

---

# Gammagreining undirstaða og endurbætur

*Gamma spectrometry – basis and improvements*

---



GEISLAVARNIR RÍKISINS

ICELANDIC RADIATION SAFETY AUTHORITY

---

**Sigurður Örn Stefánsson**

**Febrúar 2013**

---

# Gammagreining - undirstaða og endurbætur

*Gamma spectrometry –  
basis and improvements*

---

**Stefán Örn Stefánsson**

Febrúar 2013 (eftir handriti frá 2003)

Geislavarnir ríkisins  
Rauðararstíg 10  
150 Reykjavík  
sími: 440 8200  
www.gr.is gr@gr.is  
ISBN 978-9935-9117-1-1

Forsíðumynd: Mæling á dós með spænum af rýrðu úrani. Með gammagreiningu mátti bæði þekkja innihald dósarinnar og meta magn úransins í henni. Geislaælinirinn til hægri er með ofurhreinan germaníumkristals (HPGe) sem geislanema. Kæla þarf nemann með fljótandi köfnunarefni. Það er í áfasta kútnum sem sést í lengst til hægri á myndinni.  
(ljósmynd: Sigurður Emil Pálsson)



**GEISLAVARNIR RÍKISINS**

ICELANDIC RADIATION SAFETY AUTHORITY

# EFNISYFIRLIT

<b>1. INNGANGUR .....</b>	<b>7</b>
<b>2. KVARÐANIR.....</b>	<b>9</b>
2.1. Orku- og FWHM-kvarðanir	9
2.1.1. Kvarðanir innan kerfis.....	10
2.1.2. Kvarðanir utan kerfis .....	10
2.2. Kvörðun á heimtum	11
2.2.1. Toppheimtur.....	11
2.2.2. TCC kvörðun.....	12
<b>3. LEIÐRÉTTINGAR .....</b>	<b>13</b>
3.1 Geisladeyfiing	13
3.1.1 Eðlismassaleiðrétting.....	14
3.1.2. Gleyfnileiðrétting.....	14
3.2. Tilviljanakennd samlagning	17
3.3. Bakgrunnstoppur	18
3.4. Hörnunarleiðréttingar	18
<b>4. GREINING.....</b>	<b>19</b>
4.1. Val á bókasafnsskrám	19
4.2. Aðrar stillingar – Greining sett af stað	21
4.3. Útreikningar	21
4.3.1. Stærð toppa.....	21
4.3.2. Óvissumat .....	22
4.3.3. Neðri mörk greiningar .....	22
4.4. Niðurstöður greiningar	23
<b>5. VERKFERLI (JOB-SKRÁR) .....</b>	<b>24</b>
<b>6. SAMANBURÐARPRÓF .....</b>	<b>26</b>
<b>7. LOKAORÐ.....</b>	<b>28</b>
<b>VIÐAUKI A.....</b>	<b>30</b>
Innihald eft-skráa	30

<b>VIÐAUKI B.....</b>	<b>31</b>
Mat á TCC leiðréttingarstuðlum fyrir einstakar kjarntegundir	31
<b>VIÐAUKI C.....</b>	<b>32</b>
Innihald geo-skráa	32
<b>VIÐAUKI D.....</b>	<b>33</b>
Aðferðir til eðlismassa- og gleypnileiðréttinga	33
Emperísk eðlismassaleiðrétting Risø fyrir grágula dós	35
Dæmi um útreikninga á jafngildisþykkt: 1000 ml Marinelli bikar	36
<b>VIÐAUKI E.....</b>	<b>37</b>
Gleypnieiginleikar jarðvegs	37
<b>8. HEIMILDIR.....</b>	<b>39</b>

## Formáli (2013)

Dr. Sigurður Örn Stefánsson skrifaði eftirfarandi skýrslu um gammagreiningartækni sumarið 2003, þegar hann vann hjá Geislavörnum ríkisins á námsárum sínum við Háskóla Íslands. Geislavarnir ríkisins gáfu ekki út skýrslur á þeim tíma. Efni skýrslunnar stendur þó enn fyrir sínu og stofnuninni finnst rétt að gefa skýrsluna út, enda hefur vaxandi áhersla verið á gammagreiningartækni hjá stofnuninni. Ennfremur er það stefna stofnunarinnar að gera sýnilegan góðan afrakstur vinnu námsmanna í tímabundinni vinnu.

Gammagreiningu má líkja við litrófsgreiningu, nema hvað í stað þess að skoða sýnilegt ljós er það gammageislun frá geislavirkum efnum sem er skoðuð. Sú gammageislun sem hvert geislavirkt efni sendir frá sér er einkennandi fyrir viðkomandi efni. Með því að mæla róf geislunarinnar með nákvæmum tækjum má þannig þekkja hvert geislavirkt efni frá öllum öðrum og jafnvel meta hversu mikið er af því.

Geislavarnir ríkisins hafa beitt gammagreiningu með hárrí upplausn á rannsóknstofu sinni frá því hún hóf starfsemi sína árið 1989. Þessi tækni er undirstaða mælinga stofnunarinnar á geislavirkum efnum í náttúrunni. Þótt það sé tiltölulega auðvelt að þekkja geislavirk efni með þessari tækni, þá þarf að leiðrétta vegna margra truflandi þátta þegar skal meta magn efna. Vinna Sigurðar Arnar sumarið 2003 snerist um lýsingu á þessum leiðréttingum og hvernig best væri að beita þeim í algengri gerð forrits (*GammaVision*) til úrvinnslu gammagreiningargagna. Það forrit sem Geislavarnir hafa beitt frá upphafi til úrvinnslu almennra vöktunarmælinga er skrifað á stofnuninni og inniheldur þær leiðréttingar sem þarf að gera vegna þeirra.

Á síðari árum hefur verið aukin áhersla á að nýta gammagreiningu. Stofnunin tók færanlegan gammagreini í notkun árið 2011, með honum er hægt að meta sýni og geislun á vettvangi, dæmi um slíka notkun er að finna í skýrslu stofnunarinnar um vöktunarmælingar hennar árið 2011, [GR 12:03 Vöktunarmælingar Geislavarna ríkisins 2011](#). Gammagreining á vettvangi felur einnig í sér bættu hæfni til að geta sinnt ýmsum úttektum, bæði vegna eftirlits og viðbúnaðartengdra atvika. Á forsiðu þessarar skýrslu er sýnd mæling á dós með spænum af rýrðu úrani. Með gammagreiningu mátti bæði þekkja innihald dósarinnar og meta magn úransins í henni.

Stofnunin hefur verið virkur þátttakandi í norrænu samstarfi um gammagreiningartækni. Undanfarin ár hafa verið haldnar árlegar norrænar ráðstefnur með fyrirlestrum um gammagreiningu og meðal fyrirlesara hafa einnig verið gestafyrirlesarar utan Norðurlanda, sem hafa verið með þeim fremstu á sínu sviði. Geislavarnir héldu slíka ráðstefnu í Hveragerði 11.-12. september s.l. (sjá frétt stofnunarinnar, [Ráðstefna á Íslandi um geislamælitækni](#)). Stofnunin sér einnig um norrænan wiki-vef um gammagreiningu, [GammaWiki](#).

Samstarfið nær einnig til Bandaríkjanna. National Nuclear Security Administration bauð erlendum ríkjum, á grunni samstarfs á vegum Alþjóða kjarnorkumálastofnunarinnar (IAEA), að nýta sér getu fremstu rannsóknastofnunar Bandaríkjanna á sviði gammagreiningar. Í viðbúnaðartilvikum er unnt að fá á rúmlega klukkutíma óháða staðfestingu á eigin niðurstöðum gammagreiningar eða

frumgreiningu á sýnum sem einungis færustu sérfræðingar geta greint og þá með öflugum hugbúnaði. Geislavarnir voru meðal fyrstu erlendra stofnana til að nýta sér þessa þjónustu og stofnunin gekkst meðal annars fyrir því að þessar greiningar voru notaðar í norrænum æfingum, stofnanir á öðrum Norðurlöndum hafa nú fylgt þessu eftir.

Þótt ýmsar breytingar hafi orðið á þeim áratug sem er liðinn síðan skýrslan er skrifuð og unnt hefði verið að uppfæra einstaka atriði (t.d. er komin ný og uppfærð útgáfa af bók Gordon Gilmore sem vitnað er til), þá er skýrslan það vel unnin að það þótti við hæfi að gefa hana út nákvæmlega eins og höfundur gekk frá henni. Öll aðalatriði hennar standa enn fyrir sínu og hún kemur enn þeim að góðu gagni sem vilja spreyta sig á gammagreiningu, því Stefán Örn tók saman ýmis atriði oftast er ekki að finna á einum stað eða ekki minnst er á. Textinn hér á eftir er því texti höfundar orðréttur, eins og hann gekk frá honum á sínum tíma.

Febrúar 2013,  
Sigurður Emil Pálsson

# 1. Inngangur<sup>1</sup>

Geislavarnir ríkisins fengu sumarið 1989 tækjabúnað frá Alþjóðakjarnorkumála-stofnuninni (IAEA) til þess að geta mælt gammageislandi kjarntegundir.

Gammagreiningin byggist á notkun ofurhrens germaníumkristals (HPGe) sem geislanema. Fyrstu árin eftir slysið í Tjernobyl-kjarnorkuverinu (1986) lögðu öll lönd mesta áherslu á mælingu á kjarntegundinni Cs-137 og fyrir Geislavarnir ríkisins var áriðandi að fá sem fyrst með viðurkenndum aðferðum, áreiðanlegt yfirlit yfir dreifingu og hegðun Cs-137 í íslensku umhverfi.

Í fyrstu var hugbúnaður framleiðanda (Ortec) notaður við úrvinnslu gamma-greiningarinnar. Fljótlega komu þó í ljós annmarkar á notkun hans. Möguleikar til leiðréttinga vegna mismunandi lögunar sýna og mismunandi gleypni sýna voru takmarkaðir. Annar galli hugbúnaðarins var að margar stýribreytur gátu haft áhrif á útkomu og verkun forritsins var ekki alltaf gegnsæ. Til þess að niðurstöður yrðu áreiðanlegar þurfti því annað hvort að hafa reyndan mann til að greina hvert einasta sýni, með skilning á hugbúnaðinum og undirliggjandi verkun, eða að læsa greiningarferlunum með sérstökum stýriskrá (job-skrám). Það var þó ekki einfalt vegna fjölbreytileika sýna. Þetta er vel þekktur vandi við gammagreiningarforrit, útkoman er oft mjög háð reynslu notanda.

Eftir að Sigurður Emil Pálsson kom frá framhaldsnámi í Englandi haustið 1990 tók hann því að nota greiningarhugbúnað sem hann hafði samið meðan á námi stóð [sjá Sigurður E., Viðauki D]. Sú frumgerð var síðan þróuð áfram og varð brátt notuð við allar greiningar á Cs-137. Þetta forrit (nefnt „Greina“) hefur síðan reynst vel í norrænum samanburðarprófunum.

Á síðari árum hefur verið vaxandi áhugi á öðrum gammageislandi kjarntegundum en Cs-137, bæði vegna rannsókna í geislavistfræði og vegna viðbúnaðar. Aukinn áhugi hefur einnig verið á að geta sýnt fram á gæði niðurstaða, t.d. með faggildingu. Forritið Greina, í þeirra mynd sem það var, fullnægði því ekki lengur þörfum Geislavarna ríkisins. Ný frumgerð var útbúin sem gat greint fleiri toppa í gammarófi, en ljóst var að mikla forritun þyrfti til að forritið yrði þægilegt í notkun og réði við að greina margar kjarntegundir. Áhersla á rekjanleg gæði þýðir einnig að betra er að nota alþjóðlega þekkt og viðurkennd forrit en forrit sem eru heimasmiðuð, jafnvel þegar verkun þeirra síðarnefndu er betri. Verulegar framfarir hafa einnig orðið í greiningarhugbúnaði á almennum markaði á síðari árum. Nú er mögulegt að gera ýmsar leiðréttingar sem áður var mjög erfitt að gera.

Geislavörnum ríkisins þótti því rétt að prófa greiningarhugbúnað á almennum markaði, þannig að greina mætti sem flestar gammageislandi kjarntegundir með eigi lakari árangri en áður hefur fengist með forritinu Greina. Sem hluta af þessu starfi þyrfti að huga að leiðréttingum (t.d. vegna lögunar og gleypni), fá sem fyllstan skilning á gangverki greiningarhugbúnaðarins og þeim stillingum sem hann byði upp á. Að lokum þyrfti að vera hægt að skilgreina verkferli (gjarnan stutt stýriskrá og

---

<sup>1</sup> Inngangur Stefáns Arnar frá 2003.

hjálpforrinum), sem tryggðu að sama niðurstaða fengist óháð því hver notaði forritið. Tekin voru til athugunar tvö forrit sem þegar voru til hjá stofnuninni; Linux forritið UniSampo (*Version 1.6*) og Windows forritið GammaVision (*Version 5.3*).

UniSampo virtist vera öflugt forrit en það reyndist dálítið stírt í notkun. Einn af höfundum þess tilkynnti okkur að ný útgáfa af UniSampo stæði til boða og ráðlagði okkur að reyna frekar að nálgast hana heldur en að halda áfram að reyna við eldri útgáfu. Nýja útgáfan á að vera einfaldari og þægilegri í notkun. Beiðni var send til Finnlands um nýja útgáfu en ekkert svar barst á þeim tíma sem þetta verkefni var unnið. Því þróuðust málin þannig að áhersla var lögð á að kanna notkunarmöguleika GammaVision.

Í þessari skýrslu er greint frá því hvað þarf að hafa í huga við almenna gammagreiningu og hvort eða hvernig hagnýta má GammaVision til að ná settu markmiði. Stefnt er að því að endurskoða og hugsanlega endurbæta fyrri greiningaraðferðir. Skýrslan er ekki ætluð sem nákvæmur leiðbeiningarbæklingur um notkun GammaVision og því er nauðsynlegt að hafa *GammaVision – 32, Software User's Manual* við hendina. Einnig er inn á milli greint frá niðurstöðum tilrauna sem framkvæmdar voru til að kanna mikilvægi ýmissa leiðréttinga. Að lokum er tekið dæmi um notkun og áreiðanleika GammaVision við greiningu.



## 2. Kvarðanir

Til að fá vitrænar niðurstöður úr greiningum þurfa að liggja fyrir kvarðanir á orku, hálfínubreidd toppa (FWHM) og heimtum. Hægt er að útbúa þessar kvarðanir í GammaVision og vista í heild sinni í kvörðunarskrám (-clb) eða rófskrám<sup>2</sup> (-spc) til síðari nota. Þegar eldri kvörðun er hlaðin úr slíkum skrá er einnig möguleiki að ná í orku- og FWHM-kvarðanir annars vegar og kvörðun á heimtum hins vegar sérstaklega. Allt sem viðkemur kvörðunum í GammaVision er undir **Calibration** hnappinum á valmynd.

### 2.1. Orku- og FWHM-kvarðanir

Orku- og FWHM kvarðanir tengja orku og hálfínubreidd toppa við rásanúmer. Kvarðanirnar má framkvæma við hvaða sýnis-nema geometríu sem er. Þess þarf þó að gæta að heildartalning á tímaeiningu fari ekki yfir 1000 talningar á sekúndu því þá geta summuáhrif farið að valda breikkun toppa og þ.a.l. röngu mati á toppabreidd [sjá Debertin, bls. 136]. Yfirleitt er virkni kvörðunarlausna og sýna langt undir þessum mörkum.

Í löngum mælingum getur rek í mælibúnaði valdið breikkun toppa. Í þeim tilfellum þarf að reyna að kvarða sérstaklega fyrir hverja mælingu. Ekki er alltaf víst að nógu margir toppar séu í þannig rófum til að geta framkvæmt kvörðun. Þá þarf með einhverju móti að reyna að aðlaga eldri kvarðanir breyttum aðstæðum. Ef orkukvörðun er ónákvæm getur í sumum tilfellum verið fullnægjandi lausn að breyta *Match Width* stuðli á **System** flipa undir **Analyze/Settings/Sample Type... Match Width** stuðullinn segir til um hversu nálægt mæld orka topps þarf að vera (í margfeldi af FWHM) orku í bókasafnsskrá. Sjálfvalið gildi stuðulsins er 0.5 en gæta þarf varúðar þegar gildinu er breytt því of hátt gildi getur þýtt að rangir toppar er teknir með í greiningu en of lágt gildi getur þýtt að engir toppar finnast [sjá GammaVision – 32, bls. 217].

Ágætt er að endurtaka kvarðanirnar með reglulegu millibili til að fylgjast með mögulegu reki á mælibúnaði.

Tvær leiðir eru mögulegar til orku- og FWHM-kvarðana í GammaVision. Hægt er að framkvæma þær innan kerfis og utan kerfis.

---

<sup>2</sup> Í GammaVision eru tvær skrágerðir sem geyma róf. chn-skrár hafa verið notaðar hingað til en þær geyma rófið sjálft og orku- og FWHM-kvörðunarstuðla. spc-skrár geyma rófið, allar kvörðunarupplýsingar (sama og clb-skrár) og stillingarupplýsingar (sama og sdf-skrár). Sennilega er best að geyma róf í chn-skrám fyrst eftir talningu en hlaða inn kvörðunarskrár (-clb) og stillingarskrár (-sdf) í greiningarferlinu. Eftir greiningu má vista allt saman í spc-skrá og geyma þannig bæði upplýsingar um talningu og greiningu.

### 2.1.1. Kvarðanir innan kerfis

Til að framkvæma kvörðun innan kerfis þurfa að vera fyrir hendi róf með nægilega mörgum stórum toppum sem liggja á því orkusviði sem kvarða á. Kvörðunin er framkvæmd undir **Calibrate/Energy...** Þar er bæði hægt að framkvæma handvirka kvörðun og sjálfvirka kvörðun byggða á bókasafnsskrá (-lib). [sjá nánar GammaVision – 32 bls. 180 – 187]

Í GammaVision haldast orku- og FWHM-kvarðanirnar ávallt í hendur. Þegar orkukvörðun er framkvæmd innan kerfisins er FWHM-kvörðun útbúin jafnóðum. Til að losna við þetta má framkvæma kvörðun utan kerfis. Þá er útbúin sérstök kvörðun fyrir orku- og FWHM og þær síðan færðar inn í rófskrá hvor í sínu lagi.

Þegar fullnægjandi gögnum til kvarðana hefur verið safnað og kvörðun framkvæmd notar GammaVision annarrar gráðu margliðu til að brúa punktastöfnin. Jöfnurnar fyrir orku á móti rásnum og FWHM á móti rásnum eru:

$$E = a_0 + a_1 \cdot C + a_2 \cdot C^2 \quad \text{Jafna 2.1.1.1}$$

$$F = b_0 + b_1 \cdot C + b_2 \cdot C^2 \quad \text{Jafna 2.1.1.2}$$

E = Orka, F = FWHM (í rásnum), C = Rásanúmer,  $a_i$  og  $b_i$  = stuðlar. [GammaVision – 32, bls. 180]

Stuðlarnir í jöfnunum eru geymdir í kvörðunarskrám (-clb) og/eða rófskrám (-spc).

### 2.1.2. Kvarðanir utan kerfis

Þegar kvörðun er framkvæmd utan kerfis má byggja hana á eins mörgum rófum og vera skal. Safna þarf upplýsingum um orku við rásanúmer eða FWHM (í rásnum) við rásanúmer. Hægt er að nota GammaVision til þess. Þar er einfaldlega tvísmellt á þann topp sem tekinn er til athugunar og þá birtast allar nauðsynlegar upplýsingar í gulum pop-up glugga [sjá nánar GammaVision – 32, bls. 209 – 212]. Að lokum má ákvarða út frá gögnum, stuðlana í jöfnum 2.1.1.1 og 2.1.1.2.

Forritið **translt** sem fylgir GammaVision má nota til að breyta spc-skrám í læsilegar txt- skrár. Hægt er að færa kvörðunarstuðlana inn í textaskrána og þýða hana aftur á spc- form. Þá er komin nothæf kvörðunarskrá sem hlaða má inn í GammaVision.

Dæmi um notkun **translt**: [sjá nánar GammaVision – 32, bls. 402 – 404]

Til að breyta rófskrá (-spc) í textaskrá er skrifað (í DOS):

`translt -spc <rófskrá> -txt <textaskrá>`

Nú er hægt að opna nýju textaskrána og breyta stuðlunum í orku- og FWHM-kvörðun skráarinnar. Stuðlarnir eru geymdir undir:

ENERGY CALIBRATION			
Energy fit:	$a_0$	$a_1$	$a_2$
FWHM fit:	$b_0$	$b_1$	$b_2$

Að lokum þarf að eyða punktastafninu sem gömlu stuðlarnir byggðu á og vista skrána.

Til að breyta textaskrá aftur í rófskrá er skrifað (í DOS):

```
translt -txt <textaskrá> -spc <rófskrá> -i
```

## 2.2. Kvörðun á heimum

Margar skilgreiningar eru til á hugtakinu heimtur en það getur verið misvísandi þegar fleiri en ein heimild eru lesnar samhliða [sjá Gilmore, bls. 137]. Hér á eftir er nær eingöngu fjallað um toppheimtur og því mun orðið heimtur eiga við toppheimtur nema annað sé tekið fram. Í lok kaflans er lítillega komið inn á TCC kvörðun.

### 2.2.1. Toppheimtur

Toppheimtur geislanema við ákveðna orku eru einfaldlega hlutföll talninga í gammatoppi sem nemi mælir og virkni þess topps í sýni. Heimtur eru mismunandi eftir lögun og gerð sýnis og staðsetningu þess m.v. nema og því þarf að kvarða sérstaklega fyrir hverja tilraunaruppsetningu. Kvörðun á heimum má útbúa út frá rófum með gammalínunum með þekktri virkni. Áður en kvörðunin hefst þarf rófið að vera orkukvarðað.

Í GammaVision fer kvörðunin fram undir **Calibrate/Efficiency...** Þar er hægt að láta forritið fara í gegnum sjálfvirkt kvörðunarferli byggt á sk. *certificate file* (-eft) en einnig er hægt að slá inn handvirkt sérhvert heimu-orku þar. Síðan má vista niðurstöðurnar í

eft-skrá til síðari nota [sjá nánar GammaVision – 32, bls. 192 – 199]. Þess þarf að gæta að þegar kvörðun er opin og hlaða á nýja kvörðun úr eft-skrá þá þarf að eyða gömlu kvörðuninni fyrst því annars bætist sú nýja ofan á. Það er gert með því að smella efst á vinstra horn kvörðunargluggans og velja **Destroy**.

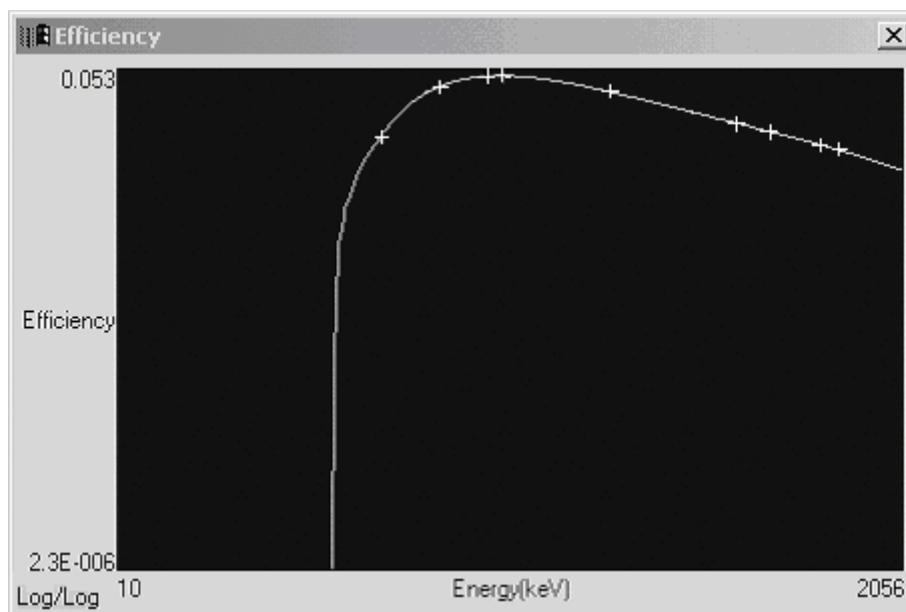
Gallinn við sjálfvirku kvörðunina liggur í eðli hennar því notandi hefur ekki mikla stjórn á því hvernig unnið er úr gögnunum. Því getur verið allt eins gott að framkvæma kvörðunina handvirkt.

Ef kvörðunin er framkvæmd handvirkt þarf að meta stærð toppanna í rófinu með einhverjum hætti. Yfirleitt eru toppar frá kvörðunarlausnum stórir og einangraðir og því ætti að vera nokkuð öruggt að nota einfalda summuaðferð til að meta stærð þeirra. Það má t.d. gera í GammaVision með því að tvísmella á þann topp sem tekinn er til athugunar. Þá birtist gulur pop-up gluggi með öllum nauðsynlegum upplýsingum. [sjá nánar GammaVision – 32, bls. 209 – 212]. Einnig má nota GammaVision greiningarvél til að meta toppastærð en aðferðirnar tvær ættu að gefa mjög sambærilegar niðurstöður ef topparnir eru stórir (sjá nánar í kafla 4). Mælt er með því að nota sömu aðferð við greiningu á staðalrófum og nota á við greiningu á sýnum.

Ekki er nauðsynlegt að nota GammaVision til þess að útbúa eða breyta eft-skrám því þær eru á textaformi og því unnt að lesa þær með ýmsum forritum. Þetta skráaform býður jafnframt upp á þann möguleika að útbúa forrit sem reiknar út heimtur og skilar eft-skrá sem GammaVision síðan les. Það getur til dæmis verið hentugt ef

reikna þarf út heimtur við ákveðið rúmmál í grágulri dós sem ekki hefur verið kvarðað fyrir. Nánar er fjallað um eft-skrár í viðauka A.

Þegar fullnægjandi gögnum til kvörðunar hefur verið safnað er hægt að velja um brúunaraðferð. Brúunaraðferð sem gefið hefur góða raun er 6. stigs logramargliða, einkennd í GammaVision með **Polynomial**. Þó getur þurft að skoða hvert tilfelli fyrir sig sérstaklega. Sjá nánar um brúunaraðferðir í GammaVision – 32, bls. 190 – 192.



**Mynd 2.2.1.1.** Kvörðun á heimtum tilbúin og brúuð með 6. stigs logramargliðu. (GammaVision).

### 2.2.2. TCC kvörðun

Þegar kjarni gefur frá sér tvær eða fleiri gammalínur í röð getur verið að þær lendi í nema nær samtímis og hann líti á þær sem einn geisla. Áhrifin kallast *True Coincidence Summing* (TCS). Þau geta valdið því að mældum talningum fækkar í toppunum sem leggjast saman og mældum talningum fjölgar í summutoppinum eða á svæði neðan hans. Áhrifin verða meiri með auknum heimtum nema og eftir því sem geislagjafi er nær honum en þau eru ekki háð virkni sýnis [sjá nánar Gilmore, bls. 148 – 152]. Þau geta orðið töluverð hjá vissum kjarntegundum þegar sýni hvílir ofan á nema.

GammaVision býður upp á sérstaka kvörðun til TCS leiðréttinga, svokallaða *True Coincidence Correction* (TCC) kvörðun. Kvörðunina er eingöngu hægt að framkvæma gegnum **Calibrate/Calibration Wizard...** [sjá nánar GammaVision – 32, bls. 200 – 206]

Erfitt er að sjá hvernig kvörðunin virkar og hvernig er hægt að nálgast gögning sem liggja að baki henni. Því er á engan hátt hægt að fullvissa sig um að kvörðunin hafi heppnast nema með endurteknum tilraunum og samanburði við aðrar aðferðir til TCS leiðréttinga. Mjög vafasamt er að nota TCC kvörðun í GammaVision með nokkurri vissu án þess að framkvæma slík samanburðarpróf. Í viðauka B er gefin hugmynd um hvernig meta má leiðréttingarstuðla fyrir einstakar kjarntegundir með tilraunum.

### 3. Leiðréttingar

Hér eru týndar til þær leiðréttingar sem geta valdið því að niðurstöður mælinga bjagast. Í mörgum tilfellum er hægt að nota GammaVision beint eða óbeint til leiðréttinga.

#### 3.1 Geisladeyfiing

Hlutfalli fótónugeislunar, sem kemst í gegnum deyfandi efni með jafna þykkt  $d$ , má lýsa með jöfnunni:

$$T = e^{-\mu \cdot \rho \cdot d} \quad \text{Jafna 3.1.1.}$$

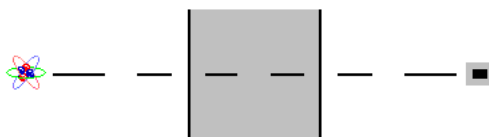
Þar sem  $\mu$  er stuðull sem lýsir gleypnieiginleikum efnis við tiltekna orku og  $\rho$  er eðlismassi efnis. Oft er notast við aðra framsetningu:

$$T = e^{-\mu' \cdot d} \quad \text{Jafna 3.1.2.}$$

Miðað er við að geislagjafi sé öðru megin við deyfandi efnið og að styrkur geislunar sé metinn í punkti hinum megin.

Fyrri jafnan er almennari og verður yfirleitt notuð hér nema annað sé tekið fram. Þar er eðlismassinn innifalinn í gleypnistuðlinum og gleypnin reiknuð út frá efnismagni á flatarmálseiningu. Í síðari jöfnunni er gleypnistuðullinn háður eðlismassa og gleypnin reiknuð út frá þykkt sýnis.

Ef gleypnieiginleikar frumefna eru þekktir má reikna út gleypnieiginleika efnasambanda sem innihalda frumefnin. Gleypnistuðlar efnasambandsins eru þá meðaltöl gleypnistuðla frumefnanna vegin með mólmassa þeirra.



**Mynd 3.1.1.** Efni milli geislagjafa (vinstri) og nema (hægri) veldur geisladeyfiing.

Oft þarf að mæla geislavirkt efni sem er jafndreift í gleypandi efni t.d. ýmiss konar umhverfissýni og matvæli. Þá má sjá út frá jöfnu 3.1.1. að hlutfall fótóna sem kemur út úr efninu, þvert á á yfirborð þess er:

$$T = \frac{1}{d} \int_0^d e^{-\mu \cdot \rho \cdot x} dx = \frac{1 - e^{-\mu \cdot \rho \cdot d}}{\mu \cdot \rho \cdot d} \quad \text{Jafna 3.1.3.}$$

Hér er gert ráð fyrir að þykkt sýnis sé lítil miðað við fjarlægð þess frá nema. Ef sú er ekki raunin, eins og t.d. fyrir grágular dósir, getur þurft að beita nákvæmari útreikningum. (sjá viðauka D).

Jafna 3.1.3 gildir einnig fyrir punkt í miðju kúluhvels (sjá mynd að neðan). Slík lögun er oft notuð í geislaælingum. Sýnið er þá í formi hjúps sem umlykur geislanemann (sbr. Marinelli bikarar). Ef sýni hefur ekki jafna þykkt þarf að reikna út jafngildisþykkt þess sem nota má í jöfnu 3.1.3 (sjá viðauka D).



**Mynd 3.1.2.** Geislavirkt efni jafndreift í sýni (vinstri). Hjúpur sem umlykur geislanema (hægri).

[stuðst var við kennsluefni frá Sigurði E. Pálssyni, 199X-2003]

### 3.1.1 Eðlismassaleiðrétting

Eðlismassaleiðrétting er leiðrétting vegna geisladeyfingar í sýni. Leiðréttingunni er beitt ef gleypnieiginleikar sýnis eru ekki nákvæmlega þekktir en vitað að þeir eru mjög svipaðir gleypnieiginleikum kvörðunarlausnar (kvörðunarlausnir eru yfirleitt vatn).

Jafna 3.1.3 liggur til grundvallar í leiðréttingunni. Nota þarf jöfnuna tvívegis, annars vegar til að leiðrétta fyrir kvörðunarlausn og hins vegar fyrir sýni. Þannig má reikna út hlutfallsstuðla sem margfaldast við óleiðrétta niðurstöður. Kosturinn við eðlismassa-leiðréttingu er sá að einungis þarf að breyta einni vel þekktri stærð í jöfnunni þ.e. eðlismassanum. Einnig eru til emperískar aðferðir til leiðréttinga. Í viðauka D eru tekin dæmi um aðferðir til eðlismassaleiðréttinga.

Þegar stuðlar eðlismassaleiðréttingar hafa verið reiknaðir er hægt að færa þá inn í geo-skrá sem GammaVision les. Fjallað er um notkun geo-skráa í viðauka C.

### 3.1.2. Gleypnileiðrétting

Gleypnileiðrétting (*e. attenuation correction*) er leiðrétting vegna geisladeyfingar í sýni eða í efni milli sýnis og nema. Ef sýni hefur gleypnieiginleika sem eru mjög frábrugðnir gleypnieiginleikum vatns er ekki hægt að nota eðlismassaleiðréttingu með eins mikilli nákvæmni. GammaVision býður upp á sjálfvirka leiðréttingu vegna geisladeyfingar ef gleypnieiginleikar sýnis eru þekktir. Gleypnileiðrétting er framkvæmd á **Corrections** flípanum undir **Analyze/Settings/Sample Type...** Þar þarf að gefa upp gleypnieiginleika og magn eða þykkt sýnis eftir því hvort reiknað er með jöfnu 3.1.1 eða 3.1.2. [sjá nánar GammaVision – 32, bls. 322]. Forritið inniheldur dágóðan banka af efnum með þekktum gleypnieiginleikum en ef þeir eru ekki þekktir má m.a.

ákvarða þá í GammaVision. Einnig má finna safn gleypnistuðla á vefsíðu *The National Institute of Standards and Technology (NIST)*:

<http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm>

### Aðferð til að ákvarða gleypnieiginleika sýnis:

---

Punktstaðli er komið fyrir í sæmilegri fjarlægð frá sýni. Fjarlægðin skal vera nógu mikil þannig að þeir geislar sem ná til nema séu nokkurn vegin samsíða. Staðallinn þarf að innihalda kjarntegundir sem gefa nægilega marga staka toppa yfir það orkubil sem kvarða á. Setja þarf hluta af sýni með þekktri þykkt ofan á nema þannig að það þekji hann algerlega. Þá er tekin mæling og rófið vistað. Síðan er sýnið fjarlæggt af nemanum og önnur mæling tekin. Til að niðurstöðurnar séu marktækar gefur auga leið að virkni punktstaðalsins þarf að vera mun meiri en virkni sýnisins. Sú er yfirleitt raunin. GammaVision getur nú reiknað út gleypnieiginleika sýnisins út frá rófunum tveimur <sup>3</sup> [sjá GammaVision – 32, bls. 232, 322]. Niðurstöðurnar eru vistaðar í töflu í att-skrá. Í viðauka E er fjallað um tilraun sem framkvæmd var til að ákvarða gleypnieiginleika mismunandi jarðvegs.

---

Att-skrár eru textaskrár mjög svipaðar í uppbyggingu og geo-skrár (sjá viðauka C). Skránum fylgja leiðinlegir ókostir sem gera nær ómögulegt að nota þær beint til leiðréttinga. Ekki er hægt að hlaða inn eldri skrár í GammaVision sem útbúnar voru frá rófum. Til að geta hlaðið þær inn þarf að opna þær með textaritli og eyða slóðum rófskráanna sem þar er vitnað í. Þá fyrst er mögulegt að hlaða þær inn í GammaVision. Þegar skrárnar eru loks komnar inn í kerfið er einungis hægt að nota þær til leiðréttinga á ytri deyfingu þ.e. gert er ráð fyrir að deyfandi efni sé milli sýnis og nema (sbr. jafna 3.1.1). Þegar sýni eru mæld er hins vegar nauðsynlegt að leiðrétta vegna innri deyfingar í sýni (sbr. jafna 3.1.3). Þó svo að att-skrár henti ekki til beinnar notkunar má fiska úr þeim gleypnistuðlana og vista þá í gagnagrunni sem GammaVision heldur utan um [sjá GammaVision – 32, bls. 231]. Síðan má nota upplýsingarnar úr gagnagrunninum til sjálfvirkra leiðréttinga.

Þegar gleypnistuðlar hafa verið ákvarðaðir og vistaðir brúar GammaVision punktastafnið með því að draga beina línu milli aðliggjandi punkta á log/log grafi. Þessi brúunaraðferð er ekki sveigjanleg og því geta niðurstöður leiðréttinga brenglast t.d. ef mikil dreifing er á punktum eða einn punktur stendur langt frá öðrum punktum. Því er ráðlegt að lagfæra punktana handvirkt þannig að þeir liggi á nokkuð samfelldum ferli sem virðist ganga vel í gegnum upprunalega punktastafnið.

---

<sup>3</sup> Í þessu tilfelli notar GammaVision jöfnu 3.1.2 til að ákvarða gleypnistuðla. Til að fá gleypnistuðla sem nota má í jöfnu 3.1.1 þarf að deila í niðurstöðurnar með eðlismassa sýnis. Áreiðanleiki GammaVision í þessum útreikningum hefur verið staðfestur með samanburði við handgerða útreikninga.

Ef gleypnileiðrétting er notuð í GammaVision er gengið út frá því að kvörðun hafi farið fram í tómarúmi. Kvarðanir fara yfirleitt fram í vatnslausn og því þarf að útbúa sérstaka kvörðun þar sem gleypnileiðréttingu er beitt á kvörðunarstaðlana. Það ætti að vera leikur einn þar sem gleypnieiginleikar vatns eru vel þekktir. Athugið að gleypnileiðrétting virkar eingöngu þegar greint er með GammaVision greiningarvél og því þarf að byggja kvörðunina á niðurstöðum úr slíkri greiningu. Mögulegt er að láta gleypnileiðréttingu koma í stað eðlismassaleiðréttingar ef notaðar eru tómarúmskvarðanir.

**Mynd 3.1.2.1.** Frumgerð af forriti sem nota má til að útbúa heimtur og gleypnileiðréttingu fyrir GV.

Ef gleypnileiðrétting í GammaVision þykir ekki þjál til rútinumælinga má skrifa eigin forrit sem reiknar út leiðréttingarstuðla sem síðan eru fluttir inn í GammaVision gegnum geo-skrár. Frumgerð af slíku forriti, *CalCorr*<sup>4</sup>, hefur þegar verið skrifuð (sjá mynd 3.1.2.1). Forritið býður upp á val um mismunandi tegundir íláts og hvort eðlismassa- eða gleypnileiðrétting er framkvæmd. Forritið reiknar einnig út heimtur. Kosturinn við eigin forritun er sá að hægt er að hafa fullkomna stjórn á sérhverju stigi leiðréttingarferlisins. Hægt er að keyra eigin forrit gegnum job-skrár og því henta þau vel til rútinumælinga (sjá kafla 5).

<sup>4</sup> Enn vantar töluvert af kvörðunarpplýsingum til að geta reiknað heimtur fyrir allar ílátstegundir og notuð er ónákvæm aðferð til að reikna út eðlismassa- og gleypnileiðréttingar. Því þarf að endurbæta forritið eða skrifa nýtt til að það geti nýst til fulls.

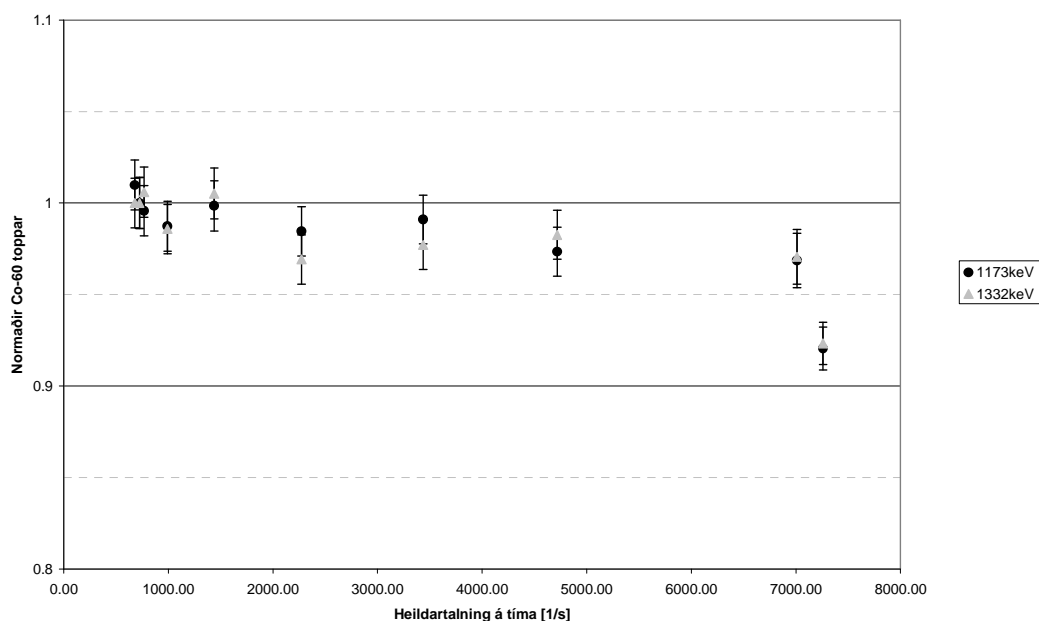


### 3.2. Tilviljanakennd samlagning

Þegar mæling er framkvæmd við háan heildartalingahraða getur orðið tilviljanakennd samlagning (*e. random summing*) gammatoppa. Ástæðan er sú að þegar talingahraðinn eykst aukast líkurnar á því að fleiri en einn gammageisli lendi í nema nær samtímis og þeir leggjast þannig saman. Summuáhrifin koma fram í því að toppar minnka og summutoppar skjóta upp kollinum.

Tilraun var framkvæmd á nema (G-3) til að kanna hversu veigamikil áhrif tilviljanakenndrar samlagningar eru. Co-60 staðli var komið fyrir í fastri fjarlægð frá nema og orkulægri Cs-137 staðall færður smám saman nær nemanum til að auka heildartalninguna. Róf voru mæld fyrir nokkrar mismunandi fjarlægðir Cs-137 frá nema. Á grafi 3.2.1. er stærð Co-60 toppa sem fall af heildartalingahraða (Co-60 topparnir normaðir m.v. heildartalingahraðann  $0 \text{ s}^{-1}$ ).

Á grafinu sést að engin marktæk áhrif koma fram fyrr en við nokkur þúsund talningar á sekúndu. Þar sem heildartaling á tímaeiningu frá náttúrulegum sýnum og kvörðunarstöðlum er yfirleitt mun lægri (<50 talningar/sek.) þarf ekki að hafa miklar áhyggjur af áhrifum tilviljanakenndrar samlagningar. Hins vegar getur þurft að taka þau með í reikninginn ef verið er að mæla sýni með háa virkni.



Graf 3.2.1. Normaðir Co-60 toppar sem fall af heildartaling á tímaeiningu.

Hægt er að framkvæma leiðréttingu vegna tilviljanakenndrar samlagningar í GammaVision [sjá GammaVision – 32, bls. 326-328]. Sú leiðrétting er hins vegar ekki fullnægjandi því aðeins ein leiðrétting er gerð fyrir allt orkusviðið. Áhrif tilviljanakenndrar samlagningar reynast hins vegar vera orkuháð [sjá Debertin, bls. 275-276]. Til að laga það er mögulegt að koma leiðréttingunum inn í GammaVision í gegnum geo-skrár með sama hætti og lýst er fyrir eðlismassaleiðréttingar í kafla 3.1.1 og viðauka C.

### 3.3. Bakgrunnstoppar

Ef mæla á kjarntegundir í sýni sem einnig eru til staðar í bakgrunni (t.d. K-40) þarf að draga bakgrunnstoppa frá sýnatoppum. GammaVision býður upp á bakgrunnstoppa-leiðréttingu sem byggir á niðurstöðum greiningar á bakgrunnsrófi. [sjá GammaVision – 32, bls. 235 og 318].

Þess þarf að gæta þegar bakgrunnsrófið er mælt að það sé gert við sömu aðstæður og sýnamælingin. Til dæmis ef sýni er mælt í Marinelli bikar getur bikarinn og innihald hans varið nemann töluvert fyrir bakgrunnsgeislun. Því þarf bikarinn að vera til staðar með gleypanði efni þegar bakgrunnsróf er mælt.

Í samanburðarprófunum í 6. kafla er bakgrunnstoppaleiðrétting GammaVision notuð. Hún virðist gefa góða raun.

### 3.4. Hrönnunarleiðréttingar

Til að fá upplýsingar um virkni kjarntegunda sýnis á þeim tíma sem því var safnað en ekki á tíma mælingar þarf að framkvæma leiðréttingu vegna hrönnunar kjarntegunda. Ef helmingunartími kjarntegunda er af sömu stærðargráðu og mælitími þarf einnig að taka tillit til hrönnunar á mælitíma.

Fræðin bakvið hrönnunarleiðréttingar eru vel þekkt og GammaVision getur framkvæmt þær með góðu móti. Leiðréttingarnar eru framkvæmdar á **Decay** flípanum undir **Analyze/Settings/Sample Type...** [sjá GammaVision – 32, bls. 219, 316 – 317].

Þess þarf samt sem áður að gæta að beita hrönnunarleiðréttingum ekki blint. Til dæmis getur verið að kjarntegund með skamman helmingunartíma sé mjög virk í sýni þó svo að aldur sýnisins sé mun meiri en helmingunartími kjarntegundarinnar. Ástæðan er sú að móðurefni með langan helmingunartíma er einnig til staðar í sýninu og framleiðir þannig stöðugt dótturefni. Í tilfellum eins og þessum nægir ekki að nota hrönnunarleiðréttingu GammaVision beint og þá getur þurft að grípa til annarra verkfæra. Ágætis umfjöllun um hrönnun á geislavirkni má finna í Krane, bls. 169 – 173.

## 4. Greining

Þegar kvörðunavinnu er lokið og búið að setja inn allar leiðréttingar er komið að því að greina. Hægt er að skipta greiningunni gróflega í tvo flokka; að bera kennsl á kjarntegundir í rófi annars vegar og magnmæla þekktar kjarntegundir hins vegar. Með góðri undirbúningsvinnu má nota GammaVision til beggja þessara verka en ef róf eru mjög flókin getur fát komið í stað mannlegs innsæis og reynslu. Helsti munurinn á greiningaraðferðum í GammaVision felst í mismunandi notkun bókasafnskráa (-lib) en þar að auki eru ýmis smærri stillingaratriði sem geta skipt máli.

### 4.1. Val á bókasafnskrám

Bókasafnskrár innihalda upplýsingar um kjarntegundir ss. eins og helmingunartíma, gammalínur ásamt gammalíkum þeirra o.fl. Með þessum upplýsingum ásamt fullnægjandi kvörðun og leiðréttingum getur GammaVision borið kennsl á kjarntegundir og reiknað út virkni þeirra. Bókasafnskrár má útbúa innan GammaVision en einfaldast er að nota forritið *Nuclide Navigator* sem virkar mjög vel með GammaVision.

Hlaða þarf inn tvær bókasafnskrár áður en greining hefst. Önnur þeirra inniheldur stóran lista yfir mögulegar kjarntegundir (*Suspected Nuclide Library (SNL)*) og er hlaðin inn á **System** flípanum undir **Analyze/Settings/Sample Type...** Hin skráin er yfirleitt mun minni og inniheldur lista yfir kjarntegundir sem líklegt er að séu í sýni (*Nuclide Library (NL)*). Hún er hlaðin inn undir **Library/Select File...**

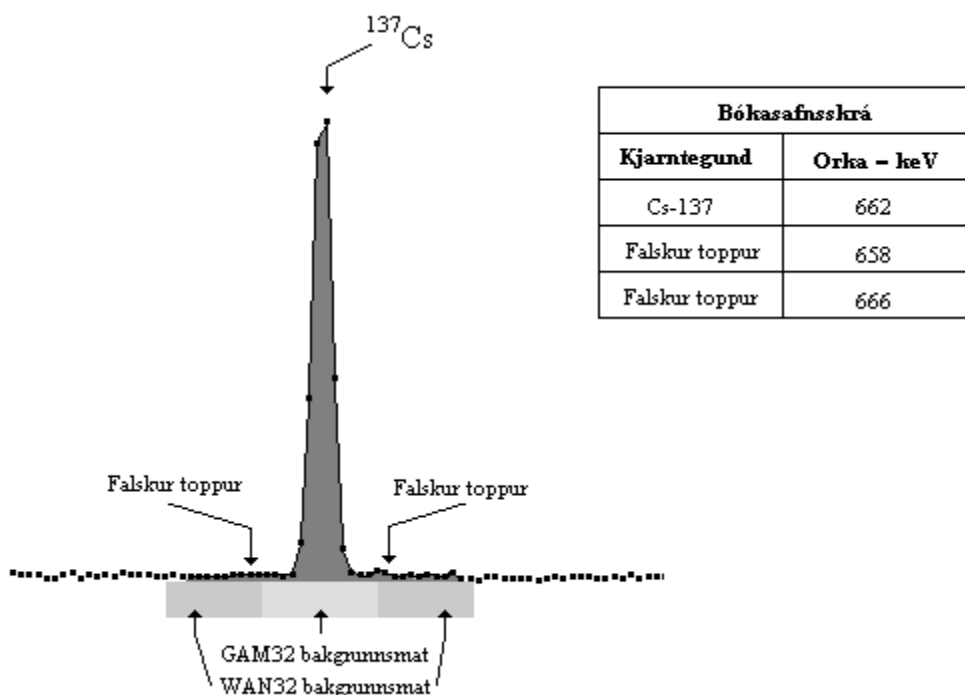
*Suspected Nuclide Library* er notað til að bera kennsl á óþekktar toppa en þær niðurstöður koma ekki fram í lokaniðurstöðum skýrslu. *Nuclide Library* er hins vegar aðal bókasafnið og greiningin byggir á því. Greiningunni er mismunandi háttáð eftir því hvaða greiningarvél er valin. Í GammaVision er hægt að velja um fjórar greiningarvélar; *WAN32*, *GAM32*, *NPP32* og *ENV32*. Þær eru stilltar á **Analysis** flípanum undir **Analyze/Settings/Sample Type...**

Með *WAN32* er framkvæmd svokölluð bókasafnsstýrð greining. Þá gerir GammaVision ráð fyrir að allir toppar í NL séu í rófi jafnvel þó að svo sé ekki. Þetta leyfir notanda að skilgreina nákvæmlega hvaða toppa á að nota í greiningunni. Þó þarf að fara varlega í að útbúa bókasafnskrár fyrir slíka greiningu því oft geta falskir toppar skekkt niðurstöður á öðrum áhugaverðum toppum (sjá mynd 4.1.1.).

Hinar þrjár greiningarvélar eru ólíkar *WAN32*. Þær taka eingöngu tillit til bókasafnstoppa sem eru til staðar í rófinu. Þannig má útbúa stærri NL bókasafnskrár án þess að eiga eins mikla hættu á að niðurstöður fari að brenglast.

Greiningarvélar nota sömu aðferð við útreikninga á bakgrunn og toppum og því eru lokaniðurstöður frá mismunandi vélum eins ef toppar eru vel einangraðir. Hins vegar geta fengist mismunandi niðurstöður ef greina þarf toppa í sundur. Bæði vegna þess að greiningarvélar nota mismunandi reikningsaðferðir til

sundurgreiningar og einnig þar sem þær gera ekki endilega ráð fyrir tilvist sömu toppa.



**Mynd 4.1.1.** Greiningarvélur geta gefið mismunandi niðurstöður m.a. vegna mismunandi bakgrunsmats.

Dæmi um mismunandi niðurstöður frá WAN32 og GAM32 má sjá á mynd 4.1.1. Dæmið er ekki raunverulegt en sýnir mismun greiningarvélanna. WAN32 byggir sína niðurstöðu á öllum þremur toppum bókasafnsskráarinnar þó svo að tveir þeirra séu ekki til staðar. Þá verður bakgrunnsmatið sameiginlegt fyrir toppana og nær yfir mun fleiri rásir. GAM32 sér hins vegar að fölsku topparnir eru ekki í rófinu og miðar því sitt bakgrunnsmat eingöngu við Cs-137 toppinn. Vegna mismunandi bakgrunsmats verða lokaniðurstöður ekki nákvæmlega eins.

Þegar gerðar eru magnmælingar á stökum kjarntegundum í þekktu rófi með vel frágengna bókasafnsskrá á ekki að skipta máli hvaða greiningarvél er notuð. Þegar rófin verða flóknari eða verið er að greina mjög smáa toppa getur þurft að skoða hvaða greiningarvél hentar hverju sinni. Nánar má lesa um greiningarvélur í GammaVision – 32, bls. 281 – 285.

Kjarntegundir geta haft fjölmargar gammalínur sem ná yfir stórt orkusvið. Þegar bókasafnsskrár eru útbúnar með slíkum kjarntegundum þarf að gæta þess að þær innihaldi eingöngu gammalínur sem liggja á því orkusviði sem rófið var mælt á. Ef gammalínur liggja utan þess orkusviðs og hafa háar gammalíkur getur verið að GammaVision hafni tilvist kjarntegundarinnar þó svo að aðrar línur með minni gammalíkur séu áberandi í rófi. Nauðsynlegt er að skoða vel hvaða gammalínur skipta máli hverju sinni og grisja óheppilegar línur úr bókasafnsskrá.

## 4.2. Aðrar stillingar – Greining sett af stað

Undir **Analyze/Setting/Sample Type...** eru ýmsar stillingar sem geta haft áhrif á greiningarferlið. Ef ekki er fjallað ítarlega um þessi atriði í skýrslunni er bent á GammaVision – 32, bls. 214 – 226 til nánari glöggvunar. Allar þessar stillingar má vista í sdf-skrám undir **Sample** flípanum. Þegar hingað er komið má greina rófið undir **Analyze/Entire Spectrum in Memory...**

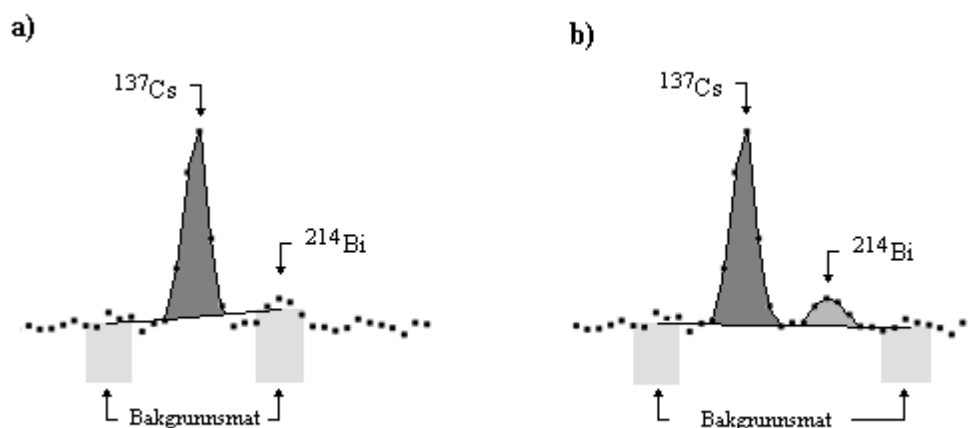
Eftir greiningu eru niðurstöður skrifaðar í greiningarskýrslu og grafísk framsetning niðurstaða birt í rófglugga. Þar er hægt að yfirfara sérhvern topp og sjá m.a. hvernig bakgrunnsmat er tekið, hvort toppur er hluti af toppahópi, sundurgreiningu toppahópa o.fl. Mikilvægt er að líta alltaf yfir grafísku niðurstöðurnar því þá sést strax hvort niðurstöður eru raunhæfar [sjá nánar GammaVision – 32, bls. 248 – 256]. Ef niðurstöður virðast óraunhæfar getur þurft að breyta ýmsum stillingum ss. eins og bókasafnsskrá (fer eftir greiningarvél), bakgrunnsmati, *Match Width* stuðli o.fl.

## 4.3. Útreikningar

Í þessum kafla er stutt umfjöllun um þær reikningsaðferðir sem notaðar eru til að fá út lokaniðurstöður sem birtar eru í greiningarskýrslu.

### 4.3.1. Stærð toppa

Til þess að finna fjölda talninga í stökum gammatoppi notar GammaVision jarðýtuaðferð þar sem talningar rása í toppinum eru einfaldlega lagðar saman og mat á talningum í bakgrunni dregið frá. Bakgrunnsmatið er tekið sitthvoru megin við toppinn [sjá GammaVision, bls. 285-290]. Ef toppurinn er mjög nálægt öðrum toppum er vægi hvers topps til toppahópsins reiknað og talning topps þannig fundin sem hlutfall af summu talninga allra toppa í toppahópinum. Bakgrunnsmat er þá tekið sitt hvoru megin við toppahópin en ekki hvern einstakan topp [sjá GammaVision, bls. 301-306]. Einnig er hægt að greina í sundur toppa með sk. *Peak Stripping* [sjá GammaVision bls. 307 – 309].



**Mynd 4.3.1.1.** Mæling á  $^{137}\text{Cs}$  topp með  $^{214}\text{Bi}$  topp í bakgrunni með **a)** Greina, **b)** GammaVision.

Í Basic-forritinu Greina er notuð svipuð summuaðferð til að reikna út stærð  $^{137}\text{Cs}$  topps (661.6 keV). Þar eru rásir toppsins lagðar saman og bakgrunnur dreginn frá. Bakgrunnsmat er ólíkt bakgrunnsmati GammaVision en samt sem áður tekið sitthvoru megin við topp. Forritið ræður hins vegar ekki við að greina í sundur toppahópa. Í löngum mælingum á daufum jarðvegssýnum getur borið þónokkuð á 665 keV  $^{214}\text{Bi}$  toppi mjög nálægt  $^{137}\text{Cs}$  toppinum. Þá er bakgrunnsmat  $^{137}\text{Cs}$  toppsins tekið beint ofan á  $^{214}\text{Bi}$  toppinum en það getur valdið töluverðu ofmati á bakgrunni og þar af leiðandi skekkju í lokaniðurstöðum. Því þarf notandi að vera meðvitaður um hvað forritið er að gera hverju sinni. GammaVision áttar sig hins vegar á tilvist  $^{214}\text{Bi}$  toppsins og tekur bakgrunnsmat sitthvoru megin við toppana tvo (sjá mynd 4.3.1). Þannig má nota GammaVision til að leiðrétta skekkjuna og þannig auka sjálfvirkni í greiningarferlinu.

Eftirfarandi jafna er notuð í GammaVision til að reikna út lokaniðurstöður á virkni kjarntegundar:

$$A = \frac{N/t_l}{\varepsilon \cdot \gamma} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \dots \cdot C_n \quad \text{Jafna 4.3.1.1.}$$

þar sem A = virkni, N = talningar í gammatopp,  $t_l$  = opinn tími nema,  $\varepsilon$  = heimtur nema við orku topps,  $\gamma$  = gammalíkur topps og  $C_i$  = ýmsir leiðréttingarstuðlar.

Ef kjarntegund hefur fleiri en einn gammatopp reiknast virknin sem vegið meðaltal virkni þeirra toppa sem eru innan ákveðinna óvissumarka frá virkni stærsta toppsins. Tölfræðileg óvissa toppa er lögð til grundvallar vægisstuðlum.

### 4.3.2. Óvissumat

Í lokaniðurstöðum greiningarskýrslu er virkni kjarntegundar birt ásamt óvissumati. Óvissumatið er tvískipt. Annars vegar er það eingöngu talningaróvissa en hins vegar heildaróvissa, þ.e. talningaróvissa auk annarra óvissuþátta (vegna kvörðunar, leiðréttinga o.fl.) [sjá nánar GammaVision – 32, bls. 328 – 329].

### 4.3.3. Neðri mörk greiningar

Neðri mörk greiningar (MDA) eru mælikvarði á hversu mikla virkni kjarntegund gæti haft í rófi án þess að borin væru kennsl á hana. Hægt er að nota ýmsar aðferðir til að reikna neðri mörk greiningar. Mismunandi aðferðum er lýst í GammaVision – 32, bls. 311 – 316 og þær eru stilltar á **System** flípanum undir **Analyze/Settings/Sample Type...**

#### 4.4. Niðurstöður greiningar

Innihald greiningarskýrslu er lýst nákvæmlega í GammaVision – 32, bls. 335 – 344.

Á **Report** flípanum undir **Analyze/Settings/Sample Type...** má stilla ýmislegt er viðkemur greiningarniðurstöðum. Þar er hægt að velja hvaða atriði koma fram í greiningarskýrslu, hvernig óvissumat er meðhöndlað og hvernig greiningarskýrsla er birt [sjá GammaVision – 32, bls. 220 – 221]. Ekki er unnt að sníða greiningarskýrslu nákvæmlega eftir eigin höfði í GammaVision en til er sérstakt forrit, *Report Generator*, sem gerir það mögulegt. Forritið getur einnig formað niðurstöður í gagnasafnsskrá, t.d. fyrir *Microsoft Access*. Æskilegt væri að kanna notkunarmöguleika *Report Generator* til að hafa betri stjórn á greiningarniðurstöðum.

## 5. Verkferli (job-skrár)

Þegar skilningur hefur náðst á öllum atriðum greiningarferlisins í GammaVision er mögulegt að útbúa verkferli í sk. job-skrám. Í job-skránum má raða saman skipunum sem leiða notanda gegnum greiningu og því er öruggt að alltaf sé hafður sami háttur á. Þannig nægir að finna hentugustu stillinguna og fínstilla hana, einu sinni fyrir hvert greiningarferli.

Job-skrárnar eru einfaldar textaskrár sem hlaðnar eru upp í **Services/Job Control...** Skipanirnar sem job-skrárnar bjóða upp á má finna í GammaVision – 32, bls. 370 - 376. Þær tala flestar beint við GammaVision og geta m.a. sótt kvörðun úr skrá, hlaðið upp rófskrár og greint þær. Einnig er hægt að útbúa for – lykkjur og boðið er er á nokkrar fyrirfram skilgreindar breytur [sjá GammaVision – 32, bls. 376 – 377].

Nota má **run** og **wait** skipanirnar til að keyra exe- og bat-skrár og þannig er hægt að vefa eigin forritun inn í greiningarferlið. Þannig má t.d. útbúa forrit sem reikna heimtur eða forrit sem ná í kvörðunarskrár eftir því hvaða nemi var notaður til að mæla róf.

Notkun job-skráa útskýrir sig að mestu leyti sjálf með hjálp skipanalista. Þess þarf þó að gæta að hafa skipanaröðina rétta þannig að skipanir yfirkeyri ekki fyrri skipanir. Til dæmis þarf fyrst að hlaða inn stillingarskrá fyrir greiningu (-sdf) áður en beðið er um viðmiðunardagsetningu og massa sýnis.

Dæmi um job-skrá sem ætluð er til greiningar á Cs-137:

---

recall	// Beðið um rófskrá
run "\$curdir)\demo.exe"	// Forrit keyrt sem t.d. útbýr
leiðréttingar	
wait "\$curdir)\demo.exe"	// Beðið eftir að keyrslu ljúki
load_lib "\$curdir)\lib-skrar\cs137.lib"	// Bókasafnsskrá hlaðin
recall_options "\$curdir)\cs137.sdf"	// Stillingarskrá fyrir greiningu hlaðin
recall_energy "\$curdir)\clb-skrar\kvordun.clb"	// Orku- og FWHM- kvarðanir hlaðnar
calibrate_efficiency "\$curdir)\gragul.eft"	// Kvörðun á heimtum útbúin út frá skrá
ask_collection	// Beðið um viðmiðunardagsetningu
ask_weight	// Beðið um massa sýnis
analyze	// Greining framkvæmd

---

Sumar skrár, eins og t.d. geo-skrár, er ekki hægt að hlaða beint upp með skipun í job-skrá. Þá getur verið að þurfi að geyma slóð þeirra í sdf-skrá. Viðkomandi skrá hleðst þá upp þegar kallað er á sdf-skrána.

Því miður er ekki hægt að hafa fullkomna stjórn á GammaVision gegnum job-skrár. Þær eru samt sem áður mjög þægilegt tól til vel skilgreindra rútinumælinga því mun betra samræmi fæst milli mælinga en ella.



Þess þarf samt sem áður að gæta að yfirfara greiningarniðurstöður ávallt því þegar rútinumælingar eru framkvæmdar er ekki alltaf víst að sama verkferli eigi við öll róf. Ef t.d. toppar eru litlir og mikil dreifing í bakgrunni getur þurft að lagfæra ýmsar fínstillingar ss. eins og hvernig bakgrunnsmat er tekið (5 pkt., 3.pkt, 1.pkt, auto).

## 6. Samanburðarpróf

Nú verða tekin dæmi um notkun GammaVision við greiningu. Greind voru róf með þekktum niðurstöðum úr NKS samanburðarprófunum 2000 – 2001. Áhersla var lögð á að magnmæla kjarntegundir sem vitað var að voru í sýni. Vel skilgreint verkferli var sett upp í job-skrá og forritið *CalCorr* var notað til að reikna út heimtur og eðlismassaleiðréttingu. Engin tilraun var gerð til að reyna að ákvarða gleypnieiginleika sýnanna og því eingöngu notuð eðlismassaleiðrétting. Notast var við WAN32 greiningarvél.

### Greiningarferli í grófum dráttum:

Opna rófskrá

Útbúa bókasafnsskrá

Útbúa stillingarskrá fyrir greiningu – geo-skrár, bakgrunnstoppaleiðr, greiningarvél o.fl.

Kvarða fyrir orku – Ef hægt, byggja kvörðun á rófi. Annars nota staðalkvörðun

Reikna út heimtur út frá tegund og rúmmáli sýnis og hlaða inn

Reikna út eðlismassa-/gleypnieiðréttingu út frá eiginleikum sýnis og hlaða inn

Skrá massa sýnis í GammaVision

Skrá leiðréttingardagsetningu í GammaVision

Greina róf

Leiðrétta niðurstöður vegna TCS (ekki hægt fyrir allar kjarntegundir)

Greiningarferlið var keyrt á þrjú gammaróf. Niðurstöðurnar koma fram í töflu 6.1 ásamt áætluðum raunverulegum gildum sem fengust úr NKS skýrslu um samanburðaræfingu [Fogh o.fl., bls. 7, 12 og 18].

Tafla 6.1. Niðurstöður greininga á rófum úr samanburðarprófi

Sýni	Kjarnt.	GammaVision [Bq/kg]		Niðurstöður úr NKS skýrslu [Bq/kg]		
		Gildi	Óvissa	Meðaltal	Min	Max
Jarðvegur	K-40	509	10	509	448	553
	CS-137	1947	37	2061	1890	2285
	CS-134 <sup>5</sup>	14.13	0.4	13.7	12.8	15.3
Mjólkurduft	K-40	381	8	384	360	425
	Cs-137	<b>0.57</b>	0.14	0.36	0.2	0.5
Þang	K-40	765	15	783	623	872
	Mn-54	4.2	0.26	3.57	2.7	4.6
	Co-60 <sup>1</sup>	33.26	0.69	33.2	30.3	37.23
	Ag-110m	<b>3.04</b>	0.24	4.07	3.4	4.5
	Cs-137	26.39	0.55	26.6	24	29

Þessar niðurstöður fengust með því að keyra rófin algerlega blint í gegnum verkferlið að ofan. Í langflestum tilfellum koma niðurstöður mjög vel saman við niðurstöður úr

<sup>5</sup> Leiðrétt eftir á vegna TCS. Leiðréttingarstuðlar voru ákvarðaðir með tilraunum.

NKS skýrslu. Feitletruðu gildin í töflunni eru hins vegar töluvert frá réttum gildum, það er þó hægt að útskýra.

Sterkustu gammalínur Ag-110m koma hver á eftir annarri í kjarnbreytingariti og því eru áhrif TCS töluverð. TCC stuðull er ekki þekktur en ekki er ósennilegt að hann liggja á bilinu 1.2-1.3 (samanburður við Cs-134). Þá verða niðurstöður fyrir Ag-110m **3.6 – 3.9 Bq/kg** sem er nálægt réttum niðurstöðum.

Virkni Cs-137 í mjólkurdufti er mjög lítil og því heilmikil talningaóvissa (25%). Niðurstöðurnar eru þannig séð réttar innan óvissumarka en samt sem áður má fá betri niðurstöður. Af einhverri ástæðu tók WAN32 greiningarvélin mjög óraunhæft bakgrunnsmat sem leiddi til ofmats á virkni Cs-137 topps. Það sást vel með því að skoða grafíska framsetningu greininganiðurstaða í GammaVision. Með því að greina aftur með GAM32 greiningarvél fékkst mun raunhæfara bakgrunnsmat og niðurstaðan var **0.40 ± 10 Bq/kg** sem er strax mun nær lagi. Til samanburðar voru öll rófin greind aftur með GAM32 og niðurstöðurnar greiningarvélanna voru nákvæmlega eins nema í þessu eina tilfelli með Cs-137 í mjólkurdufti. Engin skýring er á því afhverju WAN32 klikkaði því á pappírnum eiga WAN32 og GAM32 að nota sömu reikningsaðferðir við að meta stærð á stökum toppum. Sú er augljóslega ekki raunin og mismunurinn virðist m.a. koma fram þegar toppar eru mjög smáir á úfnum bakgrunni. Þetta dæmi sýnir hversu mikilvægt er að yfirfara greiningarniðurstöður því oft er augljóst hvað hefur farið úrskeiðis og hugsanlega mögulegt að bæta það.

Niðurstöður greiningar GammaVision eru á heildina litið í góðu samræmi við niðurstöður í NKS skýrslu eftir að þessar tvær leiðréttingar hafa verið gerðar.

## 7. Lokaorð

Niðurstöður samanburðarprófs í 6. kafla sýna að mögulegt er að fá góðar niðurstöður úr gammagreiningu með GammaVision. Hægt er að útbúa mjög sambærilegt verkferli og er notað í Greina (svipaðar aðferðir til að ákvarða toppastærð og leiðréttingar) en unnt er að greina kjarntegundir á stærra orkusviði. Mögulegt er að greina Cs-137 eins og áður og jafnvel með áreiðanlegri niðurstöðum (sbr. umræðu í kafla 4.3.1).

Samanburðarprófið sýnir einnig að TCS er vandamál og getur valdið töluverðri skekkju á niðurstöðum fyrir ákveðnar kjarntegundir. Þar sem GammaVision virðist ekki gefa fullnægjandi leiðréttingu er ástæða til þess að kanna notkunarmöguleika *GeSpeCor* eða *Shaman*. Ráðlegt er að framkvæma fleiri mælingar á stöðlum til að meta TCC leiðréttingarstuðla (sbr. viðauki B). Stuðlana má nota beint til leiðréttinga og síðar til samanburðar við niðurstöður hugbúnaðar.

Niðurstaða tilrauna til að kanna mikilvægi ýmissa leiðréttinga sýna að þær leiðréttingaraðferðir sem notaðar eru í Greina gefa ágætar niðurstöður. Eðlismassa-leiðrétting hefur reynst vel en gleypnileiðrétting gæti í sumum tilfellum gefið ögn nákvæmari niðurstöður (sbr. viðauka E). Hægt er að útfæra leiðréttingarnar í Gamma-Vision, sumar innan kerfis en aðrar með eigin forritun sem útbýr leiðréttingarskrár fyrir GammaVision. Þar að auki má útbúa aðrar leiðréttingar í GammaVision t.d. draga frá bakgrunnstoppa og leiðrétta vegna gleypandi efnis milli sýnis og nema (kafla 3).

GammaVision hefur fleiri kosti sem gera það þess virði að eiga það. Mjög auðvelt er að nota forritið til söfnunar og til að stjórna nemum. Þá hefur það þægilegt grafískt viðmót með aðgerðum til að líta nánar á róf (stækkun, lin/log ham, flýtilykla, góða stjórnun með mús o.fl.). Hægt er að fá bráðabirgðaniðurstöður með því að skoða áhugaverð svæði (e. *region of interest (ROI)*) og þannig má strax fá mat á virkni kjarntegunda til samanburðar við lokaniðurstöður í greiningarskýrslu. Grafísk framsetning greiningarniðurstaða er birt í rófglugga og þannig er hægt (nauðsynlegt!) að ganga úr skugga um að greiningin hafi farið rétt fram.

GammaVision hefur einnig þónokkuð af ókostum. Oft getur verið snúið að nálgast gögn sem liggja að baki kvörðunum og leiðréttingum og beita þarf „klaufalegum“ aðferðum til að unnt sé að hafa fullkomna stjórn á þessum atriðum. Í sumum tilfellum virðist það ómögulegt sbr. TCC kvörðun. Eigin forrit í job-skrám geta oft einfaldað slíkar lausnir og jafnvel komið í stað ýmissa leiðréttingaaðferða GammaVision (sbr. *CalCorr*). Ný útgáfa GammaVision er nú komin út (*Version 6.0*) og vert er að skoða hvað uppfærslan býður upp á.

Með góðri kvörðunarvinnu og dálítilli forritun má hefja notkun á GammaVision til greininga. Þó er alls ekki mælt með því að láta staðar numið við GammaVision því síðar meir væri ráðlegt að líta á nýja útgáfu UniSampo (stendur okkur til boða að

kostnaðarlausu) og jafnvel reyna að nálgast *Shaman*<sup>6</sup>. Ef notkun GammaVision verður þá komin á fullt er gott að hafa tilbúna greiningarniðurstöður til samanburðar við niðurstöður úr UniSampo.

---

<sup>6</sup> Sigurður Emil: *UniSampo* og *Shaman* (Seiðkarlinn) eru finnsk gammagreiningarforrit sem eru meðal þeirra öflugustu sem unnt er að kaupa. *Shaman* beitir gervigreind til að meta niðurstöður *UniSampo* og getur þannig túlkað sjálfvirkt mjög flókin róf, sem annars þyrfti færa sérfræðinga til að ráða í.

## Viðauki A

### Innihald eft-skráa

Eft-skrár eru hlaðnar með **Recall** hnappinum undir **Calibrate/Efficiency...** Skrárnar geta innihaldið mismikið af upplýsingum eftir því til hvers þær eru notaðar.

Ef framkvæma á sjálfvirka kvörðun á toppheimtum þurfa eft-skrár að innihalda allar nauðsynlegar upplýsingar um kvörðunarstaðla ss. viðmiðunardag, virkni, gammalíkur o.fl. Þegar eft- skrár eru útbúnar fyrir sjálfvirka kvörðun er einfaldast að nota Eft File Editor (EFE) í GammaVision til að færa inn kvörðunarupplýsingar. [sjá GammaVision – 32, bls. 197 – 198] Til að opna EFE er farið í **Calibrate/Efficiency...** , smellt efst á vinstra horn gluggans sem þá opnast og þar smellt á **Edit file...** Til þess að nota skrárnar á þessu formi þarf rófið sem kvörðunin byggir á, ávallt að vera opið í bakgrunni.

Þegar kvörðun er framkvæmd handvirkt er innihald eft-skránna mun takmarkaðara. Þær innihalda þá í grunninn, töflu með orku og tilsvarendi heimtum. Þar að auki geta þær innihaldið upplýsingar um brúunaraðferð, óvissu o.fl. Kvörðunin byggir ekki á neinu sérstöku rófi og því má hlaða skrárnar sama hvaða róf er opið.

Dæmi um eft-skrá úr handvirkri kvörðun:

<Orka><Heimtur>

---

59.54	1.4313000E-002	
87.53	3.8522001E-002	
122.19	4.8310999E-002	
136.60	4.8000999E-002	
279.20	3.5126999E-002	
661.70	1.8533001E-002	
834.80	1.5729999E-002	
1173.24	1.1982000E-002	
1332.51	1.0823000E-002	
FitType = 6		// Heiltala sem lýsir brúunaraðferð
Total Source Uncertainty = 5.00		// Í prósentum

---

Sjá nánar um FitType í GammaVision – 32, bls. 190 – 192, 198.

Total Source Uncertainty er tekið inn í heildaróvissu í greiningarskýrslu.

GammaVision hefur í einstökum tilfellum hafnað því að lesa eft-skrár eftir job-skipun. Engin skýring fannst á þessari hegðun en nóg er að endurræsa forritið til að laga gallann.

## Viðauki B

### Mat á TCC leiðréttingarstuðlum fyrir einstakar kjarntegundir

Ef engar sjálfvirkar aðferðir eru fyrir hendi til að reikna út TCS leiðréttingar má samt sem áður meta leiðréttingarstuðla fyrir einstakar kjarntegundir með tilraunum. Tilraunin felst í því að mæla stærð toppa frá þekktum staðli kjarntegundar og bera niðurstöðurnar saman við heimildagildi. Þar sem TCS áhrif eru m.a. háð heimtum nema þarf að framkvæma tilraunina við allar þær nema-sýnis geometríur sem notaðar eru við mælingar.

Ef eðlismassar og/eða gleypnieiginleikar sýnis og kvörðunarlausnar eru ólíkir verða heimturnar einnig mismunandi. Því þarf að fara varlega í að nota TCC leiðréttingarstuðla á sýni þó svo að þau séu mæld við sömu nema-sýnis geometríu og kvörðunarlausn. Oft reynast þessi áhrif þó lítil og betra að nota TCS leiðréttinguna en ekki.

Tilraun var framkvæmd til að ákvarða TCC leiðréttingarstuðla á völdum gammalínium Cs-134. Þekkt magn efnis var leyst upp í eimuðu vatni og mælt í grágulri dós ofan á nema (G-3). Virkni Cs-134 á mældidag var 296.23 Bq. Tilraunin var gerð fyrir tvö mismunandi rúmmál lausnar. Niðurstöðurnar eru í töflu B.1. Þar eru TCC stuðlarnir einfaldlega hlutfall raunverulegrar virkni og mældrar virkni.

Tafla B.1. Niðurstöður mælinga á völdum gammalínium Cs-134 fyrir tvö mismunandi rúmmál.

<sup>134</sup> CS	50 ml		200 ml	
	E [keV]	Mæld virkni [Bq]	TCC stuðlar	Mæld virkni [1/s]
563	213	1.39	241	1.22
569	213	1.39	234	1.26
605	243	1.22	262	1.18
796	237	1.25	254	1.17
802	216	1.37	230	1.27
1365	374	0.79	354	0.85

Ekki er unnt að ákvarða TCC stuðla allra kjarntegunda með þessum hætti því kvörðunarstaðlar þurfa að vera fyrir hendi. Því væri æskilegt að athuga forrit sem ráða við TCS leiðréttingu. Forritin *Shaman* (sem vinnur með Unisampo) og *GeSpeCor* kæmu hugsanlega til greina. Haft var samband við aðstandendur *GeSpeCor* til að kanna notkunarmöguleika og hugsanlegt verð en ekkert svar barst. Þetta þarf því að athuga betur. Upplýsingar um *GeSpeCor* má nálgast á vefsíðunni: <http://www.matec-online.de/>

Þó svo að síðar meir yrði fjárfest í hugbúnaði til að reikna út TCS leiðréttingar getur samt sem áður verið hentugt að eiga niðurstöður sambærilegar og í töflu B.1 fyrir nokkrar kjarntegundir. Nota má niðurstöðurnar til samanburðar við niðurstöður frá hugbúnaði.

## Viðauki C

### Innihald geo-skráa

Geo-skrár eru textaskrár og því einfalt að útbúa þær og breyta þeim. GammaVision les geo-skrárnar og framkvæmir leiðréttingu eftir þeim. Skrárnar eru hlaðnar inn á **Corrections** flípanum undir **Analyze/Settings/Sample type...** Hægt er að nota skrárnar til allra mögulegra orkuháðra leiðréttinga. Uppbyggingu þeirra er lýst hér.

Fyrst koma tvær línur sem mega innihalda hvaða texta sem er. Þær verða að innihalda einhvern texta og því má t.d. setja bandstrik. Þar á eftir kemur tafla sem inniheldur eftirfarandi fjóra dálka:

Energy (keV)	Ref Rate	Cur Rate	Ratio
--------------	----------	----------	-------

Í *Energy* dálkinn fara orkugildi í keV. Í *RefRate* dálkinn fara fyrri viðmiðunarstuðlar og í *CurRate* fara síðari viðmiðunarstuðlar. Í *Ratio* dálkinn fara hlutföllin *RefRate/CurRate*.

Eftir töfluna koma þrjár textalínur sem verða að vera til staðar til að skráin sé lesin.

Reference File:  
Current File:  
Detector ID:

Hægt er að útbúa geo-skrár út frá hlutföllum tveggja rófskráa. Einfaldast er að gera það innan GammaVision. Þá kemur slóð rófskráanna eftir *Reference File* og *Current File*.

Leiðréttingin virkar þannig að óleiðréttar greiningarniðurstöður eru margfaldaðar með stuðlunum úr *Ratio*-dálkinum. GammaVision brúar punktasafnið *Energy/Ratio* með beinni línu milli punkta þannig að unnt er að leiðrétta fyrir hvaða orku sem er.

Hér á eftir er dæmi um geo-skrá sem ætluð var til eðlismassaleiðréttingar. Búið er að reikna út leiðréttingarstuðlana og þeir settir í dálkinn *RefRate*. Í *CurRate*-dálkinn er gildið 1 sett í hverja línu og í *Ratio*-dálkinum eru því einnig óbreyttir leiðréttingarstuðlar.

---

---

---

10	0.78556	1	0.78556
50	0.8763	1	0.8763
100	0.90621	1	0.90621
400	0.94909	1	0.94909
800	0.96331	1	0.96331
1000	0.96706	1	0.96706
1500	0.97298	1	0.97298
2000	0.97657	1	0.97657

Reference File:  
Current File:  
Detector ID:

---



## Viðauki D

### Aðferðir til eðlismassa- og gleypnileiðréttinga

Gleypnileiðrétting fyrir tómarúmskvörðun fæst með jöfnu 3.1.3. [Debertin, bls. 282-283] :

$$c_a = \frac{1}{T(\mu_u, \rho_u, d)} = \frac{\mu_u \cdot \rho_u \cdot d}{1 - e^{-\mu_u \cdot \rho_u \cdot d}}$$

þar sem  $\mu_u$  er gleypnistuðull sýnis og  $\rho_u$  eðlismassi sýnis

Þessi stuðull er margfaldaður við óleiðréttar niðurstöður.

Ef gert er ráð fyrir kvörðunarstaðli verður leiðréttingarstuðullinn

$$c_a = \frac{T(\mu_s, \rho_s, d)}{T(\mu_u, \rho_u, d)} \quad \text{Jafna D.1.}$$

þar sem  $\mu_s$  er gleypnistuðull staðals og  $\rho_s$  eðlismassi staðals

Ef  $\mu_u \approx \mu_s$  má nota stuðulinn til eðlismassaleiðréttingar en annars verður að ákvarða  $\mu_u$ .

Ef þykkt sýnis er mikil m.v. fjarlægð þess frá nema þarf nákvæmari aðferðir. Dæmi um nákvæma útreikninga fyrir sívalningslaga grágula dós [Debertin, bls. 286] :

$d$  = fjarlægð frá virkri miðju nema að neðra yfirborði dósar (orkuháð stærð sem þarf að ákvarða)

$R$  = radíus dósar

$t$  = þykkt dósar

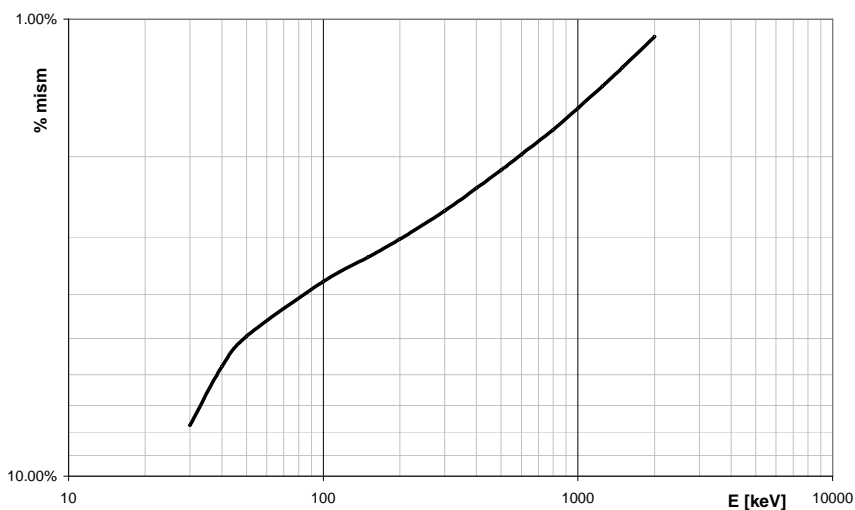
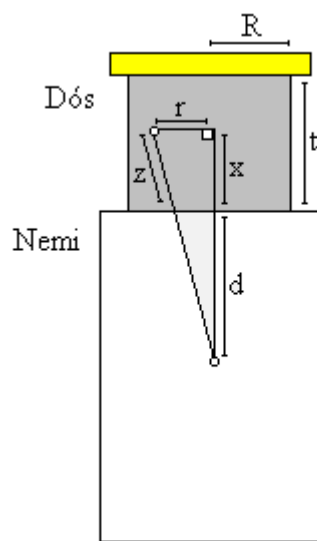
$\mu_s, \mu_u$  = gleypnistuðlar staðals og sýnis

$\rho_s, \rho_u$  = eðlismassar staðals og sýnis

$$z(x, r, d) = \sqrt{r^2 + (x + d)^2} \cdot \frac{x}{(x + d)}$$

$$I(\mu, \rho, R, t, d) = \int_0^R \int_0^t \frac{e^{-\mu \cdot \rho \cdot z(x, r, d)}}{r^2 + (x + d)^2} \cdot r \, dx \, dr$$

$$C_{\text{cyl}} = \frac{I(\mu_s, \rho_s, R, t, d)}{I(\mu_u, \rho_u, R, t, d)} \quad \text{Jafna D.2.}$$



**Graf D.1.** Hlutfallsmunur á  $C_a$  og  $C_{\text{cyl}}$  sem fall af orku fyrir 200ml grágula dós ( $\rho = 0.5$ ).

Á grafi D.1 er samanburður á niðurstöðum sem fengust með jöfnu D.1 annars vegar og jöfnu D.2 hins vegar fyrir 200 ml grágula dós ( $\rho = 0.5$ ). Á grafinu sést að það getur skipt miklu máli að nota nákvæmari aðferðina (jöfnu D.2) við að reikna út leiðréttingastuðla. Jafna D.1 getur þó í mörgum tilfellum verið fullnægjandi. Forritið

CalCorr notar jöfnu D.1 en til þess að fá betri niðurstöður fyrir grágular dósir þarf að breyta því.

### Emperísk eðlismassaleiðrétting Risø fyrir grágula dós

$$a_0 = 0.55303476494$$

$$b_0 = 0.48291743603$$

$$a_1 = 0.0149212977$$

$$b_1 = 0.0002112433648$$

Stuðla

$$a_2 = 0.000048457453668$$

$$b_2 = 5.373487457310^{-8}$$

$$V = \text{rúmmál} \quad \rho = \text{eðlismassi} \quad E = \text{orka}$$

$$k_1 = a_0 + a_1 \cdot V + a_2 \cdot V^2$$

$$n = b_0 + b_1 \cdot V + b_2 \cdot V^2$$

$$h = 1 + \frac{k_1}{E^n}$$

$$c_d = h^{(\rho-1)}$$

Leiðréttingarstuðull

[Byggt á upplýsingum frá Sven P. Nielsen Rannsóknastofnunni í Risø]

Eðlismassaleiðrétting Risø gefur sambærilegar niðurstöður og jafna D.2 fyrir ofan u.þ.b. 300 keV. Fyrir lægri orku fer að gæta töliverðs mismunar.

## Dæmi um útreikninga á jafngildisþykkt: 1000 ml Marinelli bikar

$$r_i = 4.5 \quad \text{Innri geisli}$$

$$r_e = 7.0 \quad \text{Ytri geisli}$$

$$h_i = 7.9 \quad \text{Innri hæð}$$

$$h_e = 9.7 \quad \text{Ytri hæð}$$

$$h_0 = \frac{h_i}{2} \quad \text{Fjarlægð niður á miðju nema,} \\ \text{notið } h_i/2 \text{ ef fjarlægð er ekki þekkt}$$

$$h_1 = h_e - h_0 \quad h_2 = h_i - h_0$$

$$f(r, h) = r \cdot \text{atan}\left(\frac{h}{r}\right) + \frac{h}{2} \cdot \ln\left[\left(\frac{r}{h}\right)^2 + 1\right]$$

$$p = 1 + \frac{h_0}{\sqrt{h_0^2 + r_i^2}}$$

$$d = \frac{1}{p} \cdot (f(r_e, h_1) + f(r_e, h_0) - f(r_i, h_2) - f(r_i, h_0))$$

$$d = 2.446 \quad \text{Jafngildisþykkt}$$

Niðurstöður þessara útreikninga má nota beint í jöfnu D1.

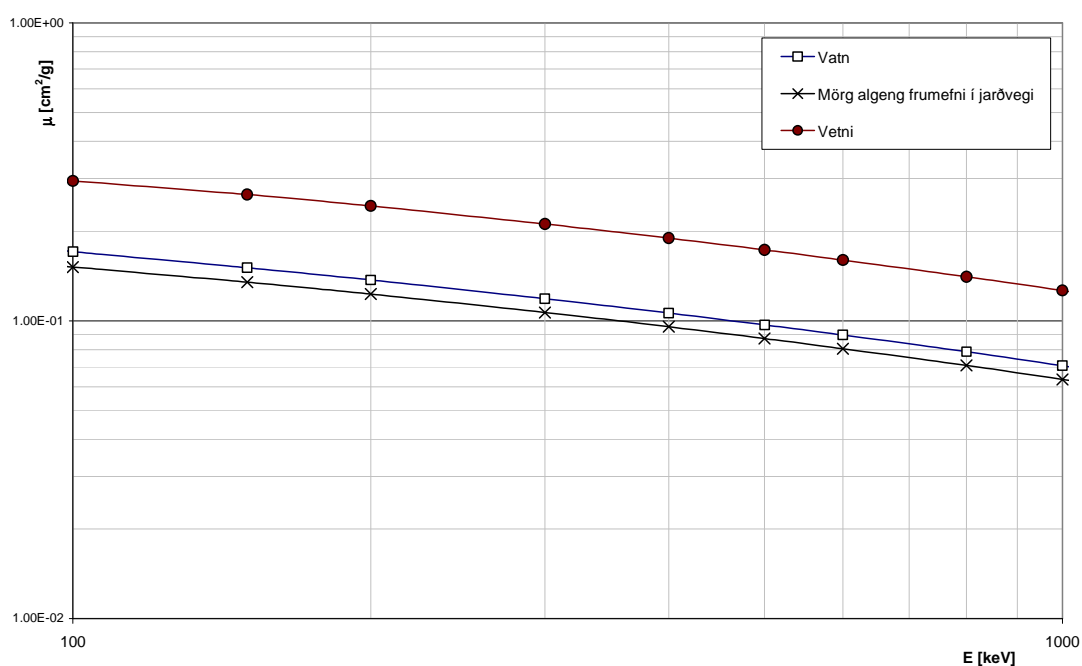
[Byggt á smágrein eftir Octavian Sima úr Health Physics, bls. 445 (1992)]

## Viðauki E

### Gleypnieiginleikar jarðvegs

Flest algeng frumefni í jarðvegi (súrefni, nitur, kolefni, ýmsir málmar o.fl.) hafa mjög svipaða gleypnieiginleika (sjá graf E.2). Vetni er þar undantekning en gleypnieiginleikar þess eru mun meiri<sup>7</sup>. Vetni er yfirleitt í samböndum við önnur þyngri frumefni í jarðvegi en þessi efnasambönd valda því að gleypnikúrfa jarðvegs er yfirleitt mjög nálægt gleypnikúrfu vatns. Ef jarðvegur inniheldur hins vegar lítið af efnasamböndum sem innihalda vetni t.d. ef sýni er mjög sendið þá má gera ráð fyrir því að gleypnikúrfan fari að síga í átt að gleypnikúrfu hinna algengu frumefnanna.

[Gleypnistuðlar fengust á vefsíðu NIST; <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm>]

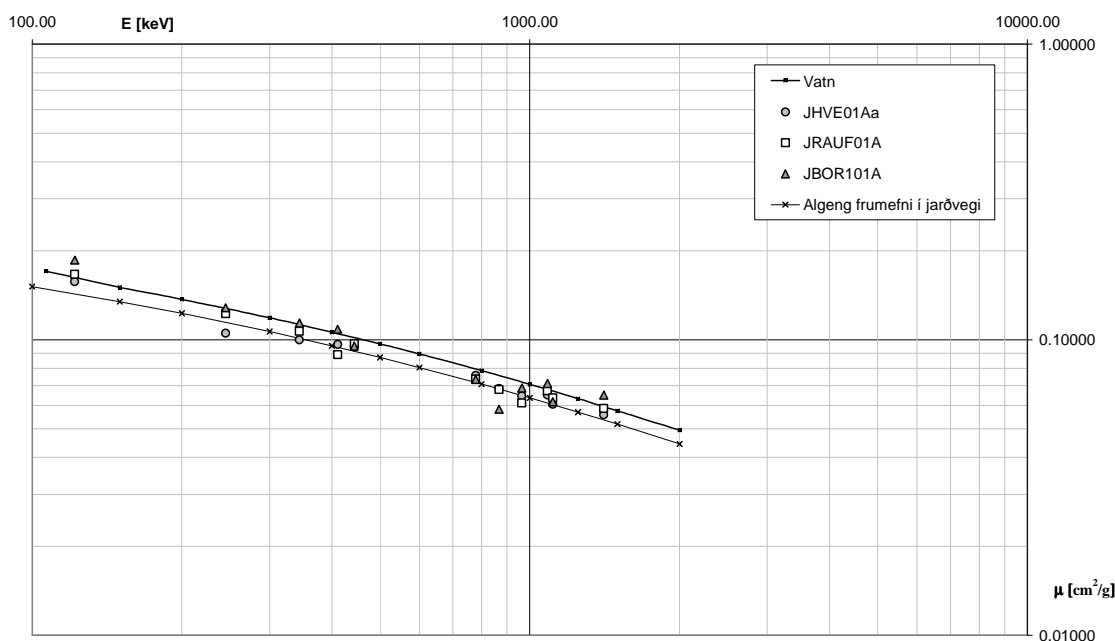


**Graf E.2.** Gleypnistuðlar vetnis, vatns og margra algengra frumefna í jarðvegi (NIST).

Ef jarðvegssýni hefði sömu gleypnieiginleika og neðsta kúrfa á grafi E.2 og eingöngu væri beitt eðlismassaleiðréttingu, yrði skekkja á lokaniðurstöðum 3.5 – 1.5% á bilinu 100-1000keV fyrir 200ml grágula dós. Hægt er að álykta að þetta sé hámarksskekkja á niðurstöðum á jarðvegssýnum því ósennilegt er að mikið sé um önnur efni sem draga gleypnikúrfuna neðar. Í fyrri greiningaraðferðum á Cs-137 (662 keV) var eingöngu beitt eðlismassaleiðréttingu. Hámarksskekkja við þessa orku væri um 1.7%. Tilraun var framkvæmd eftir lýsingunni í kafla 3.1.2 til að kanna geisladeyfingu í þremur mismunandi jarðvegssýnum. Notast var við Eu-152 punktstaðal, annars vegar í plexystandi í 25 cm fjarlægð frá nema og hins vegar á plexybrú í 60 cm fjarlægð frá nema. Sýnin voru sett á nema í grágulum dósum en tóm grágul dós var

<sup>7</sup> Þetta er ástæðan fyrir því að gleypnikúrfa vatns liggur milli gleypnikúrfu súrefnis og vetnis. Gleypnieiginleikar vatns eru meðaltal gleypnieiginleika eins súrefnisatóms og tveggja vetnisatóma vegið með mólmassa atómanna.

höfð á nema þegar viðmiðunarróf voru mæld. Gleypnistuðlar sýnanna voru reiknaðir út frá gögnunum með jöfnu 3.1.1.<sup>8</sup> Á grafi E.1 eru mældir gleypnistuðlar jarðvegssýnanna ásamt gleypnistuðlum vatns og nokkurra algengra frumefna í jarðvegi (NIST).



**Graf E.1.** Gleypnistuðlar mismunandi jarðvegs bornir saman við gleypnistuðla vatns og gleypnistuðla annarra algengra frumefna í jarðvegi.

Á grafinu sést að gleypniferlar jarðvegssýnanna liggja á milli ferils vatns og ferils algengra frumefna í jarðvegi. Niðurstöðurnar eru í samræmi við umræðuna að ofan.

Gleypniferlarnir sem verið er að skoða núna hafa allir mjög svipaða lögun á log/log grafi á orkusviðinu 100-1100keV. Því má gera ráð fyrir því að ferlarnir séu nálægt því að vera í réttum hlutföllum hver við annan. Mat á fráviki gleypnistuðla jarðvegssýna frá gleypnistuðlum vatns var tekið með því að finna meðalhlutfall þeirra. Niðurstöðurnar koma fram í töflu E.1.

**Tafla E.1.** Meðalfrávik gleypnistuðla jarðvegssýna frá gleypnistuðlum vatns.

Sýni	Meðalfrávik frá vatni
JBOR101A	2.68%
JRAUF01A	6.96%
JHVE01Aa	9.46%

Ef eðlismassaleiðréttingu er eingöngu beitt fyrir JRAUF01A- og JHVE01Aa-jarðvegssýnin getur það leitt til skekkju allt að 1-2.5% á orkubílinu 1000-100keV. Fyrir JBOR101A jarðvegssýnið er eðlismassaleiðrétting nær því að vera fullnægjandi.

Ráðlegt er að gera fleiri nákvæmari tilraunir á jarðvegssýnum, sér í lagi þeim sem kunna að vera afbrigðileg.

<sup>8</sup> Til að kanna áreiðanleika tilraunarinnar voru gleypnieiginleikar vatns ákvarðaðir með nákvæmlega sama hætti. Niðurstöðurnar komu mjög vel saman við heimildagildi frá NIST (0.57% meðalfrávik).

## 8. Heimildir

Debertin K., Helmer R.G., 1988. *Gamma- and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.

Fogh C.L., Nielsen S.P., Keith-Roach M.J, 2002. *Intercomparison of Radionuclides in Environmental Samples 2000-2001*. Risø National Laboratory, Denmark.

*GammaVision – 32. Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulator. Software User's Manual*. Software Version 5.3.

Gilmore G., Hemingway J., 1995. *Practical Gamma-Ray Spectrometry*. John Wiley & Sons Ltd., England.

Krane, Kenneth S., 1988. *Introductory Nuclear Physics*. John Wiley & Sons, Inc. Canada.

Sigurður E. Pálsson, 1990. *An assessment of the use of seaweed as a bioindicator for monitoring low level radioactivity and trace elements in the Icelandic marine environment*. Meistaraprófsritgerð við Háskólann í Surrey, Englandi, 132 s.