

REKOMMANDATIONER FOR ANVENDELSE AF IONISATIONSKAMRE OG TILHØRENDE UDSTYR INDEN FOR STRÅLETERAPI

UDARBEJDET AF IONISATIONSKAMMERGRUPPEN UNDER DANSK
SELSKAB FOR MEDICINSK FYSIKS DOSIMETRIUDVALG, 2004-2005

MARTIN BERG¹, BJARKE LUNDEGAARD MORTENSEN¹, LISE MARIE OLSEN², LARS PRÆSTEGAARD³,
MOGENS HJELM-HANSEN⁴, HANS LYNGGAARD RIIIS⁴, MARIKA BJÖRK⁵, HANNE N. WALTEBURG⁶ OG
KJELD JØRGEN OLSEN⁷

¹ AFDELING FOR MEDICINSK FYSIK, VEJLE SYGEGEHUS, KABELTOFT 25, 7100 VEJLE

² AFDELINGEN FOR MEDICINSK FYSIK, AALBORG SYGEGEHUS SYD, HOBROVEJ 18-22, 9100 AALBORG

³ AFDELING FOR MEDICINSK FYSIK, ÅRHUS SYGEGEHUS, NØRREBROGADE 44, BYGNING 5, 2. SAL,
8000 ÅRHUS C

⁴ RADIOFYSISK LABORATORIUM, ODENSE UNIVERSITETSHOSPITAL, SDR. BOULEVARD 29,
5000 ODENSE C

⁵ RADIOFYSISK AFDELING 3994, RIGSHOSPITALET, BLEGDAMSVEJ 9, 2100 KØBENHAVN Ø

⁶ RØNTGENTILSYNET STATENS INSTITUT FOR STRÅLEHYGIEJNE, KNAPHOLM 7, 2730 HERLEV

⁷ RADIOFYSISK AFDELING 54C3 KAS HERLEV, HERLEV RINGVEJ 75, 2730 HERLEV

INDHOLD

Indhold	2
Introduktion.....	3
1. Anbefalet dosimetrisk udstyr	4
1.1. Ionisationskamre	4
1.2. Elektrometre.....	5
1.2.1. Kobling af ionisationskammer og elektrometer.....	5
2. Eksterne stabilitetskontroller/kalibreringer.....	6
2.1. Ionisationskamre	6
2.2. Andet dosimetrisk udstyr	7
3. Interne stabilitetskontroller/kalibreringer	8
3.1. Ionisationskamre	8
3.1.1. Konstanskontrol i strontiumkilde.....	8
3.1.2. Konstanskontrol mod andet ionisationskammer	8
3.1.2.1. Metode 1	8
3.1.2.2. Metode 2	9
3.2. Andet dosimetrisk udstyr	9
3.2.1. Elektrometre.....	9
3.2.2. Barometre.....	10
3.2.3. Termometre.....	10
3.2.4. Strontiumkilde.....	10
4. Mærkning af udstyr.....	10
5. Opbevaring og håndtering af kalibreringscertifikater	10
5.1. Kalibreringscertifikater	10
5.1.1. Anvendelse af kalibreringskonstanter i andre dokumenter, regnearksskabeloner, software eller lignende.....	11
6. Opbevaring af ionisationskamre	11
6.1. Generelt.....	11
6.2. Efter brug i vand	11
7. Test af ionisationskamre	12
7.1. Anskaffelse.....	12
7.2. Rutinemæssig konstanskontrol	12
7.3. Rutinemæssig gennemlysning.....	12
7.4. Rutinemæssig visuel inspektion.....	13
7.5. Måling af lækstrøm	13
7.5.1. Type 1	13
7.5.2. Type 2	13
Referencer	14
Bilag A. Måling af strålingsinduceret ladning i et ionisationskammer.....	1
A.1. Ionisationskammer [1-2]	1
A.2. Dosimetrikabel [2-4]	1
A.3. Opbygning af elektrometer [2-4]	2
A.3.1. Kobling af ionisationskammer og elektrometer.....	2
Bilag B.	1
Bilag C. Følgeseddel for absolut kalibrering af ionkammer hos SIS.....	1

INTRODUKTION

På opfordring fra Dosimetriudvalget under DSMF er ”Rekommandationer for anvendelse af ionisationskamre og tilhørende udstyr inden for stråleterapi” blevet udarbejdet til anvendelse indenfor stråleterapi på de danske stråleterapicentre.

Rekommandationerne tjener det formål at sikre, at der til enhver tid findes udstyr i afdelingerne, så der kan udføres en pålidelig dosisbestemmelse med de anvendte instrumenter. Der gives anbefalinger om mængden af dosimetrisk udstyr, hvordan og hvor ofte såvel interne som eksterne kalibreringer og kontroller af udstyret bør finde sted samt forslag til udførelse af disse.

For at sikre en ensartet dosisbestemmelse i hele landet anbefaler Ionisationskammergruppen anvendelsen af ”IAEA TRS. 398, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water” i forbindelse med dosisbestemmelse for højenergi foton- og elektronbeam [1].

For dosisbestemmelse i lav-kV-røntgenområdet anbefales afsnit 2.2 ”Low-energy x-rays” i ”The IPEMB code of practice for the determination of absorbed dose for x-rays below 300 kV generating potential (0.035 mm Al - 4 mm Cu HVL; 10-300 kV generating potential)”[2]. Supplerende bemærkninger findes i bilag B.

I rekommandationerne er det tillagt stor betydning, at kalibrering af samtlige involverede instrumenter er sporbar til certificerede firmaer.

Det er vort ønske, at rekommandationerne må blive anvendt og være medvirkende til fortsat at sikre en professionel forvaltning af dosimetrien på de danske hospitaler.

Ionisationskammergruppen under DSMFs dosimetriudvalg

1. ANBEFALET DOSIMETRISK UDSTYR

Ifølge Bekendtgørelse nr. 48 af 25. januar 1999 §39 [3] – omhandlende elektronacceleratorer til patientbehandling – skal den ansvarlige fysiker

...sørge for, at der forefindes et referenceinstrument til dosismåling...

Ifølge Bekendtgørelse nr. 765 af 6. oktober 1999 §40 [4] – omhandlende røntgenterapiapparater til patientbehandling – skal den ansvarlige fysiker

...sørge for, at der forefindes et referenceinstrument til dosismåling...

Uafhængig af strålekvalitet kræver en absolut dosisbestemmelse basalt set følgende udstyr:

- ionisationskammer
- barometer
- termometer
- elektrometer

En afdeling må derfor som minimum råde over ovenstående udstyr.

Dertil kommer, at der i forbindelse med konstanskontrol af ionisationskamre, er et behov for en

- strontiumkilde eller tilsvarende

1.1. IONISATIONSKAMRE

Det anbefales, at hver afdeling råder over minimum to identiske ionisationskamre (et sæt) til kalibrering/kontrol af hver kvalitet. I tråd med IAEAs TRS. 398 anbefales vandtætte ionisationskamre så anvendelsen af sleeves undgås. Såfremt det er i overensstemmelse med IAEAs anbefalinger, kan et sæt af ionisationskamre anvendes ved flere kvaliteter.

Det anbefales endvidere, at der i hver afdeling etableres et ionisationskammerhierarki, som sikrer, at der til enhver tid findes et pålideligt ionisationskammer. To identiske ionisationskamre, som udgør et sæt, benævnes i det følgende nr. 1 og nr. 2. Hierarkiet bør arrangeres, så

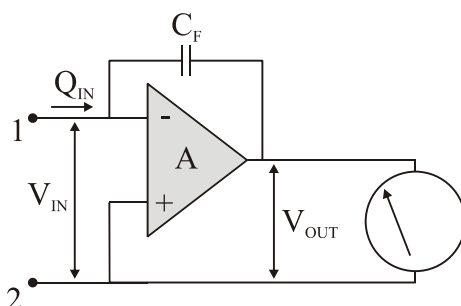
- Nr. 1 anvendes i yderst begrænset omfang og har status som referencekammer
- Nr. 2 anvendes mere hyppigt – eksempelvis til krydskalibrering af øvrige kamre og har status som feltkammer

Ionisationskamrene i ovennævnte hierarki bør være kendt som pålidelige og stabile forinden de udnævnes til *reference-* hhv. *feltkammer*. Stabiliteten bør være veldokumenteret eksempelvis gennem hyppige konstanskontroller over en periode.

Det anbefales at anskaffe sig ekstra feltkamre, så nr. 2 så vidt muligt kun anvendes til kalibrering af disse.

1.2. ELEKTROMETRE

De mest almindelige elektrometertyper har en operationsforstærker koblet til indgangen, som skitseret i figur 2. Fra operationsforstærkerens udgang er der en tilbagekobling via kapacitoren C_F til minusindgangen på operationsforstærkeren (negativ tilbagekobling). Operationsforstærkeren forsøger derfor at opnå en tilstand, hvor spændingsfaldet over indgangen V_{IN} er tæt på nul, således spændingen over udgangen V_{OUT} er minus spændingen over kapacitoren ($-Q_{IN}/C_F$). Altså er spændingen over udgangen proportional med ladningen, som tilføres til målepunktet 1. Spændingen over indgangen er reduceret med forstærkningen A af operationsforstærkeren i forhold til spændingen over udgangen (typisk en faktor 10^4 - 10^6). Resultatet er, at spændingen over indgangen af elektrometeret typisk er af størrelsesordenen 0,1-1 mV, hvilket betyder, at elektrometeret har en meget lille påvirkning af det system, der måles på. Endeligt er det vigtigt, at kapacitoren C_F har en meget lille lækstrøm.



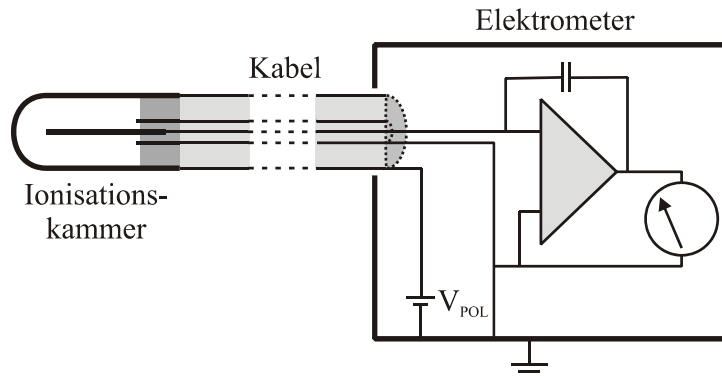
Figur 1: Diagram for typisk elektrometer.

1.2.1. KOBLING AF IONISATIONSKAMMER OG ELEKTROMETER

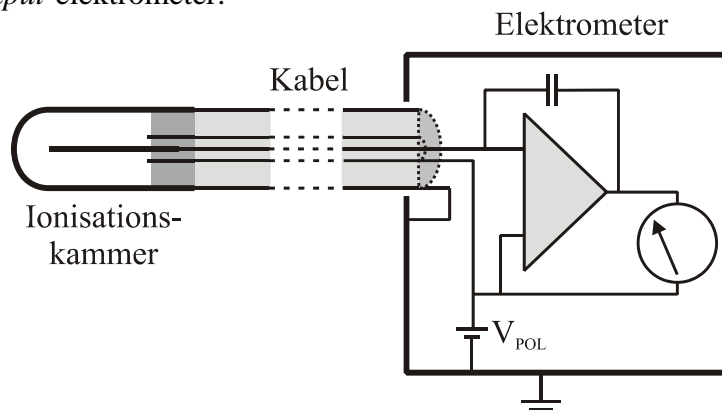
Når et ionisationskammer og et elektrometer kobles sammen, forbindes måleelektroden altid til minusindgangen på elektrometers operationsforstærker og guard'en* forbindes til plusindgangen på operationsforstærkeren. Potentialet af måleelektroden og guard'en afhænger af elektrometertypen. For et *grounded-input*-elektrometer er måleelektroden og guard'en på jordpotentialet, mens yderelektroden af ionisationskammeret er på højspændingspotentialet V_{POL} (se figur 2). For et *floated-input*-elektrometer er måleelektroden og guard'en på højspændingspotentialet V_{POL} , mens yderelektroden af ionisationskammeret er på jordpotentialet (se figur 3). Ionisationskamre beregnet til et *grounded-input*-elektrometer skal derfor beskyttes af en *sleeve* eller beklædes med et elektrisk isolerende og vandtæt materiale for at kunne benyttes i vand.

Man bør ikke forbinde et ionisationskammer beregnet til et *floated-input*-elektrometer til et *grounded-input*-elektrometer, fordi kammerets yder-elektrode ofte ikke er beskyttet af et elektrisk isolerende og vandtæt materiale. Det øger risikoen for elektrisk stød, og betyder, at kammeret ikke kan benyttes direkte i vand. Problemet kan ikke løses ved hjælp af en adapter, da et *grounded-input*-elektrometer har to ledere på jordpotentialet, mens et *floated-input*-elektrometer har to ledere på højspændingspotentialet. Hvis forbindelserne til guard'en og yderelektroden byttes rundt for at få jordpotentiale på yderelektroden af et ionisationskammer koblet til et *grounded-input*-elektrometer, fås et meningsløst resultat, fordi de elektrisk felter i ionisationskammerets luftvolumen er helt anderledes, og der opstår en stor lækstrøm mellem guard'en og måleelektroden.

* I engelsksproget litteratur betegnes den indre skærm oftes som *guard*, idet denne påtrykkes samme potentiale som måleelektroden for at beskytte måleelektroden mod lækstrøm i isolatoren mellem ydre skærm og måleelektroden. I det efterfølgende vil betegnelsen *guard* blive benyttet om den indre skærm.



Figur 2: *Grounded-input*-elektrometer.



Figur 3: *Floated-input*-elektrometer.

Se i øvrigt bilag A: ”Måling af strålingsinduceret ladning i et ionisationskammer”.

2. EKSTERNE STABILITETSKONTROLLER/KALIBRERINGER

2.1. IONISATIONSKAMRE

Ifølge ”Bekendtgørelse om elektronacceleratorer til patientbehandling §39” [3] og ”Bekendtgørelse om røntgenterapiapparater til patientbehandling” §40 [4] skal den ansvarlige fysiker

...sørge for at der forefindes et referenceinstrument til dosismåling, og at dets kalibrering kontrolleres ved en måling hos Sundhedsstyrelsen med højst 2-årige mellemrum.

Ionisationskammer nr. 1 og nr. 2 indenfor hver kvalitet skal derfor kalibreres hos SIS hvert andet år.

Endvidere anbefales det, at

- en person fra afdelingen deltager ved kalibreringen
- afdelingens eget elektrometer og målekabel anvendes ved kalibreringen da eventuel anvendelse af diverse adaptore mellem ionisationskammer, kabel og elektrometer er en potentiel fejlkilde.
- der udføres konstanskontrol af såvel ionisationskamre som elektrometre både før og efter kalibrering hos SIS – se afsnit 3.1. og 3.2.

Der er udarbejdet en følgeseddel, der fra afdelingen følger hvert ionisationskammer, som kalibreres hos SIS. Følgesedlen tjener dels som en huskeliste for udførelse af eksempelvis konstanskontrol for ionisationskammeret før og efter kalibrering. Dertil kommer, at der afkrydses, hvilken protokol kamret kalibreres efter og eventuelle afvigelser herfra bør også noteres, så efterfølgende uklarheder undgås – se bilag C.

Efter kalibrering hos SIS bør det kontrolleres, at målinger med de to kamre er konsistente. Kalibreringsfaktoren for de to kamre bør indgå i sammenligningen: Eksempelvis kan der udføres en absolut dosismåling med hver af de to kamre – alternativt kan man kontrollere at forholdet mellem ladningsmålingerne* med de to kamre (normeret til et monitorkammer) svarer til forholdet mellem kalibreringsfaktorerne. Afvigelsen mellem forholdene mellem ladningsmålingerne og forholdene mellem kalibreringsfaktorerne bør være $\leq 0,5\%$.

2.2. ANDET DOSIMETRISK UDSTYR

For at sikre sporbarheden af en dosisbestemmelse må kalibreringen/kontrollen af følgende instrumenter være sporbar til et akkrediteret firma:

- barometer
- termometer
- elektrometer

Det anbefales, at der haves et referenceinstrument af hver af de nævnte typer. Alle instrumenter (også ikke-referenceinstrumenter) bør kalibreres/konstanskontrolleres én gang årligt.

Typisk vil kalibrering/kontrol af elektrometre, referencebarometre og -termometre udføres hos et certificeret firma. Alternativt kan kalibreringen/kontrollen af elektrometre foretages internt (se afsnit 3.2.1.) – dette kræver så en sporbar kalibrering/kontrol af følgende instrumenter[†] hos et certificeret firma:

- kapacitor
- voltmeter
- timer (stopur)

Det antages, at der i forbindelse med dosismålinger under normale omstændigheder kan ses bort fra luftfugtighedens indflydelse, hvorfor et hygrometer er udeladt [1].

Følgende firmaer vides at tilbyde kalibreringer af ovennævnte instrumenter:

- Saab Metech A/S, Flyvestation Karup, Postboks 19, 7470 Karup, tlf. 9662 5000
- Saab Metech A/S, Helgeshøj Allé 24, 2630 Taastrup, tlf. 70260977
- Teknologisk Institut, Kongsvang Allé 29, 80000 Århus C, tlf. 7220 1200
- Teknologisk Institut, Gregersensvej, 2630 Tåstrup, tlf. 7220 2000
- Buhl & Bønsøe A/S, Virumgårdsvej 12, 2830 Virum, tlf.: 45 95 04 10

Alternativt kan forhandleren af instrumentet måske tilbyde en akkrediteret kalibrering.

* Korrigeret for lækstrøm, rekombination og polarisation ved konstant k_{Tp} .

† Nævnte udstyr træder i stedet for referenceelektrometret.

3. INTERNE STABILITETSKONTROLLER/KALIBRERINGER

I ”Bekendtgørelse om elektronacceleratorer til patientbehandling §39” [3] og ”Bekendtgørelse om røntgenterapiapparater til patientbehandling” §40 [4] hedder det videre:

Desuden skal referenceinstrumentets stabilitet kontrolleres med regelmæssige intervaller, f.eks. ved hjælp af en kontrolkilde.

I stk. 2 står endvidere:

Andre instrumenter til strålingsmåling skal også kontrolleres med regelmæssige intervaller.

3.1. IONISATIONSKAMRE

Det anbefales, at

- alle ionisationskamre som indgår i rutinemæssig QA-dosimetri konstanskontrolleres én gang per kvartal [5].

Ionisationskammer nr. 1 og nr. 2 indenfor hver kvalitet bør konstanskontrolleres halvårligt i en strontiumkilde; alternativt kan nr. 2 konstanskontrolleres mod nr. 1. I tilfælde af planparallelle kamre kan disse konstanskontrolleres mod et cylinderionisationskammer.

3.1.1. KONSTANSKONTROL I STRONTIUMKILDE

Ved konstanskontrol i eksempelvis en strontiumkilde anbefales at lave mindst 5* målinger af responset. Der bør korrigeres for lækstrøm, tryk og temperatur for hver måling. Forud for målingen bør temperaturlige vægt sikres. Det bør endvidere sikres, at kamret placeres ens i kilden fra gang til gang. Responset sammenlignes med det forventede i.e. det beregnede.

Afvigelsen fra referenceværdien bør være $\leq 0,5\%$.

3.1.2. KONSTANSKONTROL MOD ANDET IONISATIONSKAMMER

3.1.2.1. METODE 1

En metode til konstanskontrol af et ionisationskammer X er at sammenligne respons af dette med respons af et andet ionisationskammer[†] Y (typisk ionisationskammer nr. 2). Ionisationskamrene placeres symmetrisk omkring beam-aksen i et solid water-fantom[‡] pegende mod hinanden, så de effektive målepunkter ligger i samme position. Symmetriaksen gennem de to kamre bør være i beamets mest stabile retning, hvis en sådan findes.

* 5 repetitioner anbefales, idet eventuelle trends i målingerne er svære at observere ved færre repetitioner. Desuden opnås en god statistisk gevinst ved at øge antallet af repetitioner fra eksempelvis 3 til 5. Ved 5 repetitioner anslår den halve bredde af 95%-konfidensintervallet 2,6 gange standardusikkerheden på middelværdien, hvorimod den halve bredde af 95%-konfidensintervallet ved 3 repetitioner anslår 3,2 gange standardusikkerheden på middelværdien. En yderligere tilsvarende gevinst kræver øgning af antal repetitioner fra 5 til 15.

[†] Som er kontrolleret og fundet i orden.

[‡] For opbygning af et sådant fantom se IAEA TRS. 398 afsnit 4.2.3.

Herefter måles respons for begge ionisationskamre for passende fastholdt dosis – der bør laves mindst 5 målinger for hvert kammer for fastholdt dosis. Opstillingen roteres herefter 180° og målingerne gentages. Forholdet mellem summen af målingerne for ionisationskammer X og Y udregnes nu:

$$\text{Ratio} = \frac{\sum \text{målinger for ionisationskammer X}}{\sum \text{målinger for ionisationskammer Y}}$$

Afvigelsen fra referenceværdien bør være $\leq 0,5\%$.

3.1.2.2. METODE 2

En anden metode til konstanskontrol af et ionisationskammer X er at anvende et monitorkammer, som målinger for både ionisationskammer X og ionisationskammer* Y (typisk Nr. 2) normeres til: Monitorkamret og ionisationskammer X placeres i et solid water-fantom† pegende mod hinanden, og respons måles for begge ionisationskamre for passende fastholdt dosis – der bør laves mindst 5 målinger. Symmetriaksen gennem de to kamre bør være i beamets mest stabile retning, hvis en sådan findes.

Herefter gentages målingerne nu med ionisationskammer Y indsat i stedet for X. Endelig udregnes forholdet mellem respons for ionisationskammer X og Y normeret til monitorkamret:

$$\text{Ratio} = \frac{\sum \text{respons for ionisationskammer X normeret til monitorkammer}}{\sum \text{respons for ionisationskammer Y normeret til monitorkammer}}$$

Afvigelsen fra referenceværdien bør være $\leq 0,5\%$.

3.2. ANDET DOSIMETRISK UDSTYR

Ud over de instrumenter, der konstanskontrolleres/kalibreres eksternt, vil en afdeling typisk råde over flere instrumenter af samme type. Dette vil typisk dreje sig om

- elektrometre
- barometre
- termometre

Det anbefales at ovenstående instrumenter enten konstanskontrolleres/kalibreres internt eller eksternt mindst én gang årligt.

3.2.1. ELEKTROMETRE

Elektrometre kan konstanskontrolleres/kalibreres internt:

Lineariteten og det absolutte respons af elektrometre kan kontrolleres ved hjælp af en kapacitor med kendt kapacitans C , hvorover der lægges en kendt spænding U idet sammenhængen $Q = C \cdot U$ benyttes, hvor Q er den opsamlede ladning [6]. Spændingen kan varieres ved hjælp af en spændingsdeler. Metoden kræver således en kapacitor med kendt kapacitans og et kalibreret voltmeter. For at kunne korrigere løbende for eventuel mørkestrøm, bør denne først måles over eksempelvis 30 minutter.

* Som er kontrolleret og fundet i orden.

† For opbygning at et sådant fantom se IAEA TRS. 398 afsnit 4.2.3

Herefter måles sammenhængen mellem Q og U , og for hvert målepunkt noteres tiden siden første måling, så mørkestrømmen kan trækkes fra.

Ved afvigelser på over 0,2% bør der foretages justeringer.

3.2.2. BAROMETRE

Barometre kontrolleres mod referencebarometret – der accepteres en afvigelse på ± 1.0 mbar svarende til en afvigelse på cirka 0,1% på trykket ved 1013,25 mbar.

3.2.3. TERMOMETRE

Termometre kontrolleres mod referencetermometret – der accepteres en afvigelse på ± 0.3 °C svarende til en afvigelse på omkring 0,1% på temperaturen ved 20 °C.

3.2.4. STRONTIUMKILDE

Ved usikkerhed om strontiumkildens tilstand kan denne kontrolleres ved at lave konstanskontrol af to forskellige ionisationskamre i denne. Såfremt begge kamre findes at være i orden, kan kilden anses for værende i orden, mens den modsatte konklusion må drages, hvis målinger for begge kamre ligger uden for tolerancen.

4. MÆRKNING AF UDSTYR

Det anbefales at alt udstyr mærkes med information om

- kalibrerings-/kontroldato
- status (i orden/ikke i orden)
- initialer for den der udførte kalibreringen/kontrollen
- de korrektionsfaktorer (i tabelform), som eventuelt skal anvendes, og under hvilke omstændigheder, de skal anvendes

5. OPBEVARING OG HÅNDTERING AF KALIBRERINGS CERTIFIKATER

Det er essentielt, at dosisbestemmelsen til enhver tid er pålidelig, hvorfor specielle foranstaltninger må tages med hensyn til opbevaring, anvendelse og håndtering af kalibreringscertifikater.

5.1. KALIBRERINGS CERTIFIKATER

Kalibreringscertifikater for samtlige eksterne kalibreringer anbefales opbevaret centralt og kronologisk, således historikken for eksterne kalibreringer er veldokumenteret. Typisk vil man organisere kalibreringscertifikaterne efter ionisationskammerens serienumre, således risikoen for forvekslinger mindskes.

Ved recalibrering af et givent ionisationskammer vurderes det om et skift af kalibreringskonstant(er) findes nødvendigt – specielt bør man være opmærksom på, at eventuelle skift i primær eller sekundær standard tilsvarende afspejles i kalibreringskonstanter. Ikke (længere) gældende kalibreringscertifikater markeres tydeligt. Ved hvert ionisationskammer bør der findes en oversigt

over, hvilke andre dokumenter, regnearksskabeloner eller software, som skal opdateres efter et eventuelt skift af kalibreringskonstant.

Vigtigheden af sidstnævnte opdatering må ikke undervurderes.

5.1.1. ANVENDELSE AF KALIBRERINGSKONSTANTER I ANDRE DOKUMENTER, REGNE-ARKSSKABELONER, SOFTWARE ELLER LIGNENDE

Overføres en kalibreringskonstant fra et kalibreringscertifikat til et andet dokument i afdelingen – eksempelvis en oversigt over gældende kalibreringskonstanter – anbefales det, at dokumentet udstyres med følgende påtegninger:

- dato og signatur for opdatering af dokument
- dato og signatur for *uafhængig* kontrol af opdateringen af dokumentet

Dato for den uafhængige kontrol er samtidig første gyldighedsdato for dokumentet.

Samme anbefalinger gælder, såfremt man anvender kalibreringskonstanter i regnearksskabeloner, software eller lignende.

Anbefalingen om uafhængig kontrol bortfalder såfremt kalibreringskonstanter aflæses direkte fra senest gyldige kalibreringscertifikat ved hver individuel anvendelse.

6. OPBEVARING AF IONISATIONSKAMRE

6.1. GENERELT

Ionisationskamre bør opbevares tørt i et skab eller tilsvarende. Skabet bør være udstyret med et hygrometer, og det bør regelmæssigt kontrolleres at luftfugtigheden ikke overstiger 50% relativ fugtighed. Høj luftfugtighed kan give anledning til rust- og ir-angreb.

Æskerne bør være forsynet med en eller flere poser vandsugende silikater. Bemærk, at disse ved farveskift skal udbages i en ovn!

Halvårligt bør æskerne, som ionisationskamrene opbevares i, inspiceres for at kontrollere, om der er nedbrydning af ”skummet”, som kan blive så fint, at det finder vej ind i kamret via ventilationskanalen.

6.2. EFTER BRUG I VAND

Ionisationskamre bør efter brug i vand aftørres for at undgå kalkaflejring samt opbevares uden build-up-kappen i åben æske indtil næste dag.

Generelt bør fabrikantens anbefalinger følges – ofte anbefales det, at ionisationskamrene ikke anvendes i vand længere til end 8 timer ad gangen, og at de efter op mod 8 timer i vand tørres i 16 timer.

7. TEST AF IONISATIONSKAMRE

7.1. ANSKAFFELSE

Det anbefales, at der ved indkøb af nyt ionisationskammer tages to på hinanden vinkelrette røntgenbilleder af kamret. Røntgenbillederne inspiceres med henblik på at detektere eventuelle konstruktionsfejl – er kamrets design konsistent med producentens specifikationer? Man bør specielt være opmærksom på følgende:

- ionisationskamrets symmetrier (fx rotationssymmetri for cylinderkamre)
- forbindelser til centralelektrode og guard
- eventuelle mekaniske fejlkonstruktioner

I øvrigt bør ionisationskamret, kabel og stik inspiceres for ydre tegn på kontamineringer (støv, korrosion, håndcreme eller lign.) og defekter.

Røntgenbilledet opbevares sammen med øvrig dokumentation for det pågældende ionisationskammer.

McCaffrey *et al.* [7] beskriver, hvorledes pre-bestrålingsegenskaber nøje afhænger af ionisationskammerdesign. Der rapporteres om ændringer i respons på op imod 1% over tidsrum på 15-20 minutter indtil stabilt respons opnås. Defekte eller fejlkonstruerede ionisationskamre må derfor forventes at kunne have signifikant tidlig ændring i respons førend stabilitet indtræffer, hvorfor en nøje inspektion af ionkammerdesignet findes påkrævet.

Det anbefales desuden ved nyanskaffelse nøje at undersøge ionisationskamrets pre-bestrålingsegenskaber med henblik på etablering af specifik procedure knyttet til det enkelte kammer.

7.2. RUTINEMÆSSIG KONSTANSKONTROL

Det anbefales, at konstanskontroller af ionisationskamre dokumenteres og opbevares på samme vis som ved eksterne kalibreringscertifikater, således historikken er velkendt. Typisk vil man organisere konstanskontrollerne kronologisk og efter ionisationskamrenes serienumre.

Se endvidere afsnit 3.1.1. og 3.1.2.

7.3. RUTINEMÆSSIG GENNEMLYSNING

Som ved anskaffelse anbefales det, at der jævnligt tages to på hinanden vinkelrette røntgenbilleder af kamret. Røntgenbilledet opbevares sammen med øvrig dokumentation for det pågældende ionisationskammer.

Ved fejl eller mistanke om fejl ved ionisationskamret kan der måske afsløres fysiske ved sammenligning af nyt røntgenbillede med røntgenbilledet taget ved anskaffelsen af ionisationskamret.

7.4. RUTINEMÆSSIG VISUEL INSPEKTION

Generel visuel inspektion af kammer bør altid foretages inden brug: Er der eksempelvis løstsiddende dele, tegn på slitage/nedbrydning, løse stik eller forurening i form af talkum/porøst skum?

7.5. MÅLING AF LÆKSTRØM

7.5.1. TYPE 1

Generel læk kan stamme fra ledning, elektrometer, stik mm. En måleopstilling kan kontrolleres for uacceptabel læk ved samle ladning op uden bestråling. Såfremt lækken er tilpas lille og konstant, kan de fleste elektrometre korrigere for denne.

7.5.2. TYPE 2

Strålingsinduceret læk er en kammereffekt og kan kun identificeres efter kamret er udsat for stråling. Hvis strålingsinduceret læk er til stede, vil der typisk være ladningsopsamling af samme størrelse som under bestråling selv umiddelbart efter at bestråling er ophørt – denne vil dog aftage hurtigt. Strålingsinduceret læk varierer i omfang, men kan negligeres, såfremt den er tilpas lille. Et kammer som giver stor læk kræver oftest reparation hos producenten.

REFERENCER

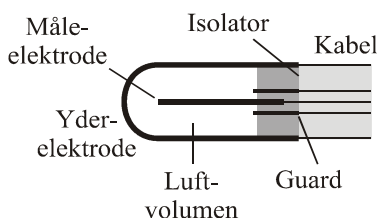
- [1] Andreo P, Burns D T, Hohlfeld K, Huq M S, Kanai T, Laitano F, Smythe V and Vynckier S, 2004 (V.11b), Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, *IAEA Technical Reports Series No 398* (Vienna: International Atomic Energy Agency)
- [2] Klevenhagen S C, Aukett R J, Harrison R M, Moretti C, Nahum A E and Rosser K E, 1996, The IPEMB code of practice for the determination of absorbed dose for x-rays below 300 kV generating potential (0.035 mm Al - 4 mm Cu HVL; 10-300 kV generating potential), *Phys. Med. Biol.* **41**, 2605-2625
- [3] Bekendtgørelse nr. 48 af 25. januar 1999, Bekendtgørelse om elektronacceleratorer til patientbehandling med eneriger fra 1 MeV til og med 50 MeV
- [4] Bekendtgørelse nr. 765 af 6. oktober 1999, Bekendtgørelse om røntgenterapiapparater til patientbehandling
- [5] Mayles W P M, Lake R, McKenzie A, Macaulay E M, Morgan H M, Jordan T J and Powley S K, 1999, *Physics Aspects of Quality Control in Radiotherapy* (York: The Institute of Physics and Engineering in Medicine)
- [6] Grant I S and Phillips W R 1990 *Electromagnetism* (Chichester: John Wiley & Sons Ltd.)
- [7] McCaffray JP *et al.*, 2005, *Phys. Med. Biol.* **50**, N121-N133

BILAG A. MÅLING AF STRÅLINGSINDUCERET LADNING I ET IONISATIONS-KAMMER

Lars Præstegaard, 21. december 2005

A.1. IONISATIONS-KAMMER [1-2]

Ioniserende stråling producerer frie ionpar i et medium. I et ionisationskammer opsamles den frie ladning fra et veldefineret luftvolumen af det elektriske felt imellem to elektroder - her kaldet måle-elektrode og yderelektrode (se figur 1). Spændingsforskellen mellem elektroderne er normalt i området 200-400 V for at sikre en effektiv ladningsopsamling og en lille effekt af rekombination. Selv ved brug af gode isolatorer mellem måle-elektroden og den yderste skærm (forbundet til yderelektroden) i ionisationskammerets stilk og i kablet giver denne spænding anledning til en høj lækstrøm. For at løse dette problem har alle ionisationskamre og tilhørende kabler en indre skærm eller *guard** i isolatoren mellem måle-elektroden og den yderste skærm, og ladningen som opsamles af måleelektroden måles med et elektrometer forbundet til måleelektroden og *guard*'en. Herved reduceres lækstrømmen betydeligt, idet lækstrømmen nu er givet ved spændingsfaldet over udgangen af elektrometeret, som kun er en brøkdel af 1 V. *Guard*'en har også den fordel, at strålingsinducerede ionpar, der produceres i isolatoren mellem *guard*'en og den yderste skærm i ionisationskammeret stilk og i kablet, ikke bidrager til den målte strøm. Ionpar, der produceres i isolatoren mellem måle-elektroden og *guard*'en, giver kun anledning til en meget lille lækstrøm, fordi spændingsfaldet mellem disse ledere kun er en brøkdel af 1 V. Desværre når *guard*'en i de fleste ionisationskamre ikke helt frem til luftvolumenet. Resultatet er en strålingsinduceret strøm i isolatoren tæt på luftvolumenet, som typisk først stabiliseres efter ~20 minutter som følge af ligevægt mellem produktion og fjernelse af elektroner i isolatoren. Dette er hovedårsagen til at den målte strøm med de fleste ionisationskamre først stabiliseres efter ~20 minutters måling efter en betydelig ændring af polariteten [5].



Figur 1: Opbygning af cylindrisk ionisationskammer.

A.2. DOSIMETRIKABEL [2-4]

I et dosimetrikabel findes flere mekanismer, der producerer uønskede ladninger og strømme:

- Ved bøjning af et dosimetrikabel foregår der en forskydning af de enkelte lag af kablet, som ved friktion frigiver ladning, på samme måde som der frigives ladning, når man gnider en ballon i håret.
- En mekanisk påvirkning af kablet kan producere frie ladninger ved piezo-elektriske effekter.
- Urenheder i stik giver anledning til små fejlstrømme ved elektrokemiske effekter på samme måde som i et batteri.

* I engelsksproget litteratur betegnes den indre skærm oftes som *guard*, idet denne påtrykkes samme potentiale som måleelektroden for at beskytte måleelektroden mod lækstrøm i isolatoren mellem ydre skærm og måleelektroden. I det efterfølgende vil betegnelsen *guard* blive benyttet om den indre skærm.

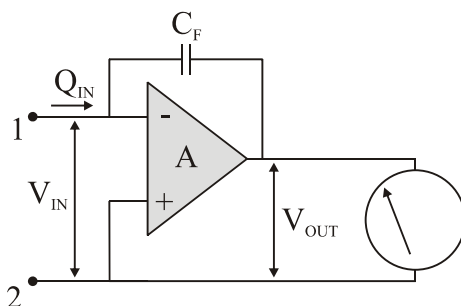
- Spændingsforskellen over isolatorerne i ionisationskammeret og i kablet producerer frie ladninger ved dielektrisk absorption.
- Ydre elektromagnetisk støj inducerer strømme i kablet.

Alle disse uønskede ladninger og strømme giver anledning til en strøm, som påvirker målingen af den opsamlede ladning i ionisationskammeret. Heldigvis reducerer guard'en i kablet problemet betydeligt. De uønskede effekter kan yderligere reduceres ved brug af rene stik, gentagelse af en måling indtil målingen er stabiliseret (de uønskede ladninger er ført væk) og ved brug af specielle lavstøjskabler, der har gode egenskaber hvad angår produktion af uønskede ladninger og strømme.

På grund af den store modstand i isolatoren i ionisationskammeret giver selv en lille intern kapacitans af kabel og stik anledning til en meget stor tidskonstant ved måling af den opsamlede ladning i ionisationskammeret. Ofte betydeligt længere end måletiden, hvilket umuliggør en pålidelig måling. Til alt held reduceres tidskonstanten til en brøkdel af et sekund ved brug af et kabel med en guard og et elektrometer med en operationsforstærker (med en stor forstærkning), idet tidskonstanten reduceres med forstærkningen af operationsforstærkeren.

A.3. OPBYGNING AF ELEKTROMETER [2-4]

De mest almindelige elektrometertyper har en operationsforstærker koblet til indgangen, som skitseret i figur 2. Fra operationsforstærkerens udgang er der en tilbagekobling via kapacitoren C_F til minusindgangen på operationsforstærkeren (negativ tilbagekobling). Operationsforstærkeren forsøger derfor at opnå en tilstand, hvor spændingsfaldet over indgangen V_{IN} er tæt på nul, således spændingen over udgangen V_{OUT} er minus spændingen over kapacitoren ($-Q_{IN}/C_F$). Altså er spændingen over udgangen proportional med ladningen, som tilføres til målepunktet 1. Spændingen over indgangen er reduceret med forstærkningen A af operationsforstærkeren i forhold til spændingen over udgangen (typisk en faktor 10^4 - 10^6). Resultatet er, at spændingen over indgangen af elektrometeret typisk er af størrelsesordenen 0,1-1 mV, hvilket betyder, at elektrometeret har en meget lille påvirkning af det system, der måles på. Endeligt er det vigtigt, at kapacitoren C_F har en meget lille lækstrøm.



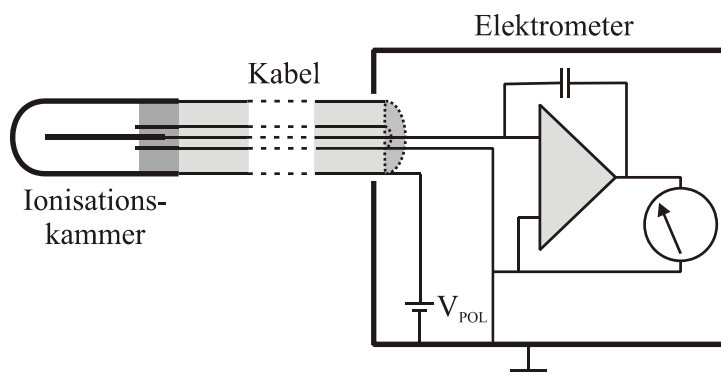
Figur 2: Diagram for typisk elektrometer.

A.3.1. KOBLING AF IONISATIONSKAMMER OG ELEKTROMETER

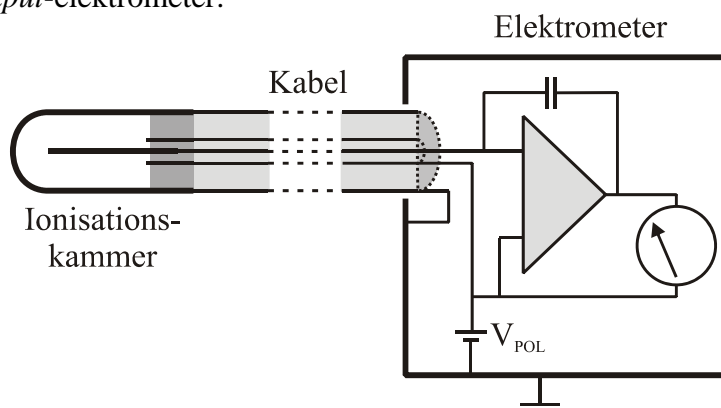
Når et ionisationskammer og et elektrometer kobles sammen, forbindes måleelektroden altid til minusindgangen på elektrometers operationsforstærker og guard'en forbindes til plusindgangen på operationsforstærkeren. Potentialer af måleelektroden og guard'en afhænger af elektrometertypen. For et *grounded-input*-elektrometer er måleelektroden og guard'en på jordpotentialer, mens yderelektroden af ionisationskammeret er på højspændingspotentialer V_{POL} (se figur 3). For et *floated-input*-elektrometer er måleelektroden og guard'en på højspændingspotentialer V_{POL} , mens yderelektroden af ionisationskammeret er på jordpotentialer (se figur 4). Ionisationskamre beregnet til et

grounded-input-elektrometer skal derfor beskyttes af en *sleeve* eller beklædes med et elektrisk isolerende og vandtæt materiale for at kunne benyttes i vand.

Man bør ikke forbinde et ionisationskammer beregnet til et *floated-input*-elektrometer til et *grounded-input*-elektrometer, fordi kammerets yder-elektrode ofte ikke er beskyttet af et elektrisk isolerende og vandtæt materiale. Det øger risikoen for elektrisk stød, og betyder, at kammeret ikke kan benyttes direkte i vand. Problemet kan ikke løses ved hjælp af en adapter, da et *grounded-input*-elektrometer har to ledere på jordpotentialen, mens et *floated-input*-elektrometer har to ledere på højspændingspotentialen. Hvis forbindelserne til guard'en og yderelektroden byttes rundt for at få jordpotentialen på yderelektroden af et ionisationskammer koblet til et *grounded-input*-elektrometer, fås et meningsløst resultat, fordi de elektriske felter i ionisationskammerets luftvolumen er helt anderledes, og der opstår en stor lækstrøm mellem guard'en og målelektroden.



Figur 3: *Grounded-input*-elektrometer.



Figur 4: *Floated-input*-elektrometer.

REFERENCER:

- [1] Ionization Chambers, Chap. 5 in Radiation Detection and Measurement, Glenn F. Knoll, Wiley, 2000.
- [2] Ionization Chambers, Chap. 12 in Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry, Frank. H. Attix, John Wiley & Sons, 1986
- [3] Low Current Measurements, Application Note Series no. 100, Keithley.
- [4] Low Level Measurements, Keithley.
- [5] J. P. McCaffray *et al.*, Phys. Med. Biol. **50**, N121, 2005

BILAG B.

BILAG C. FØLGESEDDER FOR ABSOLUT KALIBRERING AF IONKAMMER HOS SIS

Dato		Underskrift		
Sygehus		Afdeling		
	Navn	Serienummer	Vandtæt	
Ionkammer			Ja <input type="checkbox"/>	Nej <input type="checkbox"/>
Elektrometer				
Kabel				

KONSTANSKONTROL						
	Før afsending			Efter hjemkomst		
	Værdi	Afv. fra ref	Status	Værdi	Afv. fra ref	Status
Ionkammer						
Elektrometer						

ØNSKET KALIBRERING					
	Bias /V	Fortegn		Elektrometerekobling	
		+ <input type="checkbox"/>	- <input type="checkbox"/>	Grounded input <input type="checkbox"/> / Floated input <input type="checkbox"/>	
Ionkammer					
Ønsket protokol	Medie		Kvalitet	Filtrering	Bemærkning
<input type="checkbox"/> IAEA TRS. 398	H ₂ O <input type="checkbox"/>		⁶⁰ Co <input type="checkbox"/>		
				_____ kV	
				_____ kV	
<input type="checkbox"/> Andet _____	H ₂ O <input type="checkbox"/>	Luft <input type="checkbox"/>	⁶⁰ Co <input type="checkbox"/>		
	Andet <input type="checkbox"/>	_____		_____ kV	
				_____ kV	

UDFYLDES AF ANSVARLIG FOR SIS

UDFØRT KALIBRERING		
		Eventuel kommentar
I henhold til protokol	<input type="checkbox"/> IAEA TRS. 398	
	<input type="checkbox"/> Andet _____	

LÆKMÅLING			
	Udført på SIS		Status
Type 1	Ja <input type="checkbox"/>	Nej <input type="checkbox"/>	
Type 2	Ja <input type="checkbox"/>	Nej <input type="checkbox"/>	

KORREKTIONER* VED KALIBRERING			
	Faktor		Målt ved kalibrering
Ionkammer	k_{Tp}	Ja <input type="checkbox"/>	
	k_{pol}	Ja <input type="checkbox"/> , $k_{pol} =$	
	k_s	Ja <input type="checkbox"/> , $k_s =$	
Elektrometer	k_{elec}	Ja <input type="checkbox"/> , $k_{elec} =$	

Kvittering af ansvarlig for SIS

Dato og underskrift

* Nomenklatur og målemetode som i IAEA TRS. 398.