

TK 156.453

KFKI-1983-101



VÉGH J.
VIDOVSKY I.

KUTATÁSI JELENTÉS
OKKFT A/11-4.2.7
"SZERKEZETI ANYAGOK
SUGÁRKÁROSODÁSI VIZSGÁLATAIHOZ KAPCSOLÓDÓ
NEUTRONDOZIMETRIA"

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

2017

KFKI-1983-101

K U T A T Á S I J E L E N T É S

OKKFT A/11-4.2.7

"Szerkezeti anyagok sugárkárosodási vizsgálataihoz
kapcsolódó neutronozimetria"

MTA

Központi Fizikai Kutatóintézet

Atomenergia Kutató Intézet

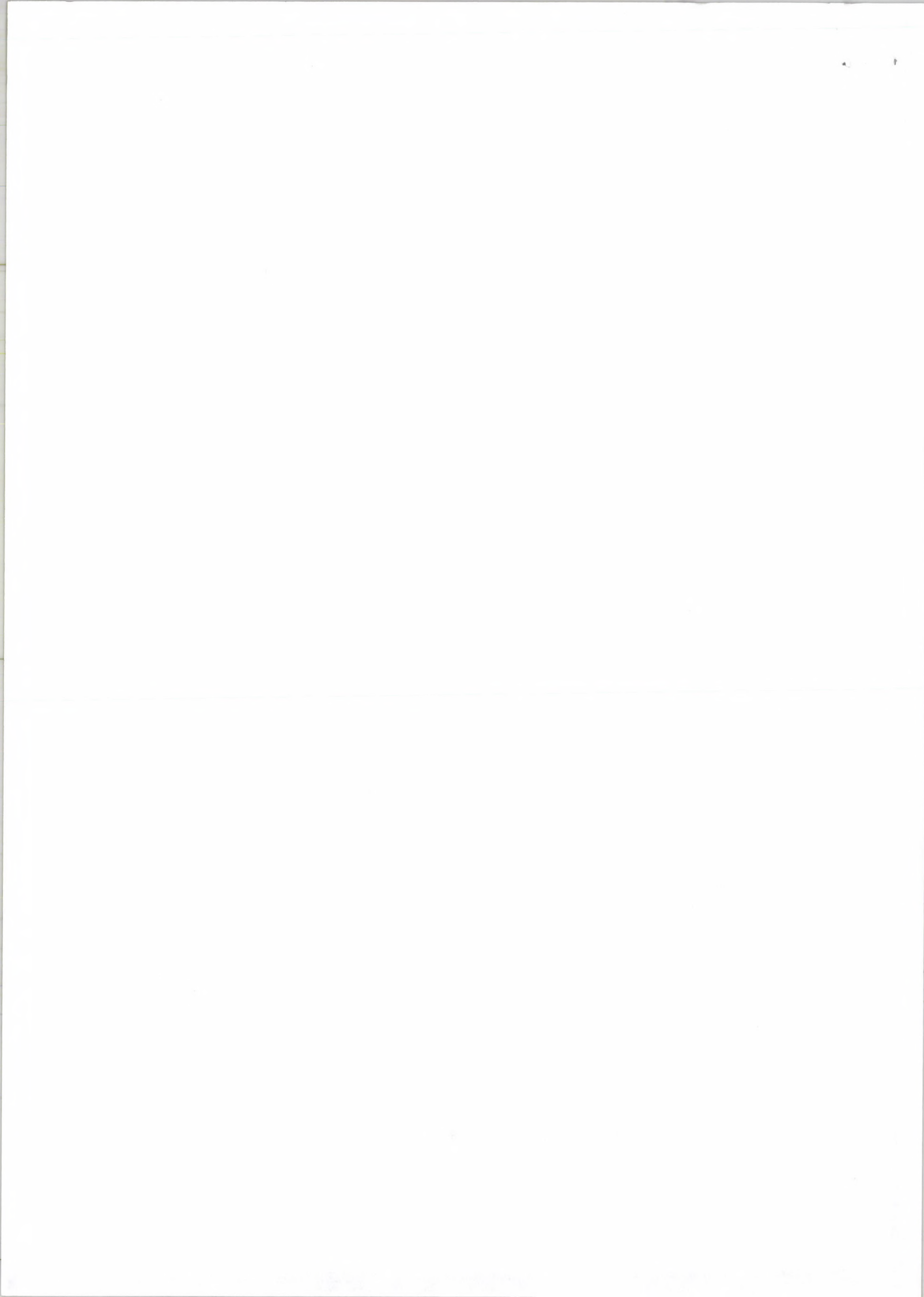
Készítette: Végh János

Vidovszky István

Reaktorfizikai Osztály

Budapest, 1983

HU ISSN 0368 5330
ISBN 963 372 148 2



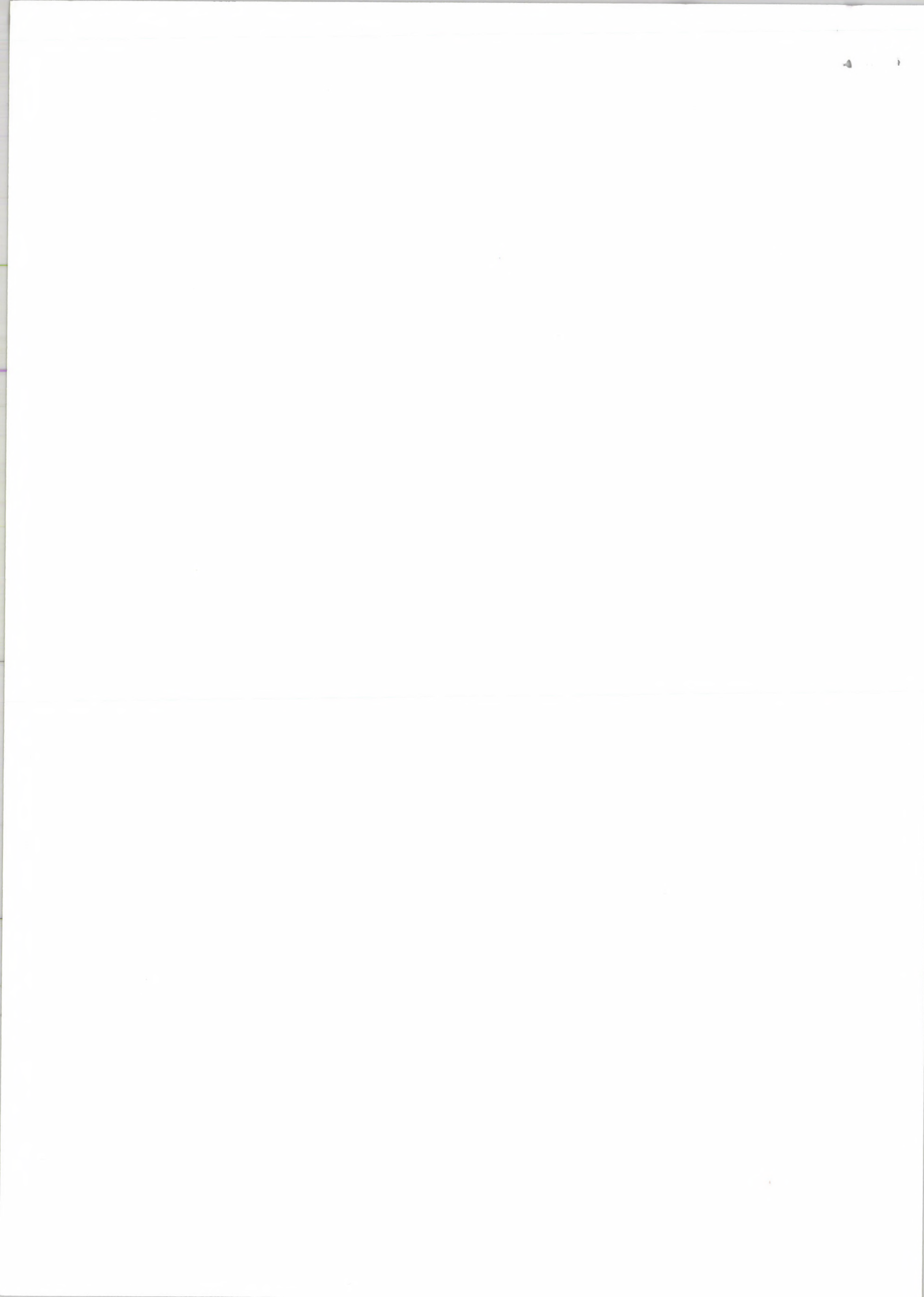
1. BEVEZETÉS

Az alábbi kutatási jelentés az OKKFT A/11-4. alprogram keretében a KFKI AEKI Reaktorfizikai Osztályán végzett kísérleti neutronozimetriai munkát foglalja össze. A sugárkárosodási vizsgálatok törésmechanikai mérései Gillemot Ferenc /AEKI Kémiai Főosztály/ laboratóriumában folytak, erről a munkáról készült összefoglalás található pl. [1]-ben. A szerkezeti anyagok sugárkárosodási vizsgálatainak neutronozimetriai kérdéseivel kapcsolatos kutatások során összeállítottunk és kísérletileg ellenőriztünk egy olyan aktivációs detektorokból álló készletet, amely alkalmas hosszú időtartamu besugárzások alatt kapott gyorsneutronfluens és a neutronspektrum egyidejű mérésére.

Kidolgoztuk a detektorok kiértékeléséhez szükséges kísérleti metodikát és számítógépes eljárásokat, megvizsgáltuk a kiértékelés során felmerülő nehézségeket.

A reaktortartály anyagában a neutronbesugárzás hatására bekövetkező anyagszerkezeti változások jellemzésére a nemzetközileg használatos módszerek és könyvtárak alapján előállítottuk a $^{15}\text{H}_2\text{MFA}$ tartályacél dpa-hatáskeresztmetszet függvényét. Számításokat végeztünk a VVER-440 blokk zónáját körülvevő rétegekben kialakuló neutronfluxus, illetve a tartályfal belső széle és a mechanikai próbatestek helye közötti átszámitási tényező megadására.

A VVR-SzM kutatóreaktorban végzett modellbesugárzások /amelyekben a próbatestek rövid idő alatt kapnak ugyanakkora neutron dózist, mint az erőmű 20-30 évi üzemelése során/ és az erőművi zónára végzett számítások összekapcsolásával megbízható becslés adható a szerkezeti anyagok várható élettartamára.



2. NEUTRONDOZIMETRIAI VIZSGÁLATOK

2.1 Általános neutrondozimetriai kérdések

Tételezzük, fel, hogy egy N_t targetizotópot tartalmazó aktivációs fóliát sugározunk be egy reaktorban, a keletkező izotóp bomlási állandója legyen λ . A besugárzás általában több, különböző időtartamu és teljesítményű periódusból állhat /egy erőművi reaktor pl. hosszabb ideig leáll az átrakáskor, más-más teljesítményszinteken üzemelhet/. A besugárzási pozícióban mérhető differenciális neutronfluxust /egységnyi energiaintervallumra eső fluxust/ a "t" időpillanatban vegyük fel az alábbi szeparált alakban /ld. pl. [2]/:

$$\phi(E, t) = \phi_0 \frac{P(t)}{P_0} \psi(E) \quad (2.1)$$

ahol P_0 a reaktor névleges teljesítménye,

$P(t)$ a pillanatnyi teljesítmény,

ϕ_0 a névleges teljesítményszinthez tartozó integrális fluxus,

$\psi(E)$ pedig a neutronok egyre normált

spektruma $\left\{ \int_0^{+\infty} \psi(E) dE = 1 \right\}$.

A célizotóp számának változását leíró egyenlet:

$$\frac{dN}{dt} = N_t R \frac{P(t)}{P_0} - \lambda N \quad (2.2)$$

ahol

$$R = \phi_0 \int_0^{+\infty} \psi(E) \sigma(E) dE,$$

$\sigma(E)$ a targetizotóp aktivációs hatáskeresztmetszete az E neutronenergia függvényében.

Tételezzük fel, hogy az i-ik besugárzási periódus teljesítménye (P_i) konstans, és a periódus hossza T_i . Ekkor az i-ik periódusban keletkezett célizotópok száma

$$N(T_i) = N_t \frac{P_i R}{\lambda P_0} (1 - e^{-\lambda T_i}) \quad (2.3)$$

Ha az i -ik periódus végétől a célizotóp γ -spektrumának megméréseig eltelt hűlési idő t_{ci} , akkor a mérhető aktivitás értéke:

$$A_m = \lambda N(T_i) e^{-\lambda t_{ci}} \quad (2.4)$$

Tegyük fel, hogy összesen K periódusból állt a besugárzás, ekkor /a targetizotóp kiégésének elhanyagolásával/

$$A_m = \sum_{i=1}^K N_t \frac{P_i R}{P_0} (1 - e^{-\lambda T_i}) e^{-\lambda t_{ci}} \quad (2.5)$$

adódik. Számunkra lényegében az egy targetizotópra eső telítési aktivitás értéke, az R mennyiség érdekes:

$$R = \frac{A_m}{N_t} f \quad (2.6)$$

ahol f az ún. "reaktor-história" faktor

$$f = \frac{1}{\sum_{i=1}^K \frac{P_i}{P_0} (1 - e^{-\lambda T_i}) e^{-\lambda t_{ci}}} \quad (2.7)$$

Ha a fólia γ -spektrumában egy kiválasztott, jól elkülöníthető vonal mért intenzitása I , akkor az aktivitást az alábbi kifejezés adja:

$$A_m = \frac{I}{\gamma \epsilon t_m} \quad (2.8)$$

ahol t_m a mérési idő,

ϵ a mérőrendszer abszolút hatásfoka az adott γ -energián,

I a kiválasztott vonal csucs alatti területe,

γ a mért vonal γ -hozama.

A fóliában lévő targetizotópok számát az

$$N_t = \frac{X_t m N_A w_t}{M} \quad (2.9)$$

összefüggés adja, ahol m a fólia össztömege [g],

N_A az Avogadro-szám,

w_t az adott elem aránya a fóliában
/súly %-ban/,

M az elem atomtömege [g],

X_t a targetizotóp természetes előfordu-
lási gyakorisága az elemben.

A targetizotópok számának pontos megadása precíziós mérleg bir-
tokában és a pontos fóliaösszetétel ismeretében nem jelent nehéz-
séget, ellentétben a mérőrendszer abszolút határfokának meghatá-
rozásával. A rendszer abszolút határfokán a mért aktivitás és a
fólia abszolút /valódi/ aktivitásának arányát értjük, a határfok
általánosan az alábbi tényezőktől függ:

$$\epsilon = f_{\text{det}} \cdot f_h \cdot f_g \cdot f_v \cdot f_{\text{ö}} \cdot f_a \quad (2.10)$$

ahol f_{det} a detektor impulzusszámlálási határfoka,

f_h a holtidőkorrekció,

f_g a geometriai tényező /térshögfaktor/,

f_v a visszaszórás tényező,

$f_{\text{ö}}=S$ az önabszorpciós faktor /a γ -fotonok elnyelődése
magában a fóliában/,

f_a az abszorpciós faktor /a γ -fotonok elnyelődése a
detektor ablaka és a fólia közötti térrészben/.

Az általában használt γ -energiákon /kb. 100 keV és 2 MeV közötti
értékek/ $f_a \approx 1$, az f_h holtidőkorrekció a minta-detektor távolság
megfelelő beállításával szintén elhanyagolható hatásúvá tehető.

Helyes minta-detektor elrendezéssel f_v szintén kb. 1,0 lesz
/a visszaszórás hatása főleg β^- -detektálásnál jelentős/. Az ab-
szolut határfok kifejezése végül az alábbi formára hozható:

$$\epsilon = \epsilon(E_\gamma, r) \cdot S(E_\gamma) \quad (2.11)$$

Itt $\epsilon(E_\gamma, r)$ a mért mintától független faktor /csak a minta-detek-
tor távolságtól és a mért E_γ energiától függ/, $S(E_\gamma)$ pedig a mért

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
5708 S. UNIVERSITY AVE.
CHICAGO, ILL. 60637

fólia tulajdonságaitól függő önárnyékolási tényező. Az $\epsilon(E_\gamma, r)$ megállapítására nagy pontossággal kalibrált γ -források használhatók fel: különböző minta-detektor távolságokon ismert abszolút aktivitású γ -források jól mérhető, pontos magfizikai adatokkal rendelkező csucsait detektáljuk; megfelelően választott forrásokkal a felhasznált energiatartomány kielégítően kalibrálható minden minta-detektor távolságra. Az egyes pozíciókban az energiatartományt szokásos /ld. pl. [3])

$$\epsilon(E_\gamma, r) = A(r)E_\gamma^{-B(r)} \quad (2.12)$$

alakban felvenni $A(r)$ és $B(r)$ a pozíciót jellemző állandók, pl. a legkisebb négyzetek módszerével végzett illesztés útján kaphatók meg/.

Az $S(E_\gamma)$ önabszorpciós tényező megadja, hogy a mintában keletkezett E_γ energiájú γ -fotonok mekkora hányada jut ki a fóliából abszorpció nélkül. Általában elegendő az alábbi közelítésben felírni

$$S(E_\gamma) = \frac{1 - e^{-\mu d}}{\mu d} \quad (2.13)$$

ahol d : a fóliában lévő abszorbeáló anyag felületi sűrűsége [g/cm^2],

μ : az E_γ energián a tömegabszorpciós együttható [$\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$]

Végül szólni kell a γ -spektrometriás módszerrel végzett abszolút aktivitásmérés hibájáról is: feltételezve, hogy a magfizikai adatok, az idő- és tömegértékek pontosan ismertek /1 %-nál kisebb hibával/, az aktivitás relatív hibáját az alábbi kifejezéssel közelíthetjük:

$$\frac{\Delta A_m}{A_m} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon}\right)^2} \quad (2.14)$$

Itt $\frac{\Delta I}{I}$: a γ -intenzitás relatív hibája /kb. 1-2 %/

$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon}$: az abszolút hatásfok relatív hibája /kb. 2-3 %/

A szokásos módszerekkel tehát kb. 3-4 %-os pontosságú abszolút

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

aktivitásmérés produkálható, ami a reaktordozimetria sugárkárosodási célú felhasználásában kielégítőnek tekinthető. Az egy targetmagra eső telítési aktivitások értékeinek ismeretében a besugárzási pozíció névleges teljesítményhez tartozó $\Phi_0 \psi(E)$ differenciális fluxusa az un. unfolding módszer segítségével állítható elő, a módszer részletes leírását és alkalmazását ld. pl. [4], [5], [3]. Tetszőleges reaktorteljesítményhez a $\phi(E,t)$ neutronfluxust a (2.1) összefüggés alapján adhatjuk meg, a teljesítményváltozások ismeretében. Egy $\sigma(E)$ hatáskeresztmetszetű reakcióra kiszámíthatjuk az egy magra eső telítési aktivitást:

$$R = \int_0^{t_0} \int_0^{+\infty} \phi(E,t) \sigma(E) dE dt = \sum_{i=1}^K \int_0^{T_i} \int_0^{+\infty} \Phi_0 \psi(E) \frac{P_i}{P_0} \sigma(E) dE dt \quad (2.15)$$

$$R = \sum_{i=1}^K \Phi_0 \frac{P_i T_i}{P_0} \int_0^{+\infty} \psi(E) \sigma(E) dE = \langle \sigma \rangle_{\psi} \sum_{i=1}^K F_i \quad (2.16)$$

Itt $\langle \sigma \rangle_{\psi}$ a neutronspektrumra átlagolt hatáskeresztmetszet /közben feltételeztük, hogy a spektrum a besugárzás teljes ideje alatt / t_0 -ig/ változatlan marad/, F_i pedig az i -ik periódus alatt kapott neutronfluens [neutron/cm²]. Ha a $\sigma(E)$ függvény pl. a tartályacél dpa-hatáskeresztmetszetének függvénye, akkor (2.16) éppen az egy atomra jutó átlagos kilökődések N_d számát adja meg /ld. a 3. fejezetet/ a besugárzás ideje alatt:

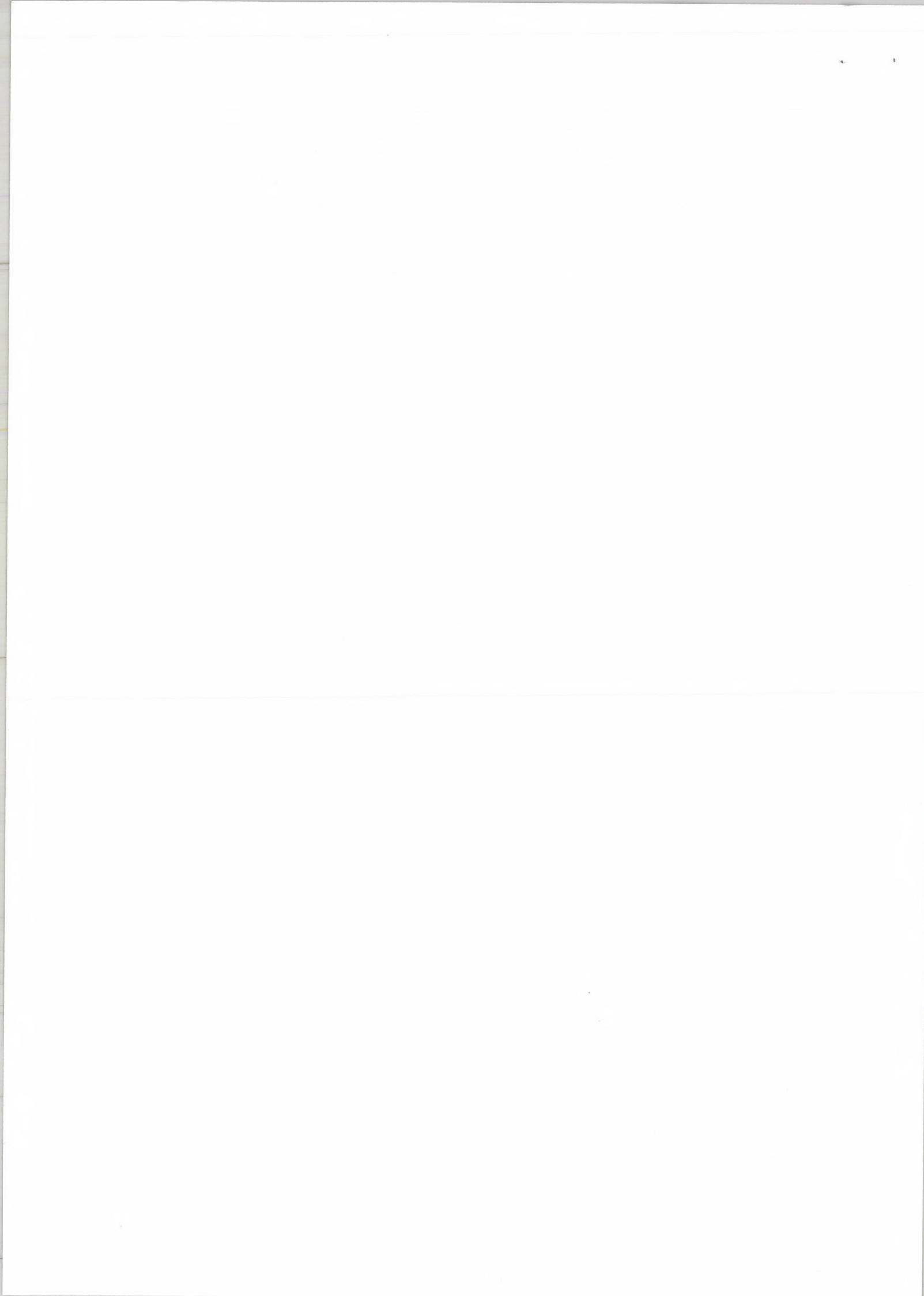
$$N_d = \langle \sigma_{dpa} \rangle_{\psi} \cdot F \quad (2.17)$$

ahol

$$F = \sum_{i=1}^K F_i,$$

a teljes neutron fluens.

A spektrális információk $\{\psi(E)\}$ és a teljes fluens $\{F\}$ ismeretében tehát olyan sugárkárosodási jellemzők adhatók meg a szerkezeti anyagokra, amelyek alapján előrejelzést adhatunk az anyagok várható reaktorbeli élettartamáról.



2.2 Modellbesugárzások a KFKI VVR-SzM reaktorában

A szerkezeti anyagok törésmechanikai vizsgálataihoz szükséges próbatesték besugárzása a KFKI VVR-SzM kutatóreaktorának zónájában, a 163. besugárzási csatornában /ld. a 2. ábra zónatérképét/, egy fűtőelemköteg helyén történt. A próbatestek 15H2MFA tartályacélból, O8H18N10T rozsdamentes acélból és hegesztési varratanyagból készültek; a besugárzásokhoz kifejlesztett speciális, fűthető tok az 1. ábrán látható. A besugárzások hőmérséklete $280\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\%$ volt, ez kb. megegyezik a tartály normál üzemi körülmények közötti hőmérsékletével. A próbatesteket ért neutronfluens monitorozására 3-5 axiális pozícióban aktivációs detektorokat helyeztünk el a tokban /ld. 1. ábra/; a középső - maximális fluxusu - helyre került a több fóliát tartalmazó készlet, a szélső pozíciókba csak néhány aktivációs huzalt tettünk az axiális eloszlás mérésére. A besugárzások során az volt a célunk, hogy a próbatestek olyan mértékű mechanikai károsodást szenvedjenek el, mint az erőmű működése közben 10-20-30 stb. év alatt.

A VVER-440 blokkok tartályacéljának károsodására a KGST-ben az alábbi formula használatos /ld. pl. [6]/:

$$\Delta\text{NDT} = A \cdot N_d^{1/3} \quad (2.18)$$

ahol ΔNDT a rideg-képlékeny törés átmeneti hőmérsékletének megnövekedése a besugárzás hatására,

N_d az egy atomra eső elmozdulások átlagos száma a besugárzás alatt /dpa/,

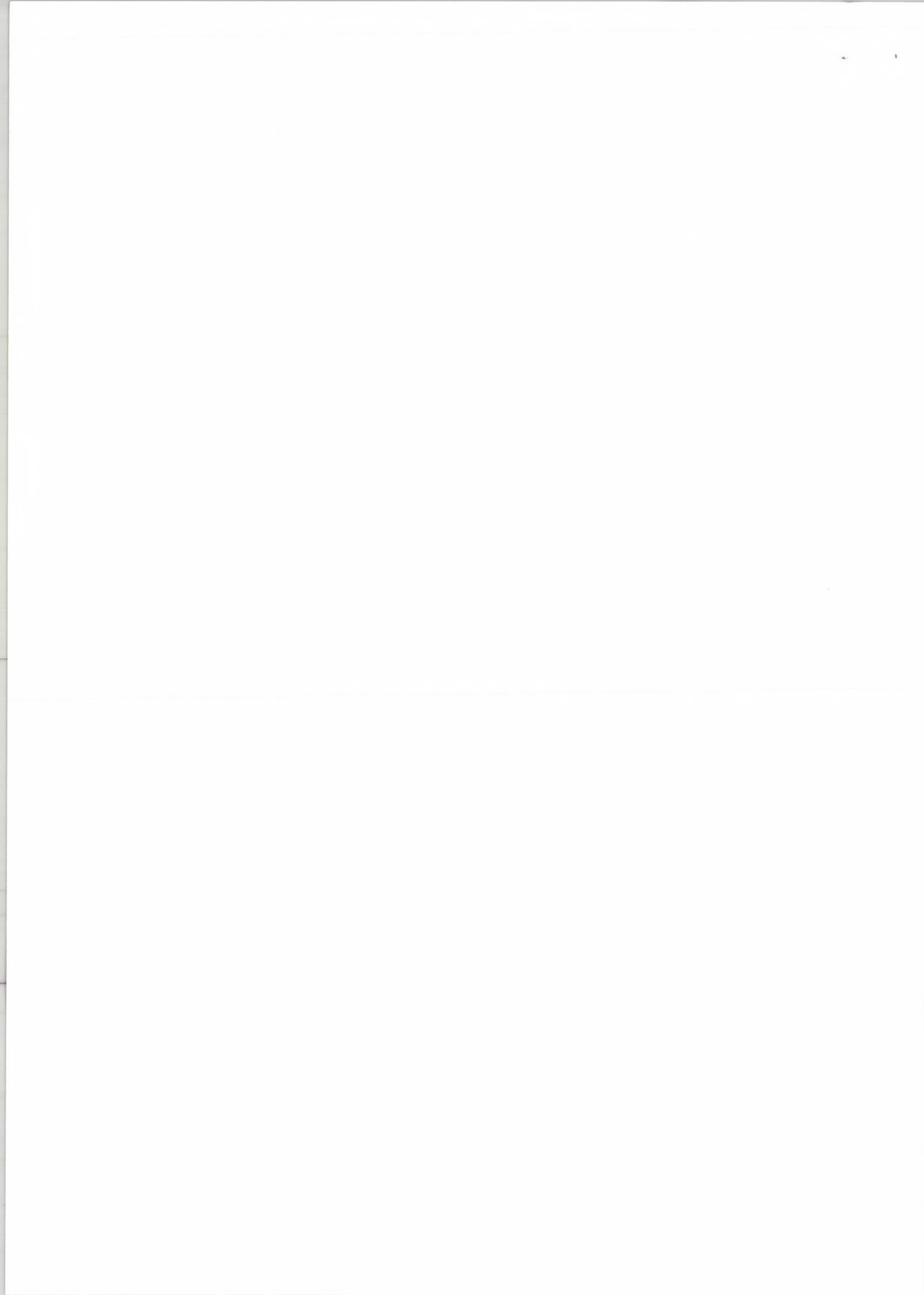
A az adott acélfajtától függő konstans.

A (2.18) formulából kitűnik, hogy azonos károsodást olyan besugárzással hozhatunk létre, amelyben a kutatóreaktorbeli dpa megegyezik az erőműbelivel.

Numerikusan felírva /időben állandó fluxusokat feltételezve/:

$$\langle\sigma_d\rangle_1 \cdot \phi_1 \cdot t_1 = \langle\sigma_d\rangle_2 \cdot \phi_2 \cdot t_2 \quad (2.19)$$

ahol az "1" index a VVR-SzM-re, a "2" pedig a VVER-440 tartályfal belső szélére utal.



A szükséges besugárzási idő tehát

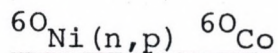
$$t_1 = \frac{\langle \sigma_d \rangle_2}{\langle \sigma_d \rangle_1} \cdot \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \cdot t_2 \quad (2.20)$$

A 6. táblázat alapján megadhatjuk t_1 értékét a 163. csatornára: $t_1 \approx 7,93 \cdot 10^{-3} t_2$, azaz 30 évnyi folyamatos erőműbeli besugárzás közelítőleg 2000 óra VVR-SzM-beli besugárzással egyenértékű.

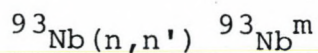
A neutronfluxus monitorozására az alábbi reakciókat használtuk: $^{59}\text{Co}(n,\gamma) ^{60}\text{Co}$, $^{58}\text{Fe}(n,\gamma) ^{59}\text{Fe}$, $^{54}\text{Fe}(n,p) ^{54}\text{Mn}$, $^{93}\text{Nb}(n,n') ^{93}\text{Nb}^m$, $^{58}\text{Ni}(n,p) ^{58}\text{Co}$, $^{60}\text{Ni}(n,p) ^{60}\text{Co}$, $^{63}\text{Cu}(n,\alpha) ^{60}\text{Co}$, $^{46}\text{Ti}(n,p) ^{46}\text{Sc}$, $^{55}\text{Mn}(n,2n) ^{54}\text{Mn}$.

A fóliák γ -spektrumait egy CANBERRA 7229 típusu Ge/Li/ félvezető detektorral mértük, a detektor elektronikája egy PDP 11/10 típusu miniszámítógépen működő on-line adatgyűjtő rendszerrel /CAMON, ld. [7]/ állt kapcsolatban. A γ -csucskok csucs alatti területeit Gauss-görbe + lineáris háttér csucsalak feltételezésével elvégzett fitteléssel, az RFIT program [8] segítségével adtuk meg; a területek hibái átlagosan 1-2 %-ra tehetők.

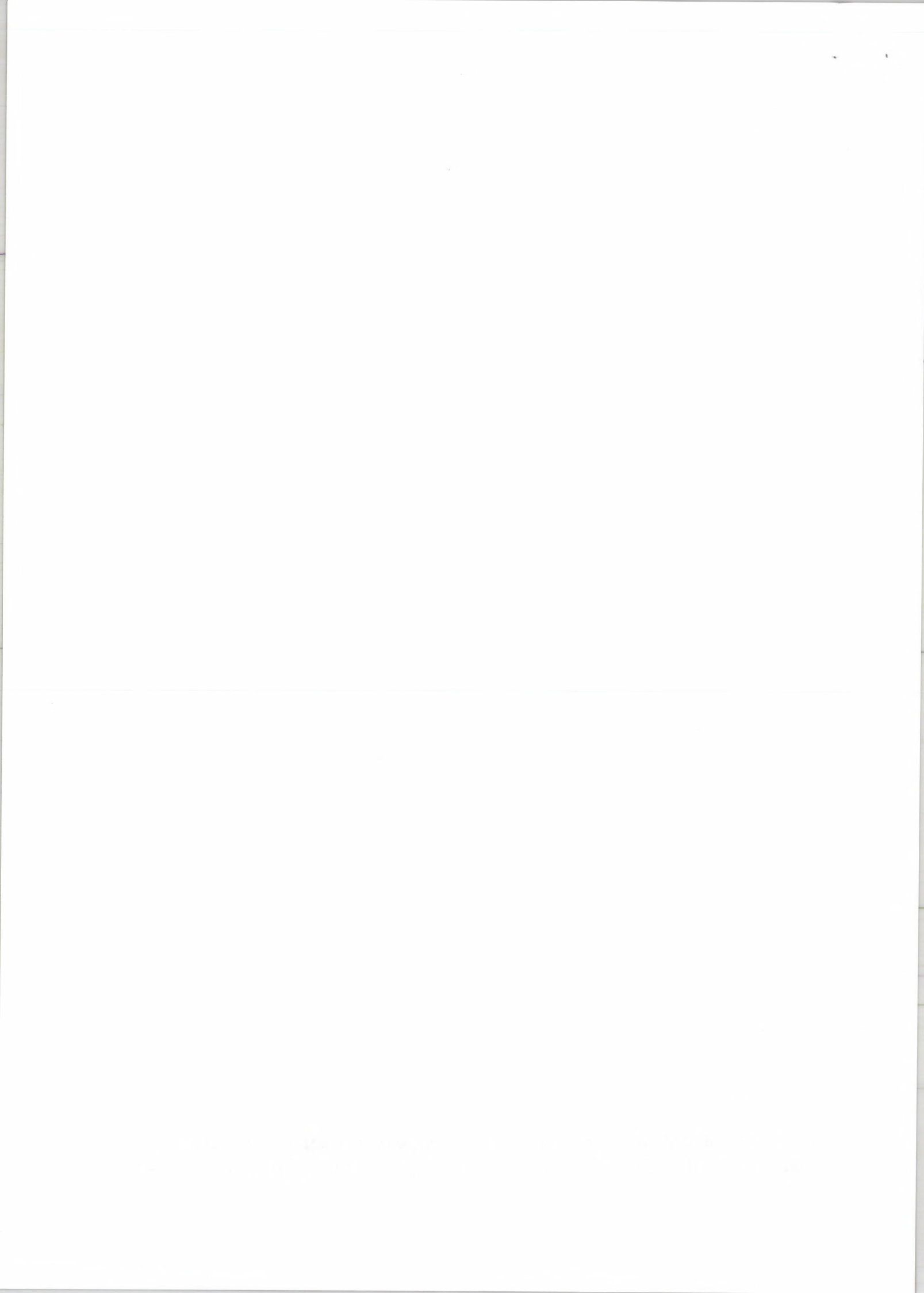
Két reakció kiértékelésénél különösen gondos analízist kell végezni, a $^{60}\text{Ni}(n,p)$ és a $^{93}\text{Nb}(n,n')$ reakciók esetében.



Ezt a reakciót csak igen tiszta nikkelle tudjuk kiértékelni /csak kb. 500 ppm-nél kisebb kobaltszennyezés esetén/, ugyanis az $^{59}\text{Co}(n,\gamma)$ reakcióban nagy hatáskeresztmetszettel keletkező ^{60}Co -aktivitás erősen zavarhatja a $^{60}\text{Ni}(n,p)$ reakcióból származó ^{60}Co -aktivitás meghatározását. Ha a fólia kobalttartalma pontosan ismert, akkor korrekcióba tudjuk venni az $^{59}\text{Co}(n,\gamma)$ reakció hatását, ellenkező esetben felülbecsüljük a $^{60}\text{Ni}(n,p)$ reakciógyakoriságot, ezáltal pedig a kb. 6 MeV feletti gyorsfluxust.



A fenti reakció esetében a zavaró tényező a nióbium tantálszennyezése: csak kb. 1000-500 ppm-nél kisebb tantáltartalmu nióbium-



fóliák /vagy huzalok/ használhatók fel a $^{93}\text{Nb}(n,n')$ reakciógyakoriság mérésére.

A Ta-interferencia a $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)$ reakcióban keletkező 115,1 nap felezési idejű ^{182}Ta izotóp következménye /ld. pl. [9] és [3]/, kiküszöbölésére az alábbi módszerek használatosak:

1./ A ^{182}Ta felezési ideje sokkal kisebb, mint a $^{93}\text{Nb}^m$ metastabil állapoté /kb. 15,7 év/, ezért két olyan mérések, amelyek között jelentős idő telt el, a Ta-interferencia leválasztható.

Tételezzük fel, hogy a besugárzás vége után t_0 idővel mérjük a $^{93}\text{Nb}^m$ 16,6 keV-es K_α vonalát. Ekkor az aktivitás két tagra bontható /ld. [9]/:

$$A(t_0) = A_{\text{Nb}} e^{-\lambda_1 t_0} + A_{\text{Ta}} e^{-\lambda_2 t_0} \quad (2.20)$$

Ugyanezt a mérést egy későbbi t időpillanatban elvégezve:

$$A(t) = A_{\text{Nb}} e^{-\lambda_1 t} + A_{\text{Ta}} e^{-\lambda_2 t} \quad (2.21)$$

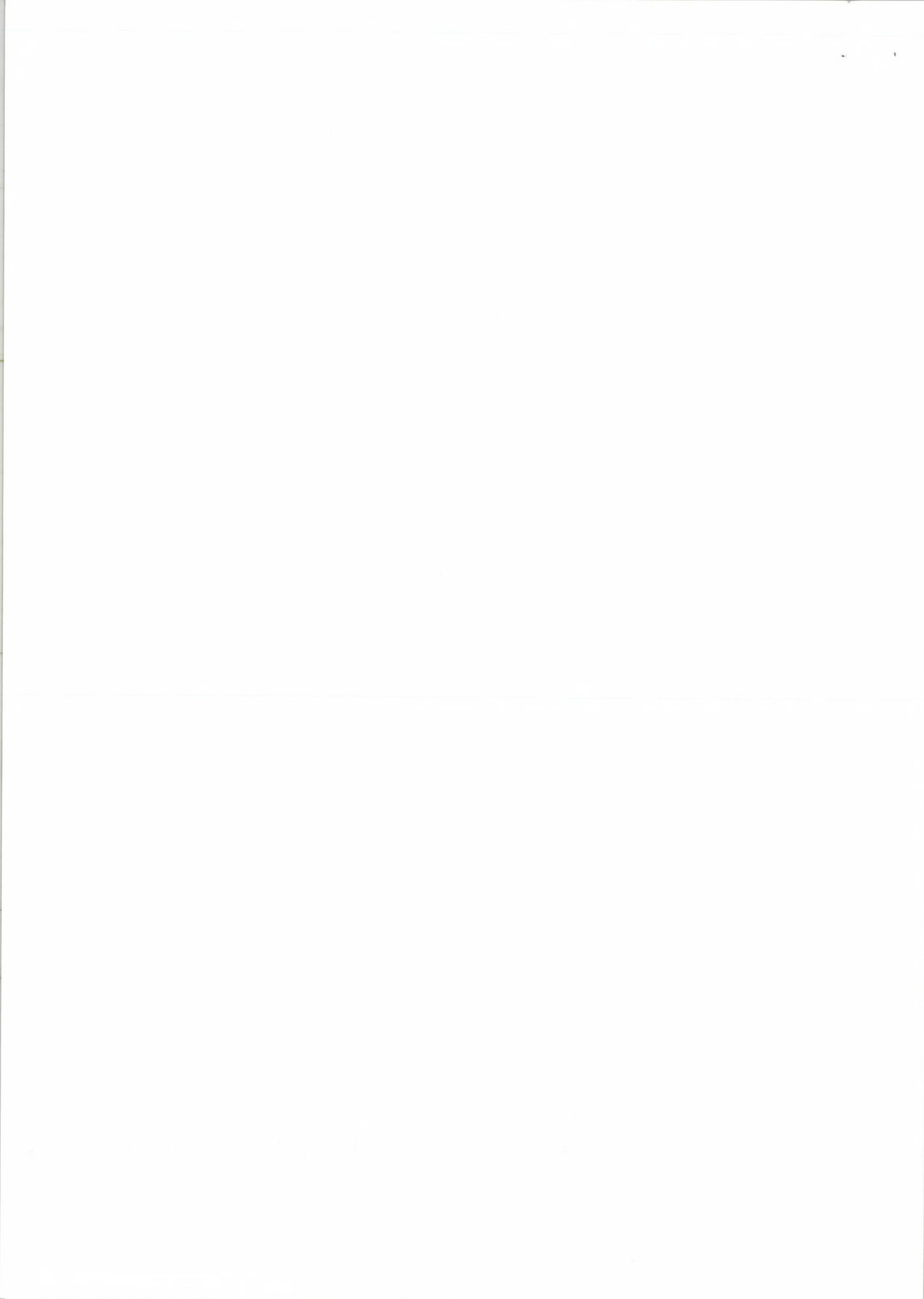
A képletekben A_{Nb} a $^{93}\text{Nb}(n,n')$ reakcióból keletkező $^{93}\text{Nb}^m$ -aktivitás, A_{Ta} a ^{182}Ta hatására létrejövő zavaró $^{93}\text{Nb}^m$ -aktivitás, λ_1 és λ_2 pedig a $^{93}\text{Nb}^m$, illetve a ^{182}Ta bomlási állandói. A két kifejezés összevetéséből kifejezhető a keresett A_{Nb} aktivitás:

$$A_{\text{Nb}} = \frac{A(t) - A(t_0) e^{-\lambda_2 (t-t_0)}}{e^{-\lambda_1 (t-t_0)} - e^{-\lambda_2 (t-t_0)}} \quad (2.22)$$

A fenti eljárás csak kb. 500 ppm-nél kisebb tantál-szennyezés esetén használható, mivel nagyobb szennyezéseknél a mért aktivitás 90-95 %-a is származhat a ^{182}Ta -tól.

2./ Kémiai higitás eljárásokkal csökkenthető a ^{182}Ta izotópok koncentrációja a nióbbiumhordozóban, ezáltal csökken a Ta-interferencia is.

Néhány tized ml hidrogénfluoridba helyezzük a nióbbiumfóliát, majd néhány csepp salétromsavat adunk hozzá, hogy a fólia teljesen feloldódjon. Ezután mikropipettával pontosan ellenőrizhető oldatmennyiséget szűrőpapírra viszünk, beszárítjuk és a preparátumot



vékony polietilénvédőréteggel látjuk el /ld. [10]/. A felvitt nióbiomtömeget vagy a ^{182}Ta -aktivitás segítségével, vagy a pi-pettázás adataiból határozhatjuk meg. Kísérleteinkben az 1, és 2, módszert egyaránt alkalmaztuk, a K_{α} és K_{β} röntgenvonalakat egy vékony Be-ablakkal ellátott CANBERRA 7333 E típusu Si(Li) félvezető detektorral mértük. Az adott mérési elrendezés abszolút hatásfokának megadásához a ^{57}Co izotóp 14,41 keV-es vonalát használtuk fel.

Az OKKFT alprogram keretében számos próbatestsorozatot sugároztunk be a VVR-SzM zónájában, a besugárzások közül a 7164 jelű tok középső fóliapozíciójában lévő fóliakészletből nyert eredményeket mutatjuk be.

A besugárzás 1982. 04. 05. 12⁰⁰ és 1982. 04. 23. 18⁰⁰ között történt, a teljes besugárzási idő 306 óra volt, a reaktor közben végig 4,4 MW teljesítménnyel üzemelt.

Az egy magra eső telítési aktivitások mért értékeiből /ld. 1. táblázat/ a neutronspektrumot az RFSP-JÜL unfolding program petteni verziójával /ld. [11]/ állítottuk elő. Az unfoldinghoz szükséges próbaspektrum a VVR-SzM zónájára készült GRACE-számítás /ld. [12]/ eredménye volt. A 3. ábrán látható a VVR-SzM 163. csatornájának középső pozíciójában mért neutronspektrum: feltüntettük a próbaspektrumot és a használt reakciók 90 %-os választartományait is. Az unfolding útján nyert neutronspektrummal számított reakciógyakoriságok az 1. táblázatban találhatóak, ugyanitt közöljük a megoldáspektrum legfontosabb jellemzőit is.

3. A 15H2MFA TARTÁLYACÉL DPA-HATÁSKERESZTMETSZETE

A tartályacél sugárkárosodási tulajdonságainak jellemzésére ma általánosan elfogadott jellemző az adott neutrontér hatására az anyagban létrejövő dpa-gyakoriság /ld. [13]/, amelyet az alábbi egyenlettel határozhatunk meg:

$$R_{\text{dpa}}(t) = \int_0^{+\infty} \phi(E,t) \sigma_d(E) dE \quad (3.1)$$

Itt $\phi(E,t) = \Phi(t)\psi(E)$ a neutronok egységnyi energiaintervallumra eső fluxussűrűsége,

$\sigma_d(E)$ pedig a dpa-hatáskeresztszmet függvény.

Időben állandó neutronfluxust feltételezve, t_i besugárzási idő alatt az anyagban a kilökődések teljes száma /egy targetatomra vonatkoztatva/:

$$N_d = \int_0^{t_i} R_{\text{dpa}}(t) dt = F \int_0^{+\infty} \psi(E) \sigma_d(E) dE \quad (3.2)$$

$$N_d = F \cdot \langle \sigma_d \rangle \quad (3.3)$$

ahol $F = \int_0^{t_i} \Phi(t) dt$, a neutronfluens;

$\psi(E)$ = a neutronok spektruma $\left\{ \int_0^{+\infty} \psi(E) dE = 1 \right\}$

$\langle \sigma_d \rangle$ = a spektrumra átlagolt dpa-hatáskeresztszmet

Az adott neutrontér spektrális eloszlását és fluensét mérve tehát jellemezhetjük a kialakult sugárkárosodást, amennyiben a $\sigma_d(E)$ függvényt ismerjük.

Az ASTM és EURATOM szabványokban /ld. pl. [13] és [14]/ acélokra közölt dpa-hatáskeresztszmetek a 15H2MFA acélra nem alkalmazhatók, mivel más összetételű anyagokra készültek. Egy ötvözet $\sigma_d(E)$ függvénye az alábbi kifejezéssel állitható elő:

$$\sigma_d(E) = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \sigma_{di}(E) \quad (3.4)$$

Itt $\sigma_{di}(E)$ - az i -ik típusú ötvözőelem dpa-hatáskeresztmetszete
 c_i - az i -ik típusú ötvözőelem aránya /atom %-ban/
 n - az ötvözőelemek száma

/A (3.4) kifejezés nyilvánvalóan csak közelítés, mivel feltételezi az egyes károsodási mechanizmusok függetlenségét/. A 15H2MFA acél gyengén ötvözött szénacél, összetétele az alábbi /ld. [1]/:

Elem	Súly %	Atom %	Atom % a számításban
Fe	95,39	94,90	95,33
Cr	3,10 \pm 0,1	3,31	3,31
V	0,28 \pm 0,02	0,31	0,31
Mo	0,68 \pm 0,07	0,40	0,40
C	0,14	0,65	0,65
Mn	0,39 \pm 0,01	0,40	-
S	0,02	0,03	-

Az ötvözet átlagos mólsúlya $M = 55,565$, átlagos sűrűsége pedig $7,82 \text{ g/cm}^3$.

Az Fe, Cr, V, Mo és C elemek $\sigma_d(E)$ függvényei megtalálhatók a DAMSIG81 [15] könyvtárban, 10^{-10} MeV és 20 MeV között 640 csoportban tabellázva. A 0,4 atom %-al szereplő mangánt a számításokban vassal helyettesítettük /dpa-hatáskeresztmetszete még nem áll rendelkezésre/, ezáltal nem követtünk el számottevő hibát.

A reaktorfizikai alkalmazásokban elegendő 10^{-10} MeV - 18 MeV tartományban, a 620 SAND-II csoportbeosztásban elvégzett számítás eredményét mutatja a 4. ábra, a numerikus értékeket az 5. táblázat tartalmazza. A táblázatbeli energiák az adott csoport alsó határát jelentik, a hatáskeresztmetszet pedig a csoportra átlagolt

$$\sigma_i = \frac{1}{E_{i+1} - E_i} \int_{E_i}^{E_{i+1}} \sigma_d(E) dE \quad (i=1,2,\dots,620) \quad (3.5)$$

értéket jelöli. Az egyes dpa-hatáskeresztmetszeteket összehasonlítjuk egy

$$\chi(E) = 0,484 \sinh(\sqrt{2E}) e^{-E} \quad [E] = \text{MeV} \quad (3.6)$$

Watt-típusú ^{235}U -hasadási spektrumra vett átlaggal, a numerikus értékek az alábbiak:

ASTM E693-79 szabvány: 861,3 barn [15]

EURATOM szabvány: 840,7 barn [15]

15H2MFA : 828,5 barn

A 15H2MFA acél un. válaszfüggvényét ábrázolja az 5. ábra a VVR-SzM 163. csatornájában. A j-ik energiacsoport járuléka az R_{dpa} dpa-gyakorisághoz ugyanis

$$R_j = \int_{E_j}^{E_{j+1}} \sigma(E) \phi(E) dE = \sigma_j \cdot \Phi_j \quad (3.7)$$

alakba írható (σ_j definícióját ld. a (3.5) egyenletben, Φ_j pedig a csoport integrális fluxusa).

Az R_j / $j=1,2,\dots,n$ / csoportonként megadott mennyiségek alkotják a válaszfüggvényt. Számításaink szerint $E_L \approx 140$ keV és $E_U \approx 6,8$ MeV, azaz a károsodás szempontjából az acél "küszöbdetektorként" működik / $E_0 = 10$ keV felett van a válasz 99 %-a/. A termikus neutronok járuléka igen kicsi /gyakorlatilag elhanyagolható/, az általuk keltett kilökődések száma nagyságrendekkel kisebb a gyorsneutronokénál.

4. SABINE-3 SZÁMITÁSOK A VVER-440 BLOKKRA

A paksi VVER-440 I. blokk zónáját körülvevő rétegekben kialakuló neutronfluxus-viszonyok meghatározására a SABINE-3 /ld. [16]/ programmal végeztünk számításokat. A SABINE-3 eredetileg biológiai védelmi számítások végzésére készült egydimenziós kód, amely a gyorsneutronok behatolását az egyes rétegekbe a "removal-diffúziós" modell alapján adja meg. A modell lényegében egy olyan diffúziós egyenletet old meg az egyes rétegekben, amelynek forrástagját az adott helyen "removal" típusú ütközésekben lelassult neutronok jelentik. /Egy ütközés "removal" típusú, ha a neutron energiáját, impulzusát erősen megváltoztatja - pl. rugalmas ütközés egy könnyű magon, rugalmatlan ütközés, abszorpció./ A program 0 és 15 MeV között 26 energiacsoportban /ld. 2., 3. és 4. táblázatok/ adja meg a neutronfluxust, a zónát egy ^{235}U -hasadási forrásként fogja fel. A zónában a hasadási forrássűrűség-eloszlást

$$n(r, z, \varphi) = n_0 f(r) g(z) \quad (4.1)$$

alakban vehetjük fel,

ahol n_0 a hasadási forrássűrűség a zóna közepén,

$f(r)$ és $g(z)$ a radiális és axiális eloszlások.

Az n_0 tényező értéke az

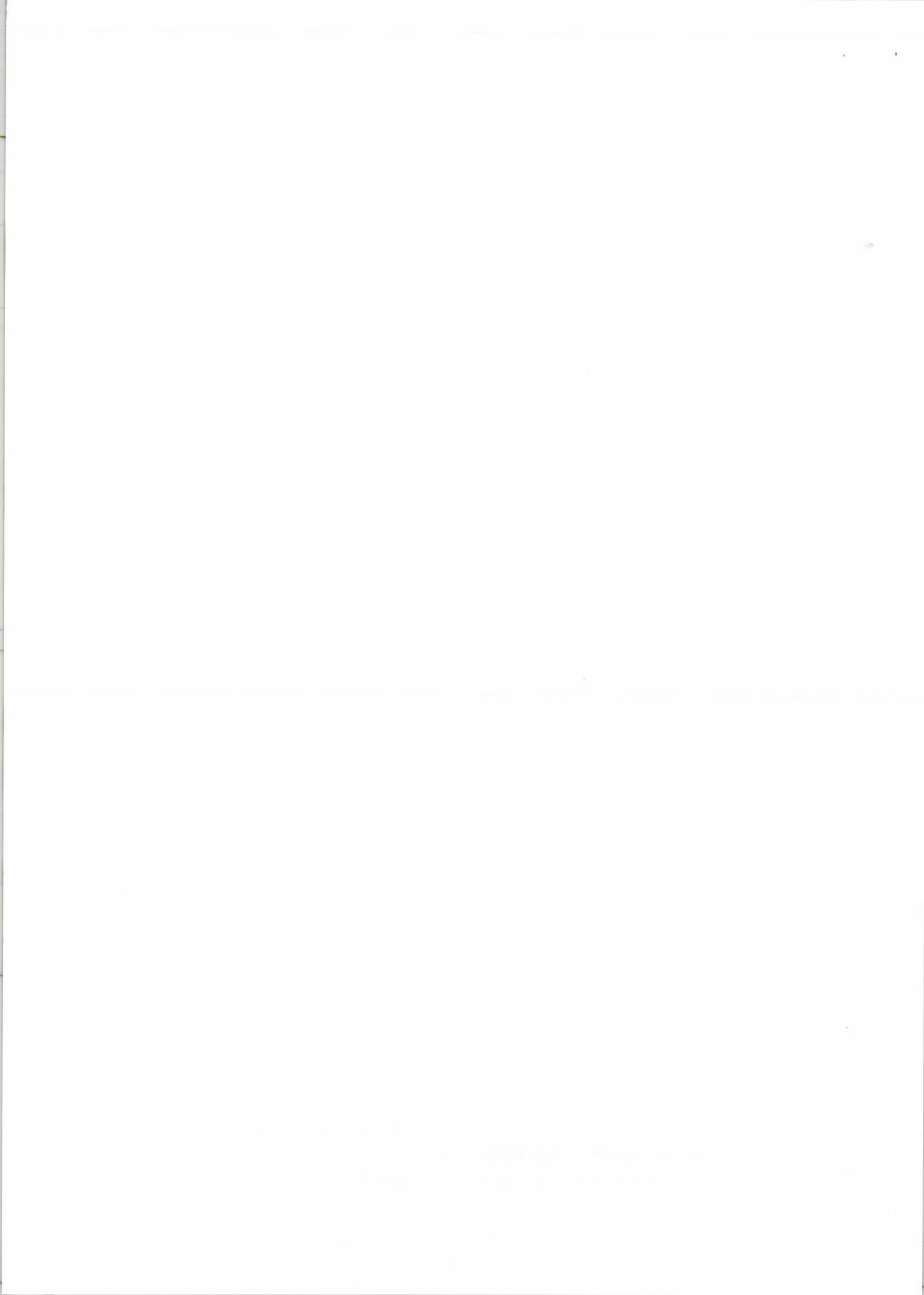
$$\int_0^R \int_0^{\frac{H}{2}} \int_0^{2\pi} n(r, z, \varphi) dz dr d\varphi = N \quad (4.2)$$

feltételből nyerhető, ahol N a hasadások teljes száma időegységenként a zónában, az adott P teljesítményen.

$$N = \frac{nP}{E_0} = \langle n \rangle \cdot V \quad (4.3)$$

ahol $E_0 = 200 \text{ MeV} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$, a hasadásonként átlagosan felszabaduló energia,

P a zóna termikus teljesítménye /Watt/,



$\eta = 0,94$ /a teljesítmény 94 %-a származik a hasadásból/,
<n> az átlagos hasadási forrássűrűség a zónában,
V a zóna térfogata.

Vegyük fel a radiális eloszlást

$$f(r) = J_0(B_R \cdot r) \quad (4.4)$$

az axiális eloszlás pedig

$$g(z) = \cos(B_z \cdot z) \quad (4.5)$$

alakban, ahol $B_R = \frac{2,4048}{R+\lambda_R}$ a radiális görbületi paraméter /R:
a zóna sugara, λ_R : a radiális extrapolációs távolság/

$$B_z = \frac{\pi}{H+2\lambda_z}$$

az axiális görbületi paraméter
/H: a zóna teljes magassága,
 λ_z : az axiális extrapolációs tá-
volság/

Bevezetve az

$$F_g = \frac{4}{(B_z H) (B_R R)} \sin\left(\frac{B_z H}{2}\right) J_1(B_R R) \quad (4.6)$$

un. geometriai tényezőt / J_1 : elsőrendű Bessel-függvény/ az

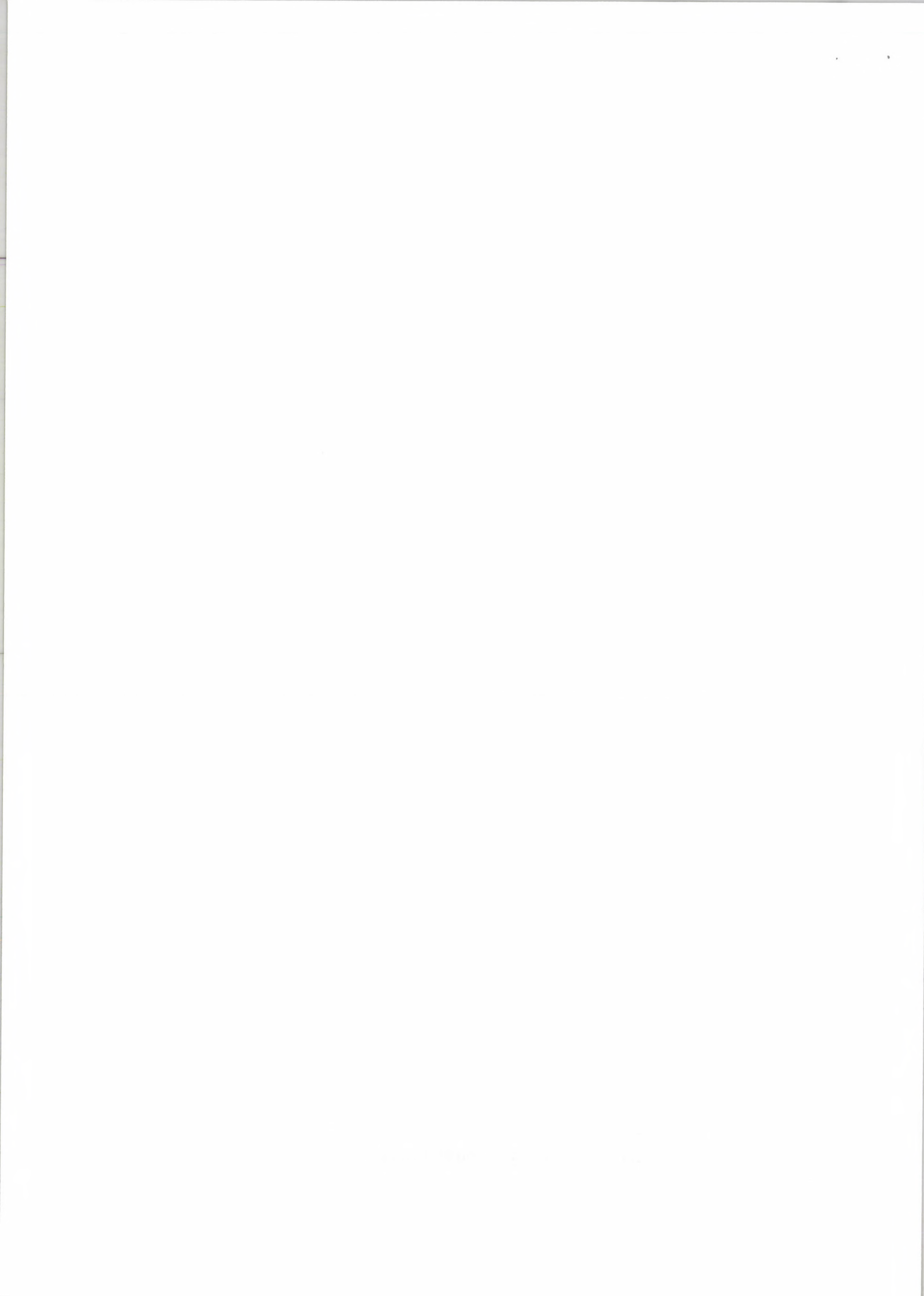
$$n_0 = \frac{N}{V} \cdot \frac{1}{F_g} = \langle n \rangle \frac{1}{F_g} \quad (4.7)$$

alakhoz jutunk /ld. (4.3) egyenlet/.

Számításainkban többféle forrássűrűség-eloszlást használtunk
/homogén eloszlás, BIPR-5 számításból nyert eloszlás, ld. [3]/,
az alábbiakban a fenti $J_0(B_R R)$ és $\cos(B_z z)$ függvényekkel történő
közelítést tárgyaljuk, hengergeometriában számolva.

A számítás input adatai

R = 144 cm, a zóna ekvivalens sugara
 $\lambda_R = 9,12$ cm; $B_R = 1,5705 \cdot 10^{-2}$ 1/cm
H = 242 cm, a zóna magassága



$$2\lambda_z = 18,63 \text{ cm}; \quad B_z = 1,2054 \cdot 10^{-2} \text{ 1/cm}$$

$$B^2 = B_z^2 + B_R^2 = 3,9194 \cdot 10^{-4} \text{ 1/cm}^2$$

$$F_g = 0,3035$$

$$\langle n \rangle = 2,562 \cdot 10^{12} \frac{\text{hasadás}}{\text{cm}^3 \text{ sec}} \quad (P = 1375 \text{ MW mellett})$$

$$n_0 = 8,442 \cdot 10^{12} \frac{\text{hasadás}}{\text{cm}^3 \text{ sec}}$$

A zóna körül elhelyezkedő árnyékoló rétegek

Réteg	Anyag	Vastagság [cm]	Hőmérséklet [°C]	Sűrűség [g/cm ³]
1.	viz	5,0 <i>HEXANN</i>	295	0,73
2.	reaktorkosár*	3,0 <i>3,5</i>	295	7,9
3.	viz	1,5 <i>1,5</i>	290	0,74
4.	reaktorakna*	9,5 <i>6,0</i>	280	7,9
5.	viz	12,1 <i>15,6</i>	265	0,79
6.	plattirozás*	0,9 <i>0,9</i>	264	7,9
7.	reaktortartály**	14,0 <i>14,0</i>	260	7,8
8.	levegő	31,0	60	0,00129
9.	nehézbeton	100,0	100	2,5

* 08H18N10T rozsdamentes acél

** 15H2MFA acél

A zónabeli viz bórsavkoncentrációja 3,5 g/liter volt, induló zónát feltételeztünk, a próbatestláncok az akna külső felületek, az aknától 1 cm-re helyezkednek el.

A 6. ábrán a neutronfluxus eloszlását láthatjuk az egyes rétegekben, külön feltüntetve a tartálykárosodás szempontjából lényeges 0,1 MeV feletti gyors fluxust. A 2., 3. és 4. táblázatok a 26 SABINE-3 csoportban közlik a neutronfluxust a próbatestek helyén, a tartály belső felületén ϕT , illetve a falvastagság egynegyedénél $1/4 T$.

A 15H2MFA tartályacél dpa-hatáskeresztmetszetének ismeretében /ld. 3. fejezet/ megadhatjuk a dpa-gyakoriság alakulását a tartályfalban /ld. 7. ábra/. A számításokból megállapítható a próbatestek helye és a tartályfal belső széle közötti átszámítási tényező értéke:

1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900

$$LF_{\Phi} = \frac{\Phi_S(E > 0,1 \text{ MeV})}{\Phi_{PV}(E > 0,1 \text{ MeV})} = 11,8 \quad (4.8)$$

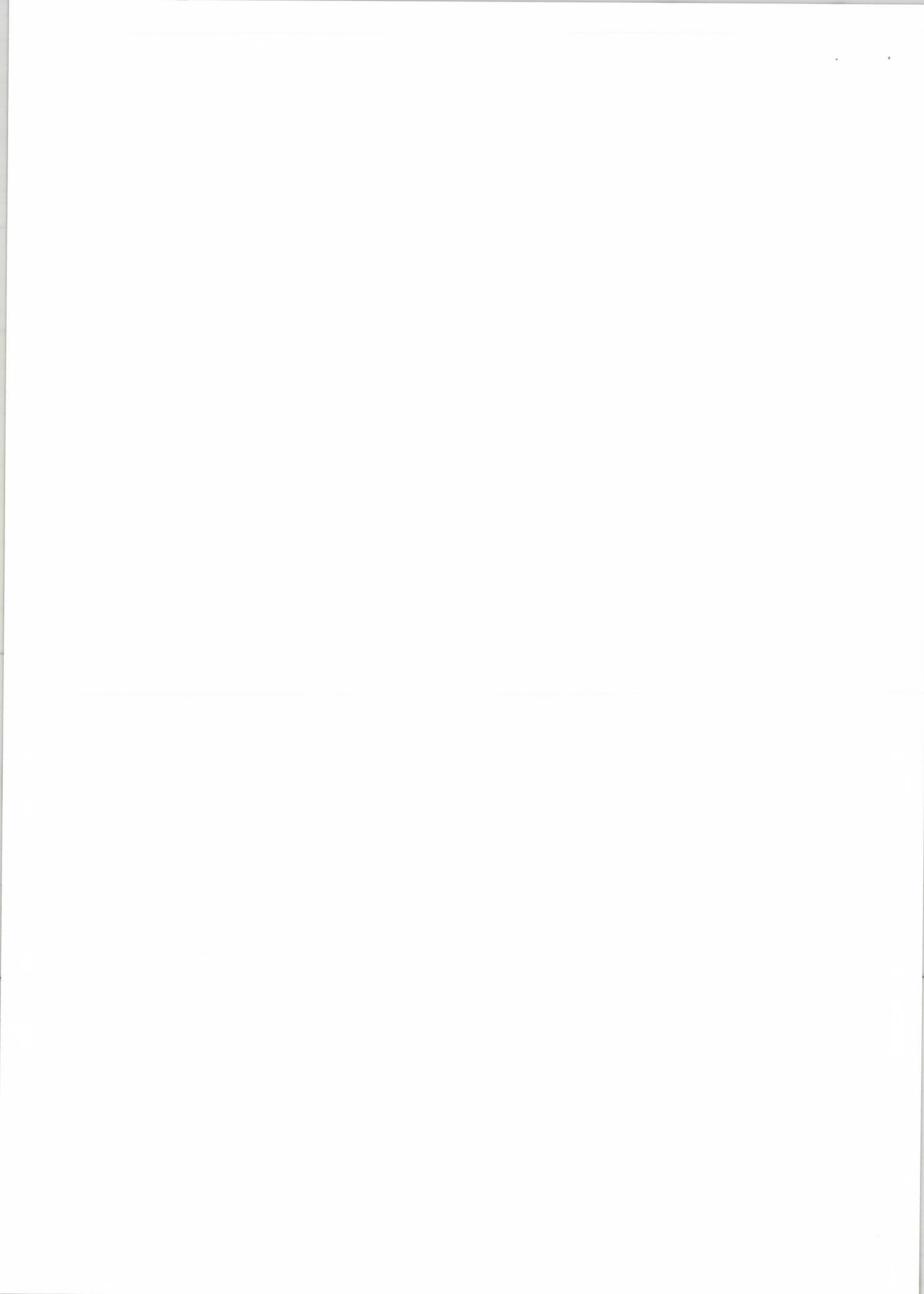
ahol Φ_S és Φ_{PV} a próbatestek helyén, illetve a tartályfal belső felületén lévő fluxusok.

Hasonlóan definiálható a dpa-gyakoriságok közötti átszámítási tényező is:

$$L_{\text{dpa}} = \frac{R_{\text{dpa}}^S}{R_{\text{dpa}}^{PV}} = 9,8 \quad (4.9)$$

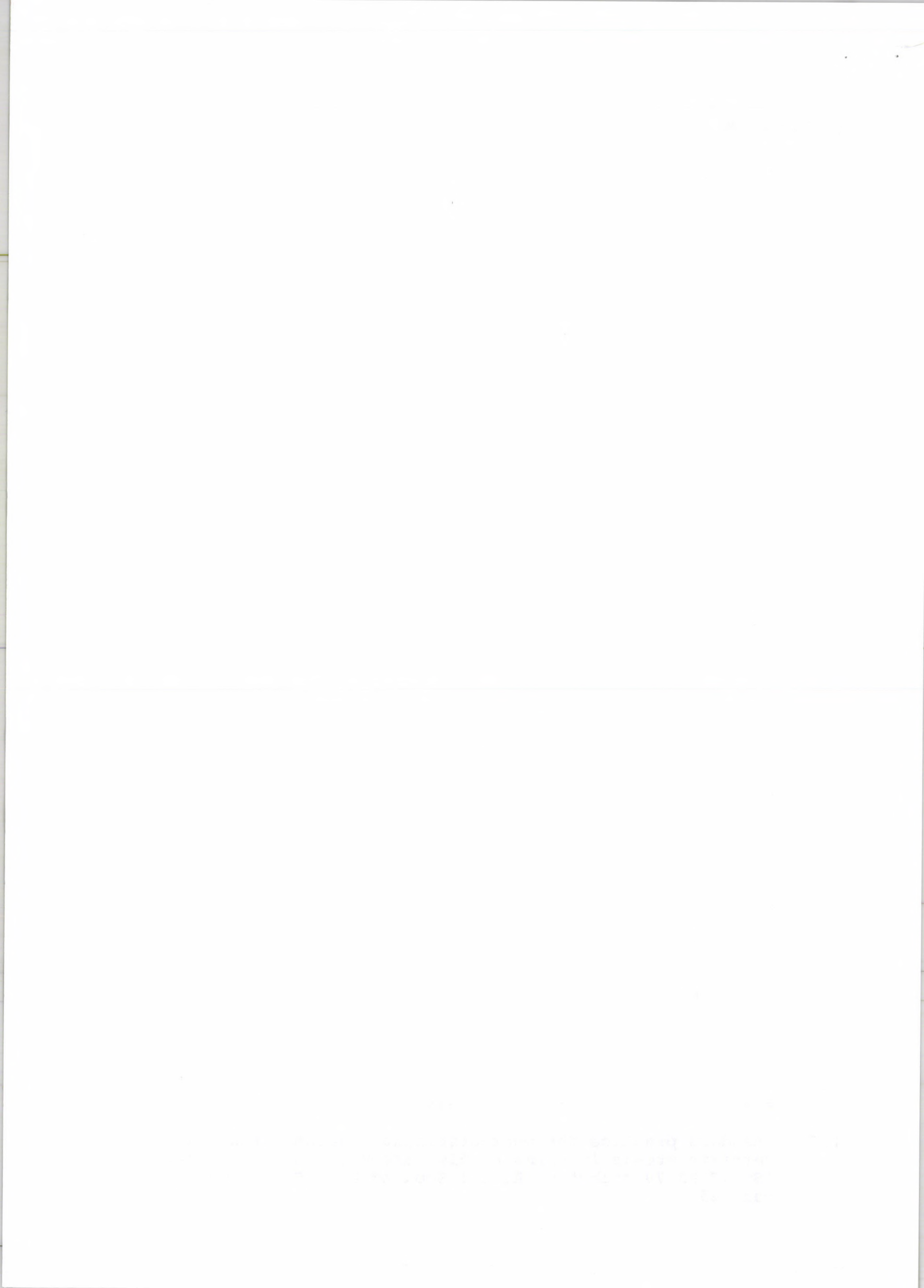
Az irodalomban mindkét átszámítási tényező használatos, az L_{dpa} jobban tükrözi a spektrum megváltozásából adódó effektusokat.

A VVR-SzM-beli fluxusmérések és a SABINE-3 számítások összevetését tartalmazza a 6. összefoglaló táblázat.

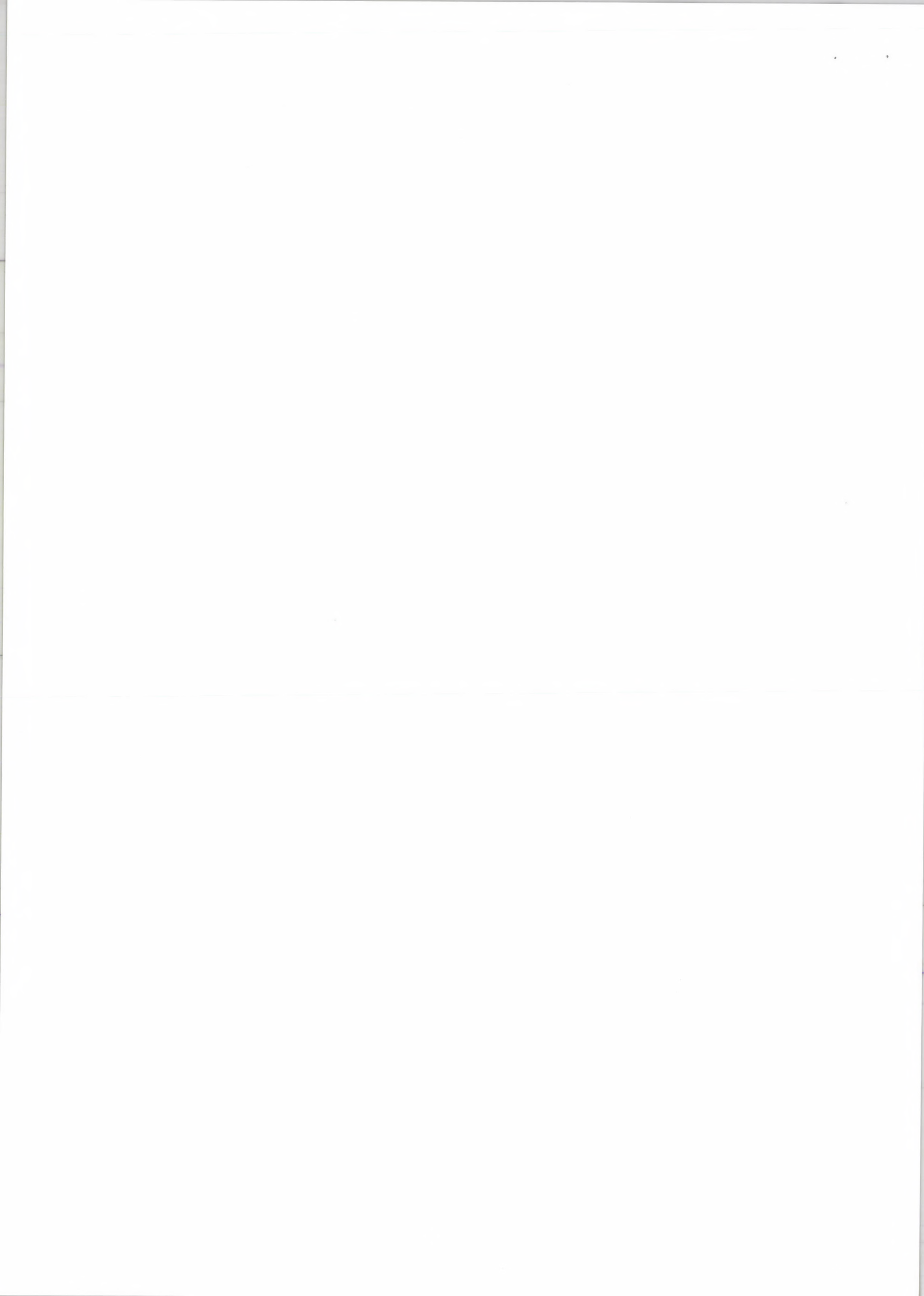


5. IRODALOM

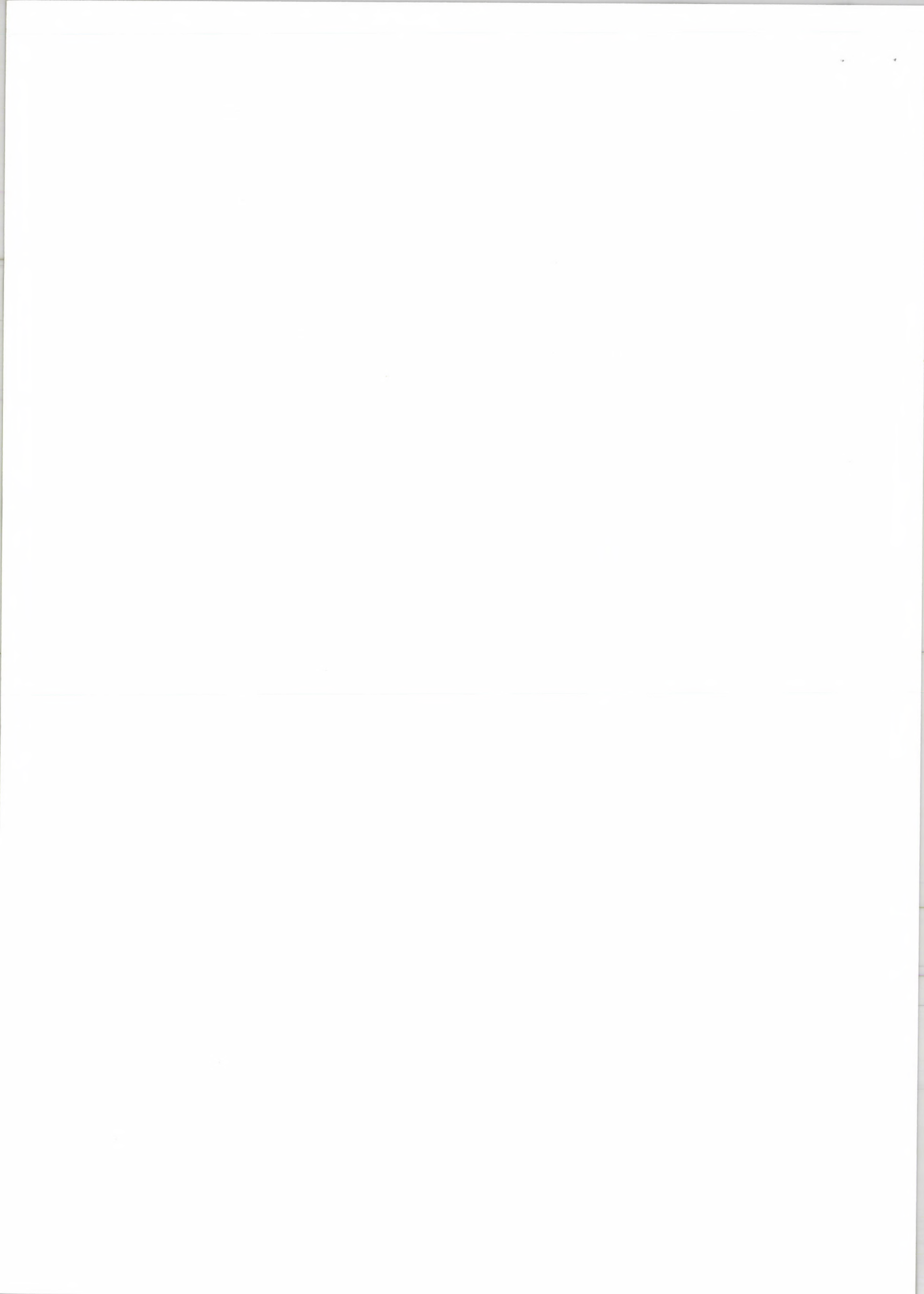
- [1] Gillemot Ferenc, Kapitány András, Végh János:
"Neutronsugárzás hatása a 15H2MFA jelű acél tulajdon-
ságaira"
Kutatási jelentés a 8-2-1146/78-80 VASKUT-KFKI
szerződés teljesítéséről
- [2] J. Hógel, R. Vespalec: The determination of fast
neutron fluence in radiation stability tests of steel
samples,
Report ZJE-237 /1979/
- [3] Végh János: A neutronspektrumok meghatározásának gyakor-
lati alkalmazásai atomreaktorokban,
Egyetemi doktori értekezés, Budapest, 1982.
- [4] J.T. Routti, J.V. Sandberg: Unfolding techniques for
activation detector analysis,
Report TKK-F-A358 /1978/
- [5] A. Fischer: RFSP-JÜL, A programme for unfolding neutron
spectra from activation data,
Report JÜL-1475 /1977/
- [6] M. Brumovský, B. Ošmera, V. Valenta: Effect of uncertain-
ties in neutron spectra and fluences determination on
the WWER pressure vessel lifetime prediction, IAEA
Advisory Group Meeting on Nuclear Data ...
1981, IAEA Tecdoc-263 /1982/
- [7] F. Adorján: CAMON: A nuclear laboratory data acquisition
and service program, Version 01,
Description and User's Manual
- [8] Z. Szatmáry: Data evaluation problems in reactor physics,
theory of program RFIT,
Report KFKI-77-43
- [9] V.P. Wille: Messung der Aktivität des Niob 93 m zur
Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen
Leistungsreaktoren,
Atomkernenergie, Vol. 29 /1977/, No 2.
- [10] H. Tourwé, N. Maene: Fast neutron fluence measurements
with the $^{93}\text{Nb}(n,n')^{93}\text{Nb}^m$ reaction and the application to
long term irradiations,
Report EUR 6813, Vol. II.
- [11] A. Fischer: The Petten version of the RFSP-JÜL program,
R.M.G. Note 76/10, Petten /1976/
- [12] Z. Szatmáry, J. Valkó: GRACE: A multigroup fast neutron
spectrum code, Report KFKI-70-14
- [13] Standard practice for characterizing neutron exposures in
ferritic steels in terms of displacements per atom /dpa/,
ASTM E693-79 szabvány, Annual Book of ASTM Standards,
Part 45.

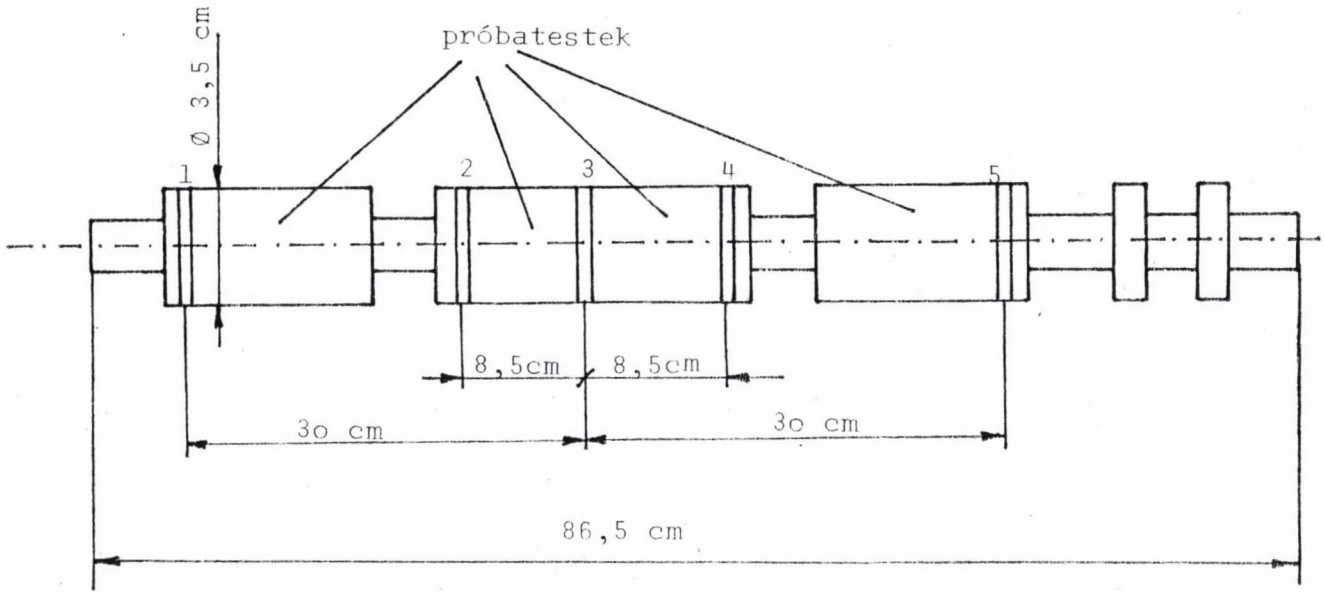


- [14] A. Alberman, et al.: Introduction of neutron metrology for reactor radiation damage, Report, EUR 6182 EN /1978/
- [15] W.L. Zijp, H.J. Nolthenius, H.CH. Rieffe: Damage Cross-section Library DAMSIG 81, Report, ECN-104, Petten /1981/
- [16] C. Ponti, R. Van Heusden: SABINE-3: An improved version of the shielding code SABINE, Report, EUR 5159 /1974/



6. ÁBRÁK, TÁBLÁZATOK

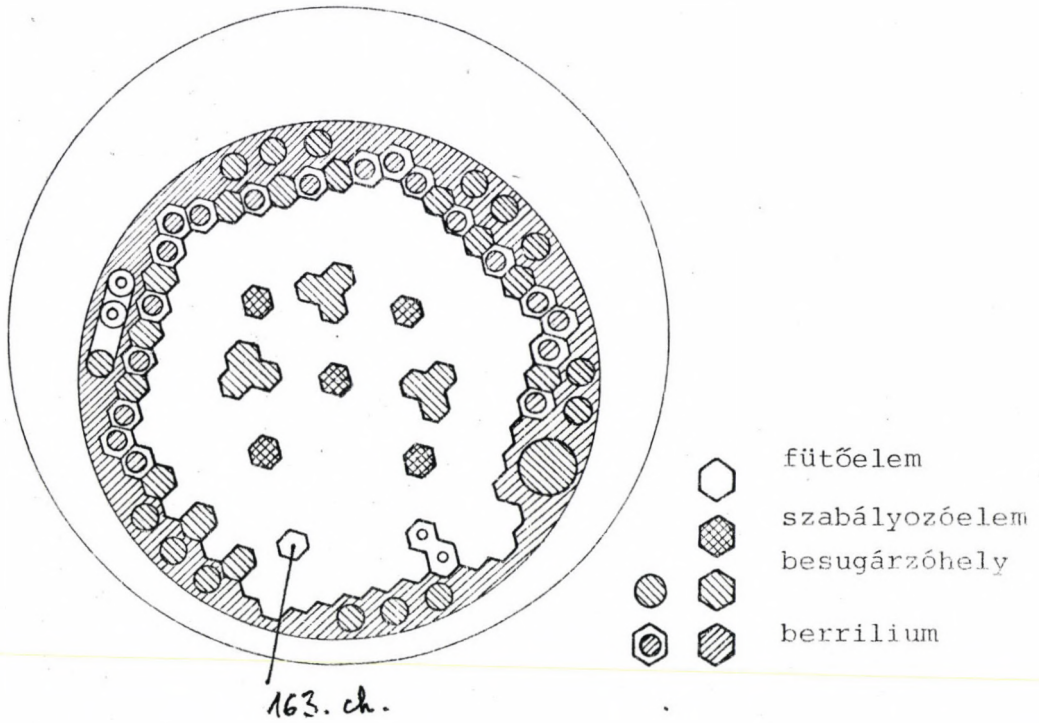




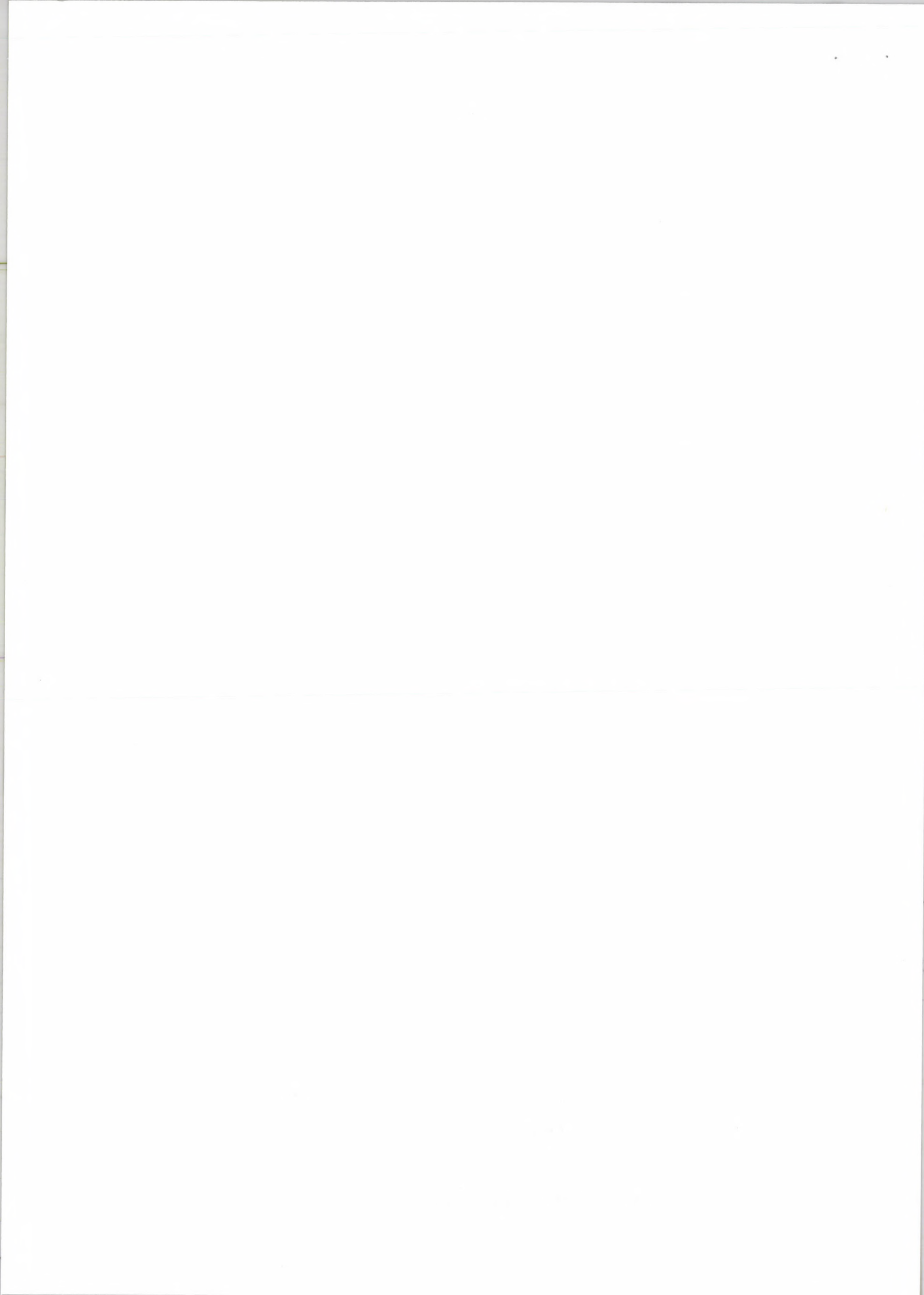
a zóna felső
része

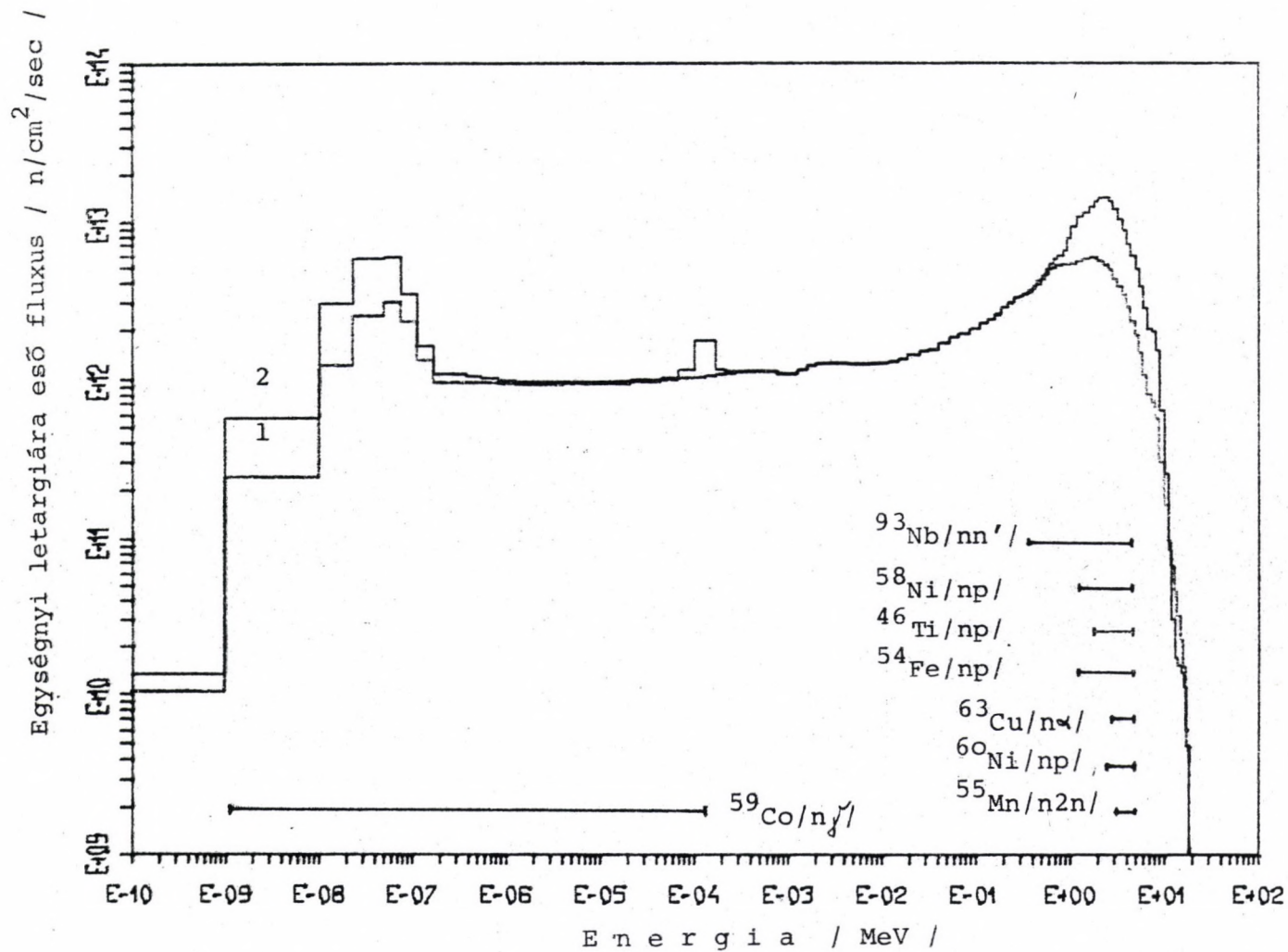
a zóna alsó
része

1. ábra A VVR-SzM-ben használt besugárzó tok
sematikus képe
1,2,3,4,5: fóliapozíciók

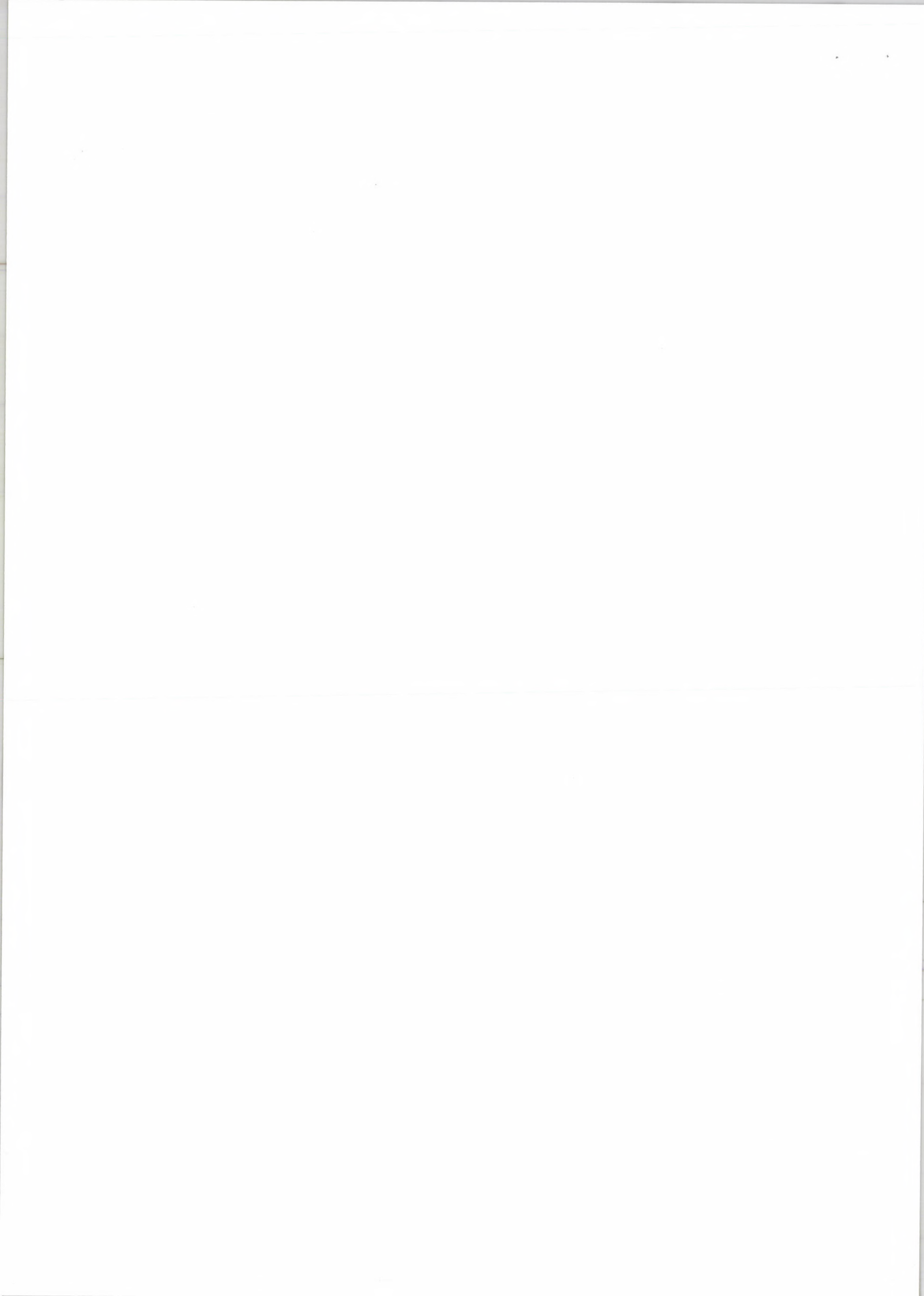


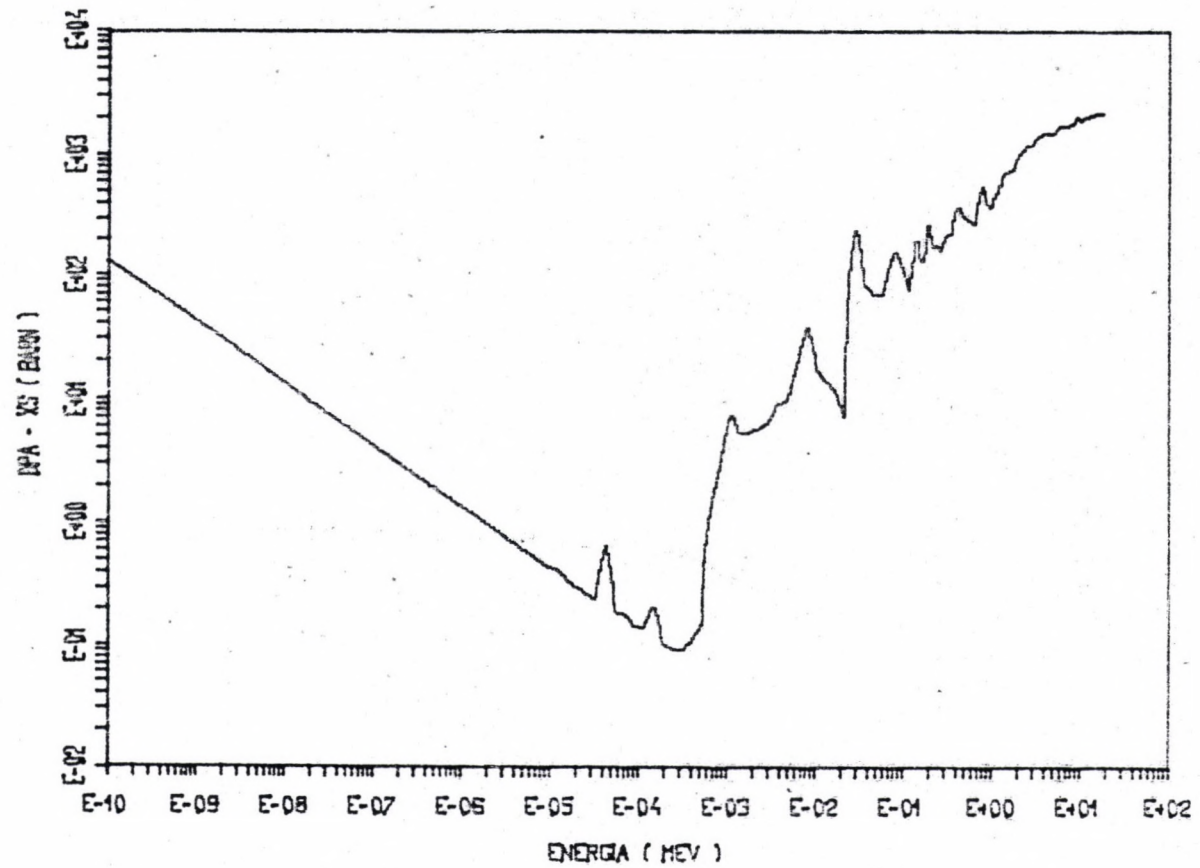
2. ábra A VVR-SzM zónatérképe



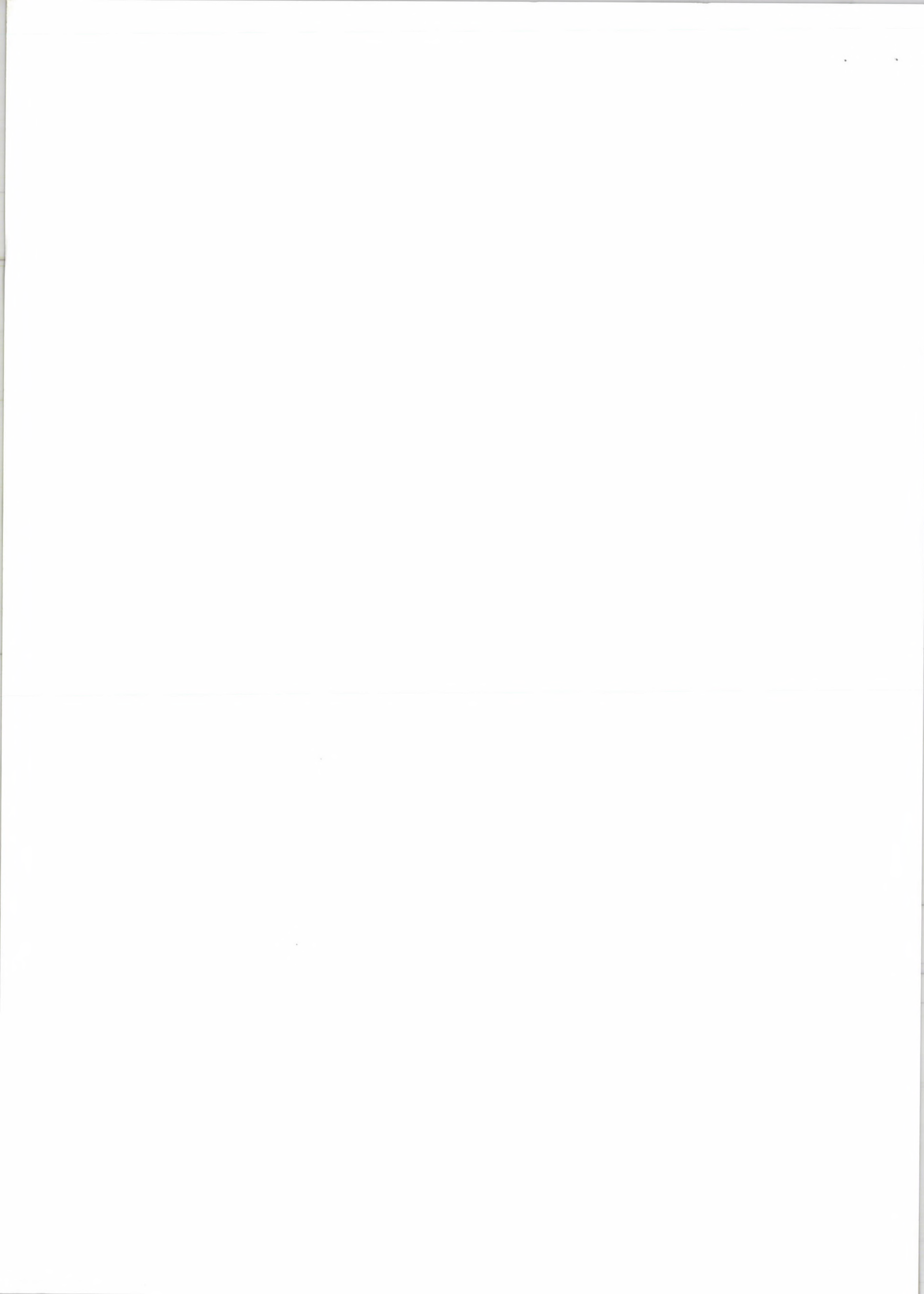


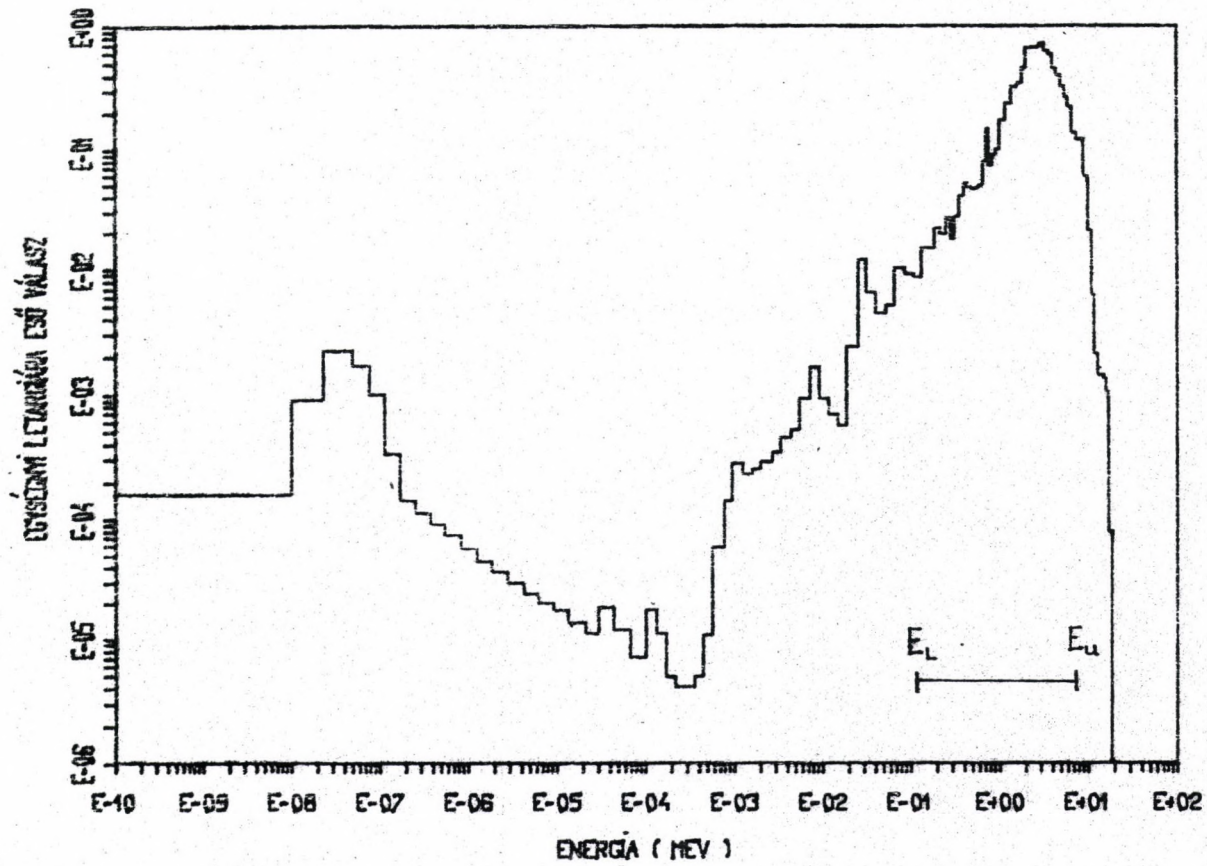
3.ábra Az unfolding számítás eredménye a VVR-SzM 163.csatornájára
 1 - próbaspektrum 2 - megoldásspektrum





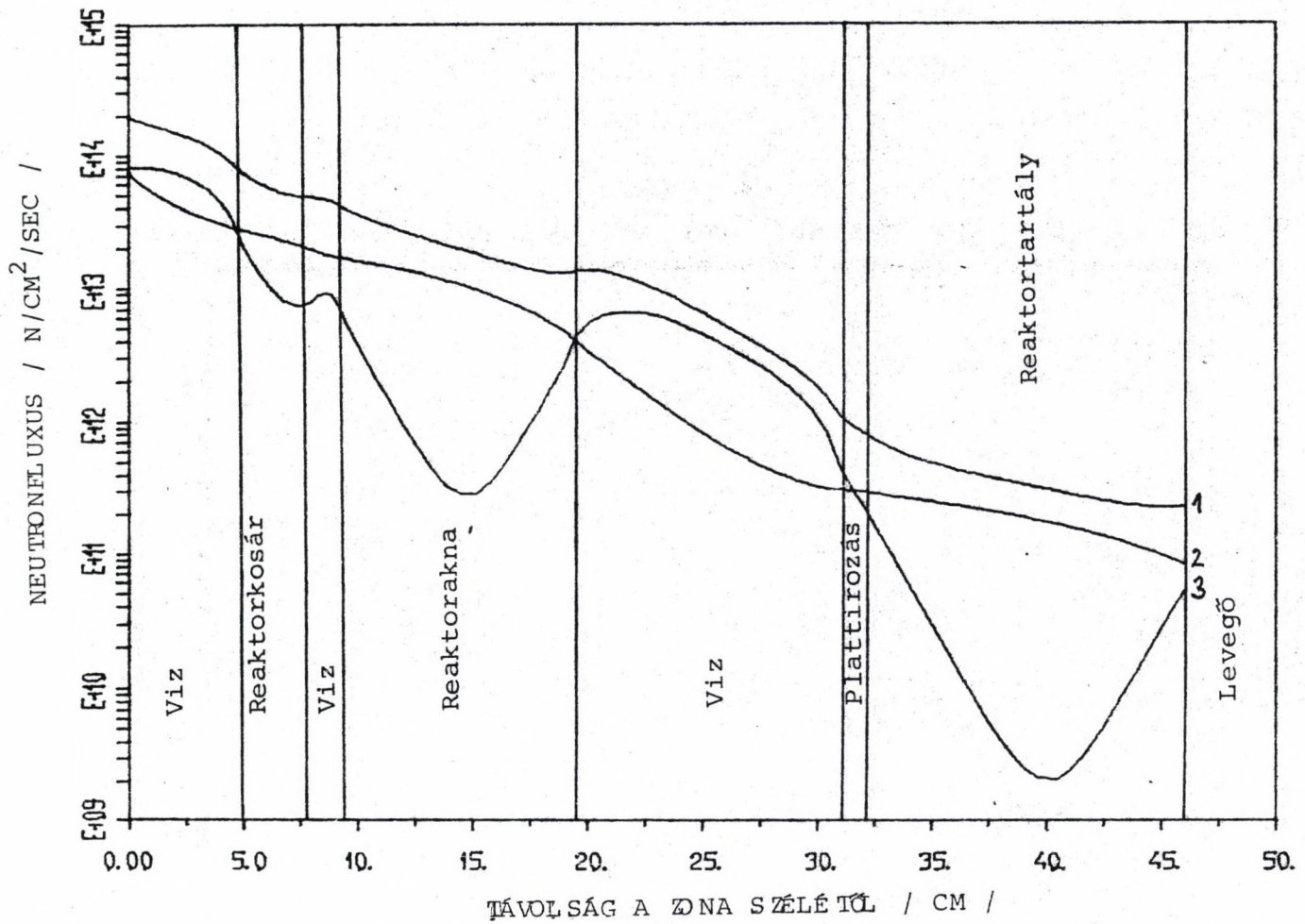
4 . ábra A 15H2MFA tartályacél dpa-hatáskeresztmetszet függvénye
/ számítás a DAMSIG81 alapján /





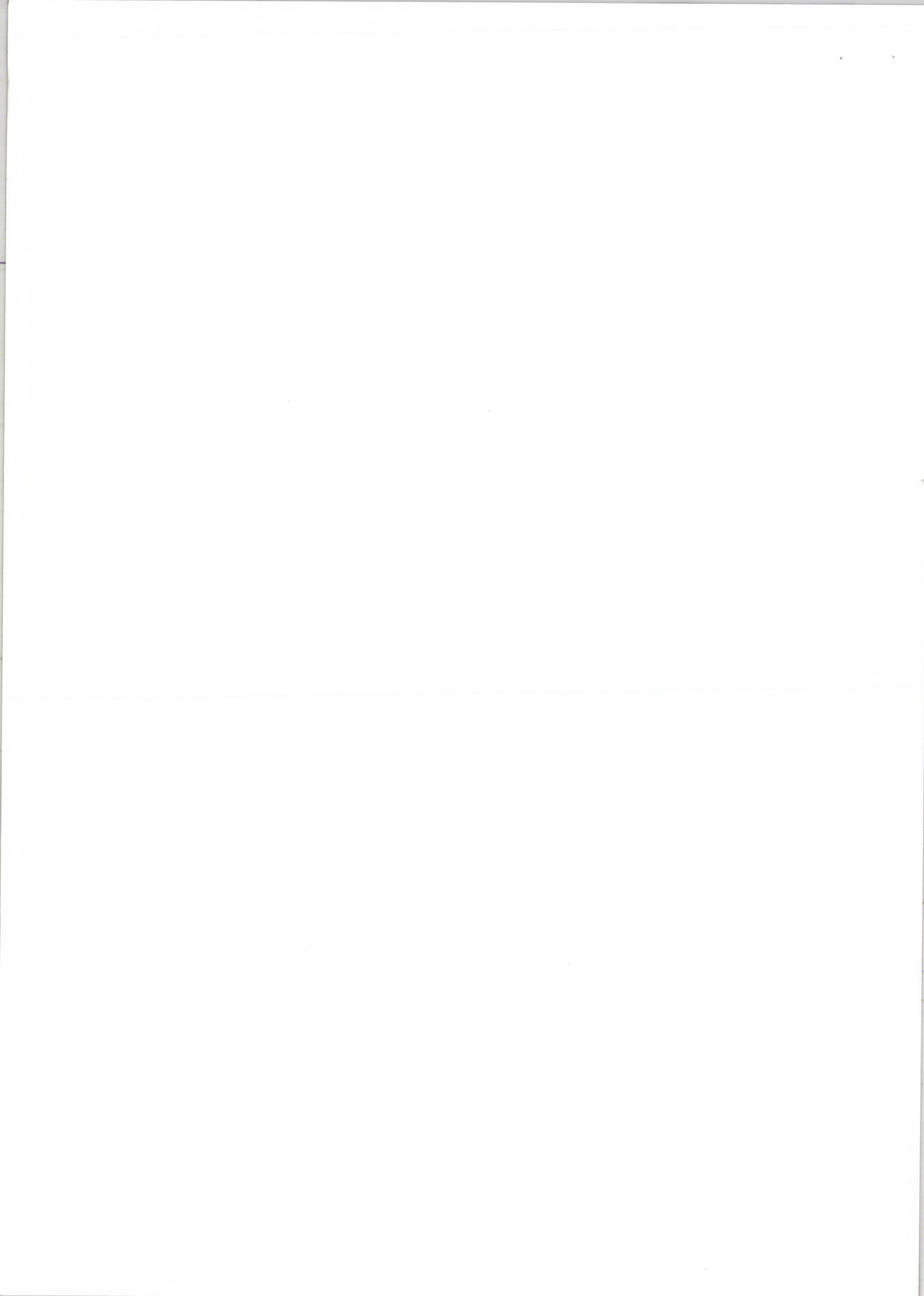
5 . ábra A 15H2MFA acél válaszfüggvénye a VVR-SzM 163. csatornájában
 / az $E_L < E < E_U$ energiaintervallumra esik a válasz 90%-a /

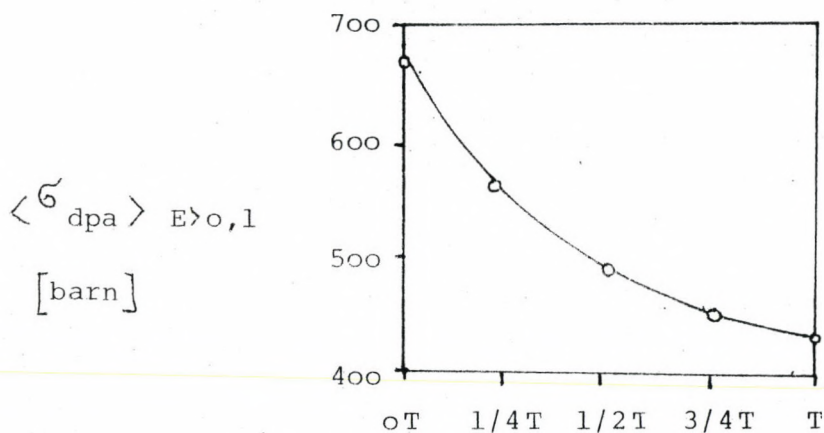
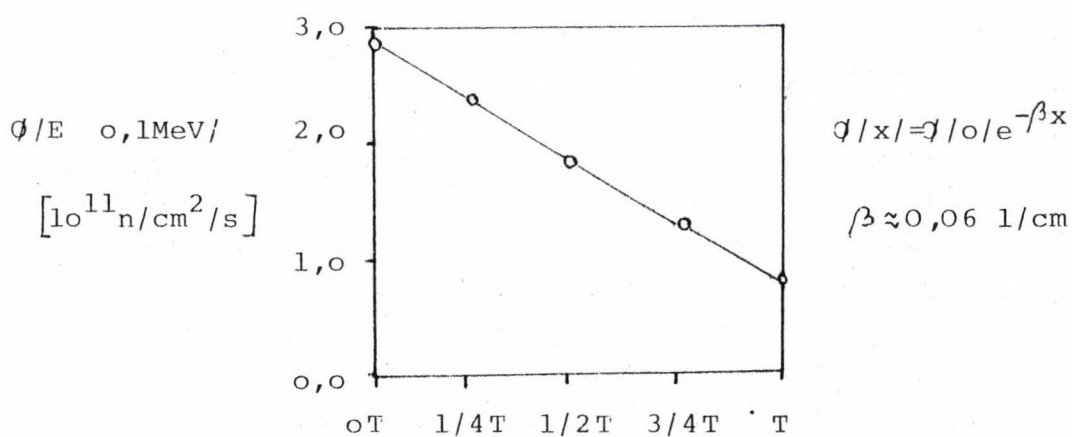
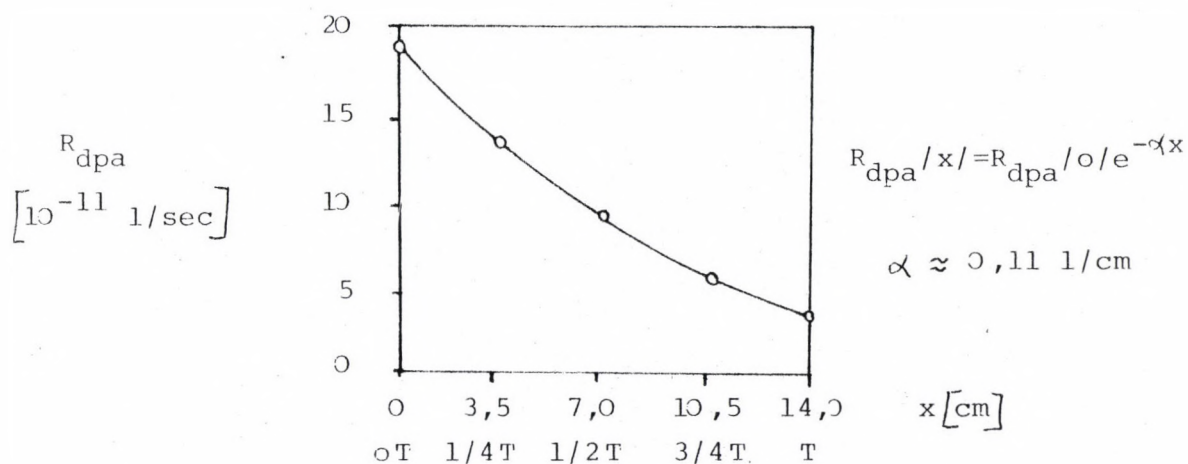




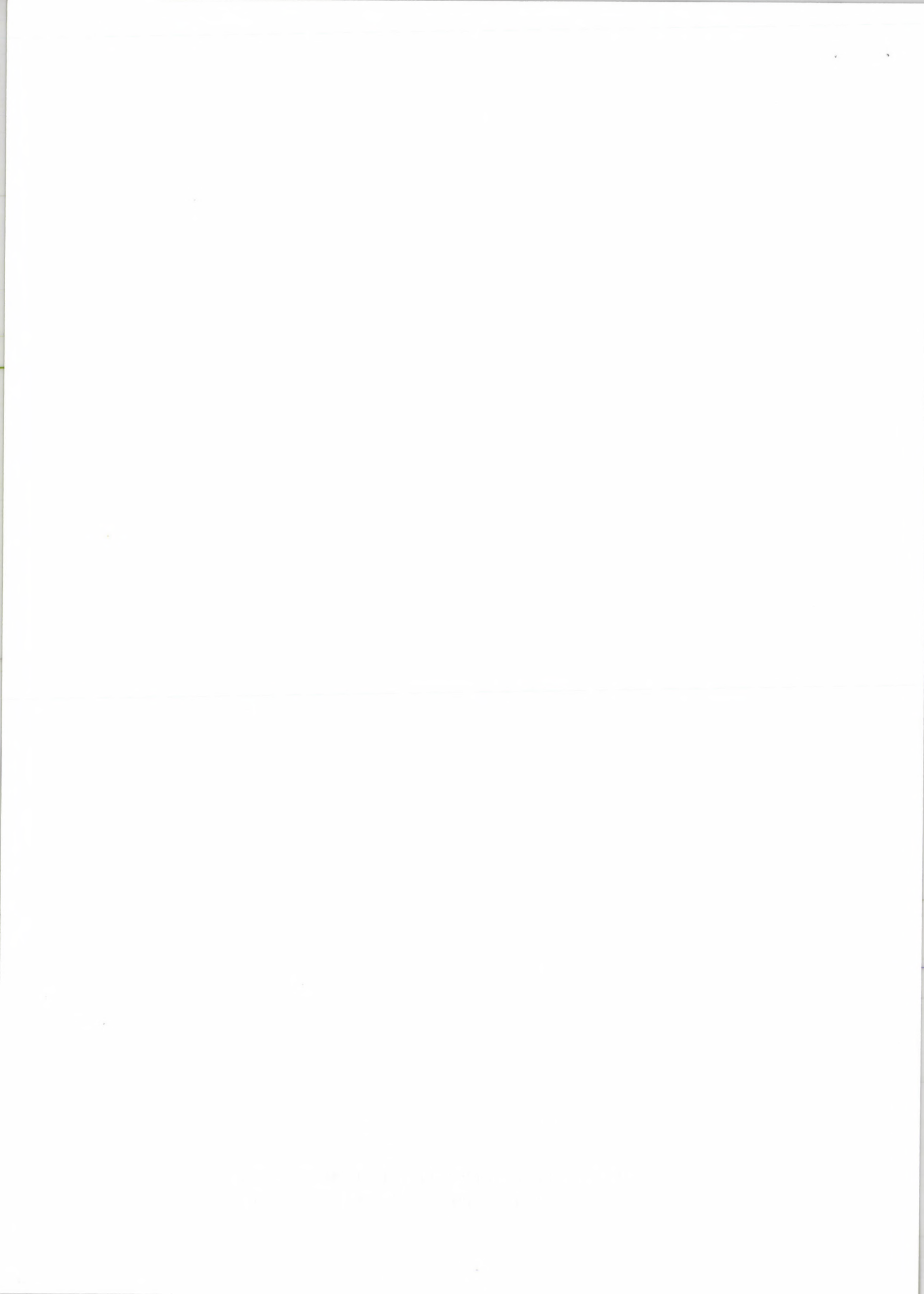
6. ábra A neutronfluxus eloszlása a zónát körülvevő rétegekben

/ SABINE-3 számítás / 1- totális fluxus
 2- gyorsfluxus / $0,1 \text{ MeV} < E < 15 \text{ MeV}$ /
 3- termikus fluxus / $0,0 \text{ eV} < E < 0,2 \text{ eV}$ /





7. ábra A sugárkárosodási indexek változása a tartályfalban / SABINE-3 számítás /



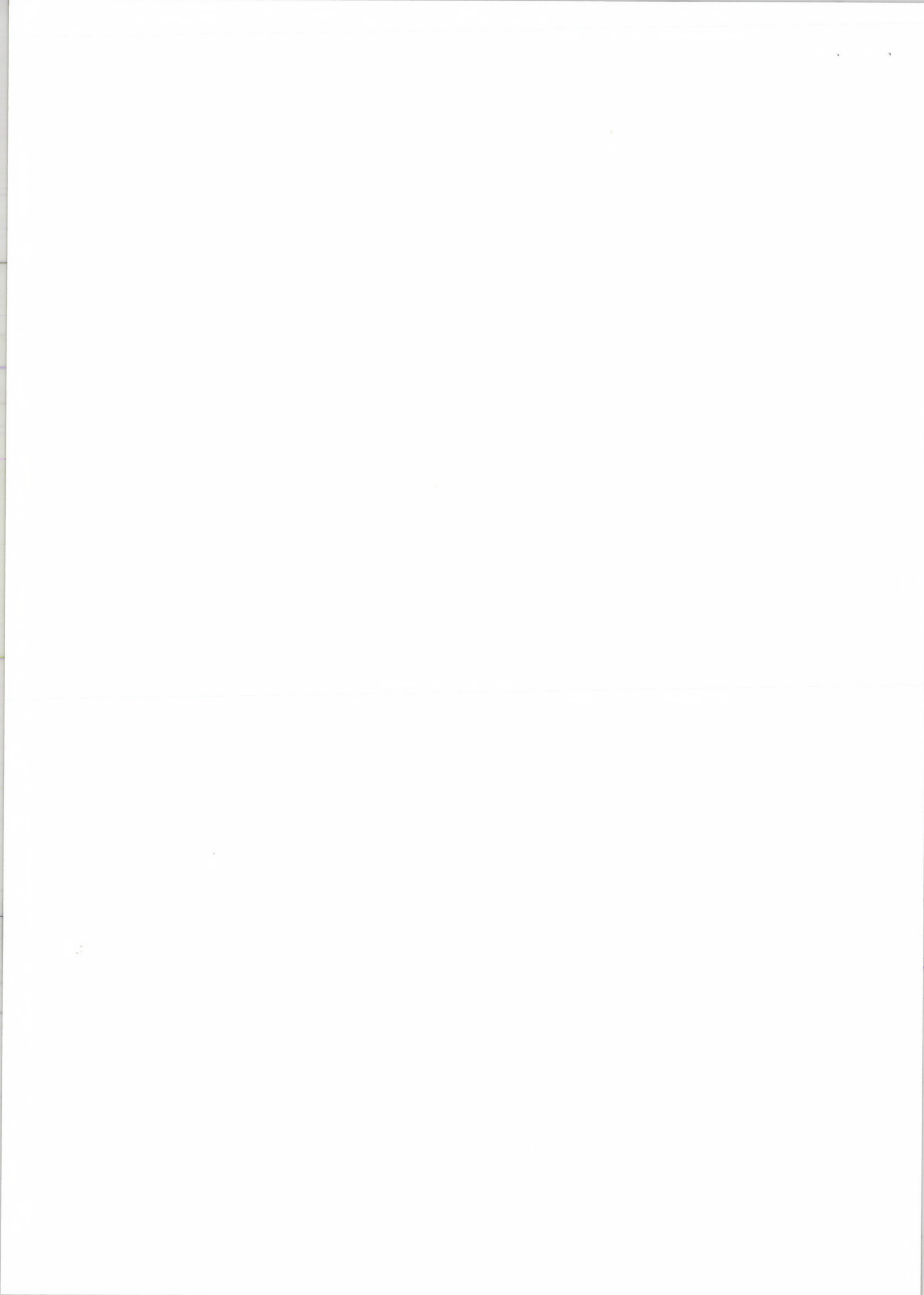
1. Táblázat

A VVR-SzM 163. csatornára végzett unfolding
számítás bemenő és számított adatai

Reakció	$R_m \left[\frac{\text{dps}}{\text{nucl}} \right]$	$R_c \left[\frac{\text{dps}}{\text{nucl}} \right]$
$^{93}\text{Nb}(n, n')$	$4,8862 \cdot 10^{-12}$	$4,5599 \cdot 10^{-12}$
$^{55}\text{Mn}(n, 2n)$	$5,4327 \cdot 10^{-15}$	$5,4327 \cdot 10^{-15}$
$^{59}\text{Co}(n, \gamma)$	$6,2752 \cdot 10^{-10}$	$6,2736 \cdot 10^{-10}$
$^{46}\text{Ti}(n, p)$	$3,5909 \cdot 10^{-13}$	$3,4475 \cdot 10^{-13}$
$^{54}\text{Fe}(n, p)$	$2,5867 \cdot 10^{-12}$	$2,3477 \cdot 10^{-12}$
$^{58}\text{Ni}(n, p)$	$2,6644 \cdot 10^{-12}$	$3,0423 \cdot 10^{-12}$
$^{60}\text{Ni}(n, p)$	$9,1440 \cdot 10^{-14}$	$9,0945 \cdot 10^{-14}$
$^{63}\text{Cu}(n, \alpha)$	$1,9763 \cdot 10^{-14}$	$1,9934 \cdot 10^{-14}$
$^{58}\text{Fe}(n, \gamma)^*$	$2,6387 \cdot 10^{-11}$	-
R_{dpa}^{**}	-	$2,4307 \cdot 10^{-8}$

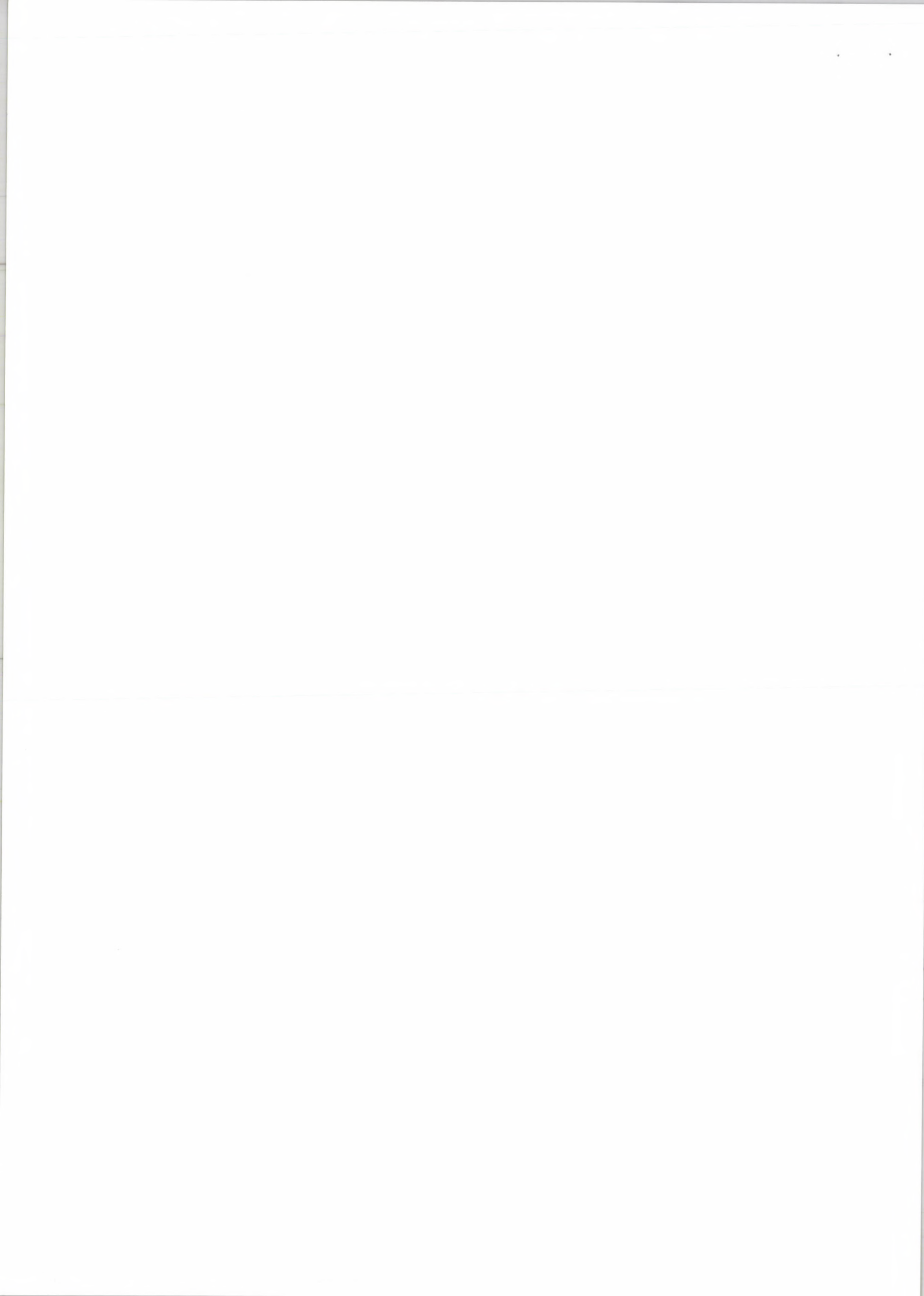
* a többi reakciónak ellentmondó érték, az unfolding számításból kihagyva

** dpa-gyakoriság a 15H2MFA acélra



A megoldásspektrum jellemzői:

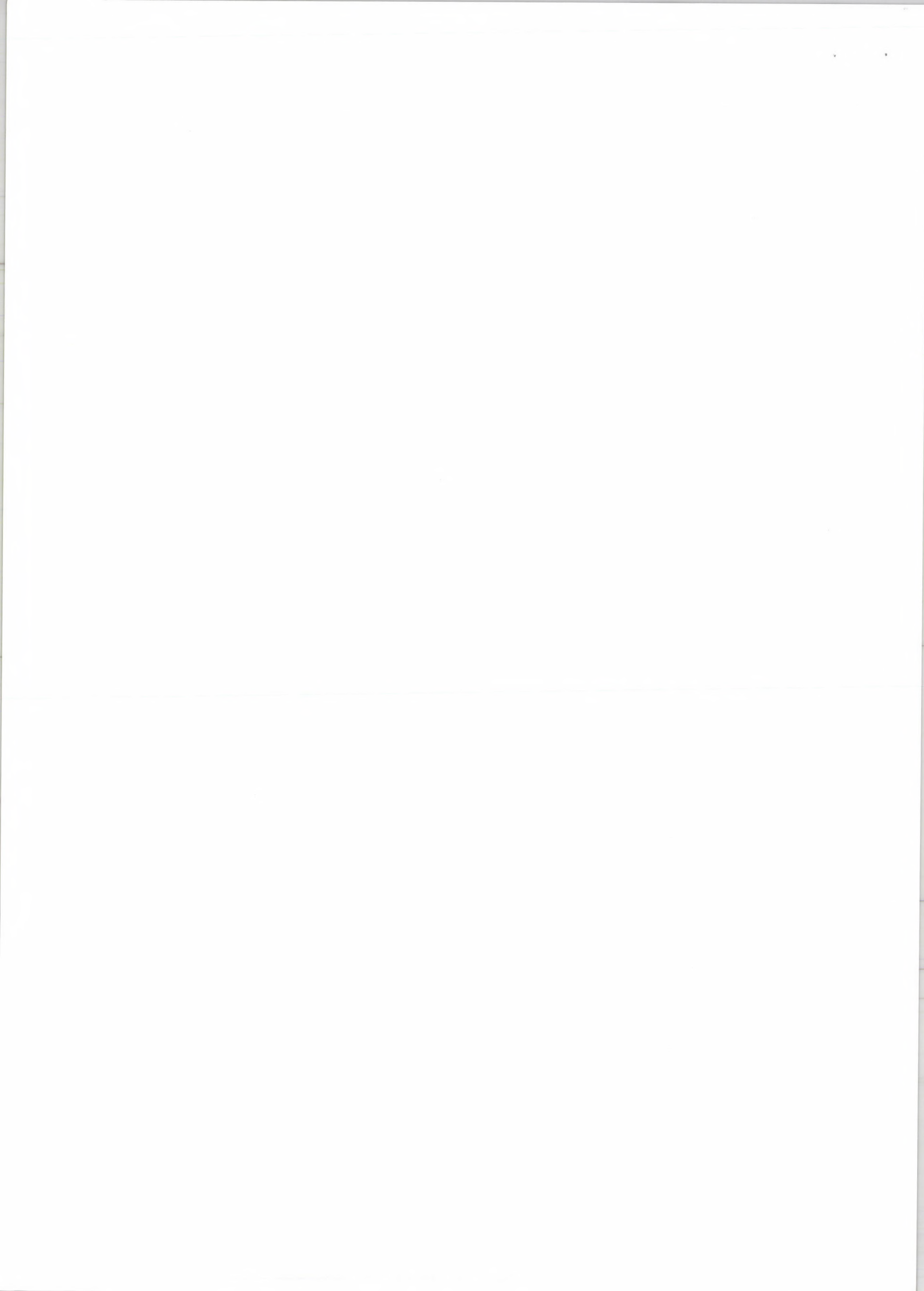
Φ /totális/	$5,72 \cdot 10^{13}$	<u>neutron</u>
Φ /termikus/	$1,32 \cdot 10^{13}$	$\text{cm}^2 \text{sec}$
Φ /ABBN/	$4,40 \cdot 10^{13}$	"
Φ /E>10,5 MeV/	$2,26 \cdot 10^{10}$	"
Φ /E>1,0 MeV/	$1,71 \cdot 10^{13}$	"
Φ /E>0,1 MeV/	$2,87 \cdot 10^{13}$	"



SPEKTRUM A ZONA SZELETOL 19.60 CM-RE

ENERGIACSOPORT [MEV]		FLUXUS [NEUTRON/CM**2/SEC]
0.100E-09	- 0.200E-06	0.457E+13
0.200E-06	- 0.414E-06	0.272E+12
0.414E-06	- 0.682E-06	0.152E+12
0.682E-06	- 0.112E-05	0.162E+12
0.112E-05	- 0.185E-05	0.168E+12
0.185E-05	- 0.306E-05	0.173E+12
0.306E-05	- 0.504E-05	0.177E+12
0.504E-05	- 0.107E-04	0.273E+12
0.107E-04	- 0.290E-04	0.374E+12
0.290E-04	- 0.789E-04	0.381E+12
0.789E-04	- 0.214E-03	0.389E+12
0.214E-03	- 0.583E-03	0.397E+12
0.583E-03	- 0.158E-02	0.407E+12
0.158E-02	- 0.431E-02	0.419E+12
0.431E-02	- 0.117E-01	0.414E+12
0.117E-01	- 0.318E-01	0.457E+12
0.318E-01	- 0.865E-01	0.518E+12
0.865E-01	- 0.183E+00	0.545E+12
0.183E+00	- 0.302E+00	0.502E+12
0.302E+00	- 0.498E+00	0.579E+12
0.498E+00	- 0.825E+00	0.767E+12
0.825E+00	- 0.135E+01	0.645E+12
0.135E+01	- 0.223E+01	0.454E+12
0.223E+01	- 0.368E+01	0.266E+12
0.368E+01	- 0.607E+01	0.118E+12
0.607E+01	- 0.149E+02	0.351E+11

2. táblázat Neutronspektrum a próbatestek helyén



SPEKTRUM A TARTALY BELSO FALANAL OT

ENERGIACSOPORT [MEV]	FLUXUS [NEUTRON/CM**2/SEC]
0.100E-09 - 0.200E-06	0.239E+12
0.200E-06 - 0.414E-06	0.127E+11
0.414E-06 - 0.682E-06	0.790E+10
0.682E-06 - 0.112E-05	0.873E+10
0.112E-05 - 0.185E-05	0.931E+10
0.185E-05 - 0.306E-05	0.976E+10
0.306E-05 - 0.504E-05	0.102E+11
0.504E-05 - 0.107E-04	0.157E+11
0.107E-04 - 0.290E-04	0.214E+11
0.290E-04 - 0.789E-04	0.214E+11
0.789E-04 - 0.214E-03	0.219E+11
0.214E-03 - 0.583E-03	0.205E+11
0.583E-03 - 0.158E-02	0.227E+11
0.158E-02 - 0.431E-02	0.247E+11
0.431E-02 - 0.117E-01	0.256E+11
0.117E-01 - 0.318E-01	0.305E+11
0.318E-01 - 0.865E-01	0.278E+11
0.865E-01 - 0.183E+00	0.314E+11
0.183E+00 - 0.302E+00	0.324E+11
0.302E+00 - 0.498E+00	0.362E+11
0.498E+00 - 0.825E+00	0.490E+11
0.825E+00 - 0.135E+01	0.402E+11
0.135E+01 - 0.223E+01	0.431E+11
0.223E+01 - 0.368E+01	0.356E+11
0.368E+01 - 0.607E+01	0.183E+11
0.607E+01 - 0.149E+02	0.754E+10

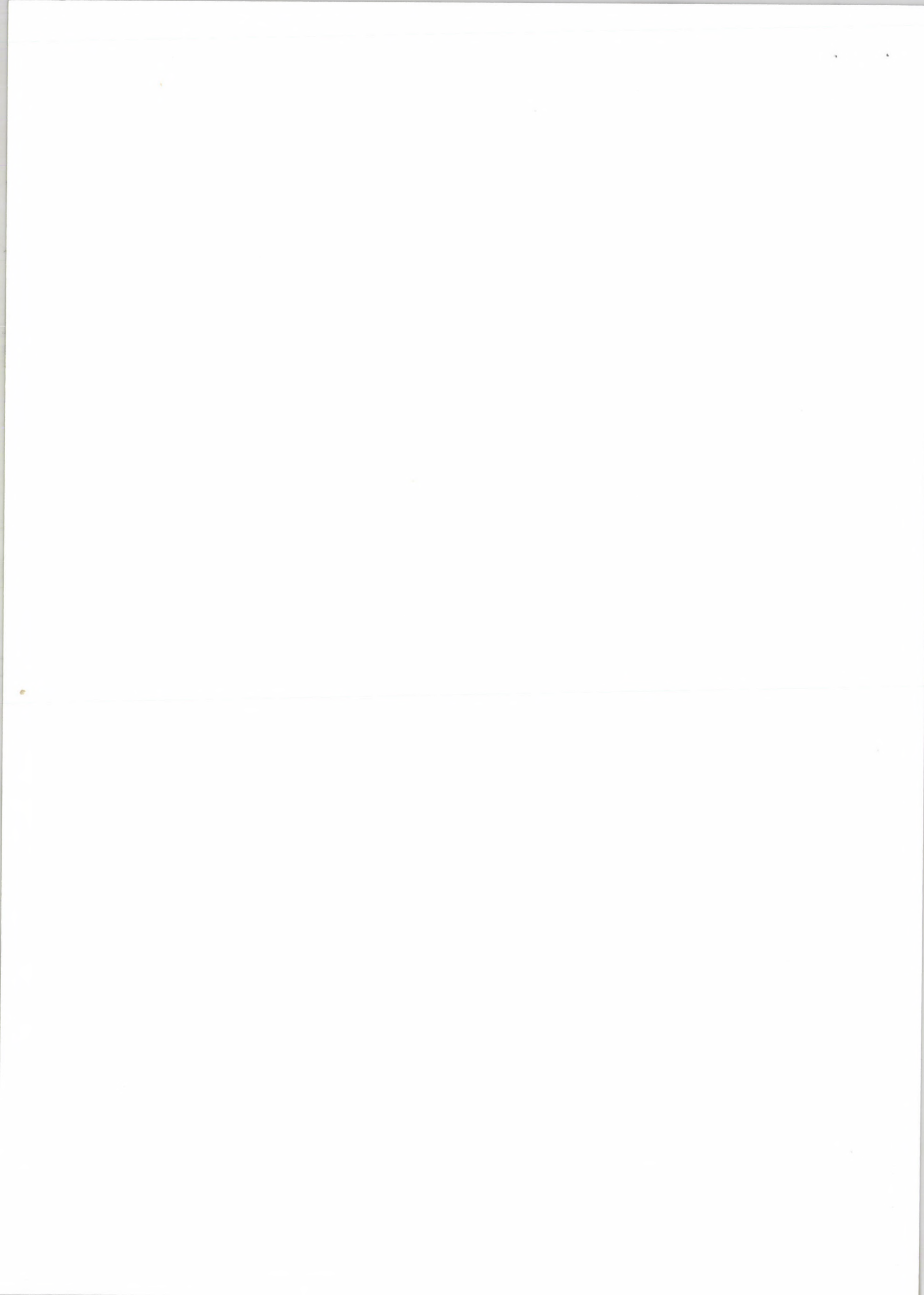
3. táblázat Neutronspektrum a tartályfal belső szélénél



SPÉKTRUM A TARTÁLYBAN 1/4T

ENERGIACSOPORT [MEV]	FLUXUS [NEUTRON/CM**2/SEC]
0.100E-09 - 0.200E-06	0.215E+11
0.200E-06 - 0.414E-06	0.294E+10
0.414E-06 - 0.682E-06	0.265E+10
0.682E-06 - 0.112E-05	0.339E+10
0.112E-05 - 0.185E-05	0.411E+10
0.185E-05 - 0.306E-05	0.479E+10
0.306E-05 - 0.504E-05	0.542E+10
0.504E-05 - 0.107E-04	0.894E+10
0.107E-04 - 0.290E-04	0.120E+11
0.290E-04 - 0.789E-04	0.129E+11
0.789E-04 - 0.214E-03	0.136E+11
0.214E-03 - 0.583E-03	0.120E+11
0.583E-03 - 0.158E-02	0.165E+11
0.158E-02 - 0.431E-02	0.205E+11
0.431E-02 - 0.117E-01	0.237E+11
0.117E-01 - 0.318E-01	0.307E+11
0.318E-01 - 0.865E-01	0.213E+11
0.865E-01 - 0.183E+00	0.203E+11
0.183E+00 - 0.302E+00	0.340E+11
0.302E+00 - 0.498E+00	0.381E+11
0.498E+00 - 0.825E+00	0.472E+11
0.825E+00 - 0.135E+01	0.338E+11
0.135E+01 - 0.223E+01	0.291E+11
0.223E+01 - 0.368E+01	0.180E+11
0.368E+01 - 0.607E+01	0.919E+10
0.607E+01 - 0.149E+02	0.376E+10

4. táblázat Neutronspektrum a tartályfalban / 1/4 T-nél /

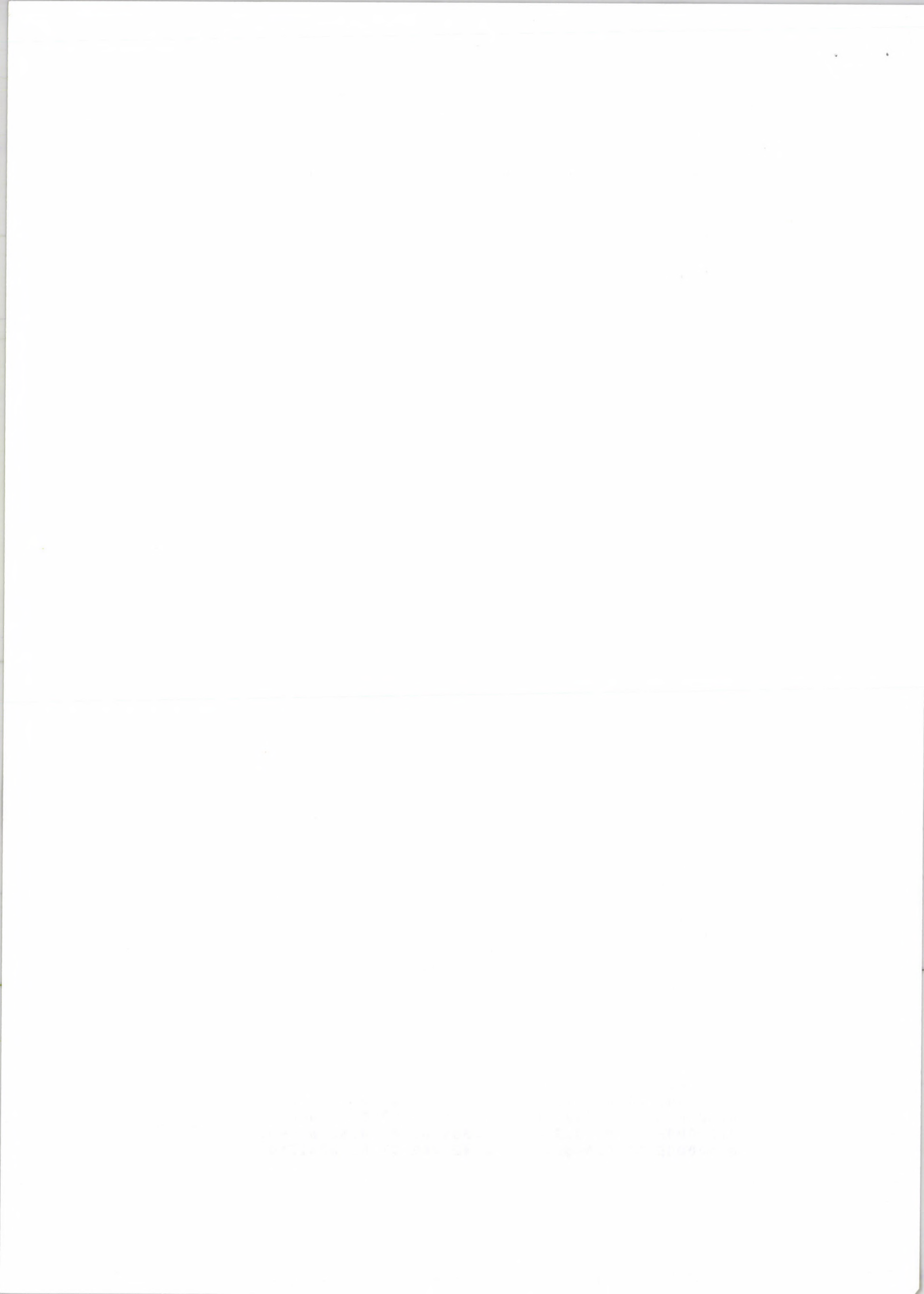


15H2MFA-STEEL-DISPL

621

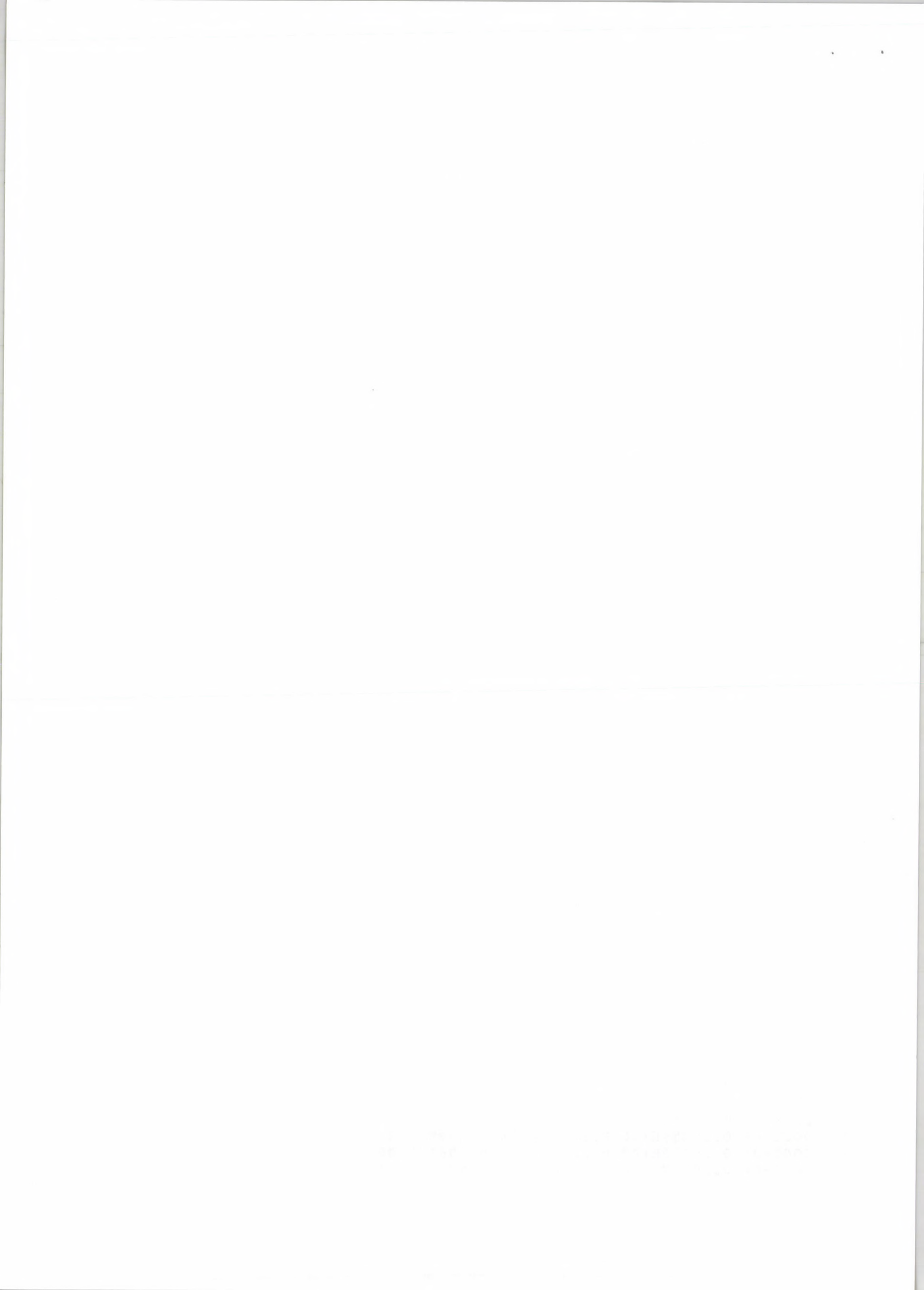
0.10000E-09	0.12964E+03	0.10500E-09	0.12659E+03
0.11000E-09	0.12375E+03	0.11500E-09	0.12108E+03
0.12000E-09	0.11799E+03	0.12750E-09	0.11457E+03
0.13500E-09	0.11142E+03	0.14250E-09	0.10854E+03
0.15000E-09	0.10543E+03	0.16000E-09	0.10218E+03
0.17000E-09	0.99218E+02	0.18000E-09	0.96499E+02
0.19000E-09	0.93990E+02	0.20000E-09	0.91669E+02
0.21000E-09	0.89511E+02	0.22000E-09	0.87499E+02
0.23000E-09	0.85616E+02	0.24000E-09	0.83431E+02
0.25500E-09	0.81011E+02	0.27000E-09	0.79143E+02
0.28000E-09	0.77079E+02	0.30000E-09	0.74549E+02
0.32000E-09	0.72253E+02	0.34000E-09	0.70158E+02
0.36000E-09	0.68234E+02	0.38000E-09	0.66461E+02
0.40000E-09	0.64625E+02	0.42500E-09	0.62751E+02
0.45000E-09	0.61031E+02	0.47500E-09	0.59445E+02
0.50000E-09	0.57976E+02	0.52500E-09	0.56612E+02
0.55000E-09	0.55339E+02	0.57500E-09	0.54148E+02
0.60000E-09	0.52925E+02	0.63000E-09	0.51679E+02
0.66000E-09	0.50517E+02	0.69000E-09	0.49431E+02
0.72000E-09	0.48249E+02	0.76000E-09	0.46995E+02
0.80000E-09	0.45835E+02	0.84000E-09	0.44755E+02
0.88000E-09	0.43749E+02	0.92000E-09	0.42809E+02
0.96000E-09	0.41925E+02	0.10000E-08	0.40996E+02
0.10500E-08	0.40030E+02	0.11000E-08	0.39131E+02
0.11500E-08	0.38289E+02	0.12000E-08	0.37311E+02
0.12750E-08	0.36229E+02	0.13500E-08	0.35236E+02
0.14250E-08	0.34321E+02	0.15000E-08	0.33340E+02
0.16000E-08	0.32313E+02	0.17000E-08	0.31375E+02
0.18000E-08	0.30516E+02	0.19000E-08	0.29723E+02
0.20000E-08	0.28989E+02	0.21000E-08	0.28306E+02
0.22000E-08	0.27670E+02	0.23000E-08	0.27074E+02
0.24000E-08	0.26383E+02	0.25500E-08	0.25618E+02
0.27000E-08	0.25027E+02	0.28000E-08	0.24375E+02
0.30000E-08	0.23575E+02	0.32000E-08	0.22849E+02
0.34000E-08	0.22186E+02	0.36000E-08	0.21578E+02
0.38000E-08	0.21017E+02	0.40000E-08	0.20436E+02
0.42500E-08	0.19843E+02	0.45000E-08	0.19300E+02
0.47500E-08	0.18798E+02	0.50000E-08	0.18333E+02
0.52500E-08	0.17902E+02	0.55000E-08	0.17500E+02
0.57500E-08	0.17123E+02	0.60000E-08	0.16737E+02
0.63000E-08	0.16342E+02	0.66000E-08	0.15975E+02
0.69000E-08	0.15631E+02	0.72000E-08	0.15257E+02
0.76000E-08	0.14861E+02	0.80000E-08	0.14494E+02
0.84000E-08	0.14153E+02	0.88000E-08	0.13835E+02
0.92000E-08	0.13537E+02	0.96000E-08	0.13258E+02
0.10000E-07	0.12964E+02	0.10500E-07	0.12659E+02
0.11000E-07	0.12375E+02	0.11500E-07	0.12108E+02
0.12000E-07	0.11799E+02	0.12750E-07	0.11457E+02
0.13500E-07	0.11142E+02	0.14250E-07	0.10854E+02
0.15000E-07	0.10543E+02	0.16000E-07	0.10218E+02
0.17000E-07	0.99218E+01	0.18000E-07	0.96499E+01
0.19000E-07	0.93990E+01	0.20000E-07	0.91669E+01
0.21000E-07	0.89511E+01	0.22000E-07	0.87499E+01
0.23000E-07	0.85616E+01	0.24000E-07	0.83431E+01
0.25500E-07	0.81011E+01	0.27000E-07	0.79144E+01
0.28000E-07	0.77079E+01	0.30000E-07	0.74549E+01
0.32000E-07	0.72253E+01	0.34000E-07	0.70158E+01
0.36000E-07	0.68234E+01	0.38000E-07	0.66461E+01
0.40000E-07	0.64625E+01	0.42500E-07	0.62751E+01

5. táblázat



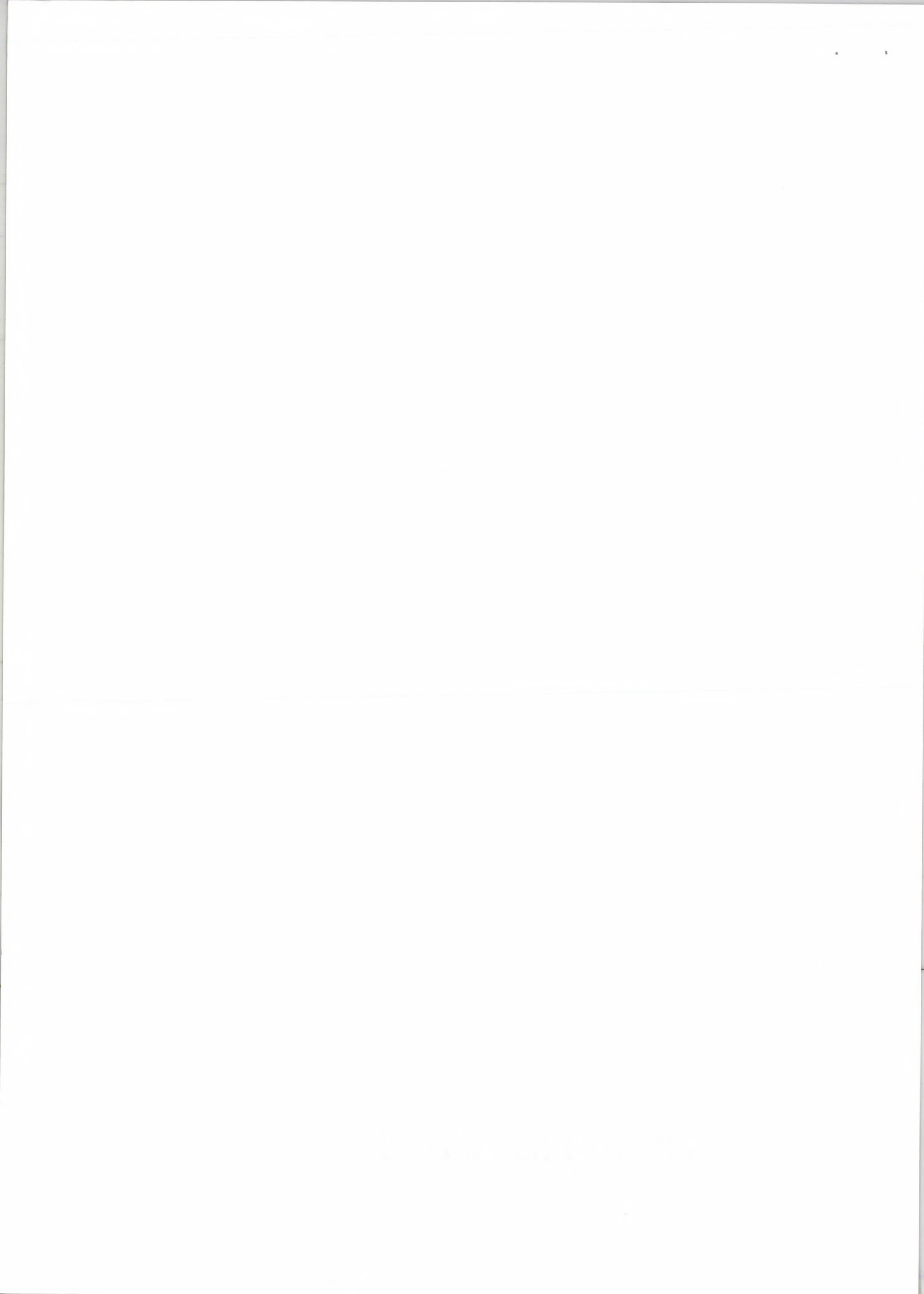
0.45000E-07	0.61031E+01	0.47500E-07	0.59445E+01
0.50000E-07	0.57976E+01	0.52500E-07	0.56612E+01
0.55000E-07	0.55339E+01	0.57500E-07	0.54148E+01
0.60000E-07	0.52925E+01	0.63000E-07	0.51679E+01
0.66000E-07	0.50517E+01	0.69000E-07	0.49431E+01
0.72000E-07	0.48249E+01	0.76000E-07	0.46995E+01
0.80000E-07	0.45835E+01	0.84000E-07	0.44755E+01
0.88000E-07	0.43749E+01	0.92000E-07	0.42809E+01
0.96000E-07	0.41925E+01	0.10000E-06	0.40996E+01
0.10500E-06	0.40030E+01	0.11000E-06	0.39131E+01
0.11500E-06	0.38289E+01	0.12000E-06	0.37311E+01
0.12750E-06	0.36229E+01	0.13500E-06	0.35236E+01
0.14250E-06	0.34321E+01	0.15000E-06	0.33340E+01
0.16000E-06	0.32313E+01	0.17000E-06	0.31375E+01
0.18000E-06	0.30516E+01	0.19000E-06	0.29723E+01
0.20000E-06	0.28989E+01	0.21000E-06	0.28306E+01
0.22000E-06	0.27670E+01	0.23000E-06	0.27074E+01
0.24000E-06	0.26383E+01	0.25500E-06	0.25618E+01
0.27000E-06	0.25027E+01	0.28000E-06	0.24375E+01
0.30000E-06	0.23575E+01	0.32000E-06	0.22849E+01
0.34000E-06	0.22186E+01	0.36000E-06	0.21578E+01
0.38000E-06	0.21017E+01	0.40000E-06	0.20436E+01
0.42500E-06	0.19844E+01	0.45000E-06	0.19302E+01
0.47500E-06	0.18847E+01	0.50000E-06	0.18426E+01
0.52500E-06	0.18005E+01	0.55000E-06	0.17583E+01
0.57500E-06	0.17162E+01	0.60000E-06	0.16756E+01
0.63000E-06	0.16403E+01	0.66000E-06	0.16051E+01
0.69000E-06	0.15699E+01	0.72000E-06	0.15288E+01
0.76000E-06	0.14848E+01	0.80000E-06	0.14524E+01
0.84000E-06	0.14212E+01	0.88000E-06	0.13899E+01
0.92000E-06	0.13585E+01	0.96000E-06	0.13274E+01
0.10000E-05	0.13005E+01	0.10500E-05	0.12755E+01
0.11000E-05	0.12504E+01	0.11500E-05	0.12254E+01
0.12000E-05	0.11942E+01	0.12750E-05	0.11603E+01
0.13500E-05	0.11306E+01	0.14250E-05	0.11008E+01
0.15000E-05	0.10660E+01	0.16000E-05	0.10288E+01
0.17000E-05	0.10019E+01	0.18000E-05	0.97613E+00
0.19000E-05	0.95038E+00	0.20000E-05	0.92465E+00
0.21000E-05	0.90233E+00	0.22000E-05	0.88467E+00
0.23000E-05	0.86703E+00	0.24000E-05	0.84500E+00
0.25500E-05	0.81854E+00	0.27000E-05	0.79863E+00
0.28000E-05	0.77940E+00	0.30000E-05	0.75376E+00
0.32000E-05	0.72813E+00	0.34000E-05	0.70416E+00
0.36000E-05	0.68646E+00	0.38000E-05	0.66937E+00
0.40000E-05	0.65014E+00	0.42500E-05	0.62887E+00
0.45000E-05	0.61235E+00	0.47500E-05	0.59857E+00
0.50000E-05	0.58479E+00	0.52500E-05	0.57101E+00
0.55000E-05	0.55724E+00	0.57500E-05	0.54559E+00
0.60000E-05	0.53451E+00	0.63000E-05	0.52241E+00
0.66000E-05	0.51032E+00	0.69000E-05	0.49822E+00
0.72000E-05	0.48510E+00	0.76000E-05	0.47386E+00
0.80000E-05	0.46304E+00	0.84000E-05	0.45222E+00
0.88000E-05	0.44140E+00	0.92000E-05	0.43118E+00
0.96000E-05	0.42711E+00	0.10000E-04	0.42434E+00
0.10500E-04	0.42126E+00	0.11000E-04	0.41818E+00
0.11500E-04	0.41510E+00	0.12000E-04	0.40918E+00
0.12750E-04	0.39328E+00	0.13500E-04	0.37539E+00
0.14250E-04	0.35749E+00	0.15000E-04	0.33799E+00
0.16000E-04	0.32658E+00	0.17000E-04	0.31758E+00
0.18000E-04	0.30859E+00	0.19000E-04	0.29959E+00
0.20000E-04	0.29218E+00	0.21000E-04	0.28635E+00
0.22000E-04	0.28052E+00	0.23000E-04	0.27469E+00

5. táblázat / folyt. /



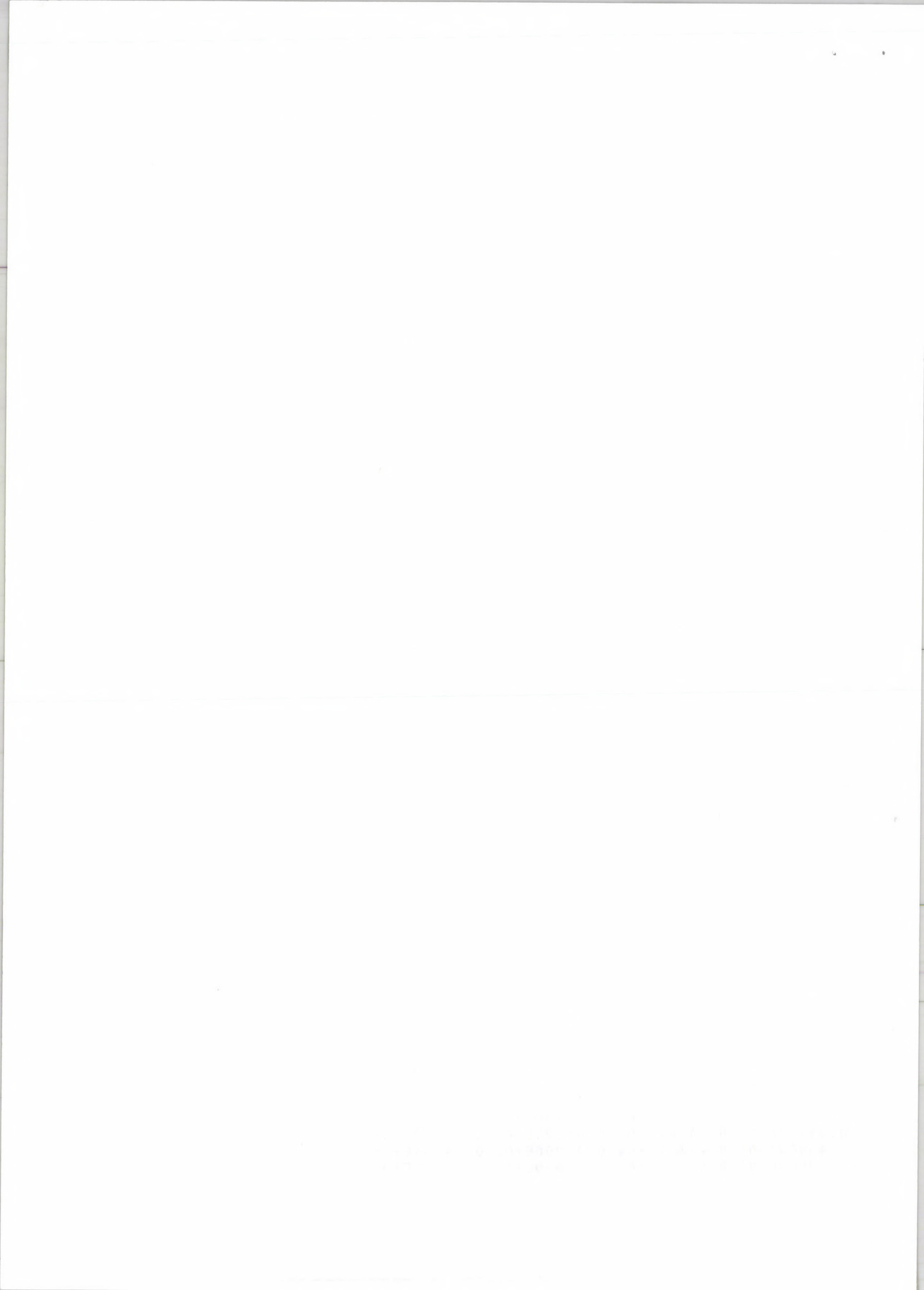
0.24000E-04	0.26741E+00	0.25500E-04	0.25977E+00
0.27000E-04	0.25484E+00	0.28000E-04	0.24894E+00
0.30000E-04	0.24107E+00	0.32000E-04	0.24623E+00
0.34000E-04	0.32499E+00	0.36000E-04	0.41530E+00
0.38000E-04	0.50560E+00	0.40000E-04	0.60700E+00
0.42500E-04	0.64479E+00	0.45000E-04	0.54741E+00
0.47500E-04	0.43634E+00	0.50000E-04	0.32527E+00
0.52500E-04	0.21781E+00	0.55000E-04	0.18621E+00
0.57500E-04	0.18501E+00	0.60000E-04	0.18371E+00
0.63000E-04	0.18228E+00	0.66000E-04	0.18085E+00
0.69000E-04	0.17826E+00	0.72000E-04	0.17175E+00
0.76000E-04	0.16412E+00	0.80000E-04	0.15650E+00
0.84000E-04	0.14887E+00	0.88000E-04	0.14250E+00
0.92000E-04	0.14145E+00	0.96000E-04	0.14098E+00
0.10000E-03	0.14045E+00	0.10500E-03	0.13987E+00
0.11000E-03	0.13930E+00	0.11500E-03	0.14446E+00
0.12000E-03	0.15867E+00	0.12750E-03	0.17574E+00
0.13500E-03	0.19279E+00	0.14250E-03	0.20910E+00
0.15000E-03	0.20186E+00	0.16000E-03	0.17284E+00
0.17000E-03	0.14363E+00	0.18000E-03	0.11442E+00
0.19000E-03	0.99816E-01	0.20000E-03	0.98193E-01
0.21000E-03	0.96565E-01	0.22000E-03	0.94945E-01
0.23000E-03	0.93325E-01	0.24000E-03	0.91855E-01
0.25500E-03	0.91310E-01	0.27000E-03	0.90907E-01
0.28000E-03	0.90419E-01	0.30000E-03	0.90145E-01
0.32000E-03	0.94223E-01	0.34000E-03	0.99544E-01
0.36000E-03	0.10486E+00	0.38000E-03	0.11018E+00
0.40000E-03	0.11699E+00	0.42500E-03	0.12528E+00
0.45000E-03	0.13194E+00	0.47500E-03	0.13569E+00
0.50000E-03	0.15151E+00	0.52500E-03	0.30351E+00
0.55000E-03	0.49262E+00	0.57500E-03	0.68174E+00
0.60000E-03	0.88977E+00	0.63000E-03	0.11167E+01
0.66000E-03	0.13653E+01	0.69000E-03	0.16428E+01
0.72000E-03	0.19715E+01	0.76000E-03	0.23422E+01
0.80000E-03	0.27125E+01	0.84000E-03	0.31740E+01
0.88000E-03	0.38664E+01	0.92000E-03	0.45702E+01
0.96000E-03	0.52740E+01	0.10000E-02	0.60657E+01
0.10500E-02	0.69363E+01	0.11000E-02	0.73588E+01
0.11500E-02	0.73811E+01	0.12000E-02	0.67734E+01
0.12750E-02	0.59957E+01	0.13500E-02	0.52568E+01
0.14250E-02	0.51270E+01	0.15000E-02	0.52152E+01
0.16000E-02	0.53160E+01	0.17000E-02	0.54168E+01
0.18000E-02	0.55051E+01	0.19000E-02	0.55803E+01
0.20000E-02	0.56665E+01	0.21000E-02	0.57491E+01
0.22000E-02	0.58243E+01	0.23000E-02	0.59108E+01
0.24000E-02	0.60411E+01	0.25500E-02	0.61976E+01
0.27000E-02	0.63281E+01	0.28000E-02	0.64886E+01
0.30000E-02	0.69085E+01	0.32000E-02	0.74455E+01
0.34000E-02	0.81534E+01	0.36000E-02	0.90076E+01
0.38000E-02	0.93545E+01	0.40000E-02	0.94802E+01
0.42500E-02	0.96192E+01	0.45000E-02	0.97583E+01
0.47500E-02	0.10016E+02	0.50000E-02	0.11261E+02
0.52500E-02	0.12725E+02	0.55000E-02	0.14150E+02
0.57500E-02	0.15609E+02	0.60000E-02	0.17221E+02
0.63000E-02	0.19852E+02	0.66000E-02	0.23192E+02
0.69000E-02	0.26532E+02	0.72000E-02	0.30428E+02
0.76000E-02	0.34869E+02	0.80000E-02	0.37708E+02
0.84000E-02	0.34768E+02	0.88000E-02	0.30672E+02
0.92000E-02	0.26769E+02	0.96000E-02	0.22594E+02
0.10000E-01	0.18080E+02	0.10500E-01	0.16312E+02
0.11000E-01	0.15750E+02	0.11500E-01	0.15189E+02
0.12000E-01	0.14487E+02	0.12750E-01	0.13660E+02

5. táblázat / folyt. /



0.13500E-01	0.13122E+02	0.14250E-01	0.12696E+02
0.15000E-01	0.11966E+02	0.16000E-01	0.11391E+02
0.17000E-01	0.10663E+02	0.18000E-01	0.97195E+01
0.19000E-01	0.87745E+01	0.20000E-01	0.78295E+01
0.21000E-01	0.69783E+01	0.22000E-01	0.27756E+02
0.23000E-01	0.65084E+02	0.24000E-01	0.11159E+03
0.25500E-01	0.16742E+03	0.27000E-01	0.21409E+03
0.28000E-01	0.24298E+03	0.30000E-01	0.21474E+03
0.32000E-01	0.16325E+03	0.34000E-01	0.11175E+03
0.36000E-01	0.80804E+02	0.38000E-01	0.77708E+02
0.40000E-01	0.74477E+02	0.42500E-01	0.70840E+02
0.45000E-01	0.67501E+02	0.47500E-01	0.67114E+02
0.50000E-01	0.67376E+02	0.52500E-01	0.67638E+02
0.55000E-01	0.67890E+02	0.57500E-01	0.68183E+02
0.60000E-01	0.77444E+02	0.63000E-01	0.92316E+02
0.66000E-01	0.10725E+03	0.69000E-01	0.12218E+03
0.72000E-01	0.13953E+03	0.76000E-01	0.15390E+03
0.80000E-01	0.15661E+03	0.84000E-01	0.14713E+03
0.88000E-01	0.13611E+03	0.92000E-01	0.12521E+03
0.96000E-01	0.11450E+03	0.10000E+00	0.10398E+03
0.10500E+00	0.91957E+02	0.11000E+00	0.80239E+02
0.11500E+00	0.74315E+02	0.12000E+00	0.96359E+02
0.12750E+00	0.13460E+03	0.13500E+00	0.19243E+03
0.14250E+00	0.19752E+03	0.15000E+00	0.13426E+03
0.16000E+00	0.12742E+03	0.17000E+00	0.15723E+03
0.18000E+00	0.22169E+03	0.19000E+00	0.26249E+03
0.20000E+00	0.21099E+03	0.21000E+00	0.16867E+03
0.22000E+00	0.17476E+03	0.23000E+00	0.18080E+03
0.24000E+00	0.16884E+03	0.25500E+00	0.15970E+03
0.27000E+00	0.17372E+03	0.28000E+00	0.19246E+03
0.30000E+00	0.21565E+03	0.32000E+00	0.22559E+03
0.34000E+00	0.22682E+03	0.36000E+00	0.29090E+03
0.38000E+00	0.35626E+03	0.40000E+00	0.37469E+03
0.42500E+00	0.36440E+03	0.45000E+00	0.33119E+03
0.47500E+00	0.30787E+03	0.50000E+00	0.29294E+03
0.52500E+00	0.28478E+03	0.55000E+00	0.28233E+03
0.57500E+00	0.27701E+03	0.60000E+00	0.26578E+03
0.63000E+00	0.27353E+03	0.66000E+00	0.34110E+03
0.69000E+00	0.41161E+03	0.72000E+00	0.48726E+03
0.76000E+00	0.55359E+03	0.80000E+00	0.49402E+03
0.84000E+00	0.41584E+03	0.88000E+00	0.38218E+03
0.92000E+00	0.35949E+03	0.96000E+00	0.38012E+03
0.10000E+01	0.45189E+03	0.11000E+01	0.49233E+03
0.12000E+01	0.56906E+03	0.13000E+01	0.66638E+03
0.14000E+01	0.73587E+03	0.15000E+01	0.74053E+03
0.16000E+01	0.75050E+03	0.17000E+01	0.77986E+03
0.18000E+01	0.87359E+03	0.19000E+01	0.95889E+03
0.20000E+01	0.10124E+04	0.21000E+01	0.10629E+04
0.22000E+01	0.11055E+04	0.23000E+01	0.11456E+04
0.24000E+01	0.11732E+04	0.25000E+01	0.11991E+04
0.26000E+01	0.12007E+04	0.27000E+01	0.11784E+04
0.28000E+01	0.11625E+04	0.29000E+01	0.12180E+04
0.30000E+01	0.12919E+04	0.31000E+01	0.13621E+04
0.32000E+01	0.13931E+04	0.33000E+01	0.14112E+04
0.34000E+01	0.14284E+04	0.35000E+01	0.14472E+04
0.36000E+01	0.14678E+04	0.37000E+01	0.14885E+04
0.38000E+01	0.15082E+04	0.39000E+01	0.15142E+04
0.40000E+01	0.15049E+04	0.41000E+01	0.14934E+04
0.42000E+01	0.14820E+04	0.43000E+01	0.14711E+04
0.44000E+01	0.14601E+04	0.45000E+01	0.14490E+04
0.46000E+01	0.14381E+04	0.47000E+01	0.14364E+04
0.48000E+01	0.14570E+04	0.49000E+01	0.14785E+04

5. táblázat / folyt. /



0.50000E+01	0.15002E+04	0.51000E+01	0.15218E+04
0.52000E+01	0.15466E+04	0.53000E+01	0.15784E+04
0.54000E+01	0.16105E+04	0.55000E+01	0.16425E+04
0.56000E+01	0.16743E+04	0.57000E+01	0.17051E+04
0.58000E+01	0.17158E+04	0.59000E+01	0.17191E+04
0.60000E+01	0.17229E+04	0.61000E+01	0.17271E+04
0.62000E+01	0.17302E+04	0.63000E+01	0.17300E+04
0.64000E+01	0.17260E+04	0.65000E+01	0.17204E+04
0.66000E+01	0.17145E+04	0.67000E+01	0.17088E+04
0.68000E+01	0.17033E+04	0.69000E+01	0.16980E+04
0.70000E+01	0.16749E+04	0.71000E+01	0.17056E+04
0.72000E+01	0.17188E+04	0.73000E+01	0.17318E+04
0.74000E+01	0.17441E+04	0.75000E+01	0.17561E+04
0.76000E+01	0.17681E+04	0.77000E+01	0.17801E+04
0.78000E+01	0.17905E+04	0.79000E+01	0.17988E+04
0.80000E+01	0.18072E+04	0.81000E+01	0.18155E+04
0.82000E+01	0.18239E+04	0.83000E+01	0.18323E+04
0.84000E+01	0.18407E+04	0.85000E+01	0.18491E+04
0.86000E+01	0.18733E+04	0.87000E+01	0.19207E+04
0.88000E+01	0.19683E+04	0.89000E+01	0.20159E+04
0.90000E+01	0.20632E+04	0.91000E+01	0.20595E+04
0.92000E+01	0.20181E+04	0.93000E+01	0.20147E+04
0.94000E+01	0.19749E+04	0.95000E+01	0.19717E+04
0.96000E+01	0.19334E+04	0.97000E+01	0.19305E+04
0.98000E+01	0.18935E+04	0.99000E+01	0.18909E+04
0.10000E+02	0.18552E+04	0.10100E+02	0.18530E+04
0.10200E+02	0.18187E+04	0.10300E+02	0.18165E+04
0.10400E+02	0.19400E+04	0.10500E+02	0.19500E+04
0.10600E+02	0.19600E+04	0.10700E+02	0.19600E+04
0.10800E+02	0.19700E+04	0.10900E+02	0.19800E+04
0.11000E+02	0.19900E+04	0.11100E+02	0.19900E+04
0.11200E+02	0.20000E+04	0.11300E+02	0.20100E+04
0.11400E+02	0.20200E+04	0.11500E+02	0.20200E+04
0.11600E+02	0.20300E+04	0.11700E+02	0.20300E+04
0.11800E+02	0.20400E+04	0.11900E+02	0.20400E+04
0.12000E+02	0.20500E+04	0.12100E+02	0.20500E+04
0.12200E+02	0.20600E+04	0.12300E+02	0.20600E+04
0.12400E+02	0.20600E+04	0.12500E+02	0.20700E+04
0.12600E+02	0.20700E+04	0.12700E+02	0.20800E+04
0.12800E+02	0.20800E+04	0.12900E+02	0.20900E+04
0.13000E+02	0.20900E+04	0.13100E+02	0.21000E+04
0.13200E+02	0.21000E+04	0.13300E+02	0.21100E+04
0.13400E+02	0.21100E+04	0.13500E+02	0.21200E+04
0.13600E+02	0.21200E+04	0.13700E+02	0.21300E+04
0.13800E+02	0.21300E+04	0.13900E+02	0.21400E+04
0.14000E+02	0.21400E+04	0.14100E+02	0.21500E+04
0.14200E+02	0.21500E+04	0.14300E+02	0.21500E+04
0.14400E+02	0.21500E+04	0.14500E+02	0.21500E+04
0.14600E+02	0.21600E+04	0.14700E+02	0.21600E+04
0.14800E+02	0.21600E+04	0.14900E+02	0.21600E+04
0.15000E+02	0.21600E+04	0.15100E+02	0.21700E+04
0.15200E+02	0.21700E+04	0.15300E+02	0.21700E+04
0.15400E+02	0.21700E+04	0.15500E+02	0.21700E+04
0.15600E+02	0.21700E+04	0.15700E+02	0.21800E+04
0.15800E+02	0.21800E+04	0.15900E+02	0.21800E+04
0.16000E+02	0.21800E+04	0.16100E+02	0.21800E+04
0.16200E+02	0.21800E+04	0.16300E+02	0.21800E+04
0.16400E+02	0.21800E+04	0.16500E+02	0.21700E+04
0.16600E+02	0.21700E+04	0.16700E+02	0.21700E+04
0.16800E+02	0.21700E+04	0.16900E+02	0.21700E+04
0.17000E+02	0.21700E+04	0.17100E+02	0.21600E+04
0.17200E+02	0.21600E+04	0.17300E+02	0.21600E+04

5. táblázat /folyt./

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

0.17400E+02	0.21600E+04	0.17500E+02	0.21600E+04
0.17600E+02	0.21500E+04	0.17700E+02	0.21500E+04
0.17800E+02	0.21500E+04	0.17900E+02	0.21500E+04
0.18000E+02	0.00000E+00		

5. táblázat A 15H2MFA tartályacél dpa-hatáskereszt-
metszet függvénye / számítás a DAMSIG81
alapján /

6. Táblázat

A VVR-SzM-beli fluxusmérések, a SABINE-3
számítások és dpa-számítások összefoglalása

$$[\Phi] = \frac{\text{neutron}}{\text{cm}^2 \text{sec}}$$

Mennyiség	VVR-SzM 163. csatorna	VVER-440 próbatetlác helye	VVER-440 tartályfal ϕ_T	VVER-440 tartályfal 1/4 T
Φ /totális/	$5,72 \cdot 10^{13}$	$1,36 \cdot 10^{13}$	$8,23 \cdot 10^{11}$	$4,60 \cdot 10^{11}$
Φ /E>0,1 MeV	$2,87 \cdot 10^{13}$	$3,40 \cdot 10^{12}$	$2,89 \cdot 10^{11}$	$2,38 \cdot 10^{11}$
$\langle \sigma_d \rangle$ [barn] E>0,1 MeV	847,4	556,0	667,1	558,1
R_{dpa} [1/sec]	$2,43 \cdot 10^{-8}$	$1,89 \cdot 10^{-9}$	$1,93 \cdot 10^{-10}$	$1,33 \cdot 10^{-10}$

65281

