
Viðbúnaður við geislavá

Lýsing viðbúnaðarstarfsemi Geislavarna ríkisins,
síðari hluta árs 2009



GEISLAVARNIR RÍKISINS

ICELANDIC RADIATION SAFETY AUTHORITY

Sigurður Emil Pálsson
Óskar Halldórsson Holm

Viðbúnaður við geislavá

*Viðbúnaðarstarfsemi Geislavarna ríkisins
síðari hluta árs 2009*

Sigurður Emil Pálsson
Óskar Halldórsson Holm

Forsíðumynd:

Tveir af starfsmönnum Geislavarna, ásamt sænskum starfsfélagi, á viðbúnaðaræfingunni DEMOEX sem haldin var í Svíþjóð haustið 2006. Fjöldi norrænna sérfræðinga og viðbragðsaðila tóku þátt í æfingunni. Myndin sýnir einn þátt, þar sem fara þurfti inn á og gera úttekt á vettvangi, þar sem geislavirk efni var að finna og gæta þurfti varúðar. Æfingasvæði sænska hersins var notað undir þennan þátt æfingarinnar. Efst í hægra horni myndar er aðvörunartákn jónandi geislunar.

Febrúar 2010

Geislavarnir ríkisins
Rauðarárstíg 10
150 Reykjavík
sími: 5528200 fax: 5528202
www.geislavarnir.is gr@gr.is
ISBN 978-9979-9977-9-5



GEISLAVARNIR RÍKISINS

ICELANDIC RADIATION SAFETY AUTHORITY

Efnisyfirlit

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Inngangur | 4 |
| 1.1 | Efni skýrslunnar | 4 |
| 2 | Geislavirk efni og ógnir af þeirra völdum | 5 |
| 2.1 | Skaði af völdum dreifingar geislavirkra efna til umhverfis | 5 |
| 2.2 | Geislavá – ógn sem spannar vítt svið | 5 |
| 2.3 | Viðbrögð við geislavá | 6 |
| 2.4 | Geislavirk efni á Íslandi..... | 6 |
| 2.5 | Ógnir sem gætu skapað geislavá | 7 |
| 2.5.1 | Ógnir við líf og heilsu | 8 |
| 2.5.2 | Samfélagslegar og efnahagslegar ógnir | 8 |
| 2.6 | Íslenskir hagsmunir erlendis..... | 8 |
| 3 | Alþjóðleg viðmið..... | 8 |
| 3.1 | Viðmið IAEA..... | 8 |
| 3.2 | Sáttmálar Alþjóða kjarnorkumálastofnunarinnar | 9 |
| 4 | Lagarammi..... | 10 |
| 4.1 | Íslensk löggjöf..... | 10 |
| 4.2 | Tilskipanir Evrópusambandsins | 10 |
| 5 | Viðbrögð við geislavá | 11 |
| 5.1 | Viðbúnaðarvefur viðbragðsaðila, þróunarverkefni IAEA og Geislavarna | 12 |
| 6 | Erlent og innlent samstarf | 13 |
| 6.1 | Erlent samstarf | 13 |
| 6.2 | Innlent samstarf | 13 |
| 6.3 | Fræðsla, þjálfun og æfingar..... | 14 |
| 7 | Öflun og greining gagna | 15 |
| 7.1 | Gögn sem safnað er frá sjálfvirkum mælistöðvum..... | 15 |
| 7.1.1 | Gammastöðvar Geislavarna ríkisins | 15 |
| 7.1.2 | Svifryksstöðvar CTBTO..... | 15 |
| 7.1.3 | Gagnamiðlunarkerfi Evrópusambandsins: EURDEP..... | 16 |
| 7.2 | Mælingar af gefnu tilefni..... | 16 |
| 7.2.1 | Mælitæki til leitar og greiningar á vettvangi | 17 |
| 7.2.2 | Færanlegur svifrykksafnari | 17 |
| 7.2.3 | Rannsóknastofa GR | 17 |
| 7.3 | Upplýsingar um atvik erlendis | 17 |
| 7.3.1 | Samstarf norrænna geislavarnastofnana | 17 |
| 7.3.2 | Samhæfingarmiðstöð IAEA (IEC) | 18 |
| 7.3.3 | Viðbúnaðarboðkerfi Evrópusambandsins (ECURIE) | 18 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.4 | Greiningartól | 18 |
| 7.4.1 | IXP NARAC | 18 |
| 7.4.2 | Alþjóðleg samvinna um mat mælinga - Triage | 19 |
| 8 | Viðbúnaðartengdar rannsóknir | 19 |
| 8.1 | Matvæli og umhverfi | 20 |
| 8.1.1 | Tilfærslustuðlar – nýtt mat IAEA á tilfærslustuðlum | 21 |
| 8.1.2 | Samræmt evrópskt mat á áhrifum úrfellis: ECOSYS og takmarkanir þess | 21 |
| 8.2 | Dreifing geislavirks úrfellis á Íslandi | 21 |
| 8.3 | Tilfærsla geislavirkra efna frá jarðvegi í gróður og matvæli | 22 |
| 8.4 | Cs-137 í mjólk | 23 |
| 8.5 | Cs-137 í lambakjöti | 24 |
| 8.6 | Cs-137 og önnur efni (Tc-99) í sjó og sjávarafurðum..... | 24 |
| 8.7 | Alþjóðlegar samantektir - AMAP | 25 |

Viðauki 1 - Geislavá

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Bakgrunnur..... | 26 |
| 1.1 | Ógn: Líkur og áhrif | 26 |
| 1.2 | Heilsufarsleg áhrif geislunar | 26 |
| 1.3 | Umhverfisáhrif | 27 |
| 1.4 | Samfélagsleg áhrif | 27 |
| 2 | Uppsprettur Geislavár | 28 |
| 2.1 | Geislavirk efni | 29 |
| 2.2 | Kjarnorkuver og smærri kjarnakljúfar | 32 |
| 2.3 | Kjarnorkuknúin fley | 32 |
| 2.4 | Stöðvar sem meðhöndla kjarnkleyf efni..... | 32 |
| 2.5 | Kjarnorkuvopn..... | 32 |
| 2.6 | Misbeiting geislunar af ráðnum hug..... | 33 |
| 3 | Reynsla af fyrri atvikum..... | 33 |
| 3.1 | Atvik í kjarnorkuiðnaði | 33 |
| 3.2 | Kjarnorkuknúinir kaþbátar | 34 |
| 3.3 | Slys með kjarnorkuvopn | 35 |
| 3.4 | Fall gervihnattar með kjarnakljúf | 35 |
| 3.5 | Atvik af ráðnum hug | 35 |
| 3.6 | Tilraunasprengingar | 35 |
| 3.7 | Friðsamlegar sprengingar..... | 36 |
| 4 | Heimildir..... | 36 |

Viðauki 2 - Greinar og skýrslur

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Vísindagreinar | 37 |
| 2 | Norrænar skýrslur með framlagi frá Geislavörnum | 38 |

1 Inngangur

1.1 Efni skýrslunnar

Þessi skýrsla lýsir viðbúnaðarstarfi Geislavarna ríkisins. Geislavarnir ríkisins hafa sinnt viðbúnaði við geislavá í áratugi og í náninni samvinnu við innlendar jafnt sem erlendar stofnanir. Áherslan hefur breyst í tímans rás; á sjöunda áratugnum var áhersla lögð á viðbúnað vegna hugsanlegrar notkunar kjarnorkuvopna, Tsjernóbyl slysið í apríl 1986 hafði mikil áhrif á allt viðbúnaðarstarf og beindi athygli að kjarnorkuverum. Fleiri atvik hafa einnig haft sín áhrif, t.d. hryðjuverkin í New York, 11. september 2001.

Skýrslan skiptist í eftirfarandi kafla, auk inngangs:

- 2. Geislavirk efni og ógnir af þeirra völdum**
Lýsing á margþættri áhættu frá geislavirkum efnum, notkun þeirra hérlendis og hvaða ógn geti stafað af þeim. Einnig er fjallað nánar um þetta efni í Viðauka 1.
- 3. Alþjóðleg viðmið**
Alþjóðlegt skipulag viðbúnaðar tekur mið af kröfum, leiðbeiningum og viðmiðum IAEA. Miðað er við að viðbúnaður við geislavá sé samþættur öðrum viðbúnaði, það endurspeglast m.a. í löggjöf.
- 4. Lagarammi**
Í lögum um geislavarnir er tiltekið að Geislavarnir ríkisins skulu annast geislunarlegan þátt viðbúnaðar við hvers kyns geislavá. Margir aðilar geta hins vegar komið að slíkum viðbúnaði með beinum eða óbeinum hætti og gildir þá lagarammi viðkomandi stofnunar um þá aðkomu.
- 5. Viðbrögð við geislavá**
Viðbrögð við geislavá taka mið af þeirri starfsemi og þeim vettvangi sem váin snertir, auk þeirra samstarfsaðila sem þurfa að koma að viðbrögðunum. Skipulag Geislavarna ríkisins miðast við að samvinnan byggji á leiðbeiningum IAEA, en að hver aðili vinni eftir sínu skipulagi. Alþjóða kjarnorkumálastofnunin hefur gefið út fjölda rita um viðbúnað, kröfurit jafnt sem leiðbeiningar. Þessi rit eru undirstaða viðbúnaðar við geislavá um víða veröld.
- 6. Erlent og innlent samstarf**
Samstarf við aðra viðbúnaðaraðila er grunnforsenda í viðbúnaðaráætlun við geislavá, en Geislavarnir ríkisins vinna einnig með fleiri aðilum t.d. þegar kemur að vöktun. Hér er miðlun upplýsinga lykilatriði.
- 7. Öflun og greining gagna**
Geislavá getur spannað vítt svið, allt frá huglægum gildum sem geta þó haft markaðsleg áhrif, til alvarlegra heilsufarslegra áhrifa. Lykill í mati á henni er öflun og greining gagna, jafnt innlendra sem erlendra.
- 8. Viðbúnaðartengdar rannsóknir**
Ísland er í mörgu ólíkt þeim löndum sem standa okkur næst. Jarðvegur er allt annarrar gerðar, landbúnaðarhættir aðrir og margt í lífsháttum. Allt þetta gerir það að verkum að afleiðingar geislaatviks hérlendis geta orðið allt aðrar en í grannlöndum okkar. Rannsóknir eru eina leiðin til að afla nauðsynlegra gagna og skilnings á hugsanlegum afleiðingum hérlendis. Með öflugri þátttöku í norrænu samstarfi á þessu sviði hefur tekist að halda kostnaði við þær í lágmarki, m.a. með öflun rannsóknastyrkja.

Í Viðauka 1 er fjallað nánar um geislavá á Íslandi og þær ógnir sem um getur verið að ræða.

2 Geislavirk efni og ógnir af þeirra völdum

2.1 Skaði af völdum dreifingar geislavirkra efna til umhverfis

Geislavirk efni sem dreifast út í umhverfið geta haft ýmis skaðleg áhrif með misalvarlegum hætti:

- Þau geta valdið bráðum skaða, jafnvel dauða.
- Þau geta valdið alvarlegum heilsufarslegum áhrifum (s.s. aukinni áhættu á krabbameini síðar).
- Þótt heilsufarsleg áhrif kunni að vera takmörkuð skv. alþjóðlegum viðmiðunum, þá geta efnin engu að síður haft þau áhrif að matvæli framleidd á viðkomandi svæði verði torseljanleg. Reynslan eftir slysið í Tsjernóbyl sýnir að tiltölulega litla mengun þarf til að svo verði.
- Slys sem fæli í sér dreifingu geislavirkra efna myndi strax kalla fram mikla þörf fyrir miðlun upplýsinga og ráðlegginga til almennings, hagsmunaaðila og fjölmiðla, hvort sem um mikið eða lítið magn efna væri að ræða.

2.2 Geislavá – ógn sem spannar vítt svið

Geislavá getur spannað mjög vítt svið, allt frá alvarlegum heilsufarslegum áhrifum niður í ótta sem á sér enga heilsufarslega stoð, en getur þó haft alvarlegar félagslegar og efnahagslegar afleiðingar. Þetta á t.d. við ef geislavirk efni hafi í reynd ekki dreifst til umhverfis eða þá í mjög takmörkuðu magni þannig að heilsufarsleg áhrif séu hverfandi. Dæmi um þetta er mynd Mynd 1 sem birtist í tímaritinu *Newsweek* þann 12. maí 1986, rúmum hálfum mánuði eftir slysið í Tsjernóbyl kjarnorkuverinu, þann 26. apríl.



Mynd 1: Skýringarmynd úr umfjöllun fréttatímaritsins *Newsweek* um Tsjernóbylslysið.

Samkvæmt þessari skýringarmynd átti mökkur geislavirkra efna að hafa borist frá slyssað yfir Skandinavíu og áfram til Íslands. Efnin bárust vissulega yfir miðbik Skandinavíu og ollu töluverðu geislavirku úrfelli þar, en mökkurinn barst ekki hingað til lands. Úrfelli frá Tsjernóbyl slysinu varð mjög takmarkað héraðs. Ótti kaupenda erlendis við hugsanlega geisla­mengun afurða héðan hefur hins vegar orðið til þess að Geislavarnir ríkisins hafa gefið út yfirlýsingar vegna útflutnings byggðar á mælingum og er enn beðið um slíkar yfirlýsingar. Þetta slys sýndi mjög greinilega að viðbrögð markaða við gruni um mengun matvæla geta verið skjót og hörð, markaðir gátu lokast og matvæli orðið ósöluhæf ef ekki var unnt, að mati kaupanda, að sýna fram á að marktæk mengun væri ekki í matvælu­num.

2.3 Viðbrögð við geislavá

Viðbúnaður Geislavarna við geislavá er því mun fjölbættari en að takmarka heilsufarslegar afleiðingar vegna notkunar geislavirkra efna hérlendis. Hann miðast við alla geislavá sem getur skaðað einstaklinga eða samfélagið, hvort sem sá skaði kann að vera heilsufarslegur, félagslegur eða efnahagslegur.

Viðbrögð við geislavá geta m.a. falið í sér að koma skjótt með sem áreiðanlegast mat á afleiðingum eða hugsanlegum afleiðingum, einnig ráðgjöf til stjórnvalda, viðbragðsaðila, almennings eða hagsmunaaðila. Matið getur þurft að byggjast á gagnaöflun og/eða mælingum Geislavarna ríkisins.

Virkt eftirlit er með öllum geislavirkum lindum á Íslandi. Séð er til þess að geymslustaður þeirra sé læstur og búinn brunavörnum. Reglugerð sem gildir um flutning geislavirkra efna krefst þess að bílar sem það gera séu merktir og búnir neyðarbúnaði svo sem varúðarskiltum og handslökkvitækjum.

Hluti viðbúnaðar byggist einnig á samningum eða samstarfi við erlenda aðila. Það felur þá í sér vissar skuldbindingar sem einnig er hluti viðbúnaðarstarfsins. Miklu máli skiptir að mat og ráðgjöf vegna viðbúnaðar við geislavá sé gert á traustum grunni, að það sé trúverðugt og rekjanlegt hvernig að verki hafi verið staðið. Geislavarnir ríkisins hlutu árið 2008 vottun skv. ISO 9001 á allri starfsemi sinni, þar á meðal viðbúnaði. Geislavarnir ríkisins eiga í viðtæku samstarfi við marga aðila um viðbúnað við geislavá, skipulagið er því háð breytingum í tímans rás og efni þessa rits þarfnast því endurskoðunar reglulega. Sú lýsing sem hér er gefin miðast við síðari hluta árs 2009.

2.4 Geislavirk efni á Íslandi

Geislavirk efni eru notuð hér á landi m.a. á sjúkrahúsum, við vegagerð, í iðnaði og í rannsóknum. Hugtakið *geislalind* er hér notað yfir geislavirkt efni í því magni að notkun þess teljist leyfisskyld. Geislavirkt efni er talið *lokuð lind* (e. *sealed source*) þegar það er á föstu formi og í þéttu lokuðu hylki þannig að það geti ekki dreifst til umhverfis, jafnvel þótt lindin lendi í eldsvoða eða sprengingu. Sé efni ekki lokuð lind þá er það talið *opin lind* (e. *unsealed source*), t.d. lofttegund, vökvi eða duft. Hér á landi eru um 110 lokaðar geislavirkar lindir. Að notkun lokinni er miðað við að þeim sé skilað til upprunalands. Skammlífar opnar lindir eru fluttar inn reglulega til notkunar á rúmlega 10 rannsóknastofum, þar á meðal vegna lækninga. Efnun vegna þessarar notkunar er fargað í samræmi við alþjóðlegar reglur og viðmið.

Auk þeirra geislalinda sem eru fluttar til landsins, þá er algengt að geislalindir séu fluttar með flugi á milli Evrópu og Norður-Ameríku. Þær geta því verið í skammtímageymslu hérlendis án þess að vera nokkru sinni tollafgreiddar inn í landið. Viðbúnaður verður þó að taka til hugsanlegra atvika vegna geislalinda í flutningi, þótt þær séu ekki tollafgreiddar inn í landið.



Mynd 2: Dæmi um geislalindir á Keflavíkflugvelli, sem komu með fraktflugi frá Evrópu og bíða þess að vera fluttar áfram til Bandaríkjanna. Þær eru í mjög tryggum hylkjum og um flutninginginn gilda strangar reglur.

2.5 Ógnir sem gætu skapað geislavá

Á Íslandi eru mögulegar uppsprettur atvika færri en hjá nágrannabjórðum okkar. Engin kjarnorkuver eða kjarnakljúfar eru eða hafa verið hér á landi. Hér er eingöngu takmarkað magn af geislavirkum efnum í notkun og sterkustu lindirnar sem hér eru notaðar eru ekki geymdar hér að staðaldri. Styrkur flestra geislalinda er tiltölulega lítill og eftirlit er mjög nákvæmt; hver einasta geislalind er skráð og sætir reglubundnu eftirliti. Landið getur talist ólíklegt skotmál hryðjuverkaárása og hernaðarlegrar beitingar geislunar¹.

En landið er ekki með öllu laust við áhættu. Í nánd við íslenska landhelgi er umferð kjarnorkuknúinna kafbáta og flugmóðurskipa; umferð um Keflavíkflugvöll liggur til og frá ýmsum stöðum sem eru álitnir búa við hryðjuverkaógn; mikill hluti flugumferðar yfir N-Atlantshaf er um íslenska flugumsjónarsvæðið; að auki halda sjóherir stórvelda stundum flotaæfingar í grennd við landið.

Fjöregg Íslendinga felst í hafinu umhverfis landið og ekki síst í ímyndinni um hreina, óspillta náttúru. Slíkt orðspor er brothætt. Komi til slyss eða atvika af ráðnum hug sem leiðir til þess að geislavirk efni sleppi út í umhverfið, geta efnahagslegu afleiðingarnar orðið dýrkeyptar, jafnvel þótt geislunin sé vel innan alþjóðlegra viðmiðana.

Geislavá vegna notkunar geislavirkra efna á Íslandi getur m.a. skapast vegna bruna, þjófanaðar, umferðarslyss, meðhöndlunar af vanþekkingu og förgunar af vangá. Sé um opnar geislalindir að ræða geta efni hellst niður eða á fólk, einnig getur þurft að sýna aðgát við bruna. Geislavá á Íslandi getur einnig orðið vegna t.d. kjarnorkuslysa í lögsögu Íslands eða erlendis. Ítarlegri umfjöllun um geislavá á Íslandi er að finna í Viðauka 1.

¹ Sjá t.d. [Terrorism Risk Index](#), Maplecroft 2010

2.5.1 Ógn við líf og heilsu

Eftir að hætt var að nota geislavirkt efni (kóbalt-60) í tæki til krabbameinslækninga hérlendis og önnur tækni tók við, þá er magn þeirra geislavirku efna sem notuð eru hér á landi lítið og heilsufarsleg ógn af þeirra völdum lítil.

Slys í kjarnorkuveri í nágrennalandi myndi vart hafa merkjanlegar heilsufarslegar afleiðingar hérlendis vegna þess að engin kjarnorkuver eru nærri Íslandi. Öðru máli gegnir um slys í kjarnorkuknúnu skipi eða kabáti við Íslandsstrendur. Í slíku tilviki gætu geislavirk efni borist á land í þeim mæli að grípa þyrfti til gagnaðgerða til varnar heilsu fólks.

Á síðari árum hefur umræða erlendis vaxið um hugsanlega notkun geislavirkra efna til hryðjuverka eða í öðrum glæpsamlegum tilgangi. Ólíklegt verður að telja að slíkri ógn verði beint að íslensku samfélagi. Hins vegar getur ógn sem beint er að öðru samfélagi hæglega bitnað á því íslenska, enda Ísland í þjóðbraut á norðurhluta Atlantshafssvæðisins, viðkomustaður skipa og flugvéla. Við skipulagningu mikillvægra alþjóðlegra viðburða (íþróttamóta, leiðtogafunda) er nú almennt miðað við að viðbúnaður við geislavá sé hluti undirbúnings.

Viðbúnaður Geislavarna ríkisins miðast við að geta brugðist við öllum slíkum ógnum sem gætu ógnað lífi eða heilsu fólks.

2.5.2 Samfélagsleg og efnahagsleg ógn

Um samfélagslegar og efnahagslegar ógnir gildir allt öðru máli en þær heilsufarslegu, sem taldar eru ólíklegar. Það er ekki spurning um hvort samfélagslegar og efnahagslegar ógnir koma, þær gera það reglulega í mismiklum mæli og á þeim þarf að taka. Algengt form slíkra ógna er að boð berast (t.d. í fréttum) að eitthvert atvik varðandi geislavirk efni hafi orðið, sem hugsanlega geti valdið áhyggjum í þjóðfélaginu og haft áhrif á efnahag (viðskipti, ferðalög, o.s.frv.). Algeng viðbrögð Geislavarna ríkisins við slíkum atvikum er að afla skjótt frekari upplýsinga, greina þær, leggja mat á atvikið og hvort viðbragða sé þörf og koma síðan ráðleggingum til skila til viðeigandi aðila (t.d. fjölmiðla, ef upphafleg fyrirspurn barst þaðan; Borgaraþjónustu utanríkisþjónustunnar; vef Geislavarna). Í flestum tilvikum má leiða fljótt gild rök að því að viðkomandi atvik sé takmarkað að umfangi og gefi ekki tilefni til þess að hafa áhyggjur eða jafnvel að viðkomandi orðrómur sé ósannur. Miklu máli skiptir að þessi greining sé gerð fljótt og með sem áreiðanlegustum hætti.

2.6 Íslenskir hagsmunir erlendis

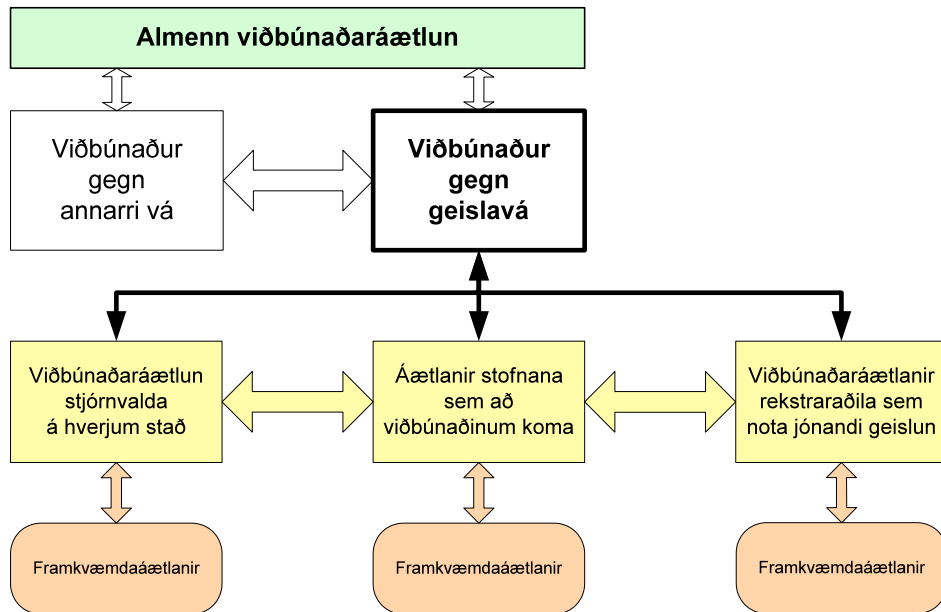
Eins og kom fram hér að ofan þá geta hagsmunir Íslands skaðast mjög við geislaslys í okkar heimshluta, jafnvel þótt engin marktæk heilsufarshrif eða umhverfisspjöll verði á landinu –óttinn við slíkt er jafnskæður ímynd Íslands sem hreint og ómengað land. Skaðist þessi ímynd Íslands, munu fylgja því alvarlegar afleiðingar fyrir útflutning og ferðaiðnað. Það er því mikilvægt, komi upp tilviki, að sem best upplýsingaflæði berist með skjóttum hætti til almennings og fjölmiðla, en það er besta leiðin til að draga úr ótta og tortryggni umfram það sem efni standa til.

3 Alþjóðleg viðmið

3.1 Viðmið IAEA

Til að viðbúnaður við geislavá sé trúverðugur á alþjóðlegum vettvangi þarf hann að byggjast á alþjóðlega viðurkenndum viðmiðum. Viðbúnaður við geislavá er eitt af meginviðfangsefnum Alþjóða kjarnorkumálastofnunarinnar (IAEA) og hefur stofnunin gefið út margvíslegar kröfur, viðmiðanir og

leiðbeiningar um skipulag viðbúnaðar. Nánari tilvísun í þessi rit er að finna í kafla 5. Geislavarnir byggja sín viðbrögð við geislavá á viðmiðum og leiðbeiningum IAEA sem mæla með að viðbúnaður við geislavá sé samþættur öðrum viðbúnaði í hverju ríki allt frá einstökum rekstraraðilum til viðbragðsaðila og stjórnvalda. Þessu er lýst í eftirfarandi skýringarmynd :



Mynd 3: Skýringarmynd af tillögum IAEA. Geislavarnir ríkisins þýddu skýringartexta.

Viðbúnaðarstarf Geislavarna ríkisins hefur því ekki miðast við að byggja upp sjálfstætt viðbúnaðarskipulag við geislavá, heldur við að samhæfa viðbúnað við geislavá viðbúnaði við annarri vá. Rit IAEA hafa verið lögð til grundvallar. Miðað er við almennt skipulag hvers aðila og þeir þættir sem lúta að viðbúnaði gegn geislavá felldir að því. Sé þörf á umfangsmikilli samhæfingu, þá er miðað við að hún fari fram í samhæfingar- og stjórnstöð almannavarnadeildar ríkislögreglustjóra. Þessi nálgun endurspeglast í lagaramma um viðbúnaðarstarf Geislavarna. Löggjöfin er einföld og almenn og ekki er fjallað nákvæmlega um útfærslu viðbúnaðarstarfsins (sjá nánar kafla 4.1).

3.2 Sáttmálar Alþjóða kjarnorkumálastofnunarinnar

Á vegum Alþjóða kjarnorkumálastofnunarinnar hafa verið gerðir sáttmálar um gagnkvæmar tilkynningar (*IAEA Convention on Early Notification of a Nuclear Accident*) og aðstoð (*IAEA Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency*). Ísland er aðili að þessum sáttmálum. Sá fyrri skuldbindur ríki til að tilkynna um kjarnorkuslys innan landamæra sinna. Sá síðari gefur ríkjum rétt til að leita aðstoðar komi til geislunarslyss. Sáttmálinn tekur til geislunarslysa almennt (hvort sem rótin er kjarnorka eða geislavirk efni af öðrum toga) og aðstoðin sem unnt er að fara fram á getur snúist um tækjabúnað, mannafla og upplýsingar. Eitt ríki getur t.d. kafið annað ríki um upplýsingar á grundvelli sáttmálans, telji það að í hinu ríkinu hafi orðið einhver sá atburður sem geti snert hagsmuni fyrirspurnarríkis (t.d. vegna heilsufarslegra eða efnahagslegra afleiðinga). Aðild að þessum sáttmála er því mjög mikilvæg. Geislavarnir hafa tekið þátt í fundum aðildarríkja þessara sáttmála fyrir tilstuðlan utanríkisráðuneytisins. Norðurlönd hafa haft með sér náið samstarf á þessum fundum og sameiginlega stuðlað að aukinni miðlun upplýsinga á milli aðildarríkja.

Geislavarnir ríkisins teljast samkvæmt sáttmálunum stjórnvald á sviði viðbúnaðar gegn geislavá, *National Competent Authority* (NCA). Mjög mikilvægt er fyrir hvert ríki að hafa stjórnvaldsstofnun sem telst hæf á þessu sviði, því ef ríki þarf að þiggja aðstoð vegna slyss eða atviks þá er aðstoðin oft

bundin því skilyrði að hún sé umbeðin af NCA í viðkomandi ríkis og NCA sé tengiliður. Ýmsum viðbúnaðartengdum upplýsingum er einnig einungis miðlað til NCA.

4 Lagarammi

4.1 Íslensk löggjöf

Íslensk löggjöf um geislavarnir og framkvæmd hennar er í samræmi við löggjöf Evrópusambandsins um geislavarnir og framkvæmd hennar. Um geislavarnir á Íslandi gilda *lög um geislavarnir*, nr. 44/2002, með breytingum sem gerðar voru með lögum nr. 28/2008 og sem tóku gildi 1. jan. 2009.

Lögnum er ætlað að tryggja nauðsynlegar öryggisráðstafanir gegn geislun frá geislavirkum efnum og geislatækjum í því skyni að takmarka skaðleg áhrif hennar. Geislavarnir ríkisins, sem heyra undir heilbrigðisráðherra, annast öryggisráðstafanir gegn geislun af þessu tagi. Notkun geislavirkra efna og geislatækja á Íslandi er einkum í heilbrigðiskerfinu. Innflutningur, geymsla, notkun, förgun og útflutningur geislavirkra efna er háður leyfi og reglubundnu eftirliti Geislavarna ríkisins. Litlar líkur eru því á að geislavirkar lindir lendi á vergangi eða komist án leyfis inn í landið.

Um geislavarnir vegna notkunar geislavirkra efna á Íslandi gilda reglugerðir nr. 809/2003 (opnar geislalindir) og nr. 811/2003 (lokaðar geislalindir). Þar eru m.a. gerðar öryggiskröfur hvað varðar notkun og geymslu geislavirkra efna sem og viðbúnað og viðbrögð við geislaslysum. Í reglugerðunum er sérstaklega tekið fram að geislavirk efni skuli ávallt vera tryggilega varin gegn þjófnaði og því að þau komist í hendur óviðkomandi aðila. Samkvæmt lögum um geislavarnir nr. 44/2002 bera eigendur og ábyrgðarmenn í umboði þeirra ábyrgð á því að notkun geislavirkra efna sé í samræmi við lög og reglugerðir settar samkvæmt þeim.

Í 5. grein laganna er tiltekið að Geislavarnir ríkisins skulu annast (m.a.):

...geislunarlegan þátt viðbúnaðar við hvers kyns geislavá, m.a. greiningu á ógn af hennar völdum, samhæfingu viðbúnaðar við alþjóðleg viðmið, rekstur viðbúnaðar- og geislaælikerfa og annað því tengt.

Í lögum er ekki útfært nánar hvernig skipulag viðbúnaðar við geislavá skuli vera. Starf Geislavarna miðar við að lög sé til grundvallar sú samþætting sem IAEA lýsir. Þannig er t.d. almennt skipulag almannavarna, löggæslu og slökkviliðs lagt til grundvallar, Geislavarnir ríkisins koma fram með sérþekkingu inn í skipulagið eftir því sem við á. Þetta endurspeglast einnig í lögum nr. 82/2008 um almannavarnir, samkvæmt þeim er forstjóri Geislavarna ríkisins einn þeirra sem á sæti í almannavarna- og öryggismálaráði.

Samkvæmt sóttvarnalögum nr. 19/1997, með áorðnum breytingum, eiga Geislavarnir ríkisins fulltrúa í sóttvarnaráði þegar það fjallar um mál sem tengjast starfsemi stofnunarinnar. Í 11. grein laganna er þess einnig getið að heilbrigðisráðherra skipi sérstaka samstarfsnefnd til að afla nauðsynlegra gagna og hafa yfirumsjón með nauðsynlegum aðgerðum til að meta og uppræta hættu af ýmis konar vá, þar á meðal vegna geislavirkra efna sem ógna heilsu manna. Nefndin samhæfir viðbrögð, þegar vá ógnar heilsu manna. Sóttvarnalæknir er formaður nefndarinnar og í henni sitja að auki fulltrúar frá Geislavörnum ríkisins, Umhverfisstofnun og Matvælastofnun.

4.2 Tilskipanir Evrópusambandsins

Tilskipanir Evrópusambandsins um jónandi geislun, notkun hennar, geislavarnir og viðbúnað við geislavá hafa enga lagastoð hérlendis, enda er EURATOM samkomulagið ekki hluti samningsins um Evrópska Efnahagssvæðið (EES). Á undanförunum árum hefur hins vegar verið höfð hliðsjón af löggjöf

Evrópusambandsins (ES) við setningu laga og reglugerða á Íslandi, eftir því sem við hefur átt. Samkvæmt þeim er t.d. gerð krafa um vöktun vegna viðbúnaðar². Íslensk löggjöf á þessu sviði er orðin að mestu samhæfð löggjöf ES.

5 Viðbrögð við geislavá

Atvik vegna geislavirka efna eru iðulega allt önnur en þau sem fyrirfram hefur verið búist við. Við skipulag viðbúnaðar á Íslandi hefur því verið valin sú leið að takmarka skipulagið ekki við nokkrar fyrirframgefnar gerðir atvika, heldur hafa skipulag viðbúnaðarins almennt í eðli sínu. Áhersla er lögð á að geta beitt skjótt alþjóðlega viðurkenndum viðmiðum með rekjanlegum hætti.

IAEA hefur á síðari árum gefið út fjölda rita³ sem lýsa kröfum sem viðbúnaður þarf að uppfylla, leiðbeiningar um hvernig unnt sé að uppfylla þessar kröfur, stoðefni með tæknilegum upplýsingum auk fræðslu- og þjálfunarefnis. Sú leið hefur því verið valin að nýta beint leiðbeiningar IAEA eftir því sem unnt er og leggja mesta áherslu á að gera innihaldið sem aðgengilegast starfsfólki Geislavarna ríkisins og samstarfsaðilum. Ritin sem getið er hér að aftan hafa því verið sett inn í viðbúnaðarvef Geislavarna. Meðal helstu rita sem mið er tekið af eru:

- a) **GS-R-2, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (Safety Requirements)** - Rit með grunnkröfum varðandi viðbúnað við geislavá.
- b) **EPR-METHOD 2003 Method for Developing Arrangements for a Response to a Nuclear or Radiological Emergency (Updating IAEA-TECDOC-953)** - Þetta rit fjallar nánar um uppbyggingu viðbúnaðar, hvernig taka skuli á ýmsu atvikum sem upp kunna að koma.
- c) **IAEA-TECDOC-1162 Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency** - Þetta rit fjallar um skipulag viðbragða (t.d. á vettvangi) sé um geislunaratvik að ræða, einnig eru gefnar ráðleggingar um tölulegt mat á ýmsum þáttum sem varða geislavarnir.
- d) **IAEA-TECDOC-1092 Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency** - Þetta rit lýsir þeirri mælitækni sem ber að beita við ýmsar mælingar vegna geislunarviðbúnaðar.
- e) **Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency -IAEA-EPR-MEDICAL (2005)** - Leiðbeiningarrit um lækisfræðilega þætti viðbúnaðarins.
- f) **Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values) - IAEA-EPR-D-Values, 2006** - Það er mjög háð efnum (kjarntegundum) hversu hættuleg þau eru. Þetta rit skilgreinir viðmiðunarmörk um hvaða magn af tilteknu efni telst hættulegt.
- g) **IAEA EPR-First Responders 2006, Manual for First Responders to a Radiological Emergency** - Þetta rit markaði viss tímamót hjá IAEA. Það er skrifað fyrir viðbragðsaðila, svo sem lögreglu og slökkvilið og inniheldur leiðbeiningar fyrir þá. Sjá nánar um þetta rit í kafla 5.1.

Sum þessara rita hafa verið gefin út í samvinnu við aðrar alþjóðlegar stofnanir, t.d. WHO, Alþjóða heilbrigðismálastofnunina. Að auki eru á viðbúnaðarvef Geislavarna tilvísanir í sérhæfðara efni frá IAEA og leiðbeiningar frá ýmsum öðrum aðilum, t.d. Alþjóðageislavarnaráðinu.

Alþjóða geislavarnaráðið

Alþjóðageislavarnaráðið, ICRP, tekur saman þau grunnrit um geislavarnir sem almennt er miðað við. Á síðari árum hefur ráðið einnig tekið saman rit um viðbúnað. Rit ICRP⁴ eru fánleg á rafrænu formi

² Sjá t.d.: [Commission Recommendation of 8 June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty concerning the monitoring of the levels of radioactivity in the environment for the purpose of assessing the exposure of the population as a whole.](#)

³ Sjá yfirlit á vef IAEA: <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/emergency/iec/frg/publications.htm>

⁴ <http://www.sciencedirect.com/science/journal/01466453>

án endurgjalds vegna samnings um rafrænan aðgang íslenskra notenda að rafrænum gagnagrunnum. Mörg ritanna um geislavarnir hafa einnig þýðingu varðandi viðbúnað við geislavá, en tvö nýleg rit sem fjalla sérstaklega um viðbúnað eru:

- a) **ICRP 96: Protecting People against Radiation Exposure in the Event of a Radiological Attack** (2005)
- b) **ICRP 109: Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations** (2009)

Gagnleg stoðrit má fá frá öðrum en IAEA og ICRP, t.d. rit þar sem almenn viðmið IAEA hafa verið útfærð nánar og löguð að þörfum ákveðinna markhópa, t.d. viðbragðsaðila:

- a) **WISER (US)** (f. viðbragðsaðila, inniheldur m.a. farvef IAEA og *2008 Emergency Response Guidebook (ERG)*)
- b) **TMT - Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act** (læknisfræðilegt, vísar m.a. í REMM, evrópskt, styrkt af ES)
- c) **REMM (US) Radiation Event Medical Management** (læknisfræðileg viðmiðun, kerfi ætlað til upplýsingamiðlunar þegar þörf krefur)

Fyllri yfirlit⁵ um stoðefni vegna viðbúnaðar við geislavá má finna á þeim vefsetrum sem hér hefur verið vísað til. Þess skal gætt þegar rit frá Bandaríkjunum (US) eru notuð, að ýmsar tölulegar viðmiðanir og löggjöf eru frábrugðnar því sem gildir hérlendis.

5.1 Viðbúnaðarvefur viðbragðsaðila, þróunarverkefni IAEA og Geislavarna

Viðbragðsaðilar (t.d. lögregla og slökkvilið) eru oft þeir aðilar sem fyrstir taka á atvikum sem snerta geislavá. Slík atvik eru of fátíð og margvísleg til að raunhæft sé að ætlast til að þeir haldi fullri þjálfun til að geta brugðist við þeim öllum. Því er hér eins og víða annars staðar miðað við að viðbragðsaðilar hafi aðgang að stoðefni sem þeir geta miðað viðbrögð sín við, auk þess að vinna í nánu samstarfi við aðila með sérþekkingu hjá Geislavörnum ríkisins. IAEA gaf út rit *IAEA EPR-First Responders 2006, Manual for First Responders to a Radiological Emergency* og fylgdi því fljótlega á eftir með samsvarandi vefsetri, enda varð þetta rit mjög vinsælt. Í viðræðum við samhæfingarmiðstöð IAEA bentu Geislavarnir á að það væri varasamt að miða við að þurfa að nálgast þessar upplýsingar á vefnum ef viðbúnaðarástand ríkir og truflanir eru á fjarskiptum. Mun skilvirkara væri að notendur gætu verið búnir að ná efni vefsins og setja upp hjá sjálfum sér, að auki væri sjálfsagt að nota nútíma veftækni og gera mögulegt að nota efnið á farsímum og öðrum smátækjum. Þeirri ábendingu var vel tekið og þróunarverkefni ýtt úr vör með þátttöku sérfræðings frá Geislavörnum og öðrum frá Bandaríkjunum, auk sérfræðinga samhæfingarmiðstöðvar IAEA. Niðurstaðan varð ný útgáfa vefleiðbeininga, sem gera má óháða Netinu með því að vista hana á tölvu notanda, lófatölvu eða tilsvarandi smátæki. Þessi vefútgáfa myndar nú þann grunn sem leiðbeiningar Geislavarna til viðbragðsaðila á Íslandi byggja á.

⁵ Sjá t.d.: http://www.remm.nlm.gov/remm_SourcesofRadInfo.htm

[About IAEA](#) | [Our Work](#) | [News Centre](#) | [Publications](#) | [Data Centre](#) | NS | IAEA |

You are in: ... > [Guidance for First Responders](#) > [Portable Digital Tool for Assisting First Responders](#)


> Our Work

- Incidents and Emergencies
- Immediate Response Actions
- Incident Reporting
- Emergency Preparedness
- International Response System

> NS Quick Links ▾

Portable Digital Tool for Assisting First Responders

The *Portable Digital Tool for Assisting First Responders to a Radiological Emergency* is a tool that may be used by emergency service personnel as an aid in the field when responding to a radiological emergency. It is based on the material in the [IAEA Manual for first responders to a radiological emergency](#) and contains quick guides with response actions, instructions and information useful in the first response to a radiological emergency.



The tool has been designed for use on portable devices, such as handheld computers and smart phones, and requires only a web browser to be used.

Caution: The Portable Digital Tool for Assisting First Responders to a Radiological Emergency should only be used once it has been integrated with national and local emergency arrangements including translation; revision to be consistent with local organizations and concepts of operation; training conducted and finally tested during drills and exercises. Although great care has been taken to maintain the accuracy of information contained in the tool, neither the IAEA nor its Member States assume any responsibility for consequences, which may arise from its use.

- [Download \(4.3MB\)](#)
- [Try out online](#)

This product has been made available for download with the professional contribution of experts from Iceland and the United States.

Mynd 4: Vefútgáfa leiðbeininga IAEA fyrir viðbragðsaðila, sem þróuð var í samvinnu við Geislavarnir ríkisins. Sjá má neðst á myndinni að vísað er til framlags Geislavarna til þróunar þessa efnis.

6 Erlent og innlent samstarf

6.1 Erlent samstarf

Geislavarnir hafa árum saman átt í nánú samstarfi við systurstofnanir á Norðurlöndum. Á síðari árum hefur IAEA styrkt viðbúnaðarmiðstöð sína og æ meir af viðbúnaðarstarfi hefur tekið mið af því alþjóðlega samstarfi sem viðbúnaðarmiðstöðin hefur samhæft. Þetta samstarf snýst m.a. um æfingar (sbr. kafli 6.3). Stór hluti þess snýr þó að öflun og miðlun upplýsinga, sem lýst er í kafla 7. Samstarf við Evrópusambandið hefur verið aukið á síðustu árum og samstarf við Bandaríkin er einnig að aukast. Viðbúnaðartengdar rannsóknir eru mikilvægar til að afla þekkingar um ýmsa þætti sem eru frábrugðnir á Íslandi og geta haft áhrif á mat afleiðinga geislavár. Náið alþjóðlegt samstarf (sérstaklega norrænt) hefur gert mögulegt að ná góðum árangri með litlum tilkostnaði. Þessu starfi er nánar lýst í kafla 8.

6.2 Innlent samstarf

Viðbrögð við geislavá geta kallað á aðkomu margra ólíkra aðila, allt eftir eðli og umfangi.

Bráðaviðbrögð til verndar heilsu

Eftirtaldir aðilar eru meðal þeirra sem tilteknir eru í lögum um almannavarnir og sóttvarnir (sbr. kafla 4.1) og Geislavarnir ríkisins eiga samstarf við: *Ríkislögreglustjóri* (þ.á.m. *almannavarnadeild ríkislögreglustjóra*), *embætti landlæknis* og *sóttvarnalæknis*, *Landhelgisgæsla Íslands*, *Veðurstofa Íslands*, *Umhverfisstofnun* og *Matvælastofnun*.

Vöktun og rannsóknir á afleiðingum hugsanlegrar dreifingar geislavirkra efna

Innlendir samstarfsaðilar eru hins vegar mun fleiri vegna þess að viðbúnaðurinn tekur ekki einungis til bráðaviðbragða til verndar heilsu (sbr. að ofan), heldur einnig til vöktunar og rannsókna á því hverjar

afleiðingar hugsanleg dreifing geislavirkra efna til umhverfis gæti haft. Í þessum rannsóknum hefur verið lögð megináhersla á þá þætti sem eru að einhverju leyti sérstakir héraendis og geta gert það að verkum að afleiðingar héraendis gætu orðið aðrar en vænta mætti með enföldum samanburði við grannþjóðir okkar. Meðal innlendra samstarfsaðila eru því einnig: *Landbúnaðarstofnun, Hafrannsóknastofnunin, Landbúnaðarháskóli Íslands og Háskóli Íslands.*

Viðbragðsaðilar og embætti tollstjóra

Viðbúnaðarstarf Geislavarna ríkisins tekur einnig til viðbragðsaðila: *Lögreglu og slökkviliðs* höfuðborgarsvæðisins. Mikilvægt er að þessir aðilar þekki til grunnatriða geislavarna og geti nýtt sér sérfræðiþekkingu Geislavarna ríkisins ef á þarf að halda. Fræðsla hefur verið veitt og námskeið haldin. *Embætti tollstjóra* gegnir mikilvægu hlutverki við eftirlit með inn- og útflutningi geislavirkra efna. Haldið hefur verið námskeið fyrir starfsmenn embættisins og aukið samstarf er við embættið um eftirlit á þessu sviði.

Ráðuneyti

Geislavarnir ríkisins heyra undir *heilbrigðisráðuneytið*. Stofnunin hefur að auki umsjón með framkvæmd alþjóðlegra sáttmála og samninga fyrir *utanríkisráðuneytið*, ýmis önnur alþjóðleg samskipti, auk þess að veita borgarþjónustu ráðuneytisins ráðgjöf varðandi atvik sem snerta geislavá. Einnig hafa verk verið unnin í samvinnu við önnur ráðuneyti, eftir því sem óskað hefur verið eftir.

6.3 Fræðsla, þjálfun og æfingar

Geislavarnir hafa tekið þátt í viðbúnaðaræfingum í fjölda ára, bæði erlendum og innlendum. Innlendir samstarfsaðilar hafa tekið þátt í sumum þessara æfinga. Stofnunin hefur einnig gengist fyrir fræðslu og þjálfun viðbragðsaðila, tollvarða og fleiri. Geislavarnir taka reglulega (tæplega 10 sinnum á ári) þátt í æfingum vegna viðbúnaðar. Til þessa hafa þetta einkum verið alþjóðlegar æfingar til að æfa móttöku boða um vá og tilkynningu þeirra. Flestar æfinganna eru í samvinnu við geislavarnastofnanir annarra Norðurlanda, nokkrar í samvinnu við IAEA. Á árinu 2010 eru einnig fyrirhugaðar æfingar í samvinnu við Bandaríkjamenn. Vaxandi þáttur er og verður æfingar í samvinnu við innlenda aðila, t.d. viðbragðsaðila. Lítil notkun geislavirkra efna héraendis gefur ekki tilefni til margra æfinga og setur umfangi þeirra skorður. Sameiginleg þjálfunaræfing með lögreglu og slökkviliði höfuðborgarsvæðis tókst vel, var fræðandi fyrir þá sem komu að henni og hjálpaði til að staðfesta skilgreiningar á hlutverkaskiptingu á vettvangi þegar geislavá ber að höndum.



Mynd 5: Frá þjálfunaræfingu með lögreglu og slökkviliði höfuðborgarsvæðisins. Æfingin var haldin á æfingasvæði slökkviliðsins. Í æfingunni þurfti að finna og fjarlægja geislavirk efni úr bíl. Magn efnanna var mjög mismunandi.

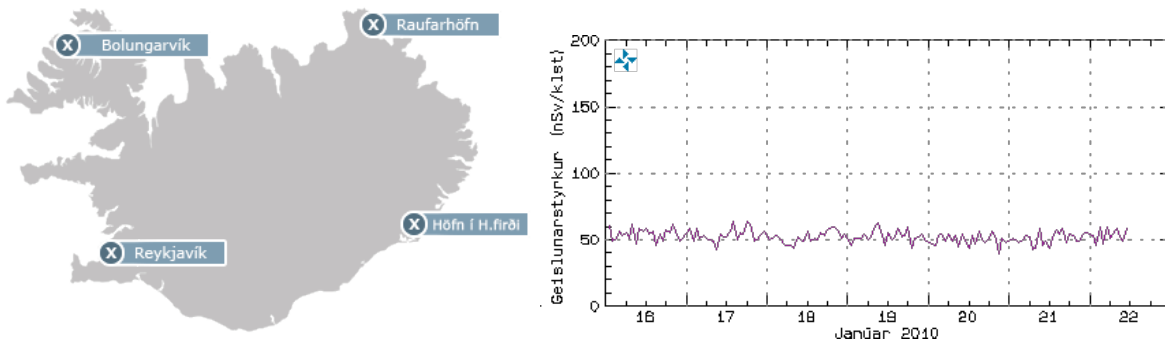
7 Öflun og greining gagna

7.1 Gögn sem safnað er frá sjálfvirkum mælistöðvum

Gögn frá sjálfvirkum mælistöðvum, hérlendis og erlendis, gegna mikilvægu hlutverki í viðbúnaði við geislavá.

7.1.1 Gammastöðvar Geislavarna ríkisins

Geislavarnir ríkisins starfrækja fjórar mælistöðvar, svokallaðar gammastöðvar, sem mæla stöðugt styrk geislunar á 4 stöðum á landinu: Reykjavík, Höfn í Hornafirði, Raufarhöfn og Bolungarvík. Starfrækslan er í samvinnu við Veðurstofu Íslands. Stöðvarnar eru við sjálfvirkar veðurstöðvar og fást því einnig mikilvægar veðrupplýsingar frá þessum stöðvum. Stöðvarnar gegna mikilvægu hlutverki til að gefa viðvörun berist geislavirk efni að ströndum landsins. Þær eru einnig mikilvægar þurfi að sannreyna að slys hafi ekki mælanleg áhrif hérlendis. Sú geislun sem stöðvarnar sýna venjulega er náttúrluleg geislun og getur hún verið örlítið breytileg eftir ýmsum aðstæðum, t.d. aukist með rigningu. Mælingar frá stöðvunum fjórum má sjá á vef Geislavarna ríkisins ásamt úrkomugögnum frá hverri stöð, sjá: <http://www.gr.is/gammastodvar/>



Mynd 6: Staðsetning gammastöðvanna fjögurra og dæmi um mældan geislunarstyrk frá einni þeirra (Raufarhöfn).

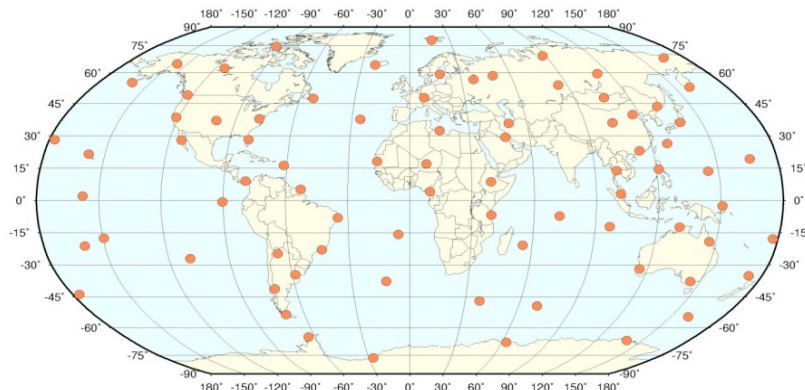
7.1.2 Svifryksstöðvar CTBTO

CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organisation) er alþjóðastofnun um allsherjarbann við tilraunum með kjarnavopn. Stofnunin hefur eftirlit með að banninu verði framfylgt og rekur með það að markmiði fjölda mælistöðva sem dreift er um hnöttinn. Ísland undirritaði alþjóðasáttmálann um allsherjarbann við tilraunum með kjarnavopn 24. september 1996, daginn sem hann var lagður fram til undirritunar, og Alþingi Íslendinga fullgilti hann 26. júní 2000. Þann 16. maí 2001 voru svo sett lög á Alþingi um framkvæmd samningsins á Íslandi. Gert var samkomulag um að Geislavarnir ríkisins tækju að sér að setja upp og reka mjög næma sjálfvirka mælistöð sem safnar svifryki úr miklu magni lofts (yfir $500 \text{ m}^3/\text{klukkustund}$) og greinir þau geislavirku efni sem safnast á einum sólarhring. CTBTO greiðir rekstrarkostnað að fullu. Samstarfið var fest enn frekar í sessi með því að milliríkjasamningur⁶ var undirritaður 13. október 2005 á milli Íslands og CTBTO, sem tók m.a. til reksturs mælistöðvarinnar. Geislavarnir ríkisins gegna einnig hlutverki gagnamiðstöðvar Íslendinga (National Data Centre) og hafa sem slík aðgang að öllum gögnum vöktunarkerfisins, þar á meðal sjálfvirkri greiningu gagna frá Íslandi og öllum stöðvum erlendis.

Niðurstöður frá mælistöðvum CTBTO fást ekki í rauntíma, heldur a.m.k. sólarhring frá því að söfnun svifryks lauk. Þetta er gert til að láta skammlíf náttúruleg geislavirk efni í svifrykinu deyja út og trufla síður mælingu. En þegar niðurstöðurnar eru komnar gera þær kleift að þekkja og mangugreina þau

⁶ Sjá: <http://www.gr.is/frettir/nr/209>

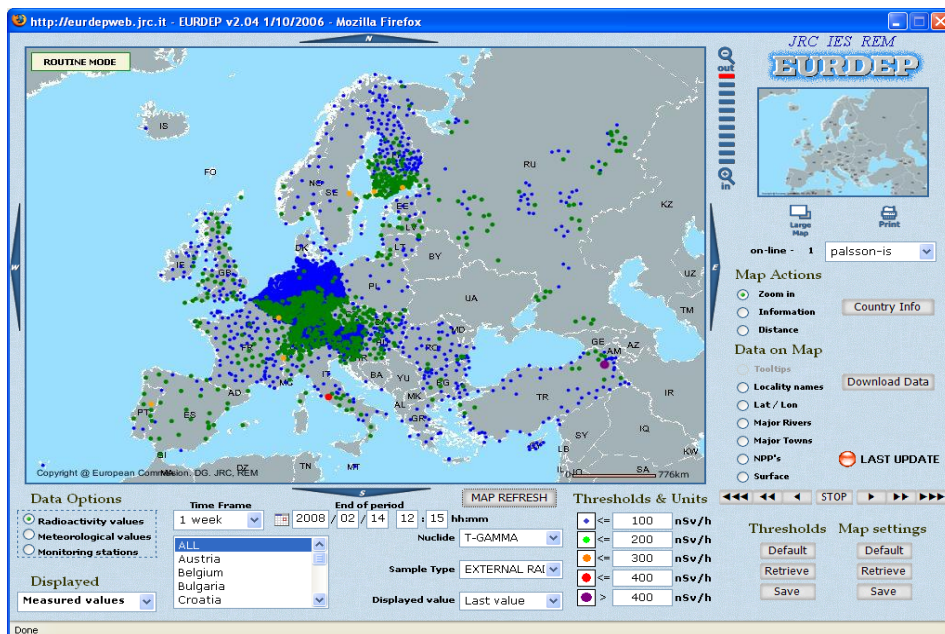
geislavirku efni sem eru í rykinu, enda er kerfinu ætlað að tryggja að ekki sé unnt að gera neinar tilraunir með kjarnorkusprengrur (ekki einu sinni neðanjarðar) án þess að það verði numið. Það er því mjög dýrmætt fyrir Geislavarnir ríkisins að eiga aðgang að þessum gögnum í starfi sínu við að geta sýnt fram á að geislavirk efni hafi ekki borist í marktæku magni á íslensk umráðasvæði.



Mynd 7: Staðir þar sem CTBTO starfrækir mælistöðvar til greiningar geislavirkni í svifryki.

7.1.3 Gagnamiðlunarkerfi Evrópusambandsins: EURDEP

Innan Evrópusambandsins hefur einnig verið mótað form og kerfi til að miðla niðurstöðum geislunar-tengdra mælinga í rauntíma eða með sem minnstri seinkun. Þetta kerfi er nefnt EURDEP (*European Radiological Data Exchange Platform*). Ríkjum utan Evrópusambandsins er einnig boðin aðild að kerfinu, þau ríki sem eru reiðubúin að leggja fram gögn inn í kerfið fá aðgang að gögnum allra annarra ríkja í kerfinu. Ísland á nú aðild að þessu samstarfi. Hægt er að nálgast gögn annarra ríkja og önnur ríki hafa aðgang að gögnum héðan.



Mynd 8: Skjámynd úr EURDEP kerfinu. Breytileiki í þéttleika punkta stafar af mismunandi þéttleika mælistöðva. Mismunandi litur stafar af mismun í náttúrlegri geislun á svæðunum, bláur litur svarar til lægri gilda.

7.2 Mælingar af gefnu tilefni

Berist boð um hugsanlegt atvik eða gefi mælingar til kynna eitthvað athugasvert, þá hafa Geislavarnir ríkisins ýmsan mælibúnað til að geta gert nánara mat á vettvangi.

7.2.1 Mælitæki til leitar og greiningar á vettvangi

Geislavarnir ríkisins hafa ýmsa geisla mæla til notkunar á vettvangi og sem ætlað er mismunandi hlutverk. Í hópi þeirra eru t.d. mjög næmir mælar, eins konar sporhundur, eingöngu ætlaðir til að finna geislavirkni. Aðrir mælar eru einkum ætlaðir til að geta greint hvaða efni er um að ræða. Þriðju gerðinni er einkum ætlað að geta metið nákvæmlega styrk geislunarinnar, það er mikilvægt ef meta á magn efnisins úr fjarlægð. Um mismunandi geislun getur verið að ræða (alfa-, beta- og gammageislun, auk nifteinda-geislunar). Mismunandi skynjara þarf eftir því hvaða geislun skal mæla. Styrkur geislunar (eða magn geislavirks efnis) ræður því einnig hvaða mæli er hentugast að nota, mjög næmur mælir getur mettast í grennd við mikið magn geislavirks efnis.

Á síðari árum hefur geta til skipulegrar skimunar stórra svæða verið bætt. Þá er safnað samtímis geislarófsmælingu frá næmum mæli og staðsetningu frá GPS tæki. Mælirinn er mjög næmur og getur jafnframt greint hvaða efni er um að ræða. Kerfið var hannað í þróunarsamvinnu við geislavarnastofnun finnska ríkisins, STUK, fyrir brot af því verði sem sambærilegt kerfi myndi kosta á markaði (ef það væri fánlegt).

7.2.2 Færanlegur svifrykssafnari

Geislavarnir hafa einnig öflugan svifrykssafnara með rafstöð. Þennan safnara má flytja hvert á land sem er (eða um borð í skip), til að finna hvort geislavirk efni hafi sloppið til andrúmslofts, eða það sem líklegara er, til að geta sýnt fram á að þau hafi ekki gert það.

7.2.3 Rannsóknastofa GR

Stofnunin hefur síðan sumarið 1989 starfrækt gammarófs mæla (tvo síðan 1993) með hárra upplausn á rannsóknastofu sinni. Þessi gerð mælitækja er almennt notuð á rannsóknastofum til að þekkja og mælgreina geislavirk efni í sýnum. Unnið er að því að fá faggildingu á þessar mælingar. Geislavarnir ríkisins hafa tvö undanfarin ár tekið þátt í alþjóðlegri samanburðaræfingu NPL (National Physical Laboratory) í Englandi. Meðal þátttakenda voru ýmsar helstu rannsóknastofur Evrópu á sviði gamma greiningar. Gammagreining er aðferð sem byggir á því að þekkja geislavirk efni í sýni og meta magn þeirra út frá geislarófsgreiningu. Í fyrri prófuninni⁷ voru Geislavarnir meðal þeirra 12 rannsóknastofa sem náðu bestum árangri af 78 sem tóku þátt, öll efnin greind réttilega, í hinni síðari⁸ voru Geislavarnir í hópi 9 af 72 sem náðu þeim árangri.

7.3 Upplýsingar um atvik erlendis

Það er mjög mikilvægt fyrir mat á hugsanlegum atvikum að fá sem fyrst upplýsingar um þau og mat annarra á þeim. Norrænt samstarf hefur þar skipað stóran sess.

7.3.1 Samstarf norrænna geislavarnastofnana

Norðurlönd hafa mjög náið samstarf varðandi viðbúnað við geislavá. Þetta nána samstarf hefur leitt til þess að þröskuldur varðandi miðlun upplýsinga hefur verið lækkaður verulega. Þetta hefur verið tekið til eftirbreytni hjá fleirum og hefur þröskuldur upplýsingamiðlunar nú verið lækkaður hjá Evrópusambandinu og innan IAEA. Miðað er við að sérhvert Norðurlanda miðli án tafar til hinna landanna upplýsingum um sérhvert atvik sem gæti gefið tilefni til eða hefur orsakað opinbera umræðu (og þar með gæti kallað á aðgerðir viðkomandi stofnunar). Stofnanirnar hafa nýlega sameinast um handbók um hvernig upplýsingum skuli miðlað um hverja gerð atvika. Geislavarnir ríkisins voru í fararbroddi varðandi nýtingu nettækni í þessu norræna samstarfi og hafa haft frá

⁷ Sjá: <http://www.gr.is/frettir/nr/375>

⁸ Sjá: <http://www.gr.is/frettir/nr/420>

upphafi umsjón með vef þessa samstarfs. Nýting nettækni hefur verið hluti framlags Geislavarna til norræna samstarfsins.

7.3.2 Samhæfingarmiðstöð IAEA (IEC)

Alþjóða kjarnorkumálastofnunin, IAEA, starfrækir samhæfingarmiðstöð sem miðlar upplýsingum um hverja þá geislavá sem aðildarríki tilkynna. Samhæfingarmiðstöðin sér einnig um að miðla ráðgjöf og aðstoð ef þörf er á.

7.3.3 Viðbúnaðarboðkerfi Evrópusambandsins (ECURIE)

Evrópusambandið skuldbindur aðildarríki sín til að veita hvert öðru upplýsingar verði kjarnorkuslys eða alvarlegur geislunaratburður. Til þess að miðla þessum upplýsingum starfrækir sambandið upplýsingakerfi sem nefnist ECURIE (European Community Urgent Radiological Information Exchange). Ísland á ekki aðild að þessu samstarfi, en möguleikar á aðild hafa verið kannaðir. Undanfarið hefur verið unnið að endurbótum á kerfinu og er nú tæknilega auðveldara að tengjast því en áður var en það er forsenda þess að Ísland geti gerst aðili að samstarfinu.

7.4 Greiningartól

Að fengnum upplýsingum þarf að greina þær. Til þess hafa Geislavarnir aðgang að ýmsum tólum.

7.4.1 IXP NARAC

Geislavarnir ríkisins hafa átt vaxandi samstarf við Bandaríkin á sviði viðbúnaðar við geislavá og voru á meðal þeirra fyrstu sem fengu aðgang að IXP NARAC kerfinu⁹. Það gerir mögulegt að meta dreifingu geislavirkra efna að gefnum ýmsum forsendum. Kerfið notar rauntíma veðurgögn á hverjum stað og getur skilað sjálfvirkri niðurstöðu á nokkrum mínutum. Einnig er boðið upp á sérfræðilegt mat ef um raunverulegt atvik er að ræða. Í slíkum tilvikum yrði Veðurstofa Íslands einnig höfð með í ráðum. Bandaríkjamenn bættu nýlega íslenskan kortagrunn kerfisins að fenginni ábendingu frá Geislavörnum. Ekki er vitað til að aðrir aðilar sem sinna viðbúnaði á Íslandi hafi aðgang að eða not af sambærilegu kerfi.

⁹ Sjá: <https://ixp.llnl.gov/>



Mynd 9: Dæmi um notkun á IXP NARAC. Kerfið var látið meta væntanlega dreifingu efna sem losuð væru til andrúmslofts frá Austurvelli í 1 klukkustund, 19:26–20:26 þann 22. desember 2009 og að gefnum ákveðnum forsendum um losunarhæð, stærð og þyngd agna ofl.

7.4.2 Alþjóðleg samvinna um mat mælinga - Triage

Alvarleg atvik varðandi geislavirk efni eru sem betur fer tiltölulega fátíð í heiminum en þar af leiðandi er reynsla takmörkuð. Við mat á mæligögnum er því mjög mikilvægt að koma strax á samvinnu við erlenda sérfræðinga og fá mat þeirra á þeim. Það getur einnig verið mjög mikilvægt að hafa slíkt utanaðkomandi mat þegar skjótt þarf að skapa alþjóðlegt traust á að mat á hugsanlegu atviki héraðs sé trúverðugt. Aðkoma óháðra aðila getur verið mikilvæg í þeim tilvikum þegar Íslendingar eiga mikið undir útkomu matsins (t.d. varðandi útflutning afurða eða ferðamennsku).

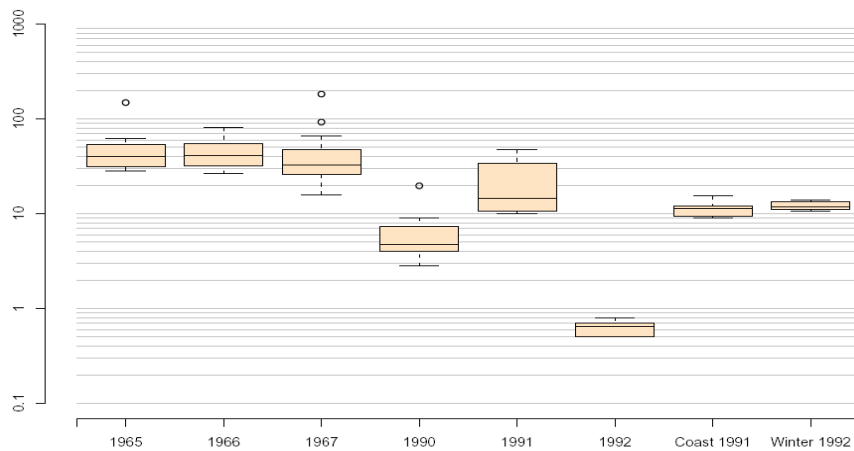
Bandaríkjamenn hafa veitt miklu fé til að þróa greiningarkerfi, Triage¹⁰, sem hefur verið í notkun þarlendis í mörg ár og nú hefur erlendum ríkjum einnig verið veittur aðgangur að því. Kerfið byggist á að notandi getur sent mæligögn úr næstum hvaða geislamæli sem er inn í kerfið og sérfræðingar í þremur miðstöðvum í Bandaríkjunum meta gögnin og skila niðurstöðu innan klukkutíma, nákvæmari greining getur komið síðar. Samstarf um notkun þessa kerfis verður aukið og Geislavarnir ríkisins munu m.a. gangast fyrir skipulegri prófun á kerfinu með því að nota gögn úr norrænni æfingu. Náin samvinna hefur verið á milli Norðurlanda á sviði geislavarna og rætt hefur verið um samvinnu við mat á mæligögnum, slíkt samvinna hefur þó ekki verið sett á laggirnar með formlegum hætti.

8 Viðbúnaðartengdar rannsóknir

Geislavarnir ríkisins hafa átt mjög náið samstarf við systurstofnanir erlendis og sérstaklega á Norðurlöndum, stofnunin nýtur því góðs af reynslu grannþjóða við mat á afleiðingum hugsanlegra atvika héraðs. Ýmsar aðstæður hér eru þó þannig, að það getur verið mjög misvísandi og beinlínis gefið ranga niðurstöðu ef mati grannlanda er beitt gagnrýnslaust héraðs. Sem dæmi má nefna geislavirkni í hreindýrakjöti í kjölfar slyssins í Tsjernóbyl. Í Skandinavíu var hún í sumum tilvikum tugþúsundir eininga (Bq/kg), en héraðs oftast nokkrir tugir, jafnvel voru sýni í einni hjörð (frá

¹⁰ Sjá: http://nnsa.energy.gov/emergency_ops/1717.htm

Kringilsárrana) öll undir 1 Bq/kg, sjá mynd 9. Aðstæður hérlendis eru einfaldlega allt aðrar og taka verður mið af því við skipulagningu viðbúnaðar.



Mynd 10: Styrkur Cs-137 (Bq/kg) í íslensku hreindýrakjöti 1965-1967 og 1990 – 1992. Niðurstöður hérlendis gáfu allt aðra mynd en sást í Skandinavíu. Úrfelli var mjög lítið hér af völdum slyssins í Tsjernóbyl og tilfærsla geislavirkra efna frá úrfelli í hreindýrakjöt minni.

Geislavarnir ríkisins eru eini kjarni þekkingar í geislavistfræði hérlendis, engnir aðrir aðilar stunda rannsóknir á því sviði hér. Eina leið stofnunarinnar til að afla þeirrar þekkingar sem beita þarf vegna viðbúnaðar er því að eiga aðild að erlendum rannsóknum til að fá þær upplýsingar sem nota þarf. Með virkri þátttöku í norrænu rannsóknasamstarfi Norrænna kjarnöryggisrannsókna¹¹ (NKS) á þessu sviði hefur tekist að stunda þessar rannsóknir með mjög hagkvæmum hætti. Íslendingar hafa þegið rannsóknastyrki fyrir framlag sitt og það hefur einnig verið mjög verðmætt að geta tekið þátt í rannsóknum með fremstu sérfræðingum Norðurlanda á sviði viðbúnaðarrannsókna og geislavistfræði. Geislavarnir hafa því lagt áherslu á virka þátttöku í rannsóknum sem hafa gildi fyrir íslenskar aðstæður. Forstjóri Geislavarna er stjórnarformaður NKS til ársloka 2012.

8.1 Matvæli og umhverfi

Mikilvægur þáttur í mati á áhrifum hugsanlegs atviks snýr að heilsufarslegum afleiðingum vegna geislavirkra efna sem berast í matvæli. Geislavarnir hafa fylgst með styrk sesíns (Cs-137) í helstu matvælum framleiddum hérlendis og birt niðurstöður í skýrslum¹² síðan 1989, þegar rannsóknastofa stofnunarinnar var sett á stofn. Sesín er sú kjarntegund sem á hvað stærstan hlut til lengri tíma í þeim líffræðilegu áhrifum sem kjarnorkuslys myndu almennt valda. Til skemmri tíma þarf einnig að varast geislavirkt jöð (I-131) og sérstaklega þarf að vernda börn og ungmenni. Á sjöunda áratugnum voru einnig gerðar mælingar á styrk strontíns (Sr-90), en vægi þess í heilsufarslegri áhættu þykir minna en áhætta af völdum sesíns. Mælingum á strontíni var því hætt, enda einnig mun flóknari.

Þekking á núverandi ástandi dugar þó ekki til að geta sagt um áhrif hugsanlegrar aukinnar dreifingar geislavirkra efna til umhverfis. Þá þarf að þekkja tilfærslu efnanna úr jarðvegi í gróður og úr gróðri í landbúnaðarafurðir. Neysluvenjur fólks, hvað hver og einn leggur sér til munns, hefur áhrif á áhættuna. Allir þessir þættir eru breytilegir á milli landa og jafnvel innan svæða hvers lands og taka þarf tillit til allra þeirra.

¹¹ Sjá vefsíðu NKS: www.nks.org

¹² Skýrslur Geislavarna um vöktunarmælingar má nálgast á: <http://www.gr.is/stofnunin/skyrslur/>

8.1.1 Tilfærslustuðlar – nýtt mat IAEA á tilfærslustuðlum

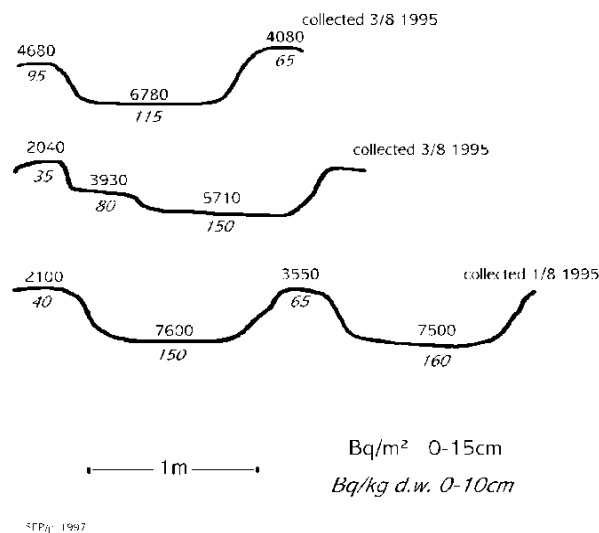
Alþjóða kjarnorkumálastofnunin, IAEA, hefur nýlega gefið út rit með lýsingu á tilfærslu frá úrfelli til matvæla og viðmiðunargildum tilfærslustuðla¹³. Ritið markar tímamót í geislavistfræði. Stofnunin gaf fyrir 15 árum út rit með viðmiðunargildum sem hafa verið notuð til þessa, en nýja útgáfan er mjög stækkuð og endurbætt til að meta áhrif dreifingar geislavirkra efna. Starfsmaður Geislavarna ritstýrði einum undirkafla bókarinnar¹⁴, um geislavistfræði norðurslóða, í samvinnu við þrjá aðra.

8.1.2 Samræmt evrópskt mat á áhrifum úrfellis: ECOSYS og takmarkanir þess

Í kjölfar slyssins í Tsjernóbyl 1986 voru þróuð og tekin í notkun kerfi til að meta áhrif geislavirks úrfellis á landbúnaðarframleiðslu og á geislaálag einstaklinga í hverju landi. Með þeim er hægt að meta tölulega hversu mikil áhrifin myndu vera og hvaða gagnaðgerðir væru líklegar til að skila mestum árangri. Grunnurinn í þessum kerfum (ARGOS og RODOS) er hið svokallaða ECOSYS¹⁵ líkan sem þróað var í Þýskalandi. Norrænir sérfræðingar hafa bent á að þótt forsendur líkansins eigi vel við í Þýsklandi, þá séu aðstæður og landbúnaðarhættir á Norðurlöndum frábrugðnir að mörgu leyti og taka þurfti tillit til þess sé líkaninu beitt. Það er einnig marktækur munur á milli Norðurlanda hvað þetta snertir. Þetta hefur verið tekið til sérstakrar skoðunar innan eins norræns rannsóknaverkefnis, NKS PardNor. Geislavarnir eiga hlut að því verkefni og að vísindagrein sem send var til birtingar á þessu ári (2009).

8.2 Dreifing geislavirks úrfellis á Íslandi

Í upphafi rannsókna Geislavarna kom í ljós að mun erfiðara var að fá gott mat á geislavirkt úrfelli en hjá samstarfsaðilum annars staðar á Norðurlöndum. Ein ástæða er eitt einkenni íslenskrar náttúru, þúfur. Mælingar í samvinnu við Rannsóknastofnun landbúnaðarins leiddu í ljós að styrkur gat verið allt að þrefaldur í gjótum á milli þúfna miðað við það sem mældist í miðjum kolli aðliggjandi þúfu.



Mynd 11: Samanburður á magni geislavirks úrfellis (Cs-137) í lægðum á milli þúfna og á toppi þeirra.

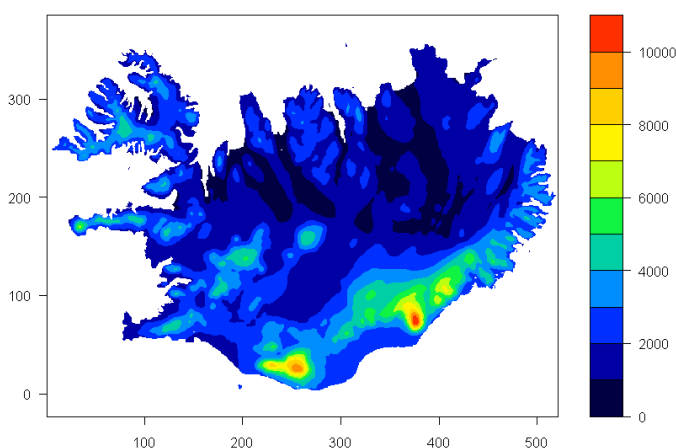
¹³ Sjá nánar: <http://www.gr.is/frettir/nr/402>

¹⁴ S.E. Palsson, L. Skuterud, S. Fesenko, V. Golikov (2009). Radionuclide Transfer in Arctic Ecosystems. Í IAEA TECDOC-1616. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, ISBN 978-92-0-104509-6.

¹⁵ Müller, H., Pröhl, G. (1993). ECOSYS-87: a dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents. Health Physics 64(3), pp. 232-252.

Auk þess munar sem getur verið á milli dældar og toppa í þýfðu landi, þá getur dreifing geislavirks úrfellis í haga verið töluvert breytileg af ýmsum orsökum. Mikinn fjölda jarðvegssýna þarf því til að fá gott mat úrfellis á stórum svæðum. Önnur leið var því reynd til að fá mat úrfellis á stórum svæðum. Í rannsókn komu í ljós mjög góð vensl á milli úrkomu og mælds úrfellis (betri en sést höfðu í sambærilegum rannsóknum annars staðar)¹⁶.

Á mynd Mynd 12 má sjá nýtt mat byggt á úrkomugögnum með svipuðum hætti og fyrri rannsókn. Þess má geta að í alþjóðlegu mati var gert ráð fyrir að geislavirkt úrfelli af völdum tilrauna í andrúmsloftinu hefði verið meira á flatareiningu hér en hjá grannþjóðum. Það mat byggði á metinni heildarúrkomu á Íslandi. Kortið að neðan sýnir hins vegar að metið úrfelli er aðallega á jöklum og fjalllendi. Úrfelli á landbúnaðarsvæðum er mun minna, sérstaklega á Norðurlandi. Þetta dæmi sýnir mikilvægi þess að geta komið með eigin mat á íslenskum aðstæðum, sé það ekki gert mun erlent (og hugsanlega rangt) mat verða notað. Það getur í sumum tilvikum einnig haft áhrif á mat á íslenskum matvælum.



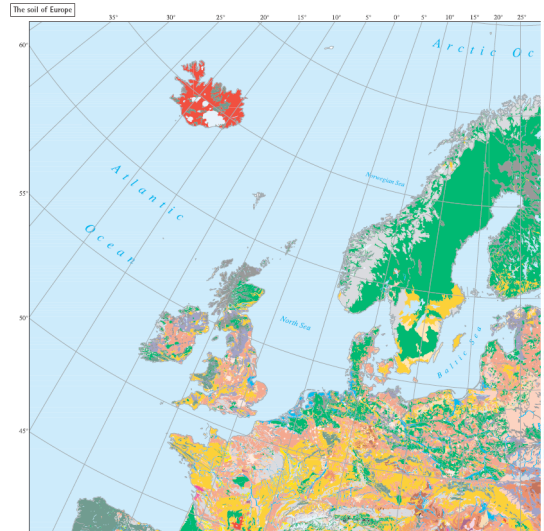
Mynd 12: Mat á úrfelli (í Bq/m²) sesíns-137 (Cs-137) af völdum tilrauna í andrúmsloftinu með kjarnorkuvopn. Þessar tilraunir voru að mestu gerðar á árunum 1952 – 1963, er endir var bundinn á þær með samkomulagi. Metið úrfelli er mest við suðaustur ströndina.

8.3 Tilfærsla geislavirkra efna frá jarðvegi í gróður og matvæli

Íslenskur jarðvegur er mjög frábrugðinn jarðvegi á meginlandi Evrópu¹⁷. Þetta sést vel á eftirfarandi jarðvegskorti af Evrópu.

¹⁶ S.E. Pálsson, B.J. Howard, S.M. Wright. Prediction of spatial variation in global fallout of Cs-137 using precipitation. *Science of the Total Environment* 367 (2006) 745-756.

¹⁷ Sjá gott yfirlit í: Ólafur Arnalds (2008). *Soils of Iceland*. *Jökull* (58), bls. 409–421



Mynd 13: Jarðvegur í Evrópu, hluti korts (bls. 42-43) í vefútgáfu Soils of Europe (European Commission, 2005).

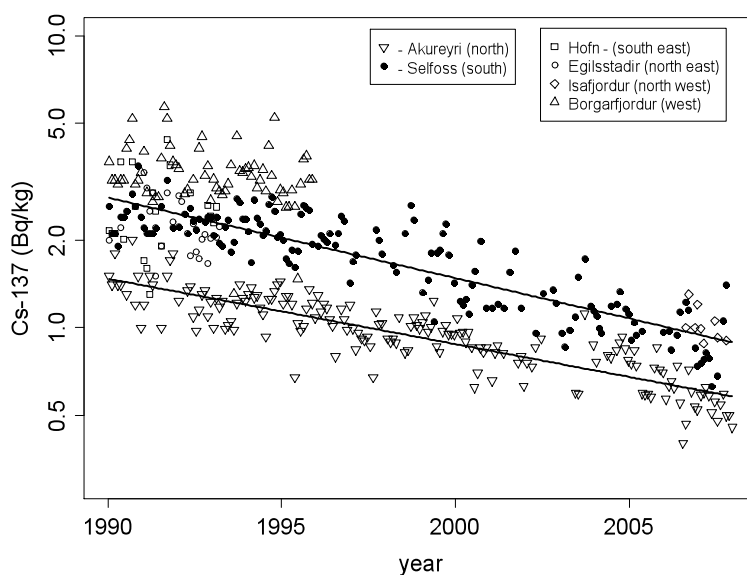
Íslenski jarðvegurinn er eldfjallajarðvegur með aðra leirgerð en sá á meginlandinu. Þær leireindir sem þar eru hafa kristalgrind sem sesín-jónin passar mjög vel við. Leirinn getur því bundið sesín mjög vel í jarðveginum og þar með stuðlað að brotthvarfi þess úr vistkerfinu (þótt það sé áfram í jarðveginum). Þessu er ekki svona farið hérlendis. Sesínið binst ekki í jarðveginum og það getur verið aðgengilegt til upptöku í gróður í lengri tíma en t.d. í Danmörku. Þetta kom í ljós í samnorrænum rannsóknum innan NKS um miðjan síðasta áratug og frekari rannsóknir¹⁸ síðan hafa staðfest þetta. Hafa verður þennan eiginleika íslenska jarðvegsins í huga við skipulag viðbúnaðar, atviki (slys) sem leiddi til dreifingar sesíns (Cs-137) til umhverfis hérlendis myndi að öðru jöfnu hafa áhrif í mun lengri tíma en annars staðar á Norðurlöndum.

8.4 Cs-137 í mjólk

Mjólk er tiltölulega einsleit landbúnaðarafurð, auk þess sem hún kemur inn á borð neytenda eftir blöndun mjólkur frá mörgum búum. Mjólk er jafnframt sú landbúnaðarafurð sem skilar úrfelli fyrst til neytenda af meginafurðum hérlendis (einungis fáeinir dagar líða frá því efni falla til jarðar þar til þau geta verið komin í fernum á borð neytenda). Því þarf að gæta vel að mjólk og mjólkurafurðum leiki grunur á að geislavirk efni kunni að hafa borist út til umhverfis.

Myndin að neðan sýnir hvernig styrkur sesíns (Cs-137) í mjólk hefur minnkað jafnt og þétt frá upphafi mælinga 1989. Tvö mjólkurbú hafa látið í té mjólkursýni allt tímabilið, á Akureyri og Selfossi. Styrkur í mjólk á Akureyri hefur verið minni, enda er það í samræmi við þann mun í mati á svæðisbundnu úrfelli sem sýnt var í kafla 8.2.

¹⁸ MÁ Sigurgeirsson, Arnalds Ó, Pálsson SE, Howard BJ, Gudnason K. Radiocaesium fallout behaviour in Iceland and volcanic soils in Iceland. J Environ Radioactivity 2005;79:39-53.



Mynd 14: Styrkur sesíns (Cs-137) í mjólk frá ýmsum mjólkurbúum 1989 – 2009. Styrkurinn er lægri í mjólk frá Akureyri, en hann rýrnar einnig hægar þar (mynd úr vísindagrein¹⁹ sem bíður birtingar).

8.5 Cs-137 í lambakjöti

Um lambakjöt gildir allt öðru máli en mjólk. Þar er breytileiki mjög mikill. Bæði kemur þar til að hvert kjötlæri (eða sambærilegur kjötréttur) sem fólk neytir kemur frá einum einstakling, einu lambi. Breytileiki á milli einstaklinga hefur því meiri áhrif en þegar mjólkur er neytt frá mjólkurbúi, þar sem mjólk frá fjölmörgum gripum hefur verið blandað saman.

Annar þáttur sem skapar breytileika er mismunandi umhverfi lamba að sumarlagi og jafnvel mismunandi smekkur þeirra. Í sameiginlegu rannsóknarverkefni með Rannsóknastofnun landbúnaðarins um miðjan síðasta áratug var kannað m.a. hvort mismunur í fæðuvali lamba á sama svæði mætti tengja við mismun í fæðuvali mæðra þeirra. Vitað var að smekkur lamba mótast að hluta af fæðuvali mæðra. Reyndist svo vera, breytileiki í styrk Cs-137 í fæðu lamba var að hluta skýranlegur með breytileika í styrk Cs-137 í fæðu mæðra þeirra.

Í flestum tilvikum er því ekki raunhæft að meta nákvæmlega við hversu miklum styrk Cs-137 megi búast við í einstökum sýnum af lambakjöti. Hins vegar er meðatal og breytileiki vel þekkt og það eru gagnlegar upplýsingar ef meta þarf afleiðingar hugsanlegs atviks.

8.6 Cs-137 og önnur efni í sjó og sjávarafurðum

Það er erfitt að ímynda sér þá geislavá í grennd við Ísland sem myndi skapa alvarleg heilsufarsleg vandamál. Hins vegar gæti minnsti grunur um óhapp haft alvarleg áhrif á viðskipti með sjávarfang. Líklegasta verkefni tengt sjó og geislavá er því að þurfa að leiða að því trúverðug rök að afleiðingar atviks í sjó hafi takmarkaðar afleiðingar og áhrif á sjávarafurðir séu hverfandi lítil. Geislavarnir hafa unnið með Hafrannsóknastofnuninni að vöktun og rannsóknum²⁰ tengdum sjó.

¹⁹ S.E. Pálsson, B.J. Howard, K. Gudnason, M.A. Sigurgeirsson (2010). Long term transfer of global fallout ¹³⁷Cs to cow milk in Iceland

²⁰ Sjá t.d.: Elísabet Dolinda Ólafsdóttir, Sigurður Emil Pálsson, Sigurður M. Magnússon og Kjartan Guðnason. 1999. Distribution and Origin of Cs-137 in the Ocean around Iceland - An indicator of Man-Made Radioactivity. Rit Fiskideildar.

8.7 Alþjóðlegar samantektir - AMAP

Í kafla 8.1.1²¹ var rætt um samantekt IAEA á geislavistfræðilegri þekkingu, þar á meðal á norðurslóðum. Í þessari samantekt var lögð áhersla á hið almenna, ekki á aðstæður í einstökum löndum. Fyrir um áratug var gerð úttekt innan „Arctic Monitoring and Assessment Programme“ á ástandi og geislavistfræði norðurslóða, þar sem lögð var áhersla á lýsingu hvers svæðis. Fyrri samantektin var gerð 1998²² og sú síðari 2002²³. Þótt um alþjóðlega samvinnu væri að ræða, þá var norræna samvinnan sterk innan þeirrar alþjóðlegu og ýmsir af fremstu sérfræðingum Norðurlanda á þessu sviði komu að henni. Það var mjög gagnlegt fyrir Geislavarnir að eiga hlut að þessu samstarfi, þarna var lögð áhersla á heildstætt mat frá úrfelli til heilsufarslegra áhrifa á einstaklinga og samfélög. Þótt ýmsar ítarlegri niðurstöður hafi komið fram síðar, þá stendur grunnur þessarar úttektar ennþá.

²¹ S.E. Palsson, L. Skuterud, S. Fesenko, V. Golikov (2009). Radionuclide Transfer in Arctic Ecosystems. Í IAEA TECDOC-1616. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, ISBN 978-92-0-104509-6.

²² AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues (1998) - Chapter 8: Radioactivity – hægt að nálgast á: <http://amap.no/documents/index.cfm?action=getfile&dirsub=%2FAMAP%20Assessment%20Report%20-%20Arctic%20Pollution%20Issues&filename=AAR-Ch08.pdf&CFID=2408&CFTOKEN=158307D5-BA61-FB30-358516F0F0DCA6AF&sort=default>

²³ AMAP, 2004. AMAP Assessment 2002: Radioactivity in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xi+100 pp. – hægt að nálgast á: <http://amap.no/documents/index.cfm?dirsub=%2FAMAP%20Assessment%202002%3A%20Radioactivity%20in%20the%20Arctic&sort=default>

Viðauki 1: Geislavá á Íslandi

1 Bakgrunnur

Þetta mat áhættupátta geislaógnar tekur til þeirra atriða sem hugsanlega geta valdið geislaálagi á fólk á Íslandi og sem geta haft skaðleg áhrif á íslenska hagsmuni innanlands sem erlendis, hvort sem þeir eru heilsufarslegir eða af öðrum toga, t.d. efnahagslegir.

1.1 Ógn: Líkur og áhrif

Ógn er oft sett fram með tölulegum hætti sem margfeldi þeirra áhrifa sem atvik gæti haft í för með sér og hversu miklar líkur eru á að atvikið verði. Viðbúnaður við ógn þarf því bæði að geta tekið á atvikum sem eru mjög ólíkleg en myndu hafa mjög alvarlegar afleiðingar ef þau yrðu og á hinn bóginn atvikum sem eru líkleg (jafnvel algeng) en hafa takmarkaðar afleiðingar.

Mat á líkum

Mat áhættu í vestrænum kjarnorkuiðnaði fylgir vel skilgreindum viðmiðum Alþjóða kjarnorkumála-stofnunarinnar, IAEA. Mat á líkum á því að geislun sé misbeitt af ráðnum hug liggur utan sviðs þessarar skýrslu, um slíkt mat sjá öryggisstofnanir. Geislavarnir ríkisins geta hins vegar metið hugsanlegar afleiðingar slíks atviks.

Mat á áhrifum

Sé um mikla dreifingu geislavirkra efna að ræða (t.d. eftir kjarnorkuslys), þá þarf að meta:

- Dreifingu efnanna með lofti eða legi.
- Tilfærslu þeirra innan vistkerfis, þar á meðal í matvæli.

1.2 Heilsufarsleg áhrif geislunar

Áhætta vegna geislunar er metin með stærð sem nefnist geislaálag og hefur eininguna millisívert, mSv. Líffræðilegum áhrifum jónandi geislunar er skipt í 2 flokka:

- Bráðir skaðar**, einnig kallaðir *vísir skaðar*, því þetta eru skaðar sem birtast með vissu sé geislun nógu mikil. Það þarf mjög mikla geislun, meiri en 150 mSv, til að kalla fram bráð áhrif, sbr. töflu Tafla 1. Til samanburðar má nefna að hámark árlegrar geislunar sem starfsfólk sem vinnur við jónandi geislun má verða fyrir er 20 mSv og árlegt geislaálag Íslendinga af völdum náttúrulegrar geislunar (frá umhverfi og náttúrulegum efnum í eigin líkama) er um 1 mSv. Einnig skal það áréttað að bráð áhrif eiga sér þröskuld, þau koma ekki fram nema um mikla geislun sé að ræða. Sé geislunin staðbundin geta áhrifin birst sem brunasár eða skemmdir á auga.

| Geislaálag | Áhrif af geislaálagi á allan líkamann |
|------------|--|
| 6000 mSv | Dauði líklegur ef geislunin verður á minna en nokkrum klukkustundum |
| 1000 mSv | Einkenni geislaveiki (þreyta, ógleði) ef geislun verður á innan við sólarhring |
| 500 mSv | Mælanlegar breytingar í blóði |
| 150 mSv | Tímabundin ófrjósemi |

Tafla 1: Áhrif geislaálags á fólk.

- Síðbúnir skaðar** (slembiskaðar eða tilviljunarkenndir skaðar). Hér er einkum um að ræða hættu á krabbameini og áhættan vex í réttu hlutfalli við magn geislunar. Þess vegna ber ætíð

að forðast óþarfa geislun. Ekki er gert ráð fyrir neinum neðri mörkum, því verður að gera ráð fyrir að allri geislun fylgi einhver áhætta. Allir hafa vissar líkur á því að fá krabbamein og hækkun af völdum geislunar verður fyrst marktæk þegar geislun er orðin töluverð, t.d. tugir mSv.

Sálræn áhrif

Til viðbótar líffræðilegu hrifunum geta ýmis konar sálræn áhrif komið fram vegna atviks þar sem geislavirk efni koma við sögu. Að hluta til stafar það af því að geislun er flestum óþekkt ógn sem vekur meiri óhug en aðrar ógnir sem eru sambærilega heisluskæðar. Þá eru heilsufarsleg áhrif geislunar ekki auðsæ (og þau sem eru auðsæ eru ekki endilega auðrekjanleg til geislunar). Að auki getur atvikið sem slíkt og viðbrögð við því haft sálræn áhrif (t.d. ef um atvik er að ræða sem hefur mikil áhrif í samfélaginu).

Heilsufarslegu áhrifin geta verið mismunandi eftir því hvaða geislavirk efni eiga í hlut. Í atvikum sem tengjast kjarnorku eru það gjarnan kjarntegundirnar sesín-137 (Cs-137), strontín-90 (Sr-90) og jóð-131 (I-131) sem eru varasamastar. Meðal annarra efna sem eru t.d. notuð í iðnaði og af heilbrigðisþjónustu má nefna kóbalt-60 (Co-60), ameríkín-241 (Am-241) og irridín-192 (Ir-192). Magn geislavirkra efna er gjarnan gefið upp með einingunni becquerel (Bq) eða curie (Ci) með viðeigandi forskeyti. Hversu mikil líffræðileg áhrif verða fer eftir mörgum þáttum, sem geta verið mjög ólíkir á milli landa: Hvernig jarðvegur bindur efni; upptaka úr jarðvegi í plöntur; nýting gróðurs í landbúnaði (t.d. hvenær slegið); nýting dýra (hvaða dýr, hvernig fóðrun) og neysluvenjur almennings og mismunandi hópa (t.d. hópa sem nærast mikið á fæðu sem gæti mengast af geislavirkum efnum). Jafnvel þótt allt þetta sé vel þekkt fyrir atvik, þá geta viðbrögð við atvikinu breytt ofangreindum þáttum.

1.3 Umhverfisáhrif

Bein áhrif geislunar á umhverfið eru almennt lítil, nema hún sé þeim mun meiri. Umræða um geislafröngun umhverfis snýst oftast um að viðkomandi umhverfi sé ekki lengur hæft til matvælaframleiðslu eða sem umhverfi manna, frekar en að um bein áhrif á lífríki sé að ræða. Á síðari árum hefur þó verið lögð aukin áhersla á að rannsaka bein líffræðileg áhrif, sérstaklega þar sem mikil geislun hefur verið. Áhrifin eru ýmist:

- **Skammtímaáhrif á landi** vegna geislunar á lífverur við geislavirkt úrfelli eða upptöku geislavirkra efna. Þessi áhrif komu fram í formi vaxtartruflana í umhverfi við Tsjernóbýl.
- **Langtímaáhrif á landi** vegna geislavirks úrfellis og upptöku þess í lífverur. Langlíf geislavirk efni sem dreifast í umhverfið geta safnast fyrir í lífverum og færst upp fæðukeðjuna, valdandi erfðaskaða og æxlunartruflunum.
- **Langtímaáhrif í sjó** vegna upptöku og samansöfnun geislavirkra efna. Geislavirk efni sem losuð eru í sjó þynnast út þegar þau blandast í vatnsmassanum, en geta líka safnast upp í einstaka dýra- og plöntutegundum. Mikil óvissa ríkir um langtíma áhrif losunar langlífra geislavirkra efna í sjávarvistkerfið.

1.4 Samfélagsleg áhrif

Samfélagsleg (þar á meðal efnahagsleg) áhrif atvika þar sem geislavirk efni koma við sögu geta verið gríðarleg og oft mun meiri en annarra atvika þar sem bein heilsufarsáhætta er svipuð (að sálrænum áhrifum frátöldum). Það er m.a. vegna þeirra sálrænu þátta sem áður er getið, geislunin er ókunnug ógn og slíkar ógnir valda oft meiri óhug en þær sem þekktar eru. Til viðbótar kemur að mjög auðvelt er að mæla geislun, jafnvel þá sem er náttúruleg og skaðlaus. Matvæli geta orðið ósöluhæf strax við það að geislavirk efni finnast í þeim, jafnvel þótt magn efnanna sé það lítið að heilsufarsleg áhrif af

neyslu þeirra væru engin. Dreifing geislavirkra efna til umhverfis getur því haft gríðarleg efnahagsleg áhrif, jafnvel þótt bein heilsufarsleg áhætta (bráð og síðbúin) sé mjög lítil.

Meðal aðgerða sem getur þurft að grípa til vegna samfélagslegra þátta eru:

- **Inngrip í matvælaframleiðslu** og ráðleggingar um neyslu vegna geislaengunar matvæla.
- **Inngrip vegna áhrifa á markað**, skjót upplýsingagjöf fyrir matvælaframleiðendur og útflytjendur, einnig vegna ferðamannaþjónustu og flutninga.
- **Brotflutningur** til skamms eða lengri tíma. Mjög alvarlegt slys þarf til að það sé ráðlegt.
- **Upplýsingar** til almennings, stjórnvalda, atvinnuvega. Mikilvægt er að veita sem gleggstar upplýsingar um ástandið og sem fyrst.

Áhrif veðurs, úrkomu og vinda á tilfærslu geislavirkra efna með lofti

Eðli atviks hefur mikil áhrif á hvernig geislavirk efni berast með lofti til annarra svæða. Þegar um stórar kjarnorkusprengingar í andrúmslofti er að ræða, þá berast geislavirk efni hátt upp í lofthjúpin, alla leið í heiðhvolfið, geta dvalið þar mánuðum saman og síðan bundist raka og komið niður með úrkomu. Áhrifin geta þannig verið hnattræn og ráðist af magni úrkomu á hverjum stað.

Alvarlegt slys í kjarnorkuveri, samhliða bruna, getur lyft geislavirkum bólstrum töluvert hátt og efnin geta borist með vindum, jafnvel nokkur hundruð kílómetra, svipað og öskufall frá eldgosi. Styrkur efna í bólstri dvínar ört vegna þynningar í kjölfar þess að bólsturinn þenst úr. Geislavirku efnin falla jafnt og þétt til jarðar úr bólstrinum, mest fyrst og dregur síðan ört úr ofanfalli. Áhrif úrkomu á bólsturinn geta verið mjög mikil og náð að skola miklu af efnunum úr honum til jarðar. Styrkur geislavirks úrfellis á jörðu getur því orðið hár þar sem úrkoma er mest.

Minni háttar atvik, t.d. samhliða sprengingu, geta leit til staðbundinnar dreifingar geislavirka efna. Ólíklegt er að um heilsufarlegt vandamál geti verið að ræða í meiri fjarlægð en nokkur hundruð metra, sterkur vindur getur þó borið efni töluverða leið. Efni geta hins vegar borist víða í mælanlegu magni og samfélagslegra áhrifa getur því gætt á stóru svæði.

2 Uppsprettur Geislavár

Alþjóðlega kjarnorkumálastofnunin (IAEA) gefur út leiðarvísi til flokkunar á geislavá, sjá töflu Tafla 2. Ríki geta þannan leiðarvísi til grundavallar viðbúnaðaráætlunar. Flokkunin nær ekki til beitingar kjarnorkuvopna eða atvika tengd þeim, en slíkum atvikum er mjög erfitt að spá fyrir, enda ríkir leynd yfir vopnunum sjálfum. Ógnarflokkar I-III gefa til kynna mögulegt umfang afleiðinga atvika og tengjast sérstökum stöðum sem vinna með geislavirk efni. Öllum ríkjum ber að búa sig undir atvik í ógnarflokkum IV og V.

| Ógn | Lýsing | Íslenskar aðstæður |
|-----|--|--|
| I | Staðir, til dæmis kjarnorkuver, þar sem hugsanleg (jafnvel ólíkleg) slys eða atvik gætu leitt til bráðs heilsutjóns fólks fjarri staðnum. | Á ekki við. |
| II | Staðir, til dæmis rannsóknarkjarnakljúfar, þar sem hugsanleg (jafnvel ólíkleg) slys eða atvik gætu leitt til slíks geislunarálags á fólk fjarri staðnum að það kalli á bráðar aðgerðir til geislavarna. | Á ekki við. |
| III | Atvik á stöðum, til dæmis hjá fyrirtækjum sem beita geislun í iðnaði, þar sem hugsanleg atvik eða slys gætu leitt til slíks geislunarálags á fólk á staðnum að það kalli á bráð neyðarviðbrögð. | T.d. slys við geislalækningar á sjúkrastofnun. |
| IV | Starfsemi sem hugsanlega gæti leitt til neyðartilfella með geislun sem aftur gætu kallað á bráð viðbrögð neyðaraðila á ófyrirséðum stöðum. Þessi flokkur tekur til glæpsamlegra athafna með ólöglega fengnar geislavirkar lindir. Hann tekur einnig til flutnings á hættulegum færanlegum lindum og annarra löglegra athafna með þær. Ógnarflokkur IV er lægsta viðbúnaðarstig sem á við öll ríki. | T.d. Flutningur geislavirkra linda í iðnaði eða heilbrigðisgeiranum. |
| V | Athafnir sem venjulega fela enga jónandi geislun í sér, en sem geta með markverðum líkindum leitt til mengunar vöru vegna atburða í ógnarflokk I eða II (þar með talið atburða í öðrum ríkjum) svo að mengunin sé það mikil að hefta þurfi útbreiðslu vörunnar í samræmi við alþjóðlega staðla. | |

Tafla 2: Skýring á flokkun IAEA á geislavá (IAEA 2002).

2.1 Geislavirk efni

Geislavirk efni gefa frá sér svokallaða jónandi geislun, sem er ekki sýnileg og ekki greinanleg með neinum skynfærum mannsins. Hún getur verið agnageislun (alfa- og betageislun) en slík geislun er skammdræg en þó skaðleg ef geislavirku efni berast inn í líkamann. Geislunin getur einnig verið rafsegulgeislun (röntgen- eða gammageislun) og þá kemst hún auðveldlega í gegnum efni. Notkun geislavirkra efna á Íslandi er með tvennum hætti. Geislavirkt efni er talið *lokuð lind* (e. *sealed source*) þegar það er á föstu formi og í þétu lokuðu hylki þannig að það geti ekki dreifst til umhverfis, jafnvel þótt lindin lendi í eldsvoða eða sprengingu. Þessi traustu hylki eru hins vegar ekki hönnuð til þess að standast það að þau séu opnuð af ráðnum hug, t.d. með því að bora í þau. Sé efni ekki lokuð lind þá er það talið *opin lind* (e. *unsealed source*), t.d. lofttegund, vökvi eða duft. Hugtakið geislalind er hér notað yfir geislavirkt efni í því magni að notkun þess teljist leyfisskyld.

Lokaðar geislalindir er að finna í ýmsum lækningatækjum og tækjum sem notuð eru í iðnaði (við hæðar- og eðlismassamælingar), við vegaframkvæmdir (gæðaeftirlit með malbikun) og jarðboranir. Tveir síðustu flokkarnir fela í sér notkun í færanlegum tækjum, annars er almennt um að ræða tæki í fastri uppsetningu. Að auki geta verið tiltölulega sterkar geislalindir sem eru fluttar inn tímabundið vegna ákveðinna verkefna. Lindir vegna krabbameinslækninga þurfa einnig að vera tiltölulega sterkar til að skila tilætluðum árangri. Opnar lindir eru notaðar í læknisfræðilegum tilgangi (við lækningu og greiningu) og í mjög litlu magni á ýmsum rannsóknastofum. Þar sem opnar lindir eru venjulega tiltölulega skammlíf geislavirk efni, þá þarf reglulega að flytja nýjar sendingar af þeim til landsins.

Alþjóðlega kjarnorkumálastofnunin flokkar lokaðar geislavirkar lindir með tilliti til bráðrar heilsufarshættu. Í flokkuninni er einblínt á vísan skaða af nánd við lindirnar, en auðvitað fylgja síðbúin áhrif líka slíkum tilvikum. Flokkunina má sjá í töflu Tafla 4.

Leyfi Geislavarna ríkisins þarf til framleiðslu, innflutnings, eignar, geymslu, afhendingar og förgunar á geislavirkum efnum samkvæmt 7. gr. laga nr. 44/2002 um geislavarnir. Geislavarnir ríkisins annast

eftirlit með þessum lindum, að þær séu tryggilega geymdar og notaðar rétt. Á Íslandi eru um 110 lokaðar geislavirkar lindir í höndum um 40 leyfishafa. Langflestar þeirra eru tiltölulega veikar, í fjórða flokk samkvæmt flokkun í töflu Tafla 4: Skýring á flokkun IAEA á geislavirkum lindum. Ath! Einungis er átt við bráðan og vísan skaða hér. Hér er ekkert tekið á síðbúnum afleiðingum eins og t.d. hættu á krabbameini (IAEA 2005). Að auki eru reglulega fluttar inn skammlífar opnar geislavirkar lindir til notkunar á rúmlega tíu rannsóknarstofum, þar á meðal vegna lækninga.

Virkt eftirlit er með öllum geislavirkum lindum á Íslandi. Séð er til þess að geymslustaður þeirra sé læstur og búinn brunavörnum. Lög sem gilda um flutning geislavirkra efna krefjast þess að bílar sem það gera séu merktir og búnir neyðarbúnaði svo sem varúðarskiltum og handslökkvitækjum. Geisla-varnir ríkisins geta krafist sérstakra varúðarráðstafana vegna lokaðra linda sem hafa virkni sem er meiri en í töflu Tafla 3:

| Kjarntegund | Virkni [GBq] |
|-------------|--------------|
| Co-60 | 4 |
| Sr-90 | 3 |
| Cs-137 | 20 |
| Ra-226 | 2 |
| Am-241 | 100 |

Tafla 3: Mörk virkni geislalinda sem sérstakar varúðarráðstafanir eiga við.

| Lind | Ógn gagnvart einstaklingi | Ógn ef dreift í umhverfi | Notkun á Íslandi |
|------|---|--|---|
| 1 | Gríðarlega hættuleg: Þessi lind veldur hverjum þeim sem hana meðhöndlar, eða er í nánd við í nokkrar mínútur, vísu og varanlegu heilsutjóni nema lindin sé vel skýld og rétt farið með hana. Það reyndist sennilega banvænt að vera í nánd við svo sterka lind, óskýlda, í nokkrar mínútur og upp að klukkutíma. | Væri þessu magni af geislavirku efni dreift (t.d. í bruna eða sprengingu) í umhverfið gæti það, þó það sé ekki líklegt, valdið nærstöddu fólki vísu og varanlegu heilsutjóni eða kosta það lífið. Fólk í meira en hundrað metra fjarlægð myndu ekki finna fyrir heilsufarsáhrifum, a.m.k. ekki undireins. En menguð svæði verður að hreinsa upp eftir alþjóðlega viðurkenndri aðferð. Sé lindin nógu stór getur svæðið sem svo mengast verið ferkílómetri eða meira. | Engar slíkar geislalindir eru í notkun á Íslandi. |
| 2 | Mjög hættuleg: Þessi lind gæti valdið varanlegum skaða þeim sem komast í návígi við hana í skamma stund (nokkrar mínútur eða klukkutíma). | Það er mjög ólíklegt, en tæknilega mögulegt að sé þessari lind dreift í umhverfið, þá ylli hún fólki í nánd fjörtjóni. Fólk í hundrað metra fjarlægð stafaði enginn ógn um vísan skaða af þessari lind, en menguð svæði verður að hreinsa upp eftir alþjóðlega viðurkenndri aðferð. Stærð svæðisins sem mengast er allt að einn ferkílómetri. | Engar slíkar lindir eru í notkun á Íslandi að staðaldri. |
| 3 | Hættuleg: Þessi lind getur valdið þeim sem meðhöndlar hana, eða er í snertingu við hana í nokkra tíma, varanlegu heilsutjóni sé hún ekki skýld. Það er mögulega banvænt – þó líkurnar séu litlar – að vera í nánd við óskýlda lindina yfir nokkra daga eða vikur. | Það er afskaplega ólíklegt að þessi lind, væri henni dreift í andrúmsloftið, ylli teljanlegum vísu skarða þeim sem væru í nánd. Ekki skyldi búast við skaða á mönnum í meiri fjarlægð en eins metra eða svo en menguð svæði verður að hreinsa upp eftir alþjóðlega viðurkenndri aðferð. Svæðið sem mengast yrði langt undir einum ferkílómetra. | Krabbameinslækningar, borholulindir. |
| 4 | Lítið hættuleg: Það er mjög ólíklegt að nokkur hljóti varanlegt heilsutjón af völdum þessarar lindar. En handleiki einhver hana án skýlingar eða sé í snertingu við hana tímunum saman, eða í grennd við hana vikum saman gæti hún mögulega valdið tímabundnum meiðslum. | Svo vægur styrkur geislavirkra efna veldur engu varanlegu heilsutjóni ef dreift með sprengingu eða í eldsvoða. | Kvörðunarlindir, tæki til mælinga á raka og þéttni malbiks, lindir til notkunar í iðnaði. |
| 5 | Enginn vís skaði: Enginn hlýtur varanlegan, vísan skaða af þessari geislalind. | Geislavirkt efni af svo lágum styrk að enginn vís skaði hlytist af dreifingu þess í umhverfið. | Til dæmis lindir í reykskynjurum. |

Tafla 4: Skýring á flokkun IAEA á geislavirkum lindum. Ath! Einungis er átt við bráðan og vísan skaða hér. Hér er ekkert tekið á siðbúnum afleiðingum eins og t.d. hættu á krabbameini (IAEA 2005).

2.2 Kjarnorkuver og smærri kjarnakljúfar

Kjarnorkuverum fer fjölgandi. Samtals eru í heiminum 437 ver í notkun og verið er að byggja 55 til viðbótar á meðan eingöngu stendur til að loka fimm. Nærtækasta dæmið um þessa aukningu er að finna í Finnlandi. Þar er eitt ver í byggingu (Okilouto-3) og annað bíður á teikniborðinu. Fleiri lönd í okkar heimshluta munu ræsa nýja kjarnaofna á komandi árum, sér í lagi Rússland þar sem níu kjarnorkuver eru nú í byggingu og verið er að þróa fljótandi kjarnorkuver, byggt á hönnun kjarnorkuknúinna ísbrjóta.

Kjarnorkuver í Austur-Evrópu eru mörg hver gömul en það er mikill munur á öryggisbúnaði eldri kjarnorkuvera og þeirra nýrri. Þessum verum hefur þó á síðari árum verið breytt til að uppfylla vestræna öryggisstaðla. Öll nýrri kjarnorkuver eru hönnuð með töluvert hærri öryggisstöðlum en kjarnorkuver sem byggð voru fyrir nokkrum áratugum. Kjarnorkuverum er skipt niður í einangruð hólf til að hefta útbreiðslu geislavirkra efna, leki þau úr kjarnaofninum. Þess má geta að í Tsjernóbyl var ekki slík skipting til staðar. Skýrsla OECD ríkjanna í kjölfar Tsjernóbyl slyssins komst að þeirri niðurstöðu að ekki væri þörf á að bæta nútímalega öryggisstaðla í ljósi reynslunnar þar, því í Tsjernóbyl var einfaldlega ekki farið eftir þeim.

2.3 Kjarnorkuknúin fley

Tíundi hluti allra kjarnakljúfa í kjarnorkuiðnaðinum eru í kjarnorkuknúnum fleyum, þ.e.a.s. skipum, ísbrjótum og kafbátum. Í gegnum tíðina hefur verið töluverð umferð kjarnorkuknúinna skipa og kafbáta í grennd við íslenska landhelgi. Norður-Íshaf hefur mikilvæga hernaðarlega þýðingu fyrir ríki á norðurslóðum og má því vænta að þessi umferð haldi áfram. Með bráðnun hafíss á norðuskautinu opnast fyrir nýjar siglingarleiðir sem enn eykur á skipaumferð. Komi upp tilvik þar sem kjarnorkuknúið fley sekkur nálægt íslenskri landhelgi geta afleiðingarnar fyrir umhverfið verið alvarlegar.

2.4 Stöðvar sem meðhöndla kjarnkleyf efni

Önnur gerð ógnar er leki eða losun geislavirkra efna frá rannsókn- og endurvinnslustöðvum sem meðhöndla kjarnkleyf efni og geislavirkan úrgang í miklu magni. Mikilvægustu staðirnir í þessu samhengi eru endurvinnslustöðvarnar í Sellafield í Englandi, La Hague í Frakklandi, ásamt Mayak Ozersky og Siberian Chemical Combine í Rússlandi. Í Sellafield og La Hague var, að tilstuðlan Evrópusambandsins gert heildstætt mat á hættunni. Niðurstaða matsins var að mesta áhættan er fólgin í tönkum sem geyma geislavirkan úrgang af hárrí virkni í fljótandi formi. Þar sem þessi úrgangur gefur af sér varma þurfa tankarnir virka kælingu, að öðrum kosti sýður úrgangurinn með tilheyrandi losun geislavirkra efna í lofthjúpin. Rússnesku stöðvarnar eru báðar við ár sem renna í Karahaf. Norsk-rússneskur sérfræðingahópur hefur nýlega metið afleiðingar af slysum við þessar stöðvar og komist að þeirri niðurstöðu að þótt fólki sem býr á svæðinu stafi mikil ógn af slíkum slysum þá eru afleiðingarnar fyrir aðrar þjóðir á Norðurslóðum vægar.

2.5 Kjarnorkuvopn

Kjarnorkuvopn hafa algjöra sérstöðu meðal kjarnorkuógna. Þótt líkurnar á að kjarnorkuvopnum væri beitt í hernaði á Íslandi séu hverfandi þá eru varanlegar afleiðingar slíkra tilvika í hæsta máta alvarlegar. Þá er vert að athuga að kjarnorkusprengjum hefur eingöngu verið beitt tvisvar í hernaði, langflestar kjarnorkusprengingarnar sem orðið hafa voru tilraunasprengingar. Flestar þjóðir heims hafa sammælt um að banna kjarnorkusprengingar í tilraunaskyni og dregur það úr hættunni sem tilvist kjarnorkuvopna skapar.

2.6 Misbeiting geislunar af ráðnum hug

Atvik í þessum flokki eru meðal annars eftirfarandi:

- Geislavirkum efnum vísitandi komið fyrir þannig að almenningur verði fyrir skaðlegri geislun.
- Efnasprengjur með geislavirkri lind, þ.e.a.s. sprengjur notuðar til að dreifa geislavirku efni.
- Vísitandi losun geislavirkra efna í umhverfið á annan hátt, t.d. í andrúmsloft eða í vatnsból.
- Mengun eða eitrun í matvæli.
- Stuldur á geislavirkum lindum.
- Beiting stolinnar eða heimasmiðaðrar kjarnorkusprengju.

Ekki má leiða hjá sér ógn af hryðjuverkum, en dæmin sýna að einbeittur vilji og geta sé til staðar til að valda stórum skaða með litlum tilkostnaði. Geislavirk efni geta verið ódýr leið að því marki. Það verður að teljast ólíklegt að geislavirku vopni verði beitt á Íslandi, hvort sem er í hernaðarskyni eða í hryðjuverki. En atvik erlendis, sem ekki er beint gegn Íslandi sérstaklega geta teygt áhrif sín til Íslands, til dæmis í gegnum millilandaflug yfir Atlantshaf.

3 Reynsla af fyrri atvikum

Á undanförunum áratugum hafa orðið ýmis konar geislunarslys og atvik. Þeim má skipta í flokka eins og gert er hér.

3.1 Atvik í kjarnorkuiðnaði

Kyshtym, 1957

Árið 1957 sprakk geymslutankur fyrir hágeislavirkan úrgang við endurvinnslustöðina Majak við Úralfjöll í Rússlandi. Geislavirk efni þyrlluðust upp í 1 km hæð og bárust með vindi í þröngu belti allt að 300 km frá slysstað. Um tíu þúsund íbúar voru fluttir á brott í kjölfar slyssins. Dreifing efnanna var tiltölulega afmörkuð, en á móti kom að úrfellið varð þeim mun meira þar sem það kom niður. Geislunin var það mikil að jafnvel dýr og plöntur drápu.

Windscale (Sellafield), 1957

Í október 1957 varð bruni í Windscale kjarnakljúfnum í Englandi við reglubundið viðhald. Eldurinn magnaðist mjög og liðu tveir sólarhringar áður en tókst að ná tökum á honum. Geislavirk efni sluppu tvisvar til andrúmslofts og þurfti að hella niður óneysluhæfri mjólk í kjölfar slyssins. Efni frá slysinu bárust einnig til annarra landa. Eftir slysið (og endurbyggingu í breyttu formi) var heiti stöðvarinnar breytt í Sellafield.

Karachay-stöðuvatnið, 1967

Miklu magni geislavirks úrgangs var árum saman veitt í Karachay-stöðuvatnið frá Majak vinnslustöðinni. Árið 1967 lækkað vatnborðið verulega vegna þurrka. Við þetta varð hágeislavirkt set sem verið hafði á botni vatnsins að ryki, sem barst til umhverfis með veðri og vindum.

Kjarnorkuverið við Þriggja mílna eyju, 1979

Árið 1979 brást kælikerfi í kjarnorkuverinu við Þriggja mílna eyju í Bandaríkjunum. Það leiddi til þess að kjarninn ofhitnaði og hluti hans bráðnaði. Hlíðarkúpa versins gegndi hlutverki sínu og mjög lítið af efnum slapp til umhverfis. Málið þótti þó álitshnekkur fyrir kjarnorkuiðnað í Bandaríkjunum og víðar og varð til að efla andstöðu við nýtingu kjarnorku.

Tsjernóbyl, 1986

Versta kjarnorkuslys sögunnar varð í lok apríl 1986 í kjarnorkuverinu í Tsjernóbyl, í Úkraínu sem þá var hluti Sovétríkjanna. Hönnun kjarnakljúfsins var ekki eftir vestrænum viðmiðum, hann gat við vissar aðstæður orðið óstöðugur þannig að afl hans ykist stjórnlaut. Slíkar aðstæður komu einmitt

fram við prófun sem var gerð í trássi við hönnunarforsendur. Kljúfurinn ofhitnaði leifturhratt, sprenging varð vegna ofhitnunar og miklir eldsvoðar fylgdu í kjölfarið. Enginn öryggiskúpa var utan um kljúfinn og hágeislavirk efnin bárust því greiðlega til umhverfis. Hitinn í eldhafinu náði einnig að lyfta þeim tiltölulega hátt. Efnin dreifðust víða og í mælanlegu magni um stóran hluta Evrópu og jafnvel til eystrihluta Norður-Ameríku. Veðurskilyrði á þessum tíma ollu því að minna af efnunum barst til Íslands en hefði mátt búast við miðað við önnur lönd, úrfelli hér var hverfandi. Um 30 björgunarliðar og starfsmenn urðu fyrir mikilli geislun og létust í kjölfarið. Um sexhundrað þúsund manns komu að hreinsunarstarfi á svæðinu sem varði til 1990. Nokkurs konar grafhýsi var komið fyrir utan um rústir kjarnakljúfsins. Í kjölfar slyssins voru u.þ.b. 336 þúsund manns flutt á brott til grannsvæða í Úkraínu og Hvíta-Rússlandi. Slysíð hafði einnig töluverð áhrif á matvælaframleiðslu í stórum hluta Evrópu. Þótt úrfelli á Íslandi væri hverfandi, þá var mikil tortryggni í alþjóðlegum viðskiptum og báðu fiskútflytjendur Geislavarnir ríkisins um vottorð um að styrkur geislavirkra efna í viðkomandi sjávarafurðum væri neðan alþjóðlega viðurkenndra marka. Þetta var gert að kröfu innflytjenda erlendis og skipti þá engu þótt það mætti vera ljóst að áhrifa slyssins gæti ekki gætt í sjávarafurðum héðan. Slík vottorð eru enn gefin út, þótt dregið hafi úr eftirspurn eftir þeim. Efnahagsleg áhrif slyss geta því varað lengi, jafnvel þótt engar marktækar heilsufarslegar afleiðingar hafi orðið hér.

Tomsk-7, 1993

Árið 1993 leiddu efnahvörf til sprengingar í geymi sem var með hágeislavirku úrannítrati í einni stærstu kjarnorkuvopnasmíðju jarðar við Tomsk-7 (Seversk) í Rússlandi. Sprengingin leiddi til þess að geislavirk efni dreifðust yfir um 100 km² svæði.

3.2 Kjarnorkuknúrnir kafbátar

Chazma-flói, 1985

Í ágúst 1985 fór keðjuverkun úr böndum í kjarnakljúf við hefðbundin skipti á eldsneyti í kafbáti sem var í höfn við Chazma-flóa, við Vladivostok í Rússlandi. Slysíð leiddi til þess að umtalsvert magn geislavirkra efna barst til umhverfis.

Komsomolets, 1989

Rússneski kjarnorkukafbáturinn Komsomolets sökk árið 1989 í Noregshaf í kjölfar bruna um borð. Auk kjarnkleyfra efna sem eldsneyti kjarnakljúfsins, þá hafði báturinn einnig tvö tundurskeyti með kjarnorkusprengjum. Flak bátsins hvílir nú á 1685 m dýpi.

Echo-II, 1989

Í júní 1989 varð bilun í kjarnakljúf rússnesks Echo-II kafbáts í Noregshafi og leiddi það til losunar geislavirka efna í andrúmsloftið og hafið. Upplýsingar um geislun á áhöfn liggja ekki fyrir, en einn norskur björgunarliði á nálægu skipi varð fyrir minna en 1,7 mSv geislun (sem er minna en árleg náttúruleg geislun í Noregi). Kafbáturinn var dreginn til hafnar í þáverandi Sovétríkjum.

Kursk, 2000

Rússneski kjarnorkukafbáturinn, Kursk, sökk í kjölfar sprengingar í ágúst 2000 á meðan á flotaæfingum stóð í Barentshafi. Kafbátinum var lyft frá hafsbotni í október 2001.

K-159

Rússneski kjarnorkukafbáturinn K-159 sökk í ágúst 2003 fyrir mynni Kola-fjarðar þegar verið var að draga hann til niðurrifs. Notað kjarnorkueldsneyti var um borð í bátinum. Báturinn liggur nú á 240m dýpi.

3.3 Slys með kjarnorkuvopn

Palomares, Spáni

Árið 1966 rákust tvær bandarískar herflugvélar, B-52G sprengjuflugvél og KC-135 eldsneytis-áfillingarvél saman yfir Miðjarðarhafinu. Sprengjuflugvélin var þá hlaðin 4 vetnissprengjum. Brak þriggja þeirra fannst á landi skömmu eftir atburðinn og hafði hvellhettan á tveimur þeirra sprungið við landinguna, þó ekki þannig að kjarnorkusprenging yrði. Geislavirk efni dreifðust um tvo ferkílómetra við sprenginguna. Fjórtá sprengjan fannst á hafsbotni fáeinum mánuðum seinna og var dregin á þurrt land.

Thule, Grænlandi

Árið 1968 varð geislaslys þegar önnur bandarísk B-52 flugvél, einnig með 4 vetnissprengjur um borð hrapaði á íshellu rétt utan við Thule flughersstöðina á Grænlandi. Hvellhettur að minnsta kosti þriggja sprengjanna sprungu við landinguna og dreifðu geislavirkum efnum í umhverfið en ekki varð kjarnorkusprenging. Við hreinsunaraðgerðirnar voru 2100 rúmmetrar af geislaefnum hafis flutt til vinnslu og geymslu í Bandaríkjunum.

3.4 Fall gervihnattar með kjarnakljúf

Árið 1978 mistókst geimskot sovéska kjarnorkuknúna gervitunglsins Cosmos 954 þannig að það aðskildist ekki frá notuðum eldsneytistanki heldur hrapaði aftur til jarðar. Gervitunglið, sem lenti í Slave-vatni í Kanada, var með kjarnakljúf um borð og dreifði miklu magni geislavirkra efna um 124 þúsund ferkílómetra svæði. Áætlað er að einungis hafi tekist að hreinsa upp 0.1% af kjarnaeldsneyti gervitunglsins.

3.5 Atvik af ráðnum hug

Það eru blessunarlega fá dæmi um glæpsamlega notkun geislavirkni. Árið 2006 var þó eitruð fyrir landflóttu fyrrum starfsmanni rússnesku leynipjónustunnar, Alexander Litvinenko, með geislavirku pólóníum (^{210}Po). Litvinenko veiktist illa við eitrunina og lést þremur vikum seinna. Rannsókn leiddi í ljós geislavirka slóð sem leiddi inn á ýmsa almenningsstaði, veitingahús, þrjú hótélherbergi og meira að segja flugvélasæti sem grunaður tilræðismaður, Andrey Lugovoy, hafði setið í. Fjöldi fólks víða að, sem óttast var að hefði komist í snertingu við efnið, þurfti í kjölfarið að fara í geislaæfingu og eftirlit.

3.6 Tilraunasprengingar

Megnið af kjarnorkusprengingum sögunnar var í tilraunaskyni. Samkvæmt opinberum tölum sprengdu kjarnorkuveldin yfir 2000 kjarnorkusprengjur í tilraunaskyni á árunum 1945 til 1996 (BNA sprengdu m.a. 1127 og fyrrum Sovétríkin 969), þar af voru 543 sprengdar í andrúmslofti. Tilraunasprengingar í andrúmslofti ollu stærstu framlagi til umhverfismengunar með geislavirkum efnum af mannavöldum. Árið 1963 samþykktu Bandaríkjamenn og Sovétmenn bann við tilraunasprengingum í sjó, andrúmslofti og úti í geimi, en neðanjarðarsprengingar leyfðust innan landamæra viðkomandi ríkis. Flestar þjóðir hafa nú skrifað undir þennan samning, þar á meðal öll kjarnorkuveldin að Frökkum, Kínverjum og Norður-Kóremönnum undanskildum. Geislavirk efni þeyttust í tilraunasprengingunum alla leið upp í heiðhvolf og bærust um allan hnöttinn áður en þau féllu sem geislavirkt úrfelli sem má enn nema víðast hvar á hnettinum.

3.7 Friðsamlegar sprengingar

Á sjöunda og áttunda áratugnum voru fjölmargar kjarnorkusprengjur sprengdar til námugraftar og í uppbyggingarskyni, en þessar sprengingarnar skarast svolítið við tilraunasprengingarnar. Flestar voru þær sprengdar af fyrrum Sovétríkjunum (yfir 200) en Bandaríkjamenn sprengdu einnig nokkra tugi sprengna. Árið 1976 skrifuðu stórveldin tvö ásamt Bretum og Frökkum undir samning um að takmarka verulega slíkar sprengingar. Metnaðarfullar hugmyndir voru þá uppi um að beita kjarnorkusprengjum til dæmis til að byggja höfn í Alaska og nýjan Panama skurð. Enn heyrast raddir til stuðnings þess að kjarnorkusprengjur verði notaðar í uppbyggingu, til að slökkva olíu og gaselda og til að eyða efnavopnum svo dæmi séu tekin. Þessar raddir eru þó í minnihluta.

4 Heimildir

Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA, 2002, GS-R-2.

Atomtrusler, StrålevernRapport 2008, 11. Østerås, Statens strålevern, 2008.

Categorization of radioactive sources, Vienna : IAEA, 2005, RS-G-1.9.

UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. Sources, vol. I. Report to the General Assembly with scientific Annexes. United Nations Publications. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York. 2000.

UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly with scientific Annexes. United Nations Publications. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York. 1993.

The COSMOS 954 Accident, http://www.hc-sc.gc.ca/hc-ps/ed-ud/fedplan/cosmos_954-eng.php

Porwer Reactor Information System, <http://www.iaea.or.at/programmes/a2/>

Lög og reglugerðir um Geislavarnir <http://www.gr.is/stofnunin/log-og-reglur/>

Viðauki 2: Ritaskrá

1 Vísindagreinar

Eftirfarandi eru vísindagreinar tengdar viðbúnaði, þar á meðal geislavistfræði, sem ritaðar hafa verið á undanföllum árum af starfsfólki Geislavarna ríkisins. Óbirtar greinar sem sendar hafa verið til birtingar á síðustu mánuðum eru ekki með á þessum lista.

- S.E. Pálsson, L. Skuterud, S. Fesenko, V. Golikov (2009). Radionuclide Transfer in Arctic Ecosystems. Í IAEA TECDOC-1616. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, ISBN 978-92-0-104509-6.
- S.E. Pálsson, B.J. Howard, S.M. Wright. Prediction of spatial variation in global fallout of Cs-137 using precipitation. *Science of the Total Environment* 367 (2006) 745-756.
- M.Á. Sigurgeirsson, Arnalds Ó, Pálsson SE, Howard BJ, Gudnason K. Radiocaesium fallout behaviour in Iceland and volcanic soils in Iceland. *J Environ Radioactivity* 2005;79:39-53.
- Sigurður Emil Pálsson, Ólafur Arnalds, Magnús Á. Sigurgeirsson, Kjartan Guðnason, Brenda J. Howard, Simon M. Wright, Hans Pauli Joensen, Þórunn Pálsdóttir. 2002. Cs-137 fallout deposition in Iceland: predictions, measurements and assessments of impact. Extended abstract. Proceedings, 5th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic in St. Petersburg, Russia – June 16 – 20, 2002.
- Sigurður Emil Pálsson, Brenda J. Howard and Simon M. Wright. 2002. Optimising methods of averaging when using precipitation data to predict radionuclide deposition. Extended abstract. Proceedings, International Conference On Radioactivity In The Environment, 1-5 September 2002, Monaco
- Pálsson, S.E., Ó. Arnalds, M.Á. Sigurgeirsson, K. Guðnason, B.J. Howard, S.M. Wright and Þ. Pálsdóttir, 2002. Cs-137 Fallout inventories in Iceland – Estimating deposition from precipitation data. *Radioprotection Colloque*, 37, C1, 1223-1228.
- Sigurður Emil Pálsson, 1999. New way of demonstrating the competence of a laboratory measuring radionuclides - The international draft standard ISO/IEC DIS 17025. Nordic Society for Radiation Protection, 12th ordinary meeting, 23-27 August 1999, Skagen, Denmark. Proceedings.
- Elísabet Dolinda Ólafsdóttir, Sigurður Emil Pálsson, Sigurður M. Magnússon og Kjartan Guðnason. 1999. Distribution and Origin of Cs-137 in the Ocean around Iceland - An indicator of Man-Made Radioactivity. *Rit Fiskideildar*.
- Sven P. Nielsen og Sigurður Emil Pálsson 1998. An intercomparison of software for processing Ge gamma-ray spectra. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A* 416 415-424.
- Sven P. Nielsen og Sigurður Emil Pálsson 1998. Recent Nordic Intercomparisons Exercises on Radioanalytical Quality. International Symposium on Marine Pollution, Monaco, 5-9 October 1998. 394-395.
- Sigurður Emil Pálsson. 1998. Strengthening long-term competence in radioecology and radiation protection in Estonia - Seven years of co-operation. Regional IRPA Congress, Radiation Protection Issues in the Baltic Region with Emphasis on Co-operative Projects with Estonia, Latvia and Lithuania. June 12-13 1998. Proceedings. 205-209.
- Elísabet Dolinda Ólafsdóttir, Sigurður Emil Pálsson, Sigurður M. Magnússon 1996. Caesium-137 in the Icelandic Marine Environment 1989-1995. Nordisk Selskap for strålevern, det 11. ordinaere møtet / Det 7. Nordiske radioøkologiske seminar. Proceedings. 425.

- Sigurður Emil Pálsson, 1996. Fallout from atmospheric nuclear tests in the sixties - Review of data from Iceland Nordisk Selskap for strålevern, det 11. ordinaere møtet / Det 7. Nordiske radioøkologiske seminar. Proceedings. 379.
- Sigurður Emil Pálsson, 1996. On the choice of mathematical transformations for visualising gamma ray spectra Nordisk Selskap for strålevern, det 11. ordinaere møtet / Det 7. Nordiske radioøkologiske seminar. Proceedings. 347.
- Jóhann Þórsson, Sigurður Emil Pálsson, Elísabet D. Ólafsdóttir. 1996. Sheep grazing and radiocaesium, some external factors (abstract) 141. Nordisk Selskap for strålevern, det 11. ordinaere møtet / Det 7. Nordiske radioøkologiske seminar. Proceedings.
- Knut Hove, Hans Lönsjö, Inger Andersson, Riitta Sormunen-Cristian, Hanne Solheim Hansen, Kári Indridason, Hans Pauli Joensen, Vappu Kossila, Andrew Liken, Sigurdur M. Magnússon, Sven P. Nielsen, Arja Paasikallio, Sigurdur E. Pálsson, Klas Rosén, Tone Selnes, Per Strand, Jóhann Thorsson, Trygvi Vestergaard. 1994. Radiocaesium Transfer to Grazing Sheep in Nordic Environments. Studies in Environmental Science, Volume 62, bls. 211-227
- Sigurður Emil Pálsson, Sigurður M. Magnússon, Elísabet D. Ólafsdóttir, Kristbjörn Egilsson og Skarphéðinn Þórisson. 1993. Geislavirkni í íslensku hreindýrakjöti 1990-93. Í bókinni Villt íslensk spendýr, ritstj. Páll Hersteinsson og Guttormur Sigbjarnarson. 319-326.
- Sigurður Emil Pálsson, Kristbjörn Egilsson, Skarphéðinn Þórisson, Sigurður M. Magnússon, Elísabet D. Ólafsdóttir og Kári Indriðason. 1994. Transfer of radiocaesium from soil and plants to reindeer in Iceland. Journal of Environmental Radioactivity 24, 107-125.

2 Norrænar skýrslur með framlagi frá Geislavörnum

Geislavarnir ríkisins hafa árum saman verið virkur þátttakandi í starfi NKS (norrænna kjarnöryggisrannsóknna, www.nks.org) og þetta starf hefur verið meginstoð við að byggja upp hæfni og tengsl við sérfræðinga á Norðurlöndum. Eftirfarandi er samantekt yfir NKS skýrslur, þar sem starfsmaður Geislavarna ríkisins hefur verið ritstjóri eða verið með sýnilegt framlag sem getið er í viðkomandi skýrslu. Samantektin er unnin úr gagnagrunni NKS²⁴, án þess að úttaki væri breytt eða það snyrt.

[The NKS-B CommTech seminars on effective use of communication technology in radiological and nuclear emergency preparedness](#)

ISBN N/A

Project: NKS-B

Report no: CommTech

Author(s): -

[An intercomparison exercise on radionuclides in sediment samples](#)

ISBN: 87-550-2227-8

Project: EKO-1

Report no: EKO-1-R914-SV

Author(s): Sven P. Nielsen

[Nordic System for Data and Information Exchange - Report from meetings with the authorities, and proposal for further work](#)

ISBN: 87-7893-048-0

Project: EKO-4

Report no: NKS/EKO-4.2(96)--1

²⁴ http://www.nks.org/dk/b_programmet/rapporter/

Author(s): Tord Walderhaug

[Planer for NKS-programmet 1998-2001](#)

ISBN: 87-7893-053-7

Project: SOS-1

Report no: NKS-005

Author(s): Torkel Bennerstedt

[Marine Radioecology. Final reports from sub-projects within the Nordic Nuclear Safety. Research Programme Project EKO-1](#)

ISBN: 87-7893-056-1

Project: EKO-1

Report no: NKS-008

Author(s): Sigurður Emil Pálsson (editor)

[EcoDoses. Improving radiological assessment of doses to man from terrestrial ecosystems. A status report for the NKS-B project 2004](#)

ISBN: 87-7893-170-3

Project: NKS-B

Report no: NKS-110

Author(s): Tone D. Bergan et al

[Theory of Sampling. A mini seminar under the NKS project SAMPSTRAT](#)

ISBN: 87-7893-183-5

Project: NKS-B

Report no: NKS-122

Author(s): Elis Holm, Lars Frøsig Østergaard and Rajdeep Sidhu

[EcoDoses - Improving radiological assessment of doses to man from terrestrial ecosystems. A status report for the NKS-B project 2005](#)

ISBN: 87-7893-184-3

Project: NKS-B

Report no: NKS-123

Author(s): Sven P. Nielsen, Kasper Andersson, Håvard Thørring, Tone D. Bergan, Astrid Liland, Hans Pauli Joensen, Sara Almgren, Elisabeth Nilsson, Mats Isaksson, Bengt Erlandsson, Ritva Saxén, Eila Kostianen, Sigurður Emil Pálsson

[Emergency Management and Radiation Monitoring in Nuclear and Radiological Accidents. Summary Report on the NKS Project EMARAD.](#)

ISBN: 87-7893-199-1

Project: NKS-B

Report no: NKS-137

Author(s): Juhani Lahtinen

[Proceedings of the Summary Seminar within the NKS-B Programme 2002-2005. 24-25 October 2005, Tartu, Estonia](#)

ISBN: 87-7893-202-5

Project: NKS-B

Report no: NKS-140
Author(s): Erkki Ilus (editor)

[Emergency Monitoring Strategy and Radiation Measurements. Working Document of the NKS Project Emergency Management and Radiation Monitoring in Nuclear and Radiological Accidents \(EMARAD\).](#)

ISBN: 87-7893-204-1
Project: NKS-B
Report no: NKS-142
Author(s): Juhani Lahtinen

[Intercomparison of Laboratory Analyses of Radionuclides in Environmental Samples](#)

ISBN: 87-7893-207-6
Project: NKS-B
Report no: NKS-144
Author(s): Sven P. Nielsen

[Miljökonsekvensbeskrivningar i Norden Temamöte, Island, 2-6 september 2000. \(Environmental Impact Assessments in the Nordic Countries. Meeting, Iceland, September 2-6, 2000.\)](#)

ISBN: 87-7893-075-8
Project: SOS-3
Report no: NKS-024
Author(s): Karin Brodén, Sigurður Emil Pálsson, Þóroddur Þóroddsson

[Radiological Emergency Monitoring Systems in the Nordic and Baltic Sea Countries](#)

ISBN: 87-7893-079-0
Project: BOK-1
Report no: NKS-028
Author(s): Lennart Devell, Bent Lauritzen

[Summaries of studies carried out in the NKS/BOK-2 project - Technical report](#)

ISBN: 87-7893-086-3
Project: BOK-2
Report no: NKS-035
Author(s): Sigurður Emil Pálsson

[The Use of Synthetic Spectra to Test the Preparedness to Evaluate and Analyze Complex Gamma Spectra](#)

ISBN: 87-7893-096-0
Project: BOK-1
Report no: NKS-043
Author(s): Mika Nikkinen

[Accreditation. Its relevance for laboratories measuring radionuclides](#)

ISBN: 87-7893-100-2
Project: BOK-1
Report no: NKS-047
Author(s): Sigurður Emil Pálsson

[Radioactivity in commercially available metals](#)

ISBN: 87-7893-102-9

Project: SOS-3

Report no: NKS-049

Author(s): Karin Brodén, Steen Carugati, Sven P. Nielsen, Maija Lipponen, Antero Tiitta, Sigurður Emil Pálsson, Kristin Fure, Tore Ramsøy, Elisabeth Strålberg, Tonje Sekse, Yvonne Sandell

[MKB och SMB i Norden. Seminarium, Åbo 22-24 augusti 2001. EIA and SEA in the Nordic Countries. Seminar, Turku, August 22-24 2001](#)

ISBN: 87-7893-103-7

Project: SOS-1/SOS-3

Report no: NKS-050

Author(s): Karin Brodén, Kjell Andersson

[Intercomparison of Radionuclides in Environmental Samples 2000-2001](#)

ISBN: 87-7893-114-2

Project: BOK-1

Report no: NKS-059

Author(s): C. L. Fogh, S. P. Nielsen, M. J. Keith-Roach

[Safety and Radiation Protection in Waste Management. Final Report of the Nordic Nuclear Safety Research Project SOS-3](#)

ISBN: 87-7893-117-7

Project: SOS-3

Report no: NKS-062

Author(s): Karin Brodén et al

[Nuclear Emergency Preparedness. Final Report of the Nordic Nuclear Safety Research Project BOK-1](#)

ISBN: 87-7893-118-5

Project: BOK-1

Report no: NKS-063

Author(s): Bent Lauritzen

[Radiological and Environmental Consequences. Final Report of the Nordic Nuclear Safety Research Project BOK-2](#)

ISBN: 87-7893-119-3

Project: BOK-2

Report no: NKS-064

Author(s): Sigurður Emil Pálsson

[Nuclear threats in the vicinity of the Nordic countries. Final Report of the Nordic Nuclear Safety Research Project SBA-1](#)

ISBN: 87-7893-120-7

Project: SBA-1

Report no: NKS-065

Author(s): Inger Margrethe H. Eikermann

[Final Summary Report of the Nordic Nuclear Safety Research Program 1998-2001](#)

ISBN: 87-7893-123-1
Project: SEK
Report no: NKS-068
Author(s): Torkel Bennerstedt (ed.)

[Samordningsfunktionen. Slutrapport for Nordisk Kernesikkerhedsforsknings projekt SEK](#)

ISBN: 87-7893-125-8
Project: SEK
Report no: NKS-069
Author(s): Torkel Bennerstedt, Finn Physant, Annette Lemmens

[Proceedings of the 8th Nordic Seminar on Radioecology. 25-28 February 2001, Rovaniemi, Finland](#)

ISBN: 87-7893-126-6
Project: BOK-2
Report no: NKS-070
Author(s): Erkki Illus (editor)

[Nuclear Emergency Preparedness in the Nordic and Baltic Sea Countries](#)

ISBN: 87-7893-132-0
Project: SBA-1
Report no: NKS-076
Author(s): Alicja Jaworska

[Combining Internet Technology and Mobile Phones for Emergency Response Management](#)

ISBN: 87-7893-133-9
Project: BOK-1
Report no: NKS-077
Author(s): Sigurður Emil Pálsson

[Marine Radioecology](#)

ISBN: 87-7893-024-3
Project: EKO-1
Report no: NKS-97-FR4_EKO-1
Author(s): Sigurður Emil Pálsson

[Preparedness Strategy and Procedures](#)

ISBN: 87-7893-027-8
Project: EKO-3
Report no: NKS-97-FR6_EKO-3
Author(s): Anders Damkjær, Jens Hovgaard, Sigurður Emil Pálsson, Jan Preuthun, Anneli Salo

[EcoDoses. Improving radiological assessment of doses to man from terrestrial ecosystems. A status report for the NKS-B project 2003](#)

ISBN: 87-7893-157-6
Project: NKS-B
Report no: NKS-098
Author(s): Edited by Tone D. Bergan and Astrid Liland. Authors: Sven P. Nielsen, Mats Isaksson, Ritva Saxén, Eila Kostiainen, Kristina Rissanen, Hans Pauli Joensen, Sigurður Emil Pálsson, Tone D. Bergan,

Lavrans Skuterud, Håvard Thørring & Astrid Liland

[NKS-B mini-seminar, RADSEM-2004](#)

ISBN N/A

Project: NKS-B

Report no: RadSem

Author(s): -

[Technical Report EKO-2.1 The sheep project 1994-1995](#)

ISBN N/A

Project: EKO-2

Report no: TR-95-EKO2-1

Author(s): Tone D. Bergan

[Technical Report EKO-2.3 Long ecological half-lives of radionuclides in Nordic Limnic systems](#)

ISBN N/A

Project: EKO-2

Report no: TR-95-EKO2-3

Author(s): Tone D. Bergan

[Technical Report EKO-2.1 The sheep project 1996](#)

ISBN N/A

Project: EKO-2

Report no: TR97-EKO2-1

Author(s): Tone D. Bergan

[NKS-175, Decision support handbook for recovery of contaminated inhabited areas](#)

Radiation dose, radiocaesium, urban, inhabited areas, preparedness, decontamination, countermeasures, nuclear emergency, cost-benefit analysis, nuclear power plant, accident, dirty bomb, decision-making, waste management, kitchen garden

Project:

Report no: The handbook is aimed at providing Nordic decision-makers and their expert advisors with required background material for the development of an optimised, operational preparedness for situations where airborne radioactive matter has contaminated a Nordic

Author(s): Kasper G. Andersson

[NKS-174, PardNor - PARAmeters for ingestion Dose models for NORdic areas](#)

Foodchain modelling, ingestion dose

Project:

Report no: review of the foodchain ECOSYS model, which is applied in the European standard decision support systems ARGOS and RODOS, has identified a number of points where elaboration is deemed necessary before ECOSYS should be relied on for Nordic decision

Author(s): Sven P. Nielsen

[NKS-159](#)

Seminar, young scientists, radiophysics, radiochemistry, radioecology, radiation protection

Project:

Report no: To provide an inspiring working environment for young students and scientists, it is

important that they at an early stage can take part in a network of scientists working in their fields of interest.

Author(s): Elisabeth Strålberg (ed.)

[NKS-143, Proceedings of the Summary Seminar within the NKS-B Programme 2002-2005. 24-25 October 2005, Tartu, Estonia](#)

"Radioecology, terrestrial radioecology, aquatic radioecology, indicator organisms, laboratory analyses of radionuclides, modelling, sampling, doses to man"

Project:

Report no: This report contains the proceedings of the NKS-B Summary Seminar held on 24-25 October 2005 in Tartu, Estonia. The aim of the seminar was to provide a forum for presenting and discussing the results obtained in the NKS-B programme during the project per

Author(s): Erkki Ilus (editor)

[NKS-184, EcoDoses. Improving radiological assessment of doses to man from terrestrial ecosystems: A status report for the NKS-B activity 2006](#)

Nuclear weapons fallout, deposition modelling, food-chain modelling, ecological half-lives radiological sensitivity, Chernobyl accident

Project:

Report no: The overall aim of the NKS-B EcoDoses activity is to improve the prediction of doses to humans from consumption of radioactively contaminated food. For this purpose, various published and unpublished datasets have been compiled and applied in developing

Author(s): S. Nielsen

[NKS-185, PardNor - PARAmeters for ingestion Dose models for NORdic areas. Status report for the NKS-B activity 2008.](#)

Foodchain modelling, ingestion dose, ECOSYS, consumption habits, radioactive contamination

Project:

Report no: The ECOSYS foodchain model is built into the European standard decision support systems ARGOS and RODOS, which are integrated in the preparedness for radiological events in the Nordic countries.

Author(s): Sven P. Nielsen and Kasper G. Andersson (editors)

[NKS-207, Proficiency Test in the Analysis of Gamma Spectra for Malevolent Radiological Situations \(MALRAD\)](#)

Gamma ray spectrometry, special nuclear materials, sources

Project:

Report no: The MALRAD activity was intended to provide an exercise activity with respect to gamma ray spectrometric response to malevolent situations involving radioactive sources. Such situations can often be characterised by high activity sources in difficult conditions.

Author(s): M. Dowdall, K. Andersson, R. Singh Sidhu, S. E. Pálsson