

GR 14:01

Styrkur radons í húsum á Íslandi

Óskar Halldórsson

Sigurður M. Magnússon

Róbert Karl Lárusson

Gísli Jónsson



Júlí 2014

Geislavarnir ríkisins

Rauðarárstíg 10

105 Reykjavík

Sími 440 8200

<http://www.gr.is> gr@gr.is

ISBN 978-9935-9117-5-9



GEISLAVARNIR RÍKISINS
ICELANDIC RADIATION SAFETY AUTHORITY

Samantekt

Í þessari skýrslu eru niðurstöður rannsóknar Geislavarna ríkisins á styrk radons í innilofti híbýla á Íslandi kynntar. Ársmeðaltal radonstyrksins var mælt á jarðhæð eða í kjallara á 250 heimilum sjálfboðaliða um land allt. Einnig var radon í innilofti mælt á 32 leikskólum og 19 sundstöðum.

Niðurstaða rannsóknarinnar er sú að styrkur radons í híbýlum á Íslandi er mjög lítill. Meðaltal mælinganna er 13 Bq/m³ og miðgildi þeirra 9 Bq/m³. Fjöldi mælinganna gefa niðurstöðu við eða undir greiningarmörkum og 95% þeirra er undir 40 Bq/m³. Hæsta mælingin er 79 Bq/m³. Ekki er marktækur munur á milli landshluta nema hvað styrkur radons á Norðurlandi er aðeins hærrí en annars staðar. Mælingarnar á sundstöðum og leikskólum gefa enn lægri tölur.

Þessar niðurstöður, sem styðja það sem áður var talið með hliðsjón af berggrunnum á Íslandi og fyrri mælingum, gera kleift að meta geislaálag Íslendinga vegna innöndunar radons og er það 0,2 mSv á ári. Geislaálagið er líklega ofmetið því stór hluti þjóðarinnar býr ofar en á jarðhæð þar sem radonstyrkurinn er enn lægri.

Einnig er sagt frá samfelldum mælingum á radoni í útilofti í Reykjavík sem eru gerðar í samstarfi við Raunvísindastofnun Háskóla Íslands. Mælingunum er ekki lokið og niðurstöður sem fengist hafa gefa til kynna að radon í útilofti í Reykjavík sé á bilinu 1-3 Bq/m³.

English summary

We report on a nation-wide survey of indoor radon in Icelandic homes. The annual mean radon concentration was measured on the ground floors or basements of 250 homes around the island. Volunteers were sought so the measurement locations were not randomly assigned. Additionally, measurements were made in 32 kindergartens and 19 public swimming pools.

The results indicate that the radon concentration in Iceland is very low. The mean is 13 Bq/m³, and the median 9 Bq/m³. The distribution of the results is heavily biased towards the lower values with a number of the results at or below the minimum detectable activity and 95% of the results below 40 Bq/m³ and the highest value is 79 Bq/m³. No appreciable differences were found between the different regions of Iceland except that in the North of the country, slightly higher values were found. Measurements in kindergartens and swimming pools gave even lower values.

These results, which match expectations given what is known about the Icelandic bedrock and from previous spot measurements, imply a mean dose to the population from radon inhalation of 0.2 mSv/year. This value is almost certainly an overestimate, since only ground floors and basements are included in the study while a large part of the population lives (and spends their time indoors) on the floors above ground floor where the concentration is lower.

We also mention ongoing continuous measurements of radon in outdoor air in Reykjavík, done in collaboration with the University of Iceland's Science Institute. Preliminary results from a few months of measuring indicate that outdoor air in Reykjavík has a radon concentration of about 1-3 Bq/m³.

Efnisyfirlit

Inngangur.....	4
Um radon	4
Radon á Íslandi	6
Radonmælingar á Íslandi	6
Fyrri mælingar á innilofti.....	6
Rauntímamælingar á útilofti	7
Mælingar Geislavarna ríkisins á radoni í innilofti 2012-2013.....	8
Mæliaðferð	8
Mælistaðir	10
Heimili	10
Vinnustaðir	10
Umhverfi	11
Söfnunin.....	12
Niðurstöður	13
Dreifing mæliniðurstaða	13
Dreifing eftir landshlutum	14
Samanburður við önnur lönd	16
Geislaálag vegna radons á Íslandi	17
Óvissuþættir.....	18
Lokaorð.....	19
Heimildir	20

Inngangur

Geislavirk efni er hvarvetna að finna í umhverfi okkar. Flest þeirra eru náttúruleg en þó er þar einnig að finna manngerð efni.

Helstu náttúrulegu geislavirku efni í jarðvegi og bergi eru kalín (K-40), þórín (Th-232), og úran (U-238) sem öll hafa verið til staðar á Jörðinni frá því hún myndaðist.

Magn þessara geislavirku efna er breytilegt og ræðst helst af ríkjandi bergtegund á hverjum stað.

Kalín (K-40) er í öllum lífverum og er algengasta kjarntegundin í fólki og fæðu.

Mest er af úrani og þóríni að finna í graníti og öðru súru bergi en mun minna í basalti sem er ríkjandi bergtegund á Íslandi.

Þegar kjarnar úrans og þóríns hrörna verða til dótturefni sem einnig eru geislavirk. Dótturefni hrörna líka og mynda önnur efni sem sum eru einnig geislavirk. Þessi keðja heldur áfram þar til öll efni enda sem stöðug samsæta blýs (sjá Mynd 1).

Það geislavirka efni sem veldur mestri geislun á fólk er radon (Rn-222). Það veldur um helmingi af geislun fólks frá náttúrulegum geislavirkum efnum (UNSCEAR 2006).

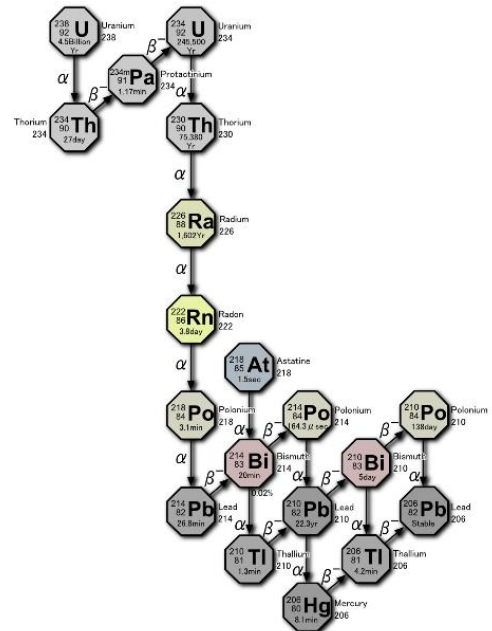
Um radon

Radon¹ er geislavirk lofttegund og eitt af dótturefnum úrans. Þar sem radon er ósýnilegt og lyktarlaust er engin leið að nema það eða meta styrk þess nema með sérhæfðum mælitækjum.

Innöndun radons veldur geislun á lungun og vitað er að hárf styrkur radons eykur hættu á lungnakrabbameini marktækt. Geislavirk dótturefni radons festast í lungnapípunum og valda staðbundinni geislun á lungnavef. Sambandið milli innöndunar radons og krabbameins í lungun er sérstaklega sterkt á meðal reykingafólks.

Styrkur radons í andrúmslofti á hverjum stað fer eftir ýmsum þáttum. Úranið sem radon verður til úr kemur frá náttúrunnar hendi fyrir í bergi, og er magn þess háð bergtegund. Radon er helst að finna þar sem berggrunnurinn er úr graníti eða öðru úranríku bergi. Þar sem radon er eðallofttegund, og víxlverkar því lítið við önnur efni, getur það smogið gegnum glufur í berginu og í gegnum húsgrunna. Þekkt er að radon geti safnast upp í byggingum, sér í lagi í illa loftræstum rýmum á jarðhæð eða í kjallara.

Radon hefur 3,8 daga helmingunartíma. Það myndi svo til allt hrörna í burt á nokkrum vikum ef það streymdi ekki stöðugt úr jörðu. Þegar radon kemur út í andrúmsloftið þynnist það hratt út svo að styrkur þess í útilofti er mjög lítil.



Mynd 1: Hrönnunarkerðja úrans (U-238). Úranröðin er syrpa kjarntegunda sem myndast þegar U-238 hrönnar uns það verður loks að stöðugri samsætu af blýi (Pb-206). Takið eftir að radon (Rn-222) kemur fyrir í keðjunni. Myndin er fengin frá [Wikipedia](#).
Figure 1: Decay Chain of U-238 (from [Wikipedia](#).)

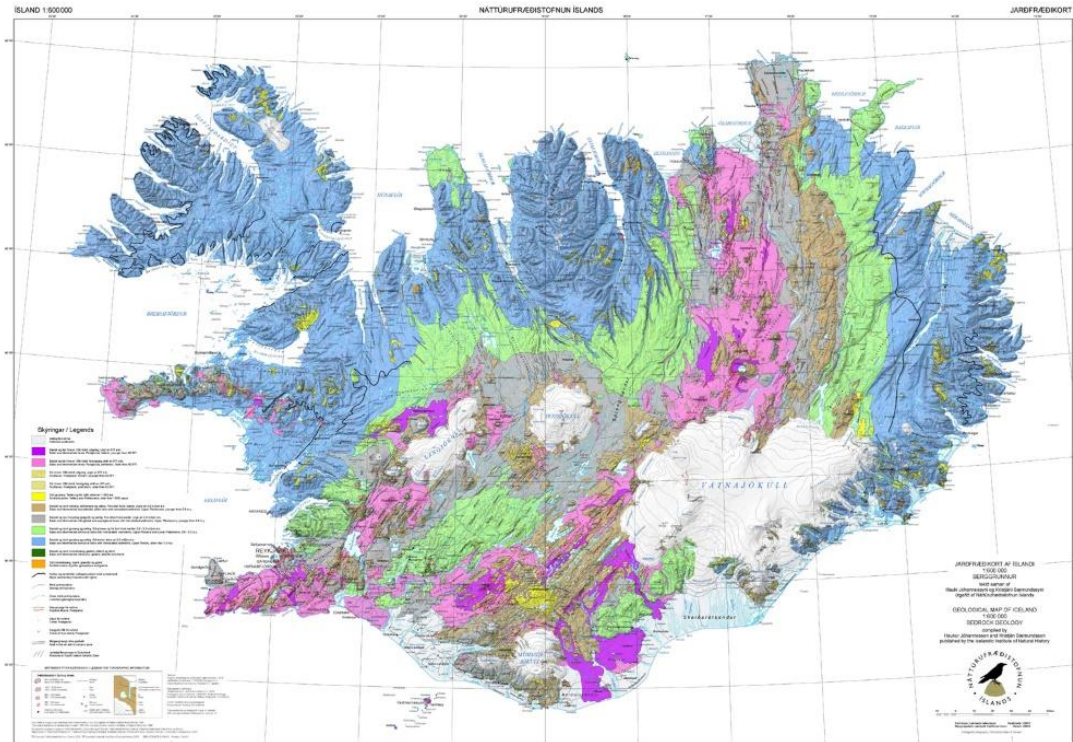
¹ Hér er með orðinu radon eingöngu átt við samsætuna Rn-222, en frumefnið radon á sér fleiri samsætur sem allar eru geislavirkar en skipta miklu minna máli gagnvart heilsufarsafleiðingum.

Styrkur radons innandyra er meiri að vetrarlagi heldur en að sumarlagi vegna þess að þá er inniloftið hlýrra en berggrunnurinn og loftið leitar upp. Þá verður undirþrýstingur í húsgrunnum og radon berst hraðar gegnum bergið og inn í húsgrunnana og þaðan í vistarverur fólks.

Þar sem radon er stærsti einstaki þátturinn af náttúrulegum uppruna í geislaálagi almennings víðast hvar í heiminum og vitað er að hár styrkur radons getur verið skaðlegur þarf að kortleggja vel hvar radon er einkum að finna og hversu hár styrkur þess er. Á grundvelli þess er síðan metið hvort ástæða sé til að grípa til aðgerða til að draga úr styrk radons.

Radon á Íslandi

Á Íslandi er lítið af graníti. Hér er berggrunnurinn að mestu úr basalti sem er snaukt af úrani (sjá Mynd 2). Því má vænta þess að styrkur radons sé mun minni á Íslandi en í nágrannalöndunum þar sem úranríkt granít er víða ríkjandi í berggrunni.



Mynd 2: Mynd af jarðfræðikorti Náttúrufræðistofnunar Íslands, sem sýnir undirliggjandi berggrunn á Íslandi. Svæði þar sem mætti vænta þess að úran kæmi fyrir eru appelsínugul á þessu korti. Myndin er í lágri upplausn en ljóst er að slík svæði eru fá og smá. Myndin er fengin af [vef Náttúrufræðistofnunar](http://www.ni.is/jardfraedi/jardfraedikort1:600000).²

Figure 2: A map, from the *Icelandic Institute of Natural History* showing the Icelandic bedrock, which is predominantly made of basalt, with very little granite (orange splotches).

Radonmælingar á Íslandi

Radonmælingar á Íslandi eiga sér langa sögu. Fljótlega eftir að radon uppgötvaðist, byrjuðu íslenskir vísindamenn að sýna því áhuga (Thorkelsson 1906). Fljótt varð ljóst að líkur á því að radonstyrkur hérlandis ylli fólki heislufarsskaða væru hverfandi. Áhersla radonmælinga hér var því á jarðfræðirannsóknum, einkum til að spá fyrir um jarðskjálfta (Árnason 1981, Theodórsson, Einarsson og Guðjónsson 2001, Hauksson og Goddard 1981).

Fyrri mælingar á innilofti

Ekki hefur áður verið gerð umfangsmikil rannsókn á styrk radons í innilofti híbýla á Íslandi. Vert er þó að minnast á tvær fyrri rannsóknir:

1. Árið 1982 unni dönsku og íslensku geislavarnastofnanirnar sameiginlega að mælingum á radoni í innilofti á Íslandi (Ennow 1982). Mælt var í samtals 18 kjöllumur á fjórum stöðum kringum landið, þar af 10 í Reykjavík. Þessar mælingar sýndu að styrkur radons í innilofti hér var lítill. Margar

² <http://www.ni.is/jardfraedi/jardfraedikort1:600000>

mælinganna voru við greiningarmörk eða undir þeim en meðaltal þeirra var 11 Becquerel³ á rúmmetra, Bq/m³, og hæsta mælingin 26 Bq/m³.

2. Árið 2003 var gerð rannsókn við Raunvísindadeild Háskóla Íslands þar sem radon í innlofti húsa var mælt (Jónsson, 2003). Sú rannsókn sneri að þróun mæliaðferðar frekar en úttekt á styrk radons í íslenskum híbýlum. Þessar mælingar, sem fóru fram að sumarlagi, gáfu meðaltal radonstyrks yfir hálfan sólarhring. Mælistaðirnir voru í 51 húsi á höfuðborgarsvæðinu, en þeir voru ekki staðlaðir og gátu verið á ýmsum hæðum eða herbergjum, allt frá geymslum til svefnherbergja. Niðurstöður þessarar rannsóknar gaf til kynna að radonstyrkurinn reyndist mjög lágur og var hæstur þar sem loftskipti voru lítil. Meðaltalið mældist 4,7 Bq/m³ en helmingur mælingana gaf minna en 2,8 Bq/m³.

Tvær mælingar skáru sig úr og voru ekki teknar með þegar meðaltal og miðgildi voru reiknuð.

Önnur var í íbúð sem staðið hafði tóm í rúman mánuð (mældist á bilinu 40-50 Bq/m³) en hin var í gluggalausri geymslu (mældist á bilinu 130-140 Bq/m³). Allar aðrar mælingar voru undir 20 Bq/m³.

Rauntímamælingar á útilofti

Fyrrihluta ársins 2014 var radon í útilofti mælt á Raunvísindastofnun í samstarfi við Geislavarnir ríkisins. Mælitækni þeirra mælinga byggir á ljóssindrun við geislun í sindurvökva. Loftinu sem á að mæla er dælt í gegnum sindurvökva og radon flæðir við það úr loftinu og safnast upp í sindurvökvanum. Við hrörnun radons í sindurvökva verður til ljósblossi sem má mæla með næmum ljósnema. Ljósmerkið er síað til að telja eingöngu blossa sem koma til vegna radons og þannig er dregið úr bakgrunnsmerkinu.

Þessum mælingum er ekki lokið. Þær niðurstöður sem fengist hafa benda til þess að styrkur radons utandyra í Reykjavík sé um eða undir 1-3 Bq/m³.

³ Bq er eining fyrir geislavirkni, nefnd eftir franska eðlisfræðingnum Henri Becquerel. Eitt Bq af geislavirkri kjarntegund er það magn af henni sem þarf til að einn kjarni í henni hrörni á hverri sekúndu.

Mælingar Geislavarna ríkisins á radoni í innilofti 2012-2013

Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins stendur nú fyrir viðamiklu verkefni um kortlagningu náttúrulegrar geislunar í álfunni. Einn þáttur í því verkefni snýr að kortlagningu á styrk radons í hóbýlum manna. Lokaafurð þessa þáttar verkefnisins er kortagrunnur með meðalstyrk radons í innilofti húsa yfir 10 km x 10 km reiti. Síðla árs 2011 bárust Geislavörnum ríkisins boð frá rannsóknastöð ESB, Joint Research Centre (JRC), um þátttöku í verkefninu og í kjölfarið stóð stofnunin fyrir viðamiklum mælingum á radoni í innilofti á Íslandi árin 2012 og 2013.

Mæliaðferð

Notast var við rákanema (e. etch track detector) við mælingarnar en þeir eru algengasta aðferðin til að mæla styrk radons í innilofti. Rákanemi (sem einnig kallast *radonsemi*) er einfaldlega hólkur sem inniheldur sérstaka plastflögu, (sjá Mynd 3). Í honum eru hvorki rafeindatæki né rafhlaða. Plastflagan er úr sérstöku glæru plastefni, t.d. CR-39, sem er næmt fyrir jónandi geislun. Nemanum er komið fyrir í söfnun í andrúmsloftinu sem á að mæla. Venjulega er neminn í söfnun í um 3 mánuði yfir vetrartímann.



Mynd 3: Radonsemi á náttborði.
Figure 3: An alpha track detector.

Hólkurinn er hálfþéttur þannig að loftskipti við umhverfið eru nægilega hæg (u.þ.b. 3 klukkustundir) til að mjög skammlíf geislavirk efni eigi ekki greiða leið að plastflögunni, en radon (helmingunartími 3,8 dagar) kemst þó að. Þegar radonkjarni hrörnar í nánd við plastflöguna gefur hann (ásamt dótturkjörnum) frá sér alfa-eindir sem jóna sameindir í plastinu og skilja eftir sig örlítil ör eða rákir í flögunni. Því meira radon sem er í loftinu því fleiri slíkar rákir myndast.

Að lokinni söfnun er plastflagan tekin og sett í sýru/basa bað sem eyðir yfirborði plastflögunnar, hraðast þar sem rákirnar liggja. Rákirnar eftir alfa-eindirnar stækka við þetta (eru framkallaðar). Því næst er plastflagan skoðuð í smásjá og gígarnir sem mynduðust á yfirborðinu eru taldir. Styrkur radons í loftinu sem neminn var í er reiknaður út frá þéttleika þeirra og lengd söfnunartímabilsins.

Kvörðunarstuðull sem tengir rákapéttleikann og radonstyrkinn þarf að taka tillit til framleiðslu-breytileika í plastinu og er því metinn fyrir hvert búnt sem er framleitt samtímis. Einnig eru nokkrar flögur úr hverju búnti lagðar til hliðar og geymdar í lokuðum umbúðum sem tryggja að radon komist ekki að þeim. Þær flögur fara einnig í aflestur að loknu söfnunartímabilinu og þannig fæst mat á bakgrunnsmerkinu (t.d. vegna geimgeisla) í mælingunum.

Næmni aðferðarinnar (greiningarmörk) takmarkast við þann radonstyrk sem skilur eftir sig marktækt hærri fjölda af gígum en bakgrunnsmerkið. Greiningarmörkin eru því háð mælitímanum; því lengur sem neminn er í söfnun því fleiri rákir myndast á yfirborðinu. Í miklum styrk, eða við langan söfnunartíma getur neminn mettast því gígarnir fara að skarast og þá verður aflesturinn ónákvæmari.

Nemar sem þessir eru oftast notaðir í 3 mánaða mælingar en stundum í allt að 6 mánuði. Plastefnið í flögunum er viðkvæmt og eldist á söfnunartímanum. Í nemum sem hafa verið í söfnun í eitt ár eða lengur getur þessi öldrun haft áhrif á næmni radonmanna og eiginleika þeirra til að sýna áreiðanlegan aflestur.

Á hinn bóginn er þekkt að radonstyrkurinn fylgir árstíðasveiflum og því er miðað við meðaltalsstyrk yfir heilt ár þegar geislaálag vegna radons er metið. Oftast er mælt yfir vetur og umreiknistuðlar notaðir til að

reikna ársmeðaltal út frá þeim mælingum. Þessir umreiknistuðlar eru ekki þekktir fyrir íslenskar aðstæður, en þeir geta farið eftir gerð húsnæðis, hegðun íbúa, kyndingu, og öðrum þáttum.

Radonnemarnir og aflestrarþjónustan var keypt af fyrirtækinu Radosys⁴ í Ungverjalandi. Að hvatningu Geislavarna ríkisins rannsakaði framleiðandi radonnemanna hegðun plastsins við 12 mánaða söfnunartímabil og lítinn radonstyrk. Í ljós kom að leiðrétta má fyrir breyttum eiginleikum plastsins með endurkvörðun plastsins við lok mælitímabilsins. Þannig mátti fá óvissuna fyrir 12 mánaða mælingar niður fyrir 15% miðað við 150 Bq/m³ styrk (Radosys Inc 2014). Við þessa breytingu varð mæliaðferðin næmari gagnvart lágum styrk. Minnsti mælanlegi radonstyrkurinn um það bil helmingaðist við að lengd mælitímabilsins var tvöfölduð og var um 7 Bq/m³ miðað við 12 mánaða mælingu.

⁴ Sjá <http://radosys.com>

Mælistaðir

Vorið 2012 voru 500 radonnemar keyptir til mælinganna. Fljótlega þar á eftir var leitað til sjálfboðaliða til að hýsa nema til mælinga. Fyrst var leitað til einstaklinga sem voru kunnugir Geislavörnum ríkisins, til að mynda starfsfólks sjúkrahúsa og háskóla. Þeir voru hvattir til að kynna verkefnið fyrir vinum og kunningjum sem kynnu að hafa áhuga og byggju á jarðhæð eða í kjallara. Þannig fengust fjölmargir mælistaðir. Reynt var að dreifa mælunum yfir allt landið, í hlutfalli við fólksfjölda á hverjum stað (sjá Mynd 4).

Til að ná sem bestri dreifingu milli landshluta var einnig leitað eftir sjálfboðaliðum símleiðis.

Til að tryggja að nemarnir kæmu

„hreinir“ til sjálfboðaliða var þeim pakkað af framleiðanda í sérstaka lokaða álpoka sem radon smýgur ekki inn í.

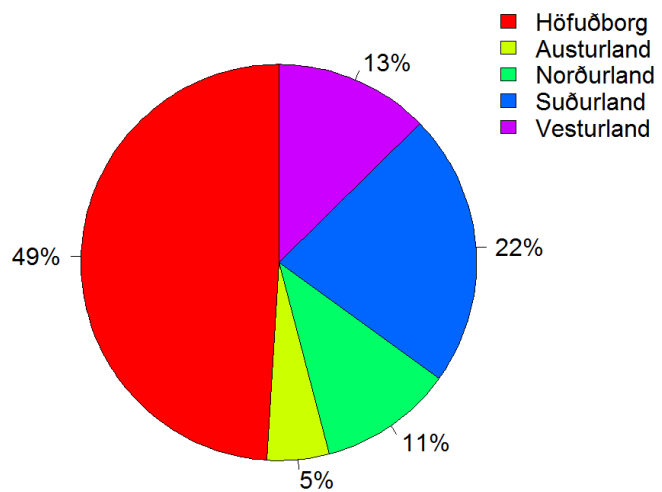
Mælistöðunum má skipta í þrennt: heimili, vinnustaði, og umhverfi.

Heimili

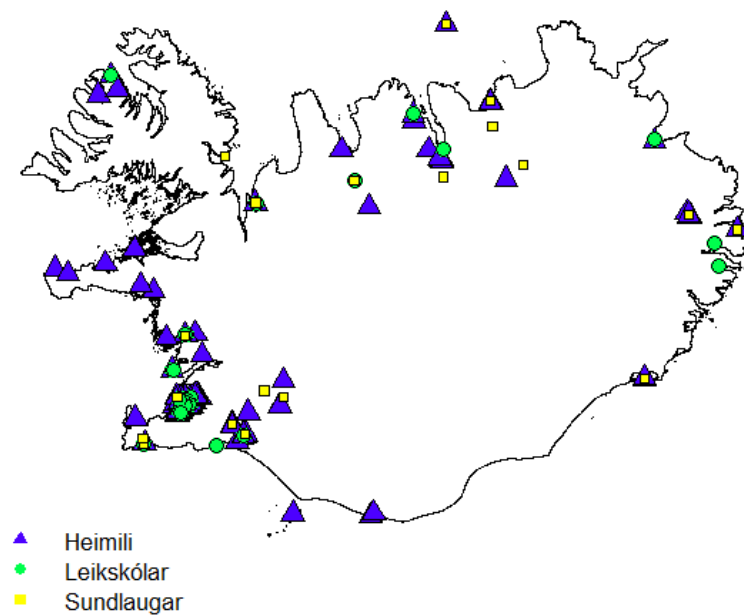
Sjálfboðaliðar fengu radonnema senda til sín ásamt leiðbeiningum um uppsetningu. Sjálfboðaliðarnir voru beðnir um að setja nemana upp í svefnherbergjum eða öðrum herbergjum sem dvalist var í að staðaldri. Nemana mátti ekki setja upp nálægt opnanlegum glugga né ofan í lokaðar hirslur. Herbergin þurftu að vera á jarðhæð eða í kjallara því það er helst þar sem radon getur safnast upp. Svefnherbergi urðu oftast fyrir valinu enda dvelst fólk þar þriðjung ævinnar að jafnaði og þannig fæst gott mat á lofti sem fólk andar að sér. Foreldrar settu gjarnan nemana upp í barnaherbergjum. Tekið var fram í leiðbeiningunum að íbúar skyldu engu breyta í venjum sínum meðan neminn væri í söfnun, þ.e.a.s. að ganga um herbergið, opna glugga og hurðir, og keyra loftræstikerfi eins og venjulega. Þannig fengist mat á radonstyrknum við sem eðlilegastar aðstæður. Sum heimili fengu tvo nema til að setja upp og voru sjálfboðaliðarnir beðnir um að setja þá báða upp sem næst hvor öðrum. Slíkir tvíburamælar voru notaðir til að meta nákvæmni aflestursins. Samtals var 321 radonnemi sendur á 278 heimili.

Vinnustaðir

Leitað var sérstaklega eftir sjálfboðaliðum á nokkrum völdum vinnustöðum, einkum leikskólum og sundstöðum. Sundstaðir urðu fyrir valinu þar sem þeir nota mikið vatn og þekkt er að radon getur borist upp úr bergi með vatni. Leikskólar voru valdir með tilliti til þess að þar dveljast börn langtímum saman og þeir eru iðulega á jarðhæð. Sendir voru út 88 nemar á samtals 31 leikskóla og 30 sundstaði.



Mynd 4: Dreifing mælistaða eftir landshluta (endurheimtir nemar). Tæplega helmingur mælistaða var á Höfuðborgarsvæðinu, tæplega fjórðungur á Suðurlandi, ríflega einn tíundi á Norðurlandi, álíka margir á Vesturlandi, og um einn tuttugasti á Austurlandi.
Figure 4: Geographic distribution of measurement locations. This distribution traces the population density partially.



Mynd 5: Kort yfir mælistaðina. Kortið sýnir þá mælistaði þaðan sem namar skiluðu sér úr söfnun og niðurstöður fengust.
 Figure 5: A map showing measurement locations.

Umhverfi

Til viðbótar við mælingar á húbýlum var samtals 57 nemum komið fyrir á ýmsum stöðum þar sem mögulega mætti búast við auknum styrk radons. Dæmi um slíka staði eru í aðveitugöngum vatnsfallsvirkjana, við borholur, við loftnámsholur, í radín geymslu, og niðurgrafnir í jarðvegi.

Söfnunin

Vorið 2013 voru allir nemarnir innkallaðir. Söfnunartíminn var mismunandi eftir mælistöðum, en miðað var við 12 mánuði. Eitthvað var um afföll vegna týndra nema, en að lokum fengust niðurstöður fyrir samtals 285 nema frá 250 heimilum og 70 nema frá 19 sundstöðum og 32 leikskólum.

Að söfnuninni lokinni sendu Geislavarnir alla radonnemana til framleiðandans, sem sá um aflesturinn. Alls 22 nemar voru sendir til baka í óopnuðum umbúðunum. Þeir mælar höfðu þó orðið fyrir geimgeislun og öðrum mögulegum truflunum og aflesturinn á þeim gefur mælikvarða á skekkjuna í mælingunum og lægsta mælanlega radonstyrkinn. Rákirnar voru framkallaðar í efnabaði og fjöldi rákanna var metinn með sjálfvirkri smásjá. Þéttleiki rákanna umfram bakgrunnstalningarnar var svo margfaldaður með kvörðunarstuðli sem var ákvarðaður sérstaklega fyrir þessa nema. Að lokum var deilt í niðurstöðuna með lengd mælitímabilsins.

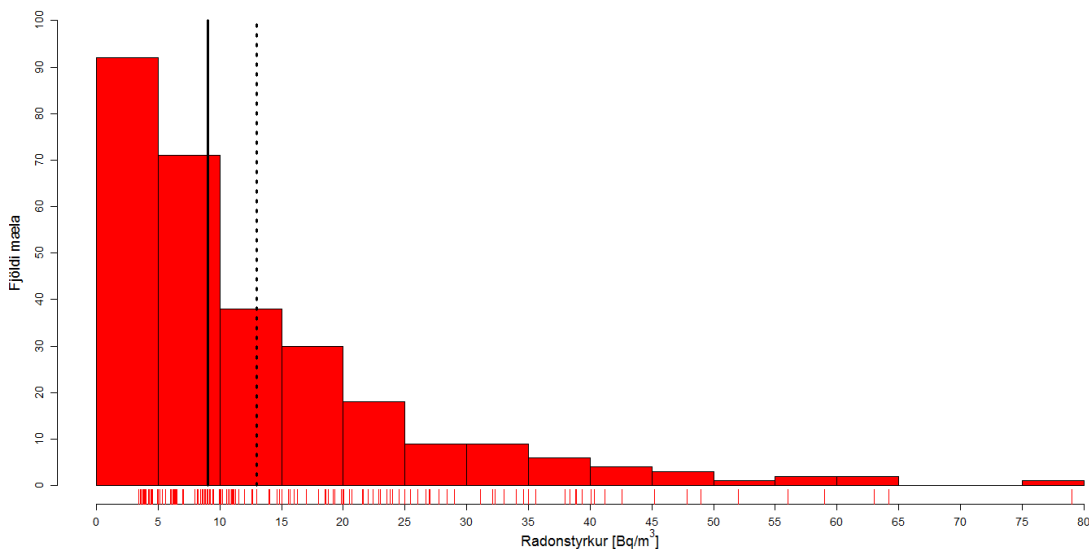
Milli þess að radonnemarnir voru teknir úr söfnun og þeir komu í aflestur til framleiðanda gætu þeir hafa farið um eða verið á svæði með háum radonstyrk og orðið fyrir geislun. Sjálfboðaliðarnir fengu einföld fóðruð pappírsumslög til að skila nemunum tilbaka til Geislavarna í. Á skrifstofu Geislavarna var þeim pakkað í lofttæmdar plastumbúðir (svipaðar og fyrir matvæli). Þessari þökkunaraðferð var beitt til að halda radoni frá nemunum. Virkni aðferðarinnar var staðfest með því að setja tvo radon nema pakkaða í plast í radíngeymslu og aðra tvo nema án umbúða á sama stað. Nemarnir sem voru pakkaðir inn mældu lítið sem ekkert radon en nemarnir sem voru opnir mældu háan styrk, eins og viðbúið var.

Niðurstöður

Í stuttu máli má segja að mælingarnar staðfestu það sem vænta mátti á grundvelli fyrri athugana og ríkjandi berggrunns á Íslandi að mjög lítið er af radoni í innlofti íslenskra híbýla.

Dreifing mæliniðurstaða

Dreifing niðurstaðanna er sýnd á Mynd 6. Meðaltal mælinganna á heimilum fyrir landið allt er 13 Bq/m^3 , og miðgildi⁵ er 9 Bq/m^3 . Þessar tölur gefa vægt ofmat á radonstyrkinn því flestar mælingarnar voru við greiningarmörk aðferðarinnar eða undir þeim (u.þ.b. $7\text{-}15 \text{ Bq/m}^3$, eftir lengd söfnunartíma). Eingöngu 5% mælinganna voru yfir 40 Bq/m^3 , en hæsta einstaka mælingin í heimahúsi (kjallari á höfuðborgarsvæðinu) var 79 Bq/m^3 .



Mynd 6: Stöplarit yfir radonstyrk í innlofti 250 íslenskra heimila (landið allt). Radonstyrkurinn er á lárétta ásnum, en fjöldi mælinga á þeim lóðrétta. Hver mæling er einnig teiknuð með striki eftir lárétta ásnum. Svarta lóðrétta línan sýnir miðgildi mælinganna, 9 Bq/m^3 , en punktalínan sýnir hvar meðaltalið, 13 Bq/m^3 , liggur.

Figure 6: A histogram of radon concentration in 250 Icelandic homes. The solid line represents the median 9 Bq/m^3 , and the dotted line shows the mean 13 Bq/m^3 .

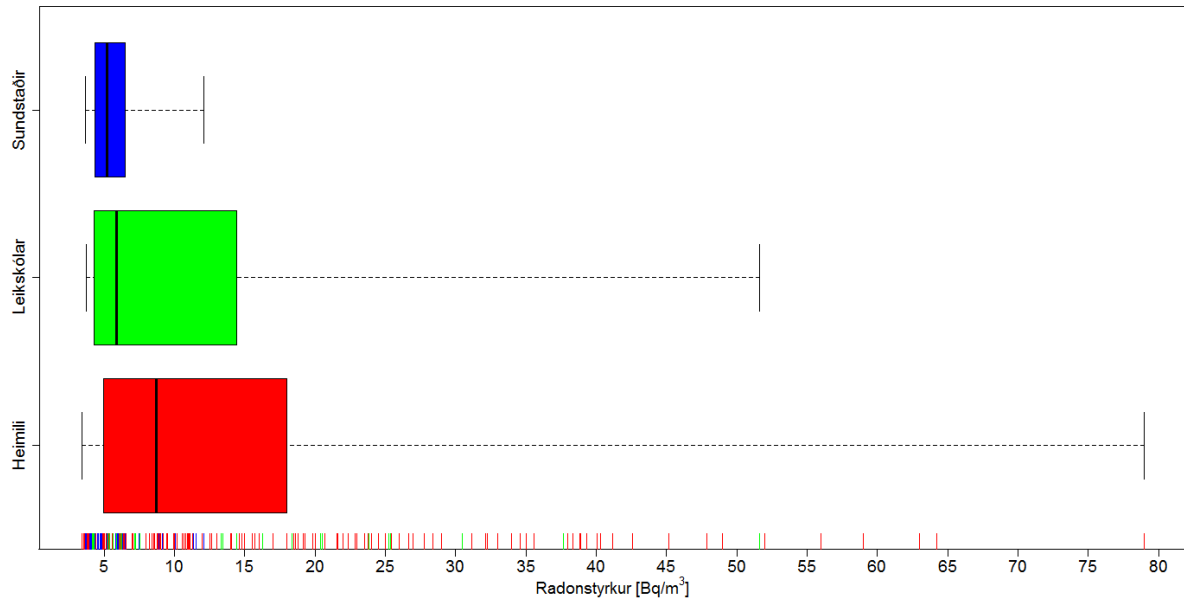
Svipaða sögu er að segja af leikskólum og sundstöðum, en niðurstöðurnar þaðan reyndust jafnvel enn lægri, væntanlega vegna góðrar loftræstingar, sjá Mynd 7.

Ekki greindist markverður munur á mælingum í kjöllurum og á jarðhæð, samkvæmt einfaldri fervikagreiningu.

Misleitar niðurstöður komu úr umhverfismælingunum enda staðirnir æði fjölbreyttir. Þessar mælingar voru að hluta til gerðar til að staðfesta mæliaðferðina og aflesturinn með því að tryggja að greinilegt merki kæmi á einhverja nemanna. Eins og vænta mátti mældist hár radonstyrkur á nemum sem voru

⁵ Miðgildi er það mæligildi sem helmingur mælinganna er undir og helmingur mæligildinna er yfir.

grafnir 50 cm í jörðu í húsagörðum á höfuðborgarsvæðinu. Aðrar umhverfismælingar gáfu lágan radonstyrk. Tafla 1 sýnir niðurstöður þessara mælinga. **Error! Reference source not found..**



Mynd 7: Kassarit með niðurstöðum, flokkað eftir tegund mælistaða. Styrkur radons [Bq/m³] er á lárétta ásnum og einstakar mælingar eru teiknaðar sem lituð strík eftir honum. Kassarnir tákna það rek umhverfis meðaltalið sem helmingur mælinganna falla innan. Svörtu línurnar í kössunum tákna miðgildi mælinganna.

Figure 7: A box plot with whiskers of the radon concentration results divided into location type: homes (red), kindergartens (green), swimming pools (blue).

Tafla 1: Niðurstöður ýmissa umhverfismælinga. Athugið að þessar mælingar eru á lofti sem enginn andar að sér að staðaldri. Table 1: Results of various field measurements. Note that no one has prolonged exposure to the air in these locations.

Mælistaður

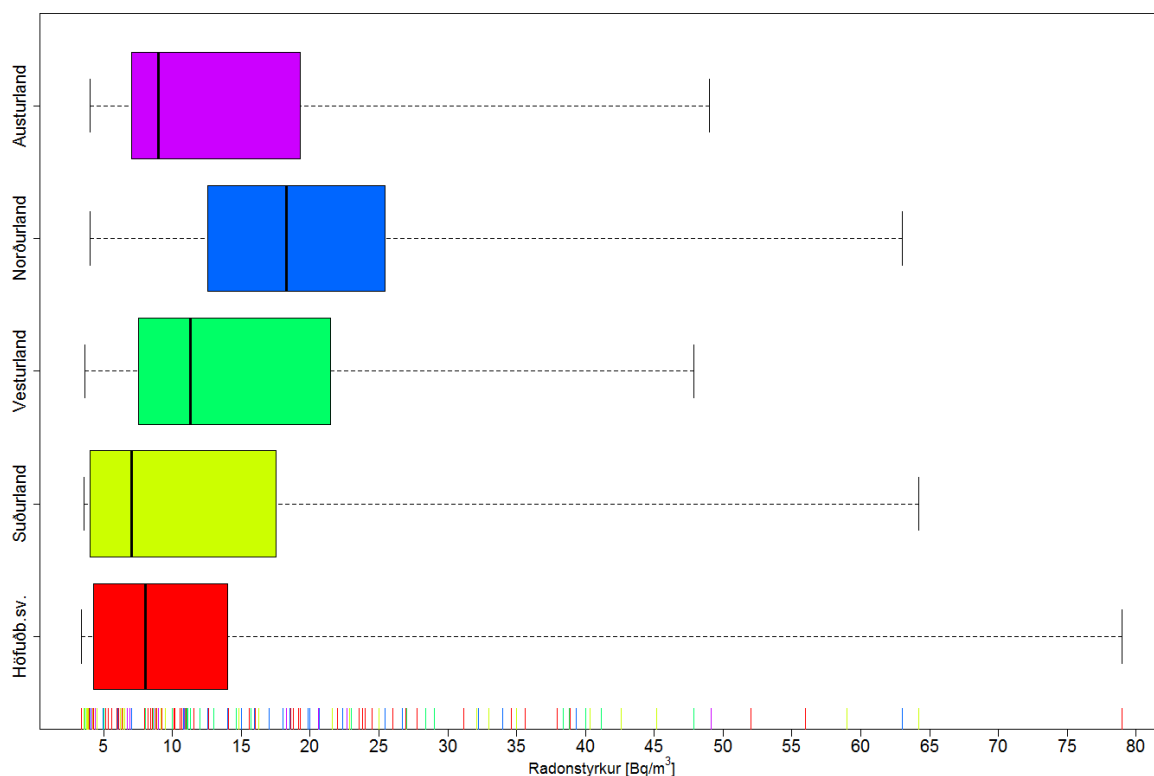
Radonstyrkur

Á 50 cm dýpi í jarðvegi (Skiopholt)	1 000-1 300 Bq/m ³
Á 50 cm dýpi í jarðvegi (Langholtsvegur)	440 Bq/m ³
Aðveitugöng Fljótdalsvirkjunar	94 Bq/m ³
Aðrar ,umhverfismælingar`	< 40 Bq/m ³

Dreifing eftir landshlutum

Leitast var við að dreifa mælistöðunum yfir allt landið, en þó að teknu tilliti til fólksfjölda á hverjum stað. Mælistaðirnir voru um allt land en þeir voru tiltölulega fáir á Austurlandi, eins og Mynd 4 sýnir.

Niðustöður mælinga fyrir hvern landshluta eru birtar í Töflu 2 og Mynd 8. Gildin eru allsstaðar lág en styrkur radons er heldur hærrí á Norðurlandi en í öðrum landshlutum. Breytileikinn innan hvers landshluta er þó mun meiri en breytileikinn á milli landshluta.



Mynd 8: Kassarit með dreifingu radonstyrks, flokkað eftir landshluta. Kassarnir tákna það bil sem helmingur mælinganna fellur innan, miðjað um meðaltal mælinganna. Miðgildin eru táknuð með lóðrétum línum í kössunum. Munur á miðgildunum er lítil samanborið við stærð kassana.

Figure 8: A box plot with whiskers showing the radon concentration, by region: Capital area (red), South (yellow), West (green), North (blue), East (purple). Horizontal lines in the boxes represent the median values.

Tafla 2: Niðurstöður radonmælinga á heimilum ásamt fjölda mælinga, flokkað eftir landshluta. Helmingur mæligildanna er undir miðgildi og helmingur liggur þar fyrir ofan.

Table 2: Radon concentration results (lowest, median, mean, highest, count) organised by region (Capital area, South, West, North, East).

Staður	lágildi [Bq/m ³]	miðgildi [Bq/m ³]	meðaltal [Bq/m ³]	hágildi [Bq/m ³]	fjöldi nema
Höfuðborgarsvæðið	3.4	8.0	11.4	79.0	154
Suðurland	3.6	7.0	14.1	64.2	63
Vesturland	3.6	11.2	15.9	47.9	35
Norðurland	4.0	18.3	20.3	63.0	22
Austurland	4.0	9.0	14.7	49.0	11
					285

Samanburður við önnur lönd

Til samanburðar má líta til nágrannalöndanna. Í Danmörku⁶ er meðalradonstyrkur í einbýlishúsum um 77 Bq/m³. Norsku geislavarnirnar⁷ hafa mælt radonstyrk allt að 10 000 Bq/m³ í innilofti, en algeng gildi í Noregi eru á milli 100 Bq/m³ og 200 Bq/m³. Sænska geislavarnastofnunin⁸ hefur mælt radonstyrk allt að 80 000 Bq/m³ og áætlað að um hálf milljón húbýla þar í landi hafi inniloft með radonstyrk yfir 200 Bq/m³.

Í nýrri grunnöryggistilskipun Evrópusambandsins um geislavarnir⁹ (European Union 2014) eru ákvæði (54. grein og 74. grein) um að aðildarríkin skuli lögleiða leyfilegan hámarksstyrk radons í innilofti íbúðarhúsnæðis og atvinnuhúsnæðis og að þau mörk skuli vera undir 300 Bq/m³. Í tilskipuninni er vísað til þess að nýlegar niðurstöður faraldsfræðilegra rannsókna sýni tölfræðilega marktæka aukna hættu á lungnakrabbameini af völdum langvarandi geislunar frá radoni sé styrkur þess í innilofti um eða yfir 100 Bq/m³. Hámarksstyrkur radons sem mældist í rannsókn Geislavarna er langt undir viðmiðunarmörkum Evrópusambandsins.

Í skýrslu Vísindanefndar Sameinuðu þjóðanna um áhrif atómgeislunar frá árinu 2006 má finna samanburð á radonstyrk víða um heim (UNSCEAR 2006). Þar kemur fram að meðalstyrkur radons í innilofti á heimsvísu er um 40 Bq/m³.

Gjarnan er litið til Japan sem dæmi um stað þar sem lítið er um radon. Japan er einnig eldfjallaeyja á basalt bergrunni og þar er einnig eldfjallajarðvegur sem er sjaldgæfur annar staðar. Samkvæmt skýrslu UNSCEAR (UNSCEAR 2006) hafa kannanir á radoni í innilofti í Japan gefið meðaltalsstyrk á bilinu 15 - 20 Bq/m³ sem er sambærilegt við gildin á Íslandi.

⁶ Sjá <http://sundhedsstyrelsen.dk/da/sundhed/straalebeskyttelse/radon> (sótt 15.06.2014)

⁷ Sjá <http://www.nrpa.no/dav/b55a74e6b2.pdf> (sótt 15.06.2014)

⁸ Sjá <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/start/Radon/Radonkallor/> (sótt 15.06.2014)

⁹ Tilskipanir ESB um geislavarnir falla ekki undir EES samninginn og gilda því ekki á Íslandi.

Geislaálag vegna radons á Íslandi

Geislaálag er stærð sem metur heilsufarslega áhættu vegna geislunar á fólk með tilliti til tegundar geislunar (t.d. alfageislun eða gammageislun) og viðkvæmni líffæra sem verða fyrir henni. Mælieining geislaálags heitir sívert¹⁰ (e. Sievert), skammstafað Sv.

Geislaálag af völdum radons er reiknað með því að gefa sér nokkrar forsendur. Geislaálagið fer eftir styrknum, hversu miklum tíma fólk eyðir innandyrá, hlutfalli dótturefna radons í loftinu, og fleiri breytum. Alþjóðageislavarnaráðið¹¹ gefur út umreiknistuðla miðað við almennar aðstæður (ICRP 1993).

Ef gert er ráð fyrir að fólk eyði um 80% tíma síns innandyrá (um 7000 klukkustundir á ári) eins og er gert í mörgum erlendum rannsóknum, að meðalstyrkurinn sé 13 Bq/m³, og umreiknistuðlar ICRP fyrir fullorðna notaðir (um 0,017 mSv á ári fyrir hvert Bq/m³) þá fæst að meðalgeislaálag af völdum radons á Íslandi er um 0,2 mSv á ári. Þetta gildi er mun lægra en annarstaðar í Evrópu og langt innan marka við mat á hugsanlegri heilsufarsáhættu, samanber viðmiðunarmörk ESB. Á netinu má finna tól¹² til að reikna geislaálagið miðað við aðrar forsendur.

Ljóst er að geislaálag vegna radons er lægra hér en í flestum öðrum löndum. Samkvæmt skýrslu UNSCEAR (UNSCEAR 2008) er meðalgeislaálagið vegna radons á heimsvísu 1,26 mSv á ári og breytileikinn milli landa er mikill: 0,2 mSv – 10 mSv á ári.

¹⁰ Sívert er stór eining svo að oftast er talað um mSv (millisívert = einn þúsundasti úr Sv), µSv (míkrósívert = einn milljónasti úr Sv) eða jafnvel nSv (nanósívert = einn milljarðasti úr Sv).

¹¹ Sjá <http://icrp.org/>

¹² Sjá t.d. <http://www.wise-uranium.org/rdcrn.html>

Óvissuþættir

Óvissa í mati á geislaálagi af völdum radons er einkum vegna eftirfarandi þátta:

1. Óvissa í mælingum

Mælióvissan í mælingum með rákanemum fer eftir rákaþéttleika á plastflögunni. Sé fjöldi ráka of mikill geta gígarnir skarast og talningin orðið óvissari. Sé rákafjöldinn lágur er talningaóvissa ráðandi. Aðferðin er kvörðuð þannig að hún skili niðurstöðum með 5% óvissu fyrir um 150 Bq/m³. Fyrir um 10 Bq/m³ er óvissan hærri, eða um 20%.

2. Ofmat á styrk radons

Niðurstöðurnar fyrir innloft á heimilum eiga eingöngu við radonstyrk á jarðhæð eða í kjallara. Það er þekkt að því ofar sem mælt er í húsum því minna radon mælist. Meirihluti Íslendinga, einkum í þéttbýli, búa á annarri hæð eða ofar í byggingum og anda því að sér lægri radonstyrk en hér var mældur. Meðalstyrkurinn sem hér er reiknaður gefur því fremur of hátt en of lágt mat á geislaálagi almennings á Íslandi vegna innöndunar radons.

3. Val á þátttakendum í rannsókninni

Heimilin voru sjálfvalin en ekki slembivalin. Auglýst var víða eftir sjálfboðaliðum og nær allir sem svöruðu fengu nema. Það var því mælt á heimilum fólks sem óskaði eftir upplýsingum um radon hjá sér. Sumir sjálfboðaliðanna höfðu einhverja ástæðu til að hafa sérstakan áhuga á radonmælingum og þetta þýðir mögulega bjögun samanborið við slembivalið úrtak. Ólíklegt verður að teljast að sú bjögun, ef einhver er, leiði til vanmats á radonstyrkinn hér á landi.

Óvissa og aðrir skekkjuvaldar breyta ekki meginíðurstöðu rannsóknarinnar: Radonstyrkurinn í innlofti híbýla á Íslandi er lítill og langt undir viðmiðunarmörkum Evrópusambandsins.

Lokaorð

Niðurstöður radonmælinganna sem hér eru kynntar eru í góðu samræmi við það sem vænta mátti með hliðsjón af ríkjandi berggrunni og fyrri mælingum. Þær staðfesta að meðalstyrkur radons í innlofti á Íslandi er mjög lítill (13 Bq/m^3) og mun lægri en í nágrannalöndunum. Styrkurinn er einnig langt undir viðmiðunarmörkum Evrópusambandsins.

Geislaálag Íslendinga vegna radons í innlofti er um $0,2 \text{ mSv}$ á ári, sem er einnig mun lægra en í nágrannalöndunum. Geislaálagið er væntanlega ofmetið því stór hluti Íslendinga (sér í lagi þeir sem búa á efri hæðum húsa) búa við enn lægri radonstyrk og því við enn lægra geislaálag.

Radonmælingarnar sýna ekki marktækan mun á milli landshluta, nema hvað á Norðurlandi virðist meðalradonstyrkurinn heldur hærri en annarstaðar, eða um 20 Bq/m^3 .

Hvergi mældist radonstyrkur það hár að bregðast þurfi við með sérstökum aðgerðum.

Heimildir

- American Cancer Society. 2014. *Cancer.org*. 15. 06.
<http://www.cancer.org/cancer/cancercauses/othercarcinogens/generalinformationaboutcarcinogens/known-and-probable-human-carcinogens>.
- Árnason, B., Björnsson, S., Pálsson, S.E., 1981. *Real Time Monitoring of Radon as an Earthquake Precursor in Iceland. Technical Report #1*. Reykjavík: Science Institute of the University of Iceland.
- Dönsku geislavarnirnar. 2014. *Radonundersøgelse: Hovedkonklusioner*. 15. 06.
<http://sundhedsstyrelsen.dk/da/sundhed/straalebeskyttelse/radon/boliger/landsomfattende-radonundersoegelse/hovedkonklusioner.aspx>.
- Ennow, K.R., Magnússon, S.M. 1982. *Natural Radiation in Iceland and the Faroe Islands*. Kaupmannahöfn: Statens Institut for Straalhygiejne.
- European Union. 2014. „COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013.“ *Official Journal of the European Union* 13/1: 1-73. Skoðað 15. 06 2014. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:EN:PDF>.
- ICRP. 2010. „Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon.“ *ICRP Publication 115*.
<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20115>.
- ICRP. 1993. „Protection Against Radon-222 at Home and at Work.“ *Annals of the ICRP*, September.
<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2065>.
- ICRP. 2007. „The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.“ *ICRP Publication 103*. <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>.
- Norsku Geislavarnirnar. 2014. *Om Radon*. 15. 06. <http://www.nrpa.no/fakta/89991/om-radon>.
- Radosys Inc. 2014. „RADOSYS User Manual for the RSKS alpha track detector.“ *Radosys.com*. 15. 06.
http://www.radosys.com/index_htm_files/RSKS_RS_Man82-130129_c.pdf.
- Theodórsson, P., P. Einarsson, og G.I. Guðjónsson. 2001. „Ný radonmælikerfi og jarðskjálftarnir á Suðurlandi í júní 2000.“ *Eðlisfræði á Íslandi X* 41-50.
- Thorkelsson, Th. 1906. „Die Ionisation in Gasen vermittelt eines ungeeichten Elektroskops bestimmt.“ *Physicalische Zeitschrift* 7. Jahrgang No 22. 834-835.
- UNSCEAR. 2006. *EFFECTS OF IONIZING RADIATION*. VOL II, New york: United Nations.
- UNSCEAR. 2008. *Sources and Effects of Ionizing Radiation Volume I Annex B*. Report to the General Assembly with Scientific Annexes, New York: United Nations. Skoðað 03. 07 2014.
http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_Annex_B.pdf.
- World Health Organisation -edited by Hajo Zeeb and Ferid Shannoun. 2009. „WHO Handbook on Indoor Radon - A Public Health Perspective.“ *WHO.int*.
http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf.

