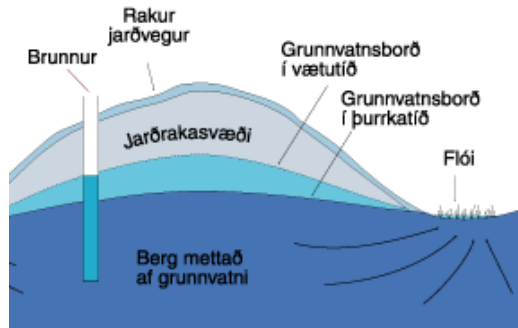
Afrennsli lýsir flæði vatns á yfirborði lands yfir í vötn, ár og höf. Þeir þættir sem hafa áhrif á afrennsli eru halli og gerð jarðvegsins, gróðurþekja og úrkomumagn. Afrennsli á sér oftast stað þegar úrkomumagnið er meira en það magn sem jarðvegurinn getur tekið við (írennsli). Mikið afrennsli getur orsakað

mikið tímabundið rof á jarðvegi. Vatnsföll safna sama afrennsli og skila vatni áfram í hringrásinni. Sá ferill kallast yfirborðsrennsli. Vatnsföll eru mikilvægur þáttur í mótun lands og geta verið mjög öflugt rofverkfæri. Lengsta vatnsfall heims er Amazon fljótið sem rennur um 6.700 km losar mest um 300.000 m<sup>3</sup>/sek út í Atlantshafið.

Annar viðkomustaður vatns á leið sinni til sjávar eru stöðuvötn. Með vatnsföllum geyma þau um 0,02% af vatnsforða jarðar. Stærst þeirra er Kaspíahaf sem er um 386.400 km<sup>2</sup>. Velta má því fyrir sér hvort vatnið sé í raun haf þar sem það er salt. En hér er það flokkað sem stöðuvatn.

Írennsli lýsir vatnsflæði í gegnum yfirborð jarðar og áleiðis niður að grunnvatnsyfirborði. Írennsli er algjör forsenda fyrir líf plantna þar sem þær ná í vatn í gegnum jarðvegin. Hraði írennslis stjórnast aðallega af úrkomumagni, jarðvegsgerð, magn vatns sem fyrir er í jarðveginum og gróðurþekja. Það vatn sem kemst niður fyrir grunnvatnsborðið rennur svo sem grunnvatnsrennsli. Grunnvatnsborðið getur verið breytilegt eftir árferði og úrkomumagni yfir tíma eins og sýnt er á mynd 5. Grunnvatnsrennsli sér svo um

að koma vatninu áfram í ár, stöðuvötn eða úthöf.



Mynd 5. Grunnvatn í jarðvegi

Þar með hefur vatnið náð einum hring og heldur för sinni áfram úr hafinu yfir í andrúmsloftið. Þess ber þó að geta að viðkoma vatnssameinda í hverjum geymi er mjög mismunandi auk þess sem færsla milli þeirra gengur mishratt fyrir sig.

### Breytingar á virkni hringrásarinnar

Það er ljóst að breytingar á hringrás vatns í gegnum jarðsöguna hafa verið miklar. Eins og komið hefur fram eru þessar breytingar oft tengdar miklum jöklunum þar sem hlutföll milli vatnsgeyma hafa breyst mikið. Til eru vísindamenn sem telja að jörðin hafi á einhverjum tímapunkti verið hulin ís. Ein slík kenning var sett fram af Brian Harland, en hún gengur undir nafninu „Snowball Earth“. Harland taldi að fyrir 750-600 miljónum ára hafi allt yfirborð jarðar verið hulið íshellu sem var um kílómeters þykk við miðbaug og

þykknaði til pólanna. Einnig er talið að meðalhitastig hafi verið um  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Eitt að því sem styður þessa kenning eru miklar jökulmenjar sem finnast í öllum heimsálfum.

Ástæður fyrir þessu ástandi eru einkum taldar vera tvær, fallandi styrkur gróðurhúsalofttegunda og aukið endurkast sólar frá stórum ísbreiðum. Þetta fyrirbæri hefur stundum verið kallað íshúsaáhrif (e. Icehouse effect), gagnstætt við gróðurhúsaáhrif.

### Samantekt

Í þessari ritgerð hefur verið fjallað um tilvist vatns á jörðinni, hegðun þess og helstu ferla. Nánast allur vatnsforði jarðar er geymdur í úthöfunum, eða um 97%. Sólin sér um að keyra hringrásina áfram og í raun má segja að hringrásin sé færsla á orku milli mismunandi geyma. Þessi færsla veldur svo breytingum á umhverfinu með rofi og bergefnum jarðarinnar. Magn vatns á jörðinni hefur verið mjög stöðugt í gegnum jarðsöguna en hlutföll milli geyma hafa breyst í gegnum tíðina. Ef ekki væri svo fyrir vatn er ekki víst að líf hefði þróast á jörðinni og þá væri þú lesandi góður ekki að rýna í þennan texta.

## Heimildir

### Bækur og greinar

Ahrens, C. Donald. *Meteorology Today: An introduction to weather, climate and the environment*. Sjöunda útgáfa. 2003. Brooks/Cole – Thomson Learning. Los Angeles.

Brady, C. Ray, Weil, Ray R. *Elements of the nature and properties of soils*. Önnur útgáfa. 2004. Pearson Education. New Jersey.

Peixoto, José P. Kettani, M. Ali. The Control of the water cycle. *Scientific American*, Vol 228, bls. 46-61.

Stanley, Steven M. *Earth system history*, önnur útgáfa. 2005. W.H. Freeman and company. New York.

Unnsteinn Stefánsson. *Haffræði I*. 1991. Háskólaútgáfan. Reykjavík.

### Vefsíður o.fl. (skoðað í nóvember 2005)

Jarðfræðiglósur GK  
<http://www.ismennt.is/not/gk/jfr/ordskyr/>

The Hydrologic cycle: online meteorology guide, University of Illinois  
[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/hyd/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/hyd/home.rxml)

USGS Volcano Hydrology and Hydrologic Processes  
<http://vulcan.wr.usgs.gov/Glossary/Hydrology/framework.html>

USGS: The water cycle  
<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclesummary.html>

Wikipedia: Hydrology  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrology>

The Snowball Earth  
[http://www-eps.harvard.edu/people/faculty/hoffman/snowball\\_paper.html](http://www-eps.harvard.edu/people/faculty/hoffman/snowball_paper.html)

Vísindavefur Háskóla Íslands  
<http://visindavefur.hi.is/>

Pröstur Þorsteinsson. Glósur úr Vatna- og loftslagsfræði  
<http://faculty.washington.edu/thorstho/research/>