

# Kjarnorkuslysið í Tjernobyl, 1986 orsakir og afleiðingar

Sigurður Emil Pálsson,  
Eðlisfræðingur, Geislavörnum ríkisins  
25. apríl 2006  
(endurskoðuð útgáfa)

## Inngangur

Kjarnorkuslysið í Tjernobyl er alvarlegasta slys sem hefur orðið í kjarnorkuveri. Mikið magn geislavirkra efna dreifðist frá verinu og slysið hefur haft áhrif á nýtingu kjarnorku um allan heim. Mismunandi tölur hafa verið nefndar varðandi hversu margir kunni að látast af völdum slyssins, mismunurinn stafar þó oft af því að verið er að vísa til misstórra hópa og mismunandi forsendna. Þetta hefur rýrt traust á matinu. Víða hefur verið sterk andstaða gegn nýtingu kjarnorku og ýmis ríki hafa hætt við byggingu nýrra kjarnorkuvera og ákveðið að hætta rekstri sumra eða allra núverandi vera. Óæskileg áhrif af völdum annarra orkugjafa, t.d. áhrif hugsanlegra loftslagsbreytinga, hafa gert það að verkum að margar þjóðir eru nú að endurskoða orkustefnu sína og hvaða orkugjafa skuli nýta. Það eru því líkur á því að nýting kjarnorku muni aukast á ný og umræða um hana muni aukast.

## Verkun kjarnakljúfs í kjarnorkuveri

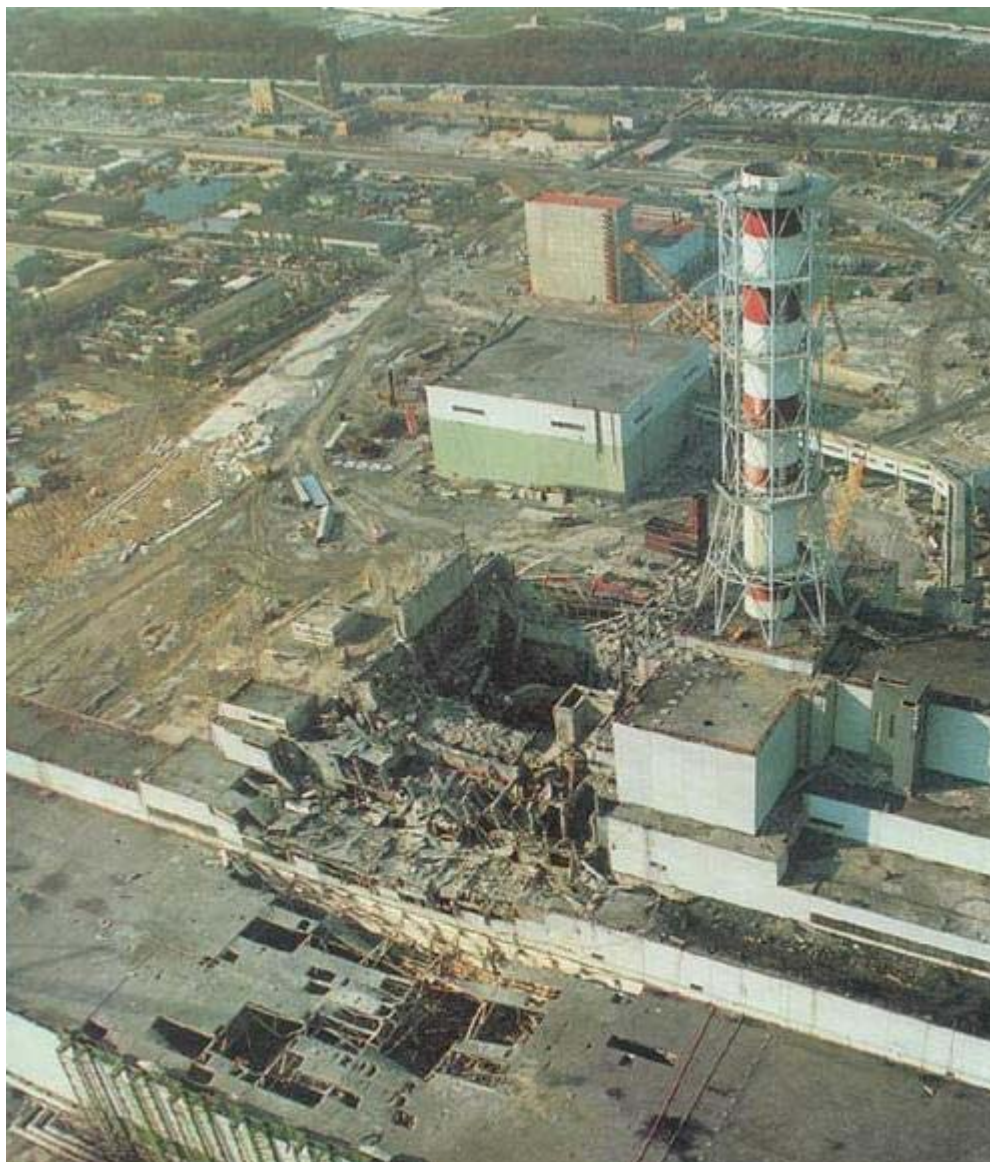
Í kjarnakljúf fæst orka með því að nifteindir lenda á kjörnum (t.d. úran-235), kljúfa þá og losa orku og fleiri nifteindir. Þær nifteindir sem losna geta síðan klofið aðra kjarna, losað meiri orku og fleiri nifteindir. Þessari keðjuverkun þarf að halda í jafnvægi, þannig að orkumyndunin sé jöfn og aflið stöðugt. Eldsneytið í kjarnakljúf er umlukið hemilefni sem hægir á hraðfara nifteindum sem losna við klofnunina og gerir þær hægfara. Þetta efni getur t.d. verið vatn eða grafit (kolefni). Hemilefnið er mikilvægt til að viðhalda keðjuverkun í kjarnakljúf, því hægfara nifteindir eiga auðveldara með að kljúfa úrankjarna en hraðfara. Ef hluti venjulegs kljúfs ofhitnar, vatnið þar sýður og gufubólur myndast, þá dregur þar úr hemlun nifteinda og þar með úr keðjuverkun og afli kljúfsins og hann kólnar á ný. Þannig leitar kljúfurinn sjálfkrafa í jafnvægi.

## Slysið í Tjernobyl<sup>1</sup>

Gerð kjarnakljúfsins í Tjernobyl var að mörgu leyti sérstæð. Kljúfurinn var mjög stór, hann var samsettur úr blokkum úr grafiti sem eldsneytisstangirnar voru settar í. Hemilefnin voru því bæði vatn og grafit. Að auki var ofninn ekki í þéttri kúpu eins og almennt er. Hættulegasti eiginleiki kljúfsins var að við vissar aðstæður gat hann verið óstöðugur og afl hans rokið upp á skammri stundu, án þess að hægt væri að ráða við það. Þetta var það sem gerðist í slysinu. Aðfaranótt 26. apríl 1986 var gerð tilraun sem fól í sér að dregið var verulega úr afli kljúfsins. Framkvæmd tilraunarinnar var brot á þeim reglum sem giltu um rekstur versins. Við þessar aðstæður þurfti að fjarlægja ýmsar af stjórnstöngum sem venjulega eru notaðar til að hafa stjórn á nifteindaflæði kljúfsins. Staðbundin ofhitnun varð í kljúfnum en þótt vatnið syði þá dró ekki nóg úr nifteindaflæðinu, því grafitið hélt áfram að gegna hlutverki hemilefnis. Aukið afl leiddi til aukinnar keðjuverkunar sem aftur leiddi til aukins afls. Kjarnakljúfurinn varð æ óstöðugri þar til afl kljúfsins rauk upp á svipstundu, gufusprenging varð

<sup>1</sup> Nákvæmari lýsingu á slysinu má finna í 1. kafla skýrslu OECD NEA, sjá heimildaskrá aftast.

og skömmu síðar fylgdi önnur sprenging í kjölfarið<sup>2</sup>. Síðar kviknaði í grafitinu (kolefninu) í kjarna kljúfsins og heitur mökkurinn frá eldhafinu reis hátt og bar með sér geislavirk úrgangsefni frá kjarnakljúfnum. Þessi efni bárust víða, m.a. voru þau greinanleg í flestum Evrópulöndum, þótt heilsufarsáhrif væru víðast hverfandi lítil (t.d. miðuð við náttúrulega geislun í viðkomandi landi).



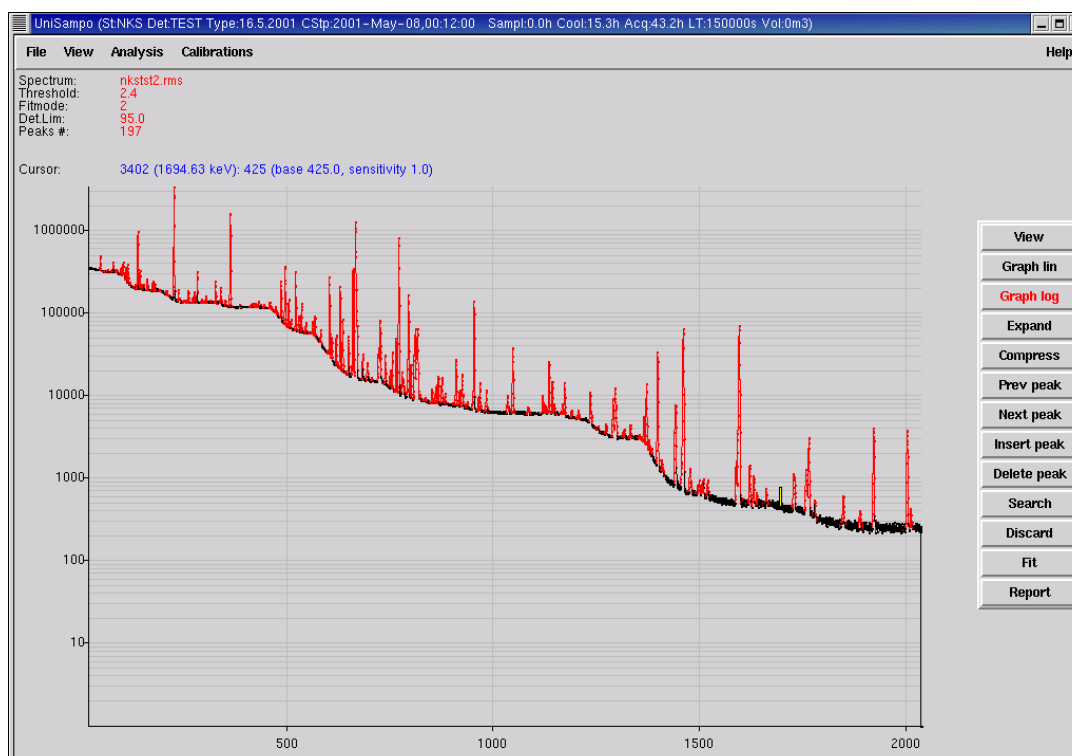
(Mynd frá: [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Chernobyl\\_Disaster.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Chernobyl_Disaster.jpg))

### **Fyrstu fréttir af slysinu – mikilvægi viðbúnaðar**

Stjórnvöld í Sovétríkjunum veittu engar upplýsingar um slysið í upphafi. Svíar voru meðal þeirra fyrstu til að uppgötva að slys hefði átt sér stað. Klukkan 7 að morgni (að sænskum tíma) mánudags 28. apríl greindust geislavirk efni við reglubundið eftirlit starfsmanna í Forsmark kjarnorkuverinu og í fyrstu var talið að slys hefði orðið þar. Með geislarósmælingum má þekkja og mægnreina mörg geislavirk efni með eins konar litrófsmælingu. Um hádegisbil lá fyrir að samsetning efnanna svaraði til þess að þau hefðu komið frá kjarnorkuveri um 10 – 48 klukkustundum áður. Samsetningin sýndi einnig að þau kæmu frá kjarnakljúf, ekki kjarnorkusprengingu. Loftstraumakort sænsku veðurstofunnar sýndi að

<sup>2</sup> Þetta var ekki kjarnorkusprenging, slík sprenging getur ekki orðið í kjarnakljúf kjarnorkuvers. Til þess að kjarnorkusprenging geti orðið þurfa aðstæður að vera þannig að afl keðjuverkunar geti aukist mun hraðar en er mögulegt með eldsneyti og umbúnaði kjarnakljúfs í kjarnorkuveri.

Þessi mökkur geislavirkra efna hafði komið að austan frá Eystrasalti og frá kjarnorkuveri í Sovétríkjunum. Stjórn Sovétríkjanna staðfesti síðan kl. rúmlega 19 að slys hefði orðið í kjarnakljúf nr. 4 í kjarnorkuverinu í Tjernobyl.



Dæmi um geislarófsmælingu á sýni eftir Tjernóbilslysið. Strokið var af yfirborði þakrúðu í Helsinki nokkrum dögum eftir slysið. Í rófinu má greina á þriðja hundrað línur og út frá þeim má þekkja 44 kjarntegundir og meta magn þeirra. Slíkar mælingar eru mikilvægar til að greina uppruna og eðli slysa, auk þess hafa efnin mismunandi hegðun og eru misvarasöm.<sup>3</sup>

### Afleiðingar slyssins

Fá mengunarslys hafa verið jafn mikið rannsökuð og slysið í Tjernobyl. Niðurstöður rannsókna hafa verið teknar saman reglulega og alþjóðleg nefnd vísindamanna á vegum Sameinuðu þjóðanna, *Chernobyl forum*, hefur metið afleiðingarnar sameiginlega og niðurstöður voru dregnar saman í skýrslu<sup>4</sup>, sem kynnt var í september 2005.

Skýrslan tekur saman allar helstu niðurstöður rannsókna á slysinu og að henni stóðu á annað hundrað sérfræðinga á vegum 8 stofnana Sameinuðu þjóðanna og stjórnvalda í Rússlandi, Úkraínu og Hvíta-Rússlandi. Þeir sem urðu fyrir mestri geislun voru slökkviliðs- og björgunarmenn. Helstu niðurstöður eru að árið 1986 hafi 28 manns látist af völdum bráðra áhrifa geislunar frá slysinu. Af þeim sem urðu fyrir mikilli geislun létust 19 til viðbótar þar til 2004 af ýmsum orksökum, ekki einungis af völdum geislunar. Að auki hefur skjaldkirtilskrabbamein greinst hjá um fimm þúsund þeirra sem voru á barns- eða unglingsaldri við slysið. Nær öll (um 99%) þessi tilvik hafa reynst læknanleg, fimmtán hafa þó látist og fleiri gætu átt eftir að bætast við.

<sup>3</sup> Myndin er úr skýrslu NKS-43, Mika Nikkinen: „The Use of Synthetic Spectra to Test the Preparedness to Evaluate and Analyze Complex Gamma Spectra“. [http://130.226.56.167/nordisk/publikationer/1994\\_2004/NKS-43.pdf](http://130.226.56.167/nordisk/publikationer/1994_2004/NKS-43.pdf)

Skýrslan var unnin innan norræns verkefnis undir stjórn starfsmanns Geislavarna ríkisins, Sigurðar Emils Pálssonar

<sup>4</sup> Sjá tilvisun í rit *The Chernobyl Forum* í heimildaskrá aftast.

Um 600 000 manns urðu fyrir það mikilli geislun að áhætta þeirra á að fá banvænt krabbamein jókst marktækt. Þetta var einkum fólk sem vann við hreinsun í og umhverfis kjarnorkuverið, íbúar sem bjuggu nærri og voru fluttir brott fyrsta árið og fólk sem býr eða bjó á þeim svæðum þar sem geislavirkt úrfelli var mest. Þessi dauðsföll munu birtast sem aukning á tíðni banvænna krabbameina. Í þessum hópi má búast við um 4000 dauðsföllum til viðbótar þeim 100 000 sem eru annars af völdum krabbameins. Meginhluti íbúa í Rússlandi, Úkraínu og Hvíta-Rússlandi varð fyrir lítilli geislun af völdum slyssins og engin heilsufarsleg áhrif rekjanleg til geislunar hafa verið greinanleg hjá þeim. Þar sem vænta má að um fjórðungur íbúa á svæðinu muni látast úr krabbameini, þá verður í flestum tilvikum erfitt að greina marktæka aukningu dánartíðni af völdum slyssins. Á þeim svæðum þar sem úrfelli var marktækt<sup>5</sup> búa um 5 milljónir manna. Þar sem allri geislun fylgir einhver áhætta, þá er gert ráð fyrir að aukin geislun gæti valdið um 5 000 dauðföllum til viðbótar. Hér er þó breyting á áhættu hvers eintaklings orðin hverfandi lítil og breytileiki annarra heilsufarsþátta orðinn ríkjandi. Þessi aukning myndi því ekki greinast með lýðtölfræði.

Niðurstöður skýrslunnar eru að flestum þessara íbúa sé meiri hættu búin af almennu bágbornu heilsufari á svæðinu. Til viðbótar hefur komið fátækt og sálrænt álag vegna skorts á upplýsingum, tortryggni í garð yfirvalda og ótti um afleiðingar slyssins. Óbein heilsufarsleg, félagsleg og efnahagsleg áhrif slyssins voru því veruleg og það er mikilvægt að veita áfram aðstoð við að draga úr afleiðingum slyssins.

### **Gagnrýni á alþjóðlega matið á áhrifum slyssins**

Ýmsir hafa orðið til að gagnrýna skýrsluna. Tveir þættir hafa þar einkum komið við sögu:

1. Mismunandi viðhorf til þess hvernig skuli meta hverfandi litla einstaklings-áhættu mjög margra
2. Ágreiningur um hvort rekja megi ýmsa heilsufarskvilla í Úkraínu og Hvíta-Rússlandi til geislunar af völdum slyssins.

Alþjóðlega skýrslan reynir að svara spurningunni í lið 2. Ágreiningurinn snýst ekki um hvort heilsufarskvillarnir hafi komið upp, heldur um hvort rekja megi þá beint til geislunar. Það er vítað nokkuð vel hversu mikið magn geislavirkra efna dreifðist og hvernig þau bærast í fæðukeðjuna og hver væntanleg áhrif voru. Það hefur verið mögulegt að staðfesta marga þætti þessa mats, jafnvel með mælingum á fólki. Líffræðileg áhrif geislunar eru mjög vel þekkt miðað við flesta aðra skaðvalda, t.d. vegna ítarlegra rannsókna á þeim sem lifðu af kjarnorkusprengingarnar í Hiroshima og Nagasaki. Mat alþjóðlegu nefndarinnar var því að leita yrdi orsaka heilsukvillanna annars staðar. Líður eitt endurspeglar hins vegar deilu sem hefur verið meðal vísindamanna um nokkurt skeið um hvernig skuli meta hverfandi litla áhættu þegar mjög margir eiga í hlut. Það hefur einnig aukið á rugling að ýmist er vísað til þeirra 600 000 sem urðu fyrir marktækt aukinni geislun (4000 dauðsföll áætluð) og til þeirra 5 milljóna sem búa á svæðum þar sem geislavirkt úrfelli var ofan vissra marka (5000 dauðsföll áætluð til viðbótar, þótt áhætta hvers einstaklings sé lítil).

### **Deilan um mat á lítilli einstaklingsáhættu mjög margra**

Í geislavörnum er miðað við að áhætta (t.d. líkur á að fá krabbamein) sé í réttu hlutfalli við magn geislunar. Þetta þýðir að allri geislun fylgi einhver áhætta, hversu lítil sem hún kann að vera. Margir hafa gagnrýnt þetta áhættumat þegar magn geislunar einstaklings er orðið mjög lítið, t.d. einungis brot af því sem hann fær árlega vegna náttúrulegra geislavirkra efna í umhverfinu. Innan geislavarna hefur þróunin á síðari árum verið sú að miða meir við marktæka áhættu

<sup>5</sup> Miðað var við að það væri meira en 37 kBq/m<sup>2</sup> af <sup>137</sup>Cs

einstaklinga, en leggja minna upp úr heildaráhættu stórs hóps ef áhætta einstaklinganna er orðin hverfandi lítil.

Í frétt *NewScientist* þann 6. apríl 2006 er sagt að væntanleg sé grein þar sem áætlaður fjöldi banvænna krabbameina af völdum slyssins á meðal 570 milljóna Evrópubúa sé metinn um 30 – 60 þúsund. Til samanburðar má þó nefna að sé miðað við meðaltal náttúrulegrar geislunar á jörðinni, þá má með svipuðum hætti reikna að á hverju einasta ári valdi hún dauða tæplega 70 þúsund manns. Einnig má nefna að vænta má að um fjórðungur þessara 570 milljóna deyi úr krabbameini. Sé hærri talan tekin úr greininni og miðað við 60 þúsund dauðsföll af völdum Tjernobyl, þá er það um 0,01% tilvika dauðsfalla. Það verður því erfitt að sjá þau áhrif í þeim 25% dánartilfella sem rekja má til krabbameins.

Vísindamenn mun eflaust halda áfram að greina á um hvernig skuli meta litla einstaklingsáhættu mjög margra og það mun því halda áfram að lita umræðuna um afleiðingar Tjernobylslyssins og hversu mörg dauðsföll verða rakin til þess.

### Áhrif á Íslandi

Mökkurinn barst ekki beint til Íslands og áhrif hér á landi urðu því lítil (örlítill vottur barst síðar, en það var lítil viðbót við það sem fyrir var vegna úrfellis frá kjarnorkusprengjutilraunum stórveldanna rúmum tveimur áratugum áður). Fréttaritið Newsweek birti forsíðugrein um slysið þann 12. maí og þar var sýnt á mynd (bls. 14) hvernig mökkurinn hefði dreifst. Samkvæmt þeirri mynd náði mökkurinn í upphafi strax til Íslands og áhrifin hérlendis hefðu því átt að vera vel greinanleg. Áhrif fjölmiðlaumfjöllunar á matvælamarkaði komu strax fram og tortryggni tók að gæta á heimsmarkaði gagnvart útfluttum vörum frá löndum þar sem geislaengunar gæti hafa gætt. Geislavarnir ríkisins hafa t.d. árum saman gefið út vottorð um geislavirkni í íslenskum útflutningsafurðum að ósk útflytjenda (vegna kröfu kaupenda á erlendum mörkuðum, gjarnan fjarlægum).

Hörð viðbrögð markaðarins sýndu berlega að það dugir ekki að viðbúnaður gegn geisla vá taki einungis til beinna heilsufarslegra áhrifa, það verður einnig að vera hægt að meta skjótt áhrif slysa til að viðhalda trausti almennings og neytenda, jafnt innanlands sem erlendis. Glatist traustið, þá geta efnahagslegar og félagslegar afleiðingar orðið alvarlegar.

### Viðbúnaður og hugsanleg áhrif annarra slysa

Geislavarnir ríkisins hafa átt náið samstarf við systurstofnanir á Norðurlöndum í áratugi. Vaxandi áhersla hefur verið á virka og skjóta upplýsingamiðlun innan viðbúnaðar, um skipti á upplýsingum um hugsanleg slys og mat á afleiðingum þeirra. Geislavarnir starfrækja 4 geisla mælistöðvar í samvinnu við Veðurstofu Íslands. Rauntímagögn frá þessum stöðvum eru aðgengileg á vef Geislavarna (<http://www.geislavarnir.is/gammastodvar/>). Geislavarnir starfrækja einnig mælistöð í neti CTBTO (*Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organisation*, alþjóðastofnun um allsherjarbann við tilraunum með kjarnavopn). Stöðin gefur ekki svörun strax (það getur tekið allt að 2 sólarhringa), en hún getur greint minnsta magn efna, jafnvel örlítið brot af því litla magni sem barst hingað til lands eftir slysið í Tjernobyl.

Rannsóknir á íslensku vistkerfi hafa einnig verið hluti viðbúnaðar. Eitt varasamasta efnið sem dreifðist eftir slysið í Tjernobyl var sesín-137 (Cs-137). Íslenskur jarðvegur er í mörgu ólíkur jarðvegi erlendis. Hann bindur sesín ekki eins vel og áhrifa geislavirks úrfellis gæti því gætt mun lengur hérlendis en víðast annars staðar. Rannsóknirnar eru því mikilvægar til þess að geta öðlast skilning á hegðun efnanna í íslensku umhverfi. Slík þekking er einnig forsenda þess að geta aðlagð og beitt slysamatskerfum á Íslandi.

## Heimildir og stoðefni

Á fræðsluvef Geislavarna ríkisins má finna frekara fræðsluefni um *líffræðileg áhrif jónandi geislunar*, um *uppbyggingu kjarnorkuvera*, um *kjarnorkuiðnaðinn í heild* (eldsneytishringinn, auðgun úrans og hvert þessara þrepa getur tengst framleiðslu kjarnorkusprengrja). Einnig má þar finna niðurstöður vöktunar Geislavarna ríkisins á geislavirkni í umhverfi og matvælum.

Vefsíða Alþjóðakjarnorkustofnunarinnar, IAEA, helguð Tjernobylyslysinu  
<http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/index.html>

Skýrsla alþjóðlega vinnuhópsins, *The Chernobyl Forum* um afleiðingar slyssins, *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*  
<http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernobyl/chernobyl.pdf>

Úttekt Kjarnorkumálastofnunar OECD, NEA  
<http://www.nea.fr/html/rp/chernobyl/welcome.html>

Rit Vísindanefndar Sameinuðu þjóðanna um áhrif jónandi geislunar (UNSCEAR) um slysið  
<http://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html>

Fréttasíða sænsku geislavarnastofnunarinnar, SSI, helguð slysinu í Tjernobyli og afleiðingum þess  
<http://www.ssi.se/News/newsEntire.asp?ID=213>

Einföld (en þó tæknileg) lýsing *World Nuclear Association* á mismunandi gerðum kjarnakljúfa sem nú eru í notkun  
<http://www.world-nuclear.org/info/inf32.htm>

### Fréttir Geislavarna ríkisins tengdar þessari umfjöllun

- Viðbúnaður: Rauntímamælingar á geislun aðgengilegar á vef Geislavarna  
<http://www.gr.is/frettir/nr/235>
- Science of the Total Environment* birtir vísindagrein frá Geislavörnum  
<http://www.gr.is/frettir/nr/234>
- Ný skýrsla: Vöktunarmælingar Geislavarna ríkisins 2004  
<http://www.gr.is/frettir/nr/214>
- Milliríkjasamningur milli Íslands og CTBTO  
<http://www.gr.is/frettir/nr/209>
- Ný skýrsla: Geislavirk efni í umhverfi og matvælum á Íslandi 1989 – 2003.  
<http://www.gr.is/frettir/nr/204>
- Ný skýrsla á vegum Sameinuðu þjóðanna um áhrif slyssins í kjarnorkuverinu í Tsjernóbýli  
<http://www.gr.is/frettir/nr/198>
- Virt vísindarit, *Journal of Environmental Radioactivity*, birtir grein starfsmanna Geislavarna um geislavirkt sesín (Cs-137) í íslenskum eldfjallajarðvegi  
<http://www.gr.is/frettir/nr/156>

### Á Vísindavefnum er að finna nokkrar greinar um tengt efni

- Örn Helgason. „Hver urðu eftirköst Tsjernobyli-slyssins?“. Vísindavefurinn 12.8.2003.  
<http://visindavefur.hi.is/?id=3650> (Skoðað 24.4.2006).
- Ágúst Valfells. „Hvað er að auðga úran?“. Vísindavefurinn 6.3.2006.  
<http://visindavefur.hi.is/?id=5687> (Skoðað 24.4.2006).
- Ágúst Valfells. „Hvað er kjarnorka og hvernig verkar hún?“. Vísindavefurinn 5.9.2002.  
<http://visindavefur.hi.is/?id=2580> (Skoðað 24.4.2006).
- Ágúst Valfells. „Í hvað er kjarnorka aðallega notuð?“. Vísindavefurinn 10.7.2002.  
<http://visindavefur.hi.is/?id=2579> (Skoðað 24.4.2006).
- Ágúst Valfells. „Hvaðan koma nifteindirnar sem skotið er í úran-235?“. Vísindavefurinn 11.5.2001. <http://visindavefur.hi.is/?id=1588> (Skoðað 24.4.2006).

### Ýmislegt:

Wikipedia  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl\\_disaster](http://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster)

Umfjöllun á vegum BBC um slysið  
<http://www.bbc.co.uk/dna/h2q2/A2922103>

Grein í *NewScientist*, 6. apríl 2006, um gagnrýni á alþjóðlegt mat á afleiðingum slyssins  
<http://www.newscientist.com/channel/health/mg19025464.400.html>