

Overgang fra kobber til aluminium på QA ved konvensjonell røntgen og noen 3d printede verktøy

Det var en lang tittel...

Enkel og presis test av AEC ved varierende kV og pasienttykkelse

Og noen 3d printede verktøy

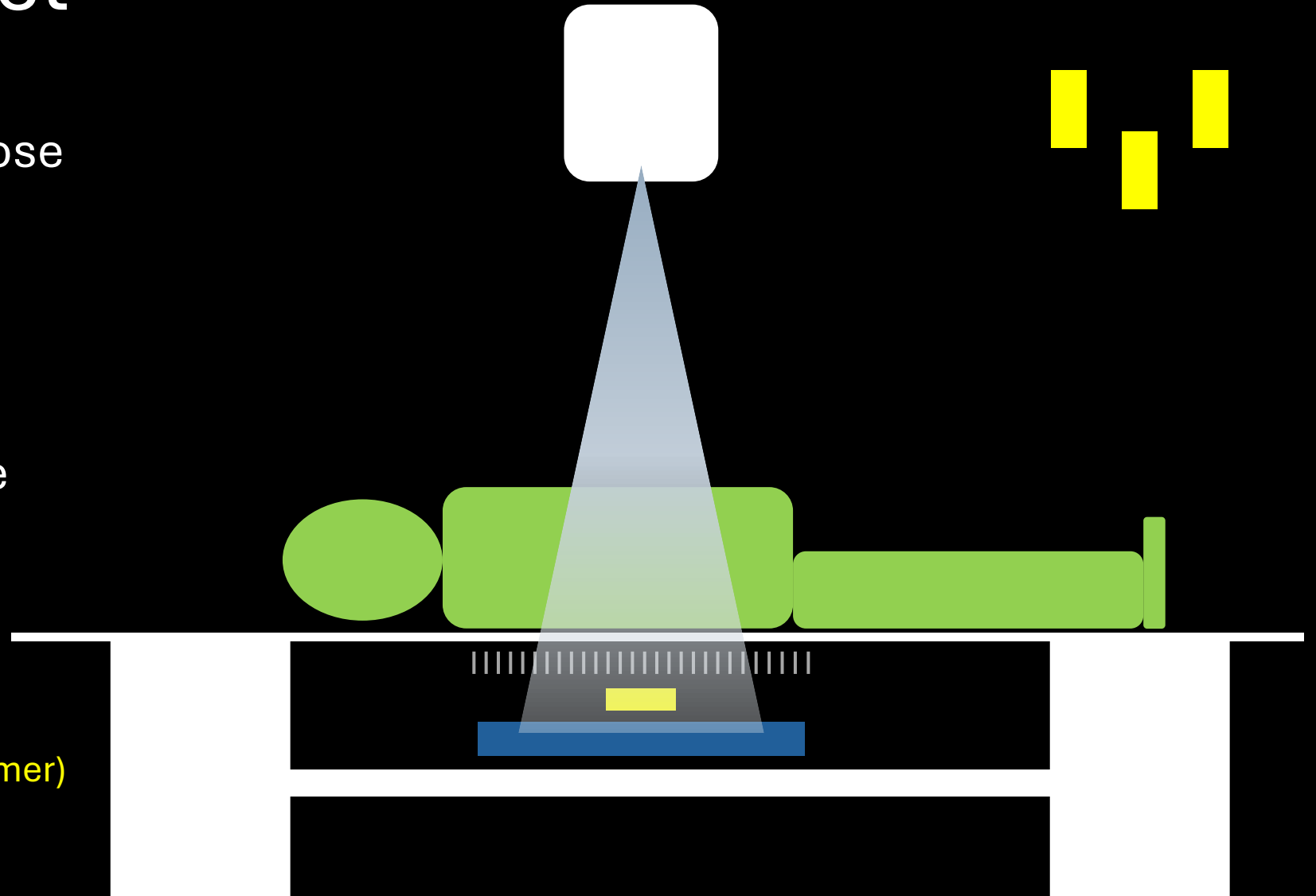
AEC systemet

- Sikrer lik detektordose
- Uavhengig av
 - Tykkelse
 - kVp
- Hvordan teste dette enkelt og presist?

Raster

AEC kammer
(ioniseringskammer)

Bildedetektor



Internasjonale standarder

- IAEA (2023) Handbook of Basic Quality Control Tests for Diagnostic Radiology
 - kilovoltage and thickness compensation (pkt 2.2.19)
 - 60, 70 og 85 kVp med ~150mm PMMA, vann, eller lignende attenuator.
 - 70 kVp ved 100, 150 og 200 mm PMMA, vann, eller lignende attenuator
 - Krav: EI eller mAs skal være +/- 40% av gjennomsnitt og/eller baseline.
- AAPM TG150:
 - Tube Voltage Tracking & Patient Thickness Tracking (pkt 4.4.9 & 4.4.10)

PMMA tykkelse	Rørspenning
100 mm	60 og 80 kVp
150 mm	60, 80, 100 kVp
200 mm	80, 100, 120 kVp
250 mm	100 og 120 kVp

- Krav: EI, eller annet dose mål, skal være +/-25% av gjennomsnitt

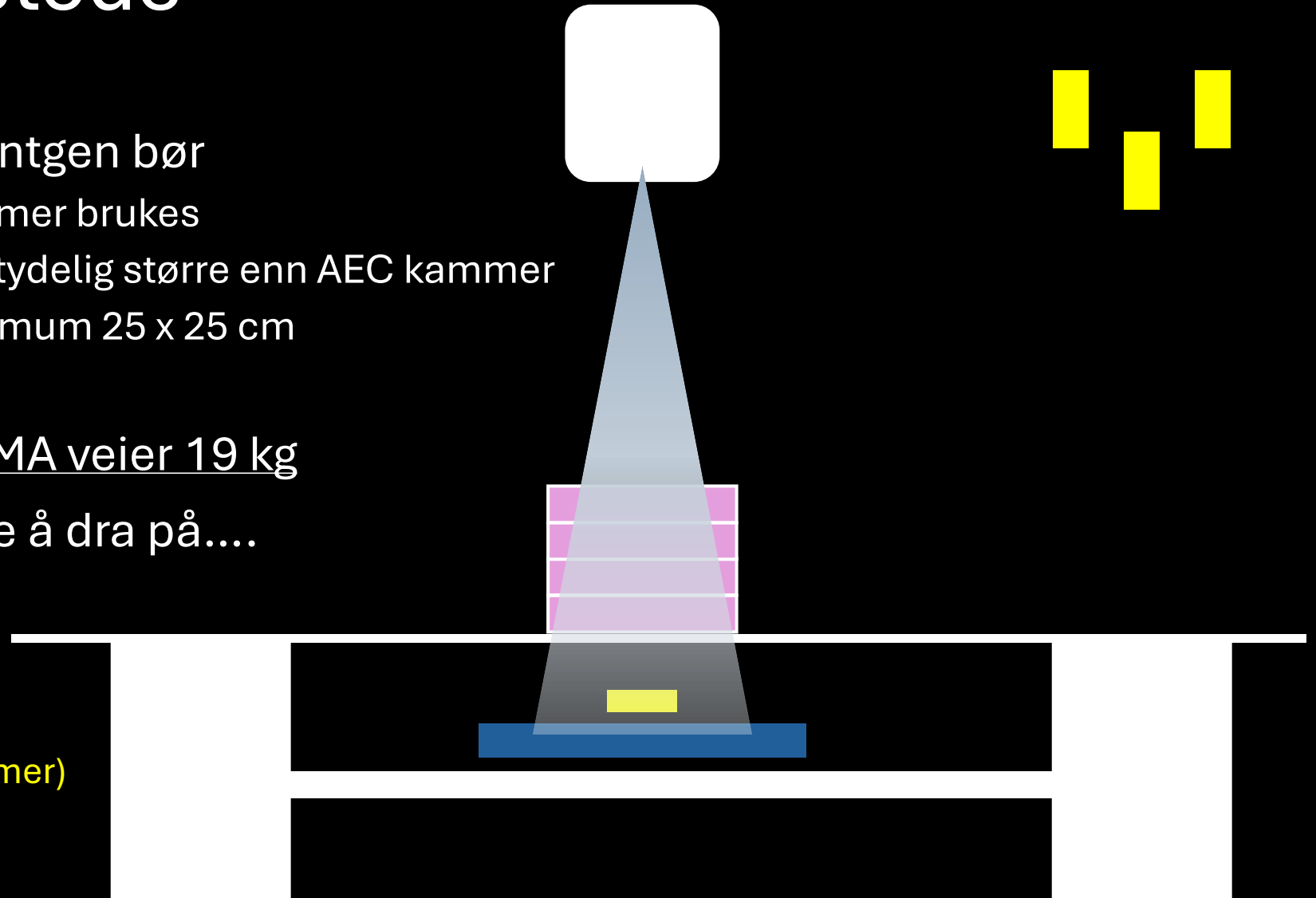
Foreslått metode

- Pga spredning av røntgen bør
 - Kun midterste kammer brukes
 - PMMA bør være betydelig større enn AEC kammer
 - AAPM foreslår minimum 25 x 25 cm
- 25 x 25 x 25 cm PMMA veier 19 kg
- Det synes vi var mye å dra på....

Raster

AEC kammer
(ioniseringskammer)

Bildedetektor



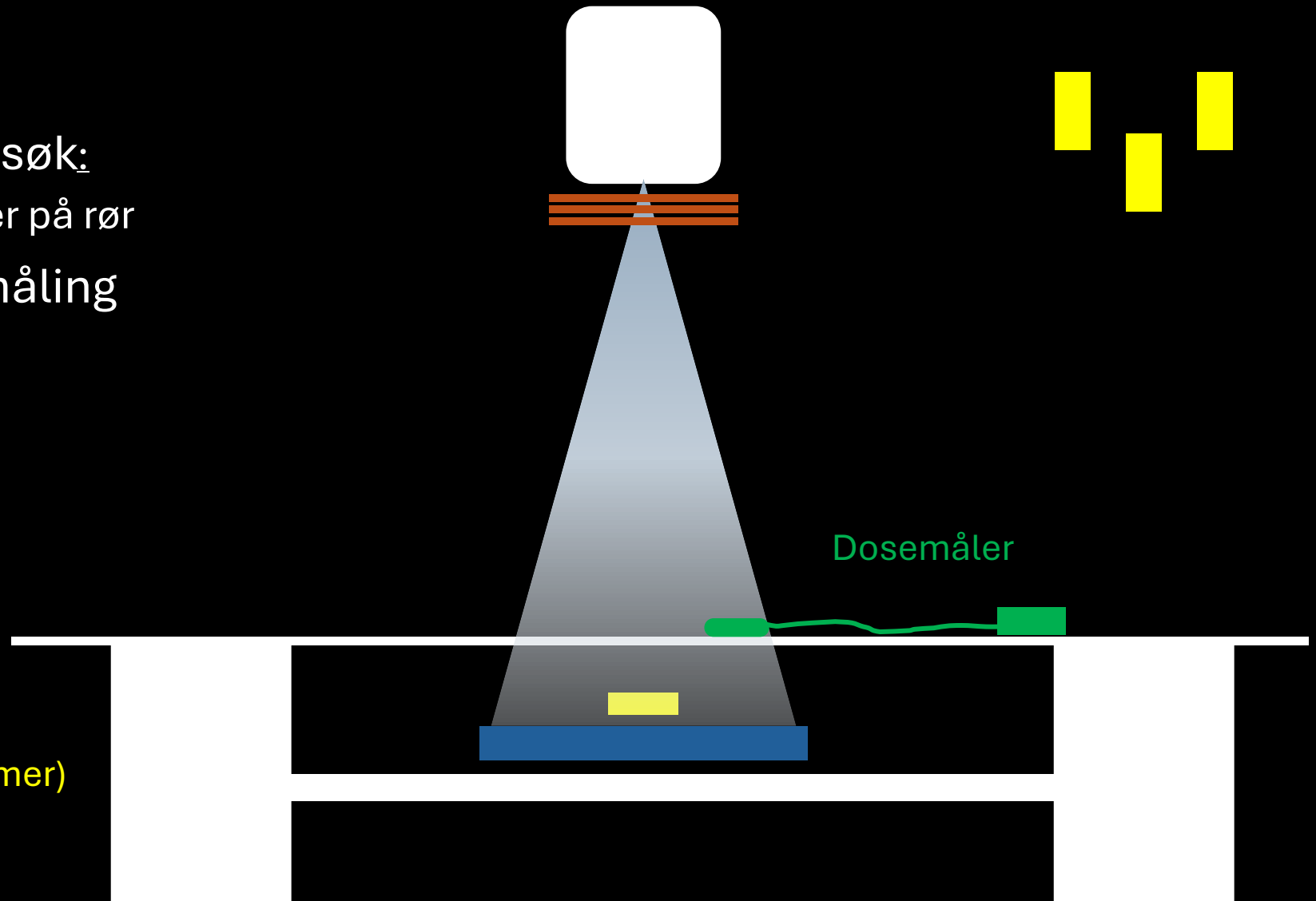
1. Forsøk

- Vårt første enkle forsøk:
 - 1, 2 og 3 mm kobber på rør
- Enklere med dosemåling fremfor EI
- Hva kan gå galt???

Raster

AEC kammer
(ioniseringskammer)

Bildedetektor



Kobber på rør

- Dette ble brukt helt til vi fikk avvik på testen
 - Men ikke avvik når vi testet med plast...



1. Problem og konklusjon

- AEC kammeret er ioniseringskammer.
 - De må energikalibreres!
 - kVp og filtrering bestemmer energispekter
- Menneskevev, PMMA og vann filtrerer og demper røntgenstråling omtrent likt.
 - Det gjør ikke kobber...

KALIBRERINGSBEVIS

Calibration Certificate
2024/1827-3

1. Resultater fra kalibreringene

1.1 Kalibreringsfaktorer for DAP-meter

Doseguard 100 snr. 1353

Kammer: VacuTec, type 70 157 snr. 08 00808

Kalibreringsfaktorer for DAP-meteret for bruk til krysskalibrering (N_{KA}) og pasientdosemåling ($N_{KA,pas}$) ved referanseforhold ($T_0 = 20\text{ °C}$, $P_0 = 101,325\text{ kPa}$) er:

$$N_{KA} = 1,14 \pm 0,04$$

(for Q_0 , for andre strålekvaliteter se tabell)

$$N_{KA,pas} = 1,00 \pm 0,08$$

(midlet over strålekvalitetene RQR 5, RQR 8 og RQR 9)

$N_{KA,pas}$ tar hensyn til absorpsjon i kammeret.

Detaljert informasjon fra kalibreringene om strålekvalitet og korreksjonsfaktor (k_Q). Opplysningene kan sammen med N_{KA} benyttes ved krysskalibrering.

Q	[kV]	Tilleggsfilter [mm Al]	HVL [mm Al]	Kermarate [mGy cm^2/s]	k_Q	Transmisjons- faktor
RQR 2	40	2,51	1,42	5,6	(1,20 $\pm$ 0,06)	(0,84 $\pm$ 0,06)
RQR 5	70	2,83	2,55	17	1	(0,87 $\pm$ 0,04)
RQR 8	100	3,36	4,03	30	(0,97 $\pm$ 0,04)	(0,89 $\pm$ 0,04)
RQR 9	120	3,55	4,95	40	(0,98 $\pm$ 0,04)	(0,90 $\pm$ 0,04)
RQR 10	150	4,37	6,65	50	(1,00 $\pm$ 0,04)	(0,91 $\pm$ 0,04)

1.2 Måleusikkerhet

Totale måleusikkerhet i måleresultatet er angitt med to standardavvik ($k=2$). Usikkerhetsberegningen er i samsvar med "Guide to the expression of uncertainty in measurements", JCGM 100:2008, BIPM.

Dette beviset fastslår instrumentet sin verdi i det tidsrommet og under de forhold kalibreringen ble utført.

2. Forsøk

- Har fortsatt ikke lyst å bære med oss 20 kg PMMA på QA...
 - Vi prøvde Aluminium på rør!
 - 20, 40 og 60 mm tykt
 - 100 x 100 mm bredt
 - 1.6 kg ved 60mm tykkelse
 - Omtrent samme demping i intensitet som 100 - 250mm PMMA
- $$\frac{I}{I_0} = e^{-x\mu}$$
- Det er kanskje likt nok vev???

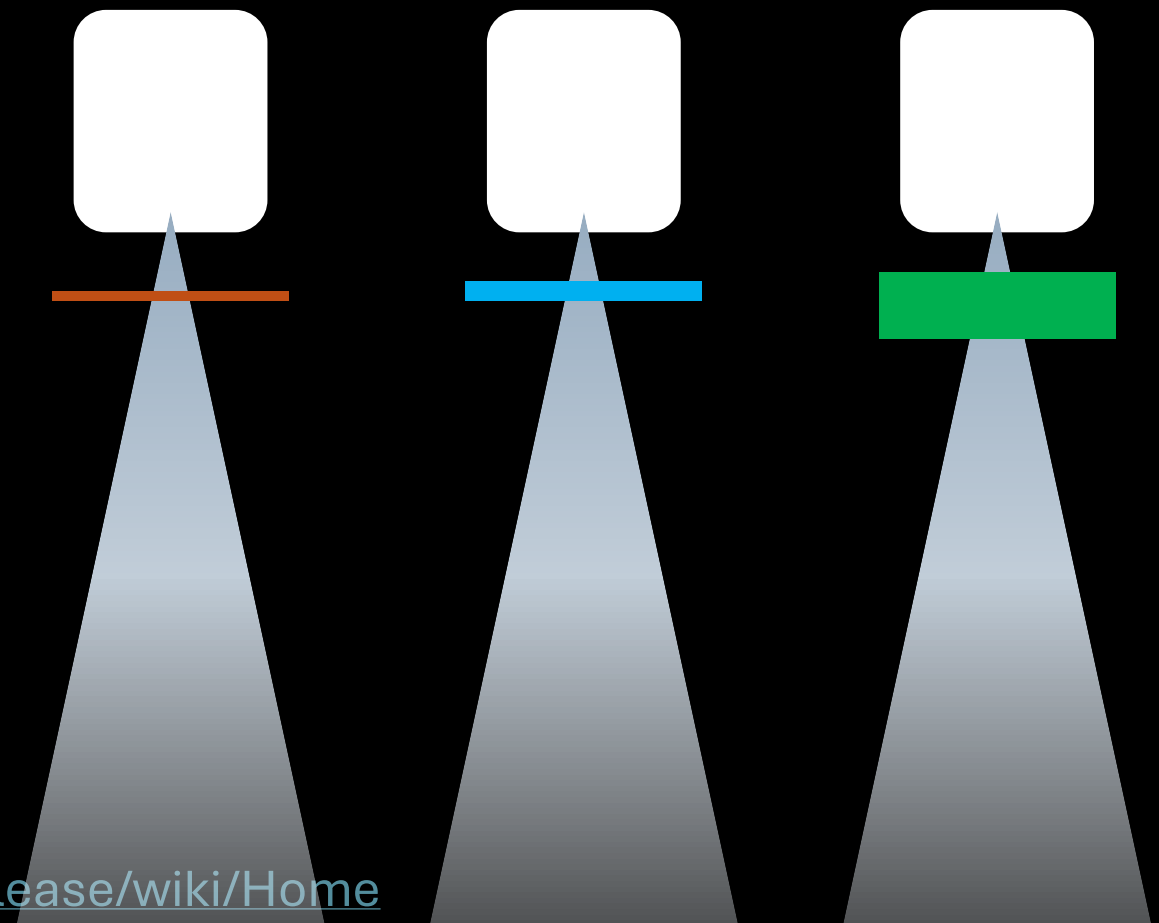


2. Problem

- Så fikk vi feil med aluminium, men ikke med plast...
- Hva nå?
- På tide å finne ut hvordan spekteret ser ut!

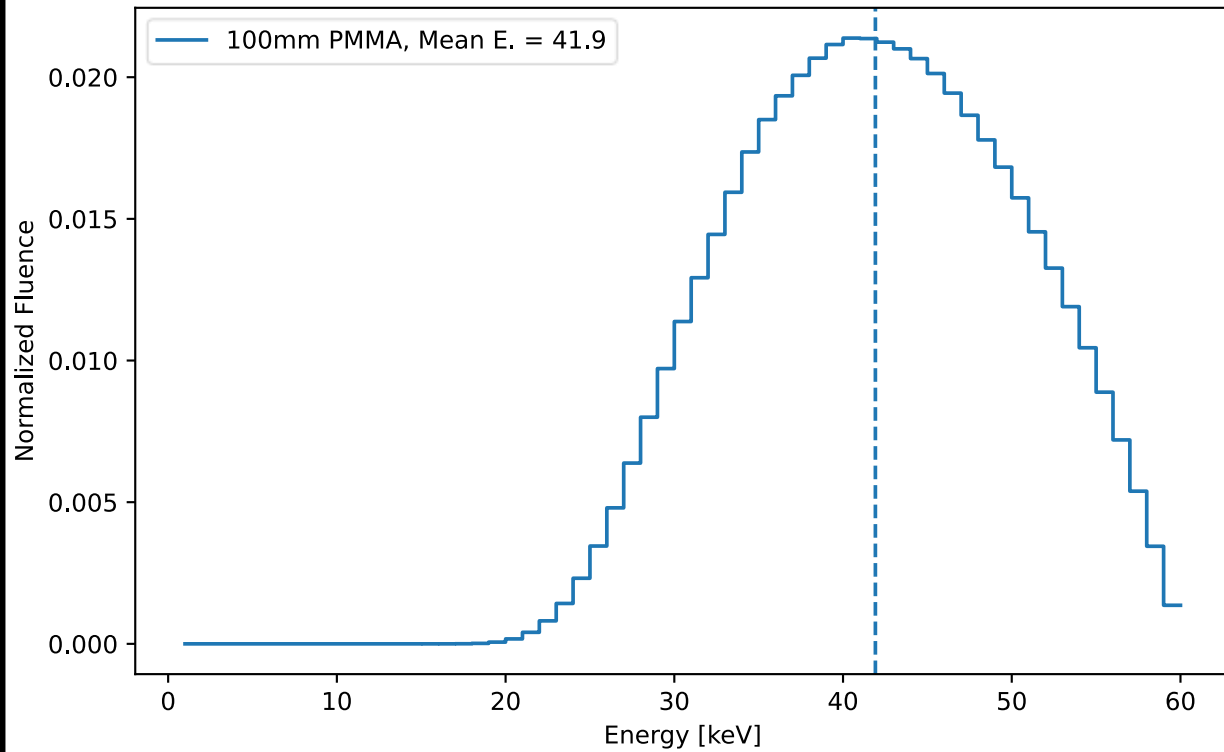
Beregning av spekter for å forstå hvorfor

- Beregnet med SpekPy V2.0.13
- kVp fra 60 – 120 kVp
- Filtrert med
 - Kobber
 - Aluminium
 - PMMA
- Verdier beregnet ved 1 m SID
 - Energispekter
 - Gjennomsnittsenergi (keV)
 - Air Kerma ($\mu\text{Gy/mAs}$)
 - Halvverdilag
- Link til SpekPy
 - <https://spekpy.smile.ki.se/>
 - https://bitbucket.org/spekpy/spekpy_release/wiki/Home

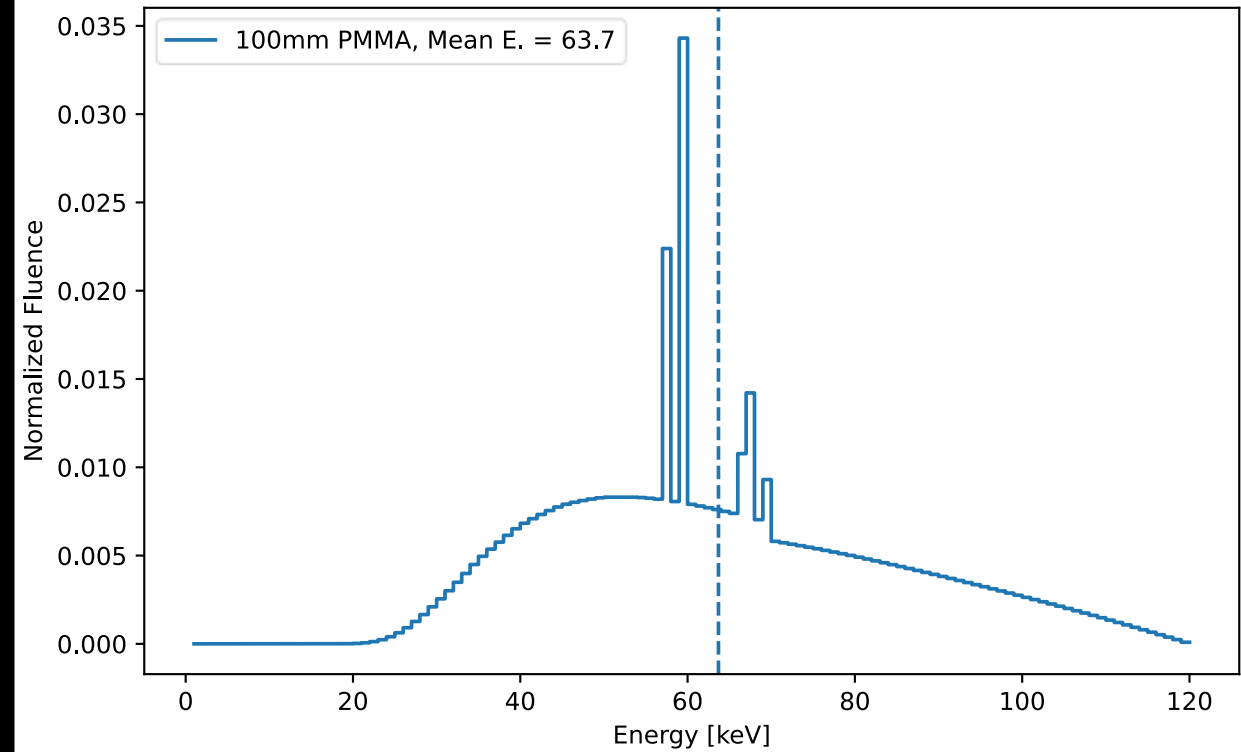


«Tynn» absorbator

60 kVp normalized spectrum

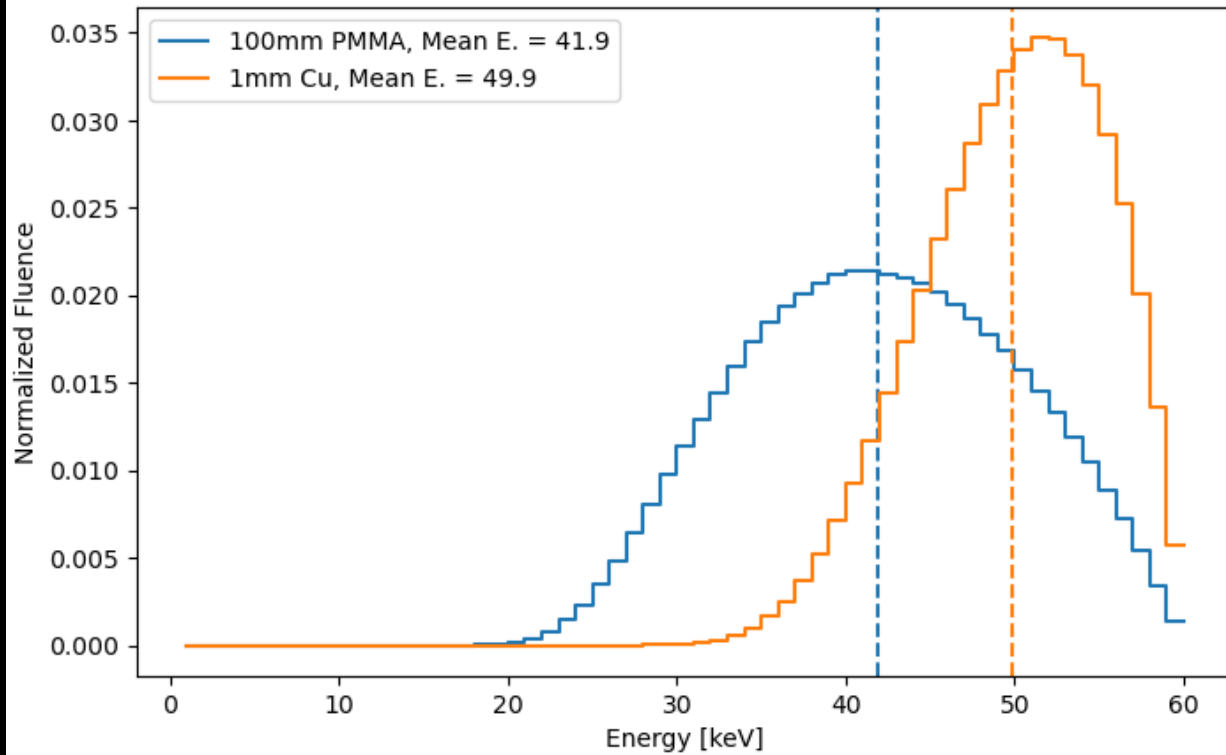


120 kVp normalized spectrum

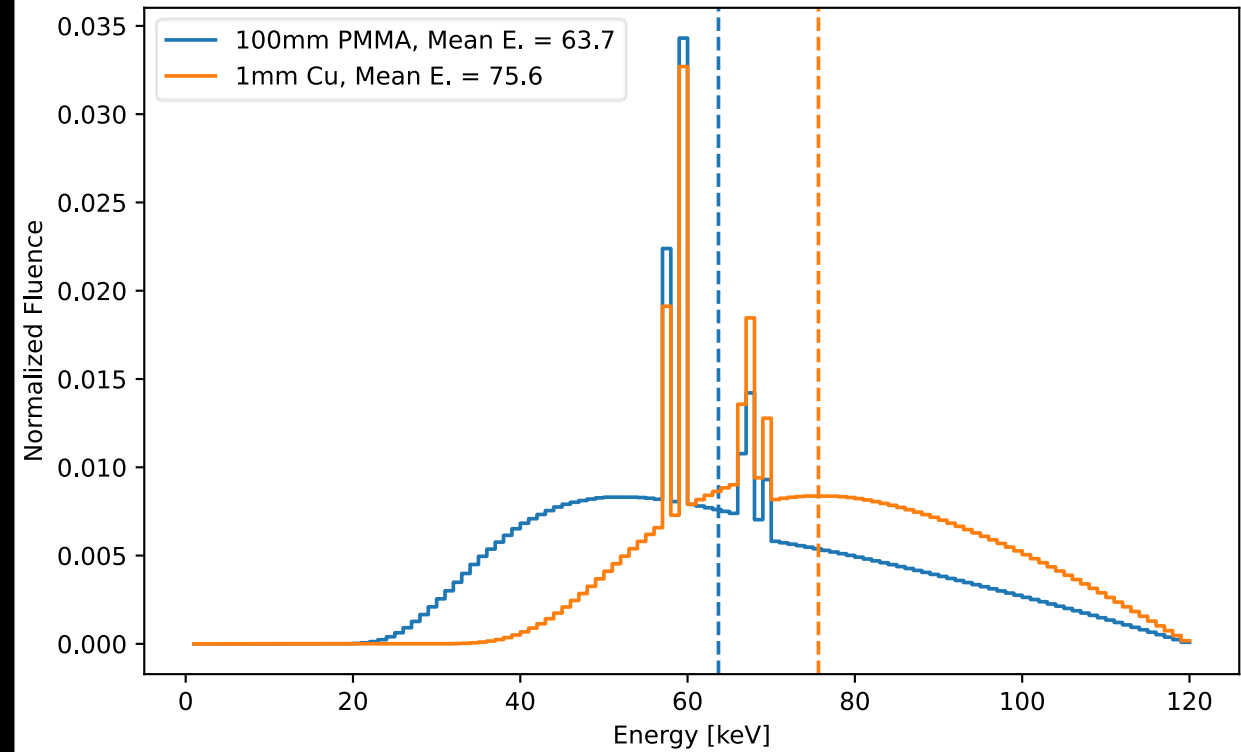


«Tynn» absorbator

60 kVp normalized spectrum

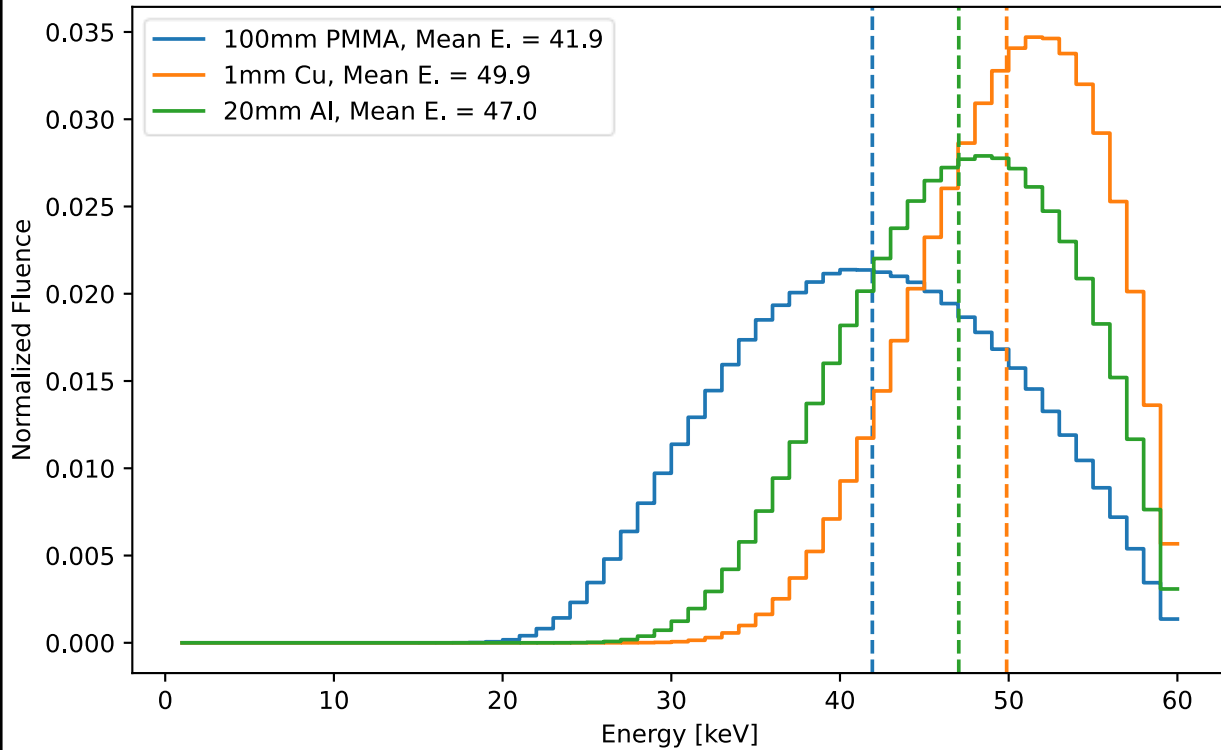


120 kVp normalized spectrum

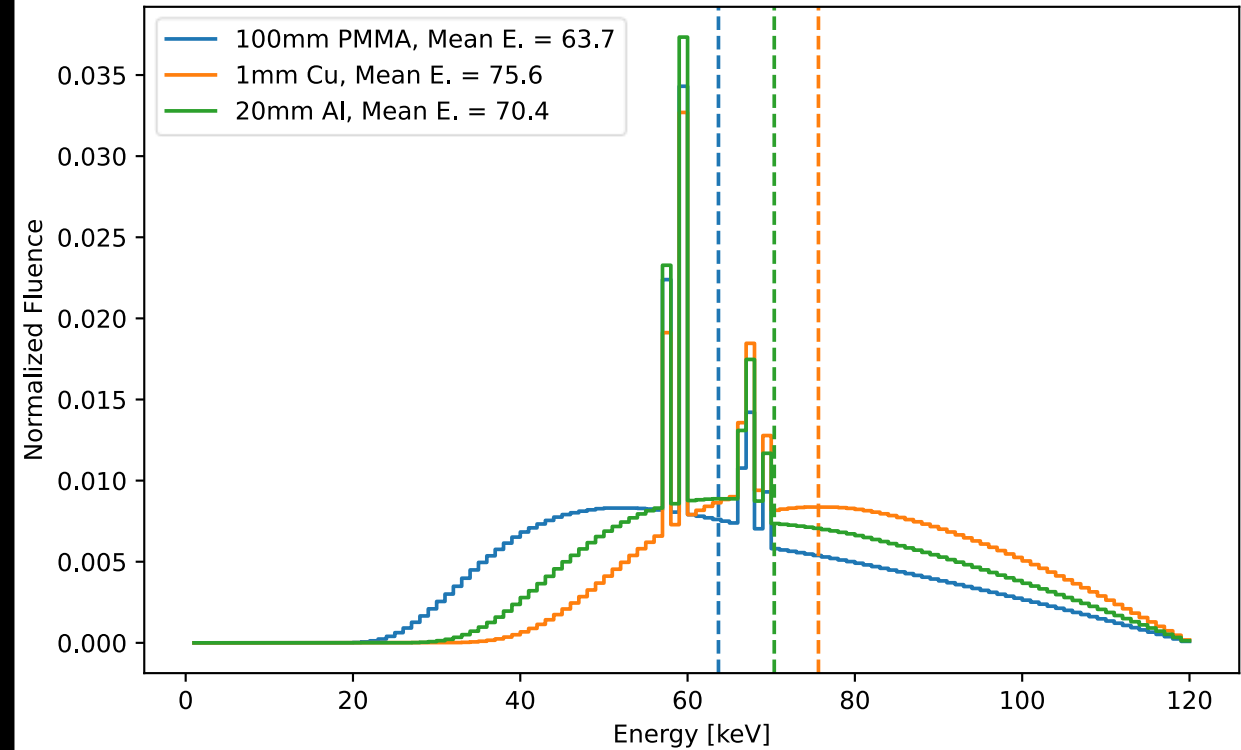


«Tynn» absorbator

60 kVp normalized spectrum

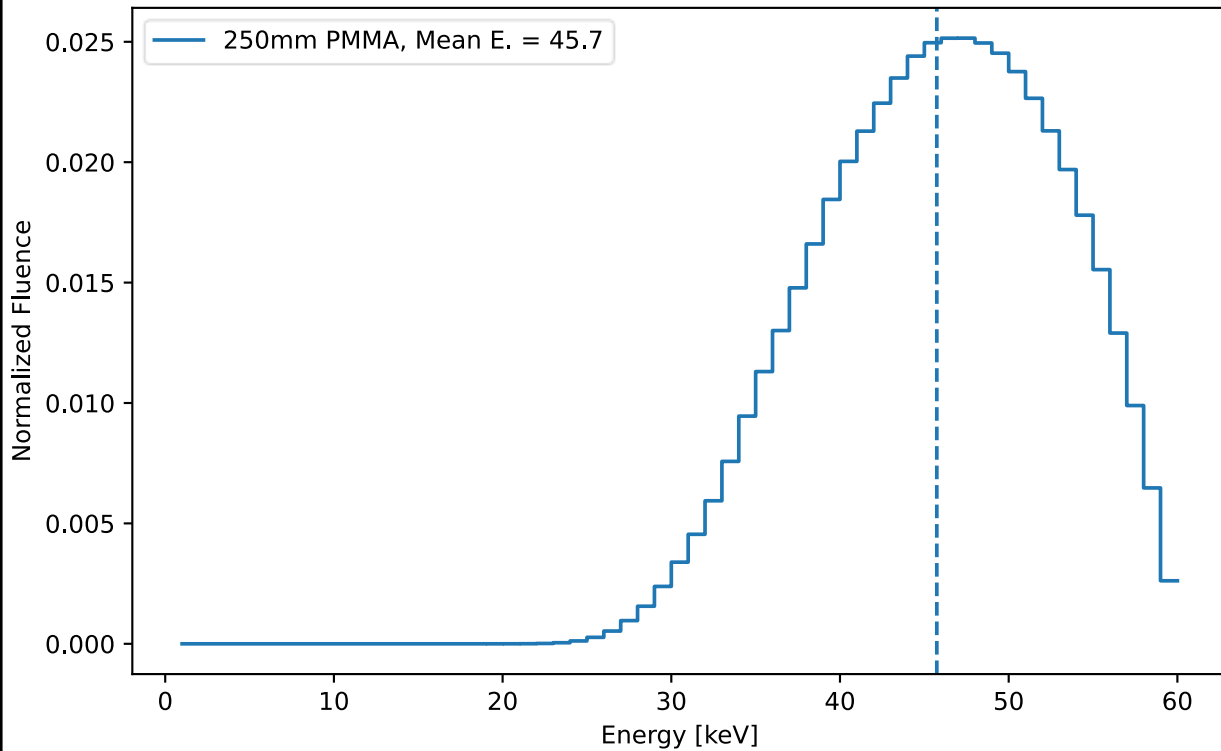


120 kVp normalized spectrum

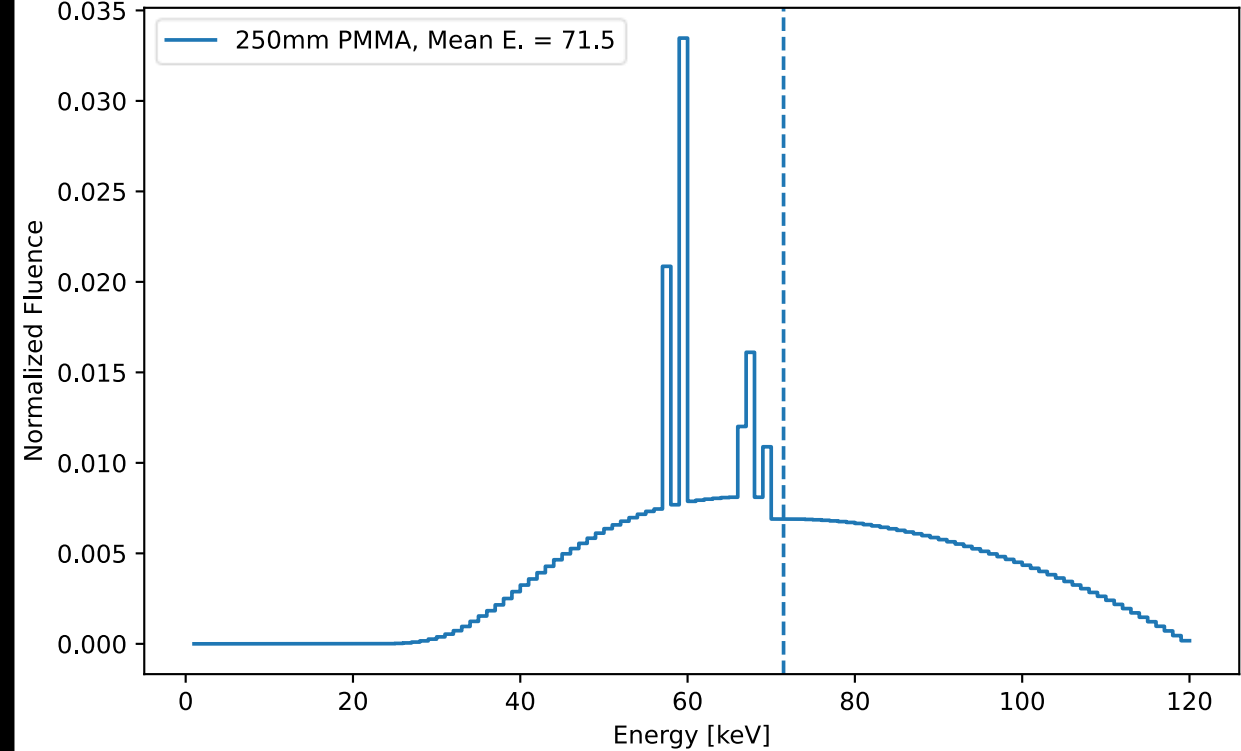


«Tykk absorbator»

60 kVp normalized spectrum

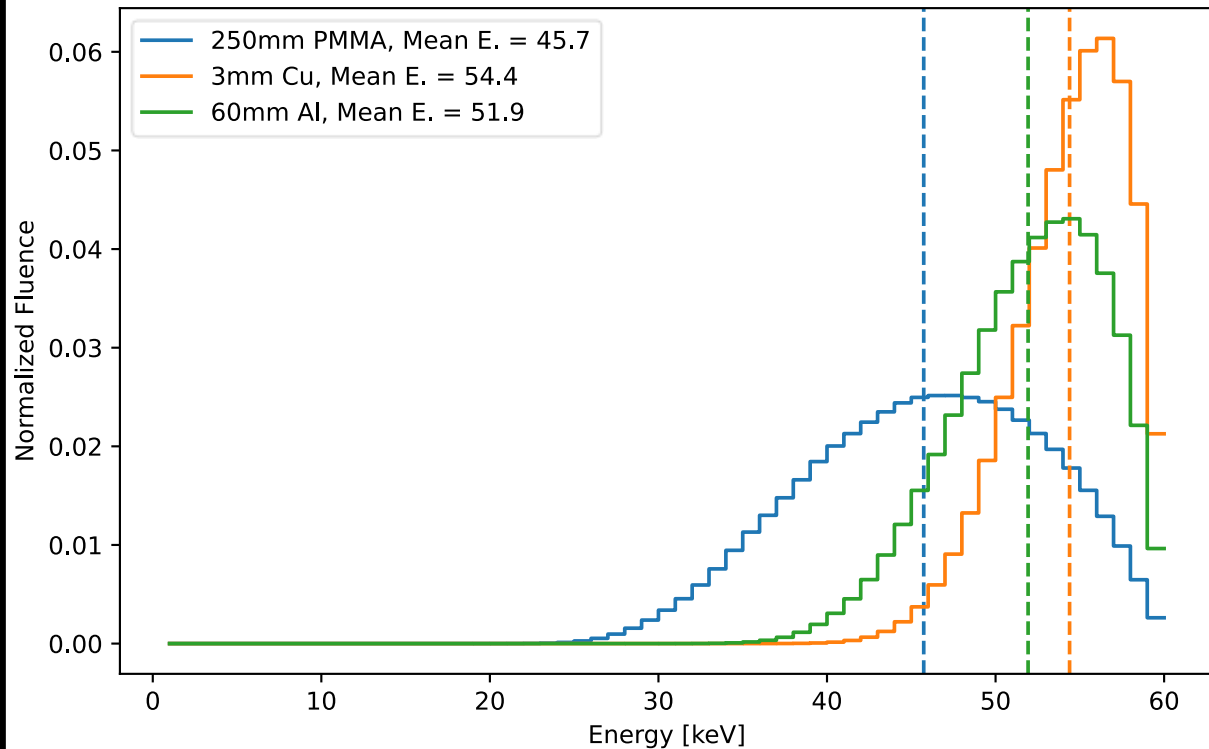


120 kVp normalized spectrum

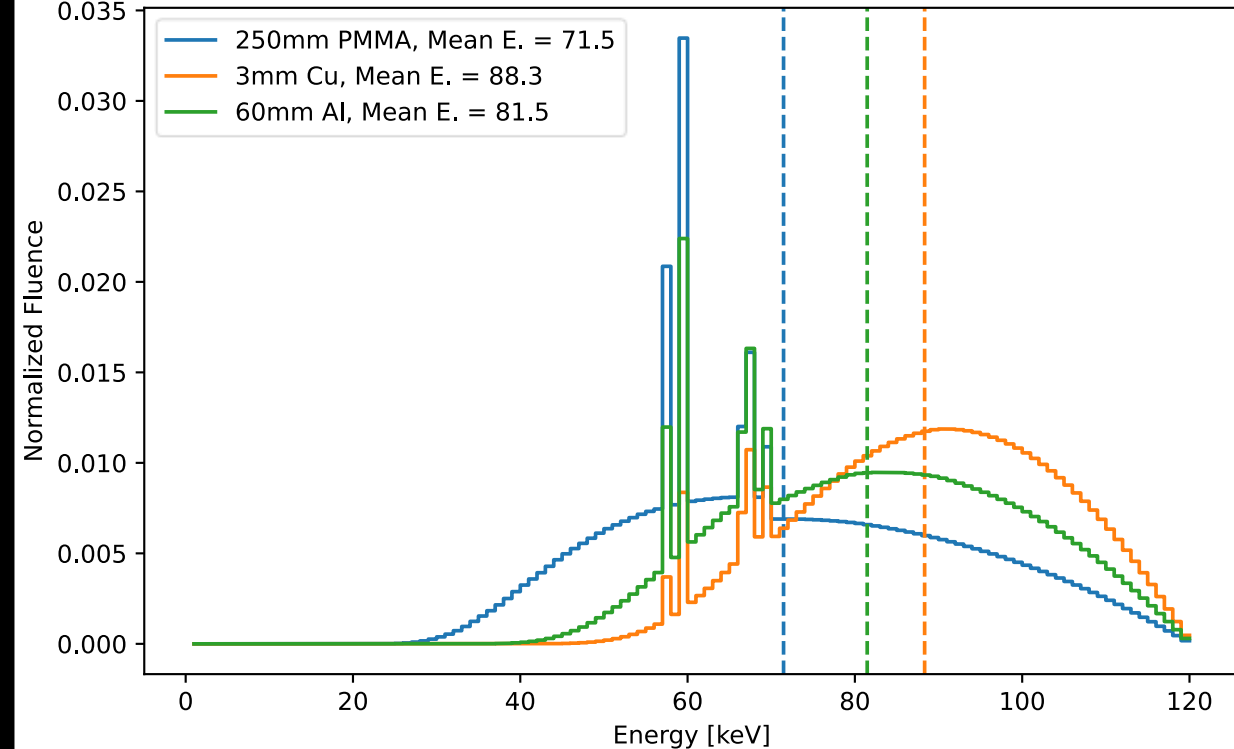


«Tykk absorbator»

60 kVp normalized spectrum



120 kVp normalized spectrum



2. Konklusjon

- 100 – 250mm PMMA kan ikke erstattes med
 - 1 – 3 mm kobber
 - 20 – 60 mm aluminium
- Kan det i det hele tatt erstattes?

3. Forsøk – Mer metodisk!

- Sammenligne gjennomsnittsenergi med en rekke absorbatore
 - PMMA 100, 150, 200 og 250mm
 - Kobber 0.5 – 2mm
 - Aluminium 5 – 30 mm
- Rørspenning: 60, 70, 80, 90, 100, 110 og 120 kVp
- For hvert tykkelse av PMMA – Hvilke kobber- og aluminiumstykkelse er likest?

Gjennomsnittsenergi – 100 mm PMMA

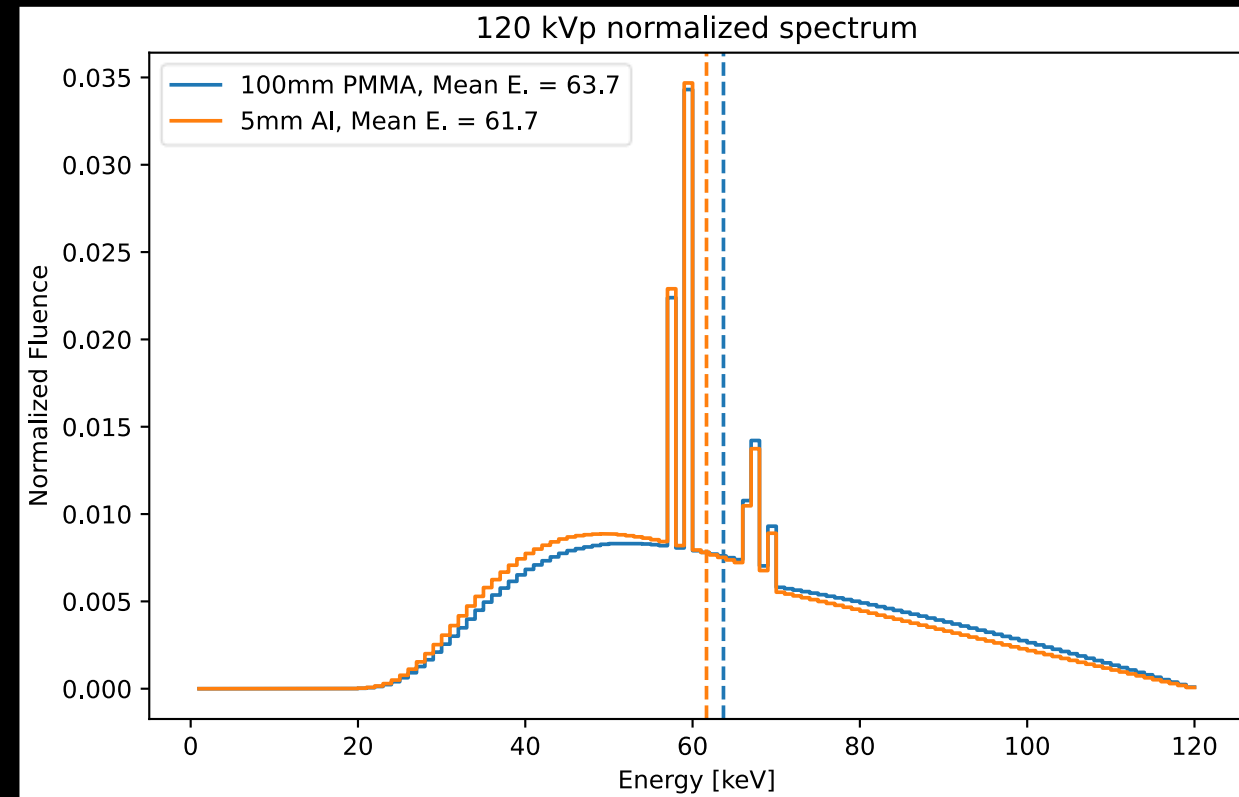
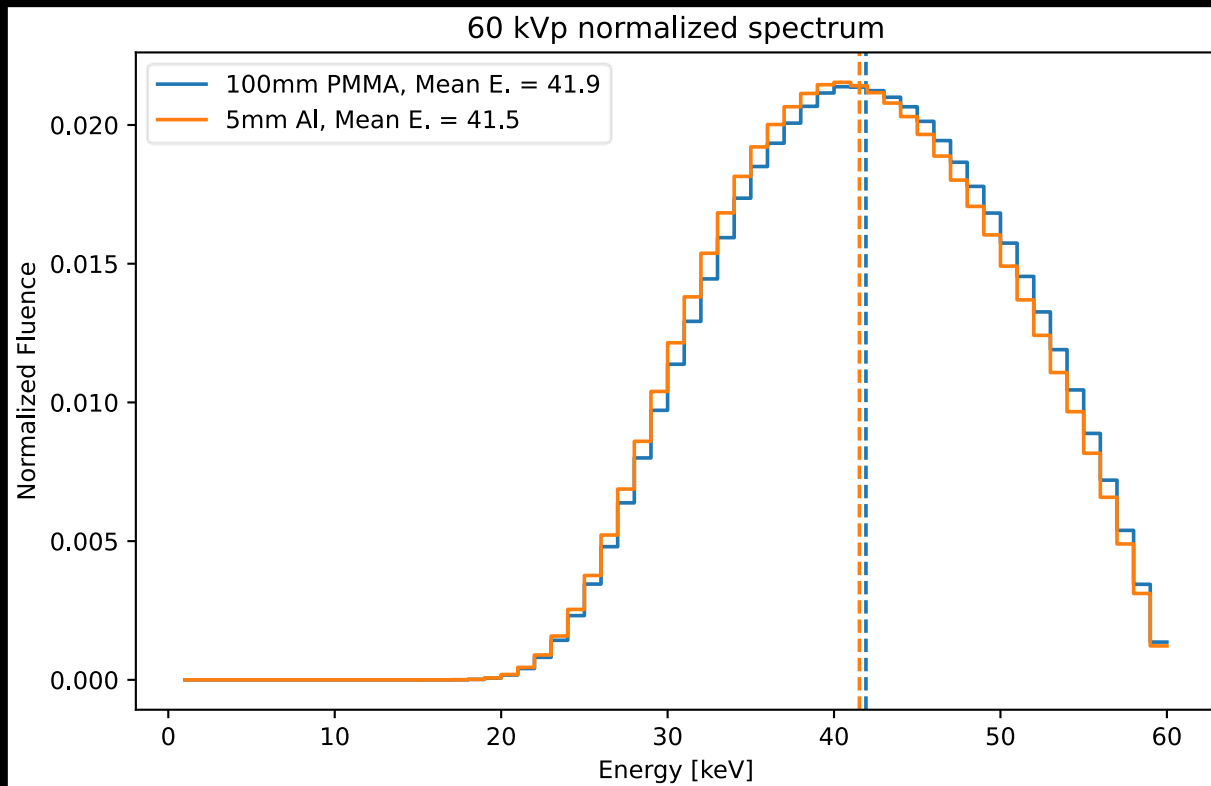
kVp	100mm PMMA	5mm Al	7.5mm Al	10mm Al	0.5mm Cu
60	41.9	41.5	42.9	44.1	46.7
70	46.2	45.6	47.2	48.5	51.6
80	50.4	49.5	51.3	52.7	56.3
90	54.2	53.1	54.9	56.4	60.1
100	57.6	56.2	58.1	59.7	63.6
110	60.7	59.0	61.0	62.6	66.7
120	63.7	61.7	63.7	65.4	69.6

Relativ forskjell i
gjennomsnittsenergi:

kVp	5 mm Al	7.5 mm Al	10 mm Al	0.5 mm Cu
60	-0.9%	2.4%	5.1%	11.4%
70	-1.3%	2.1%	5.0%	11.8%
80	-1.7%	1.8%	4.6%	11.5%
90	-2.1%	1.3%	4.1%	10.9%
100	-2.4%	0.9%	3.6%	10.3%
110	-2.8%	0.5%	3.1%	9.7%
120	-3.2%	0.0%	2.7%	9.3%

100mm PMMA Normalisert spekter

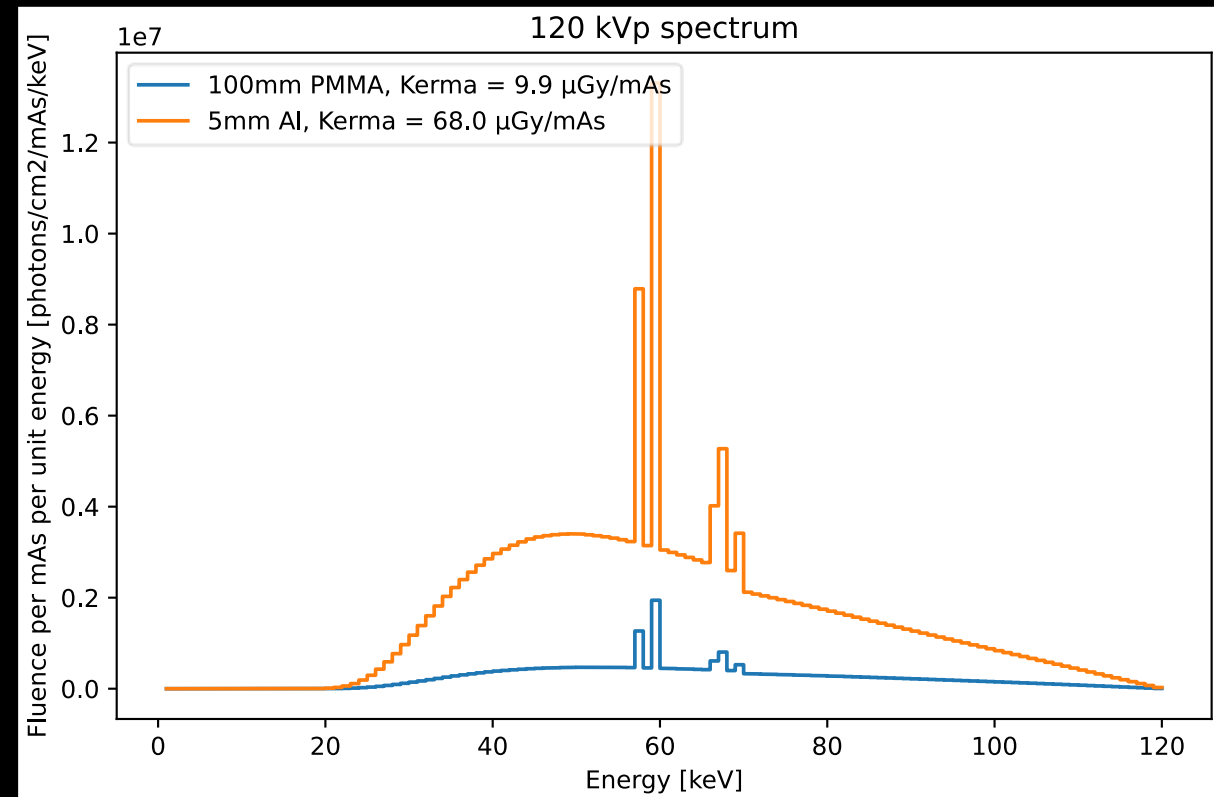
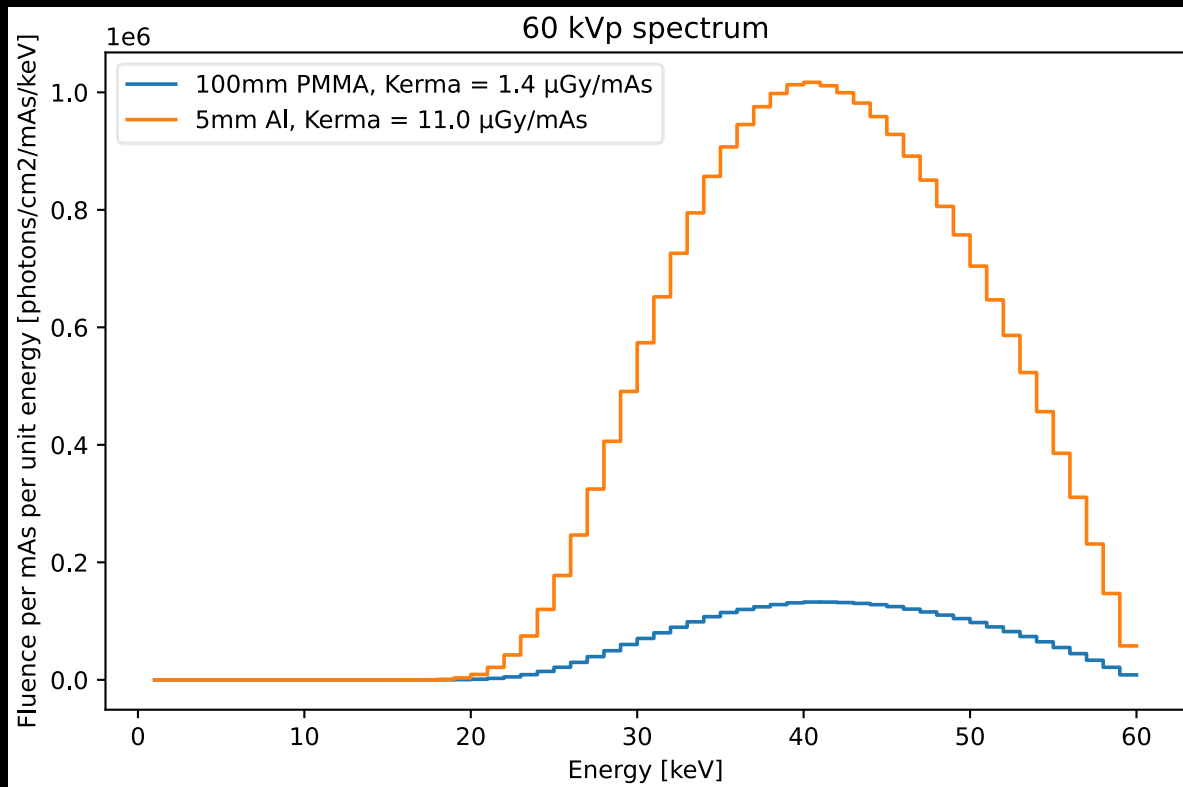
kVp	5 mm Al	7.5 mm Al	10 mm Al	0.5 mm Cu
60	-0.9%	2.4%	5.1%	11.4%
70	-1.3%	2.1%	5.0%	11.8%
80	-1.7%	1.8%	4.6%	11.5%
90	-2.1%	1.3%	4.1%	10.9%
100	-2.4%	0.9%	3.6%	10.3%
110	-2.8%	0.5%	3.1%	9.7%
120	-3.2%	0.0%	2.7%	9.3%



100mm PMMA

«Ekte spektrum»

kVp	5 mm Al	7.5 mm Al	10 mm Al	0.5 mm Cu
60	-0.9%	2.4%	5.1%	11.4%
70	-1.3%	2.1%	5.0%	11.8%
80	-1.7%	1.8%	4.6%	11.5%
90	-2.1%	1.3%	4.1%	10.9%
100	-2.4%	0.9%	3.6%	10.3%
110	-2.8%	0.5%	3.1%	9.7%
120	-3.2%	0.0%	2.7%	9.3%



Air Kerma [$\mu\text{Gy/mAs}$] – 100 mm PMMA

kVp	100mm PMMA	5mm Al	7.5mm Al	10mm Al	0.5mm Cu
60	1.4	11.0	6.8	4.5	2.6
70	2.3	17.3	11.4	7.9	5.4
80	3.4	25.0	17.3	12.6	9.7
90	4.7	34.2	24.5	18.3	15.4
100	6.2	44.4	32.7	25.0	22.4
110	8.0	55.9	42.1	32.7	30.8
120	9.9	68.0	52.1	41.1	40.1

Relativ økning i
dose per mAs:

kVp	5mm Al	7.5mm Al	10mm Al	0.5mm Cu
60	7.7	4.8	3.2	1.8
70	7.6	5.0	3.5	2.4
80	7.4	5.1	3.7	2.9
90	7.3	5.2	3.9	3.3
100	7.1	5.2	4.0	3.6
110	7.0	5.3	4.1	3.9
120	6.9	5.3	4.2	4.0

250 mm PMMA ekvivalent

Relativ forskjell i
gjennomsnittsenergi:

kVp	20mm Al	0.5mm Cu
60	2.8%	2.1%
70	2.4%	1.6%
80	1.7%	0.9%
90	1.0%	0.2%
100	0.2%	-0.7%
110	-0.7%	-1.6%
120	-1.6%	-2.6%

Relativ økning i
dose per mAs:

kVp	20mm Al	0.5mm Cu
60	56.0	132.5
70	60.3	139.1
80	62.4	141.6
90	63.1	141.3
100	63.0	139.5
110	62.3	136.7
120	61.1	133.2

3. Konklusjon

- 100 – 250mm PMMA gir ekvivalent spekter med
 - 5 – 20 mm aluminium
- Doseraten blir ~ 4 – 60 ganger høyere bak aluminium enn PMMA
 - Når de er matchet på spektrum
- Dette gir svært høy doserate til AEC, spesielt ved høy kVp
- Høy doserate gir kort eksponeringstid.

Nytt problem...

- AEC systemet og generator har en nedre grenser for hvor raskt de kan terminere strålingen.
 - Egen test for dette i AAPM TG-150 (4.4.3 Minimum Response Time)
 - Typisk 2 – 9 ms
- Ved bruk av tynn aluminium, høy kVp og lav SID kreves svært lav rørstrøm om eksponeringstiden skal bli > 10 ms
 - Eksempel:
120 kVp, 10mm Aluminium, 110 cm SID og 32 mA i rørstrøm ga ~6 ms eksponeringstid.
- Er dette et problem...? Er det klinisk relevant...?
Får jeg samme resultat med høy og lav mA?

4. runde!

- Både «normal» doserate og riktig spekter?
- Kombinasjon av PMMA og aluminium!
 - 100 mm PMMA
 - 0 - 15mm Aluminium festet på røret
- 1.7 kg
 - ~ likt som 60mm Aluminium



Aluminium

PMMA



150 mm PMMA ekvivalent

250 mm PMMA ekvivalent

Relativ forskjell i
gjennomsnittsenergi:

kVp	10mm Al	100mm PMMA + 5mm Al
60	1 %	2 %
70	1 %	2 %
80	0 %	2 %
90	0 %	2 %
100	-1 %	1 %
110	-1 %	1 %
120	-2 %	1 %

kVp	20mm Al	100mm PMMA + 15mm Al
60	3 %	3 %
70	2 %	3 %
80	2 %	3 %
90	1 %	2 %
100	0 %	2 %
110	-1 %	1 %
120	-2 %	1 %

Relativ økning i
dose per mAs:

kVp	10mm Al	100mm PMMA + 5mm Al
60	13.9	1.8
70	14.2	1.9
80	14.3	2.0
90	14.2	2.0
100	14.1	2.0
110	14.0	2.1
120	13.8	2.1

kVp	20mm Al	100mm PMMA + 15mm Al
60	56.0	7.5
70	60.3	8.4
80	62.4	8.9
90	63.1	9.2
100	63.0	9.4
110	62.3	9.5
120	61.1	9.5

4. Konklusjon

- Ekvivalent spekter og OK doserate!
- Ser ut som om vi har en løsning!
- Men er det egentlig det???

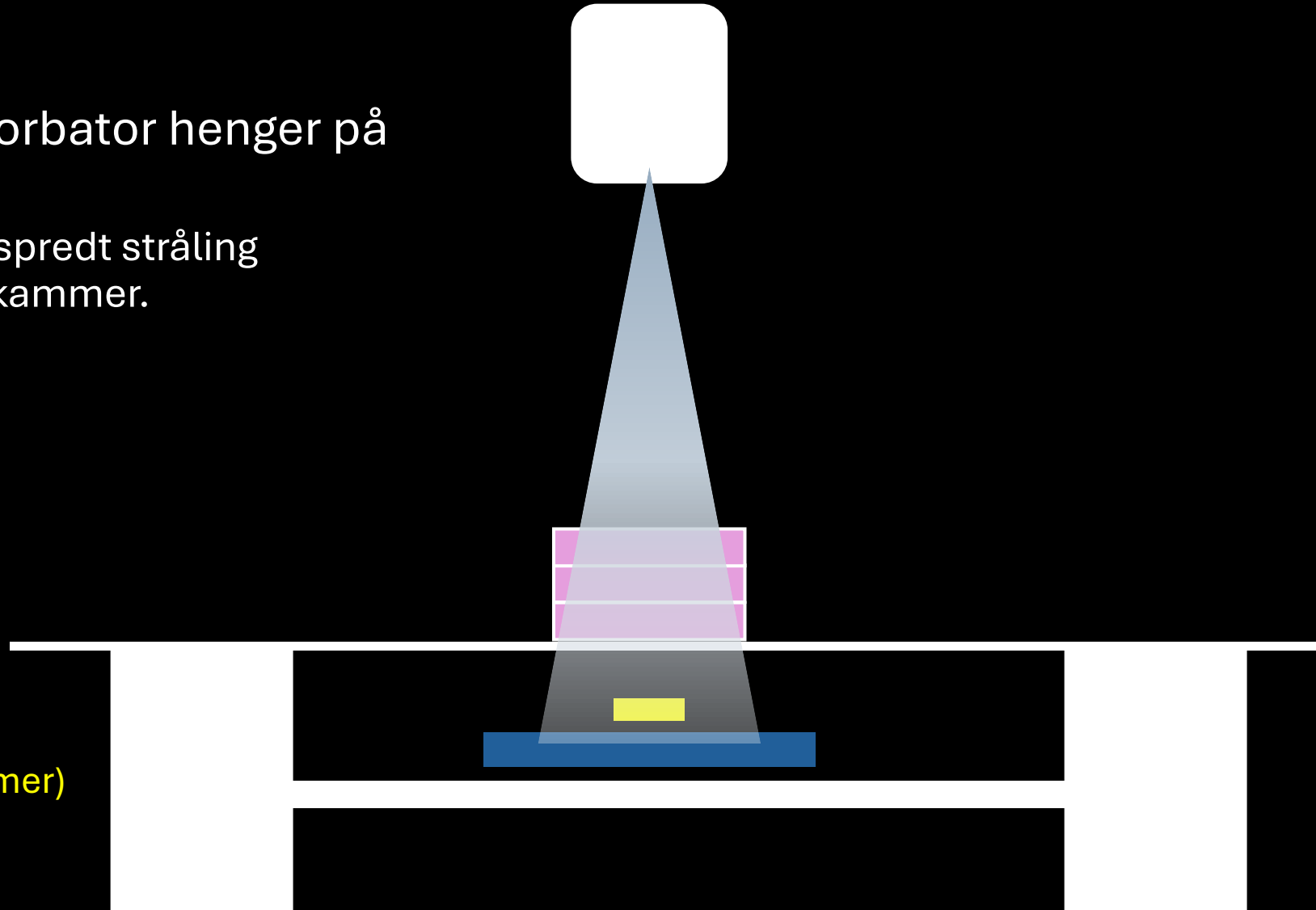
5. Runde!

- Er det irrelevant om absorbator henger på rør eller bucky?
 - Absorbator på bucky gir spredt stråling fra absorbator mot AEC kammer.

Raster

AEC kammer
(ioniseringskammer)

Bildedetektor



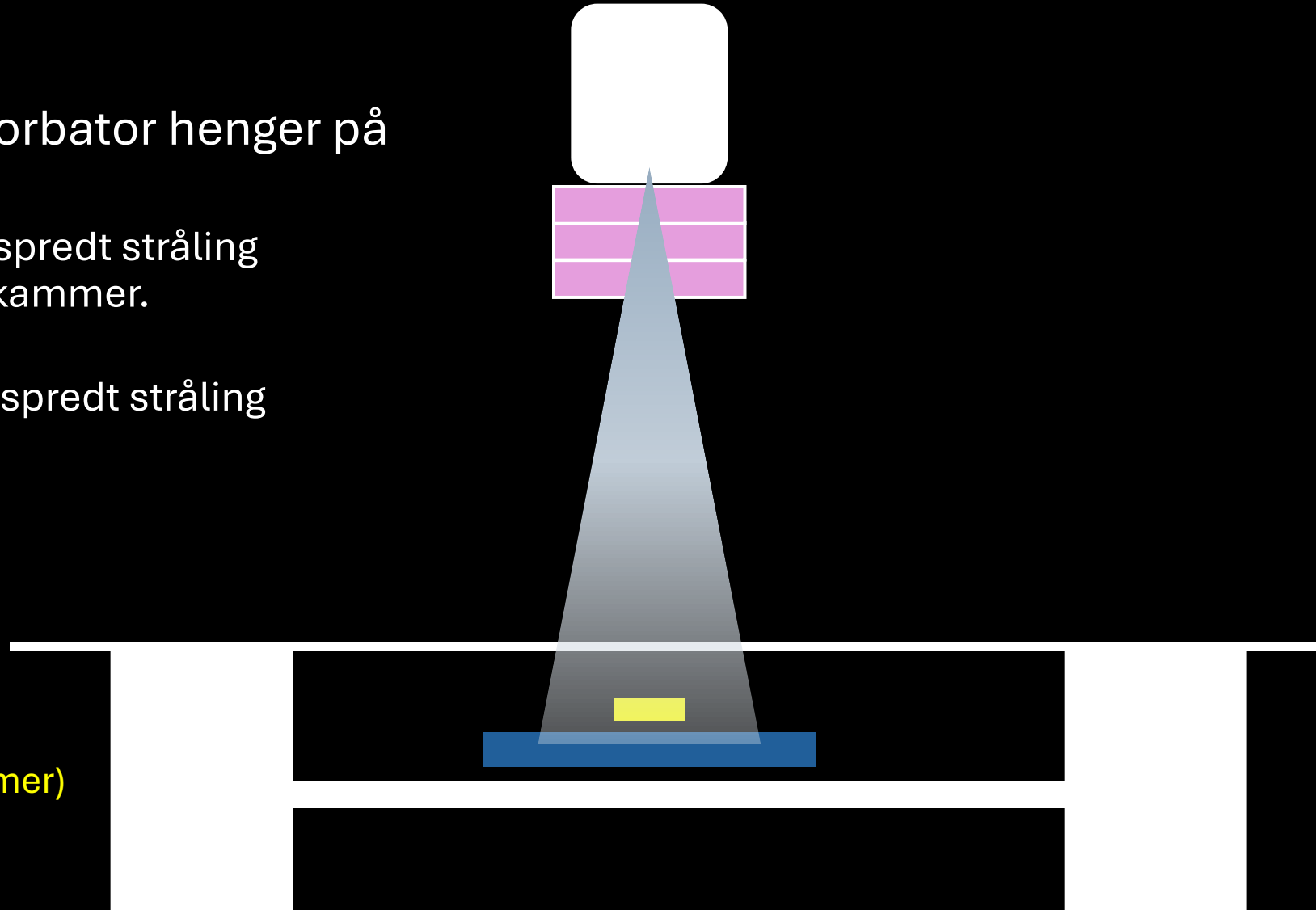
5. Runde

- Er det irrelevant om absorbator henger på rør eller bucky?
 - Absorbator på bucky gir spredt stråling fra absorbator mot AEC kammer.
 - Absorbator på rør gir lite spredt stråling som når AEC kammer.

Raster

AEC kammer
(ioniseringskammer)

Bildedetektor



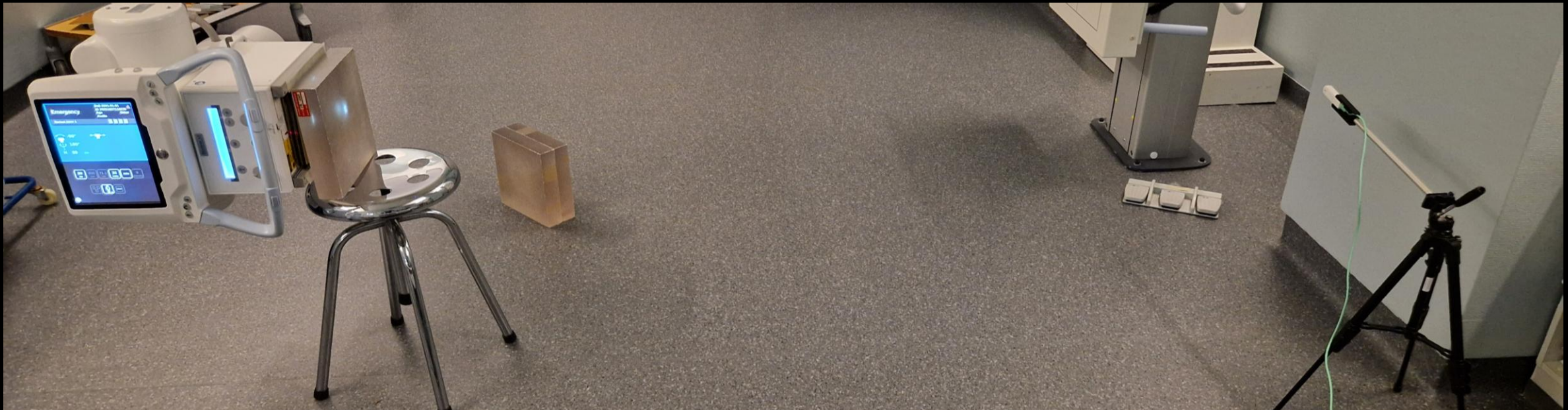
Absorbator på rør eller bucky?

- Testoppsett
 - Plastabsorbator på rør eller foran dosemåler (bucky/AEC kammer)
 - Måler stråleutbytte, kVp og halvverdilag (substitutt for gjennomsnittenergi)



Absorbator på rør eller bucky?

- Oppsett 1: Absorbator ved rør (slik vi ønsker det)
 - 0, 5, 10 og 15 cm polystyrene
- Smalt røntgenfelt



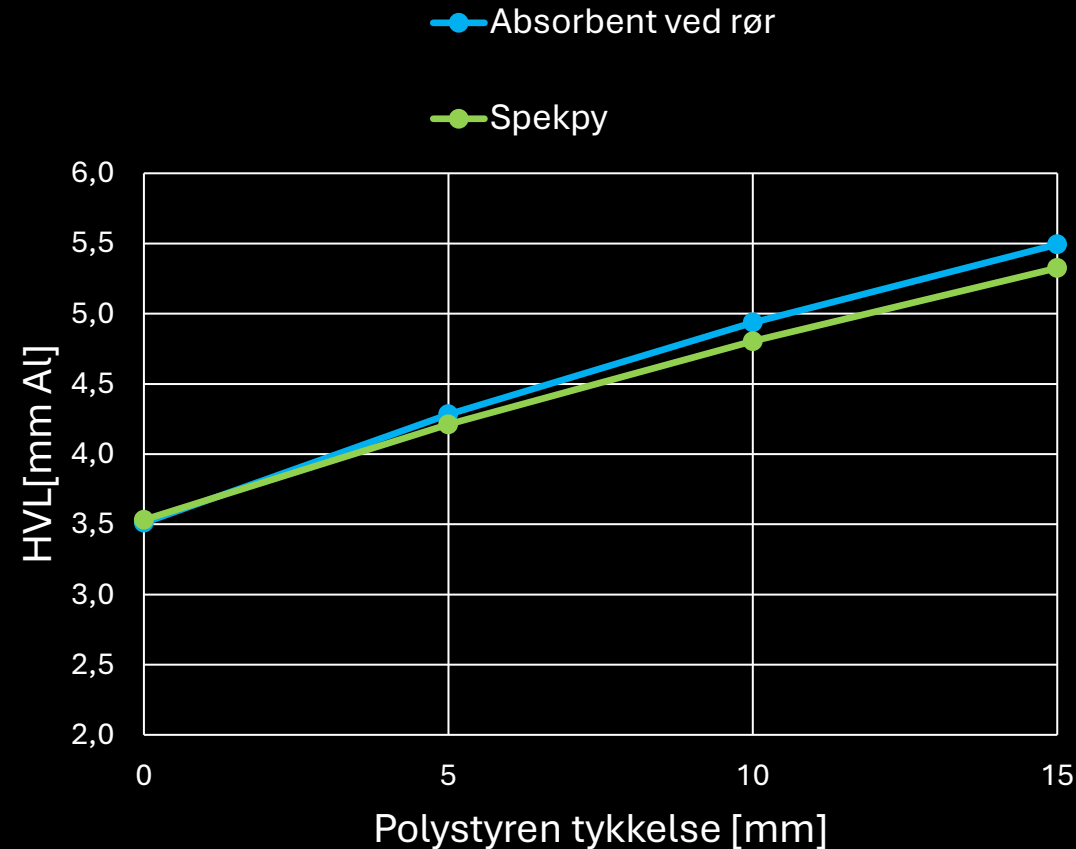
Absorbator på rør eller bucky?

- Oppsett 2: Absorbator ved detektor (Slik standardene beskriver)
 - 0, 5, 10 og 15 cm polystyrene
- Bredt felt som dekker absorbator



Absorbator på rør eller bucky?

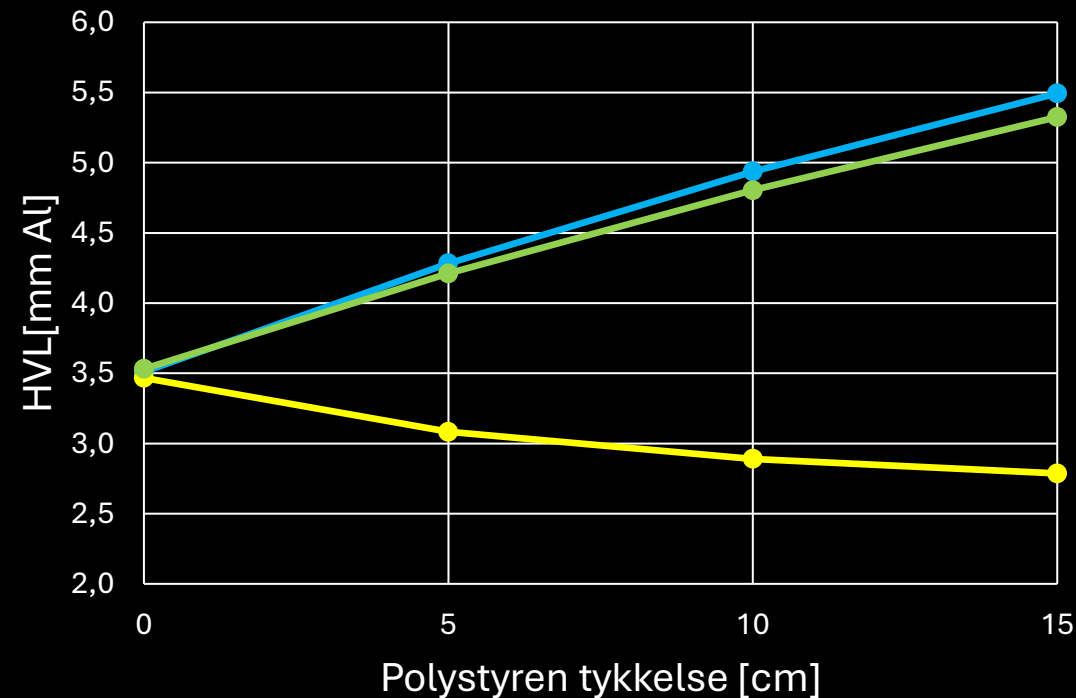
Halvverdilag



Absorbator på rør eller bucky?

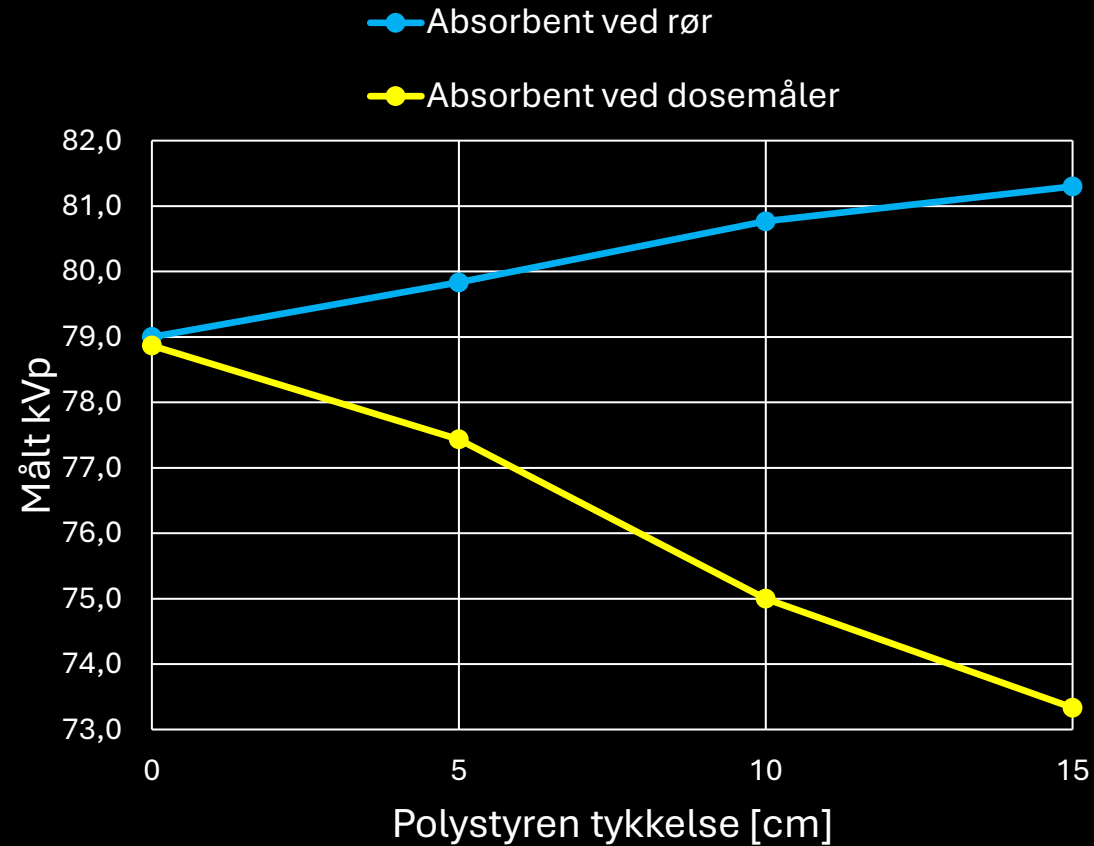
Halvverdilag

- Absorbent ved rør
- Absorbent ved dosemåler
- Spekpy



Absorbator på rør eller bucky?

kVp (målt)

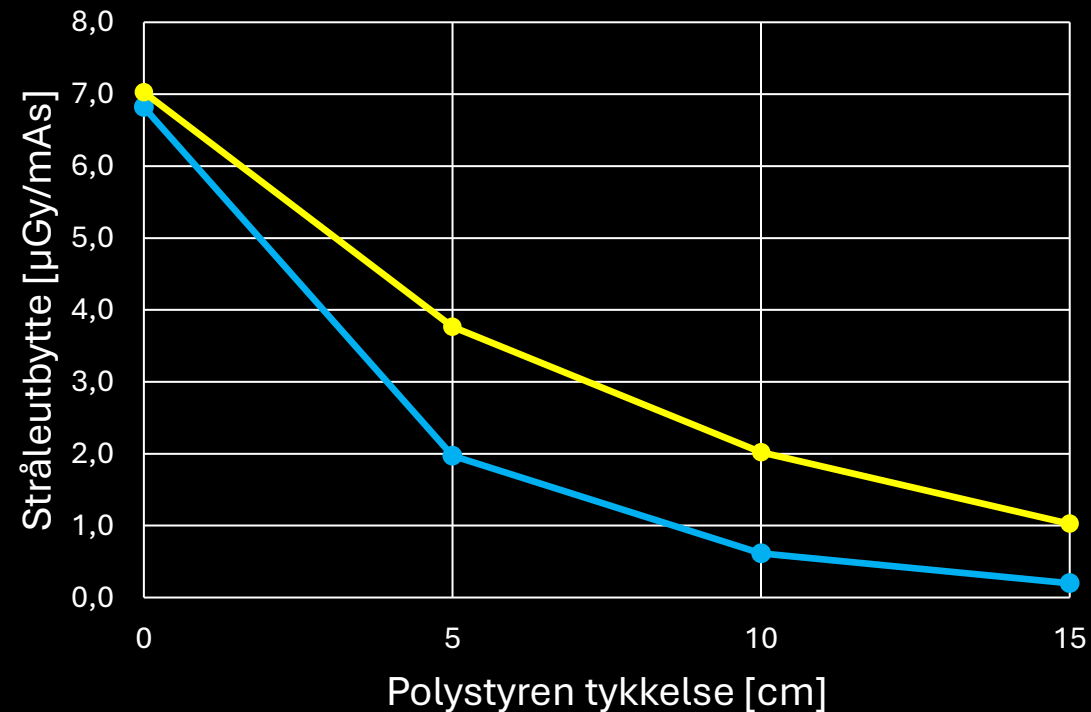


Absorbator på rør eller bucky?

Stråleutbytte

—●— Absorbent ved rør

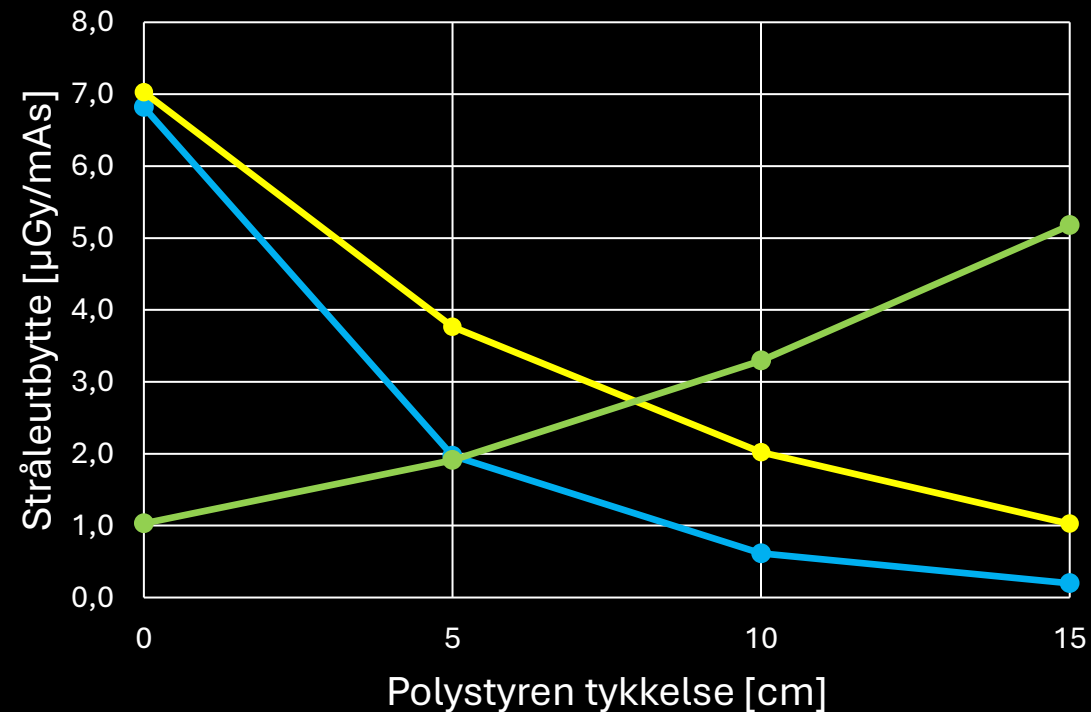
—●— Absorbent ved dosemåler



Absorbator på rør eller bucky?

Stråleutbytte

- Absorbent ved rør
- Absorbent ved dosemåler
- Forhold



Absorbator på rør eller bucky?

- Absorbator på rør gir hardere stråling (som filtrering)
- Absorbator nær detektor gir mykere stråling!
- Plassering av absorbator er viktig!



Oppsummert

- Kobber, aluminium eller PMMA festet på rør er ikke ekvivalent med PMMA på bucky...
- Det ser ut til at må bruke PMMA på bucky...
- Long story short:
 - Gjør som standarden sier med en gang!