



Ionizáló sugárzások hatása optikai anyagok áteresztőképességére

Diplomaterv feladat

Készítette:

Kondor Gergely

Témavezető:

Nagy Balázs Vince

Tudományos munkatárs,

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Konzulens:

Dr. G Szabó István

Ügyvezető igazgató,

OPTIKA Mérnökiroda Kft.

BUDAPEST, 2009.



DIPLOMATERV KIÍRÁS

Nyilatkozat

Alulírott **Kondor Gergely** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a diplomatervben csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból vettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem.

.....
Kondor Gergely (T009Z0)

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	- 4 -
1. Abstract.....	- 5 -
2. Elektromágneses sugárzások	- 6 -
2.1. Gamma-sugárzás alkalmazásai.....	- 8 -
2.2. Sugárzás és anyag kölcsönhatása	- 8 -
3. Dozimetria.....	- 9 -
3.1. Számítási alapismeretek, a dózis fogalma	- 9 -
4. Ionizáló sugárzások fizikai hatásai optikai anyagokra.....	- 11 -
4.1. Polimerizáció és polimerbesugárzás.....	- 11 -
4.2. Üvegek, mint szilárd, szervesetlen anyagok besugárzása.....	- 12 -
5. Kísérlet megtervezése és kivitelezése	- 14 -
6. Kísérlet eredményeinek feldolgozása	- 26 -
6.1. Doziméterek kiértékelése	- 26 -
6.2. Transzmissziómérés kiértékelése	- 26 -
6.3. Hőkezelések kiértékelése.....	- 27 -
7. Kísérlet során mért adatok kiértékelése	- 30 -
7.1. BK7 típusú üveg vizsgálata	- 31 -
7.2. SF4 típusú üveg vizsgálata	- 33 -
7.3. K108 típusú üveg vizsgálata.....	- 35 -
7.4. F101 típusú üveg vizsgálata	- 38 -
7.5. Kvarc minták vizsgálata	- 0 -
7.6. BG28 típusú minták vizsgálata.....	- 43 -
7.7. NG3 típusú minták vizsgálata.....	- 45 -
7.8. OG530 típusú minták vizsgálata.....	- 47 -
7.9. KG3 típusú minták vizsgálata.....	- 49 -
7.10. HEG3 típusú üvegek vizsgálata.....	- 51 -
7.11. RG700 típusú minták vizsgálata	- 53 -
8. Konklúzió, további kutatási célok.....	- 55 -
9. Köszönetnyilvánítás.....	- 56 -
10. Felhasznált irodalom	- 57 -
11. Mellékletek.....	- 58 -

Bevezetés

Egy optikai rendszer tervezésekor rengeteg paramétert kell figyelembe venni. Tudnunk kell, hogy az adott készüléket, milyen hullámhossz, intenzitás, hőmérséklet, esetleg milyen közegre kell terveznünk és/vagy optimalizálnunk, hogy az alkalmazás során a célnak megfelelően működjön. Általános esetekben ezek a rendszerek hasonló tartományban üzemelnek pl.: kamera, fényképezőgép, monitor, LED lámpa, stb.. Viszont szélsőséges esetben gondolnunk kell arra, hogy az optikai anyagaink (pl. túl magas vagy alacsony hőmérséklet esetén) érzékenyen reagálnak a környezeti változásokra. Ide tartoznak a különböző nagy energiájú elektromágneses sugárzások is [2,8,9], melyek a Földön általában atomreaktorokban, és a világűrben okozhatnak komolyabb károkat, ha nem számolunk hatásukkal.

Diplomatervem célja, hogy mérhető információkat kapjunk az optikai anyagok tulajdonságainak változásáról, ha azokat gammasugárzás (pl. reaktor térben), illetve utána hőkezelés éri. A dolgozat kiírását az tette aktuálissá, hogy korábban besugárzott [1] üvegminták 3 év elteltével szobahőmérsékleten megváltoztatták színüket, kivilágosodtak. Irodalom kutatásaim során csupán csekély információt találtam, és azok is [2,3,4] csak utalást tettek arra, hogy melegítés hatására a besugárzott üvegek visszanyerik áteresztőképességük 70-80 százalékát. E dolgozatban kísérlem meg mélyebben tanulmányozni, hogy a ma használatos optikai anyagok gammasugárzás hatásra elvesztett áteresztőképességük hőkezeléssel visszanyerhetőek-e.

Tanulmányom elején (2.3.4. fejezet) általános leírást adok az elektromágneses sugárzásokról, azok hatásairól, illetve sugárzás mérés technológiájáról. A kísérlet során gammasugárzást használtam, ezért ennek nagyobb szerep jutott a leírások folyamán. A vizsgálat során minden – számomra engedélyezett – munkát magam végeztem a KFKI területén. Ezek a munkafolyamatok részletes leírása megtalálható az 5. fejezetben. A 6. fejezetben leírást adok arról, hogy a különböző mérések során (dozimetria, transzmisszió, hőkezelés) milyen paraméterek mellett dolgoztam. Itt található a doziméterek kiértékelése, a spektrofotométer beállításai – amit használtam – és a hőkezelés során detektált diagramok is. 7. fejezetben az üveg minták transzmisszió változása látható üveg típusokként. A dolgozat komklúziója a 8. fejezetben olvasható, melyben kitérek a további kutatási javaslatokra is. Diplomamunkám végén a köszönet-nyilvánítások, bibliográfia és a csatolt mellékletek találhatóak.

1. Abstract

Im Folge von Strahlung verlaufen unterschiedliche Änderungen in den unterschiedlichen Stoffen. Ionisierende Strahlung kommt am häufigsten bei Atomkraftwerken und in dem Weltall vor. Die sind die Stellen, wo die qualitative Veränderung der benutzten Stoffe nicht erlaubt ist. Einerseits wegen der Sicherheitsmaßnahmen, andererseits wegen der schweren und kostbaren Instandhaltung. Zur Beobachtung dieser Prozesse werden optische Systeme (CCD Kamera, Linse) gebraucht. Zu diesen Systemen werden am häufigsten verschiedene Gläser benutzt. Das Glas verliert durch Gammabestahlung einen Teil seiner Transmissionsfähigkeit, abhängig von der Stoffzusammensetzung und der Dose der Bestahlung. Das heißt, die Gläser verdunkeln sich. Bei bestimmten Funktionen ist dieser Fehler nicht erlaubt. Mit der Auswahl der entsprechenden Baumaterialien können die Strahlenschädigung und die Instandhaltungszeit reduziert werden. Diese Faktoren sind bei einem Atomkraftwerk sehr bedeutsam. Optische Stoffe, hauptsächlich die Gläser, verändern ihre Farbe auch bei einer niedrigen Gammabestahlung, sie mattieren und verdunkeln sich. Während der Wärmebehandlung gewinnen diese Gläser ihre originale Transmissionsfähigkeit zurück. Die Schwärzung ist teils oder im Ganzen reversibel, es hängt von den Parametern der Wärmebehandlung ab. Diese Arbeit untersucht die Wirkungen dieser Wärmebehandlung.

2. Elektromágneses sugárzások

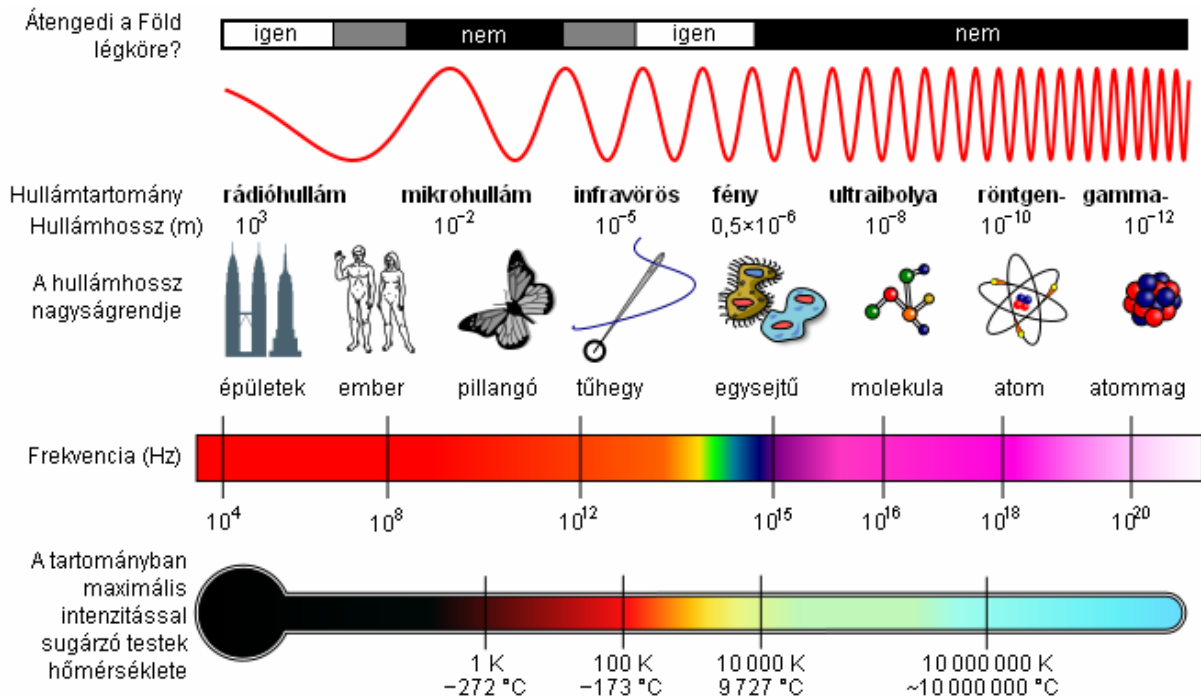
Az elektromágneses sugárzások, mint hullám jelenségek a következő legfontosabb tulajdonságokkal bírnak:[8]

- hullámhossz: *jеле:* λ ; *SI mértékegysége:* m
- frekvencia: *jеле:* f ; *SI mértékegysége:* Hz
- terjedési sebesség: *jеле:* v ; *SI mértékegysége:* m/s

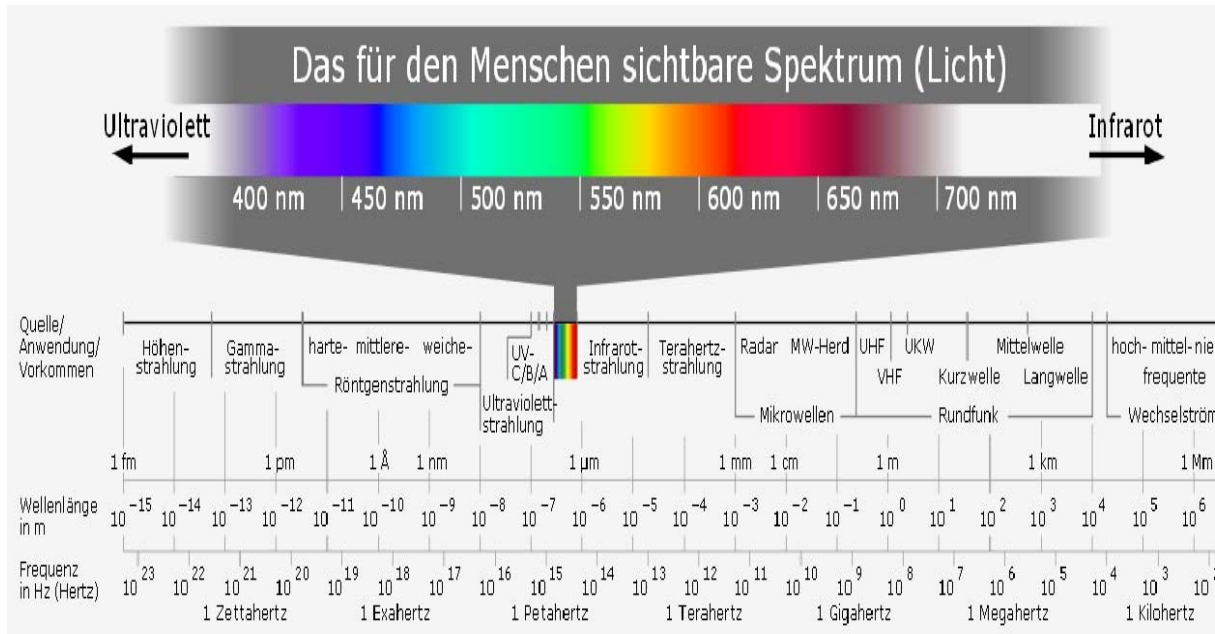
E három tulajdonság között a következő összefüggés áll fent: $v = f \cdot \lambda$

Az elektromágneses sugárzások egy része természetes, például a kozmikus sugárzás, másik, talán nagyobb része mesterségesen előállított (1. és 2. ábra), akár a rádióhullámokra akár a maghasadás során létrejövő α -, β - és γ - sugárzásra gondolunk.

Másik csoportosításuk szerint vannak ionizáló sugárzások, melyek a velük kölcsönhatásba lépő anyagokat úgy roncsolják, hogy abban elektromos töltéssel rendelkező részeket (többnyire elektront) löknek ki, ilyen a radioaktív, gamma és a röntgensugárzás. És vannak a nem-ionizáló sugárzások, melyek energiája az előzőeknél kisebb, ilyen a rádió- és mikrohullámok. Mivel a diplomadolgozat során használt sugárzás csak az ionizáló, gamma-sugárzásra korlátozódik, ezért a továbbiakban csak erről fogok részletesebb leírás adni.[7,8]

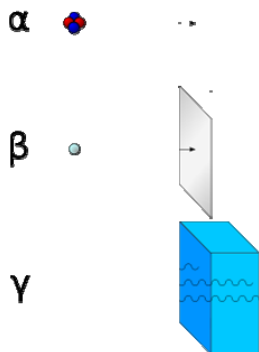


1. ábra Elektromágneses hullámok szemléltetése



2. ábra Az elektromágneses sugárzás hullámhossz tartományai, kiemelve az ember számára látható spektrumot [9]

A gamma-sugárzás annyiban különleges az alfa- és béta-sugárzáshoz képest, hogy nem változtatja meg az atommag összetételét, csak annak állapotát. A radioaktív gamma-sugárzás mindig alfa- vagy béta-bomlás után, illetve azzal egy időben következik be. Sok esetben ugyanis a bomlás után a keletkezett új mag gerjesztett állapotban marad. A gerjesztett állapot energiátöbbletét aztán azonnal, vagy hosszabb idő után elektromágneses sugárzás formájában adja le. Ez a sugárzás a gamma sugárzás.[4]



A gamma sugárzás töltéssel nem rendelkezik, ezért áthatoló-képessége igen nagy, roncsoló képessége azonban kisebb a többi sugárzásénál (3.ábra) . Külső sugárforrásként azonban mégis a gamma-források a legveszélyesebbek, mivel leárnnyékolásukhoz vastag ólom vagy beton réteg szükséges.[10]

3. ábra α -, β - és γ - sugárzások áthatolása

A γ -sugárzás, mint elektromágneses sugárzás hasonló jelenség, mint a látható fény. A különbség csupán abban áll, hogy energiája akár milliószorosa is lehet a látható fényrészekkének.

A gyakorlatban alkalmazott γ -sugárzókat szinte kizárólag atomreaktorban, neutronbefogással állítják elő (pl. ^{60}Co) vagy a fűtőelemek feldolgozása során a hasadványtermékek közül választják el (^{137}Cs).[10]

2.1. Gamma-sugárzás alkalmazásai

- sterilizálás[9]
- terápia – rákos daganatok eltávolítása
- radiológia – radioaktív izotópok nyomon követése a szervezetben
- gamma radiográfia – roncsolásmentes anyagvizsgálat, átvilágítás, hibakeresés
- elem analízis – karakterisztikus gamma fotonok segítségével

2.2. Sugárzás és anyag kölcsönhatása

A gamma-sugárzás három módon lép kölcsönhatásba az anyaggal [4] :

- Fotoeffektus (fényelektromos hatás) – egy atom elektronhéja elnyeli a fotont. E foton energiája teljesen egy elektron energiájává alakul át, amely gerjesztett állapotba kerül vagy elhagyja az atomot.
- Compton-szórás a foton rugalmatlan szóródása egy szabad, illetve gyengén kötött elektronon. Ez esetben a foton energiájának csak egy részét adja át az elektronnak.
- Párképződés – elektron-pozitron pár képződhet, ha a foton energiája meghaladja az 1,02 MeV-t (az elektron – pozitron pár nyugalmi tömege)

A szilárd anyagok viselkedése sugárzás hatására sokkal kevésbé ismert, mint folyékony vagy gáznemű anyagoké, melynek elsősorban az az oka, hogy a végbemenő folyamatok megismerése általában sokkal korlátozottabb[4].

Az ionizáló sugárzások energiája az elnyelő közegben összetett kölcsönhatások eredményeként végül is vegyértékelektronok gerjesztésére és ionizációra fordítódik.

3. Dozimetria

A sugárvédelem egyik fontos feladata[1], hogy rendszeres mérésekkel ellenőrizze a dolgozókat ért sugárterhelést, a munkahelyen belüli és a környezetbe kikerülő radioaktív szennyeződések mértékét. A személyi sugárvédelem feladata, hogy a radioaktív sugárforrásokkal dolgozó személyek részére olyan munkafeltételeket biztosítson, hogy ne érje őket károsodás. Tökéletes védelem elvileg sincs, ezért arra kell törekedni, hogy a besugárzás a dóziskorlát alatt maradjon. Ehhez azonban mérni kell az egyes személyek által kapott dózist. A különféle sugárzások által az anyagokban, illetve élő testben elnyelt energiamennyiség mérési módszereivel a dozimetria foglalkozik. A sugárterhelés mérésére különböző eszközök állnak rendelkezésre:

- Ionizációs kamra elvén működő dózismérők
 - Töltőtoll doziméter:
 - Gyűszű ionizációs kamra:
- Film-dózismérők
- Termolumineszcens dózismérők

3.1. *Számítási alapismeretek, a dózis fogalma*

A nagyenergiájú sugárzás azáltal fejt ki káros hatást, hogy ionokat kelt. Az ionok sűrűsége lényegében a sugárzás által egységnyi tömegű anyagban leadott ionizációs energiával arányos.[4]

- A D dózis egysége $1 \text{ Gy} = 1 \text{ gray} = 1 \text{ J}$ ionizációs energia kilógrammonként, azonban ilyen nagy dózis nagyon ritkán fordul elő a természetben, azért inkább az 1 mGy használatos.
- A dózis mellett azonban használatos - és a valósághoz leginkább közel álló mértékegység – a H hatásos dózis, vagy dózisegyenérték. Ezt a mértékegységet azért kellett bevezetni, mivel a különböző sugárzástípusok különböző mértékben fejtik ki hatásukat az anyagokra. Számítása az alábbi egyszerű képlettel történik: $H = Q * D$, ahol H a dózisegyenérték, D a dózis, Q pedig a

kvalitásfaktor, ez határozza meg a sugárzás valódi mértékét, hatásosságát. Az alábbi táblázatban összefoglalva látható a Q értéke sugárzás, illetve részecske típusokra. A dózisegységérték mértékegysége 1 Sv (sievert) = 1 J/kg

Q = 1	Röntgen, gamma és béta sugárzás esetén
Q = 2	Lassú neutronokra
Q = 10	Gyors neutronokra
Q = 20	Alfa-részecskékre, maghasadás termékeire

1. táblázat Kvalitásfaktor (Q) egyes értékeihez tartozó sugárzás típusok

- Régen a *dózis* egységeként a *rad* volt használatos, ami a gray századrésze: 1 rad = 0,01 Gy = 10 mGy. A hatásos dózis régi egysége 1 rem = 0,01 Sv . Használták még a *besugárzási dózis* fogalmát is, ami a keltett ionok mennyiségét tekinti fontosnak. A besugárzási dózis az ionizációval keltett töltéssel jellemezhető, egysége 1 Coulomb/kg. Régi egysége 1 R = 1 röntgen $\approx 0,0005$ Coulomb/kg volt. Továbbá mérésekkel bizonyított, hogy levegőben 1 R = 8,69mGy = 0,00869Gy

Dózis, Gy	Hatás
0,003	Az embert érő átlagos éves háttérsugárzás dózisa
0,020	Foglalkozási éves dózis korlát
3,54	50%-os túlélési határ emberre
10^3 - 10^5	50% -os túlélési dózis vírusokra
$2,5 \times 10^4$	Sterilizálási dózis minimuma
10^4 - 10^5	Térhálósítási-felületkezelési dózis polimerekben
10^7	Úrhajók felületén 30 év alatt akkumulálódó dózis

2. táblázat γ -sugárzás fizikai hatásai [4]

4. Ionizáló sugárzások fizikai hatásai optikai anyagokra

4.1. Polimerizáció és polimerbesugárzás

A nagyenergiájú ionizáló sugárzásokat széleskörűen használják a polimerizáció iniciálására, illetve polimerek módosítására[4]. A sugárforrások létesítésének nagy költségigénye – mint hátrány – mellett, a sugárzásos iniciálás előnyei a hagyományos módszerekkel szemben a következők:

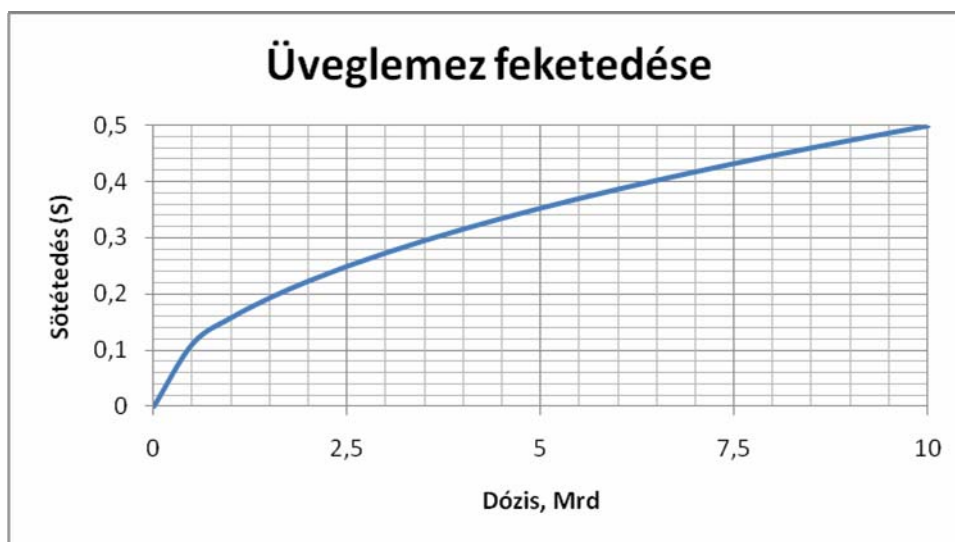
- A végterméket nem szennyezik „idegen anyagok”
- Az iniciálási sebesség széles tartományban tetszőlegesen megválasztható
- Az iniciálási sebesség gyakorlatilag hőmérséklet független
- Nem kell tartani attól, hogy a felszabaduló hő miatt, a reakció „megfut”
- Gyakran steril végtermék jön létre, amely orvos-biológiai szempontból rendkívül előnyös

A polimerizáció folyamata általában három lépésből áll: ezek az iniciálás, láncnövekedés (propagáció) és a lánczárás. A sugárzásos polimerizáció során az iniciálási fázisba avatkozunk be azért, hogy töltéssel nem rendelkező és töltött, nagyon reaktív részecskéket egyaránt vihetünk a rendszerbe. Az, hogy melyik fog dominálni, a monomer tulajdonságaitól, az oldószer milyenségétől és esetleg az adalékoktól függ.

Nagy energiájú sugárzás hatása, γ -, röntgen-, elektron-, neutron-, ionsugárzásnak a műanyagokra (ill. azok polimer alkotórészére) hatása nagymértékben függ attól, hogy a sugárzás az anyagot oxigén jelenlétében (levegőn) vagy oxigén távollétében (semleges atmoszférában vagy vákuumban) éri-e. A szervesen töltőanyagot is tartalmazó fenolformaldehid-gyanta levegőn is ellenálló; oxigén kizárásával a polisztirol, az epoxigyanta, a telítetlen poliésztergyanta, a polietilén is. A nagyenergiájú sugárzások hatására a polimerek részében térhálósodnak, részben degradálódnak. A polietilénnek nagyenergiájú sugárzással való térhálósítását hőállóságuk növelésére hasznosítják pl. a kábelgyártásban. A nagyenergiájú sugárzások hatásának viszonylag ellenálló epoxigyantát használják, pl. atomerőművekben padlóburkoló anyagok kötőanyagaként, villamos szigetelő anyagként. Kemény vagy lágy PVC-ből laboratóriumi eszközöket készítenek nagyenergiájú sugárzás hatásának kitett alkalmazásra.

4.2. Üvegek, mint szilárd, szervesetlen anyagok besugárzása

A sugárkémiai[2,3] vizsgálatokra a leggyakrabban üvegedényekben, ampullákban, küvettákban kerül sor és a sugárzás hatására az üvegek optikai tulajdonságai megváltoznak, azok általában elszíneződnek. Elszíneződés az alkalmazott küvettáknál és optikai elemeknél (lencsék, fényvezető kábelek) nem engedhető meg, ezért készítésükhöz szennyezőmentes szintetikus kvarcból olvasztott üveget használnak fel (márkanéven: Suprasil). A megfigyelésre a sugártérbe telepített kamerák optikai elemeit szintén szintetikus kvarcból kell készíteni. A jó minőségű szintetikus kvarcból készített üvegeknél az optikai tulajdonságok számottevő romlása 1 MGy-t meghaladó dózisoknál tapasztalható. Ugyanakkor az elszíneződés technológiai célokra is alkalmazható, besugárzással (elsősorban beltéri használatra) színezett épületüvegek, bútorüvegek, étkezészetek stb. állíthatók elő. Nem beszélve arról, hogy az elszíneződés dozimetriai célokra is alkalmazható.



4. ábra Üveglemez feketedése (S) röntgen-besugárzás hatására (üveglemez-vastagság: 1mm)[2]

Az üvegek elszíneződése ionizáló sugárzás hatására jól ismert jelenség, amit például dozimetriai célra is alkalmaznak. Oka a rácshiba, ami a sugárzás hatására keletkezik az üvegben lévő fémekben. A szín is a szennyező fémekkel hozható összefüggésbe: lila, szürke, barna is lehet. Az üvegek színváltozása, általában barnulás, természetesen függ az üveg fajtájától. A sötétedés-dózis összefüggés telítésbe átmenő görbével jellemezhető. A telítési érték 50%-a kb. 20kGy dózisú besugárzással érhető el.

A besugárzás hatása részben vagy egészben reverzibilis. A sötétedés idővel gyorsan, majd lassan csökken, és pedig annál gyorsabban, minél nagyobb a hőmérséklet. A sötétedett üveg visszaalakulása szintelen üveggé két, egymástól szabatosan elkülönülő függvény szerint megy végbe: egy gyors szakaszt lassan csökkenő követ. E szerint különféle termolabilis rácshibák vannak: az egyik csoport, mely a teljes sötétedés kb. 20%-áért felelős és 40°C-ig alig befolyásolható, és a többi, mely már kisebb hőmérsékleten is reverzibilis. A sugárzással keltett elszíneződés közel teljes megszüntetése csak tartós, 100°C-ot jóval meghaladó hőmérsékletű kimelegítéssel lehetséges.

Az elszíneződés megakadályozására szinte mindegyik optikai üvegnek meg van a „sugárzásállóbb” párja (pl. F1-F101, K8-K108stb.), melyet CeO₂ hozzáadásával állítanak elő. Ezt alkalmazzák például az izotópgyártásra, besugárzóberendezések összeszerelésére alkalmazott forrófűlkék ólomüveg ablakának besötétedés elleni védelméhez, valamint az űrtechnikában is, ahol a hosszútávú kozmikus sugárzás hatalmas terhelést ad a különböző elemeknek, anyagoknak (napelem, objektívek stb.)

Üvegekben a sugárzás hatására az atomok kimozdulnak a szabályos helyeikről, azaz a kristály rácspontokról, tehát rácshibák alakulhatnak ki. A kristály építőköveinek kilökésére eredeti helyükből akkor van lehetőség, ha az ionizáló részecske ütközésekor egy bizonyos, az adott anyagra jellemző küszöbértéknél több energiát tud átadni a rácsponton lévő atomnak esetleg atomcsoportnak. A kémiai változások másik oka a kristály kisebb tartományainak átmeneti, mintegy 10⁻¹¹-10⁻¹⁰s időtartamú felmelegedése kb 1000K-re, tehát a szerkezet helyi „átolvasztása” lehet, mely szintén a kristályrács megváltozását eredményezi. A gerjesztett atomok a velük ütköző fotonokat elnyelik, ezért változnak – sötétednek – gammasugárzás hatására az üvegek.

5. Kísérlet megtervezése és kivitelezése

A kísérlet a következő fázisokból épült fel:

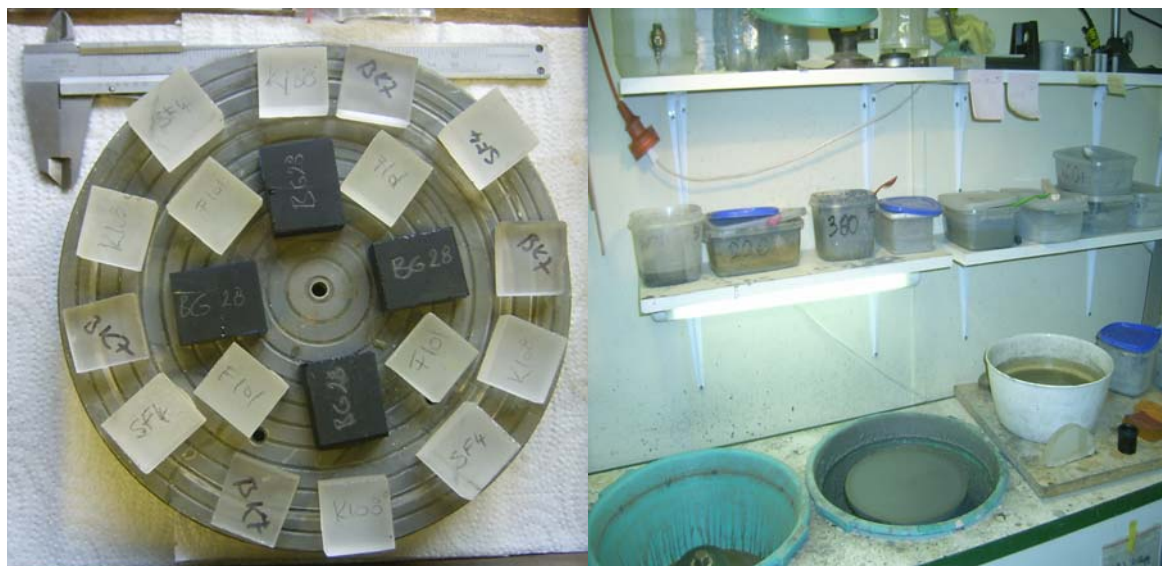
- 2006-ban besugárzott és azóta pihentetett anyagok vizsgálata
- anyagbeszerzés
- megmunkálás
- Transzmissziómérés
- besugárzás
- Transzmissziómérés
- kimelegítés
- Transzmissziómérés

Az előző fejezetben leírtak szerint a korábbi mintadarabok transzmisszióját OPTILAB Kft. munkatársával megmértem, hogy tudjuk mekkora volt a transzmisszió változás mértéke. Ez a későbbiekben, a kimelegítés tervezésénél fontos lesz.

A kísérlet felépítése során a legfontosabb feladat az anyagminták összeállítása. Itt meghatározó tényezőként kellett szem előtt tartani: egyrészt a korábbi tapasztalatokat [1] másrészt egyes üvegfajták beszerzése igen csak nehézkes, a gyártó cégek nem adnak mintát. Így az első megoldandó probléma adott volt: a hazai, kis, optikai cégeket kerestem meg, hogy néhány anyagmintával segítség a kísérletemet. A Schmidt & Bender cég válaszolt a felkeresésemre, de az ő általuk kínált anyagfajták az Optika Mérnökirodánál (OMI) is rendelkezésemre álltak. Így csak sugárzásálló üvegeket kellett keresnem, melyeket UNIOPTIK Bt.-nél találtam is, és egy nagyjából 10x10-es üvegtömböket kaptam a K108 és az F101-es típusokból. A többi üvegmintát az OMI adta a saját raktárkészletéből. A korábban vizsgált üvegek leginkább átlátszóak voltak. Konzulensemmel egyeztetve arra döntésre jutottunk, hogy a kísérletbe beleveszünk különböző színes üvegeket is, melyek a cégnél rendelkezésre állnak. Így kialakult a végső anyagösszeállítás: F101, BK7, SF4, K108, Kvarc, a színesek közül: RG700 és az OG530 szűrők, HEG3 hegesztő üveg, míg a KG3 és a NG3 általános, sötét üveg mintám volt. Minták száma fajtánként 4db, így elegendő minta lesz a vizsgálatokhoz, és még egy plusz mintával is számoltam, ha esetleg valamelyik minta sérülne.

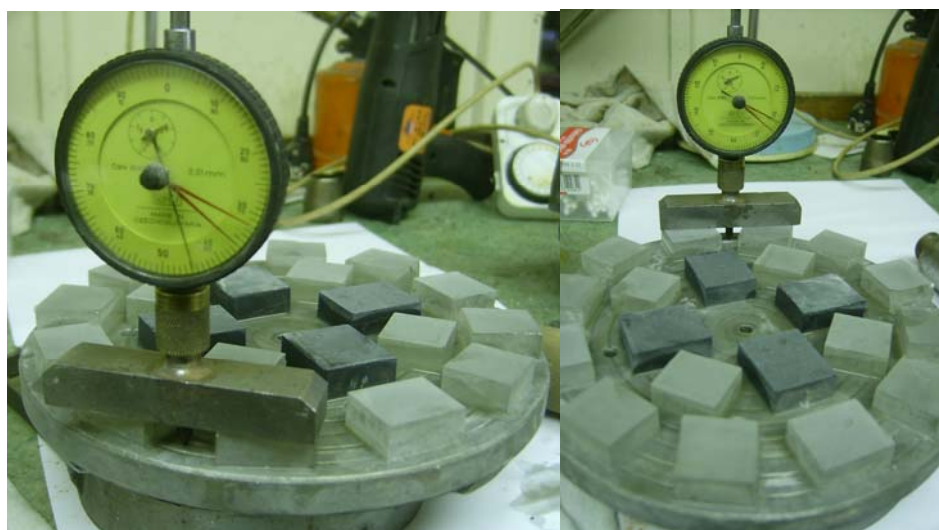
Mivel a rendelkezésemre álló anyagok még nyers – transzmisszió mérésre alkalmatlan - darabok voltak, tömbök, síklapok, ezért ezeket még darabolni, gömbölyíteni, majd csiszolni és polírozni kellett. A végső darabok méreteit korlátozta a besugárzás során használt tubus

mérete, vagyis a mintadarabnak bele kellett férni egy 28mm átmérőjű csőbe. Ez meghatározta az átmérőt, amit 20mm-re választottam, míg a vastagságnak 10mm-t, hogy össze tudjuk vetni az általunk kapott eredményt a korábbiakkal. Ugyan volt néhány üveganyag, mely ilyen vagy hasonló méretekkel bírt, de a többségét én munkáltam meg a megfelelő méretekre [lásd 3.sz.melléklet].



1. kép A darabolt minták felragasztva a csiszoló korongra (balra). Csiszoló műhely (jobbra).

A csiszolás az alábbi „szitaszámú” porokkal készült: 320, 400, 600, 800. E porok méretei rendre: 0.04, 0.032, 0.020, 0.0013 mm. Az '1000'-es porral már nem lehetett csiszolni, mivel a körülmények ellenére, mindig bekarcolt. A csiszolás során folyamatosan mértem a párhuzamosságot. Jól megfigyelhető volt, hogy a puhább anyag jobban kopik, mint a keményebb.



2. kép Párhuzamosság ellenőrzése

Miután a csiszolás során elértem a megfelelő méretet és felületi minőséget, melegítve a tárcsákat a ragasztó elengedett, majd kisebb tisztítás után sor kerülhetett a gömbölyítésre. Ezt a műveletet szintén magam végeztem az OMI műhelyében.



3. kép Gömbölyítés folyamata , BK7-es üveg (10mm vastag, 20mm átmérőre)

Miután mindegyik munkadarabot legömbölyítettem, a következő lépés a fazettázás, vagyis az élek lekerekítése. Ezek után visszarakasztottam a tárcsára a mintadarabokat és jöhetett a polírozás. Polírtárcsán egy filc anyag volt, melyet megfelelő kenőanyaggal kellett nedvesen tartanom a polírozás során, hogy az üveg anyagok ne tapadjanak. Mivel a kvarc anyagok vékonyabbak voltak 10mm-nél, ezért azok egy kisebb tárcsán kaptak helyet, azon lettek csiszolva és polírozva is, amint a 4. képen látszik is.



4. kép Kistárcsa polírozás közben

Polírozás során már nem a szemcse forgácsoló hatása érvényesül, mint a csiszolásnál, hanem a súrlódó hő hatására az 'egyenetlenségek' összehegednek. A felület minőségi változás szemmel látható:



5. kép Csiszolás után lupával ellenőrztem a felületi egyenletességet



6. kép Polírozás után az üvegnek átlátszónak kell lennie

Végső lépés a mintadarabok megtisztítása üvegtisztító és egy puha pamutruha segítségével. Ezek után a mintadarabok készen álltak a kísérletre.



7. kép A kész mintadarabok előkészítve

Besugárzásra a KFKI AEKI kutatóreaktorát használtam. Felvettem a kapcsolatot velük, akik segítségemre voltak a besugárzandó minták csomagolásában. Összeállítás során, mivel most nem a sugárzás hatását vizsgáltuk, ezért úgy döntöttem, hogy irodalomkutatásom alapján sugárzásállóbb anyagok 8 órát, míg a többi 1-1 órát lesz sugárzás alatt. Maga a sugárzás az átmeneti tárolóban történt, ahol a használt fűtőelemeket tárolják bór rudak között vizes közegben. Ez azért fontos, mivel az elenyésző neutronsugárzást a bór rudak elnyelik, így csak tiszta gammasugárzás éri a mintákat, valamint nem kellett aggódnni az esetleges felaktiválódás miatt. Természetesen a besugárzás után minden minta ellenőrizve lett sugármérővel.

Pontos helyszíni rajz a 6.sz. mellékletben található. A tubusok a következő rendben lettek berakva a tartócsőbe:

T3		T6
T4	T1	T7
T5	T2	T8



8. kép Tubusok elhelyezkedése a csövön belül

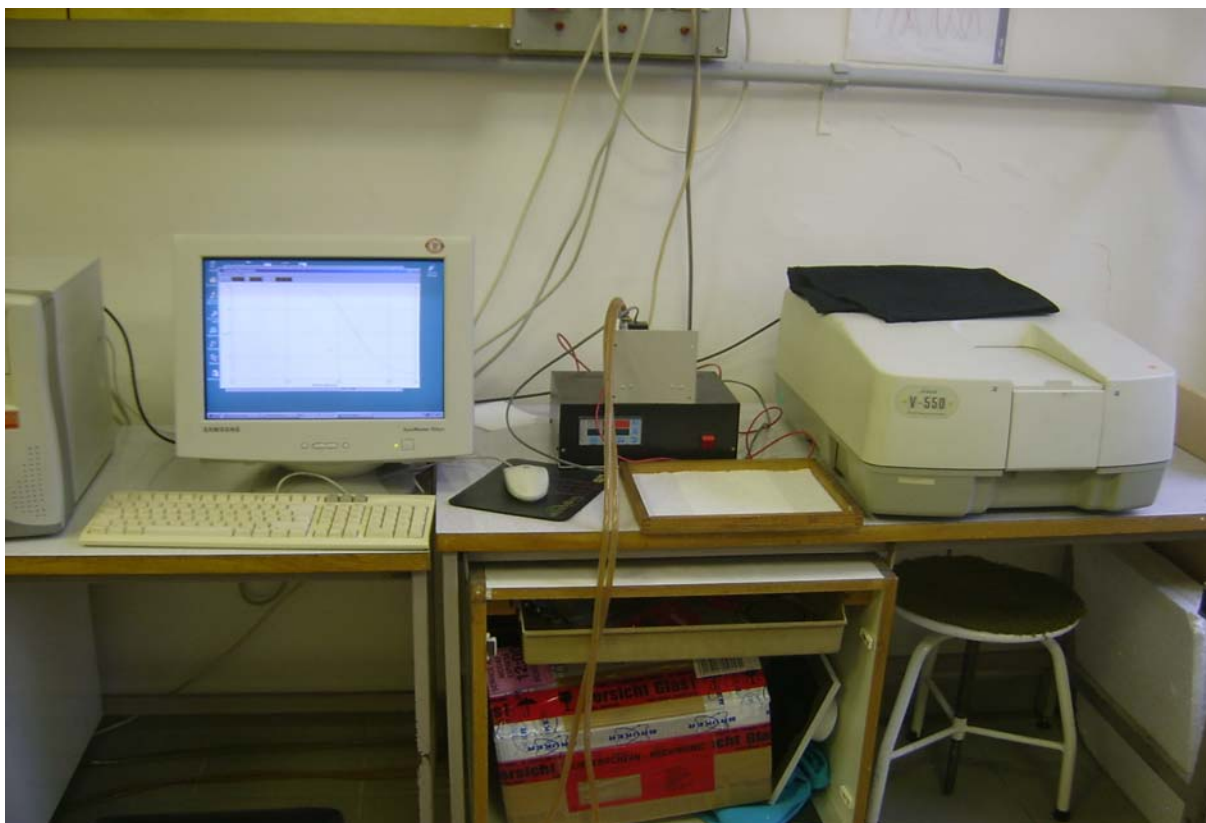
Kicsomagolásnál jelen voltam, így megfigyelhettem, hogyan helyezték el a tubusban a mintákat. Használtak távtartó gyűrűket, mellyel egyrészt távol tartották a mintadarabokat egymástól, másrészt a minták egymás közti leárnyékolását megakadályozták. Maga a tubus, a távtartó és a cső is alumíniumból volt, melyen könnyedén áthalad a gammasugárzás, így nincs befolyással a mérésre. Minták elhelyezkedése a tubusban: (pontos értékelés a 1.sz. mellékletben, „besugárzási terv” c. alatt található).



9. kép 4.tubus összeállítása felbontás után

4.tubus összeállítása felbontás után: balra a 28mm átmérőjű tubus; mellette a 21mm átmérőjű, melyben a minták is voltak. Jobb oldalt a minták sorrendje, fentről lefelé haladva: BK7/1, SF4/1, BK7/2, SF4/2, Plexi, köztük pedig a távtartó gyűrűk. Jobb oldalt az a négyszög papír, pedig a doziméter film tárolója, mely a tubusban a minták mellett volt a 'paláston'. Magát a dozimétert az Izotóp Intézet munkatársa adta át bemérés után. Típusa: FVT60 mérési tartománya 500Gy – 30kGy. Besugárzás után szintén ő értékelte ki, mely értékek szintén megtalálhatóak az 1.sz. mellékletben. Itt említem meg, hogy a kicsomagolás folyamán a T8 tubusban víz volt, ami azért furcsa, mivel a becsomagolás során vákuumban ellenőrzik a tubusokat. A beázás miatt a doziméter film elázott, de még értékelhető volt. A további mérésekhez a papír helyett fóliaborítást javasolok, mely az ilyen esetekben is megvédi a detektor filmet.

A besugárzás előtt illetve után megmértem a minták transzmisszióját. Ehhez segítségemre volt az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet Kristályfizikai Osztálya. A méréseket a KFKI 10.épület 17. laborjában végeztem Lengyel Krisztián segítségével, ki meg-mutatta, hogy tudom használni a rendelkezésemre bocsátott Jasco V-550-es spektrofotomé-tert.



10. kép Mérőállomásom a KFKI 10.épület 17. laborjában; jobbra a Jasco V-550-es spektrofotométer

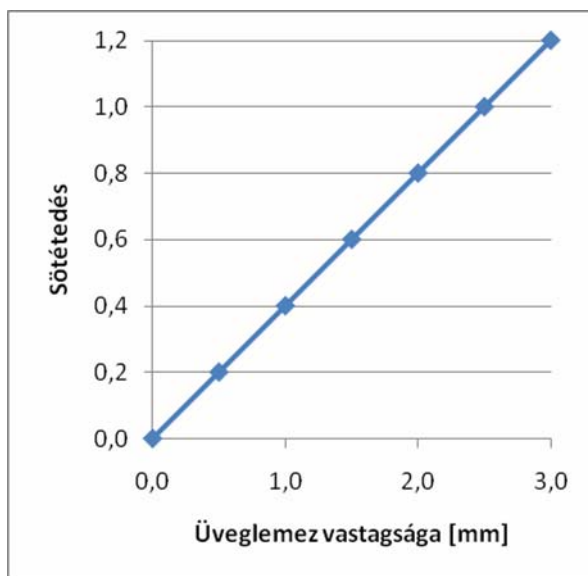
Ezek után a méréseket magam végeztem. Mérési eredményeket a 'kiértékelés' fejezetben közlöm. A mérési tartomány 190 és 900 nanométer között volt 1 nanométer felbontásban 200nm/min mérési sebesség mellett.

A mérések után következhetett a kimelegítés. Előbb azonban meg kellett határoznom, hogy milyen paraméterek – hőntartás ideje, hőfoka - mellett akarom hőkezelti a mintákat. Ehhez a három éve besugárzott és azóta pihentetett mintákat használtam kikísérletezési célra. Valamint a birtokunkban volt egy 1957-es szovjet eszköz magyar nyelvű műszaki leírása, melyből némi kiindulási információhoz jutottam: „ 70. sz. kémlelőablak leírása. VI. Az elhomályosult üvegek átlátszóságának helyreállítása: Az elhomályosult üvegek átlátszóságát

villamos tokos kemencében való melegítéssel lehet helyreállítani. A kemence belső ürege sima samott lapokkal legyen bélelve.

Az átlátszóság helyreállításának folyamán a következő: a lencsét a foglalatból kivenni, az éleket ceruzával megjelölni, hogy szereléskor a foglalatba való helyezés irányát és sorrendjét össze ne keverjék, az üvegeket a kemencébe rakni és a kemencét óránként 50°C-ot meg nem haladó sebességgel 150°C-ra melegíteni. Ezen a hőmérsékleten a kemencébe tartani kb. 10órán keresztül míg az üveg el nem szintelenedik, azután a hőmérsékletet óránként 10 °C –os sebességgel szabad hőmérsékletre csökkenteni. A helyreállítás egész folyamata alatt ügyelni kell arra, hogy az üveg ne érintkezzen a hővezető fém részekkel és óvni kell az üveget a hideg levegő áramlattól. Az alkatrészek berakása előtt a kemence belső üregéből a port, különösen a szerves eredetű port, el kell távolítani. Az üregek polírozott felületét gondosan le kell törölni.....” . Teljes szöveg megtalálható a 2.sz. mellékletben.

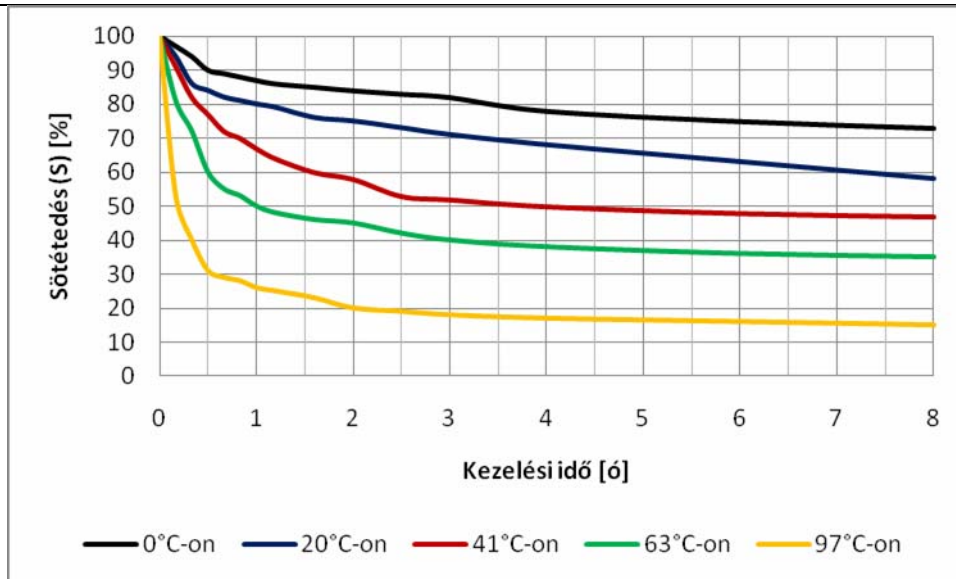
Egy másik [3] irodalom is a segítségemre volt , mely inkább kísérleti, mint gyakorlati oldalról közelített a témához. Itt több diagramot is találtam a jelenségre utalóan:



5. ábra A feketedés (S) határértékének változása az üveglemez vastagságával

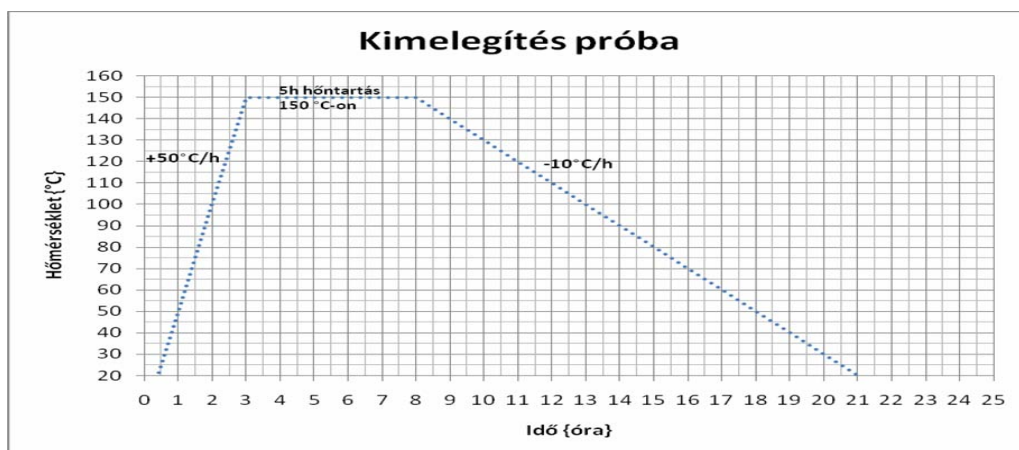
Összefüggés a feketedés (S) és a dózis (D) között:

$$S = 0,42 \cdot (1 - e^{-0,365D})$$



6. ábra A röntgensugárzástól elszíneződött üveg feketedése visszaalakulásának kinetikája a hőmérséklet függvényében

Következtetésként előre levonható, hogy az ionizáló sugárzás – főként gammasugárzás – hatására történő feketedés részben vagy egészben reverzibilis [4]. A feketedés az idővel először gyorsan, majd lassan csökken, éspedig annál gyorsabban, minél magasabb a hőmérséklet. Látni, hogy 5 óra hőkezelés elteltével a változás 90%-a lezajlott. Így öt óránál tovább nem érdemes nekem sem fűteni. Próba kimelegítésem a következő lett elméletben: 3 óra fűtés 150°C-ra 5 óra hőntartás, majd hűtés a megadott 10°C/óra sebességgel. Diagramon ábrázolva:



7. ábra Tervezett hőkezelés T(t) diagramja

Ez a kimelegítés elég nagy feladat elé állított. Elsősorban meg kellett érdeklődnöm, hogy milyen kemencét, szárítószekrényt tudnak biztosítani a számomra. Másodsorban a

hőkezelés programozhatósága volt a probléma, mivel az 50°C/óra-ás felfűtés túl lassúnak bizonyult, valamint a 10°C/óra-s lehűtés szintén túl lassúnak.

Egy szárítószekrényt tudtam használni, melyet Fischer Éva (MTA SzFKI) segítségével a 10.épület Kémia 1 47c laborjában üzemeltettek. E készülék előnye volt, hogy egyszerre beleférnek a mintáim, hátránya viszont, nem programozható, csak egy hőfokszabályozó volt a készüléken.



11. kép Szárítószekrény a KFKI 10.ép. Kémia 1, 47c laborjában

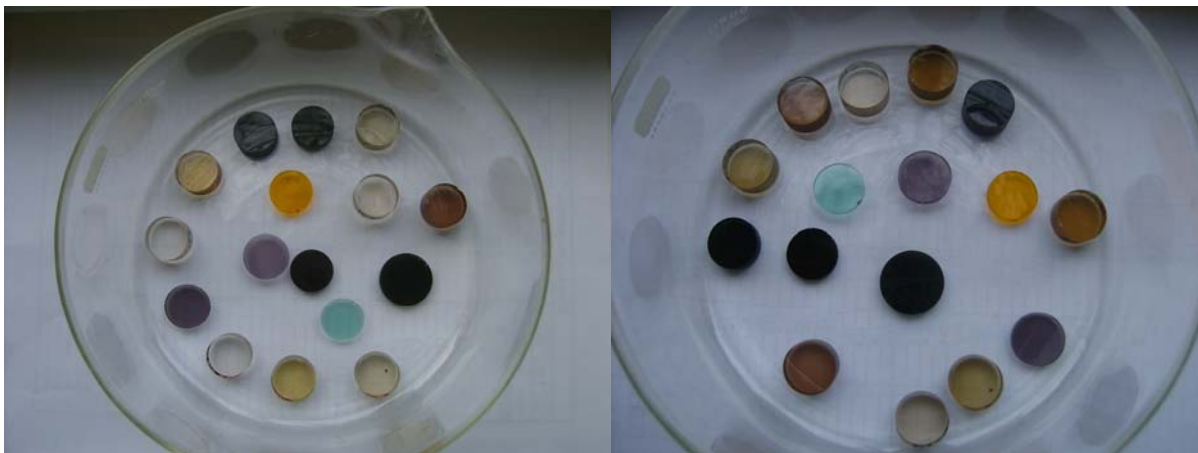
Egy próba üzemmellel beállítottam a kapcsolót 150°C-ra, de még így is felment 164°C-ig a hőmérséklet. Ekkor ezért nem szakítottam meg a kísérletet, mert a folyamat szemléltetésére így is meg felelt. A későbbiek során viszont már sikerült 150°C-ra beállítanom a készüléket, így a mintáim már e hőmérsékleten lettek hőntartva. A pontos mérési eredményeket a következő fejezetben közlöm.

A doziméterek kiértékelése után megtudtam, hogy a mintadarabjaim nem mind akkora sugárzást kaptak, mint amire számítottam. Úgy számoltam, hogy egy óra gammasugárzástól a lehető legtöbb üvegmintám 70-80%-ban elsötétedik (12.kép) – a korábbi tapasztalatok alapján. Ehhez képest a legtöbb minta szemmel láthatólag nem változott. Csak a közvetlen mérések igazolták, hogy egyes mintáimnál 10% míg mások akár 60%-os sötétedés tapasztalható (adott hullámhossz értékeken). Ezért módosítanom kellett a hőkezelési ciklus hosszát. Így nem öt óra hőntartást ütemeztem elő, hanem egy egyórás és egy kétórás, hogy követni tudjam a változások mértékét.



12. kép Három éve besugárzott minták kimelegítés előtt

Mivel volt elegendő mintadarabom, ezért azon üvegeknél, melyeknél szemmel láthatóan is nagyobb volt a sötétedés még egy harmadik, összevont hőkezelést is csináltam, ami abból állt, hogy 5 db üveg minta (SF4, BK7, K108, F101, kvarc) bent volt az egyórás melegítésen majd mérések után a kétórás melegítésen is. Így összesen kapott egy 1+2 órás hőközlést. Így már elegendő mérési adatokkal rendelkeztem, hogy megfelelő következtetést tudjak levonni.

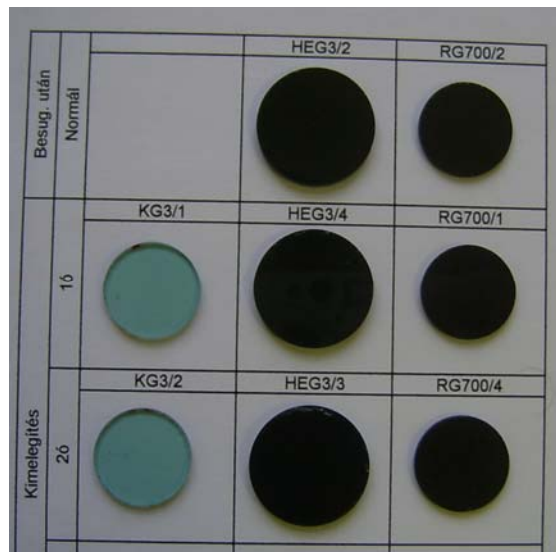


13. kép Saját mintadarabjaim a besugárzás és kettő óra hőntartás után 150°C-on

Az 14., 15. képen láthatóak a mintáim egy összefoglaló táblázatban, ahol az első sor a 'normál' besugárzási mintákat mutatja, a második az egy óra hőkezelés utáni állapotot, a harmadik a két óra hőntartási állapot, valamint a negyedik, utolsó sorban az 1+2 órás hőntartott mintadarabjaim. A hőntartás hőmérséklete minden esetben 150°C- on történt.



14. kép Üveg mintáim a besugárzás és a hőkezelés után



15. kép Üveg mintáim a besugárzás és a hőkezelés után

6. Kísérlet eredményeinek feldolgoása

6.1. *Doziméterek kiértékelése*

A már említett helyen dolgozó Baranyi Lajosnének köszönhető az a 8 db FVT-60 típusú doziméter film, melyet a kísérlet során felhasználtunk. Magát a kiértékelést is ő végezte. A detektorok 5x5mm-es lapocskák, melyek gamma sugárzás hatására elsötétülnek. Az elsötétedés mértékét transzmisszióméréssel meghatározzák, és abból következtetnek a mért dózisa. A kiértékelés eredményét az 1. táblázat tartalmazza.

Doziméter száma	Tube jelzése	Detektálási idő [ó]	Dózis mértéke [kGy]
11	T1	8	24
12	T2	8	20
13	T3	1	0,5
14	T4	1	0,5
15	T5	1	0,5
16	T6	1	n/a ¹
17	T7	1	10
18	T8	1	10

3. táblázat Doziméterek kiértékelése

Az analízist egy Jasco V-550 UV/VIS típusú spektrofotométerrel készült a KFKI Izotóp Intézet XXII/A épületének laborjában 2009.12.04-én. A kiértékelést végezte: Baranyi Lajosné, az intézmény dolgozója.

6.2. *Transzmissziómérés kiértékelése*

A 190-900nm tartományban mért transzmisszió analízist a már említett helyen és műszerrel végeztem.(Jasco V-550-es spektrofotométer *s/n:1-1432-00*).

¹ a dózis mértéke a mérési tartomány alatt volt , úgy 100-200 Gy lehetett

Mérési paraméterek minden esetben a következők voltak:

- tartomány: *190-900 nm , illetve 380-780 nm*
- sebesség: *200 nm/min*
- felbontás: *1 nm*

Méréseket a következő fázisokban végeztem:

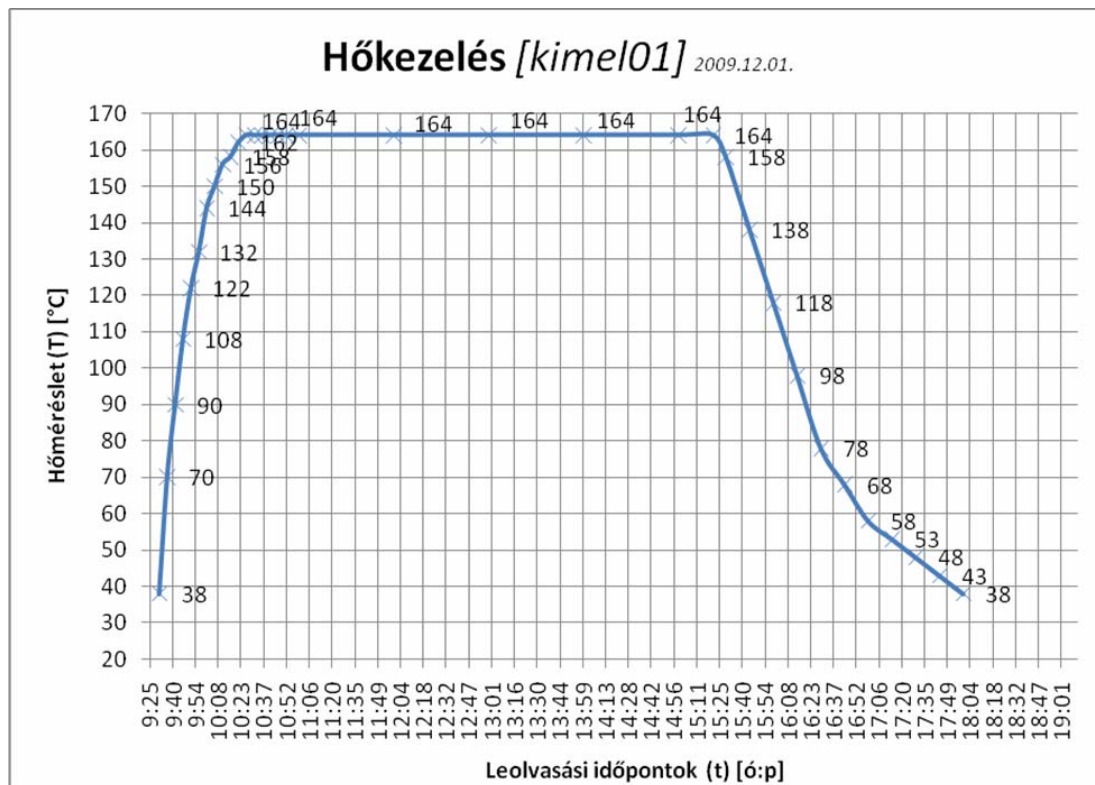
- besugárzás előtt
- besugárzás után / kimelegítés előtt
- kimelegítés után

A mérési eredményeket digitális formában dolgoztam fel.

6.3. *Hőkezelések kiértékelése*

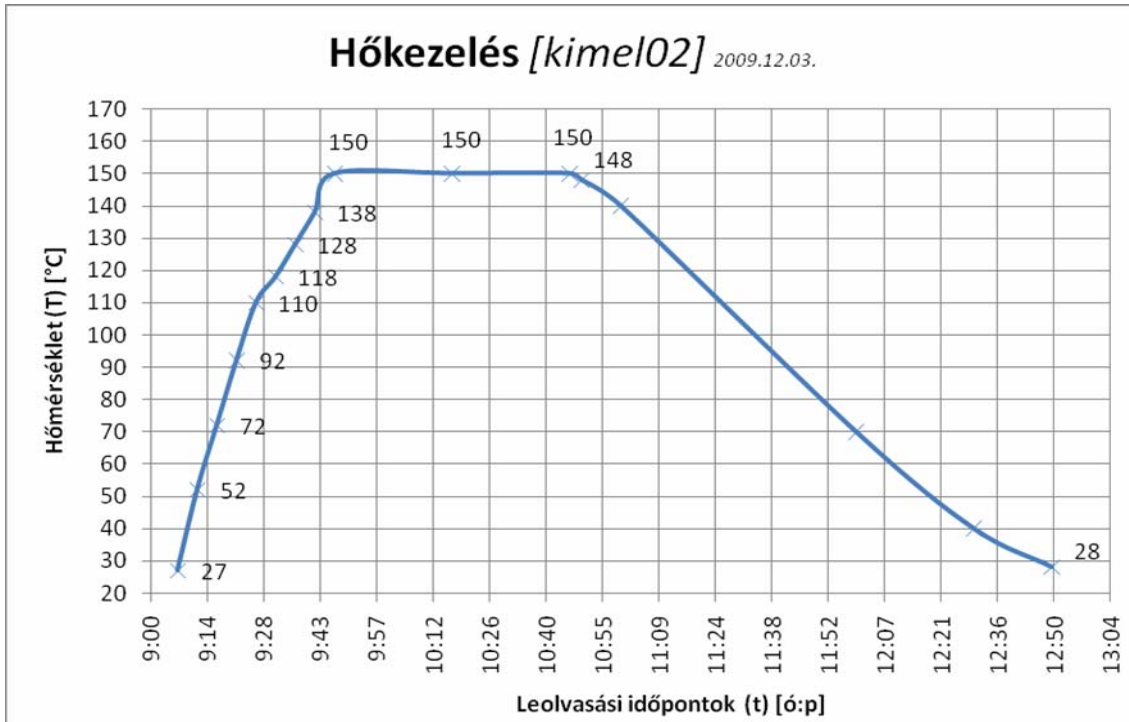
A kimelegítést szintén a már említett helyen, technikus segítségével végeztem. Maga a készülék egy szárítószekrény volt (s/n123-1993), mely tudta a számomra szükséges 150-180°C-ot. Mérési adatokat egy beépített higanyos hőmérőről olvastam le és rögzítettem a mérési jegyzőkönyvben, majd a mérési eredményeket digitális formában dolgoztam fel. Összesen három hőkezelést végeztem el:

- 1. A három éve besugárzott mintákon egy 5 órás hőntartást 164°C-on:



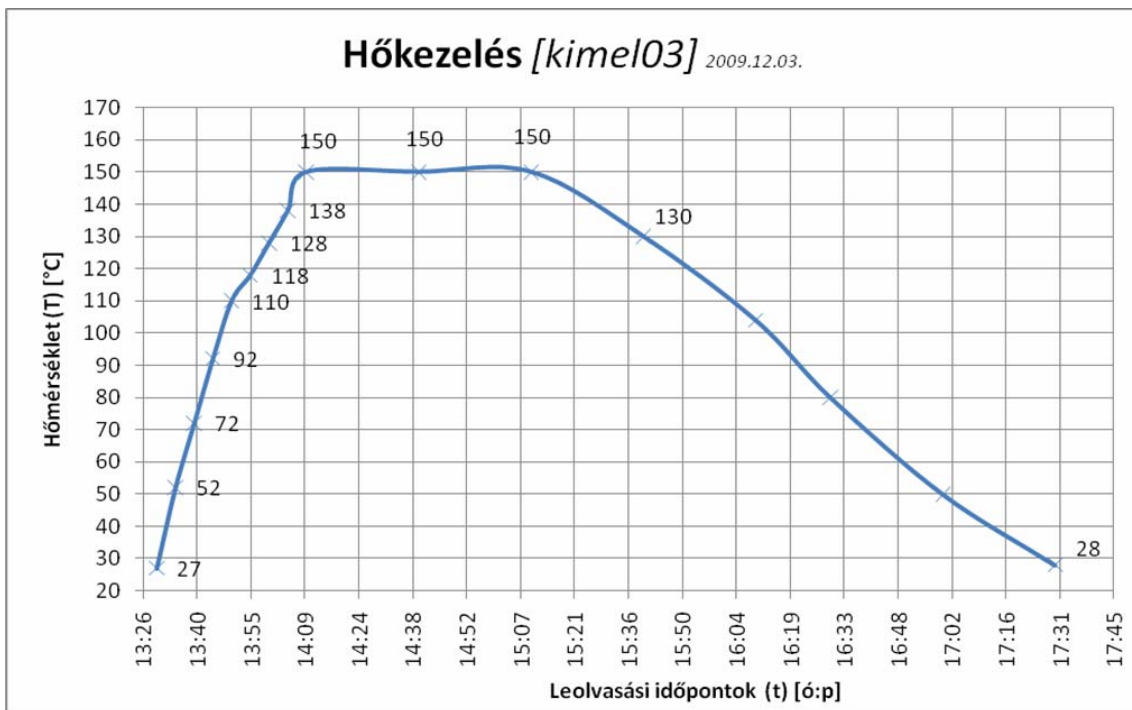
8. ábra Az öt órás kimelegítés diagramja

- 2. Az újonnan besugárzott minták egy részén egy 1órás hőntartást 150°C-on:



9. ábra Az egy órás hőntartás diagramja

- 3. valamint a másik részükön egy két órás hőntartást szintén 150°C-on:



10. ábra A kétórás hőntartás diagramja

Itt jegyzem meg, hogy 5 db minta mind az 1órás mind a 2órás hőntartásba részt vett, ezeket a későbbiekben részletezni fogom. Viszont egyes mintákat (fajtánként egyet-egyét), ha lehetett nélkülözni, a későbbi ellenőrzési és vizsgálati céllal csak a besugárzáson vettek részt. A mérési jegyzőkönyvek a 4.sz. mellékletben megtekinthetők.

7. Kísérlet során mért adatok kiértékelése

A kísérlet célja az volt, hogy a gammasugárzásnak kitett optikai anyagok sötétedését hőkezeléssel megkíséreljük visszaállítani. A feladat során a három éve besugárzott [1] üvegeket is kimelegítettem, és mértem a transzmisszió-változásukat. Régi minták a következők voltak: BK7, K108, K8, F101, F2, kvarc. A régi minták diagramjaiban külön jelzem az üvegfajtát és a dózist, amit korábbi besugárzás során kapott. Többféle üveg anyagot² használtam fel, ezek a következők volt:

- BK7 – alacsonyabb törésmutatójú optikai üveg anyag (Bórkorona üveg)
- SF4 – magasabb törésmutatójú üveg anyag (Schwer-Flint), mely nehezebb a BK7-nél
- Kvarc – SiO₂; várhatóan ennek kell legjobban bírnia a sugárzást
- K108 – orosz sugárzásálló üveg, törésmutatóban a K8, illetve a BK7 megfelelője
- F101 – az F1-es 'flint' üveg sugárzást jobban tűró változata
- BG28 – Schott optikai színszűrő üveg, kék , 450nm –nél a legnagyobb a transzmissziója
- NG3 – Schott neutralszűrő, 10-20%os maximális áteresztéssel
- OG530 – Schott színszűrő, 530nm feletti áteresztéssel
- KG3 – Schott, látható tartományban áteresztő, vagyis hőszűrő üveg, zöldeskék színű
- HEG3 – 'Hegesztő' üveg, infratartományban nem áteresztő
- RG700 – RG695-ös Schott színszűrő, 695nm felett áteresztő

Jelölés szempontjából az azonos fajtájú üvegeket egy '/' jel és egy számmal különböztettem meg pl.: BK7/1, BG28/2 ... stb.

Először megvizsgáltam a besugárzás hatását az üvegekre, majd pedig a hőkezelés után annak a hatását is megvizsgáltam, majd végül az egész folyamatot. Mivel közel egyenlő dózist kaptak az azonos anyag minták, ezért a hangsúly nem a sugárzás által történt változáson, hanem a hőkezelésen van.

Változások az átlátszó üvegmintákon szemmel látható volt (*14.kép*), elsötétedtek.

² az üvegek hivatalos adatlapja az 5.sz. mellékletben megtalálható

7.1. BK7 típusú üveg vizsgálata



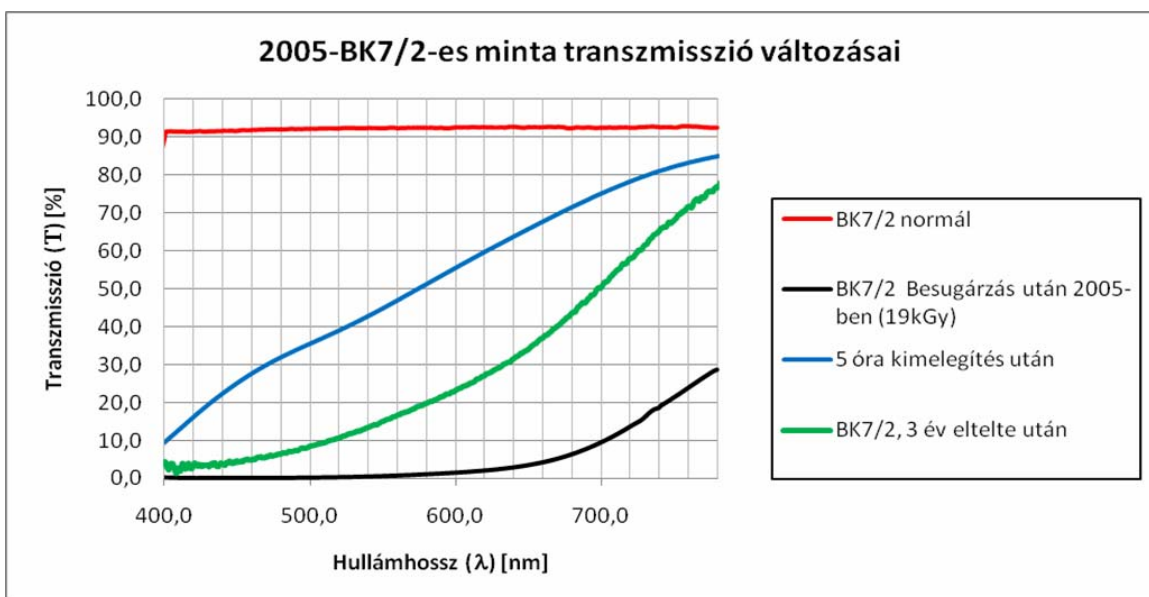
16. kép BK7 minták

Amint az a fentebbi képen is jól látszik, a várakozásnak megfelelően az üveg a besugárzás hatására elsötétült (jobb szélső), majd a melegítés hatására világosodott. A besugárzási dózisok és a hőkezelés hossza a következőképpen alakult:

Üveg azonosítója	Dózis 1 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
BK7/1	500 Gy	nem kapott
BK7/2	500 Gy	2 óra
BK7/3	500 Gy	1+2 óra
BK7/4	500 Gy	1 óra

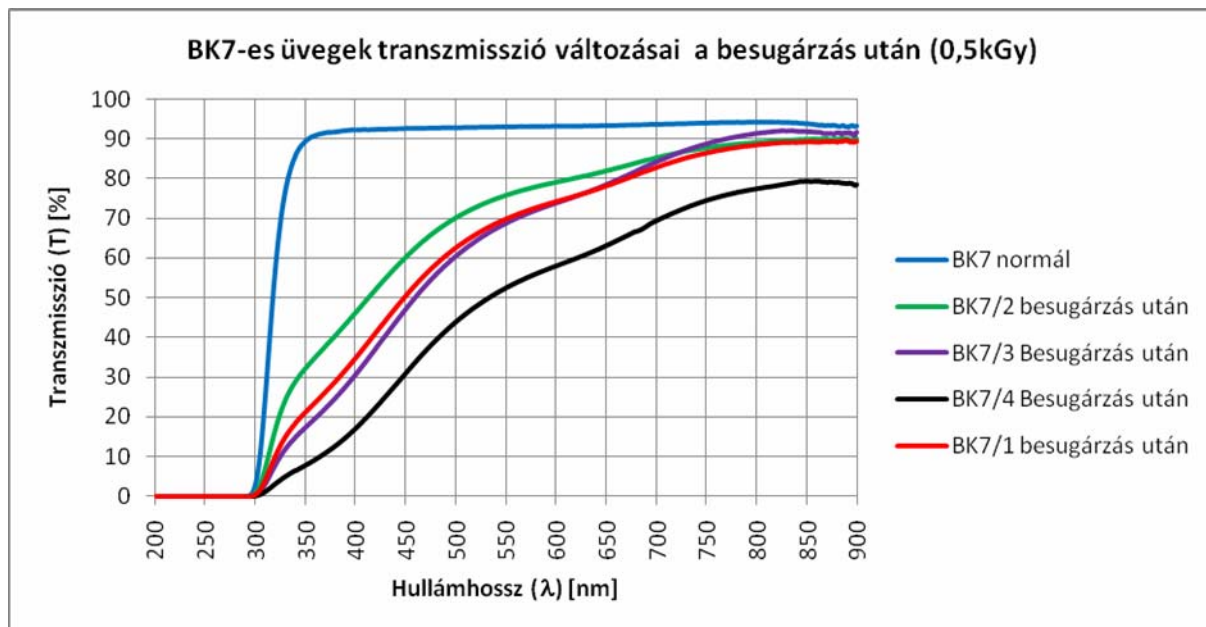
4. táblázat Dózis és hőkezelés típusok alakulása egyes mintákon

Diagramban ábrázoltam a transzmisszió változásokat egy eredeti mért mintához képest.

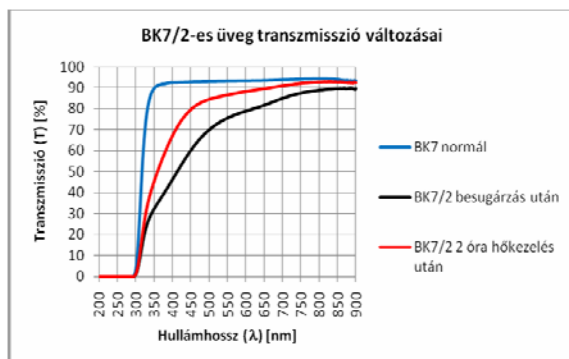


11. ábra A 2005-ös BK7/2-es minta transzmisszió változása

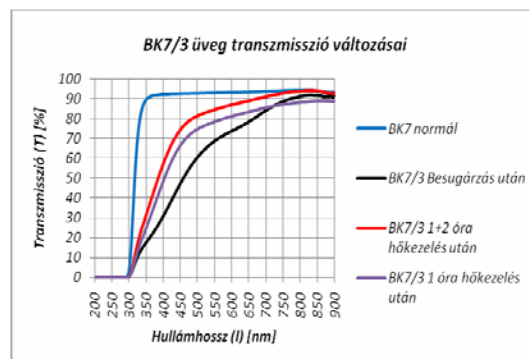
Jól látható a 15.ábrán, hogy 5 óra hőzeléssel több változást elérhetünk, mint 3év szobahőmérsékleten való pihentetéssel, bár korántsem volt elég ahhoz, hogy visszanyerje az eredeti áteresztőképességét.



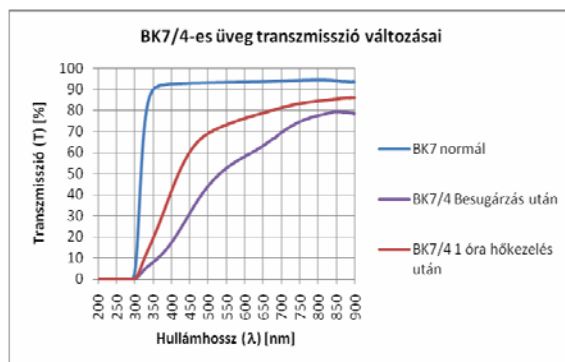
12. ábra BK7-es üveg transzmisszió változásai



13. ábra BK7/2-es minta eredményei



14. ábra BK7/3 minta eredményei



15. ábra BK7/4-es üveg áteresztőképességének változásai

Látható, hogy a változások aránya szinte azonos az 1 és a 2 órás hőkezelés között (16. és 18.ábra), viszont ez nem tapasztalható BK7/3-as üveg esetében- 17.ábra- , ahol a plusz két órás hőkezelés csekély változást okozott a transzmisszióban.

7.2. SF4 típusú üveg vizsgálata



17. kép SF4-es minták

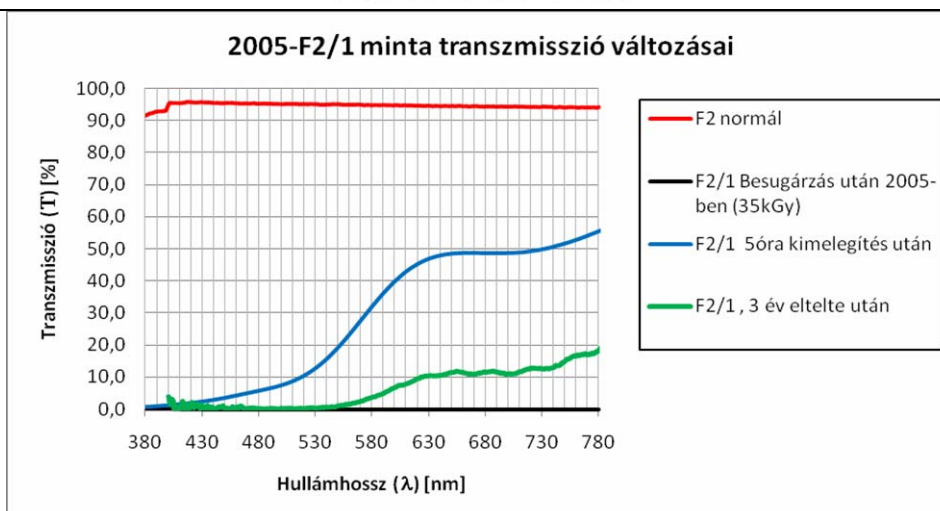
Talán itt volt a legszembetűnőbb a változás (17.kép), ahol egy teljesen átlátszó üvegből a sugárzás hatására egy barna üveget kaptunk, majd a melegítések szinte teljesen eltüntették a károsodást, legalábbis szemmel láthatólag. A dózisosok, illetve a hőkezelések a következő-képpen alakultak:

Üveg azonosítója	Dózis 1 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
SF4/1	500 Gy	1 óra
SF4/2	500 Gy	1+2 óra
SF4/3	500 Gy	2 óra
SF4/4	500 Gy	nem kapott

5. táblázat SF4-es minták dózis és hőkezelés alakulása

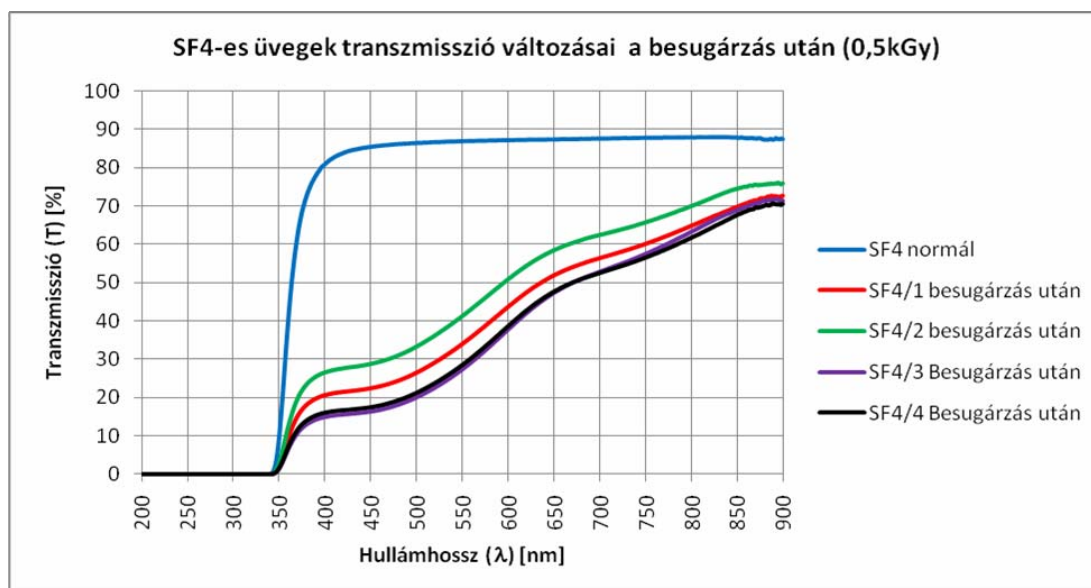
2005-ös üvegminták közül [1] az F2-s üveg minta³ kimelegítésének hatása, ábrázolva az akkori valamint a három év eltelte utáni állapotot, a 20. ábrán látható:

³ Az F2-es minta van jellegre legközelebb a most használt SF4 -es mintához

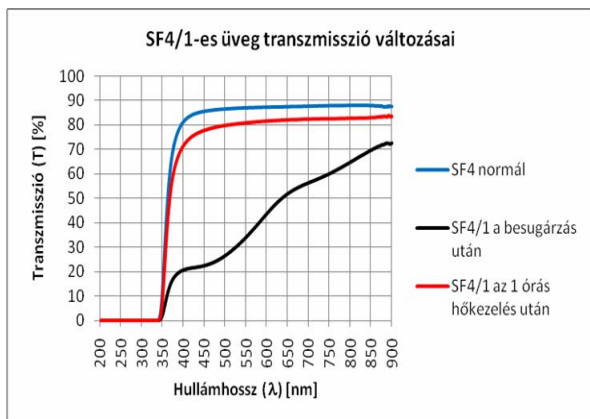


16. ábra 2005-ös F2/1-es minta transzmisszió változása

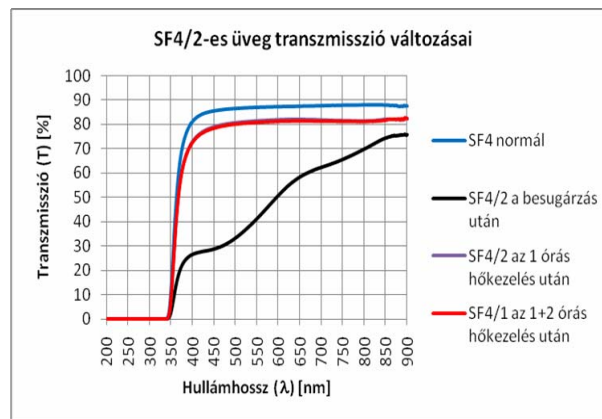
Figyelembe véve, hogy a mostani SF4-es mintáim a dózis közel a 1,5%-át (!) kapták az akkori mintákhoz képest, várható, hogy a változás sem lesz akkora. Akkor a minták, mint a diagramon látszik teljesen elsötétültek, szemben a mostani sötétes barna árnyalattal.



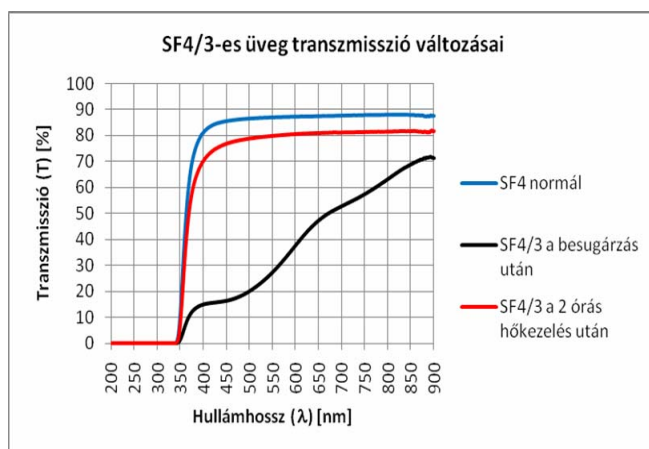
17. ábra SF4-es minták transzmisszió változása besugárzás után



18. ábra SF4/1-es minta transzmisszió változása



19. ábra SF4/2-es minta transzmisszió változása



20. ábra SF4/3 minták transzmisszió változása

Érzelkelhető, hogy a belső szerkezeti változások az első egy órában végbe mennek 150°C-on, és a megismételt hosszabb idejű hőkezeléssel is csak pár százalékos javulás látható.

7.3. K108 típusú üveg vizsgálata



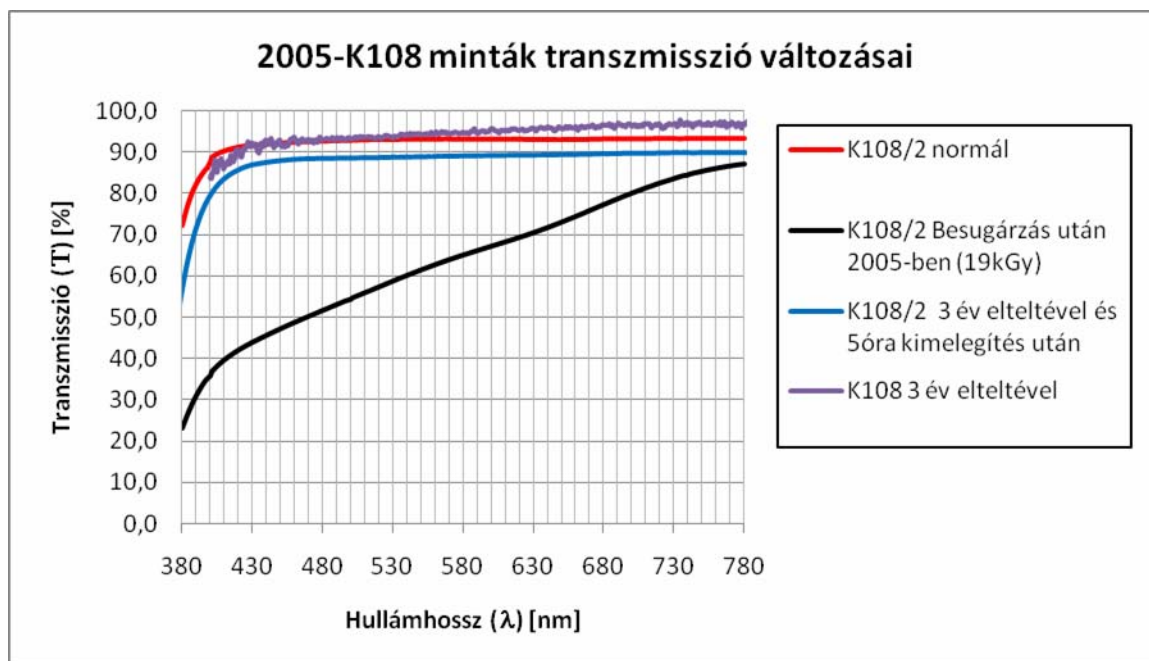
18. kép K108 minták

A K108-as üveg bírta a legjobban a sugárzást. Szinte alig látszik rajta változás (18. kép.). Mindenesetre a korábbi tapasztalatok alapján, azért nagyobb változást vártam. A kísérletet összefoglalása látható a . táblázaton.

Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
K108/1	20000 Gy	nem kapott
K108/2	20000 Gy	2 óra
K108/3	24000 Gy	1+2 óra
K108/4	24000 Gy	1 óra

6. táblázat Dózis és hőkezelés típusok alakulása egyes mintákon

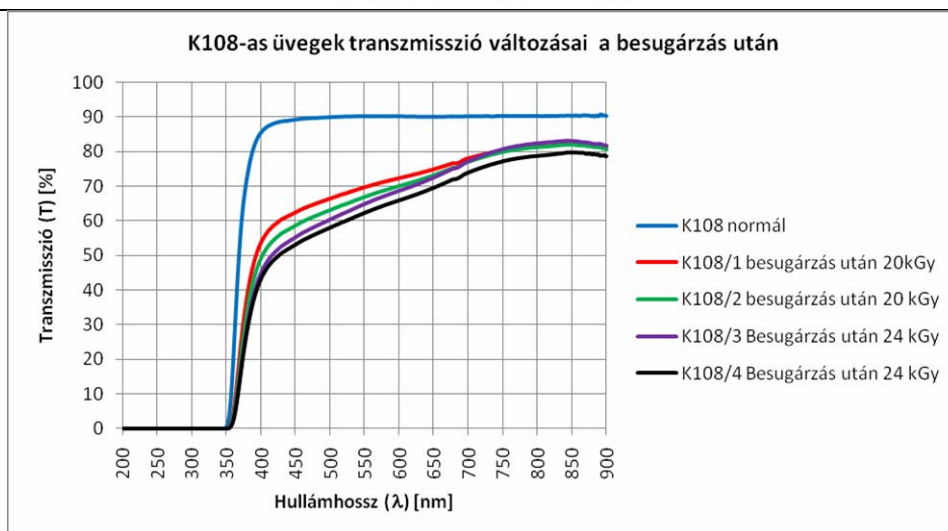
A korábbi minták vizsgálata során a K108 anyag volt az, amely még a 48kGy dózis estén is csak a transzmissziójának a felét veszítette el. Kíváncsisággal töltött el, hogy vajon a kimelegítésre, hogy reagál. Ezt láthatjuk a 23. ábrán.⁴



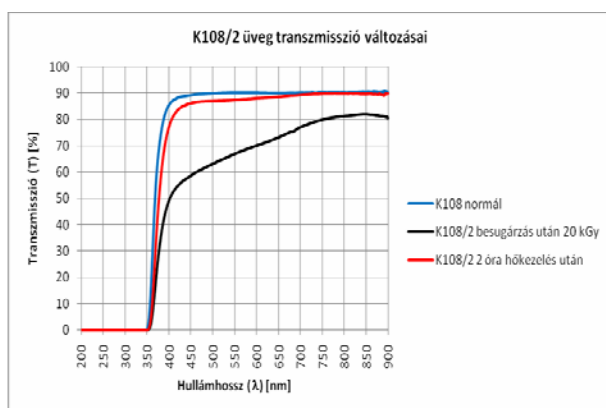
21. ábra 2005-ös minták transzmisszió változása

Jól látható az előzetes kísérleten, hogy a K108-as üveg jól reagál a hőkezelésre, így várhatóan jól fogja közelíteni a transzmissziója az eredeti értéket.

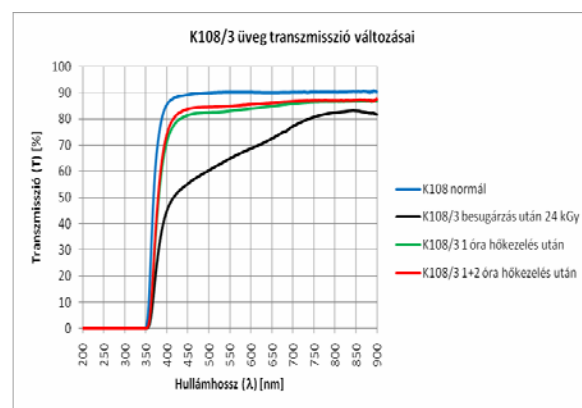
⁴ Sajnos mérési hiba miatt a 3év eltelte utáni mérések nem sikerültek, a normálnál nagyobb transzmissziókat mértek.



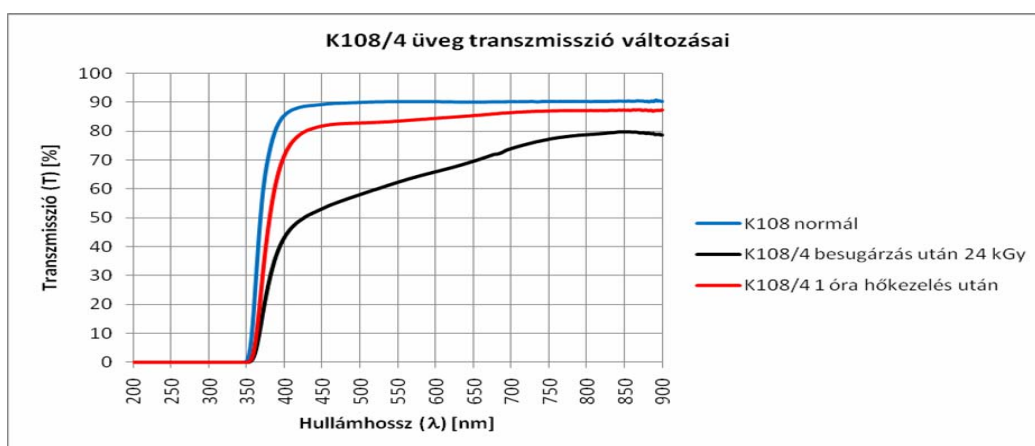
22. ábra K108 minták áteresztőképességének alakulása



23. ábra K108/2 transzmisszió változása



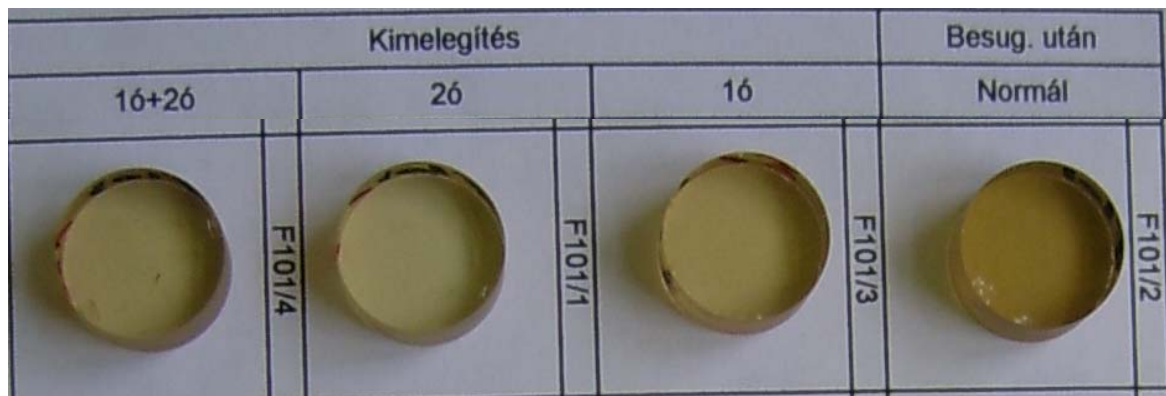
24. ábra K108/3 transzmisszió változása



25. ábra K108/4-es minta változásai

Jó látható, hogy a 2 órás hőkezelés volt a legeredményesebb (28. ábra), jobb volt, mint a 1+2 órás (29. ábra). Lassan kitűnik, hogy a hőkezelés megosztása egyáltalán nincs hatással a transzmisszió alakulására.

7.4. F101 típusú üveg vizsgálata

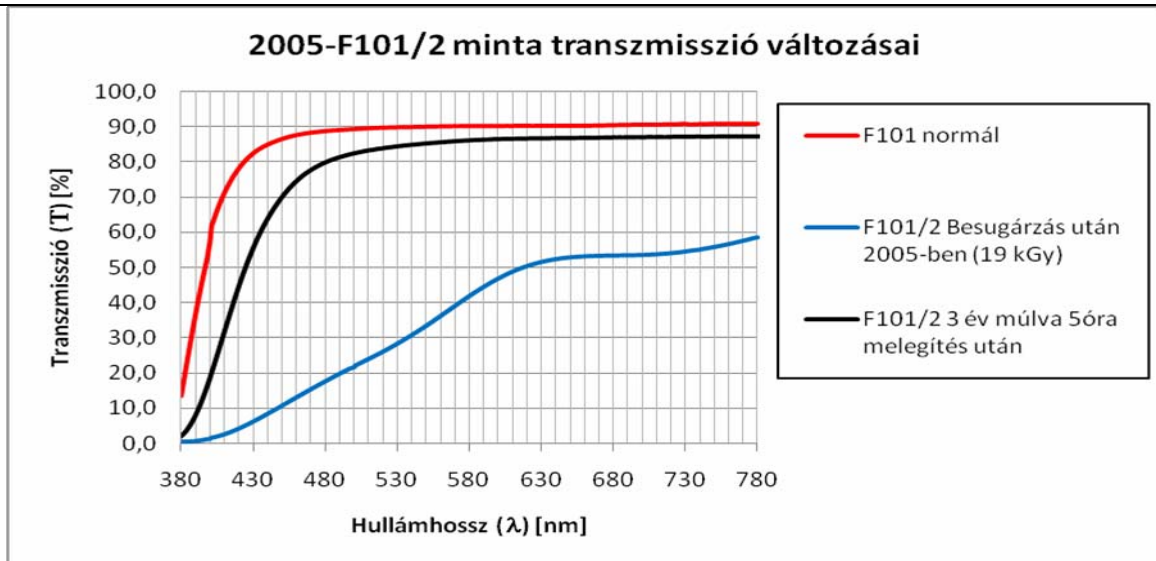


19. kép F101 minták

Az F101-es üveg szintén sugárzásálló, hasonlóan a K108-hoz, bár ez az üveg messzemenőleg sem olyan jó. Szemmel érzékelhető a világosodás a kísérlet fázisai között. Mivel nem nagy a kontraszt az egyes üvegminták között, ezért valószínű, hogy a kimelegítés nem volt akkora hatással az üvegszerkezetre, mint a korábbi mintákra. Az F101 üvegminták besugárzás és hőkezelés adatait a 6. táblázatban foglaltam össze.

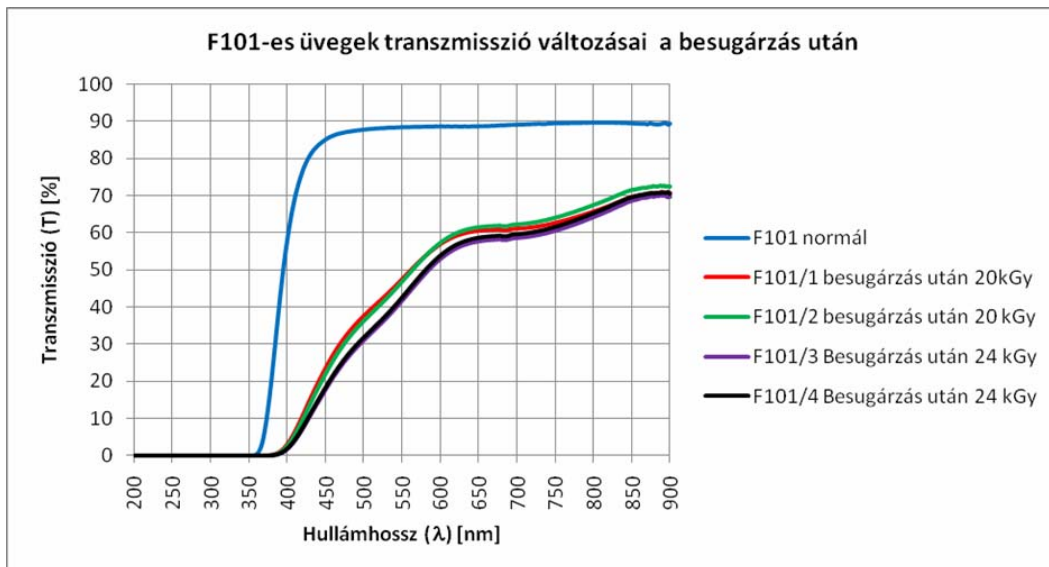
Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
F101/1	20000 Gy	2 óra
F101/2	20000 Gy	nem kapott
F101/3	24000 Gy	1 óra
F101/4	24000 Gy	1+2 óra

7. táblázat F101-es minták dózis és hőkezelés adatai

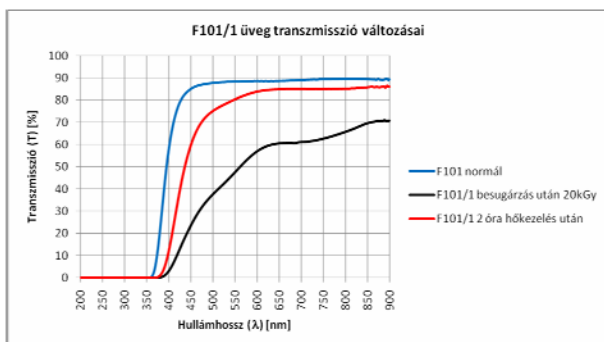


26. ábra A 2005-ös minta vizsgálatának eredményeit az alábbi diagram tükrözi

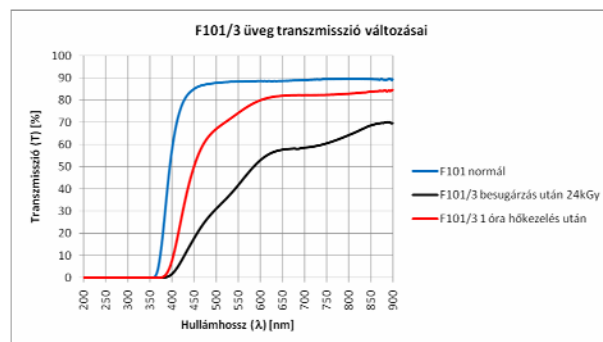
A hatás hasonló volt a K108 2005-ös mintájához (26.ábra). Itt is majd nem visszaállt az eredeti $T(\lambda)$ függvény. Hasonló hatást várok a mostani mintáimtól is a kísérlet során, bár a hőkezelés rövidebb lesz.



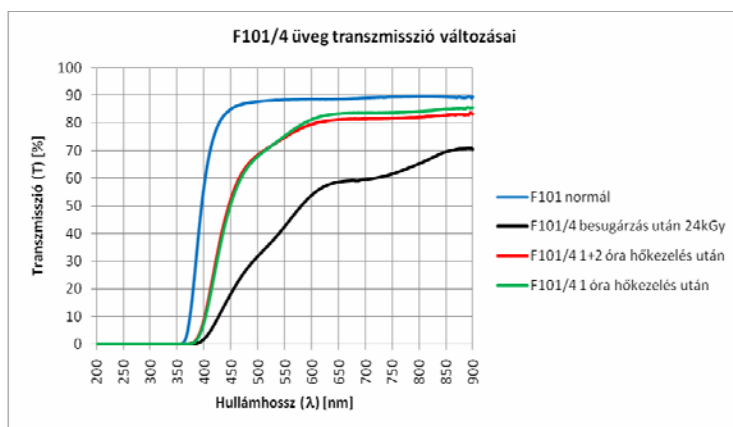
27. ábra F101-es minták transzmisszió változásai



28. ábra F101/1-es minta transzmisszió változása



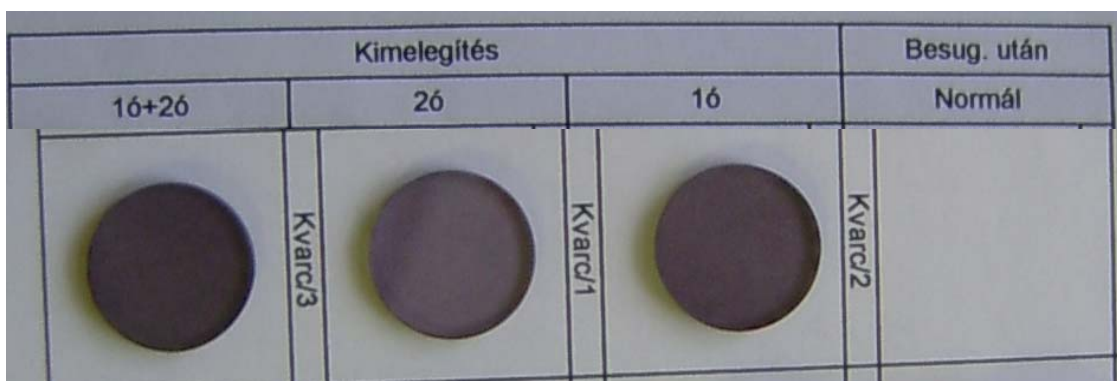
29. ábra F101/3-as minta transzmisszió változása



30. ábra F101-es minták transzmisszió változása

Itt is jól látszik a hőkezelések között különbség minimális.

7.5. Kvarc minták vizsgálata



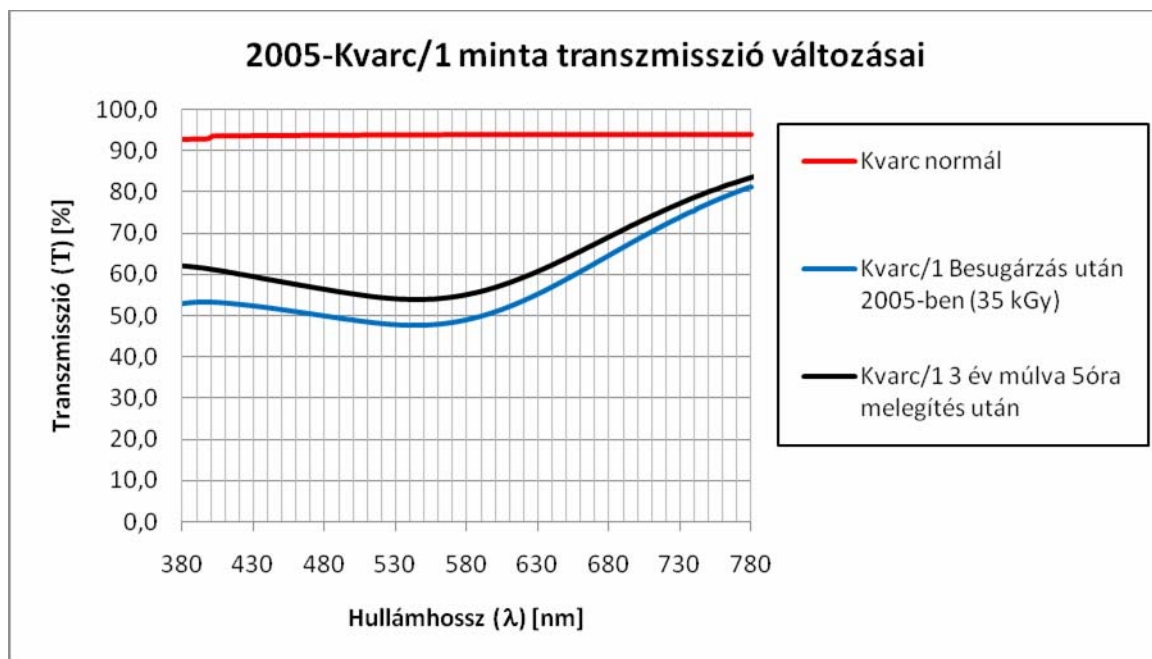
20. kép Kvarc minták

Az eddigi mintáktól eltérően a kvarc máshogy viselkedett a besugárzás hatására, legalábbis, ami a $T(\lambda)$ függvényt illeti. Szakirodalom szerint[4] a kvarcnak a jobban kell bírni a sugárzást, mint egyes általános üveg fajtáknak. Viszont ez a kísérletem során nem igazolódott teljes mértékben.

Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
Kvarc/1	20000 Gy	2 óra
Kvarc/2	20000 Gy	1 óra
Kvarc/3	24000 Gy	1+2 óra

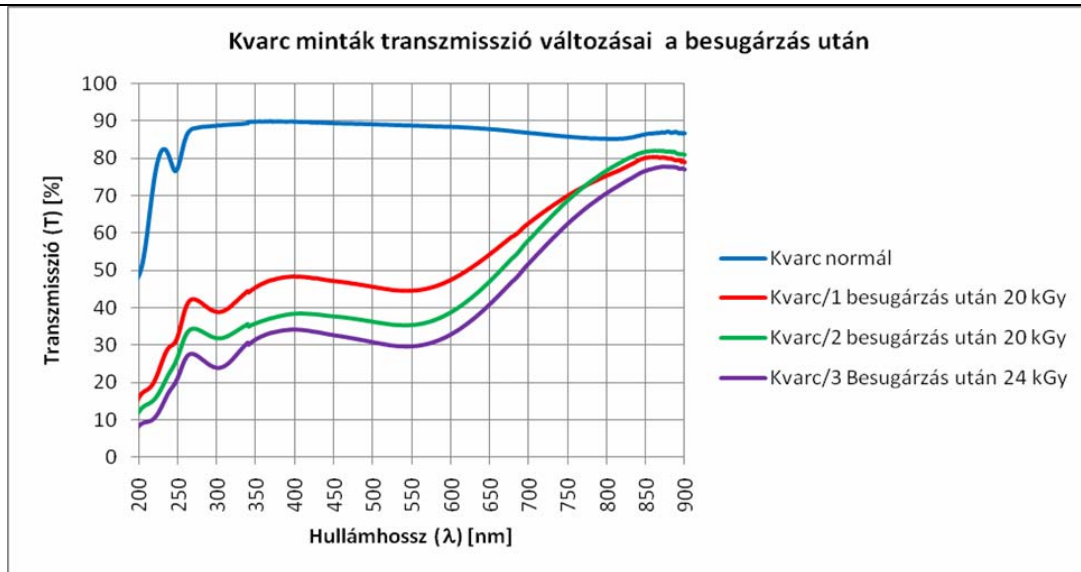
8. táblázat Kvarc minták dózis és hőkezelés adatai

Próba kimelegítés során a 2005-ös minták transzmisszió változásait szemlélteti az 37.ábra.

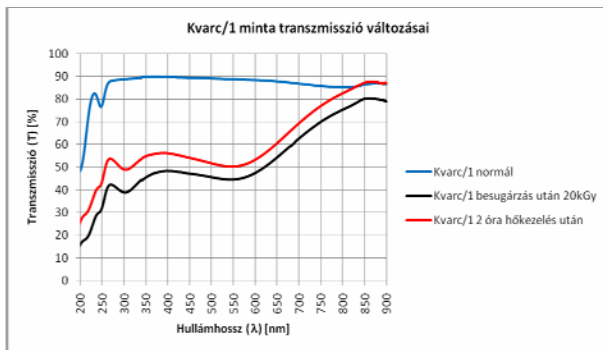


31. ábra 2005-ös minta változása

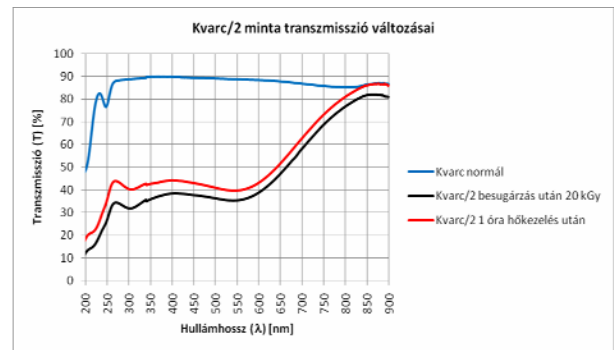
Jól mutatja a diagram, hogy a kvarcra az 550nm környéki tartományban nagyobb a gamma sugárzás hatása, mely az üveg mintáknál nem tapasztalható jelenség. És azért jól mutatja, hogy a kvarc még egy 35 kGy dózis esetén is még mindig 50% feletti a transzmissziót tudott produkálni. A saját mintáimon a transzmisszió változások a 34., 35., 36. és 37. ábrán láthatóak:



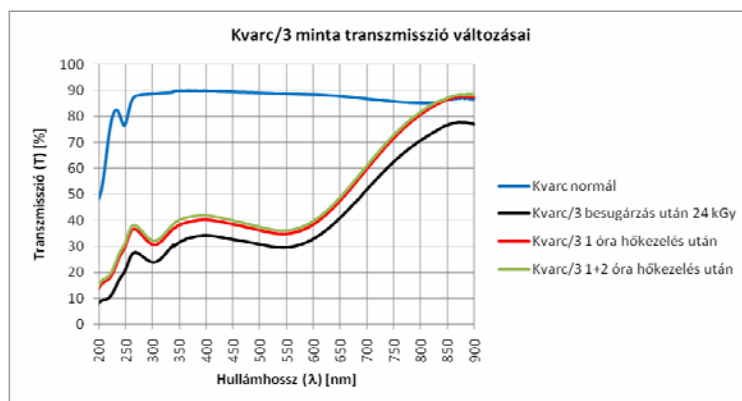
32. ábra Kvarc minták transzmisszió változásai



33. ábra Kvarc/1 transzmisszió változása



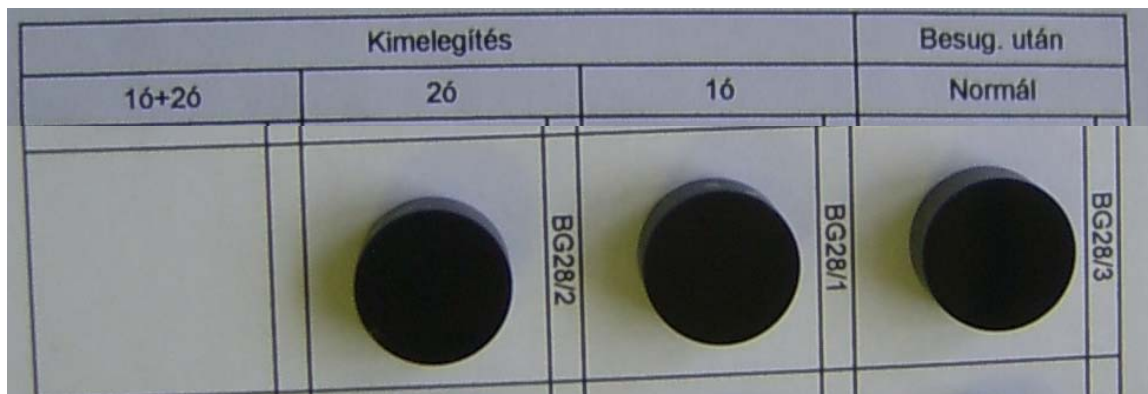
34. ábra Kvarc/2 transzmisszió változása



35. ábra Kvarc/3 transzmisszió változása

Mostani méréseim során az UV tartományt (190-380nm) is detektáltam a transzmisszióméréseim során. Ennek köszönhetően látható, hogy elég 'hullámzóan' alakul a kvarc áteresztőképessége ebbem az intervallumban. A hőkezelések pedig egy közel 10%-os javulást okoztak közelítően egyenletesen minden hullámhosszon, ami eddig szintén nem volt tapasztalható az üvegeken végzett vizsgálat során.

7.6. BG28 típusú minták vizsgálata



21. kép BG28 minták

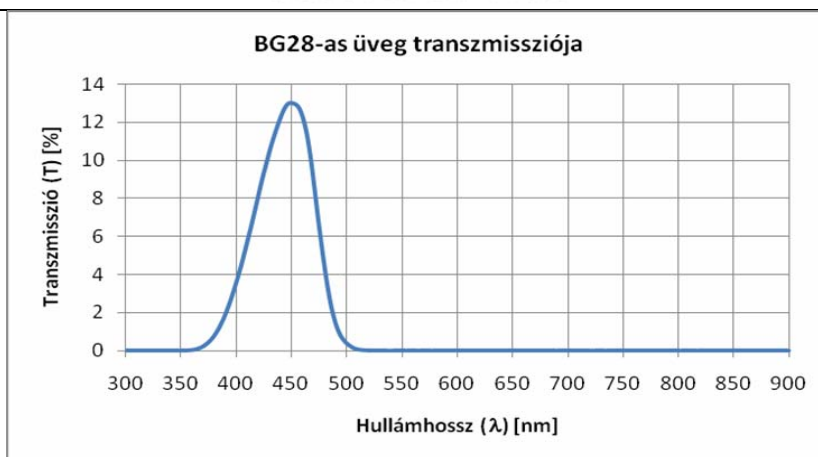
Az eddigiektől eltérően a következő vizsgálatok során az optikai színszűrőket vizsgálom. Hátrányuk, hogy nem annyira szemléletesek, mivel normál esetben is sötétek, ráadásul a besugárzás során a legkevesebb dózist is ők kapták. Korábban ilyen üvegek vizsgálatára nem került sor, így a sugárzás hatásában biztosan nem tudhatok. Azt vártam, hogy közel hasonlóan viselkednek az eddigi mintákhoz képest.

A kísérlet során használt dózis, illetve hőkezelési értékek:

Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
BG28/1	10000 Gy	1 óra
BG28/2	10000 Gy	2 óra
BG28/3	n/a ⁵	nem kapott

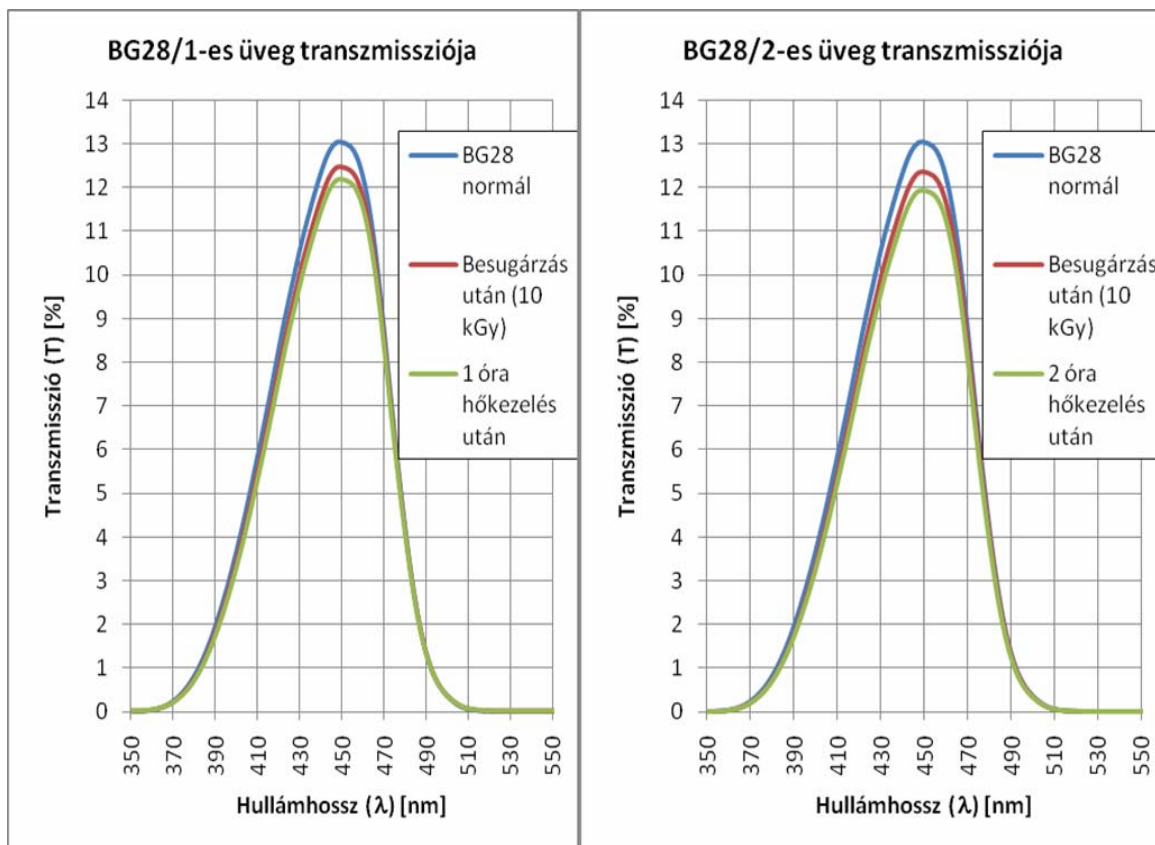
9. táblázat BG28 minták dózis , hőkezelés alakulása

⁵ A doziméter mérési tartománya alatti érték, vagyis kisebb mint 500 Gy



36. ábra BG28-as üveg transzmissziója⁶

A kis dózis miatt nagy változás nem várható. Besugárzás után a transzmissziók a következőképpen alakultak:



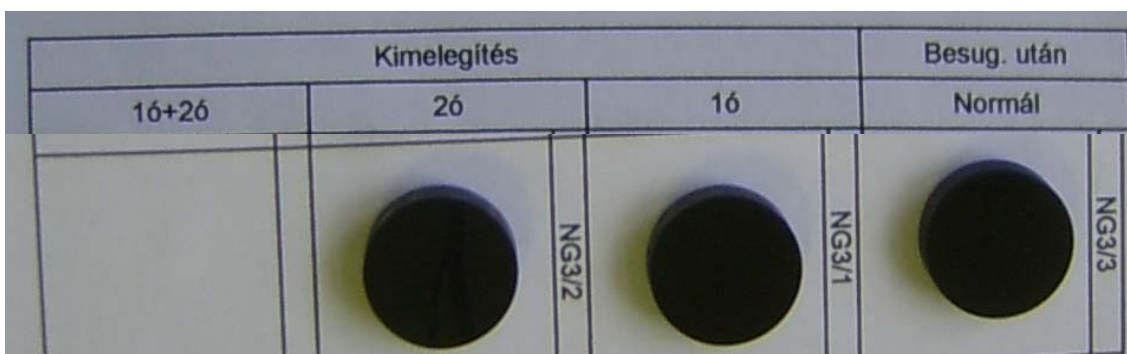
37. ábra BG28/1 és a BG28/2 minta transzmisszió alakulása 350 és 550 nm között

Meglepő, hogy a hőkezelés nemhogy javított, hanem inkább rontott az átteresztőképességen. Viszont figyelembe véve, hogy az egész változás a transzmisszió 1%-án belül

⁶ Mivel mindegyik mintám egy tömbből lett darabolva, ezért a besugárzás előtt elég volt egynek megmérni a transzmisszióját.

mozog, így az esetleges mérési hibák, illetve egyéb szerkezet változások nagyobb szerepet kaphatnak, ezért mélyrehatóbb következtetést nem lehet levonni a kísérlet ezen pontján.

7.7. NG3 típusú minták vizsgálata



22. kép NG3 minták

Az előző vizsgálathoz hasonló várható az NG3-as szűrőknél is , mivel az áteresztőképességük és az alkalmazott dózis is alacsony. A vizsgálat során alkalmazott dózisok és hőkezelések összefoglalója olvasható az alábbi táblázatban:

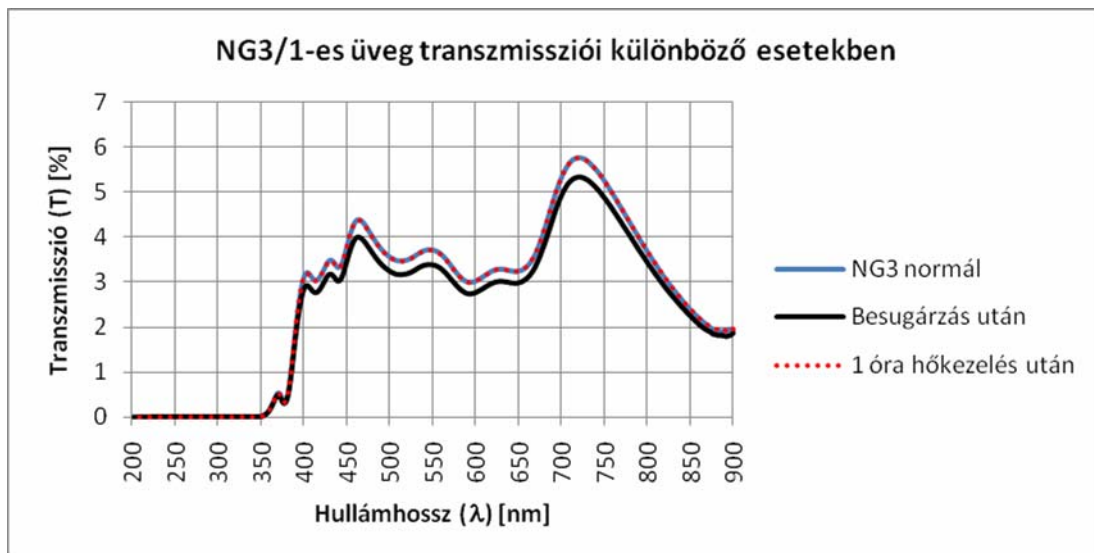
Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
NG3/3	500 Gy	nem kapott
NG3/2	10000 Gy	2 óra
NG3/1	500 Gy	1 óra

10. táblázat NG3-as minták dózis és hőkezelés adatai



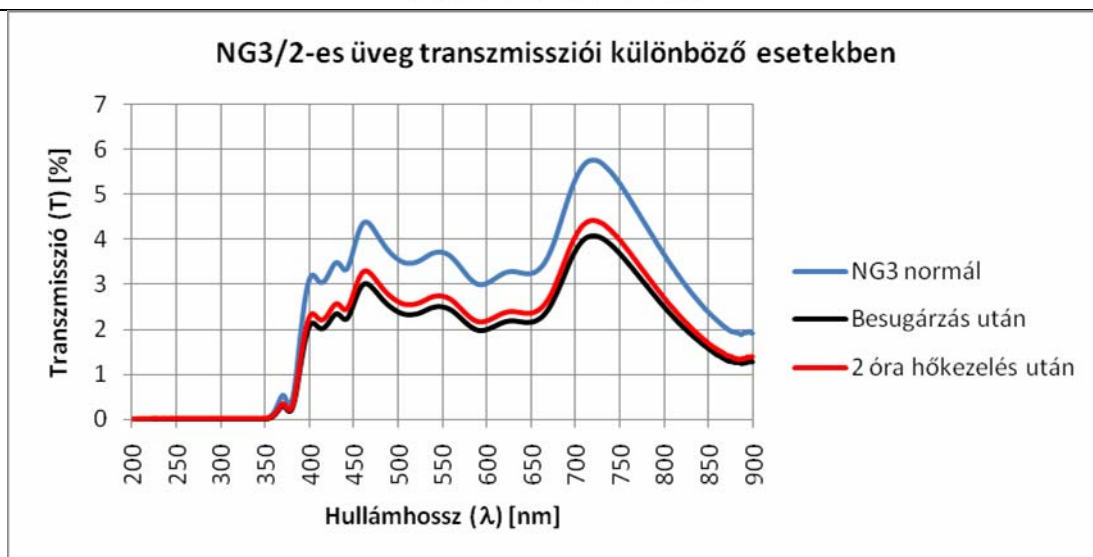
38. ábra NG3-as minta átteresztőképessége

A besugárzás és a hőkezelés hatásait a 41. és 42. ábrák mutatják.



39. ábra NG3/1 minta transzmissziója

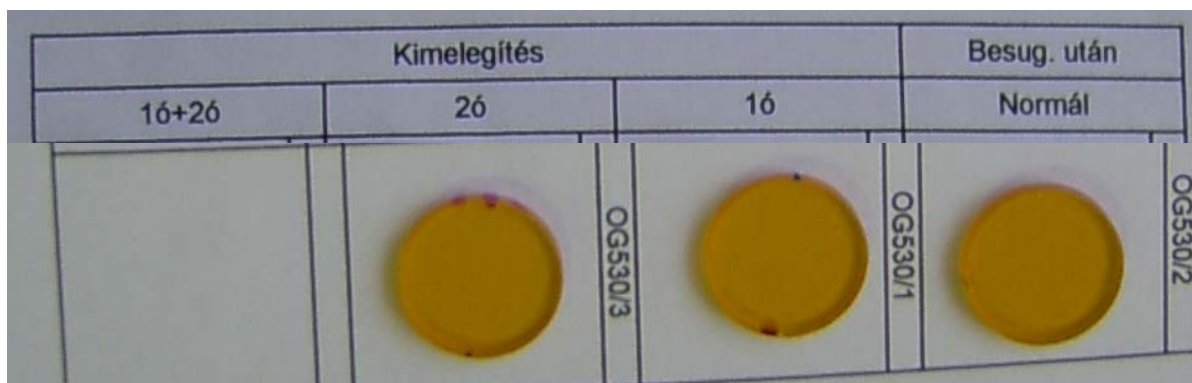
Itt a várakozással ellentétben 1 óra hőkezelés után gyakorlatilag vissza állt az eredeti állapot.



40. ábra NG3/2 minta transzmisszió változásai

Megfigyelhető, hogy a nagyobb dózis utáni hosszabb hőkezelés akkora változást okozott, mint kis dózis és rövid hőkezelés esetén.

7.8. OG530 típusú minták vizsgálata



23. kép OG530 minták

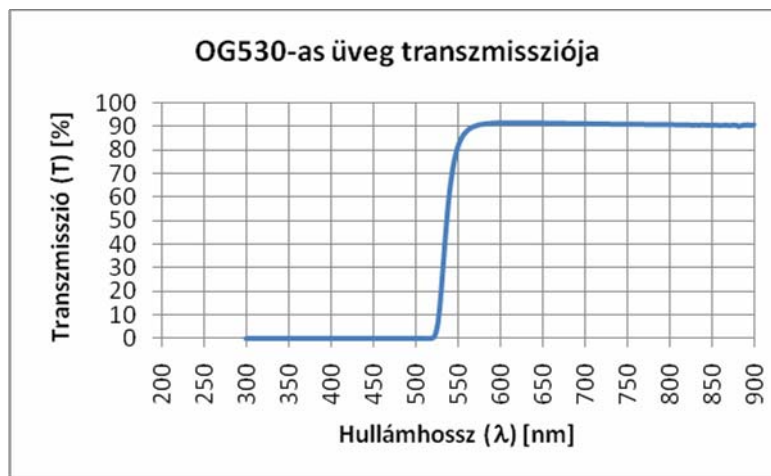
Annak ellenére, hogy itt szemmel látható lehetne a változás, nem tapasztaltam semmit, aminek ismét a kis dózis lehet az oka.

Összefoglaló a mintákon végzet behatásokról a 11.táblázatban látható.

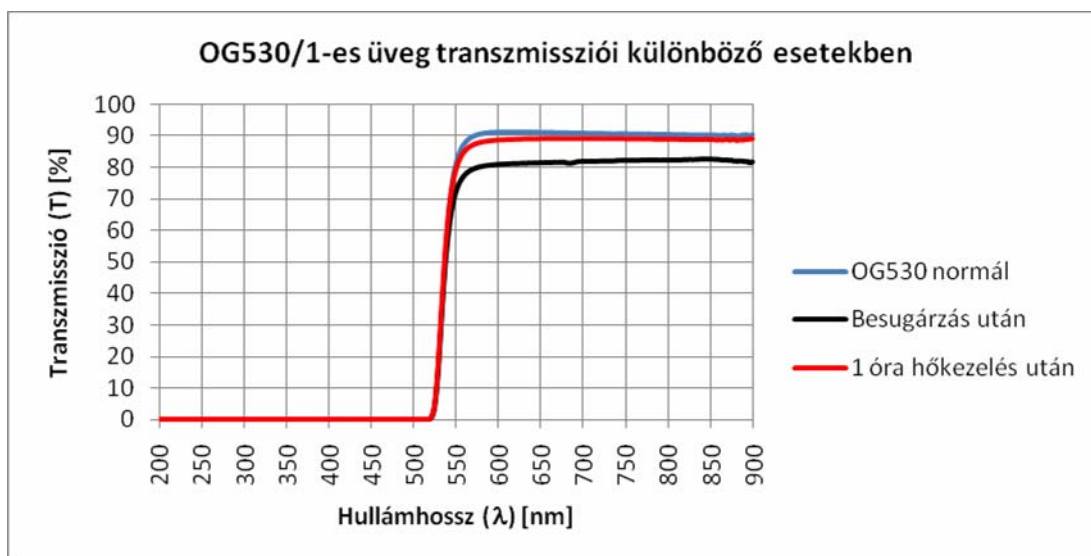
Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
------------------	------------------------------	-------------------------------------

OG530/1	10000 Gy	1 óra
OG530/2	10000 Gy	nem kapott
OG530/3	10000 Gy	2 óra

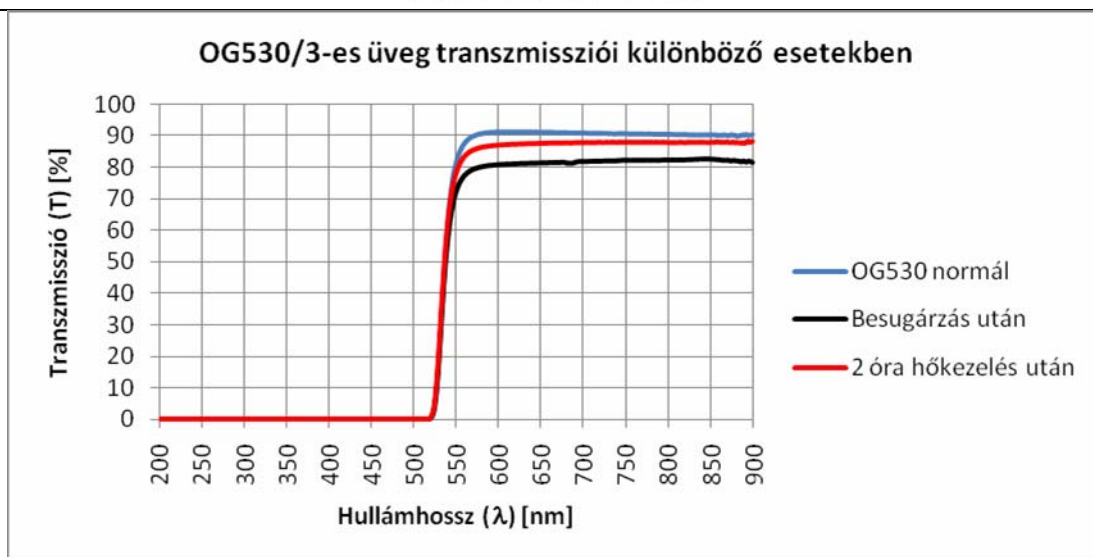
11. táblázat OG530 minták dózis és hőkezelés adatai



41. ábra OG530 minta áteresztőképessége 200 és 900 nm között



42. ábra OG530/1 minta transzmisszió változásai



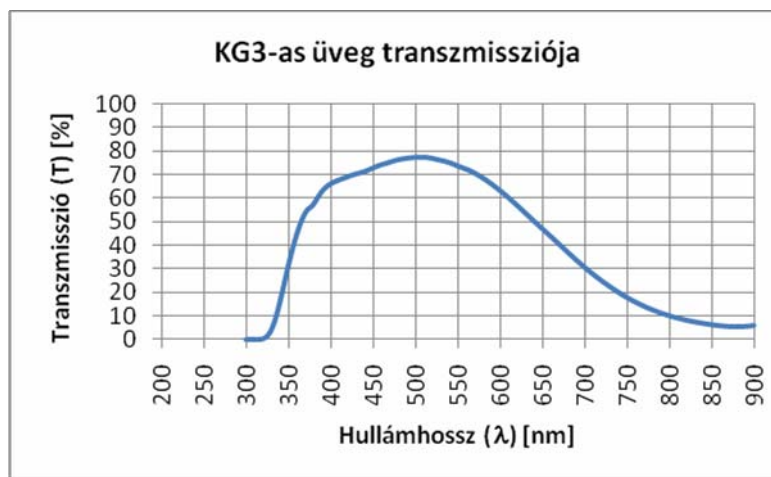
43. ábra OG530/3 minta transzmisszió változásai

Érdekes módon az azonos dózis után, a rövidebb idejű hőkezelés során jobban visszanyerte áteresztőképességét az anyag, mint a hosszabb idejű hőkezelés esetében.

7.9. KG3 típusú minták vizsgálata



24. kép KG3 minták

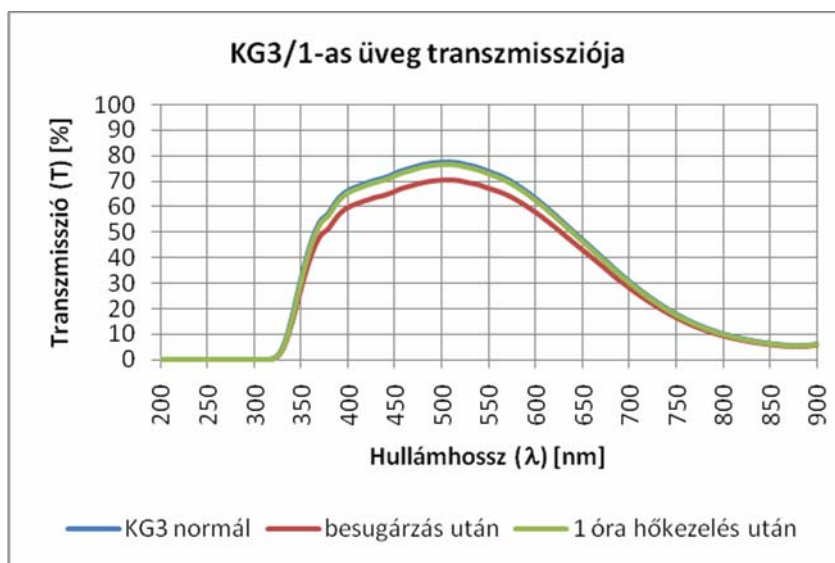


44. ábra KG3 minta áteresztőképessége

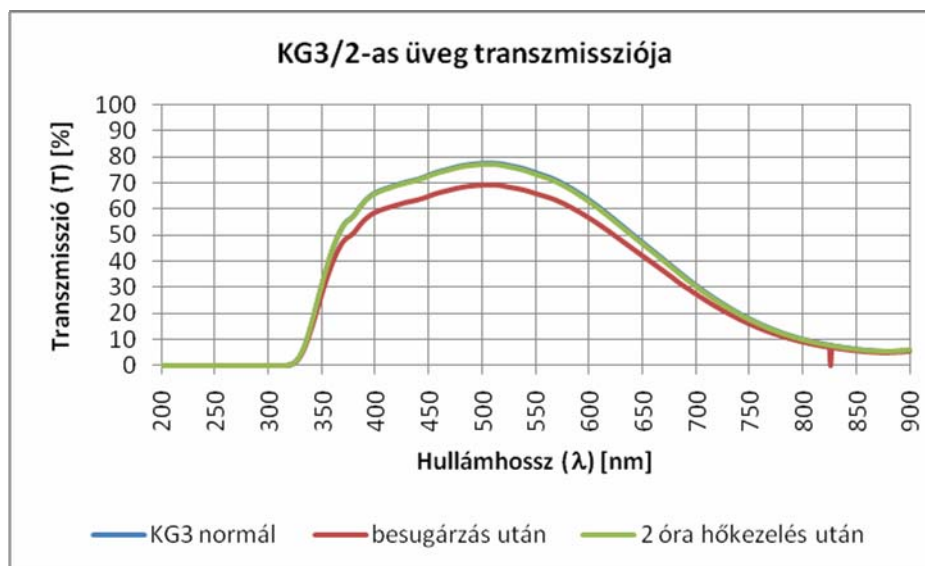
Ezeknél a mintáknál is hasonló viselkedést vártam, a korábbiakhoz képest.

Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
KG3/1	500 Gy	1 óra
KG3/2	500 Gy	2 óra

12. táblázat KG3 minták dózis és hőkezelés adatai



45. ábra KG3/1-es minta transzmissziója



46. ábra KG3/2-es minta transzmissziója

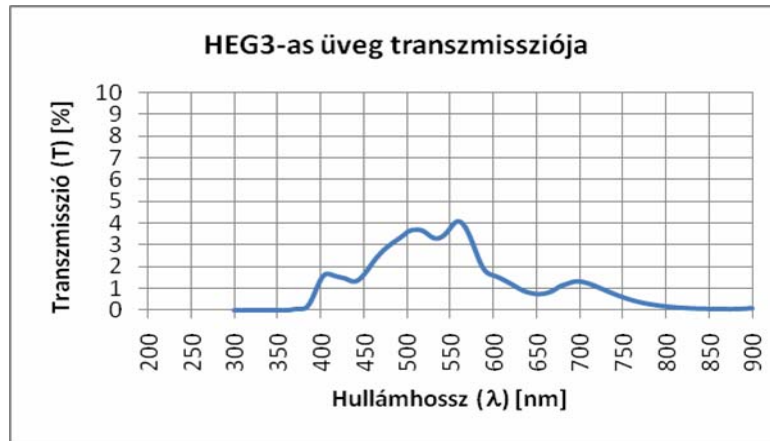
Az 500 Gy dózist gyakorlatilag mind az 1 mind a 2 órás hőkezelés ellensúlyozta, vagyis sikerült visszaállítani az eredeti áteresztő-képességet.

7.10. HEG3 típusú üvegek vizsgálata



13. táblázat HEG3 minták

Hasonló viselkedés várható, mint az NG3-as üvegnél, mivel a transzmissziójuk hasonló, illetve a hasonló dózist kaptak.

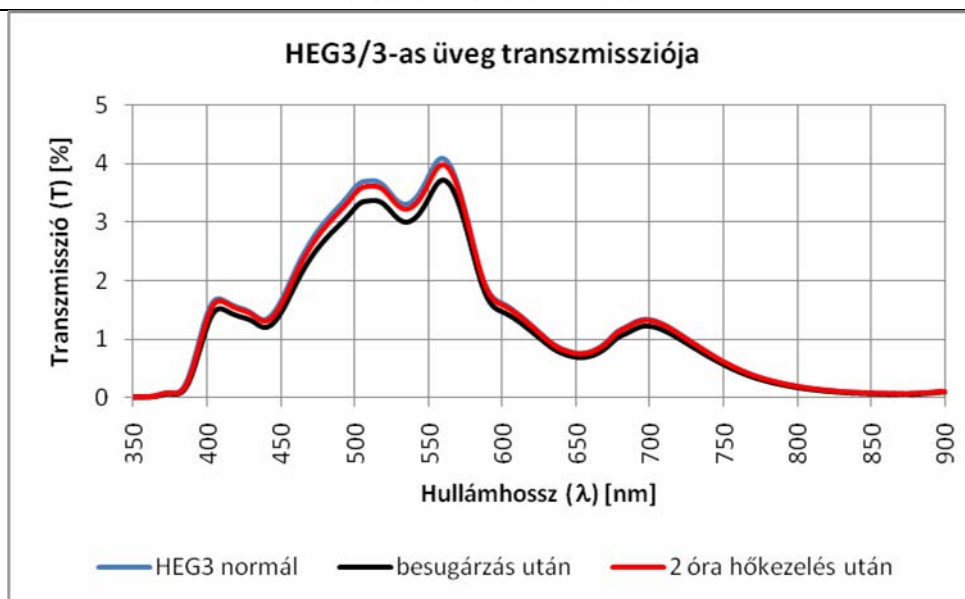


47. ábra HEG2 minta áteresztőképessége

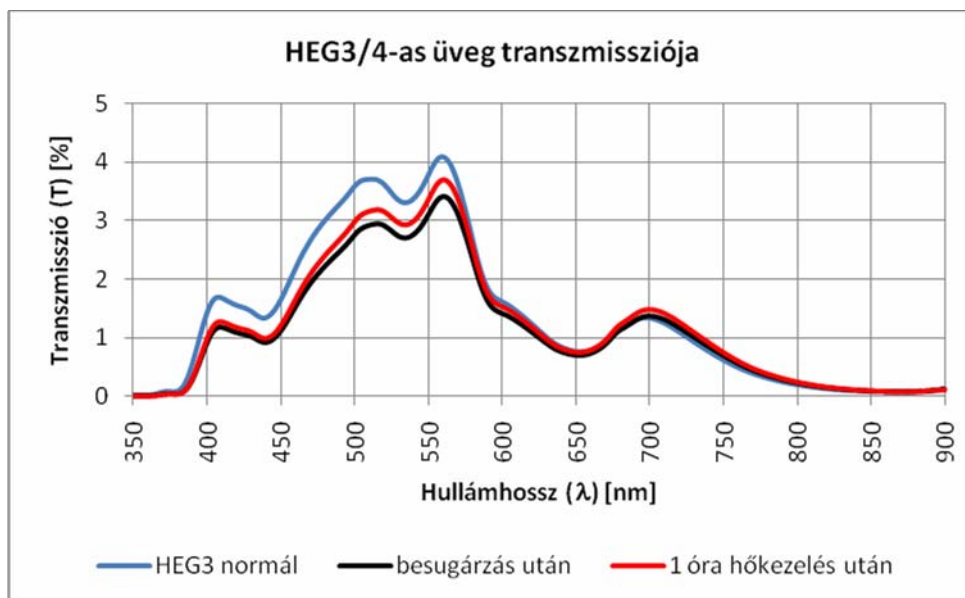
Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
HEG3/1	10000 Gy	nem kapott
HEG3/2	10000 Gy	nem kapott
HEG3/3	10000 Gy	2 óra
HEG3/4	10000 Gy	1 óra

14. táblázat HEG3 minták dózis és hőkezelés adatai

Hőkezelések hatása a transzmisszióra az 50. és 51. ábrán látható.



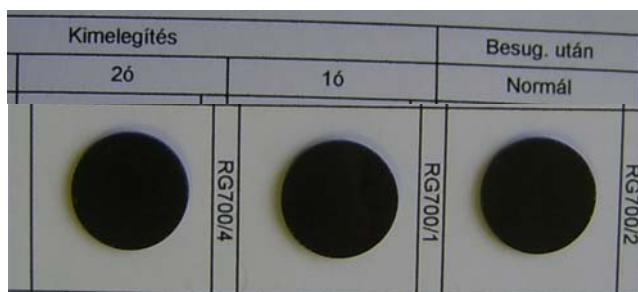
48. ábra HEG3/3 minta transzmissziója



49. ábra HEG3/4 minta transzmissziója

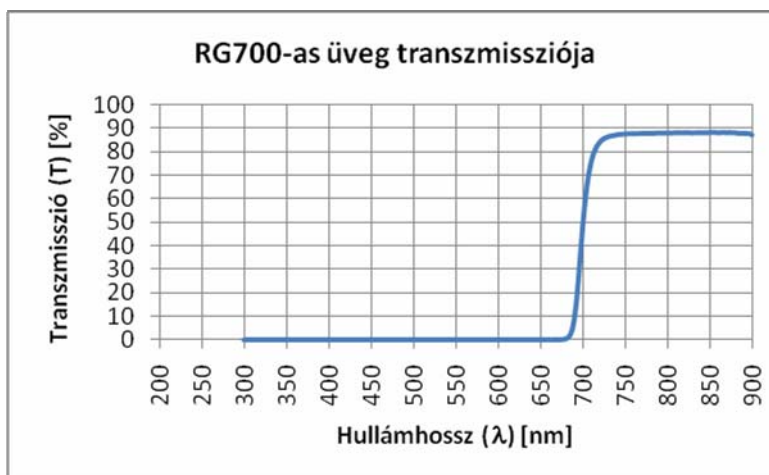
A HEG3/4-es minta láthatóan nagyobb dózist kaphatott, legalábbis az eltérések alapján. A hőkezelés viszont mind az egy mind a két órás során ugyanazt a hatást érte el, 1-2%-ot. Ez nem jelenti azt, hogy a két hőkezelés megegyezne, mivel a dózis mértéke különböző volt.

7.11. RG700 típusú minták vizsgálata



25. kép RG700 minták

Hasonló hatást vártam, mint a sárga OG530 típusú üveg mintáknál. De itt még előzőleg sem lehetett látni, hogy a változás minimális.



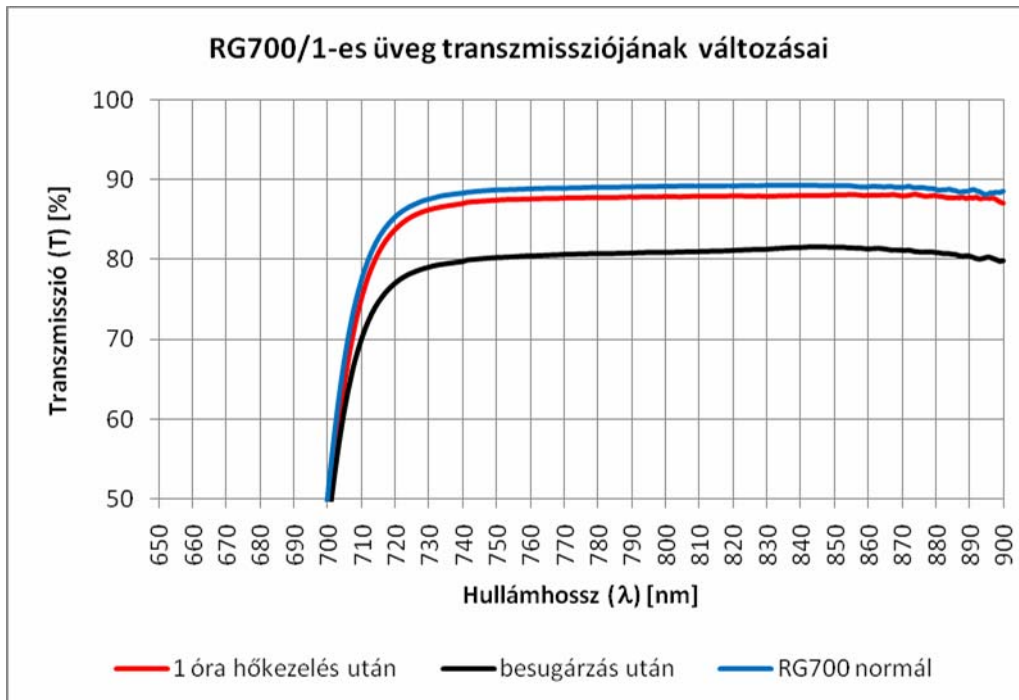
50. ábra RG700 minta áteresztőképessége

A típusonkénti vizsgálati módok:

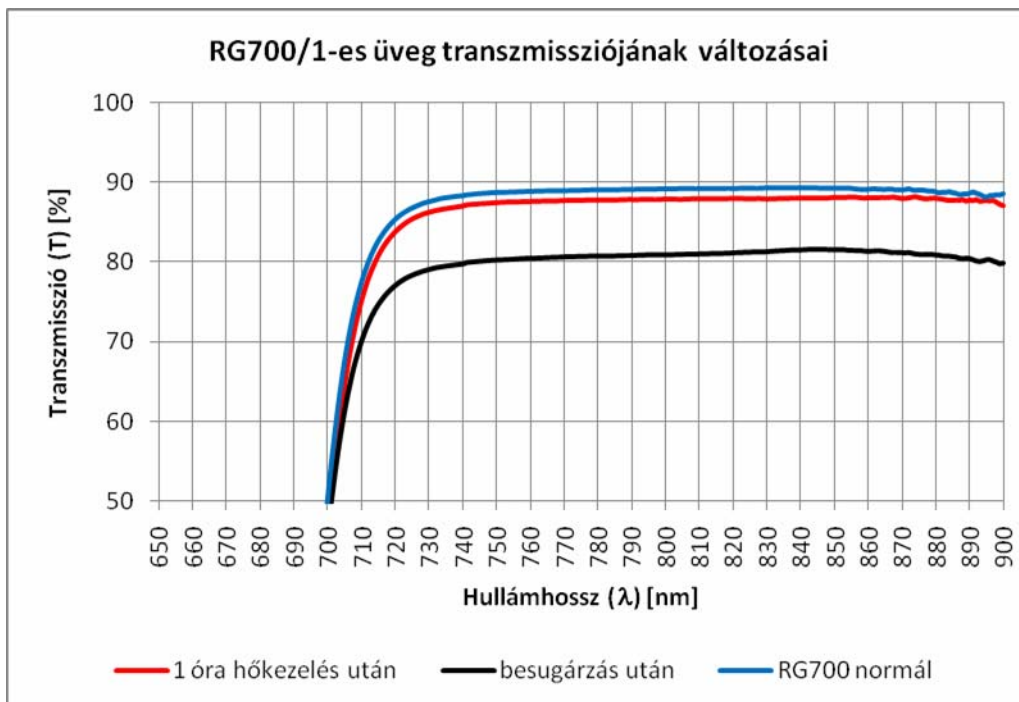
Üveg azonosítója	Dózis 8 óra besugárzás alatt	Hőkezelés(ek) 150°C-os hőntartással
RG700/1	10000 Gy	1 óra
RG700/2	10000 Gy	nem kapott
RG700/3	n/a	nem kapott
RG700/4	500 Gy	2 óra

15. táblázat RG700 minták dózis és transzmisszió adatai

Az adatok kiértékelése szerint itt sem volt jelentősége a hőkezelés 1 vagy 2 órás voltának, a hatás ugyanaz volt, amiből valószínűsíthető, hogy a folyamat reverzibilis része az első, vagy az első két órában végbe megy.



51. ábra RG700/1 minta transzmisszió változásai 50-100% tartományban 650-900nm-ig



52. ábra RG700/2 minta transzmisszió változásai 50-100% tartományban 650-900nm-ig

8. Konklúzió, további kutatási célok

A kísérletek során kiderült, hogy lehet javítani a besugárzott üvegminék transzmisszióját hőkezeléssel. Továbbá az is megmutatkozott, hogy a hőkezelések ismétlésének nincs további javító hatása az áteresztőképességre, mivel a sugárzás által okozott „termolabilis rács hibák” stabillá váltak. Egyenes arányos összefüggés mutatkozik a sugárzott dózis és a hőkezelés hossza között, vagyis ha a dózis nagyobb volt, akkor a hőntartásnak is hosszabb ideig kell tartani. Ez magában foglalja a további kutatási irányt, azaz meghatározni e függvényt.

Az eredeti transzmisszió függvényt csak alacsony dózis esetén sikerült visszaállítani, mely csak 1-2% eltérést okozott az áteresztésben. Egyáltalán lehetséges-e nagyobb dózis esetén (10-20kGy) hőkezeléssel visszaállítani az eredeti transzmisszió görbét. Valamint az is megmutatkozott, hogy hőkezelésnek a besugárzás után pár nappal arányaiba ugyanaz a hatása a transzmisszióra, mint mondjuk 3 év elteltével.

Az is látszik az eredményekből, hogy a kvarc sokkal lassabban reagál a kimelegítésre, mint más üvegyanyagok. Ennek valószínűleg anyagszerkezeti okai lehetnek.

További kérdést vet fel, hogy a kísérletek során a transzmisszió a magasabb hullámhosszak felé emelkedik, vagyis a gammasugárzás az áteresztőképességet tipikusan az alacsony tartományokban csökkenti jobban. Valamint miért nem befolyásolja, tolja el a felfutó áteresztési élt a sugárzás – a tiszta optikai üvegeknél a 350 nm körülit, az OG-nél az 530 nm körülit.

A ’színes’ üvegeket csekély gamma-sugárzás érte, ezért javaslom őket további vizsgálatra, mivel a bennük lévő bizonyos színező fémek⁷ hatással lehetnek mind a sugárzás, mind a hőkezelés hatására.

Optikai anyagok lévén szó egyre nagyobb teret nyernek a különböző polimerek az optikában, gondolhatunk itt a ’műanyag’ szemüveg lencsére, vagy különböző szűrő előtétekre. Ezek vizsgálatát is javaslom vizsgálatokra, illetve további kutatási célok közé.

⁷ Kobalt, króm, bór, kálium, kalcium, stb.

9. Köszönetnyilvánítás

E helyütt írok köszönetet a következő személyeknek, kik hozzájárultak a szakdolgozatom elkészültéhez:

Dr. G Szabó Istvánnak, konzulensemnek, amiért inspirálóan támogatott a kísérletek lebonyolítása közben, előtte és utána;

Bujáki Krisztiánnak, az OMI Kft. dolgozójának, amiért az üvegminták megmunkálása során megosztotta velem tapasztalatait, illetve a jó zenei ízléséért;

Nagy Balázs Vincének, tanszéki konzulensemnek, mivel tapasztalatával és kapcsolatával segítette diplomám elkészülését;

Lehoczki Zsoltnak, a KFKI-AEKI munkatársának, mivel készségesen segített a minták besugárzása során mindenben, tapasztalatát megosztotta velem;

Dr. Lengyel Krisztiánnak és Dr. Kovács Lászlónak, amiért rendelkezésemre álltak a transzmissziómérések során, illetve használhattam a laborjukat a kísérlet során;

Fischer Évának, a Kristályfizikai Osztály dolgozójának, mivel az ő laborjukban végezhettem a kimelegítéseket;

KFKI konyhájának, amiért a kísérletek alatt finom ételekkel szolgáltak ki;

Az **OMI Kft. dolgozóinak** a jókedvükért;

Aspirán Katalinnak, barátnőmnek, mivel a dolgozat írása alatt türelemmel volt irántam.

Köszönöm.

10. Felhasznált irodalom

- [1] Kalmár Norbert (2006). *A gamma sugarak hatása az optikai elemek optikai tulajdonságaira*. Budapest, BME szakdolg.
- [2] Dr. Földiák Gábor (1966). *Sugárhatáskémiai technológia*. Budapest: Tankönyvkiadó. 59-63.o..
- [3] Dr. Földiák Gábor (1977). *Atomeróművi vegyész mérnökök sugárhatáskémiája*. Budapest: Tankönyvkiadó. 5-12.o. és 35-40.o..
- [4] Wojnárovits László (2007). *Sugárkémia*. Budapest: Akadémiai Kiadó. -.
- [5] Heinz G. Pfaender (1980). *Schott Glaslexikon*. München: Moderne Verlags GmbH. -.
- [6] Lőcsei Béla (1959). *Üveggyártás*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. -.
- [7] Dr. Kovács Lajos (1979). *Műanyag zsebkönyv*. 4th ed. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. 463.
- [8] Hudoba György. (2002). *Elektromágneses spektrum*. Available: http://www.szgti.bmf.hu/opto/2_EM_Spektr_files/OK_02.pdf . Last accessed 9 Dec 2009.
- [9] *Elektromagnetisches Spektrum*. Available: <http://www.weltderphysik.de> . Last accessed 10 Dec 2009.
- [10] *Gamma-sugárzás*. Available: <http://www.rhk.hu/ismeret/sugarzas/sug5.htm> . Last accessed 11 Nov 2009.
- [11] *KFKI-AEKI*. Link: <http://www.kfki.hu> . Last accessed 6 Dec 2009.
- [12] *Optical Filters*. Link: <http://www.optical-filters.com/index.html>. Last accessed 7 Dec 2009.

11. Mellékletek

- 1.sz. – Besugárzási terv, besugárzási lapok (1-8) tubusonként
- 2.sz. – Karbantartási napló részlet
- 3.sz. – Üvegminták műhelyrajzai, méretei
- 4.sz. – Hőkezelés jegyzőkönyvei [kimel01-03]
- 5.sz. – Üvegminták adatlapjai, Schott katalógusból
- 6.sz. – Besugárzási helyszínrajz, átmeneti tároló vázlata