

## EGYSZERESEN ÁTLAPOLT RAGASZTOTT KÖTÉSEK VIZSGÁLATA DINAMIKUS IGÉNYBEVÉTELRE

**Suhaj Anett**

*géptervező hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [anettsuhaj@gmail.com](mailto:anettsuhaj@gmail.com)*

**Vadászné Bognár Gabriella**

*intézetigazgató, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [matvbg@uni-miskolc.hu](mailto:matvbg@uni-miskolc.hu)*

### **Absztrakt**

*Jelen cikk keretében a szerzők az egyszeresen átlapolt ragasztott kötések vizsgálatának eredményeit foglalják össze. A ragasztott mintadarabokat dinamikus, szinuszos függvény alakú fárasztó igénybevétel terhelte. Megvizsgáltuk a szakadás következtében károsodott felület szerkezetét. Megállapítottuk, hogy a szakadás után három tipikus felület figyelhető meg az átlapolt kötés mentén.*

**Kulcsszavak:** *egyszeresen átlapolt kötés, vizsgálat, szinuszos függvény*

### **Abstract**

*Within the frame of this article, the authors summarize the results of the study of single-lap bonded joints. The bonded joints were subjected to dynamic, sinusoidal function-shaped fatigue. The structure of the damaged surface was examined. We found three typical surfaces along the overlapping joint.*

**Keywords:** *single-lap joint, analysis, sinusoidal function*

### **1. Bevezetés**

A ragasztás az egyik legkorszerűbb, alapvetően anyagzáró, a felületi érdesség miatt részben alakzáró, roncsolás nélkül nem oldható kötési eljárás. A kötés szintetikus anyaggal, vegyi reakció révén jön létre, az egyes alkatrészek és a ragasztóréteg között adhézió, a réteg belsejében kohézió útján.

A ragasztott kötések az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek. Széles körben való alkalmazásuk annak köszönhető, hogy számos előnnyel rendelkeznek a hagyományos gépészeti kötéstechnológiákkal szemben. Fő előnyük a kifáradással szembeni nagyobb ellenállás, illetve a hosszabb élettartam. További előnyt nyújt jó tömítési tulajdonsága, alacsony gyártási költsége, jó rezgési és lengéscsillapítási tulajdonsága könnyebb súlya, valamint annak a lehetősége, hogy különböző anyagú, vékony komponensek is összeköthetők vele. A fémragasztás vékony, nagy szilárdságú acél- vagy könnyűfémelem szerkezetek kötésére a legalkalmasabb. Széles körben alkalmaznak az ipar minden területén, különösképpen a gépjármű és a repülőgép iparban, a könnyűsúlyú anyagok alkalmazásának kívánalmái miatt, de mindinkább tért hódít a hagyományos gépiparban is. Ezért is indokolt, hogy a ragasztás az első számú kötéstechnológia a karbonszál erősítésű polimereknél, melyet a repülőgépgyártás is alkalmaz. Számos esetben hibrid kötést alkalmaznak, azaz összekapcsolják a mechanikai kötést a ragasztással. Dolgozatomban a Henkel Magyarország Kft. ragasztóanyagait vizsgáltam, nyíró igénybevételre [1],[2].

## 2. Ragasztott minták mérése

Méréseimet a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. laboratóriumában végeztem el az INSTRON 8874 Biaxiális Szervóhidraulikus Anyagvizsgáló berendezésen. Az anyagvizsgáló berendezés maximális terhelése 25 kN, nyomatéka 100 Nm. Nagyciklusú fárasztást hajtottam végre. A ragasztott mintadarabokat dinamikus, szinuszos függvény alakú fárasztó igénybevétel terhelte. Ezt a mérésorozatot megelőzően, ragasztott kötések vizsgálatát hajtottam végre nyíró igénybevételre. A maximális terhelés,  $F_{max}$  értékét az előző statikus vizsgálatokból adódó maximális terhelések átlagának a 80%-ának, a minimális terhelés,  $F_{min}$  értéket az előzőekben meghatározott  $F_{max}$  maximális terhelés tizedének vettem fel.

Mivel

$$R = \frac{F_{min}}{F_{max}}, \quad (1)$$

a szimmetriatényező értéke  $R = 0,1$ . A vizsgálat elvégzéséhez kiszámoltam az  $F_{közép}$ , illetve az  $F_{amplitúdó}$  értékét, melyeket a következő összefüggésekből határoztam meg:

$$F_{közép} = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}, \quad (2)$$

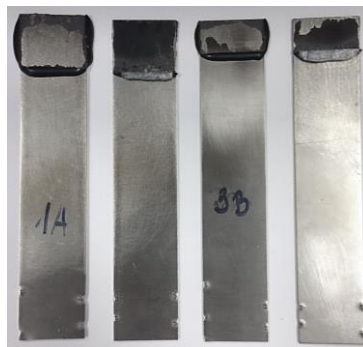
$$F_{amplitúdó} = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}. \quad (3)$$

A frekvencia értékét 20 Hz re állítottam be. Az első mintadarab mérésekor az  $F_{max}$  értékét az előző méréseimből származó átlagterhelések 80%-ának vettem fel majd minden mintadarab esetén különböző nagyságúra állítottam be, kezdve a legnagyobb terheléssel, majd fokozatosan csökkentve azt. Méréseimből a károsodást jelző N ciklusszámot kaptam meg.

Különböző méretű egyszeresen átlapolott kötések vizsgálatát hajtottam vére. Az egyik esetben az átlapolás mérete 30 x 15 mm, a másik esetben 30 x 25 mm volt. Összesen 12 mintadarabot vizsgáltam, mindegyik fajtából 6-6 darabot. Az átlagos ragasztóanyag vastagság 0,3 mm volt.

A ragasztott kötések különbözőképpen szakadhatnak el. Az egyik esetben a két anyag érintkezési felületén ható adhéziós erő bizonyul kisebbnek, így a ragasztóanyag leválását tapasztalhatjuk az anyag felületéről. A másik esetben a ragasztóanyag molekulái között ható kohéziós erő bizonyul kisebbnek, így a ragasztott kötés a ragasztóanyagban szakad.

Az 1. ábrán az egyszeresen átlapolott ragasztott kötések szakadása figyelhető meg 30 x 15 mm, illetve 30 x 25 mm méretű átlapolások használatával.



1. ábra. Egyszeresen átlapolott ragasztott kötések szakadása 30 x 15 mm, illetve 30 x 25 mm méretű átlapolások esetén

A méréseink során elszakadt ragasztott kötések esetében egy mintadarabon mind a kétféle szakadási mód megfigyelhető. A ragasztott felületen néhol a kohéziós, néhol az adhéziós erő bizonyult kisebbnek. A szakadás jellegzetességeként megfigyelhető, hogy mindegyik mintadarab esetében az átlapolás szélein a ragasztóanyagban történt a szakadás.

Az alábbi táblázatok a mérés során meghatározott és rögzített erőket és a ragasztott kötés károsodását jelző ciklusszám adatokat mutatják 30 x 15 mm és 30 x 25 mm méretű átlapolások esetén:

**1. táblázat.** Mérés során rögzített adatok 30 x 15 mm méretű átlapolások esetén.

Jel	F <sub>max</sub> [kN]	F <sub>min</sub> [kN]	F <sub>közép.</sub> [kN]	F <sub>ampl.</sub> [kN]	N <sub>t</sub>
1B	5,5	0,5	3,025	2,475	4547
2B	5,2	0,52	2,86	2,34	22542
3B	5	0,5	2,75	2,25	20390
4B	4,8	0,48	2,64	2,16	46630
5B	4,6	0,46	2,53	2,07	56884
6B	4,4	0,44	2,42	1,98	38069

**2. táblázat.** Mérés során rögzített adatok 30 x 25 mm méretű átlapolások esetén.

Jel	F <sub>max</sub> [kN]	F <sub>min</sub> [kN]	F <sub>közép.</sub> [kN]	F <sub>ampl.</sub> [kN]	N <sub>t</sub>
1A	7,6	0,76	4,18	3,42	8476
2A	7	0,7	3,85	3,15	6391
3A	6	0,6	3,3	2,7	14406
4A	5,5	0,55	3,025	2,475	36995
5A	5	0,5	2,75	2,25	29571
6A	4,5	0,45	2,475	2,025	95145

Két mérési sorozatot végeztünk különböző méretű átlapolások használatával. Céлом az volt, hogy meghatározzam 20 Hz frekvencia esetén a terhelő erő és az élettartam közötti összefüggést. Kérdéses volt, hogy milyen görbe használatával közelítsem az F<sub>max</sub> maximális erőt az N ciklusszám függvényeként. Az összefüggés meghatározásához különböző típusú görbékkel való közelítést használtam. Log-log skálán logaritmikus és hatvány közelítést, normál skálán lineáris, hatvány, exponenciális valamint logaritmikus közelítést alkalmaztam. A piros négyzetek a 30x25 mm-es átlapolású, a kék négyzet a 30x15 mm átlapolású mintadarabokra mutatják a méréseim során kapott eredményeket.

Log-log skála esetén a logaritmikus közelítésnél R<sup>2</sup> értéke 0,75 és 0,85, hatvány közelítés esetén 0,72 és 0,88. Normál skála esetén a lineáris közelítés használatával R<sup>2</sup> értéke 0,64 és 0,70, hatvány közelítés esetén 0,88 és 0,72, exponenciális közelítés használatával 0,68 és 0,69 és logaritmikus közelítés esetén 0,74 és 0,85. A kapott R<sup>2</sup> értékekből megállapítható, hogy a legjobb közelítés a hatvány közelítés. A hatvány közelítés alkalmazásával:

25 mm átlapolás esetén:

$$y = 36,87x^{-0,18}$$

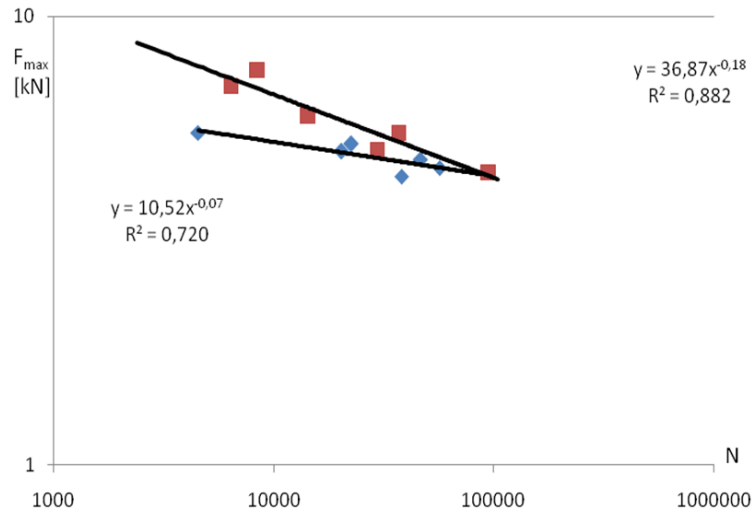
$$R^2 = 0,882$$

15 mm átlapolás esetén:

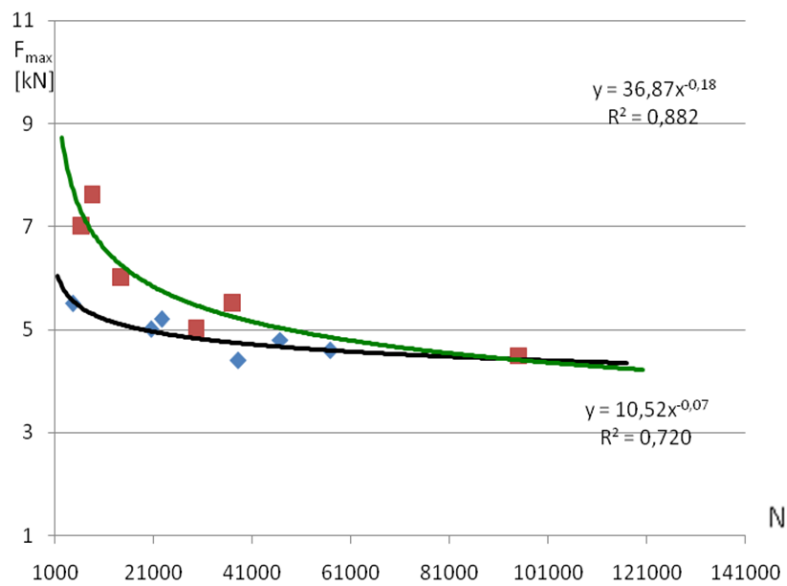
$$y = 10,52x^{-0,07}$$

$$R^2 = 0,72$$

közelítő függvényeket kaptam.



2. ábra. Hatvány közelítés log-log skála használatával.



3. ábra. Hatvány közelítés normál skála használatával.

A maximum terhelés és az élettartam közötti összefüggés tehát 15 mm átlapolás használatával:

$$F_{max} = 10522 \cdot N^{-0,0756}, \quad (4)$$

a 25 mm-es ragasztott átlapolás használatával:

$$F_{max} = 36878 \cdot N^{-0,1854}. \quad (5)$$

A 3. ábra alapján látható, hogy kb.  $10^5$  ciklusszámgig nagyobb maximális terhelő erő alkalmazható a 25 mm-es átlapolással, mint a 15 mm-es átlapolásra ugyanazon ciklusszám eléréséhez, de kb. 4,5 kN terhelés esetén a 15 mm-es és a 25 mm-es átlapolás ugyanazt a  $10^5$  ciklusszámot bírja el. 4,5 kN-nál kisebb terhelésre elegendő a 15 mm-es átlapolás alkalmazása.

### 3. A károsodott felület vizsgálata

Megvizsgáltam a ragasztott kötések szakadása következtében károsodott felület szerkezetét. Vizsgálatomat a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet laboratóriumában végeztem el ZEISS EVO MA10 pásztázó elektronmikroszkóppal. A pásztázó elektronmikroszkóp olyan elektronoptikai eszköz, amely a vizsgált tárgy felszínének meghatározott területét irányított vékony elektronnyalábbal pontos minta szerint végigpásztázza, az elektronsugár és a tárgy kölcsönhatásából származó jeleket erre alkalmas detektorokkal érzékeli, és ezeket megfelelően feldolgozva, az elektronsugár mozgásával szinkronizálva képileg kijelzi. Mivel az elektronsugár és a tárgy kölcsönhatásaként számos, az anyag adott felületére jellemző típusú jel keletkezik, lehetővé válik a minta különböző tulajdonságainak képszerű megjelenítése. Ilyen módon a vizsgált anyag alaki sajátosságain túlmenően, az adott anyag vegyi összetételét is vizsgálhatjuk.

A pásztázó elektronmikroszkóp működéséből következik, hogy az elektronnyaláb töltést juttat a felületre. Az nem engedhető meg, hogy a töltés felhalmozódjon a minta felületén, mert ezek elektromos tere kölcsön hatásba lép a pásztázó nyaláb elektronjaival, ami meghamisítja a képet, lehetlenné téve a felületi objektumok vizsgálatát, ezért vagy vezető mintát kell használni, vagy más módon kell a töltés elvezetéséről gondoskodni. Ha a minta szigetelő (pl. biológiai minták), akkor vékony vezető réteggel szokás bevonni a felületet. Ez a réteg általában arany vagy szén, amelyet párologtatással lehet a felületre felvinni. Fontos, hogy a vezető réteg egyenletes vastagságú és minél vékonyabb legyen [3].

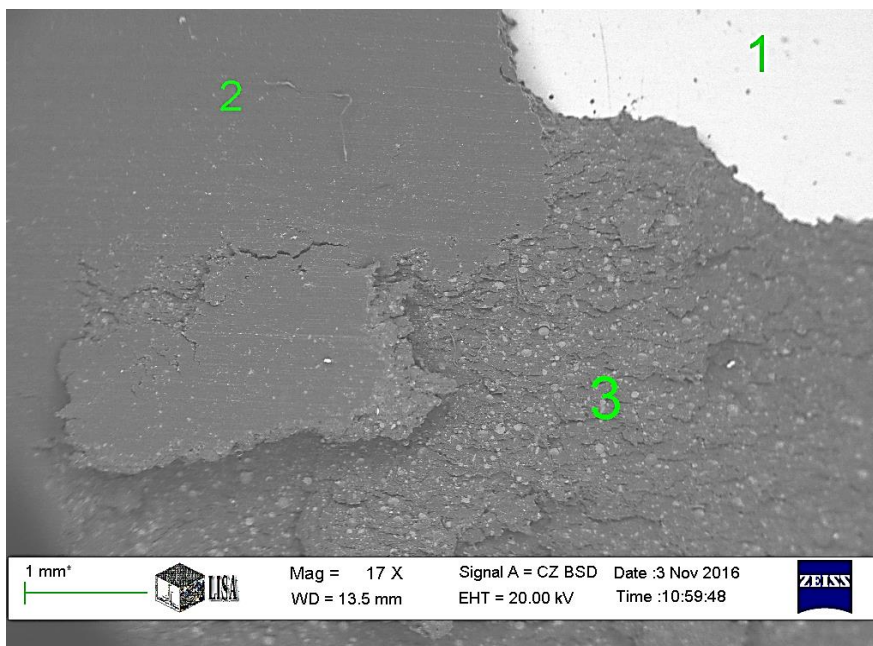
Mivel az általam használt EP 5055 ragasztóanyag szigetelő tulajdonságú, ezért szükség volt a mintadarab arannyal történő bevonására, továbbá szükséges volt a mintadarab méretre vágása is.



**4. ábra.** Méretre vágott, arannyal bevont mintadarab.

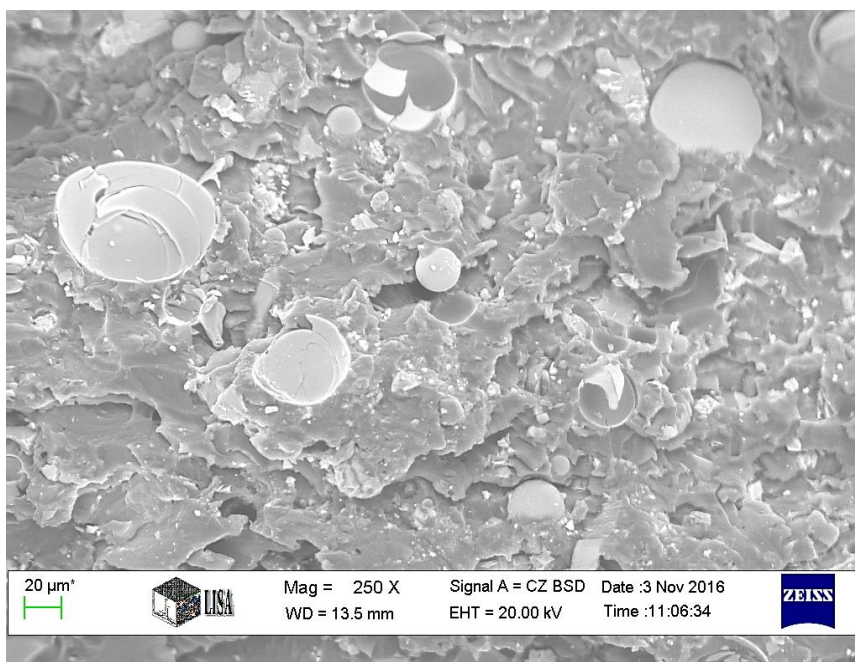
Az 5. ábra az átlapolt kötés 3 tipikus felületrészét mutatja szakadás után 17-szeres nagyításban:

- 1. felület: a lemez
- 2. felület: a ragasztóanyag leválása a ragasztott lemezről
- 3. felület: szakadás a ragasztóanyagban



**5. ábra.** Az átlapolt felület 17-szeres nagyításban.

A használt, EPOXI EP 5055 ragasztóanyag kétkomponensű ragasztó. A ragasztani kívánt felületre juttatása statikus keverőszárral történt, amelynek segítségével egy világos és egy sötétszürke komponens összekeveredik.



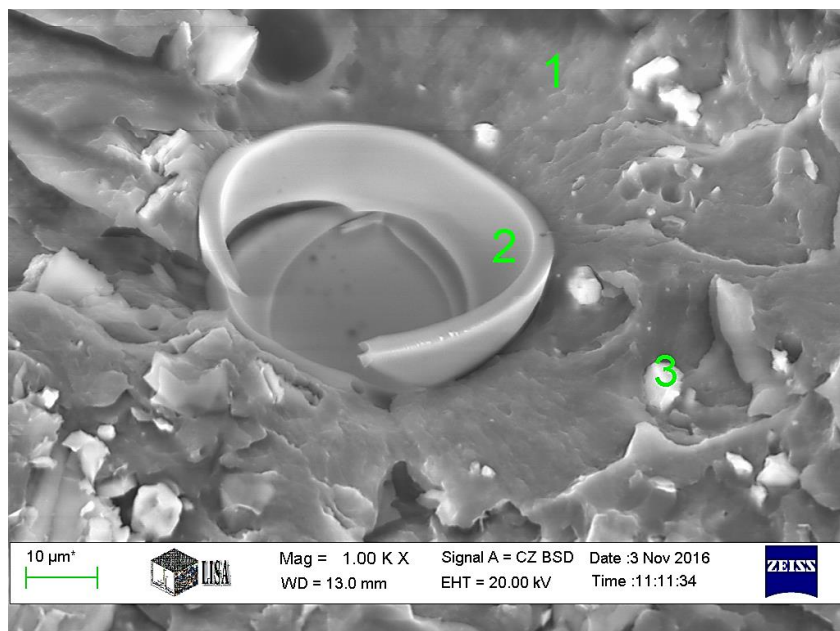
**6. ábra.** A ragasztóanyag szakadás után, 250-szeres nagyításban



A 3. jelű felületet megvizsgálva, azt tapasztaltuk, hogy a kikeményedett ragasztóanyagban jól elkülöníthető a ragasztóanyag két komponense. A 6. ábra a szakadás utáni ragasztóanyag felületét mutatja 250-szeres nagyításban. Jól látható, hogy a sötét színű ragasztóanyag, világosabb színű gömböket tartalmaz, amely a két komponenst mutatja. A világos színű gömbök a periodikus terhelés hatása következtében eltörtek, a sötét színű ragasztókomponens lemezes réteges törést mutat.

A pásztázó elektronmikroszkóppal nemcsak a károsodott felület formai jellegzetességeit, hanem a különböző komponensek összetételét is megvizsgálhattam. A szakadás utáni ragasztóanyag felületét közelebbről megvizsgálva jellemzően 3 különböző formájú és összetételű részt különböztethetünk meg:

- Az 1. jelű komponens egy sötét színű polimer,
- A 2. jelű komponens világosabb színű kalcium-szilikát gömb,
- A ragasztóanyag tartalmaz mikronnyi kalcium-karbonát szemcséket, melyet a 3-as szám jelöl.



7. ábra. Kalcium-szilikát gömb törése a ragasztóanyagban 100 K-szeres nagyításban.

## 5. Összefoglalás

Egyszeresen átlapolt ragasztott kötések vizsgálatát hajtottam végre. Az átlapolás mérete 30x15 és 30x25 mm volt. A ragasztott mintadarabokat dinamikus, szinuszos függvény alakú fárasztó igénybevétel terhelte. A méréseim során kapott eredményekből megállapítható, hogy kb.  $10^5$  ciklusszámig nagyobb maximális terhelő erő alkalmazható a 25 mm-es átlapolással, mint a 15 mm-es átlapolásra ugyanazon ciklusszám eléréséhez, de kb. 4,5 kN terhelés esetén a 15 mm-es és a 25 mm-es átlapolás ugyanazt a  $10^5$  ciklusszámot bírja el.

Megvizsgáltam a szakadás következtében károsodott felület szerkezetét. Megállapítottam, hogy a szakadás után három tipikus felület figyelhető meg az átlapolt kötés mentén. A ragasztóanyagban szakadt felületet közelebbről megvizsgálva megfigyeltem, hogy a károsodott felület három különböző formájú és összetételű részt tartalmaz. Megvizsgáltam a ragasztóanyag kikeményedés és szakadás utáni összetételét.

### **Irodalom**

- [1] Kovács, G., Mezei, G., Rácz, P., Törőcsik, D.: *Gépelemek*, 2013.  
<http://www.sze.hu/~szalai/gepelemek/Gepelemek.pdf>, (letöltés ideje: 2016.09.25)
- [2] Loctite Worldwide Design Handbook, Henkel Company, 1998.
- [3] Havancsák, K., Dankházi, Z.: *Páztázó elektronmikroszkópia*, ELTE Anyagfizikai Tanszék,  
[http://www.chem.elte.hu/system/files/SEM\\_tananyag\\_v4\\_ZGy.pdf](http://www.chem.elte.hu/system/files/SEM_tananyag_v4_ZGy.pdf), (letöltés ideje: 2016.11.02)