

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

ALAKEMLÉKEZŐ POLIURETÁNOK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA

Lakatos Csilla

Témavezető: Dr. Kéki Sándor



DEBRECENI EGYETEM

Kémiai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2019.

1. Bevezetés, célkitűzés

Napjaink egyik intenzíven kutatott területe az intelligens anyagok előállítása és vizsgálata. Az intelligens anyagok, olyan anyagok, melyek érzékelik a környezetükben bekövetkező változásokat (pl.: hőmérséklet, fény, kémhatás, redoxi-potenciál, mágneses tér stb.), és azokra tulajdonságaik megváltoztatásával, reverzibilis „választ” adnak. Az intelligens anyagok egyik nagy csoportját az alakemlékező polimerek alkotják, melyek külső hatásra alakjuk megváltoztatásával „válaszolnak”. Az alakemlékező polimerek egyik leggyakrabban alkalmazott típusa a szegmentált poliuretánok, melyek felépítésében kemény és lágy szegmensnek vesznek részt.

A lineáris poliuretán láncokban az aromás/alifás diizocianátok (kemény szegmens) polioloikkal (lágy szegmens) poliaddíciós reakció révén létesítenek uretán kötések. Az alakemlékező-, valamint a mechanikai tulajdonságok javítása érdekében kémiai keresztkötések (allofanát kötések) révén térhálós szerkezet alakítható ki. Az alakemlékező tulajdonság erősítése érdekében termoreverzibilis térháló alakítható ki Diels-Alder (DA) reakció alkalmazásával is. A poliuretánok szintézise során gyakran alkalmaznak poliészter alapú poliolt (pl.: poli(ϵ -kaprolakton) (PCL)), mely biztosítja az előállított polimer biodegradabilitását is. A PCL-re jellemző teljes biológiai lebonthatóság, alacsony üvegesedési-, és olvadási hőmérséklet lehetővé teszi az alakemlékező polimerek széleskörű elterjedését az orvosi alkalmazásoktól (pl.: stentek, varrófonalak) egészen az űrtechnológiáig (pl.: napelemek, antennák). Mindezek alapján, munkám során célul tűztük ki Diels-Alder (DA) adduktot tartalmazó lineáris és térhálós poliuretánok előállítását és vizsgálatát.

Napjainkban egyre fontosabb szerepet kapnak a különböző poliuretán származékok, kotérhálók (pl.: epoxi-poliuretánok). Az ilyen polimer-rendszerek nagy előnye, hogy előállításuk során lehetőség van az egyes építőelemek tulajdonságainak ötvözésére, ezzel az egyre változó felhasználói igények kielégítésére. Munkám további célja volt, olyan Diels-Alder adduktot tartalmazó epoxi-poliuretán rendszerek szintézise és vizsgálata is, melyekben az epoxi és a poliuretán nyújtotta kedvező tulajdonságok ötvözhetők.

2. Alkalmazott vizsgálati módszerek

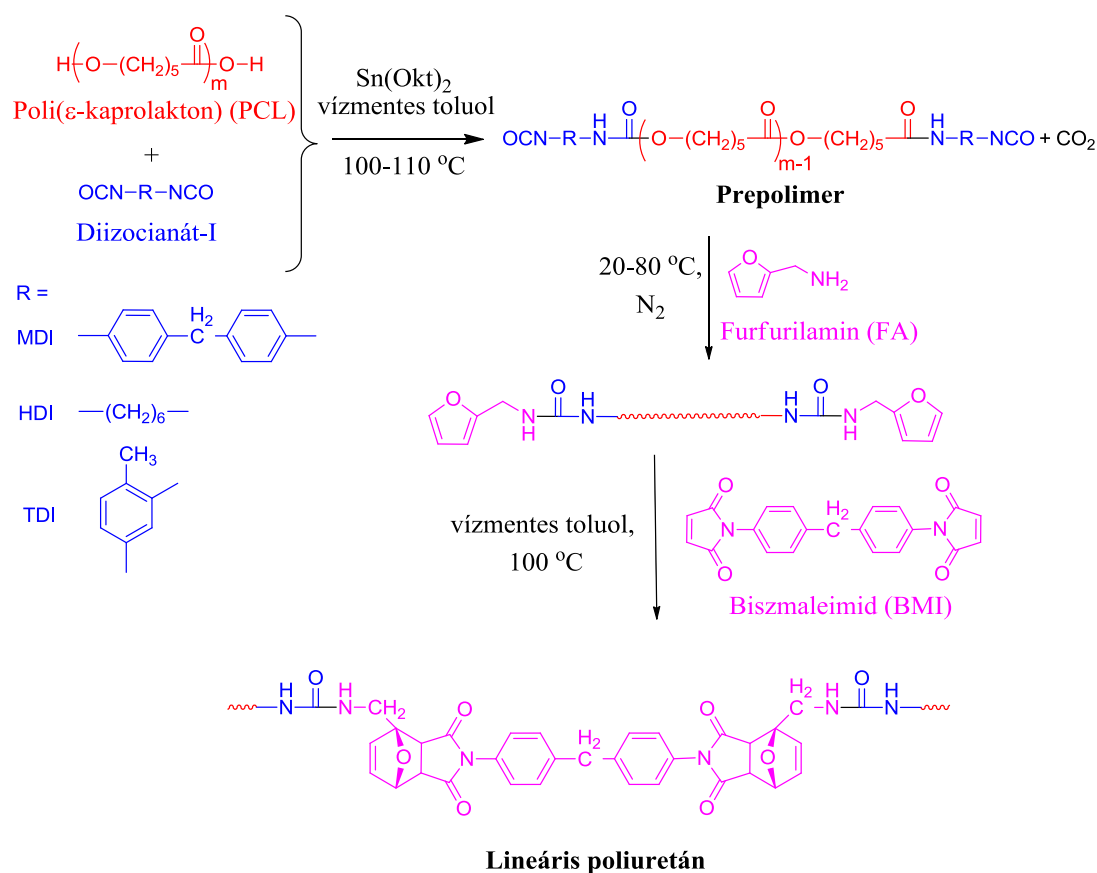
Az előállított lineáris poliuretán minták, valamint epoxi-poliuretán kotérhálók szerkezetvizsgálatát méretkizárásos kromatográfia (SEC), infravörös spektroszkópia (FTIR-ATR) és mágneses magrezonancia spektroszkópia ($^1\text{H-NMR}$) segítségével végeztük el. A különböző összetételű PU minták mechanikai tulajdonságait húzóvizsgálattal, termikus tulajdonságait dinamikus mechanikai analízissel (DMA) és differenciális pásztázó kalorimetriával (DSC) vizsgáltuk. Vizsgáltuk az egyes PU minták alakemlékező tulajdonságát is. A polimerekre jellemző térhálósűrűséget duzzadás vizsgálatokkal határoztuk meg. A PU minták morfológiáját pásztázó elektronmikroszkópia (SEM) segítségével ismertük meg.

3. Új tudományos eredmények

3.1. Diels-Alder adduktot tartalmazó lineáris poliuretánok

3.1.1. Diels-Alder adduktot tartalmazó lineáris poliuretánokat állítottunk elő poli(ε-kaprolakton) és diizocianát felhasználásával.

A lineáris poliuretánok szintézise (1. ábra) során különböző molekulatömegű poli(ε-kaprolakton) (PCL, $M_n = 10, 25, 50$ kg/mol), valamint különböző típusú és mennyiségű diizocianát (4,4'-metilén-difenil-diizocianát (MDI), 1,6-hexametilén-diizocianát (HDI), 2,4-toluilén-diizocianát (TDI)), és Diels-Alder addukt került felhasználásra, mely eredményeként termoreverzibilis kötést tartalmazó lineáris polimereket állítottunk elő (1. táblázat). A Diels-Alder addukt kialakítását furfurilamin (FA) és biszmaleimid (BMI) reakciója biztosította.



1. ábra: Lineáris poliuretánok szintézise

3.1.2. Összefüggéseket állapítottunk meg a Diels-Alder adduktokat tartalmazó lineáris poliuretánok összetétele és mechanikai, termikus, valamint alakemlékező tulajdonságai között.

Méretkizárásos kromatográfia segítségével meghatároztuk a kiindulási anyagok és az egyes lineáris PU minták szám- és tömegátlag molekulatömegét, valamint polidiszperzítését.

1. táblázat: A kiindulási reakcióelegyek összetétele és a kapott polimerek számszerinti átlagos molekulatömegei (M_n)

Kód	Összetétel / monomer arány	M_n (kg/mol)
PU 1	PCL (10)-MDI-FA-BMI / 1:3:2:1	76,0
PU 2	PCL (10)-MDI-FA-BMI / 1:3:2:2	66,4
PU 3	PCL (10)-HDI-FA-BMI / 1:3:2:2	53,6
PU 4	PCL (10)-TDI-FA-BMI / 1:3:2:2	57,0
PU 5	PCL (25)-MDI-FA-BMI / 1:3:2:2	67,3
PU 6	PCL (25)-HDI-FA-BMI / 1:3:2:2	67,2
PU 7	PCL (25)-TDI-FA-BMI / 1:3:2:2	61,6
PU 8	PCL (50)-MDI-FA-BMI / 1:3:2:2	116,7
PU 9	PCL (50)-HDI-FA-BMI / 1:3:2:2	95,9
PU10	PCL (50)-TDI-FA-BMI / 1:3:2:2	85,8

* A zárójelben lévő szám a PCL M_n értékét mutatja kg/mol egységben kifejezve

Megállapítottuk, hogy az alkalmazott PCL molekulatömegének növelésével a beépülő PCL egységek száma csökken (1. táblázat).

A Diels-Alder addukt képződését modelleztük és az $^1\text{H-NMR}$ spektrumokból kapott információk alapján azonosítottuk a PU mintákban az addukthoz tartozó protonokat.

A szakítóvizsgálatok eredményei alapján megállapítottuk, hogy az MDI és a HDI tartalmú poliuretánok kedvezőbb mechanikai tulajdonságokat mutatnak, mint a TDI-t tartalmazók, függetlenül a PCL molekulatömegétől. Az MDI „merev” molekuláris szerkezete előnyös a 10 kg/mol molekulatömegű PCL-t tartalmazó minták mechanikai tulajdonságaira, míg az alifás HDI jól működött az 50 kg/mol molekulatömegű PCL-t tartalmazó minták esetében. Megállapítottuk, hogy a legkedvezőbb szakítószilárdsági és megnyúlási értékeket az MDI-t tartalmazó poliuretánok (PU 2, 5, 8) mutatnak.

Megállapítottuk, hogy a PU mintákba beépült PCL szegmensek kristályosságának mértékét az alkalmazott diizocianát és a PCL szegmens molekulatömege alapvetően meghatározza. A PCL szegmensek kristályosodásának tanulmányozása (DSC) során megállapítottuk, hogy az egyes minták 41-68 % közötti kristályossági fokkal rendelkeznek.

Az egyes PU minták alakemlékező tulajdonságát DMA vizsgálat segítségével jellemeztük (2. táblázat).

2. táblázat: Az alakemlékező ciklus körülményei, valamint a jellemző alakrögzítési (R_f) és visszaalakulási (R_r) értékek

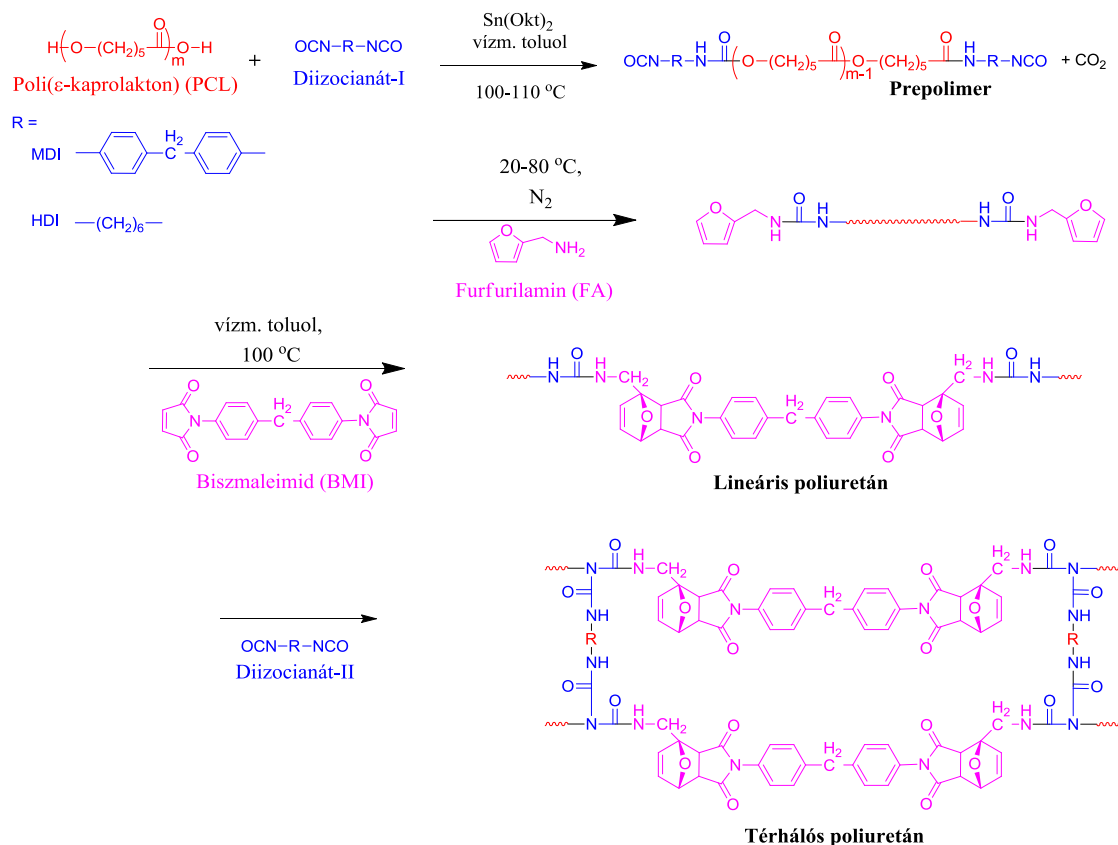
Kód	Hőmérséklet (°C)	Alkalmazott megnyújtás (%)	R_f (%)	R_r (%)
PU 2	80	80	99	43
PU 5	80	80	100	56

Az alakrögzítési (R_f) érték mindkét minta esetében közel 100 %-os volt, a visszaalakulási (R_r) értékek rendre 43 és 56 %-nak adódtak. Megállapítottuk, hogy az alakemlékezés kialakulásának a 10, illetve a 25 kg/mol-os PCL, valamint az MDI együttes alkalmazása kedvez.

3.2. Diels-Alder adduktot tartalmazó térhálós poliuretánok

3.2.1. Diels-Alder adduktot tartalmazó térhálós poliuretánokat állítottunk elő poli(ϵ -kaprolakton) és diizocianát felhasználásával.

A térhálós poliuretánok előállítása során változtattuk mind az összekötő, mind a térhálósító diizocianát típusát (MDI, HDI) és mennyiségét, valamint a poliol molekulatömegét (PCL, M_n = 10, 25, 50 kg/mol). A térhálósűrűség növelése, valamint az alakemlékező tulajdonság javítása érdekében, termoreverzibilis kapcsolóelemként, DA adduktot alkalmaztunk. A térhálós poliuretánok szintézisét a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Térhálós poliuretánok szintézise

3.2.2. Összefüggéseket állapítottunk meg a Diels-Alder adduktokat tartalmazó térhálós poliuretánok összetétele és mechanikai, termikus, valamint alakemlékező tulajdonságai között.

A szintézis eredményeként létrejött Diels-Alder adduktot tartalmazó térhálós poliuretánok összetételeit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: A kiindulási reakcióelegyek összetételei a térhálós poliuretánok esetében

Kód	Összetétel / monomer arány
TPU 1	PCL (10)–MDI–FA–BMI–MDI / 1:3:2:1:1
TPU 2	PCL (10)–MDI–FA–BMI–MDI / 1:3:2:2:1
TPU 3	PCL (10)–MDI–FA–BMI–MDI / 1:3:2:2:2
TPU 4	PCL (10)–MDI–FA–BMI–MDI / 1:3:2:2:3
TPU 5	PCL (10)–MDI–FA–BMI–HDI / 1:3:2:2:1
TPU 6	PCL (10)–HDI–FA–BMI–HDI / 1:3:2:2:1
TPU 7	PCL (25)–MDI–FA–BMI–MDI / 1:3:2:2:1
TPU 8	PCL (25)–MDI–FA–BMI–HDI / 1:3:2:2:1
TPU 9	PCL (25)–HDI–FA–BMI–HDI / 1:3:2:2:1
TPU 10	PCL (50)–MDI–FA–BMI–MDI / 1:3:2:2:1
TPU 11	PCL (50)–MDI–FA–BMI–HDI / 1:3:2:2:1
TPU 12	PCL (50)–HDI–FA–BMI–HDI / 1:3:2:2:1

*A zárójelben lévő szám a PCL számszerinti átlagos molekulatömegeit (M_n) mutatja kg/mol egységben kifejezve

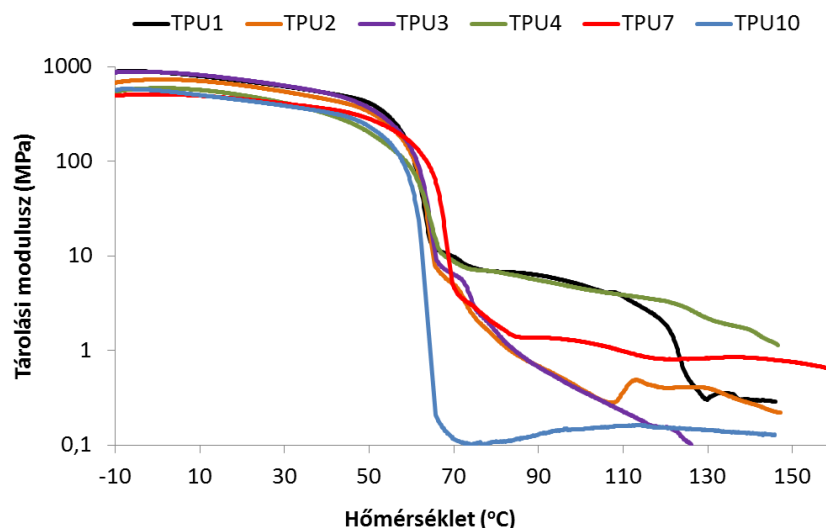
FTIR spektroszkópia segítségével igazoltuk az NCO csoportok teljes átalakulását, valamint a DA addukt jelenlétét.

A térháló kialakulásának igazolására duzzadás vizsgálatot végeztünk. A géltartalom az összetételektől függően 12,5 és 89,5 % között változott, míg a térhálósűrűség értéke 10^{-3} és 10^{-6} mol/cm³ közöttinek adódott (TPU 1-12). Megállapítottuk, hogy a térhálósűrűség értéke TPU 2-4 esetében a térhálósító diizocianát mennyiségének növelésével arányosan nő.

Mechanikai tulajdonságok tekintetében megfigyeltük, hogy a térhálósító komponens mennyiségének növelése, illetve a PCL molekulatömegének változtatása nem eredményez jelentős eltérést, de az összekötő és térhálósító diizocianát típusának változtatása már szignifikáns változást okoz. A legnagyobb szakítószilárdsági értéke ($\sigma = 36$ és 34 MPa) azoknak a TPU-knak (TPU 8, 11) van, amelyek esetében 25 vagy 50 kg/mol molekulatömegű PCL-t, összekötő elemként MDI-t, térhálósítóként pedig HDI-t alkalmaztunk.

DSC vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy az egyes minták kristályossági foka 45 és 68 % között változott. Megfigyeltük, hogy legnagyobb olvadási hőmérséklete ($T_m = 61,9$, $63,7$ és $64,8$ °C) azoknak a poliuretánoknak van, melyek összekötő elemként MDI-t, térhálósítóként pedig HDI-t tartalmaznak (TPU 5, 8, 11).

A termikus tulajdonságok jellemzésére DMA vizsgálatot végeztünk. A 3. ábra alapján, valamennyi TPU minta esetében, 60 °C környékén éles csökkenés figyelhető meg a tárolási modulusz értékben, melyet az olvadó kristályos PCL fázis okoz. Ezt követően, a PCL olvadáspontja fölött (70 °C) plató jelenik meg. A TPU 7 esetében két „rugalmas” plató (90 és 110 °C, valamint 120 és 140 °C között) kialakulása is megfigyelhető, amelyek a fizikai és kémiai térhálóknak, illetve a DA addukt jelenlétének (rDA) tulajdonítható.



3. ábra: A tárolási modulusz és hőmérséklet összefüggése a TPU 1-4, 7 és 10 esetében

Az alakmemória tesztek alapján bizonyítottuk, hogy a TPU 7 esetében 80 °C-on, 80 %-os nyújtás mellett, 100 %-os alakrögzítés (R_f), és 80 %-os visszaalakulási érték (R_r) érhető el.

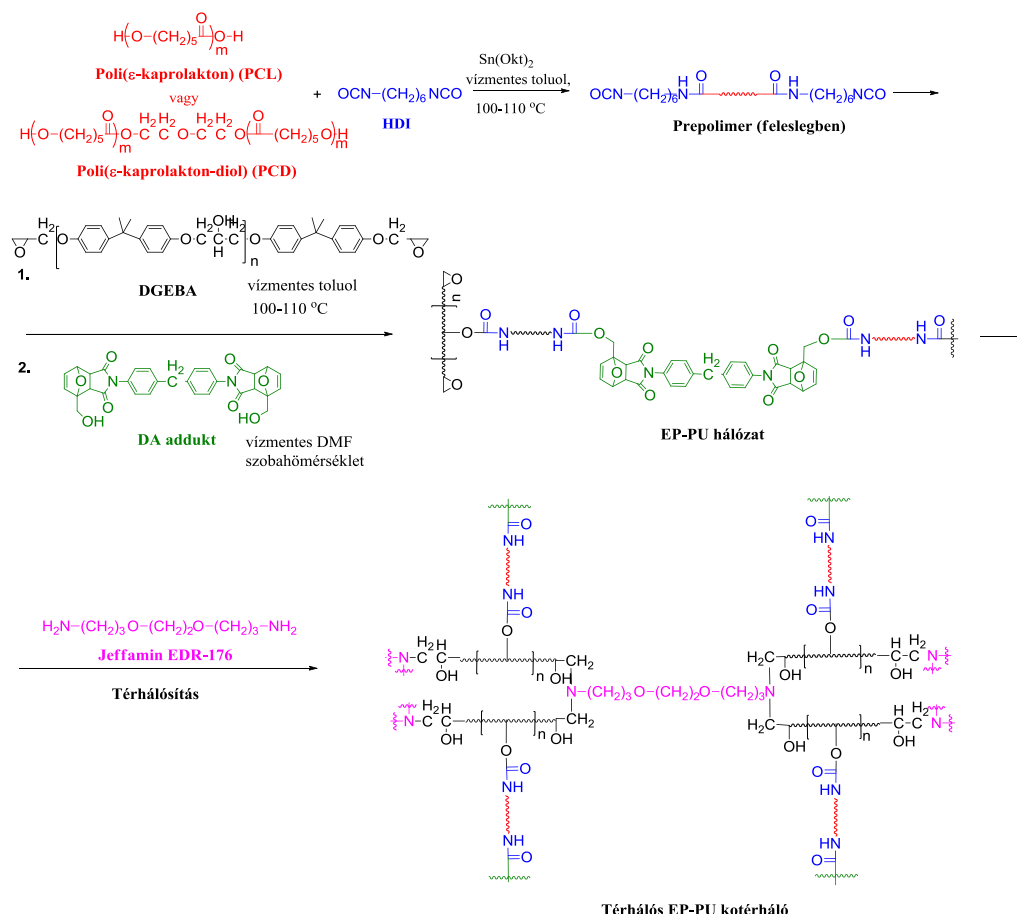
3.3. Diels-Alder adduktot tartalmazó epoxi-poliuretán kotérhálók

3.3.1. Egymásba hatoló (IPN) struktúrával rendelkező, Diels-Alder adduktot tartalmazó epoxi-poliuretán kotérhálókat (EP-PU) állítottunk elő biszfenol-A alapú epoxi gyanta és poli(ϵ -kaprolakton) / poli(ϵ -kaprolakton-diol) (PCD) felhasználásával.

Munkánk során a poli(ϵ -kaprolakton) alapú, Diels-Alder adduktot tartalmazó epoxi-poliuretán kotérhálók előállítását kétféle szintézis módszer segítségével valósítottuk meg, melyek során egymásba hatoló (IPN) struktúrával rendelkező rendszereket hoztunk létre.

Munkánk újszerűsége abban rejlik, hogy a szintézis során PCL/PCD alapú lineáris prepolimert, biszfenol-A alapú epoxi gyantával (DGEBA), valamint DA addukttal reagáltattunk. A szintézis eredményeként reverzibilis (DA) kötést tartalmazó epoxi-poliuretán kotérhálókhoz jutottunk. Az így előállított anyagok térhálósítását, különböző arányban hozzáadott, amin-típusú térhálósítószerrel (jeffamin, JA) végeztük az EP-PU 10-15 minták esetében.

Két szintézismódszert dolgoztunk ki. Az egyik szintézis módszer alkalmazásával az izocianát végű prepolimert OH-végű DA addukttal, valamint DGEBA oligomerrel reagáltattuk (EP-PU 1-15, 4. táblázat). Előállításuk során változtattuk a PCD/PCL ($M_n = 2, 10, 25$ és 50 kg/mol) molekulatömegét, a DA addukt, DGEBA, valamint a térhálósító JA arányát (4. ábra).

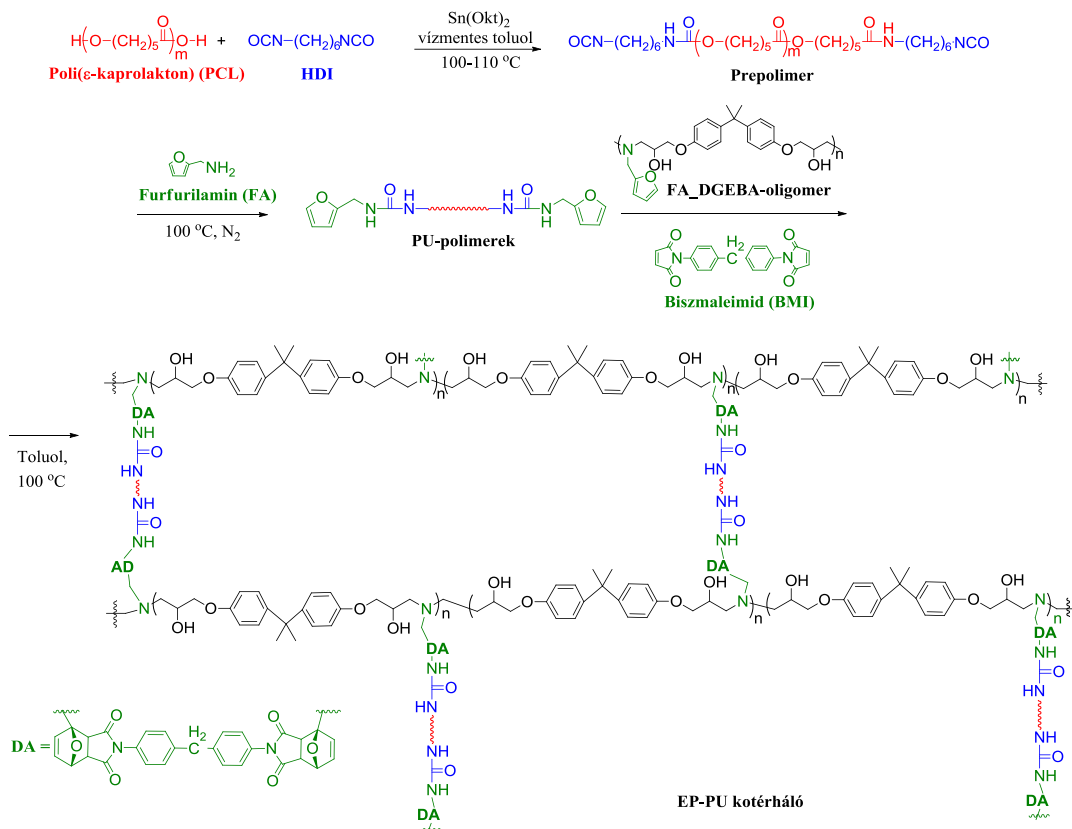


4. ábra: Diels-Alder adduktot tartalmazó epoxi-poliuretán kotérhálók (EP-PU 1-15) szintézise

4. Táblázat: Az EP-PU 1-15 minták kiindulási reakcióelegyeinek összetétele

Kód	Összetétel / mól arány
EP-PU 1	PCD(2)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:0,5:0,5
EP-PU 2	PCD(2)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:1:1
EP-PU 3	PCL(10)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:1:1
EP-PU 4	PCL(25)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:1:1
EP-PU 5	PCL(50)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:1:1
EP-PU 6	PCD(2)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:2:2
EP-PU 7	PCL(10)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:2:2
EP-PU 8	PCL(25)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:2:2
EP-PU 9	PCL(50)-HDI-DA addukt-DGEBA / 1:2:2:2
EP-PU 10	PCL(10)-HDI-DA addukt DGEBA-JA / 1:2:1:1:1
EP-PU 11	PCL(25)-HDI-DA addukt-DGEBA-JA / 1:2:1:1:1
EP-PU 12	PCL(50)-HDI-DA addukt-DGEBA-JA / 1:2:1:1:1
EP-PU 13	PCL(10)-HDI-DA addukt-DGEBA-JA / 1:2:2:2:2
EP-PU 14	PCL(25)-HDI-DA addukt-DGEBA-JA / 1:2:2:2:2
EP-PU 15	PCL(50)-HDI-DA addukt-DGEBA-JA / 1:2:2:2:2

A másik szintézis módszer során a DGEBA-t először FA-nal reagáltattuk, majd az így előállított vegyületet (FA_DGEBA oligomer) BMI jelenlétében hozzáadtuk a furán-végű prepolimerhez (EP-PU 16-24, 5. táblázat). Az EP-PU 16-24 kotérhálók szintézise során változtattuk a PCL molekulatömegét ($M_n = 10$ és 50 kg/mol) és az FA_DGEBA oligomer arányát (5. ábra).



5. ábra: FA_DGEBA oligomer-poliuretán (EP-PU 16-24) kotérhálók szintézise

5. Táblázat: Az EP-PU 16-24 minták kiindulási reakcióelegyeinek összetétele

Kód	Összetétel / mól arány
EP-PU 16	PCL(10)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:1:1
EP-PU 17	PCL(10)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:1:2
EP-PU 18	PCL(10)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:2:1
EP-PU 19	PCL(10)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:2,5:1
EP-PU 20	PCL(10)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:3:1
EP-PU 21	PCL(50)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:5:1
EP-PU 22	PCL(50)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:10:1
EP-PU 23	PCL(50)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:12,5:1
EP-PU 24	PCL(50)-HDI-FA-FA_DGEBA oligomer-BMI / 1:2:2:15:1

5.1.1. Összefüggéseket állapítottunk meg az IPN stuktúrájú, Diels-Alder adduktokat tartalmazó epoxi-poliuretán kotérhálók összetétele és mechanikai, termikus, valamint alakemlékező tulajdonságai között

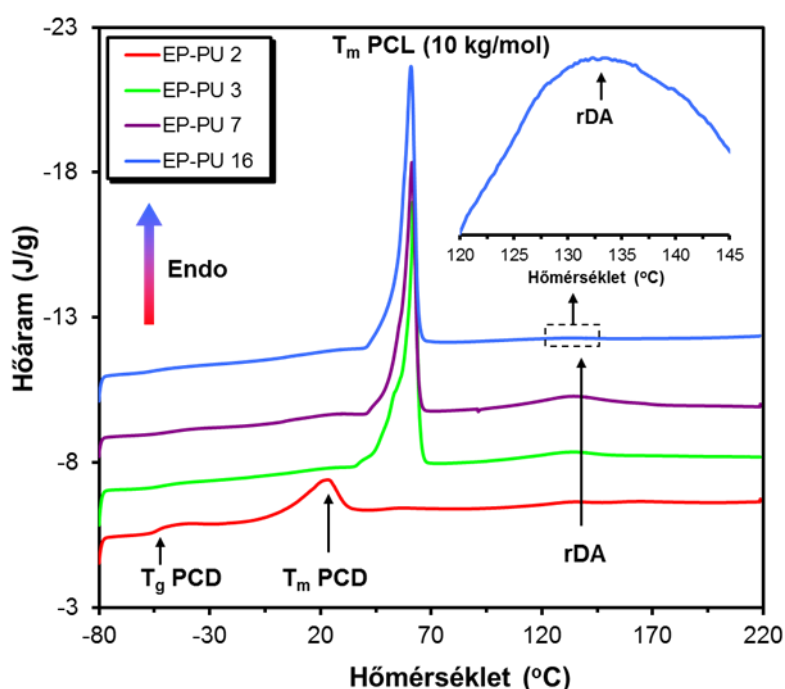
Az EP-PU mintában infravörös spektroszkópai (FTIR-ATR), és DSC mérésekkel igazoltuk a DA addukt jelenlétét.

Az EP-PU minták szakítóvizsgálati eredményei alapján megállapítottuk, hogy a PCD-lal készített EP-PU-k kis E-modulusz értékkel rendelkeznek (EP-PU 2 és 6, rendre 4 és 6 MPa). Megfigyeltük, hogy a PCL molekulatömegének változtatása jelentősen befolyásolja az EP-PU 1-15 minták E-modulusz értékeit.

Megfigyeltük továbbá, hogy a jeffaminnal térhálósított EP-PU minták kotérhálói nagyobb E-modulusz és szakítószilárdság értékeket eredményeznek, mint a nem térhálósított minták (EP-PU 7 és 13; EP-PU 4 és 11).

A második szintetikus úton előállított EP-PU mintákról megállapítottuk, hogy a nagyobb E-modulusz értékkel, de kisebb megnyúlással rendelkeznek, mint az első szintetikus megközelítéssel előállítottak.

DSC vizsgálatok segítségével meghatároztuk a PCD-t tartalmazó minták üvegesedési- (-55 és -40 °C), és olvadási hőmérsékletét (~20 °C). A PCL olvadási hőmérséklete 60 °C körül adódik. Megfigyeltük, hogy az epoxi-tartalom növekedésével a kristályosság mértéke csökken (EP-PU 2 és 6), mely azzal magyarázható, hogy a térhálósítás csökkenti a PCL szegmensek flexibilitását (EP-PU 3 és 10; EP-PU 7 és 13; EP-PU 4 és 11). A DSC vizsgálatok igazolták a DA addukt jelenlétét. A hőmérséklet-hőáram görbéken (110 - 145 °C) megjelenő csúcs a rDA reakció eredménye (6. ábra).



6. ábra: Az EP-PU 2, 3, 7 és 16 minták DSC görbéi

Az EP-PU 3, 10 és 13 esetében bizonyítottuk, hogy az alakrögzítési értékek (R_f) közel 100 %-osak voltak, 60 °C-on, 30 %-os nyúlás alkalmazása mellett. A legjobb visszaalakulás értéke (R_r = 85 %), a térhálós szerkezetű EP-PU 13 mintának van.

4. Az eredmények alkalmazási lehetőségei

Az általunk előállított Diels-Alder adduktot tartalmazó lineáris és térhálós poliuretánok felépítésében különböző molekulatömegű poli(ϵ -kaprolakton) és eltérő típusú (MDI, HDI, TDI) és mennyiségű diizocianát vesz részt. A különböző építőelemek alkalmazása révén az előállított poliuretánok mechanikai tulajdonságai széles tartományban változtathatóak. Az aromás szerkezetű MDI felhasználásával merevebb, a HDI alkalmazásával flexibilisebb anyagok állíthatók elő. A poliuretánláncokba épített Diels-Alder addukt egyfajta kapcsolóelem szerepét tölti be, mely lehetővé teszi a poliuretánláncok termoreverzibilis össze- és szétkapcsolását, valamint szélesíti a poliuretánok jó alakmemória programozásának lehetőségét. Az alakemlékező polimerek a textíliák, membránok előállításában jelentősek, de jelenleg is széleskörű fejlesztési tevékenység folyik az űrtechnológiai, autóipari alkalmazások kiszélesítése érdekében. A poli(ϵ -kaprolakton) beépítésével potenciálisan biodegradábilis polimerek szintetizálhatóak, melyek révén lehetőség nyílik a polimerek orvosi biológiai felhasználásra is.

Az egymásba hatoló (IPN) struktúrájú epoxi-poliuretán kotérhálók szintézise lehetőséget nyújt a különböző építőelemek tulajdonságainak ötvözésére, ezáltal a felhasználói igények szélesebb körű kielégítésére. Az epoxi-uretán kotérhálók, olyan előnyökkel rendelkeznek, mint például a jó tárolási stabilitás, a szobahőmérsékleten történő kikeményedés vagy az epoxi gyantákkal való keverhetőség. Ezen tulajdonságok miatt lehetnek alkalmasak ragasztóanyagként, vagy az epoxi erősítő anyagként történő felhasználásra. A Diels-Alder addukt reverzibilis kapcsolóelemként történő alkalmazásával pedig lehetőség nyílik az alakemlékező tulajdonság modulálására is.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, *Dr. Kéki Sándor* egyetemi tanárnak, az Alkalmazott Kémiai Tanszék vezetőjének, hogy munkámat lehetővé tette, mindvégig figyelemmel kísérte és értékes szakmai tanácsokkal segítette.

Köszönetemet fejezem ki *Illyésné Dr. Czifrák Katalin* egyetemi tanársegédnek, odaadó munkájáért, szakmai tanácsaiért, támogatásáért. Az ő önzetlen segítsége nélkül ez a dolgozat nem készülhetett volna el.

Köszönöm *Dr. Zsuga Miklós* emeritus professzornak, hogy munkámat figyelemmel kísérte és hasznos tanácsaival segítette.

Hálával tartozom Dr. Karger-Kocsis Józsefnek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnikai Tanszék egyetemi tanárának, amiért a termodinamikai és alakmemória vizsgálatok elvégzését lehetővé tette számomra, valamint munkámat mindvégig

hasznos tanácsaival segítette. Köszönettel tartozom továbbá Pinke Balázs Gábor, tanszéki mérnöknek a mérések során nyújtott segítségéért.

Köszönettel tartozom továbbá Dr. Nagy Lajos egyetemi docensnek és Dr. Nagy Tibor egyetemi adjunktusnak a tömegspektrometriai mérések, Dr. Deák György egyetemi docensnek és Dr. Nagyné Berzovicz Cecília vegyésztechnikusnak a méretkizárásos kromatográfiai mérések, valamint Lengyelné Vass Éva[†] vegyésztechnikusnak az infravörös spektroszkópiai vizsgálatok elvégzésében és kiértékelésében nyújtott segítségükért.

Köszönöm Dr. Daróczi Lajos egyetemi docensnek a pásztázó elektronmikroszkópos felvételekért.

Köszönettel tartozom az Alkalmazott Kémiai Tanszék valamennyi dolgozójának, az évek során kapott szakmai és baráti támogatásért.

Hálával tartozom Keczánné Dr. Üveges Andrea főiskolai docensnek, és Dr. Bodnár Ildikó főiskolai tanárnak szakmai iránymutatásukért, támogatásukért.

Köszönöm a következő pályázatoknak a munka során nyújtott anyagi támogatást: GINOP-2.3.2-15-2016-00041, GINOP-2.3.3-15-2016-00004, valamint a GINOP-2.3.2-15-2016-00021, amelyek az Európai Unió támogatásával és az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósultak meg.

Köszönöm a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt-nek az anyagi támogatást.

Hálásan köszönöm családomnak, szüleimnek, húgomnak, páromnak és barátaimnak, hogy mellettem álltak, erőn felül támogattak és mérhetetlen szeretetükkel bátorítottak az elmúlt évek során.



Nyilvántartási szám: DEENK/1/2019.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Lakatos Csilla
Neptun kód: F7SZRU
Doktori Iskola:
MTMT azonosító: 10056988

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Lakatos, C.**, Czifrák, K., Papp, R., Karger-Kocsis, J., Zsuga, M., Kéki, S.: Segmented linear shape memory polyurethanes with thermoreversible Diels-Alder coupling: Effects of polycaprolactone molecular weight and diisocyanate type. *Express Polym. Lett.* 10 (4), 324-336, 2016. ISSN: 1788-618X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3144/expresspolymlett.2016.30>
IF: 2.983

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

2. Czifrák, K., **Lakatos, C.**, Karger-Kocsis, J., Daróczy, L., Zsuga, M., Kéki, S.: One-Pot Synthesis and Characterization of Novel Shape-Memory Poly(ϵ -Caprolactone) Based Polyurethane-Epoxy Co-networks with Diels-Alder Couplings. *Polymers.* 10 (5), 504-1-19, 2018. EISSN: 2073-4360.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/polym10050504>
IF: 2.935 (2017)
3. **Lakatos, C.**, Czifrák, K., Karger-Kocsis, J., Daróczy, L., Zsuga, M., Kéki, S.: Shape memory crosslinked polyurethanes containing thermoreversible Diels-Alder couplings. *J. Appl. Polym. Sci.* 133 (43), 44145-1-9, 2016. ISSN: 0021-8995.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.44145>
IF: 1.86

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (5)

4. **Lakatos, C.**, Czifrák, K., Karger-Kocsis, J., Zsuga, M., Kéki, S.: Diels-Alder adduktot tartalmazó epoxi-poliuretán kompozitok előállítása és vizsgálata = Preparation and investigation of polyurethane-epoxy composites containing Diels-Alder adduct. In: 23rd International Conference on Chemistry = XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia. Szerk.: Majdik Kornélia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Kolozsvár, 57, 2017.





5. Czifrák, K., **Lakatos, C.**, Tóth, E., Szántó, J., Zsuga, M., Kéki, S.: Diels-Alder addukt képződésének vizsgálata NMR spektroszkópiával = Examination of Diels-Alder adduct formation by NMR spectroscopy.
In: 22nd International Conference on Chemistry = XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia : Timişoara, November 3-6, 2016 Temesvár, 2016. november 3-6, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Kolozsvár, 52, 2016.
6. **Lakatos, C.**, Czifrák, K., Karger-Kocsis, J., Zsuga, M., Kéki, S.: Térhálós, Diels-Alder adduktot tartalmazó alakemlékező poliuretánok előállítása és vizsgálata = Preparation and investigation crosslinked, shape memory polyurethanes containing Diels-Alder adduct.
In: 22nd International Conference on Chemistry = XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia : 2016 Temesvár, 2016. november 3-6, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Kolozsvár, 57, 2016.
7. Czifrák, K., **Lakatos, C.**, Makrai, A., Karger-Kocsis, J., Zsuga, M., Kéki, S.: The effect of heat treatment to the mechanical properties of DielsAlder adduct containing polyurethanes = Hőkezelés hatása Diels-Alder adduktot tartalmazó poliuretánok mechanikai tulajdonságaira.
In: 21st International Conference on Chemistry = XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia : Csíksomlyó, 2015. szeptember 23-27, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Kolozsvár, 32, 2015.
8. Czifrák, K., **Lakatos, C.**, Papp, R., Karger-Kocsis, J., Zsuga, M., Kéki, S.: Diels-Alder addukt alkalmazása alakemlékező poliuretánok szintézisében = Applying Diels-Alder adduct in the polyurethane syntheses.
In: 20th International Conference on Chemistry : Cluj-Napoca, November 6-9, 2014 = XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia : Kolozsvár, 2014. november 6-9.. Ed.: Majdik Kornélia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Cluj-Napoca - Kolozsvár, 48, 2014.

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

9. **Lakatos, C.**, Miló, L., Gáll, J., Hegedűs, C., Szalóki, M., Keczánné Üveges, A.: TiO₂ tartalmú fotokatalitikus nanokompozit különböző előállítási módjainak hatása a hajlítószilárdságra.
Műanyag és Gumi. 51. (1.), 22-27, 2014. ISSN: 0027-2914.
10. **Lakatos, C.**, Miló, L., Keczánné Üveges, A.: Környezetbarát nanokompozitok előállítása és vizsgálata = Preparation and study of environmental friendly nanocomposites
Debreceni Műszaki Közl. 12 (2), 34-41, 2013. ISSN: 1587-9801.
11. Miló, L., **Lakatos, C.**, Keczánné Üveges, A.: Nanotitanát alkalmazása aktív és passzív módon a környezetvédelemben = Use of nanotitanium in active and passive ways for environmental protection.
Debreceni Műszaki Közl. 12 (2), 55-60, 2013. ISSN: 1587-9801.





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

12. Nagy, L., Nagy, T., Kuki, Á., Oláh, R., **Lakatos, C.**, Zsuga, M., Kéki, S.: Reactions of 2,6-Toluene Diisocyanate with Alcohols: Kinetic Studies in the Absence and Presence of Catalysts. *ChemistrySelect*. 2 (34), 11302-11306, 2017. ISSN: 2365-6549.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/slct.201702251>
IF: 1.505

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (4)

13. Nagy, L., Nagy, T., Kuki, Á., Oláh, R., **Lakatos, C.**, Zsuga, M., Kéki, S.: A 2,6-toluilén-diizocianát alkoholokkal történő reakciójának kinetikai vizsgálata katalizátor nélkül és katalizátor jelenlétében = Reactions of 2,6-Toluene Diisocyanate with Alcohols: Kinetic Studies in the Absence and Presence of Catalysts.
In: XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia. Szerk.: Majdik Kornélia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Kolozsvár, 61, 2018, (ISSN 1843-6293)
14. Czifrák, K., **Lakatos, C.**, Karger-Kocsis, J., Zsuga, M., Kéki, S.: Új típusú Diels-Alder adduktot tartalmazó poliuretánok = Polyurethanes containing new type Diels-Alder adduct.
In: 24th International Conference on Chemistry = XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia. Szerk.: Majdik Kornélia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Kolozsvár, 53, 2018, (ISSN 1843-6293)
15. Czifrák, K., Molnár, P., **Lakatos, C.**, Karger-Kocsis, J., Zsuga, M., Kéki, S.: Poli(ω - pentadecalacton)-t tartalmazó poliuretánok = Polyurethanes containing poly(ω - pentadecalactone).
In: 23rd International Conference on Chemistry = XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia. Szerk.: Majdik Kornélia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 52, 2017.
16. **Lakatos, C.**, Czifrák, K., Karger-Kocsis, J., Zsuga, M., Kéki, S.: Synthesis of polyurethanes with branched isocyanates = Poliuretánok előállítása elágazó izocianáttal.
In: 21st International Conference on Chemistry = XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia : Csíksomlyó, 2015. szeptember 23-27, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Kolozsvár, 37, 2015.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 9,283

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 7,778

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudánymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2019.01.02.



Konferencia részvétel, poszter

A PhD értekezés anyagához kapcsolódó előadások

1. Czifrák Katalin, Lakatos Csilla, Papp Rita, Karger-Kocsis József, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: Diels-Alder addukt alkalmazása alakemlékező poliuretánok szintézisében, XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár. (2014. november 6-9.)
2. Czifrák Katalin, Lakatos Csilla, Makrai Andrea, Karger-Kocsis József, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: Hőkezelés hatása Diels-Alder adduktot tartalmazó poliuretánok mechanikai tulajdonságaira, XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Csíksomlyó. (2015. szeptember 23-27.)
3. Czifrák Katalin, Lakatos Csilla, Tóth Emese, Szántó János, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: Diels-Alder addukt képződésének vizsgálata NMR spektroszkópiával, XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Temesvár. (2016. november 3-6.)
4. Lakatos Csilla, Czifrák Katalin, Karger-Kocsis József, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: Térhálós, Diels-Alder adduktot tartalmazó alakemlékező poliuretánok előállítása és vizsgálata, XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Temesvár. (2016. november 3-6.)
5. Lakatos Csilla, Czifrák Katalin, Karger-Kocsis József, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: Diels-Alder adduktot tartalmazó epoxi-poliuretán kompozitok előállítása és vizsgálata, XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva. (2017. október 25-28.)

Egyéb előadások, poszterek

1. Lakatos Csilla, Keczánné Üveges Andrea: UV-fényre keményedő, öntisztuló, antiszeptikus polimer nanokompozitok előállítása, XVIII. Épületgépészeti, Gépészeti és Építőipari Szakmai Napok c. Szakkiállítás és Tudományos Nemzetközi Konferencia, Debrecen. poszter (2012. október 11-12.)
2. Lakatos Csilla, Miló László, Keczánné Üveges Andrea: Környezetbarát nanokompozitok előállítása és vizsgálata, „Víz a házban és a ház körül” Környezetmérnöki konferencia, Debrecen. poszter (2013. október 11.)
3. Miló László, Lakatos Csilla, Keczánné Üveges Andrea: Nanotitanát alkalmazása aktív és passzív módon a környezetvédelemben, „Víz a házban és a ház körül” Környezetmérnöki konferencia, Debrecen. poszter (2013. október 11.)
4. Lakatos Csilla, Czifrák Katalin, Karger-Kocsis József, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: Poliuretánok előállítása elágazó izocianáttal, XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Csíksomlyó. (2015. szeptember 23-27.)
5. Czifrák Katalin, Molnár Patrícia, Lakatos Csilla, Karger-Kocsis József, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: Poli(ω -pentadecalakton)-t tartalmazó poliuretánok, XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva. (2017. október 25-28.)

6. Czifrák Katalin, Lakatos Csilla, Karger-Kocsis József, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: Új típusú Diels-Alder adduktot tartalmazó poliuretánok, XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szovátafürdő. (2018. október 24-27.)
7. Nagy Lajos, Nagy Tibor, Kuki Ákos, Oláh Réka, Lakatos Csilla, Zsuga Miklós, Kéki Sándor: A 2,6-toluilén-diizocianát alkoholokkal történő reakciójának kinetikai vizsgálata katalizátor nélkül és katalizátor jelenlétében, XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szovátafürdő. (2018. október 24-27.)