

## Kopási jelenségek vizsgálata feldolgozógépeken

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; plasztikálás; műanyagömladék;  
koptató hatás; szimuláció; modellkészítés;  
vizsgálóberendezés; textildolgozás; műanyag alkatrész;  
PE-UHMW; elektronbesugárzás; térhálósítás; kopásállóság.*

A feldolgozógépek használat közbeni kopása jól ismert jelenség, de törvényszerűségei még felderítésre várnak. A műanyagokkal kapcsolatban a feldolgozógépek kopása kétféle módon is tanulmányozandó. *A műanyagok feldolgozásakor ugyanis a műanyagömladék a többnyire fémből készült gépet koptatja. Ugyanakkor sok feldolgozógépben – pl. a textilipari gépekben – olyan műanyag alkatrészek vannak, amelyeket erős koptató hatás ér. Mindkét esetben kemény gazdasági érdek, hogy a kopást csökkentsék.* Az erre irányuló erőfeszítésekből mutatunk be példákat a következőkben.

### A műanyag-feldolgozó gépek kopásának vizsgálati módszerei

A műanyag-feldolgozó gépek kopásának vizsgálata széles körre terjed ki, a gyakorlati megfigyelésektől a modellrendszereken végzett szisztematikus kutatásokig. *A gyakorlati körülmények között végzett kutatások túl drágák ahhoz, hogy az alapjelenségek tudományos vizsgálatára alkalmasak lehetnének, ezért inkább modellrendszereket próbálnak vizsgálni,* és az itt nyert tapasztalatokat próbálják meg átvinni a gyakorlati feldolgozási körülményekre. A modellrendszerek előnye, hogy kevesebb változóval dolgoznak, mint a valódi feldolgozógépek, így jobban lehet koncentrálni a kopás alapfolyamatainak megértésére. Tekintettel arra, hogy a plasztikáló berendezés és a műanyagömladék közti súrlódás meglehetősen összetett jelenség, ennek szimulációjára sokféle vizsgálóberendezést találtak ki. *A vizsgálati módszerek három területre koncentrálnak: az adhezív kopásra, a szilárd vagy megömlesztett műanyag által okozott kopásra és a korrózióra.*

Egyes kopásvizsgáló berendezések (Calloway, Knappe/Mahler és Mosle) a megömlesztett (adott esetben áramló) műanyagba próbatestet juttatnak, amelyet egy adott ideig azzal érintkezni hagynak, és eközben az ömladékot

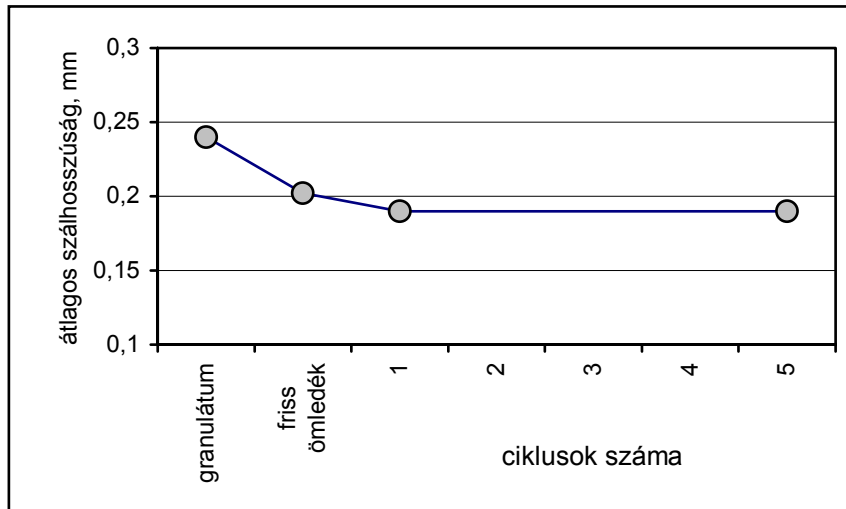
nem cserélik. A különbség az ömledék előállításának módjában és abban van, hogy a hőmérséklet mellett milyen nyomási viszonyok alakulnak ki a mérés során. A Mosle készülék lehetővé teszi az ömledék áramlását igen kis sebességgel, ezért a feldolgozógépekben kialakuló torlónyomáshoz hasonló viszonyok nem alakulhatnak ki. Mivel a vizsgálati idő hosszú, ezt több minta párhuzamos vizsgálatával igyekeznek ellensúlyozni. A kopás mértékét a tömegváltozással jellemzik. A tömegveszteség azonban nagyon kicsi, a mérés hibája viszonylag nagy, ezért gyakran felületi (optikai, elektronmikroszkópos, felület-elemzési stb.) vizsgálatokat is végeznek a lap alakú próbatesten. A korrózió kvantitatív jellemzése ilyen módszerrel szinte lehetetlen.

A németországi Darmstadtban működő **Német Műanyagkutató Intézet** (DKI) tapasztalatai szerint ezeket *a hagyományos módszereket jószerével csak anyagkiválasztásra lehet használni*. Az intézetben kifejlesztett új módszer szerint két lemez alakú próbatest között létrehozott 0,2–0,4 mm-es résen áramoltatnak át műanyagömledéket, mert ez lehetővé teszi egy adott szerkezeti anyagnak egy adott műanyaggal, ill. a benne levő adalékanyagokkal szembeni kopási ellenállásának mérését – méghozzá olyan körülmények között, amelyek megfelelnek a gyakorlati feldolgozás körülményeinek. *Az itt kialakuló körülmények a plasztikáló csiga és a ház fala közötti jelenségeket szimulálják*. A módszer előnye az egyszerű ömledékgeometria, az állandó áramlási körülmények és az, hogy jól visszaadja a komplex koptató/korozív hatást és a műanyagömledék bomlásának hatását a szerkezeti anyagra.

### **Az ún. ellenütemű tribométer (kopásmérő)**

A DKI-nál arra törekedtek, hogy a fenti mérési elv alapján még használhatóbb kopásvizsgáló módszert fejlesszenek ki. A tömegcsökkenés pontosabb mérhetősége érdekében tovább növelték a felület/térfogat arányt, és *ugyanazt az ömledéket többször is átáramoltatták a résen*. A plasztikálás gyorsításával a mérési ciklusidő is rövidíthető volt. Az ún. ellenütemű tribométerben a próbatestet egy kétkomponensű fröccsöntő gép melegcsatorna-blokkjába integrálták. Az egyik ömledékaggregátor előállítja a plasztikált ömledéket, majd az a kopásmérő szerszámon, a lemezek között átáramlik a másik ömledékaggregátorba. Ez 800 bar nyomáson mintegy 4 másodperc alatt megy végbe. Ezután az ún. ellenütemben az ömledék ismét visszaáramlik az első aggregátba, majd néhány ilyen ciklus után egy ömledékszelep megnyílik, és eltávolítja az ömledéket a rendszerből. Mivel a szűk résen áthaladva a disszipált teljesítmény miatt az ömledék hőmérséklete megemelkedik, ezt külön mérik, és a kialakuló hőmérsékletet szabályozzák. A módosított módszerrel 30 s alatt mintegy 6–7 átömlési ciklusra kerül sor, ami sokkal több, mint amit a hagyományos módszer lehetővé tett. A ciklusok számát úgy választják meg, hogy a vizsgálat ideje alatt se a polimer, se az esetleg benne levő adalékok ne szenvedjenek komoly degradációt. Szálas töltő/erősítőanyagok jelenlétékor ez jól

követhető az átlagos szálhosszal. Mint az 1. ábra mutatja, az 1. és a 9. ciklus között jelentős száltördelődés nem következik be.



1. ábra  
Az átlagos szálhosszúság változása üvegszál-erősítésű műanyag-ömledékben az ellenütemű tribométerben

## Tartós korróziómérés

A tartós korrózióvizsgáló berendezésekben hosszú időre van szükség ahhoz, hogy megállapítsák az anyagok korrózióállóságát. Ennek során a vizsgált alap- és adalékanyagok, valamint azok bomlástermékei hatnak a próbatestre, és korrózió kopást okozhatnak. A vizsgálatban (amelyben 10 próbatestet vizsgálnak egyszerre) lehetőleg minél hosszabb kontaktidőre van szükség az ömledék és a korrózióknak kitett felület között. Előfordulhat az is, hogy anyagában koptató hatás is fellép, ami a korrodált réteget lesúrolhatja. A próbatesteket villamosan elszigetelik egymástól, hogy villamos feszültség alkalmazásával az elektrokémiai korrózió is vizsgálható legyen. A próbatesteket egy magra erősítik fel, és rugóval feszítik őket a helyükre. Az ömledékáramot egy elosztófej osztja tíz egyenlő részre. Az elosztófej a maggal együtt olyan áramlási csatornát képez, amely egyenletes terhelést biztosít minden vizsgált próbatest számára. A próbatest és a külső fal között 0,3 és 0,6 mm távolságot lehet beállítani, ami a tapasztalatok szerint alkalmas a vizsgálatra. Az ömledéket csigás plasztikáló egységben állítják elő. A mérőeszközt egy 18 mm-s csigaátmérőjű fröccsöntő géphez tervezték, ezért a plasztikációs tartózkodási idő viszonylag rövid, 25 s, de beállítható egy kvázi-stacionárius üzemmód is (folyamatos betáplálással). A korrózió kialakulásához úgy látták célszerűbbnek, hogy inkább ritkábban nagyobb igénybevételt alkalmaznak, mint gyakrabban kisebbet. Az igénybevételt egy nagy sebességgel ( $10 \text{ cm}^3/\text{s}$ ) befröccsöntött ömledék jelenti.

*Az új berendezések lehetővé teszik, hogy a mechanikai és korrozív koptatást a korábbi módszerekhez képest viszonylag rövid idő alatt, kvantitatív módon vizsgálják a feldolgozáshoz hasonló körülmények között.*

## **A kopás csökkentése textiltechnikai berendezésekben sugárkémiai módszerekkel**

A kopásnak kitett súrlódó alkatrészeket manapság egyre gyakrabban készítenek műanyagokból. Kisebbségben a tömegük, könnyen feldolgozhatók, változatos formák készíthetők belőlük, korrózió- és kopásállóak, nem érzékenyek a nedvességre. Vannak azonban olyan alkalmazások, ahol további anyag- és technológiafejlesztésre van szükség ahhoz, hogy a műszaki követelményeknek megfelelhessenek. *A textiliparban nagy sebességgel, nagy erők mellett, tartósan súrlódnak a műanyag elemek és a szálak. Ehhez járulnak még a helyi melegedések, a szálak és adalékanyagaik kémiai hatása, a klíma (hőmérséklet, nedvesség) stb. hatásai. Az ilyen esetekben az anyagkifáradás jelentős mértékben hozzájárulhat a gépalkatrészek kopásához. Az erős igénybevétel a súrlódás során megváltoztatja a szerkezeti anyagok súrlódási és egyéb paramétereit is, ami felületi meghibásodásokhoz, majd repedésekhez, törésekhez vezethet.*

1. táblázat

A textilipari szálrendező egység alkatrészeinek gyártáshoz használt ultranagy molekulatömegű polietilén (PE-UHMW GUR 5113) főbb jellemzői

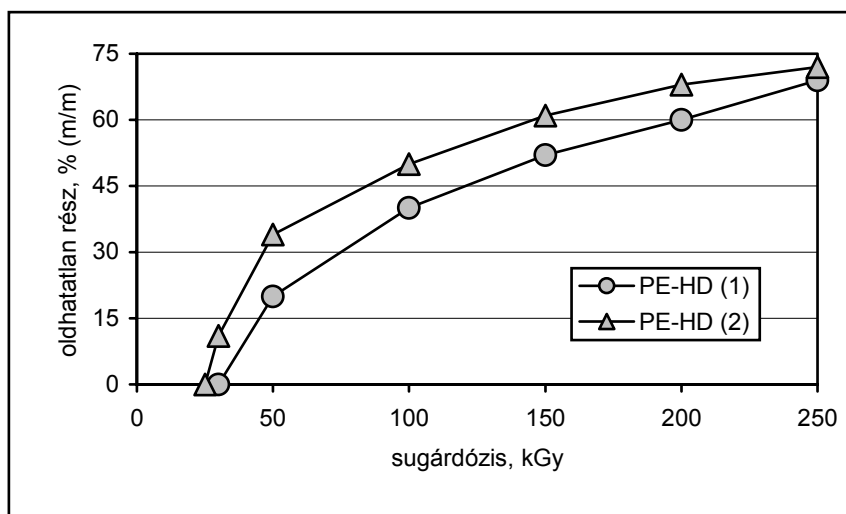
<b>Jellemző</b>	<b>Egység</b>	<b>Érték</b>
Sűrűség	g/cm <sup>3</sup>	0,933
Húzószilárdság	MPa	>17
Szakítószilárdság	MPa	>30
Szakadási nyúlás	%	>50%
Húzómodulus	MPa	750
Ütésállóság (hornyolatlan próbatest)	kJ/m <sup>2</sup>	nincs törés
Ütésállóság (hornyolt próbatest)	kJ/m <sup>2</sup>	nincs törés (egyszeres); ≥150 (kétszeres)
Keménység, Shore D	fokozat	63
Olvadáspont	°C	130–135
Nedvességfelvétel 23 °C	%	<0,05
Vízfelvétel 23 °C	%	<0,05

Az erősen igénybevett alkatrészekre példa a *szálrendező váltóegysége az orsózó gépen*. Az egység két alkatrészből áll, amelyek mindegyike készülhet fémből vagy műanyagból. Műanyagként használnak PA 11-et vagy ultranagy molekulatömegű polietilént (PE-UHMW). Az alkatrészek meghibásodási módja leggyakrabban a kopás vagy a fáradási törés. A nem pontos megmunkálás vagy a klimatikus okokból fellépő deformáció ugyancsak gyorsítja az alkatrészek tönkremenetelét. Az alábbiakban egy *kísérlet* eredményei láthatók, amelyek célja a *sugárzásos térhálósítás kopásállóságra gyakorolt hatásának vizsgálata volt PE-UHMW alkatrészekben*. A felhasznált polietilén jellemzőit az 1. táblázat foglalja össze. A részlegesen kristályos polietilénnek általában elég jó a kopásállósága, a vegyszerállósága és kicsi a nedvességfelvétele, és ezek a tulajdonságok különösen jók a nagy (millió) molekulatömegű változatok esetében, amelyek rendkívül jó ütés- és kopásállóságot mutatnak. Ugyanakkor a 10 millió ciklus mellett mért fárasztó-hajlító szilárdság (20 MPa) alatta marad a poliamidokra jellemző 30–35 MPa értéknek. A kezeletlen PE-UHMW azonban viszonylag kis hőállósága miatt (135 °C-os olvadáspont az alacsony kristályosság miatt) nem lenne alkalmas a váltóegység elemeinek gyártására. Ilyen körülmények között az PE-UHMW 2 m/s maximális érintkezési sebességet és 10 MPa felületi nyomást bír el. Ez azon a határon van, ahol a szálrendező szokásos teljesítmény esetén működik, de túlterheléskor már túllépné a megengedett határértéket.

## A sugárkémiai kezelés hatása

A műanyagok sugárkémiai kezelésének hosszú története van. Eleinte azt figyelték meg pl., hogy a reaktortérben elhelyezett polietilén vegyszer- és hőállósága javul. A nagy energiájú sugárzás hatására fellépő térhálósodás miatt számos tulajdonság (oldhatóság, rugalmasság, lágyuláspont, törési jellemzők, keménység, ütésállóság, szakadási nyúlás stb.) megváltozik. Az ipari besugárzáshoz rendszerint elektronsugarat vagy  $\text{Co}^{60}$  eredetű gamma-sugarat használnak. A primer reakció során a makromolekulák ionizálódnak, a másodlagos reakciókban részben lánchasadással, részben csoportlehasadással, részben gyökképződéssel átalakulnak. Ezután a képződött gyökök rekombinálódva térhálópontok kialakulását eredményezik, aminek során a lineáris makromolekulák háromdimenziós szerkezetté alakulnak. A bomlási és térhálósodási folyamatok aránya többek között az alkalmazott sugárdózis függvénye. *Polietilén térhálósításához általában 50–300 kGy dózist használnak*. A térhálóság mértékét a gélhányaddal (xilolban oldhatatlan rész) jellemzik (2. ábra). A polietilén az a műanyag, amelyet leggyakrabban térhálósítanak sugárzással (kábelipar, csőgyártás, zsugorfólia-gyártás). A térhálósítást elvégezhetik közvetlenül a műanyag feldolgozása után, de később, külön műveletben is. Az iparilag alkalmazott energiatartományban (10 MeV) az anyag aktíválására (sugárzóvá válására) nem kell számítani. Mivel a sugárkémiai re-

akciók gyakorlatilag nem függenek az anyag halmazállapotától, a besugárzást szobahőmérsékleten lehet elvégezni. A sugárzásos térhálósításhoz általában nincs szükség adalékokra, ami pl. orvosi vagy élelmiszer-csomagolás esetében előnyös. A radioizotópos besugárzással szemben az elektronsugárzás előnye az, hogy a besugárzás energiáját hozzá lehet igazítani a besugárzott tárgy méreteihez (behatolási mélység). Az elektronsugárzók másik előnye a rendkívül nagy teljesítmény (akár 200 kW), ami igen nagy gyártási sebességet tesz lehetővé. Az itt leírt kísérlet során 1,0 MeV energiájú elektronsugárzást alkalmaztak 4,0 mA sugárzási áram és 2,6 m/min szalagsebesség mellett. A sugárzás körülményeit úgy választották meg, hogy csak az anyag felülethez közeli rétege térhálósodjon, a tömbanyag mechanikai tulajdonságai ne romoljanak a sugárkémiai reakciók miatt.



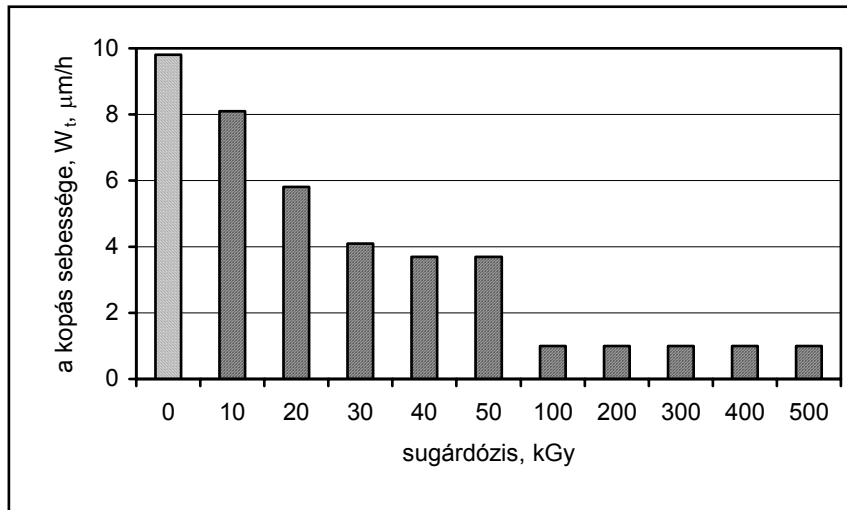
2. ábra  
Két nagy sűrűségű polietilén (PE-HD) gélhányadának változása az alkalmazott sugárdózis függvényében

A próbatestek vizsgálatát szimulált környezetben végezték el, a gyakorlati igénybevételhez hasonló, de annál intenzívebb terhelés mellett, hogy a vizsgálati idő lerövidüljön. A kopásnak kitett felületek kenéséhez PTFE [poli(tetrafluor-etilén)] alapú kenőanyagot használtak. A kopás mértékét a tömegváltozással követték.

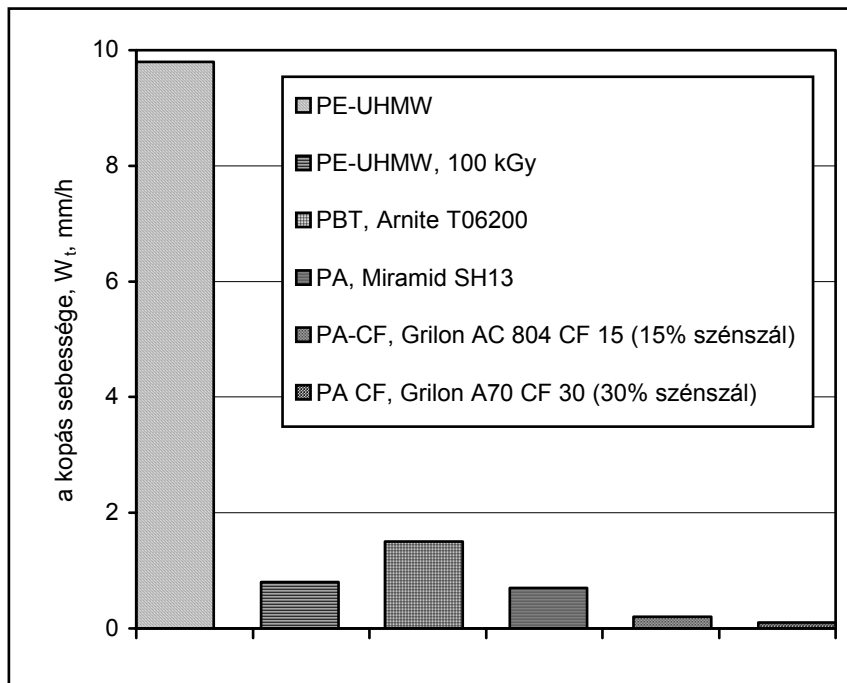
## A sugárzásos térhálósítás hatása a kopás mértékére

A kopási sebesség függését a dózistól a 3. ábra mutatja. Jól látható, hogy már 30 kGy dózistól kb. felére csökken a kopási sebesség, 100 kGy felett viszont már nem javul, sőt még egy kicsit nő is az optimumhoz képest. Az ilyen módon sugárkezelt PE-UHMW kopásállósága összevethető más nagy olvadáspontú, különleges műszaki műanyagával (4. ábra). Ennél jobb értéket csak

a szénszállal erősített poliamidminták mutatnak. A sugárzásos térhálósítás javítja a polietilén felületének kopásállóságát és hőállóságát. A kopásból adódó tömegveszteség időfüggését a kezeletlen és sugárzással térhálósított PE-UHMW mintákra az 5. ábra mutatja. A sugárkezelt minta a leghosszabb összehasonlítható időpontban 170 óránál mintegy 85%-kal kisebb súlyveszteséget mutatott. Ugyanakkor azt is meg kell jegyezni, hogy a PE-UHMW még sugárkezeléssel együtt sem éri el a PA 11 vagy a nagy modulusú, hőálló poli(éter-éter-keton) (PEEK) kopásállóságát.

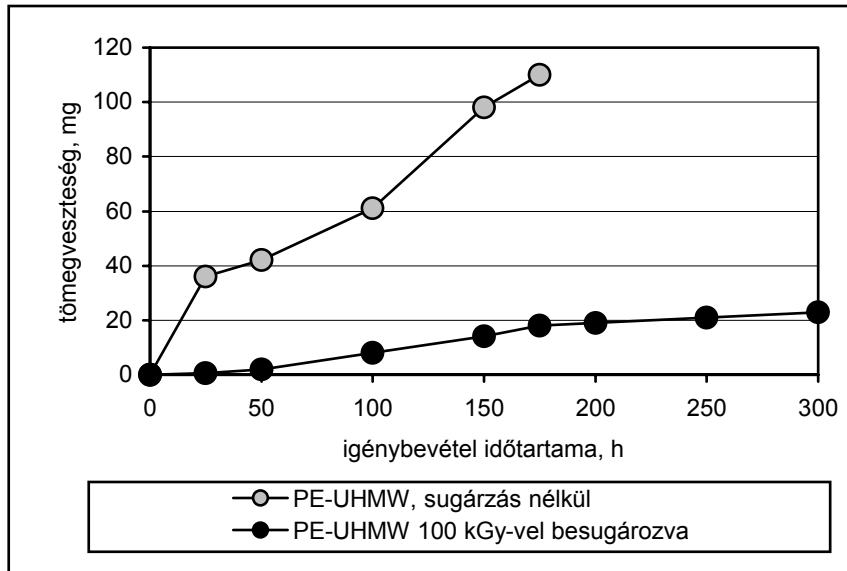


3. ábra  
Az PE-UHMW alkatrész kopási sebessége az alkalmazott sugárdózis függvényében



4. ábra  
Néhány kiválasztott magas olvadáspontú és nagy modulusú műanyag kopási sebességének összehasonlítása a besugárzatlan és a besugárzott PE-UHMW-ével

Az eredmények jól értelmezhetők azzal a modellel, amelyet az üvegese-  
dési hőmérséklet alatt álló műanyagokra szoktak alkalmazni, hogy ti. a ko-  
pást a sűrűdésből fakadó hőmérséklet-emelkedés határozza meg. A felület  
térhálósítása lényegében az olvadást gátolja meg, és ezzel javítja a kopásál-  
lóságot.



5. ábra  
A nem térhálós  
és térhálós  
PE-UHMW kopási  
tömegvesztése  
az idő  
függvényében

**Dr. Bánhegyi György**

Fox, R. T; Rudschuck M.: Verschleißprüfung an Kunststoffverarbeitungs-  
maschinen. = Kunststoffe, 94. k. 3. sz. 2004. p. 50–54.

Heinrich, G.; Dorschner, H.; Falk, E.: Strahlenchemische Vernetzung von  
Kunststoffen zur Verschleißminderung beim Einsatz in Textilmaschinen. =  
GAK Gummi Fasern Kunststoffe, 57. k. 3. sz. 2004. p. 156–162.