

Ísland og norðurslóðir
– Tækifæri í breytilegu umhverfi alþjóðasamstarfs og náttúrufars –

*Ráðstefna á Grand Hótel, 25. febrúar 2005
á vegum Utanríkisráðuneytisins*

**Erindi Trausta Valssonar, prófessors við HÍ:
Áhrif sjávarstöðubreytinga á skipulag við strönd**

Inngangur

Sjávarstaða hefur tekið verulegum breytingum á Íslandi í jarðsögunni og sjást sjávarkambar t.d. víða í um 80 m hæð á Suðurlandi. Fræðimenn hafa lengi vitað að sjávarstaða hefur breyst verulega á seinni öldum, ýmist vegna þess að land hefur verið að lyftast upp eða síga í sjó. Telja þeir t.d. sumir að nú sé land að síga um ca. 15 cm á öld á SV-landi, en rísi hinsvegar t.d. verulega á SA-landi. Nú í vor munu vísindamenn birta nákvæma útreikninga á þessu út frá GPS mælingum.

Á síðustu áratugum hefur orðið allnokkur hlýnun í heiminum og spá flestir vísindamenn að framhald verði þar á. Við þetta bráðna jöklar og rúmmál hafsins eykst vegna hitaþenslu. Í skýrslu milliríkjanefndar um loftslagsbreytingar (IPCC) frá 1998, er spáð 50 cm hækkun sjávarborðs til 2100.¹⁾ Á grundvelli þessa mælir skipulagsreglugerð nú með 50 cm meiri hæð á nýframkvæmdum við strönd, en 65 cm á lágsvæðum, en það eru svæði við ströndina kölluð þar sem hætt er við sjávarflóðum. Ábendingar um að tillit skuli taka til þessara þátta komu inn í skipulagslög og reglugerð 1997/1998, en erfiðlega mun ganga að fá nægt tillit tekið til þessa í ýmsum sveitarfélögum.

Í skýrslu Norðurskautsráðsins sem birt var í Reykjavík í nóvember 2004, er spáð að sjávarborð í heiminum muni hækka um allt að 90 cm til 2100.²⁾ Samkvæmt virðist eðlilegt ráðlögð hæð skipulagsreglugerðar á lágsvæðum hækki úr 65 cm í 105 cm. Þó skýrslan miði við árið 2100 eru líkur taldar á að hlýnunin haldi áfram fram yfir það ár. Í ljósi þess virðist ráðlegt að sveitarfélög og ríki geri ráð fyrir enn meiri hækkun sjávarstöðu á lágsvæðum þegar um skipulagsákvæðanir er að ræða, sem munu hafa áhrif langt fram í tímann. Þarf þetta að komast inn í þau skipulagslög sem áætlað er að verði lögð fram á Alþingi nú í vor.

Áhrif sjávarstöðubreytinga tengjast mest því

hve mikil hætta er á sjávarflóði á viðkomandi svæði

Þegar talað er um að sjávarstaða muni hækka um ca 1 m á þessari öld, kemur sú einfaldaða mynd upp í hugann að öll svæði – t.d. lágsvæði við hafnir – muni fara undir 1 m af vatni í miklum flóðum. Í þessu sambandi ber, í fyrsta lagi, að hafa í huga

að hafnarbakkar liggja oftast um ½ m hærra en hæsta astrónómíska flóð – sé reiknað með meðalloftþrýstingi.

Það sem hins vegar gerir lága stöðu lands í höfnum og við strendur hættulega, er að ýmsir þættir geta – sérstaklega þegar þeir fara saman – leitt til verulega hærri sjávarstöðu við strönd en er við normal aðstæður.

Af þessum þáttum skal fyrst nefna áhrif aðdráttarafls tungls á hæð sjávarstöðu. Í aðru lagi skal nefna loftþrýsting, en með hverju millebari sem hann lækkar niður fyrir 1013 mb hækkar yfirborð sjávar um 1 cm. Þetta þýðir að mjög lágt stig loftþrýstings þýðir um 70 cm hækkun sjávarborðs. Í viðbót við þetta fylgir lægðum svokallaður vindáhlaðandi og ölduáhlaðandi, sem getur hækkað sjávarstöðu við strönd verulega fram yfir þetta í djúpum lægðum.³⁾

Það sem næst skiptir máli um hversu hættuleg svona “flóðalda” verður þegar hún er að ná landi, er hvaða hindrun hún mætir þegar hún kemur upp á landgrunnið. Hér skiptir miklu máli hvort hún fer yfir sker sem draga úr mætti hennar, sem og hvernig lögun grunnsvæðis þess er, sem hún fer yfir. Ef t.d. grynkar skyndilega (þ.e. botninn lyftist bratt upp við ströndina), er þar skyndilega orðið til minna rými fyrir vatnið, þannig að yfirborð bylgjunnar lyftist upp. Sama upplyfting flóðbylgju skeður þegar þrengt er að bylgjunni til hliðanna, t.d. þegar flóðbylgja þrengir sér inn í mjókkandi firði.

Siglingastofnun hefur nú yfir tölvulíkani að ráða sem getur reiknað út flóðahæðir á mörgum stöðum við strönd á Íslandi út frá hinum ýmsu forsendum sem nefndar voru hér að framan.

Á Íslandi nálgast flestar lægðir landið úr suðvestri. Sú staðreynd, í viðbót við það að nær engir skerjagarðar eru fyrir utan suðurströndina, og t.d. við Akranes, þýðir að sjávarflóðahætta á Íslandi er langmest á því svæði, þ.e. frá ca Akranesi og austur til Víkur í Mýrdal.

Það hversu lágt land er víða á þessu svæði – og áætlað landsig þar að auki um ca 15 cm á öld – hefur svo leitt til þess að mikil sjávarflóð hafa orðið hér með ca 11 ára millibili.⁴⁾ (Sjá mynd 1).

Hækkun heimshafanna um ca 90 cm (árið 2100) mundi að sjálfsögðu auka mikið tíðni og áhrifamátt hættulegra flóða á þessum slóðum, og leiða til þess að þau stærstu munu ná verulega lengra inn til landsins en áður hefur þekkt.

Sérstakt áhyggjuefni sem tengjast mundi hækkun sjávarstöðu er að náttúrulegar brimvarnir við strönd mundu láta sumstaðar undan. Yrði brimið þá fljótt að skola lausum jarðvegi á haf út, jafnvel á stórum svæðum. Gæti þetta t.d. gerst á svæðum lauss jarðvegs í Flóanum eða Ölfusinu. Með þessu mundu síðan sjávarflóð sumsstaðar ná alllangt inn til landsins og gætu jafnvel tekið í sundur vegi, mengað vatnsból osfrv.

Annað vandamál sem tengjast mundi hærri sjávarstöðu, er að sjór mundi þrengja sér lengra inn í jarðlög við sjó. Þetta gæti t.d. þýtt að meiri mengunarefni

mundu skolast út úr öskuhaugum, sem eru víða við strönd, og jarðvegur orðið burðarminni vegna bleytu, sérstaklega við hristing í jarðskjálftum.

Hversu mikil vörn er í þeim sjávarvarnargörðum sem byggðir hafa verið?

Áður en vikið er að hættum tengdum hækkun sjávarstöðu, er rétt að skoða hve mikið gagn er í þeim sjávarvörnum sem víða hafa verið byggðar upp við strendur landsins. Almennt sagt þá verja þessir garðar flest mikilvæg lágsvæði fyrir flóðum. Þessar varnir hafa þó ekki verið hannaðar til að standast risaflóð á borð við Básendaflóðið 1799, sem var um 1 m hærra en önnur þekkt flóð á sögulegum tíma.⁵⁾ (Sjá mynd 2). Slíkt risaflóð mun fara yfir alla sjávarvarnargarða og fylla stór landsvæði að baki þeim af sjó – óhád því hvort sjávarstaðan hefur hækkað. Í tilfalli slíks risaflóðs hafa sjóvarnargarðarnir þann vankant að þeir tefja fyrir því að vatnið nái að renna til baka út í sjó. Byggð og svæði stæðu því í vatni þangað til vatnið hefur náð til sjávar um útrásir sem fyrir eru eða skörð hefðu verið rofin í varnargarðana til að hleypa vatninu út. Víða eru garðar þó það gljúpir að sjórinn rennur í gegnum þá út í haf á nokkrum tíma.

Þar sem höfn og hafnargarðar hafa verið gerðir utan við byggð og láglandssvæði – eins og t.d. í Reykjavík – taka hafnargarðar kraftinn úr flóðöldunni, en vatnið lokast hins vegar ekki inni og hleðst upp eins og er innan lokaðra varnargarðanna, heldur rennur það út um hafnarmynnið. Sjávarstaða innan við slíka hafnargarða verður því ekki eins há og ella. Einnig er það jákvætt að flest hafnarsvæði eru hönnuð til að þola að lenda undir vatni og í einstaka tilfellum er fyrsta gólf viðkvæmra húsa, eins og t.d. frystihúsa, látið liggja allnokkru hærra en hafnarsvæðið til að minnka hættu á að flóð nái inn í þau. Rétt er að minna á, að skip eru ekki örugg í höfnum í miklum sjávarflóðum og fárviðri og er skipum, sem geta staðist óveðrið á opnu hafi, siglt út þegar hætta er á slíkum hamförum.

Minna má á, að víða við strönd á höfuðborgarsvæðinu, hafa aðeins verið byggðir lágir sjóvarnargarðar til að taka ekki um of af útsýninu. Þetta er t.d. við Skúlagötuna og Ánanaust, enda lokast þær götur á hverjum vetri, jafnvel í venjulegum vetrarverðum, vegna ágjafar. Við Ánanaust er það t.d. vel þekkt að brimið pumpar upp sjó, jafnvel þótt sjávarstaða sé ekki há, og fyllist þá t.d. hringtorgið við JL-húsið af vatni og lokast fyrir alla umferð.

Hve mikil hætta tengist hækkun sjávar um 1 m, burtséð frá aukinni flóðahættu?

Eins og rakið var hér að framan eru engar sjávarvarnir byggðar hér á landi til að standast, og verja land, fyrir risaflóði á borð við Básendaflóðið. Það er vissulega hægt að hækka og styrkja hafnar- og sjóvarnargarða til að standast slík flóð, en það yrði geysidýrt. Hækkun sjávarstöðu í heiminum (+ landsigið), mundi svo krefjast þess að þessir garðar yrðu hækkaðir enn meira.

Við getum sem sagt tæknilega varið okkur að mestu fyrir sjávarflóðum með varnargörðum, jafnvel þó sjávarstaðan hækki um 1 m í framtíðinni. Og að þessari hækkun má vinna á löngum tíma (100 árum) á meðan sjávarstaðan er að hækka.

Við skulum nú athuga hvaða hættur felast í 1 m hækkun á sjávarstöðu á svæðum sem eru varin fyrir flóðum, þ.e. að athuga einfaldlega hvað gerist þegar vatnið nær 1 m hærra en efri mörk hinna daglegu sjávarfalla.

Þau svæði sem eru í mestri hættu út frá þessu eru lágar landfyllingar við strönd og í höfnum, því þær hafa flestar aðeins verið byggðar um ½ m hærra en 4.7 m stórstraumsflóð, sem eru um 1-2 sinnum á ári. Þessar fyllingar munu því fara mjög oft á kaf ef þær verða ekki hækkaðar. Þetta mun þó ekki valda verulegum skaða á stöðum þar sem aðeins útivistarsvæði eru á fyllingunum, líkt og er á Geirsnefi í Elliðaárvogi. Sum hafnarsvæði, t.d. gámavellir, gætu líka þolað að töluvert vatn flæddi yfir þá.

Á byggðarsvæðum á landfyllingum verður fljótlega hætt á að kjallarar verði til mikilla vandræða jafnvel þó þeir væru glugga- og dyralausir og vel þéttir. Kjallarar sem standa í djúpu vatni hafa tilhneigingu til að lyfta húsum upp nema þau séu mjög þung.

Við nýbyggingu á landfyllingum er mjög ráðlegt að hafa enga kjallara og láta fyrsta gólf standa vel upp yfir landið. Einnig þurfa helstu tengivegir að vera hannaðir til að standa upp úr vatninu. Á flóðasvæðum í Hamborg eru að auki hafðir gangar á 1. hæð milli allra húsa, en eftir þeim kemst fólk út úr flóðasvæðinu. Á fyrstu hæð er best að hafa engar dyr eða glugga á móti flóðaátt og á svæðinu í Hamborg eru aðeins leyfðir litlir gluggar á 1. hæð með 2.5 cm ytra gleri.⁶⁾

Víða erlendis – t.d. við flóðastrendur – er gripið til þess ráðs, að láta húsin standa á súlum sem mynda pláss fyrir bíla, sem keyrðir eru í burtu þegar flóðaviðvaranir koma. Ef byggðin er höfð á súlum er best að sleppa sjóvarnargörðum alveg og að leyfa flóðinu að ganga á land og flæða undir húsin á súlunum. Slík hús geta þó tæpast staðið mjög nálægt strönd á strönd því brimrótið þar gæti þá grafið undan súlum. Kostur við að hafa ekki sjávarvarnargarða er að lítið vatn situr eftir og flóð sjatna mjög fljótt.

Hollendingar eru búnir að búa til mikla áætlun um hvernig þeir geta búið sig undir aukna flóðahættu í framtíðinni. Ein lausnin sem þeir nota er að byggja hús sem lyfst geta upp og flotið eins og bátar, en þau geta þá ekki verið há til að velta ekki um. Etv. kynni þessi lausn einnig henta við vissar aðstæður á Íslandi.

Hvaða valkostir eru til að mæta hárrí sjávarstöðu í Kvosinni?

Kvosin í Reykjavík liggur mjög lágt og áður fyrr vatnaði oft upp í niðurföll í götum við háa sjávarstöðu. Á meðan hafnargarðarnir voru ekki komnir flutu flóð oft yfir malarkambinn við Hafnarstræti og alla leið inn í Tjörn. Nú verja hafnargarðarnir fyrir slíkum flóðum og vegna þess að öllum skolpræsum út í Höfnina hefur verið lokað og

skólpinu og afrennsli Tjarnarinnar dælt hreinsuðu út í sjó annars staðar, flæðir sjór ekki lengur eftir skólpleiðsum upp í niðurföll og inn í kjallara. Þrátt fyrir þetta flæðir nokkur sjór inn í jarðlögin undir Kvosinni því malarkamburinn úti við Höfnina er ekki þéttur.

Vegna landsigs og hækkaðrar sjávarstöðu um ca 1 m í framtíðinni, verður það næstum á hverju stórstraumsflóði að sjórinn í Höfninni stendur 50-60 cm hærra en landið í Kvosinni við aldamótin 2100, sem mun leiða til flóða í miðbænum nema sérstakar ráðstafanir verði gerðar. Fyrsta óhjákvæmilega aðgerð er að hækka alla hafnarbakkana um 80-100 cm. Í öðru lagi þarf að þetta malarkambinn t.d. með að reka niður stálþil á stöðum þar sem lekur. Líklegt er, að þetta dugi ekki til heldur verði að útbúa allnokkra brunna í Kvosinni þar sem sjó væri dælt upp til að halda jarðvatnsstöðunni í skefjum. Ef það tekst ekki gætu sum húsin flotið upp vegna uppdrifs í kjöllum. Í neyðartilfellum mikils flóðs þyrfti að vera búið að setja opnanlegar lokur í vegg kjallara þar sem sjó yrði hleypt inn ef grunnvatnsstaðan virðist ætla að fara yfir hættumörk.

Nú er verið að hanna nýbyggingar á uppfyllingum við Höfnina, þ.e. norður af Mýrargötunni og í Austurhöfninni þar sem hið mikla Ráðstefnu- og tónlistarhús á að rísa. Undir því á að verða tvöfaldur bílakjallari fyrir 2000 bíla. (Sjá mynd 3). Virðist þurfa að endurskoða það skipulag í ljósi sjávarstöðuhækkunar, ekki síst vegna þess að það hús þarf að geta staðið um aldir, en ekki er útilokað að mun meiri sjávarstöðuhækkun verði eftir 2100 en þeir 90 cm sem spáin um hækkun sjávar segir til um.

Önnur svæði á Höfuðborgarsvæðinu sem lenda í vanda, nema sérstakar ráðstafanir séu gerðar

Það stóra byggðarsvæði sem liggur lægst á Höfuðborgarsvæðinu er Álftanesið. Auk þess hve lágur meginhluti þess er, er fremri hluti þess mjög opinn fyrir flóðöldum af hafi. Sama er um vestasta hluta Seltjarnarness að segja. Hin lágu svæði inni í Skerjafirðinum, eins og t.d. við Ægisíðu og við bryggjuhverfið Sjáland, eru hins vegar nokkuð varin fyrir flóðöldu utan af hafi, því skerin á firðinum draga kraftinn úr henni. En við hinni hækkuðu sjávarstöðu verður að bregðast í framtíðinni með að hækka landið út við ströndina og kveða á um lágmarks gólfhæðir.

Öll lágland athafnasvæði við hafnirnar á Höfuðborgarsvæðinu verða að hækka, og etv. verður að lyfta húsum þar upp með tjökkum þegar líður á þessa öld. Við sumar hafnir í heiminum hefur þetta verið gert á svæðum sem sigið hafa vegna þess að rök jarðlög við hafnir hafa lækkað vegna mikillar dreneringar. Var húsum t.d. lyft upp á allstóru svæði við höfnina í Boston fyrir mörgum áratugum. Göturnar voru síðan hækkaðar. Í Seattle var húsunum ekki lyft upp heldur göturnar hækkaðar um ca 2.5 m. Er núna gengið inn á 2. hæð, en 1. hæðin er kjallari. Hugsanlegt er að nota þessa aðferð við að hækka Kvosina ef sjávarstaðan virðist ætla að fara verulega fram úr 1 m eftir 2100.

Væntanlega þarf að gera einhverjar ráðstafanir af þessu tagi í bryggjuhverfunum nýju og öðrum byggðarsvæðum við strönd ef sjávarstaða hækkar mjög.

Sem betur fer er skipulag við hafnir og á þeim mörgu landfyllingum sem áætlaðar eru undir mikla byggð á Höfuðborgarsvæðinu, enn á hönnunarstigi. Það er því tiltölulega auðvelt að hækka áætlaða hæðarkóta þessara landfyllinga og sleppa alveg að vera með kjallara í þessum landfyllingum. Af þessum áætlaðu landfyllingum og bryggjusvæðum má nefna: Gerð nýs bryggjuhverfis í Grafarvogi, byggingarsvæði m.a. á nýjum 46 ha fyllingum við Gufunes (sjá mynd 4), áætlað bryggjuhverfi í Kópavogi og Norðurbakka hverfið inni í Hafnarfjarðarhöfn og á uppfyllingunni nýju utan við Suðurgarði (Sjá mynd 5).

Út af Grandanum í Reykjavík er mikið fyllingarsvæði, og stórt fyllingarsvæði er áætlað út af Ánanaustum (Sjá mynd 6). Þessi tvö svæði búa við meiri hættu en hin fyrrnefndu því þau eru opin fyrir flóðöldu utan úr flóa. Grandasvæðið veldur minni áhyggjum því þar er aðeins atvinnustarfsemi. Fyllingin út af Ánanaustum er hins vegar ætluð fyrir íbúðarbyggð og tengda starfsemi, sem er mun viðkvæmari fyrir sjávarflóðum.

Tilvísanir

- 1) *Veðurfarsbreytingar og afleiðingar þeirra. Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar*. Umhverfiráðuneytið (Okt. 2000), 3-10
- 2) *ACIA, Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, 2004, 78-83
- 3) “*Náttúruvá á Íslandi*”, e. Trausta Valsson og Ragnar Sigbjörnsson. *AVS*, 1.tbl. 1996, 30-31
- 4) *Sjávarflóð á Eyrarbakka og Stokkseyri*, e. Pál Imsland og Þorleif Einarsson (Febr. 1991), 33
- 5) “Probability of Tidal Surge Levels in Reykjavik Iceland”, e. Jónas Eliásson. *Proc. Int. Coastal Symposium*, Hornafjoerdur, Iceland, June 20 - 24, 1994, pp. 504 - 512
- 6) “Hanseatic Restoration”. Úr *The Architectural Review*, Jan. 2002, Vol CCXI, 1259, 1-5

Myndaskrá

Mynd 1 *Íslenskur sjávarflóðaannáll* (hluti). Úr *Sjávarflóð á Eyrarbakka og Stokkseyri*, e. Pál Imsland og Þorleif Einarsson (Febr. 1991), 69

Mynd 2 *Return periods of extreme tides in Reykjavik* (mynd 5). Úr “Probability of Tidal Surge Levels in Reykjavik Iceland”, e. Jónas Eliásson. *Proc. Int. Coastal Symposium*, Hornafjoerdur, Iceland, June 20 - 24, 1994, pp. 504 – 512

Mynd 3 Glæra 9 á CD disknum *Skipulag miðborgar og hafnarsvæðis*, e. Studio Granda ofl., 2002 (Nú vorið 2005 vinna hönnunarhópar að nýjum tillögum, sem hafa ekki enn verið birtar)

Mynd 4 *Landfyllingar við Gufunes*. Á forsiðu *Landfyllingar við Gufunes*, Reykjavík. *Mat á umhverfisáhrifum*. Hönnun, okt. 2004

Mynd 5 *Hafnarfjarðarhöfn*. Af heimasíðu Hafnarfjarðarbæjar, feb. 2005

Mynd 6 *Aðalskipulagskort Reykjavíkur, 2002-2024* (hluti). Reykavíkurborg, 2003

