

**KLİNİKTE $N_{D,w}$ İLE FOTON HUZMELERİNİN
ABSORBE DOZ KALİBRASYONU**

**DOÇ.DR.İSMAİL ÖZBAY
İ.Ü.ONKOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

Suda absorbe doz tayini :

Q_0 referans kalitesinde N_{D,w,Q_0} kalibrasyon faktörlü bir iyon odası ile referans şartlarda kullanıcı :

$$\underline{D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q_0}}$$

Formülü ile suda absorbe dozu ölçebilir. M_Q , dozu etkileyen faktörleri (k_i) içerir. k_{Q,Q_0} , Q ve Q_0 farklı olduğunda kullanılır. Su geçirmez kılıf etkisi dikkate alınır. Ölçü öncesi sızıntı kontrolü yapılır. Dozu etkileyen faktörler referans şartlardan farklı ise, düzeltme yapılır.

Bunlar, basınç, sıcaklık ve nemlilik:

$$K_{tp} = \frac{(273.2 + T)P_0}{(273.2 + T_0)P}$$

Nemlilik %20-%80 arasında ise düzeltme gerekmez.
Co-60 için $k_h=0.997$ dir.

Polarite etkisi için :

$$k_{\text{pol}} = \frac{M_+ + M_-}{2M}$$

İyon rekombinasyon için :

$$k_s = a_0 + a_1(M_1/M_2) + a_2(M_1/M_2)^2$$

$k_s < 1.03$ ise aşağıdaki formülü kullanarak düzeltme yaklaşık % 0.1 içindedir.

$$k_s = \frac{M_1 / M_2 - 1}{V_1 / V_2 - 1}$$

1. Co-60 Gamma Huzmelerinin Kalibrasyonu

1.1 – Genel formül

Referans huzme Co-60 ise:

$$\begin{aligned} D_{w,Q} &\Rightarrow D_w , \\ k_{Q,Q_0} &\Rightarrow k_Q \\ N_{D,w,Q_0} &\Rightarrow N_{D,w} \end{aligned}$$

olarak ifade edilir.

Referans şartlarda absorbe doz:

Su fantomunda z_{ref} referans derinlikte iyon odası yokluğunda :

$$D_w = M N_{D,w}$$

M= Referans şartlarda etkileyen faktörler basınç ve sıcaklık elektrometre kalibrasyon, polarite etkisi ve iyon rekombinasyon düzeltmeleri yapılmış olarak dozimetre okuması

$N_{D,w}$ = Referans huzme Co-60 huzmesi ile kalibrasyon faktörü

Tablo 1.Co-60 gamma huzmelerinde suda absorbe doz tayini için referans şartlar

Referans değer veya karakteristikler

Fantom materyali	Su
İyon odası tipi	Silindirik veya plan paralel
Ölçü derinliği z_{ref}	5 g/cm² (veya 10 g/cm²)^a
İyon odası referans noktası	Silindirik iyon odaları için, merkezi eksen üzerinde kavite volümünün ortası, plan Paralelde pencere iç yüzeyi ortasında
İyon odası referans nokta pozisyonu	z_{ref} ölçü derinliğinde
SSD veya SCD	80 cm veya 100 cm^b
Alan ebadı	10 x 10 cm^c

a) ESTRO- IAEA foton huzmeleri MU hesaplamaları raporlarında tek referans derinlik olarak $z_{ref} = 10 \text{ g/cm}^2$ tavsiye edilmektedir. Ancak, bazı kullanıcılar Co-60 huzmelerinde 5 g/cm² yi kullandıklarından, bu raporda her ikisine de yer verilmiştir.

b) Klinik tedavilerde kullanılan referans SSD veya SCD kullanılır.

c) SSD tipte alan fantom yüzeyinde tanımlanır. SCD tipte, cihaz izomerkezinde su fantomunda ref. ölçü derinliğindeki ion odası düzleminde tanımlanır.

1.2. $z_{\max}$ ta absorbe doz

Klinik dozimetri hesaplarında gerektiği için $z_{\max}$ 'daki absorbe dozun hesaplanması gerekir. Bunun için SSD set up'ta ölçülen %DD ve SAD set up'ta ölçülen TMR kullanılır.

1.3 - Alan iyon odalarının kros kalibrasyonu

Klinikte kullanılan günlük alan iyon odaları, Co-60'ta kalibre edilmiş referans iyon odasına karşı kalibre edilebilir. Bunun için su fantomunda Önce referans iyon odası ile ölçü alınır. Sonra aynı referans derinlikte aynı yere alan iyon odası yerleştirilerek ölçü alınır.

$$N_{D,w}^{field} = \frac{M_{ref}}{M_{field}} N_{D,w}^{ref}$$

1.4 -Non referans şartlarda ölçüler

Klinik dozimetride merkezi %DD, TPR, TMR, izodoz dağılımları, transvers profiller ve output faktörlerinin ölçülmesi gerekir.

1.4.1 - %DD ölçüleri :

- Silindirik iyon odası kullanılırsa efektif ölçü noktası dikkate alınmalı. Bu durumda %DD dağılımları $0.6 r_{cl}$ yüzeye doğru kayar
- Plan paralel iyon odaları tavsiye edilir
- Build up bölgesi ölçüleri için, plan paralel veya extrapolasyon iyon odalarının kullanılması tavsiye edilir.

1.4.2 -Out put faktörleri

Ölçüler, maximum doz noktasında veya referans derinlikte yapılır. %DD veya TMR verleri kullanılır. Wedge ölçülerinde dedektör ebadı wedge yönünde mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Aksı wedge yönüne dik olacak şekilde küçük timble iyon odaları uygundur.

5.8. WORKSHEET

Determination of the absorbed dose to water in a ^{60}Co γ ray beam

User: _____ Date: _____

1. Radiation treatment unit and reference conditions for D_w determination

^{60}Co therapy unit: _____
 Reference phantom: _____ water - Set-up: ☐ SSD ☐ SAD
 Reference field size: 10 × 10 cm × cm Reference distance: _____ cm
 Reference depth z_{ref} : _____ g/cm²

2. Ionization chamber and electrometer

Ionization chamber model: _____ Serial No.: _____ Type: ☐ cyl ☐ pp
 Chamber wall/window material: _____ thickness: _____ g/cm²
 Waterproof sleeve/cover material: _____ thickness: _____ g/cm²
 Phantom window material: _____ thickness: _____ g/cm²

Absorbed dose to water calibration factor $N_{D,w} =$ _____ ☐ Gy/nC ☐ Gy/rdg

Reference conditions for calibration P_o : _____ kPa T_o : _____ °C Rel. humidity: _____ %

Polarizing potential V_1 : _____ V Calibration polarity: ☐ +ve ☐ -ve ☐ corrected for polarity effect
 User polarity: ☐ +ve ☐ -ve

Calibration laboratory: _____ Date: _____

Electrometer model: _____ Serial No.: _____

Calibrated separately from chamber: ☐ yes ☐ no Range setting: _____

If yes, calibration laboratory: _____ Date: _____

3. Dosimeter reading^a and correction for influence quantities

Uncorrected dosimeter reading at V_1 and user polarity: _____ ☐ nC ☐ rdg

Corresponding time: _____ min

Ratio of dosimeter reading and time^b: $M_t =$ _____ ☐ nC/min ☐ rdg/min

(i) Pressure P : _____ kPa Temperature T : _____ °C Rel. humidity (if known): _____ %

$$k_{TP} = \frac{(273.2 + T)}{(273.2 + T_o)} \frac{P_o}{P} =$$

(ii) Electrometer calibration factor^c k_{elec} : ☐ nC/dg ☐ dimensionless $k_{\text{elec}} =$ _____

(iii) Polarity correction^d rdg at + V_1 : $M_+ =$ _____ rdg at - V_1 : $M_- =$ _____

$$k_{\text{pol}} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} =$$

(iv) Recombination correction (two voltage method)

Polarizing voltages: V_1 (normal) = _____ V V_2 (reduced) = _____ V

Readings^c at each V:

$M_1 =$ _____ $M_2 =$ _____

Voltage ratio $V_1/V_2 =$ _____

Ratio of readings $M_1/M_2 =$ _____

$$k_s = \frac{(V_1/V_2)^2 - 1}{(V_1/V_2)^2 - (M_1/M_2)} =$$

Corrected dosimeter reading at the voltage V_1 :

$$M = M_1/k_{TP}k_{elec}k_{pol}k_s =$$

☐ nC/min

☐ rdg/min

4. Absorbed dose rate to water at the reference depth z_{ref}

$$D_w(z_{ref}) = M N_{D,w} =$$

Gy/min

5. Absorbed dose rate to water at the depth of dose maximum z_{max}

Depth of dose maximum: $z_{max} =$ 0.5 g/cm²

(i) SSD set-up

Percentage depth dose at z_{ref} for a 10 cm × 10 cm field size: PDD ($z_{ref} =$ _____ g/cm²) = _____ %

Absorbed dose rate calibration at z_{max} :

$$D_w(z_{max}) = 100 D_w(z_{ref})/PDD(z_{ref}) =$$

Gy/min

(ii) SAD set-up

TMR at z_{ref} for a 10 cm × 10 cm field size: TMR ($z_{ref} =$ _____ g/cm²) = _____

Absorbed dose rate calibration at z_{max} :

$$D_w(z_{max}) = D_w(z_{ref})/TMR(z_{ref}) =$$

Gy/min

^a All readings should be checked for leakage and corrected if necessary.

^b The timer error should be taken into account. The correction at voltage V_1 can be determined according to

M_A is the integrated reading in a time t_A $M_A =$ _____ $t_A =$ _____ min

M_B is the integrated reading in n short exposures

of time t_B/n each ($2 \leq n \leq 5$)

$M_B =$ _____ $t_B =$ _____ min $n =$ _____

Timer error, $\tau = \frac{M_B t_A - M_A t_B}{n M_A - M_B} =$ _____ min (the sign of τ must be taken into account)

$$M_1 = \frac{M_A}{t_A + \tau} =$$

☐ nC/min

☐ rdg/min

^c If the electrometer is not calibrated separately set $k_{elec} = 1$.

^d M in the denominator of k_{pol} denotes reading at the user polarity. Preferably, each reading in the equation should be the average of the ratios of M (or M_+ or M_-) to the reading of an external monitor, M_{em} .

^e Strictly, readings should be corrected for polarity effect (average with both polarities). Preferably, each reading in the equation should be the average of the ratios of M_1 or M_2 to the reading of an external monitor, M_{em} .

^f It is assumed that the calibration laboratory has performed a recombination correction. Otherwise the factor $k'_s = k_s/k_{s,Q_0}$ should be used instead of k_s . When Q_0 is ^{60}Co , k_{s,Q_0} (at the calibration laboratory) will normally be close to unity and the effect of not using this equation will be negligible in most cases.

2. Yüksek Enerji Foton Huzmelerinin Kalibrasyonu

2.1 - Genel

- Bu rapor 1 – 50 MeV arasındaki foton enerjilerine uygulanır.
 - İyon odası kalibrasyonu için referans huzme genelde Co-60 tır.
- Bazı PSDL diğer foton huzme kalitelerinde kalibrasyon faktörleri sağlar.

- Referans kalite Q_0 Co-60 olduğunda k_{Q,Q_0} , k_Q olarak, N_{D,w,Q_0} $N_{D,w}$ olarak ifade edilir. K_{Q,Q_0} veya k_Q direkt olarak elde edilememişse hesaplanmış değerleri kullanılabilir.
- Huzme kalite indeksi olarak $TPR_{20,10}$ kullanılır. $TPR_{20,10}$ un deneysel tayini için referans şartlar tablo 2 de verilmektedir.
- $TPR_{20,10}$ teorik olarak hesaplanabilir veya deneysel olarak ölçülebilir. Teorik olarak $TPR_{20,10}$:

$$TPR_{20,10} = 1.2661 PDD_{20,10} - 0.0595$$

Tablo 2. Foton huzme kalitesi ($TPR_{20,10}$) tayini için referans şartlar

	Referans değer veya karakteristikleri
Fantom materyali	Su
İyon odası tipi	Silindirik veya plan paralel
Ölçü derinliği z_{ref}	20 g/cm² ve 10 g/ cm²)
İyon odası referans noktası	Silindirik ion odaları için, merkezi eksen üzerinde kavite volümünün ortası, plan paralelde pencere iç yüzeyi ortasında
İyon odası referans nokta pozisyonu	z_{ref} ölçü derinliğinde
SCD	100 cm
Alan ebadı	10 x 10 cm^a

a) Su fantomunda tavsiye edilen ölçü derinliğinde, iyon odası referans ölçü noktası düzleminde tanımlanır.

2.2 - Referans şartlarda absorbe doz tayini

Referans şartlar tablo 3 de gösterilmiştir. Suda z_{ref} referans derinlikte Q huzme kalitesi için absorbe doz :

$$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0}$$

M_Q = Bütün düzeltmeler yapılmış olarak dozimetre okuması
 N_{D,w,Q_0} = Q_0 referans huzme kalitesinde olarak kalibrasyon faktörü
 k_{Q,Q_0} = Q_0 ve Q huzme kaliteleri arasındaki farktan dolayı düzeltme için iyon odasına özel spesifik faktör.

Tablo 3. Yüksek enerji foton huzmelerinde suda ab. doz tayini için referans şartlar
Referans değer veya karakteristikleri

Fantom materyali	Su
İyon odası tipi	Silindirik
Ölçü derinliği z_{ref}	$TPR_{20,10} < 0.7, 10 \text{ g/cm}^2$ (veya 5 g/cm^2)^a $TPR_{20,10} > 0.7, 10 \text{ g/cm}^2$
İyon odası referans noktası	Merkezi eksen üzerinde kavite volümünün ortası
İyon odası referans nokta pozisyonu	z_{ref} ölçü derinliğinde
SSD / SCD	100 cm
Alan ebadı	10 x 10 cm^b

a)ESTRO- IAEA foton huzmeleri MU hesaplamaları raporlarında tek referans derinlik olarak $z_{ref} = 10 \text{ g/cm}^2$ tavsiye edilmektedir. Ancak, bazı kullanıcılar Co-60 huzmelerinde 5 g/cm^2 yi kullandıklarından, bu raporda her ikisine de yer verilmiştir.

b)SSD tipte alan fantom yüzeyinde tanımlanır. SCD tipte, cihaz izomerkezinde su fantomunda ref. ölçü derinliğindeki iyon odası düzleminde tanımlanır.

2.3 - $z_{\max}$ ta absorbe doz

%DD, TMR veya TPR verileri kullanılır.

2.4 - k_{Q,Q_0} değerleri

2.4.1 -İon odası Co-60 ile kalibre edilmişse :

$Q (\text{TPR}_{20,10})$ huzme kaliteleri ve çeşitli iyon odaları için, k_Q değerleri IAEA report 398 de tablo 14 te verilmiştir. Tabloda olmayan ara değerler interpolasyonla elde edilebilir. Stopping power ve perturbasyon faktörleri kullanılarak ta k_Q değerleri hesaplanabilir..

TABLE 14. CALCULATED VALUES OF k_Q FOR HIGH ENERGY PHOTON BEAMS FOR VARIOUS CYLINDRICAL IONIZATION CHAMBERS AS A FUNCTION OF BEAM QUALITY $\text{TPR}_{20,10}$ (adapted from Andreo [20])

Ionization chamber type ^a	Beam quality $\text{TPR}_{20,10}$														
	0.50	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84
Capintec PR-05P mini	1.004	1.003	1.002	1.001	1.000	0.998	0.996	0.994	0.991	0.987	0.983	0.975	0.968	0.960	0.949
Capintec PR-05 mini	1.004	1.003	1.002	1.001	1.000	0.998	0.996	0.994	0.991	0.987	0.983	0.975	0.968	0.960	0.949
Capintec PR-06C/G Farmer	1.001	1.001	1.000	0.998	0.998	0.995	0.992	0.990	0.988	0.984	0.980	0.972	0.965	0.956	0.944
Exradin A2 Spokas	1.001	1.001	1.001	1.000	0.999	0.997	0.996	0.994	0.992	0.989	0.986	0.979	0.971	0.962	0.949
Exradin T2 Spokas	1.002	1.001	0.999	0.996	0.993	0.988	0.984	0.980	0.977	0.973	0.969	0.962	0.954	0.946	0.934
Exradin A1 mini Shonka	1.002	1.002	1.001	1.000	1.000	0.998	0.996	0.994	0.991	0.986	0.982	0.974	0.966	0.957	0.945
Exradin T1 mini Shonka	1.003	1.001	0.999	0.996	0.993	0.988	0.984	0.980	0.975	0.970	0.965	0.957	0.949	0.942	0.930
Exradin A12 Farmer	1.001	1.001	1.000	1.000	0.999	0.997	0.994	0.992	0.990	0.986	0.981	0.974	0.966	0.957	0.944
Far West Tech. IC-18	1.005	1.003	1.000	0.997	0.993	0.988	0.983	0.979	0.976	0.971	0.966	0.959	0.953	0.945	0.934
FZH TK 01	1.002	1.001	1.000	0.998	0.996	0.993	0.990	0.987	0.984	0.980	0.975	0.968	0.960	0.952	0.939
Nuclear Assoc. 30-750	1.001	1.001	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.991	0.988	0.984	0.979	0.971	0.963	0.954	0.941
Nuclear Assoc. 30-749	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Nuclear Assoc. 30-744	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Nuclear Assoc. 30-716	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Nuclear Assoc. 30-753 Farmer shortened	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.985	0.980	0.973	0.965	0.956	0.943
Nuclear Assoc. 30-751 Farmer	1.002	1.002	1.000	0.999	0.997	0.994	0.991	0.989	0.985	0.981	0.977	0.969	0.961	0.953	0.940
Nuclear Assoc. 30-752 Farmer	1.004	1.003	1.001	1.000	0.998	0.996	0.993	0.991	0.989	0.985	0.981	0.974	0.967	0.959	0.947

TABLE 14. (cont.)

NE 2515	1.001	1.001	1.000	0.999	0.997	0.994	0.991	0.988	0.984	0.980	0.975	0.967	0.959	0.950	0.937
NE 2515/3	1.005	1.004	1.002	1.000	0.998	0.995	0.993	0.991	0.989	0.986	0.982	0.975	0.969	0.961	0.949
NE 2577	1.005	1.004	1.002	1.000	0.998	0.995	0.993	0.991	0.989	0.986	0.982	0.975	0.969	0.961	0.949
NE 2505 Farmer	1.001	1.001	1.000	0.999	0.997	0.994	0.991	0.988	0.984	0.980	0.975	0.967	0.959	0.950	0.937
NE 2505/A Farmer	1.005	1.003	1.001	0.997	0.995	0.990	0.985	0.982	0.978	0.974	0.969	0.962	0.955	0.947	0.936
NE 2505/3, 3A Farmer	1.005	1.004	1.002	1.000	0.998	0.995	0.993	0.991	0.989	0.986	0.982	0.975	0.969	0.961	0.949
NE 2505/3, 3B Farmer	1.006	1.004	1.001	0.999	0.996	0.991	0.987	0.984	0.980	0.976	0.971	0.964	0.957	0.950	0.938
NE 2571 Farmer	1.005	1.004	1.002	1.000	0.998	0.995	0.993	0.991	0.989	0.986	0.982	0.975	0.969	0.961	0.949
NE 2581 Farmer	1.005	1.003	1.001	0.998	0.995	0.991	0.986	0.983	0.980	0.975	0.970	0.963	0.956	0.949	0.937
NE 2561/2611 Sec. Std	1.006	1.004	1.001	0.999	0.998	0.994	0.992	0.990	0.988	0.985	0.982	0.975	0.969	0.961	0.949
PTW 23323 micro	1.003	1.003	1.000	0.999	0.997	0.993	0.990	0.987	0.984	0.980	0.975	0.967	0.960	0.953	0.941
PTW 23331 rigid	1.004	1.003	1.000	0.999	0.997	0.993	0.990	0.988	0.985	0.982	0.978	0.971	0.964	0.956	0.945
PTW 23332 rigid	1.004	1.003	1.001	0.999	0.997	0.994	0.990	0.988	0.984	0.980	0.976	0.968	0.961	0.954	0.943
PTW 23333	1.004	1.003	1.001	0.999	0.997	0.994	0.990	0.988	0.985	0.981	0.976	0.969	0.963	0.955	0.943
PTW 30001/30010 Farmer	1.004	1.003	1.001	0.999	0.997	0.994	0.990	0.988	0.985	0.981	0.976	0.969	0.962	0.955	0.943
PTW 30002/30011 Farmer	1.006	1.004	1.001	0.999	0.997	0.994	0.992	0.990	0.987	0.984	0.980	0.973	0.967	0.959	0.948
PTW 30004/30012 Farmer	1.006	1.005	1.002	1.000	0.999	0.996	0.994	0.992	0.989	0.986	0.982	0.976	0.969	0.962	0.950
PTW 30006/30013 Farmer	1.002	1.002	1.000	0.999	0.997	0.994	0.990	0.988	0.984	0.980	0.975	0.968	0.960	0.952	0.940
PTW 31002 flexible	1.003	1.002	1.000	0.999	0.997	0.994	0.990	0.988	0.984	0.980	0.975	0.968	0.960	0.952	0.940
PTW 31003 flexible	1.003	1.002	1.000	0.999	0.997	0.994	0.990	0.988	0.984	0.980	0.975	0.968	0.960	0.952	0.940
SNC 100730 Farmer	1.004	1.003	1.001	0.999	0.997	0.993	0.990	0.988	0.985	0.981	0.977	0.970	0.963	0.956	0.944
SNC 100740 Farmer	1.006	1.005	1.002	1.000	0.999	0.996	0.994	0.992	0.990	0.987	0.983	0.977	0.971	0.963	0.951
Victoreen	1.005	1.004	1.001	0.998	0.996	0.993	0.989	0.986	0.983	0.979	0.975	0.968	0.961	0.954	0.943
Radocon III 550															

TABLE 14. (cont.)

Victoreen	1.005	1.003	1.000	0.997	0.995	0.990	0.986	0.983	0.979	0.975	0.970	0.963	0.956	0.949	0.938
Radocon II 555															
Victoreen 30-348	1.004	1.003	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.986	0.982	0.978	0.973	0.966	0.959	0.951	0.940
Victoreen 30-351	1.004	1.002	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.986	0.983	0.979	0.974	0.967	0.960	0.952	0.941
Victoreen 30-349	1.003	1.002	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.986	0.983	0.980	0.976	0.969	0.962	0.954	0.942
Victoreen 30-361	1.004	1.003	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.986	0.983	0.979	0.974	0.967	0.960	0.953	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 05	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 06	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 10	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 15	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 25	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 28	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Farmer shortened															
Scdx-Wellhöfer															
IC 69 Farmer	1.002	1.002	1.000	0.999	0.997	0.994	0.991	0.989	0.985	0.981	0.977	0.969	0.961	0.953	0.940
Scdx-Wellhöfer															
IC 70 Farmer	1.004	1.003	1.001	1.000	0.998	0.996	0.993	0.991	0.988	0.985	0.981	0.974	0.967	0.959	0.946

^a Some of the chambers listed in this table fail to meet some of the minimum requirements described in Section 4.2.1. However, they have been included because of their current clinical use.

2.4.2.İon odası bir seri foton huzmesi ile kalibre edilmişse

İdeal olarak tek bir kalibrasyon formunda N_{D,w,Q_0} kalibrasyon faktörü ve bir set olarak k_{Q,Q_0} faktörleri ölçülür. Sonradan kullanıcı Q kalitesi için k_{Q,Q_0} faktörü,interpolasyonla bulunur. Bulunan k_{Q,Q_0} ve N_{D,w,Q_0} formülde direkt olarak kullanılır. SSDL bir seri $N_{D,w,Q}$ kalibrasyon faktörü sağladığında, kullanılacak referans huzme kalitesi için foton huzme kalitelerinden biri seçilerek veriler çevrilmelidir. k_{Q,Q_0} faktörleri :

$$k_{Q,Q_0} = \frac{N_{D,w,Q}}{N_{D,w,Q_0}}$$

Kullanıcı Q kalitesi için k_{Q,Q_0} faktörleri interpolasyonla bulunur.

2.4.3 - Q_0 referans huzmede kalibrasyonlu ion odası için jenerik deneysel k_{Q,Q_0} değerleri

SSDL'ler Özellikle Co-60 referans kalite ile özel bir tip iyon odası için, tek bir deneysel N_{D,w,Q_0} faktörü ile beraber jenerik deneysel k_{Q,Q_0} değerleri sağlar. Bu raporda tavsiye edilen iyon odaları arasında standart sapmalarda küçük farklar olduğundan bu faktörler kullanılabilir. SSDL tarafından tayin edilmemiş jenerik değerler tavsiye edilmez.

6.9. WORKSHEET

Determination of the absorbed dose to water in a high energy photon beam

User: _____ Date: _____

1. Radiation treatment unit and reference conditions for $D_{w,Q}$ determination

Accelerator: _____ Nominal Acc. potential: _____ MV
 Nominal dose rate: _____ MU/min Beam quality, Q ($TPR_{20,10}$): _____
 Reference phantom: _____ water Set-up: ☐ SSD ☐ SAD
 Reference field size: 10×10 cm $\times$ cm Reference distance (cm): _____
 Reference depth z_{ref} : _____ g/cm²

2. Ionization chamber and electrometer

Ionization chamber model: _____ Serial No.: _____
 Chamber wall material: _____ thickness: _____ g/cm²
 Waterproof sleeve material: _____ thickness: _____ g/cm²
 Phantom window material: _____ thickness: _____ g/cm²

Absorbed dose to water calibration factor^a N_{D,w,Q_0} = _____ ☐ Gy/nC ☐ Gy/rdg

Calibration quality Q_0 ☐ ⁶⁰Co ☐ photon beam Calibration depth: _____ g/cm²

If Q_0 is photon beam, give $TPR_{20,10}$: _____

Reference conditions for calibration P_0 : _____ kPa T_0 : _____ °C Rel. humidity: _____ %

Polarizing potential V_1 : _____ V Calibration polarity: ☐ +ve ☐ -ve ☐ corrected for polarity effect
 User polarity: ☐ +ve ☐ -ve

Calibration laboratory: _____ Date: _____

Electrometer model: _____ Serial No.: _____

Calibrated separately from chamber: ☐ yes ☐ no Range setting: _____

If yes, calibration laboratory: _____ Date: _____

3. Dosimeter reading^b and correction for influence quantities

Uncorrected dosimeter reading at V_1 and user polarity: _____ ☐ nC ☐ rdg

Corresponding accelerator monitor units: _____ MU

Ratio of dosimeter reading and monitor units: M_1 = _____ ☐ nC/MU ☐ rdg/MU

(i) Pressure P : _____ kPa Temperature T : _____ °C Rel. humidity (if known): _____ %

$$k_{TP} = \frac{(273.2 + T)}{(273.2 + T_0)} \frac{P_0}{P} = \underline{\hspace{2cm}}$$

(ii) Electrometer calibration factor^c k_{elec} : ☐ nC/rdg ☐ dimensionless k_{elec} = _____

(iii) Polarity correction^d rdg at $+V_1$: M_+ = _____ rdg at $-V_1$: M_- = _____

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} = \underline{\hspace{2cm}}$$

(iv) Recombination correction (two voltage method)

Polarizing voltages: V_1 (normal) = _____ V V_2 (reduced) = _____ V

Readings^c at each V: M_1 = _____ M_2 = _____

Voltage ratio V_1/V_2 = _____ Ratio of readings M_1/M_2 = _____

Use Table 9 for a beam of type: ☐ pulsed ☐ pulsed-scanned

a_0 = _____ a_1 = _____ a_2 = _____

$$k_s = a_0 + a_1 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + a_2 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

Corrected dosimeter reading at the voltage V_1 :

$$M_Q = M_1 k_{TP} k_{elec} k_{pol} k_s = \underline{\hspace{2cm}} \quad \text{ } \text{nC/MU} \quad \text{ } \text{rdg/MU}$$

4. Absorbed dose to water at the reference depth z_{ref}

Beam quality correction factor for the user quality Q : k_{Q,Q_0} = _____

taken from ☐ Table 14 ☐ Other, specify: _____

$$D_{w,Q}(z_{ref}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Gy/MU}$$

5. Absorbed dose to water at the depth of dose maximum z_{max}

Depth of dose maximum: z_{max} = _____ g/cm²

(i) SSD set-up

Percentage depth dose at z_{ref} for a 10 cm × 10 cm field size: PDD (z_{ref} = _____ g/cm²) = _____ %

Absorbed dose calibration of monitor at z_{max} :

$$D_{w,Q}(z_{max}) = 100 D_{w,Q}(z_{ref}) / \text{PDD}(z_{ref}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Gy/MU}$$

(ii) SAD set-up

TMR at z_{ref} for a 10 cm × 10 cm field size: TMR (z_{ref} = _____ g/cm²) = _____

Absorbed dose calibration of monitor at z_{max} :

$$D_{w,Q}(z_{max}) = D_{w,Q}(z_{ref}) / \text{TMR}(z_{ref}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Gy/MU}$$

^a Note that if Q_0 is ⁶⁰Co, N_{D,w,Q_0} is denoted by $N_{D,w}$.

^b All readings should be checked for leakage and corrected if necessary.

^c If the electrometer is not calibrated separately, set $k_{elec} = 1$.

^d M in the denominator of k_{pol} denotes reading at the user polarity. Preferably, each reading in the equation should be the average of the ratios of M (or M_+ or M_-) to the reading of an external monitor, M_{em} . It is assumed that the calibration laboratory has performed a polarity correction. Otherwise k_{pol} is determined according to:

rdg at $+V_1$ for quality Q_0 : $M_+ = \underline{\hspace{2cm}}$ rdg at $-V_1$ for quality Q_0 : $M_- = \underline{\hspace{2cm}}$

$$k_{pol} = \frac{[(M_+ + |M_-|)/|M|]_Q}{[(M_+ + |M_-|)/|M|]_{Q_0}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

^e Strictly, readings should be corrected for polarity effect (average with both polarities). Preferably, each reading in the equation should be the average of the ratios of M_1 or M_2 to the reading of an external monitor, M_{em} .

3. Düşük enerji KV X – ışınları kalibrasyonu

3.1 –Genel

- 80 KV, 2 mm Al HVL veya 100 KV, 3mm Al HVL ve altı
- Düşük enerjide alışılan absorbe doz ölçüsü, havada air kerma veya ışınlama (exposure) olarak yapılır. Suda absorbe doz (yüzeyde) ışınlama veya air kerma BSF faktörü ile çarpılarak elde edilir. Bu hala çoğu raporlarda kullanılır.
- Düşük enerjide, suda absorbe doz standartları verileri sınırlıdır. Bununla beraber, hava kerma faktörünü kullanarak suda absorbe doz cinsinden kalibrasyon faktörü elde etmek mümkündür.

3.2 – İyon odaları ve fantomlar

İyon odası penceresi, sekonder elektron spektrumu full build up' ını sağlaması için yeterli kalınlıkta olmalıdır. 50 KV –100 KV arası huzmelerde bunun için pencere üstüne benzer materyallerden ilave foliler koymalıdır. İyon odası ref.noktası olarak pencere merkezinde, pencerenin dış tarafı alınır. Build up foli varsa, folinin dış tarafı alınır. Bu nokta fantom yüzeyi ile aynı seviyede olmalıdır. İyon odası, fantom ve ilave folilerle, klinikte referans dozimetri için kullanılacak alan ebadı ve SSD de, SSDL'de kalibrasyon yapılmalıdır.

Ölçü set up' ı için su uygun değildir. Perspex uygundur. Yüzeyde doz ölçümü yapıldığından, dozda veya derinde düzeltmeye gerek yoktur.

TABLE 24. TOTAL THICKNESS^a OF MATERIAL REQUIRED FOR FULL BUILDUP

kV	Polyethylene		PMMA ^b		Mylar	
	mg/cm ²	mm	mg/cm ²	mm	mg/cm ²	mm
50	4.0	45	4.4	40	4.6	35
60	5.5	60	6.1	50	6.4	45
70	7.2	80	8.0	65	8.3	60
80	9.1	100	10.0	85	10.5	75
90	11.1	120	12.2	105	12.9	90
100	13.4	140	14.7	125	15.4	110

^a The thickness specified is taken to be equal to the csda range of the maximum energy secondary electrons, as given in Ref. [66].

^b Polymethyl methacrylate, also known as acrylic. Trade names are Lucite, Plexiglas or Perspex.

3.3 – Huzme Kalitesi indeksi

KV ve HVL kullanılır. Ancak,her zaman istenen KV (SSDL'de) bulunamadığından, bu raporda sadece HVL kullanılır.KV ve HVL'ye göre yapılanla, sadece HVL'ye göre yapılan arasında % 2 civarında fark vardır.

3.4 – Suda absorbe doz tayini

3.4.1 –Referans şartlar :.

Tablo 4. Düşük enerji X-ışını huzmelerinde absorbe doz tayini için referans şartlar

Referans değer veya karakteristikleri	
Fantom materyali	Su eşdeğeri plastik veya PMMA
İyon odası tipi	Düşük enerjiler için plan paralel
Ölçü derinliği z_{ref}	Fantom yüzeyi
İyon odası referans noktası	İyon odası penceresi dış yüzey merkezi veya ilave build up materyeli dış yüzey merkezi ^a
SSD	Genellikle, referans aplikatör tedavi mesafesi
Alan ebadı	3x3cm, veya 3cm çaplı aplikatör veya referans olarak kabul edilen aplikatör

a) $N_{D,W}$ kalibrasyon faktörü, su yüzeyinde absorbe doz olarak verildiğinden, referans nokta olarak ion odası dış yüzeyi alınmaktadır.

3.4.2 – Referans şartlar altında absorbe doz tayini

$$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0}$$

3.5 - k_{Q,Q_0} değerleri

Fantom yüzeyinde ince duvarlı iyon odalarına Bragg-Gray teorisi uygulanamadığından, k_{Q,Q_0} değerleri direkt olarak ölçülmelidir. İyon odasından iyon odasına varyasyonlar fazla olduğundan jenerik değerler kullanılmaz.

İdeal olarak, bir referans huzme Q_0 için N_{D,w,Q_0} kalibrasyon faktörü bulunur ve diğer huzme kaliteleri Q için uygun k_{Q,Q_0} faktörleri ölçülür.

$$k_{Q,Q_0} = \frac{N_{D,w,Q}}{N_{D,w,Q_0}}$$

Kullanıcı huzme kalitesi Q değeri yoksa, Worksheet'teki gibi interpolasyonla bulunur.

3.6 – Non-referans şartlarda ölçüler

3.6.1 – Merkezi eksen derin doz dağılımı

Literatürden elde edilebilir. Eğer ölçülmek istenirse, referans dozimetrede kullanılan aynı iyon odası ile su eşdeğeri fantomda ölçülebilir.

3.6.2 – Out put faktörleri

Kullanılan SSD ve alan ebadı (aplikatörler) için ölçülmelidir.

8.8. WORKSHEET

Determination of the absorbed dose to water in a low energy X ray beam

User: _____

Date: _____

1. Radiation treatment unit and reference conditions for $D_{w,O}$ determination

X ray machine: _____

Nominal tube current: _____ mA

Reference phantom: _____

Added foil material: _____

Reference field size: _____ cm × cm

Nominal tube potential: _____ kV

Beam quality Q (HVL): _____ mA

Reference depth: _____ phantom surface

Thickness: _____ mm

Reference SSD: _____ cm

2. Ionization chamber and electrometer

Ionization chamber model: _____ Serial No.: _____
 Chamber wall material: _____ thickness = _____ g/cm²
Absorbed dose to water calibration factor N_{D,w,Q_0} = _____ ☐ Gy/nC ☐ Gy/rdG
 Reference beam quality, Q_0 (HVL): _____ mmAl
 Reference conditions for calibration P_0 : _____ kPa T_0 : _____ °C Rel. humidity: _____ %
 Polarizing potential V : _____ V Calibration polarity: ☐ +ve ☐ -ve ☐ corrected for polarity effect
 User polarity: ☐ +ve ☐ -ve
 Calibration laboratory: _____ Date: _____
 Electrometer model: _____ Serial No.: _____
 Calibrated separately from chamber? ☐ Yes ☐ No Range setting: _____
 If yes, calibration laboratory: _____ Date: _____

3. Dosimeter reading^a and correction for influence quantities

Uncorrected dosimeter reading at V and user polarity: _____ ☐ nC ☐ rdg

Corresponding time: _____ min

Ratio of dosimeter reading time^b: $M =$ _____ ☐ nC/min ☐ rdg/min

(i) Pressure P : _____ kPa Temperature T : _____ °C Rel. humidity (if known): _____ %

$$k_{TP} = \frac{(273.2 + T)}{(273.2 + T_o)} \frac{P_o}{P} = \underline{\hspace{2cm}}$$

(ii) Electrometer calibration factor^c k_{elec} : ☐ nC/rdg ☐ dimensionless $k_{\text{elec}} =$ _____

Corrected dosimeter reading at voltage V :

$$M_O = M k_{TP} k_{elec} = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square \text{ nC/min} \quad \square \text{ rdg/min}$$

Beam quality correction factor for user quality Q :

$$k_{Q,Q_0} = \underline{\hspace{2cm}}$$

at Q_0 (HVL) = $\underline{\hspace{2cm}}$ mmAl

Calibration laboratory: $\underline{\hspace{2cm}}$

Date: $\underline{\hspace{2cm}}$

or

Beam quality correction factor interpolated:

$(k_{Q,Q_0})_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ at $HVL_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ mm Al Date: $\underline{\hspace{2cm}}$

$(k_{Q,Q_0})_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ at $HVL_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ mm Al Date: $\underline{\hspace{2cm}}$

$$k_{Q,Q_0} = (k_{Q,Q_0})_1 + \left[(k_{Q,Q_0})_2 - (k_{Q,Q_0})_1 \right] \left[\frac{\ln HVL - \ln HVL_1}{\ln HVL_2 - \ln HVL_1} \right] = \underline{\hspace{2cm}}$$

Absorbed dose rate calibration at the phantom surface:

$$D_{w,Q}(\text{surface}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Gy/min}$$

^a All readings should be checked for leakage and corrected if necessary.

^b The timer error should be taken into account. The correction at voltage V can be determined according to:

M_A is the integrated reading in a time t_A $M_A = \underline{\hspace{2cm}}$ $t_A = \underline{\hspace{2cm}}$ min

M_B is the integrated reading in n short exposures of time t_B/n each ($2 \leq n \leq 5$)

$M_B = \underline{\hspace{2cm}}$ $t_B = \underline{\hspace{2cm}}$ min $n = \underline{\hspace{2cm}}$

Timer error, $\tau = \frac{M_B t_A - M_A t_B}{n M_A - M_B} = \underline{\hspace{2cm}}$ min (the sign of τ must be taken into account)

$$M = \frac{M_A}{t_A + \tau} = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square \text{ nC/min} \quad \square \text{ rdg/min}$$

4. Medium enerji KV X – ışınları kalibrasyonu

44.1 – Genel

- HVL 2 mm Al dan büyük huzme kalitelerine uygulanır.
- Önceki protokollerde, ışınlama (exposure) ve hava kerma olarak havada ölçüler yapıp suda absorbe doza, Monte Carlo ile hesaplanan BSF faktörleri kullanılarak geçiliyordu. Bu raporda, absorbe doz direkt olarak ölçülür ve ölçüler su fantomunda yapılır.
- Tedavi dozu, dokuda birkaç mm.den birkaç cm.derinliğe kadar olduğundan bu protokolde, referans derinlik 5 g/cm^2 den 2 g/cm^2 ye indirilmiştir.
- Huzme kalite indeksi HVL dir.

4.2 – Referans şartlarda suda absorbe doz

4

Tablo 5 Medium enerji X-ışını huzmelerinde absorbe doz tayini için referans şartlar

Referans değer veya karakteristikleri

Fantom materyali

Su

İyon odası tipi

Silindirik

Ölçü derinliği z_{ref}

2 g/cm²

İyon odası referans noktası

Merkezi eksen üzerinde kavite volümü ortası

İyon odası referans noktası pozisyonu

z_{ref} ölçü derinliğinde

SSD

Genellikle, kullanılan tedavi mesafesi^a

AAlan ebadı

10 x 10 cm veya referans olarak kabul edilen aplikatör

aa). Aplikatörlerin SSD leri farklıysa, referans aplikatör olarak büyük SSD li seçilmelidir

4.2.2 – Referans suda şartlarda absorbe doz tayini

$$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q_0}$$

4.3 – k_{Q,Q_0} değerleri

Bragg- Gray teorisi, medium X-ışınlarında iyon odalarına uygulanamadığından, k_{Q,Q_0} faktörleri direkt olarak ölçülmelidir. Jenerik değerler kullanılmaz. k_{Q,Q_0} faktörü :

$$k_{Q,Q_0} = \frac{N_{D,w,Q}}{N_{D,w,Q_0}}$$

4.4 – Non-referans şartlarda ölçüler

4.4.1 – Merkezi eksen derin doz dağılımları

Literatürden elde edilebilir. Ancak, klinikte kullanılan KV ve HVL ye uyan veriler olmayabilir. Bu nedenle, her bir klinik huzme için ölçülmesi tavsiye edilir.

4.4.2 – Out put faktörleri

Tedavide kullanılan bütün SSD ve alan abatlarda (aplikatörler) ölçülmelidir. 2 g/cm² derinlikte yapılan absorbe doz ölçülerinden, % DD değerleri kullanılarak yüzey dozuna geçilir.

9.8. WORKSHEET

Determination of the absorbed dose to water in a medium energy X ray beam

User: _____

Date: _____

1. Radiation treatment unit and reference conditions for $D_{w,Q}$ determination

X ray machine: _____ Nominal tube potential: _____ kV
 Nominal tube current: _____ mA Beam quality Q (HVL): _____ mm

☐ Al ☐ Cu

Reference phantom: water

Reference depth: 2 g/cm²

Reference field size: _____ cm × cm Reference SSD: _____ cm

2. Ionization chamber and electrometer

Ionization chamber model: _____ Serial No.: _____

Chamber wall material: _____ thickness = _____ g/cm²

Waterproof sleeve material: _____ thickness = _____ g/cm²

Phantom window material: _____ thickness = _____ g/cm²

Absorbed dose to water calibration factor N_{D,w,Q_0} = _____ ☐ Gy/nC ☐ Gy/rdg

Reference beam quality, Q_0 (HVL): _____ mm ☐ Al ☐ Cu

Reference conditions for calibration P_o : _____ kPa T_o : _____ °C Rel. humidity: _____ %

Polarizing potential V : _____ V Calibration polarity: ☐ +ve ☐ -ve ☐ corrected for polarity effect
 User polarity: ☐ +ve ☐ -ve

Calibration laboratory: _____ Date: _____

Electrometer model: _____ Serial No.: _____

Calibrated separately from chamber: ☐ Yes ☐ No Rating setting: _____

If yes, calibration laboratory: _____ Date: _____

3. Dosimeter reading^a and correction for influence quantities

Uncorrected dosimeter reading at V and user polarity: _____ ☐ nC ☐ rdg

Corresponding time: _____ min

Ratio of dosimeter reading and time^b: M = _____ ☐ nC/min ☐ rdg/min

(i) Pressure P : _____ kPa Temperature T : _____ °C Rel. humidity (if known): _____ %

$$k_{TP} = \frac{(273.2 + T)}{(273.2 + T_o)} \frac{P_o}{P} = \underline{\hspace{2cm}}$$

(ii) Electrometer calibration factor^c k_{elec} : ☐ nC/rdg ☐ dimensionless k_{elec} = _____

(iii) Polarity correction^d rdg at +V: M_+ = _____ rdg at -V: M_- = _____

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Corrected dosimeter reading at the voltage V :

$$M_Q = M k_{TP} k_{elec} k_{pol} = \text{_____} \quad \square \text{ nC/min} \quad \square \text{ rdg/min}$$

4. Absorbed dose rate to water at the reference depth, z_{ref}

Beam quality correction factor for user quality Q :

$$k_{Q,Q_0} = \text{_____}$$

at Q_0 (HVL) = _____ mm ☐ Al ☐ Cu

Calibration laboratory: _____

Date: _____

or Beam quality correction factor interpolated:

$$(k_{Q,Q_0})_1 = \text{_____} \text{ at HVL}_1 = \text{_____} \text{ mm } \square \text{ Al } \square \text{ Cu } \quad \text{Date: } \text{_____}$$

$$(k_{Q,Q_0})_2 = \text{_____} \text{ at HVL}_2 = \text{_____} \text{ mm } \square \text{ Al } \square \text{ Cu } \quad \text{Date: } \text{_____}$$

$$k_{Q,Q_0} = (k_{Q,Q_0})_1 + [(k_{Q,Q_0})_2 - (k_{Q,Q_0})_1] \left[\frac{\ln \text{HVL} - \ln \text{HVL}_1}{\ln \text{HVL}_2 - \ln \text{HVL}_1} \right] = \text{_____}$$

Absorbed dose rate calibration at z_{ref} :

$$D_{w,Q}(z_{ref}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} = \text{_____} \text{ Gy/min}$$

5. Absorbed dose rate to water at the depth of dose maximum, z_{max}

Depth of dose maximum: $z_{max} = \text{_____} \text{ g/cm}^2$

Percentage depth dose at z_{ref} for _____ cm $\times$ _____ cm field size: $\text{PDD}(z_{ref} = 2 \text{ g/cm}^2) = \text{_____} \%$

Absorbed dose rate calibration at z_{max} :

$$D_{w,Q}(z_{max}) = 100 D_{w,Q}(z_{ref}) / \text{PDD}(z_{ref}) = \text{_____} \text{ Gy/min}$$

^a All readings should be checked for leakage and corrected if necessary.

^b The timer error should be taken into account. The correction at voltage V can be determined according to

$$M_A \text{ is the integrated reading in a time } t_A \quad M_A = \text{_____} \quad t_A = \text{_____} \text{ min}$$

M_B is the integrated reading in n short exposures of time t_B/n each ($2 \leq n \leq 5$)

$$M_B = \text{_____} \quad t_B = \text{_____} \text{ min } n = \text{_____}$$

$$\text{Timer error, } \tau = \frac{M_B t_A - M_A t_B}{n M_A - M_B} = \text{_____} \text{ min (the sign of } \tau \text{ must be taken into account)}$$

$$M = \frac{M_A}{t_A + \tau} = \text{_____} \quad \square \text{ nC/min } \square \text{ rdg/min}$$

^c If the electrometer is not calibrated separately, set $k_{elec}^* = 1$.

^d M in the denominator of k_{pol} denotes reading at the user polarity. Preferably, each reading in the equation should be the average of the ratios of M (or M_+ or M_-) to the reading of an external monitor M_{em} .