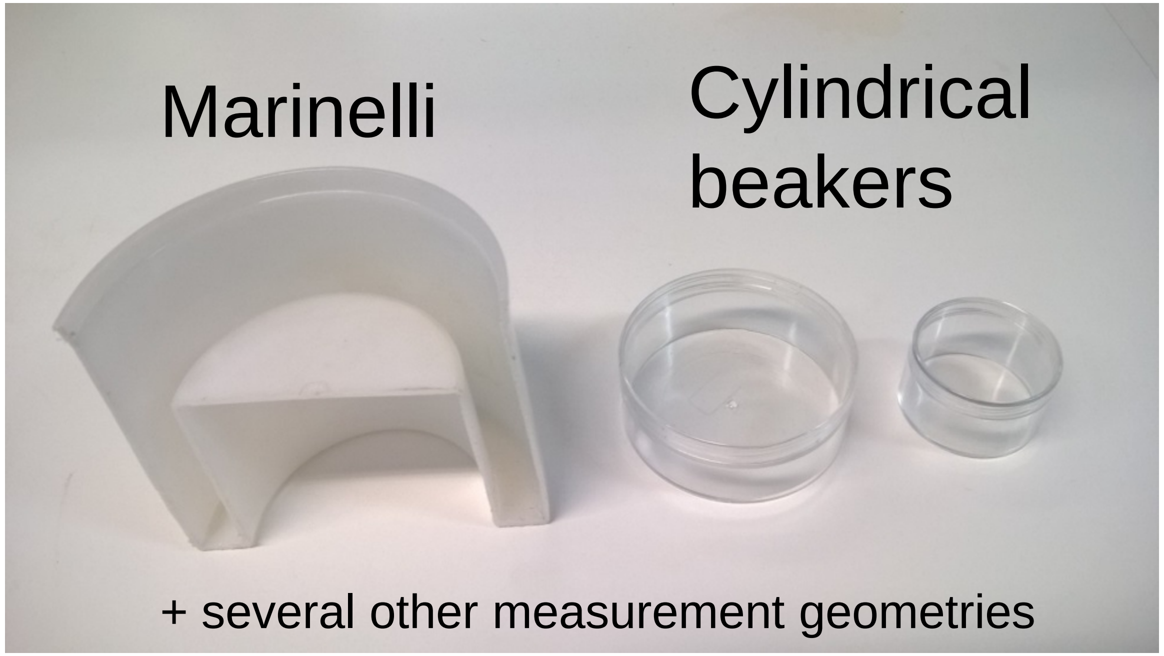
Renewal of efficiency calibrations in STUK

NKS – GammaRay X Webinar, 20-21.10.2021

Roy Pöllänen
Environmental Radiation Surveillance

1. Status now

16 HPGe spectrometers in the lab



STUK normally analyses different environmental samples

How current efficiency calibrations have been done

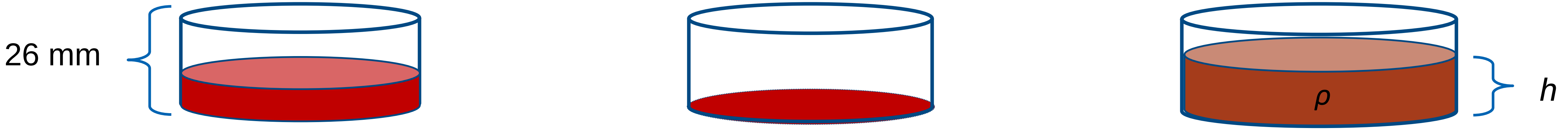
VGSL model for the certified source

Model preparation & tuning →

Model for the source thickness of 0 mm

→

Analysis software takes into account sample *h* & *ρ*



Certified reference source

Peak efficiency computed for the source thickness of 0 mm

Sample to be analyzed

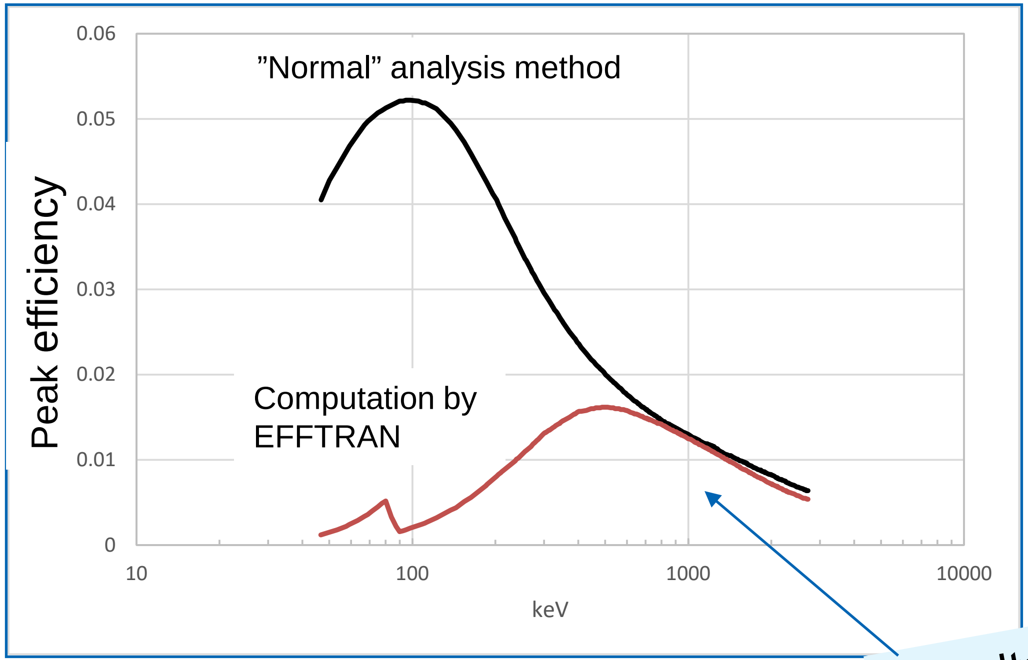
$$A = \frac{N}{t \cdot I \cdot \varepsilon} \cdot C$$

Why renewal is necessary?

A. Present calibrations were done by using too complex way.
B. Present calibrations (especially their uncertainties) are not traceable enough.
C. Uncertainties associated with the samples to be measured are incorporated in the uncertainties of the efficiency calibration. This is wrong in principle!
D. At present, the number of calibrations is far too high (~100) in order to upkeep them adequately.
E. Elemental composition is not accounted for. Important at low energies (< 100 keV).
F. High active samples cannot be measured by using close geometries → a new calibration is needed if distant geometry is used e.g. during a nuclear incident.
G. Present calibrations are fixed to existing measurement geometries.

An extreme example of the effect of elemental composition (item E in the previous slide) and density

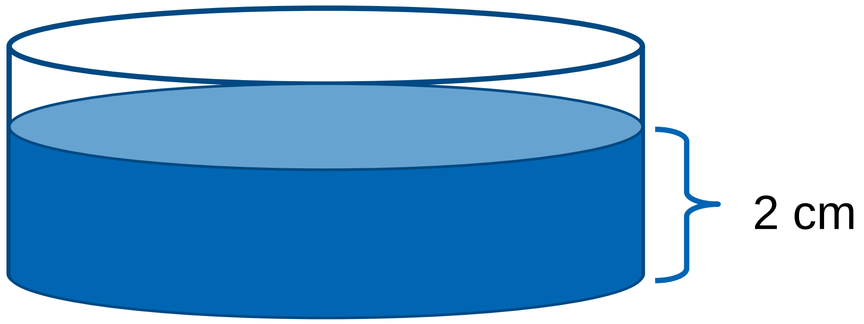
Last year we received a gold sand sample (ρ = 7.4; 95% Au, 5 % Ag).



Results equals
when $E > 700$ keV

2. Novel procedure to determine and apply peak efficiency

1. Certified liquid containing a set of radionuclides was purchased from NPL.
2. A 2 cm thick calibration sample was prepared (in addition to samples used for the verification of the calibration).
3. Peak efficiencies were determined for all gamma-ray detectors by using the calibration source.
4. The efficiencies were verified using a set of other sources.
5. In the case of other certified reference sources and real samples the efficiencies were computed by EFFTRAN.



MEFFTRAN was used in the case of Marinelli beakers

Fully traceable Excel worksheets were prepared for all detectors (including a comprehensive set of uncertainty calculations)

NPL:n mixed-nuclide -sertifikaatti:	Sertifikaatti	NAMIT-näytetunnus:	19863X	Mittauksen aloitus (Suomen aikaa):	24.2.2021 17:03:00
Mixed-kalibrointilähteen referenssipäivä (UTC):	8.12.2020 12:00:00	NAMIT-mittaustunnus:	66623	Mittauksen kesto:	15:15:11
NPL:n lähteistä tehty kalibrointilähde:	T20-Mixed	NAMIT-analyysinumero:	64617	Mittaustuloksen referenssihetki (Suom	25.2.2021 00:40:35

54911	Dead-time:	0.20 %	Lomakkeen sahanumero: 1961158
	Kvantti:	1	Spektrien analysoija: Tiina Torvela
			Shaman-projektitiedosto: ttr/19863X_2.usp

SARAKKEISSA (A - J) ON SERTIFIOITUA SÄTEILYLÄHDETTÄ KOSKEVAT TIEDOT

Nuklidi	$t_{1/2}$	$t_{1/2}$ (d)	$\Delta t_{1/2}$ (d)	E (keV)	A (Bq/kvantti)	ΔA (Bq/kvantti)	Emis. (γ/kvan	ΔEmis. (γ/kvar	ΔEmis. (%)
Cs-137 XR	30.05(8) a	10976	60	**32.0**	50.2	0.89	2.781	0.051	0.924 %
Cs-137 XR	30.05(8) a	10976	60	**36.2**	50.2	0.89	0.530	0.010	0.925 %
Pb-210	22.23(12) a	8120	100	**46.5**	297.6	6.89	12.654	0.316	1.250 %
Am-241	432.6(6) a	158000	440	**59.5**	54.7	0.69	19.646	0.309	0.785 %
Cd-109	461.9(4) d	461.4	2.4	**88.0**	259.8	4.43	9.513	0.302	1.587 %
Co-57	271.80(5) d	271.8	0.1	**122.1**	9.5	0.17	8.116	0.149	0.919 %
Co-57	271.80(5) d	271.8	0.1	**136.4**	9.5	0.17	1.013	0.019	0.918 %
Ce-139	137.641(20) d	137.641	0.04	**165.9**	8.1	0.16	6.431	0.130	1.009 %
Sn-113EC	115.09(3) d	115.09	0.06	**255.2**	27.3	0.71	0.576	0.015	1.294 %
Cr-51	27.704(4) d	27.703	0.006	**320.1**	33.9	0.59	3.350	0.061	0.907 %
Sn-113IT	115.09(3) d	115.09	0.06	**391.7**	27.3	0.71	17.731	0.457	1.290 %
Sr-85	64.850(7) d	64.85	0.014	**514.0**	19.7	0.34	19.395	0.375	0.968 %
Cs-137	30.05(8) a	10976	60	**661.7**	50.2	0.89	42.662	0.787	0.923 %
Mn-54	312.19(3) d	312.13	0.06	**834.8**	39.2	0.49	39.230	0.488	0.622 %
Y-88	106.63(5) d	106.626	0.042	**898.0**	55.0	0.68	51.531	0.716	0.695 %
Zn-65	244.01(9) d	244.01	0.18	**1115.5**	91.8	1.53	46.106	0.807	0.875 %
Co-60	5.2711(8) a	1925.2	0.6	**1173.2**	61.5	0.74	61.373	0.742	0.604 %
Co-60	5.2711(8) a	1925.2	0.6	**1332.5**	61.5	0.74	61.460	0.742	0.604 %
Y-88	106.63(5) d	106.626	0.042	**1836.1**	55.0	0.68	54.636	0.674	0.617 %

EMISSIOTAAJUUS MITTAUSHETKELLÄ JA ALAT / KOINSIDENSSIKORJAUSKERTOIMET

Nuklidi	Emis. (γ/s)	TotalCount	ΔTotCount	Cor(%)	cc_{USS}	$cc_{EFFTRAN}$	$cc_{GESPECOR}$	cc_{FINAL}	Δ_{cc}(%)
Cs-137 XR	2.767	19860.5	284	5.8%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Cs-137 XR	0.527	3816	127	10.8%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Pb-210	12.570	103286	348	0.8%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Am-241	19.639	174031	433	0.8%	1.003	1.010	1.010	1.008	0.40 %
Cd-109	8.455	77188	296	0.8%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Co-57	6.643	56733	254	0.8%	1.020	1.016	1.005	1.013	0.75 %
Co-57	0.829	6695	112	0.8%	0.985	0.943	0.975	0.968	2.26 %
Ce-139	4.330	27883	186	0.8%	1.172	1.188	1.165	1.175	1.01 %
Sn-113EC	0.359	1604	82	0.8%	1.079	1.180	1.131	1.130	4.49 %
Cr-51	0.470	2119	82	0.8%	1.006	1.000	1.000	1.002	0.36 %
Sn-113IT	11.049	37048	209	0.8%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Sr-85	8.378	21432	161	0.8%	1.018	1.062	1.012	1.031	2.66 %
Cs-137	42.451	89546	309	0.8%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Mn-54	32.952	56606	248	0.8%	1.007	1.001	1.000	1.003	0.38 %
Y-88	30.929	43010	221	0.8%	1.147	1.210	1.181	1.179	2.69 %
Zn-65	36.887	49142	233	0.8%	1.012	1.008	1.002	1.007	0.47 %
Co-60	59.662	65223	260	0.8%	1.141	1.157	1.148	1.149	0.71 %
Co-60	59.747	57845	245	0.8%	1.147	1.165	1.148	1.153	0.86 %
Y-88	32.793	23628	156	0.8%	1.171	1.241	1.153	1.188	3.93 %

REFERENSSILÄHTEEN MITTAUSGEOMETRIA JA PURKKI / PIIKKITEHOKKUUS

Nuklidi	Δ_{diam}	Δ_{bot}	Δ_{rho}	Δ_{elem}	Δ_{symm}	Δ_h	Δ_{side}	ε (cps/Bq)	Δε (%)	Δε (cps/Bq)
Cs-137 XR	0.41 %	1.39 %	0.26 %	0.43 %	0.20 %	1.40 %	0.32 %	1.307E-01	6.40 %	8.368E-03
Cs-137 XR	0.41 %	1.35 %	0.24 %	0.39 %	0.20 %	1.36 %	0.32 %	1.319E-01	11.52 %	1.519E-02
Pb-210	0.40 %	1.27 %	0.21 %	0.32 %	0.20 %	1.29 %	0.32 %	1.496E-01	2.46 %	3.679E-03
Am-241	0.39 %	1.22 %	0.18 %	0.27 %	0.20 %	1.23 %	0.31 %	1.626E-01	2.21 %	3.588E-03
Cd-109	0.38 %	1.14 %	0.15 %	0.21 %	0.20 %	1.16 %	0.30 %	1.663E-01	2.51 %	4.175E-03
Co-57	0.37 %	1.10 %	0.14 %	0.18 %	0.20 %	1.12 %	0.29 %	1.576E-01	2.24 %	3.532E-03
Co-57	0.36 %	1.09 %	0.13 %	0.17 %	0.20 %	1.11 %	0.29 %	1.424E-01	3.48 %	4.952E-03
Ce-139	0.35 %	1.07 %	0.12 %	0.16 %	0.20 %	1.09 %	0.28 %	1.378E-01	2.39 %	3.297E-03
Sn-113EC	0.34 %	1.04 %	0.11 %	0.13 %	0.20 %	1.05 %	0.27 %	9.197E-02	7.17 %	6.590E-03
Cr-51	0.33 %	1.02 %	0.10 %	0.12 %	0.20 %	1.04 %	0.27 %	8.234E-02	4.33 %	3.567E-03
Sn-113IT	0.33 %	1.01 %	0.10 %	0.11 %	0.20 %	1.03 %	0.26 %	6.106E-02	2.23 %	1.359E-03
Sr-85	0.32 %	1.00 %	0.09 %	0.10 %	0.20 %	1.02 %	0.26 %	4.801E-02	3.39 %	1.626E-03
Cs-137	0.32 %	1.00 %	0.08 %	0.09 %	0.20 %	1.01 %	0.25 %	3.841E-02	1.96 %	7.539E-04
Mn-54	0.31 %	0.99 %	0.08 %	0.09 %	0.20 %	1.01 %	0.25 %	3.137E-02	1.89 %	5.931E-04
Y-88	0.31 %	0.99 %	0.08 %	0.09 %	0.20 %	1.01 %	0.25 %	2.986E-02	3.29 %	9.822E-04
Zn-65	0.31 %	0.98 %	0.08 %	0.08 %	0.20 %	1.00 %	0.24 %	2.444E-02	2.01 %	4.905E-04
Co-60	0.31 %	0.98 %	0.07 %	0.08 %	0.20 %	1.00 %	0.24 %	2.287E-02	1.96 %	4.486E-04
Co-60	0.30 %	0.98 %	0.07 %	0.08 %	0.20 %	1.00 %	0.24 %	2.033E-02	2.02 %	4.109E-04
Y-88	0.30 %	0.98 %	0.07 %	0.07 %	0.20 %	1.00 %	0.24 %	1.559E-02	4.36 %	6.797E-04

NPL:n Pb-210 -sertifikaatti:	Sertifikaatti	NAMIT-näytetunnus:	19862W	Mittauksen aloitus (Suomen aikaa):	01.02.2021 15:14:11
Pb210-kalibrointilähteen referenssipäivä (UTC):	8.12.2020 12:00:00	NAMIT-mittaustunnus:	65313	Mittauksen kesto:	18:01:37
NPL:n lähteistä tehty kalibrointilähde:	T20-Pb210	NAMIT-analyysinumero:	63494	Mittaustuloksen referenssihetki (Suom	02.02.2021 00:14:59

	Dead-time:	0.00 %	
64897	Kvantti:	1	
			Shaman-projektitiedosto: ttr/19862W.usp

SARAKKEISSA (A - J) ON SERTIFIOITUA SÄTEILYLÄHDETTÄ KOSKEVAT TIEDOT

Nuklidi	$t_{1/2}$	$t_{1/2}$ (d)	$\Delta t_{1/2}$ (d)	E (keV)	A (Bq/kvantti)	ΔA (Bq/kvantti)	Emis. (γ/kvan	ΔEmis. (γ/kvar	ΔEmis. (%)
Pb-210	22.23(12) a	8120	100	10.8	611.85	14.17	58.554045	1.47	1.255 %
Pb-210	22.23(12) a	8120	100	13.0	611.85	14.17	67.3035	1.68	1.248 %
Pb-210	22.23(12) a	8120	100	15.6	611.85	14.17	15.846915	0.396	1.249 %
Pb-210	22.23(12) a	8120	100	46.5	611.85	14.17	26.003625	0.65	1.250 %

EMISSIOTAAJUUS MITTAUSHETKELLÄ JA ALAT / KOINSIDENSSIKORJAUSKERTOIMET

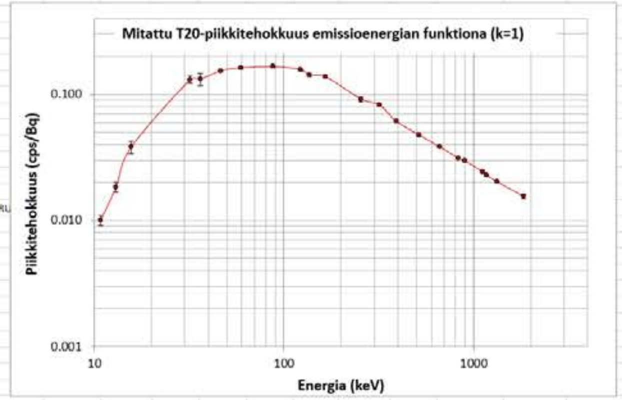
Nuklidi	Emis. (γ/s)	TotalCount	ΔTotCount	Cor(%)	cc_{USS}	$cc_{EFFTRAN}$	$cc_{GESPECOR}$	cc_{final}	Δ_{cc}
Pb-210	58.277	38134	195	5.0%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Pb-210	66.985	80154	283	5.0%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Pb-210	15.772	38979	197	5.0%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %
Pb-210	25.881	265585	524	0.8%	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00 %

REFERENSSILÄHTEEN MITTAUSGEOMETRIA JA PURKKI / PIIKKITEHOKKUUS

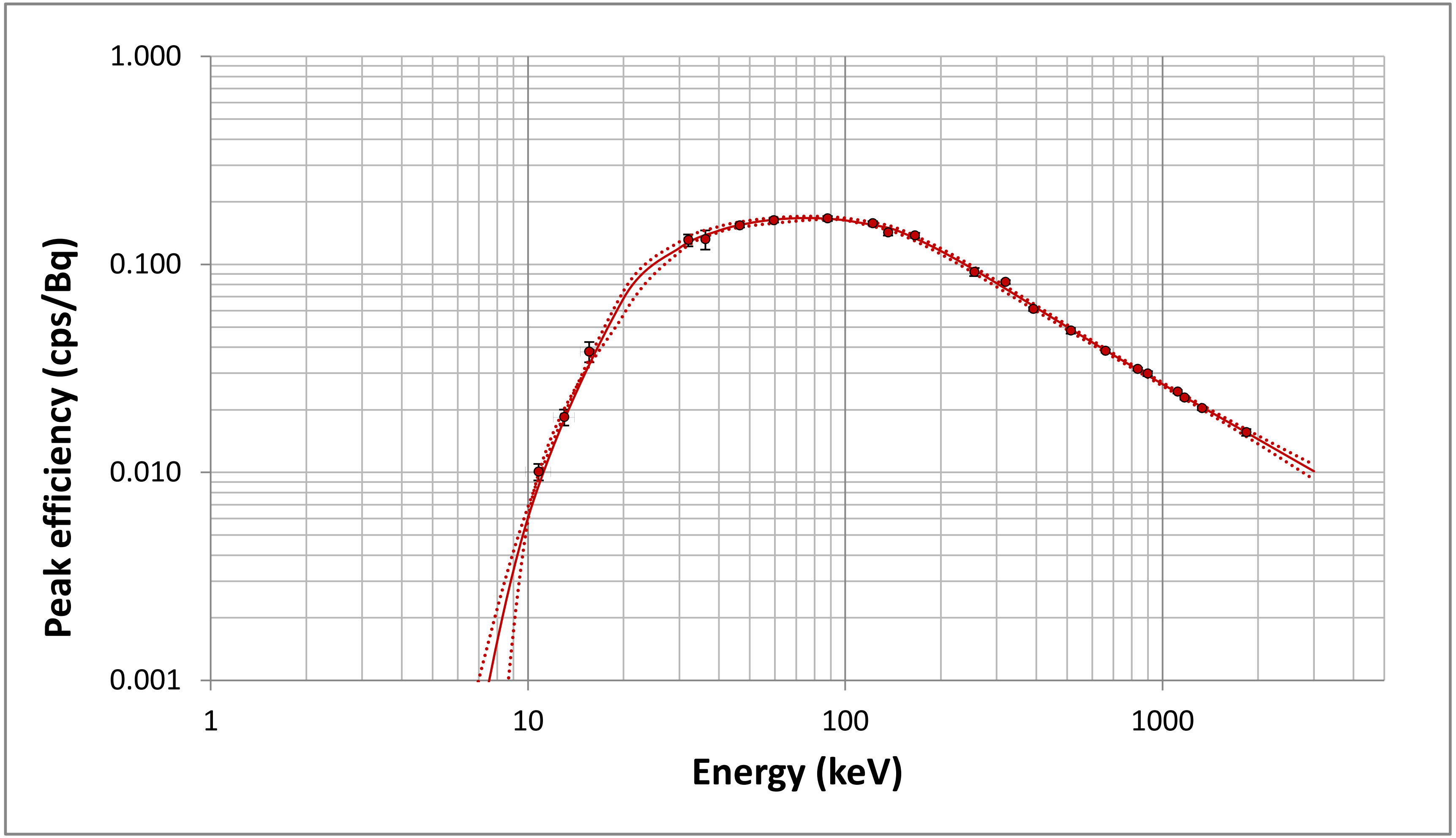
Nuklidi	Δ_{diam}	Δ_{bot}	Δ_{rho}	Δ_{elem}	Δ_{symm}	Δ_h	Δ_{side}	ε (cps/Bq)	Δε (%)	Δε (cps/Bq)
Pb-210	0.32 %	5.21 %	1.62 %	2.01 %	0.20 %	2.02 %	0.26 %	1.008E-02	8.06 %	8.124E-04
Pb-210	0.35 %	3.92 %	1.00 %	1.40 %	0.20 %	1.87 %	0.28 %	1.844E-02	6.98 %	1.287E-03
Pb-210	0.37 %	3.03 %	0.64 %	1.03 %	0.20 %	1.75 %	0.29 %	3.808E-02	6.38 %	2.431E-03
Pb-210	0.40 %	1.27 %	0.21 %	0.32 %	0.20 %	1.29 %	0.32 %	1.581E-01	2.44 %	3.863E-03

TOIMINTAOHJE PÄIVITETTÄESSÄ: Laita punaisella fontilla kirjoitettuihin soluihin uudet arvot, mustalla fontilla kirjoitettuihin soluihin ei pääsääntöisesti kosketa. Tehokkuudet ja niiden epävarmuuden lomake laskee automaattisesti. Katso riveiltä 40-68 sarakkeiden sisällön kuvaus.

SARAKE A:	Nuklidin nimi.
SARAKE B:	Nucleide.org -sivustolla ilmoitettu puoliintumisaika. Tämä sarake on vain informaatioksi.
SARAKE C:	Puoliintumisaika vuorokausina.
SARAKE D:	Puoliintumisajan epävarmuus vuorokausina.
SARAKE E:	Primaaripiikin energia. Tämä on vain informaatioksi; saraketta ei käytetä tehokkuuden laskennassa.
SARAKE F:	Nuklidin aktiivisuuspitoisuus (Bq/kvantti) referenssipäivänä.
SARAKE G:	Aktiivisuuspitoisuuden epävarmuus **(k=2)**.
SARAKE H:	Sertifikaatissa ilmoitettu gammojen emissiotaajuus (sertifikaatissa ei ole Co-57 136.4 keV ja Sn-113IT 391.7 keV piikkejä).
SARAKE I:	Sertifikaatissa ilmoitettu gammojen emissiotaajuuden epävarmuus **(k=2)**.
SARAKE J:	Sarakkeen E fotonien emissiotaajuuden epävarmuus prosentteina **(huom k=1)** sertifikaatissa ilmoitettuna referenssipäivänä.
SARAKE K:	Gammojen emissiotaajuus mittauksen referenssiajanhetkenä (solu O3, NAMITista saadaan piikkien alat ko. hetkellä). Tämän suhteellinen epävarmuus oletetaan samaksi kuin sarakkeessa J.
SARAKE L:	UniSampo-Shamanista/NAMITista saatu kyseisen piikin ala.
SARAKE M:	Gammojen pulssitaajuuden absoluuttinen epävarmuus (k=1) mittauksen referenssiajanhetkenä.
SARAKE N:	G99 ja USS saattavat antaa hieman toisistaan poikkeavia pulssitaajuusarvoja. Sarakkeen lukujen avulla lisätään pulssitaajuuden epävarmuutta (kaikilla energioilla toistaiseksi 0.8 % ellei analysoija toisin ilmoita).
SARAKE O:	USS:sta saatu koinsidenssikorjauskerroin (kun tehokkuuskalibrointi on saatu EFFTRAN-pohjaisesta laskennasta). Muista käyttää USS:ssa kohdassa Next SHAMAN Run -> Edit User Macro parametria: set parameter det_caltolowen TRU
SARAKE P:	EFFTRAN-ohjelmalla laskettu koinsidenssikorjauskerroin.
SARAKE Q:	GESPECOR:lla laskettu koinsidenssikorjauskerroin.
SARAKE R:	Lopullinen koinsidenssikorjauskerroin (käytetään USS:n laskemaa).
SARAKE S:	Koinsidenssikorjauksen keskihajonta.
SARAKE T:	Epävarmuus, joka aiheutuu purkin halkaisijan mahdollisesta vaihtelusta (± 0.5 mm).
SARAKE U:	Mittauspurkin pohjan paksuus (oletus ± 0.2 mm) voi vaihdella eri toimituserien kesken.
SARAKE V:	Purkin materiaalin tiheyttä ei tunneta täysin tarkasti (± 0.05 g/cm^3) ja tästä aiheutuu lisäepävarmuutta lopputuloksiin.
SARAKE W:	Mittauspurkin alkuainekoostumusta ei tunneta täysin tarkasti ja tästä aiheutuu lisäepävarmuutta.
SARAKE X:	Referenssilähde ei kuitenkaan ole täysin asemoitu ilmaisimen symmetria-akselille vaan voi olla radiaalisesti siirtynyt (oletus ± 1 mm).
SARAKE Y:	Referenssilähteen paksuus-/korkeusmittauksen tarkkuus (oletus ± 0.5 mm) aiheuttaa lisäepävarmuutta tuloksiin.
SARAKE Z:	Mittauspurkin seinämän paksuus voi vaihdella (oletus ± 0.2 mm) ja se aiheuttaa lisäepävarmuutta varsinkin paksujen näytteiden tapauksessa; tässä käytetty korkeus on 20 mm.
SARAKE AA:	Piikkitehokkuus.
SARAKE AB:	Piikkitehokkuuden epävarmuus prosentteina.



Peak efficiency with respective uncertainties from one of STUK's BeGe detectors



- 2 MSc theses were done to verify the method and its applications.
- Several different measurement geometries were used for the verification.

In this case EFFTRAN was applied for transferring the peak efficiencies from the 2 cm thick calibration source to a filter with certified activity values.

ε-KALIBR. TESTING USING THE REF.SOURCE W0-2016							
	Energy (keV)	Ref.value (Bq)	Ref.uncert. (unc, Bq)	Meas.value (Bq)	Meas.Unc. (unc, Bq)	Difference (%)	u-test must be <1.64
Pb-210	46.5	183.8	3.8	182.6372	6.92	-0.63 %	0.147
Am-241	59.5	250.8	4	241.697	8.97	-3.63 %	0.927
Cd-109	88.0	1393	53	1385.934	64.45	-0.51 %	0.085
Co-57	122.1	52.63	0.91	53.479	1.68	1.61 %	0.445
Co-57	136.4	52.63	0.91	47.668	2.50	-9.43 %	1.867
Ce-139	165.9	65.5	1.5	69.050	4.47	5.42 %	0.752
Sn-113EC	255.2	166	2.9	184.133	12.78	10.92 %	1.384
Cr-51	320.1	1057	18	1072.345	39.89	1.45 %	0.351
Sn-113IT	391.7	166	2.9	169.344	5.93	2.01 %	0.507
Sr-85	514.0	204.4	3.5	211.613	17.37	3.53 %	0.407
Cs-137	661.7	279.8	4.8	281.821	7.78	0.72 %	0.221
Mn-54	834.8	257.8	3.2	267.727	7.34	3.85 %	1.240
Y-88	898.0	247.5	3.1	263.795	18.41	6.58 %	0.873
Zn-65	1115.5	536.7	9.2	536.185	32.81	-0.10 %	0.015
Co-60	1173.2	299.2	5.2	312.750	13.04	4.53 %	0.965
Co-60	1332.5	299.2	5.2	310.374	13.32	3.73 %	0.782
Y-88	1836.1	247.5	3.1	268.939	22.75	8.66 %	0.934

3. Summary and forthcoming tasks

- EFFTRAN-based method was introduced to develop and maintain quality of the measurements.
- The method is fully traceable and flexible, and gives results that are comparable to those of the current method (when energies > 46.5 keV)
- Uncertainties are taken into account in the calibration. Full uncertainty budget accounts for the samples to be measured.
- The method will be accounted for in the accreditation (2022).