

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Poliolok és diizocianátok reakcióinak vizsgálata
folyadékkromatográfiás és tömegspektrometriás módszerekkel**

Juhász Anett

Témavezető: Dr. Kéki Sándor



DEBRECENI EGYETEM

Kémiai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2025.

Bevezetés és célkitűzés

A műanyagok felhasználása rendkívül szerteágazó, jelen vannak életünk szinte minden területén: a háztartásokban, az elektronikában, a járművekben, az egészségügyben, valamint az űrkutatásban is. A poliuretán (PU) típusú műanyagok a világpiacon a legsikeresebb, legsokoldalúbban felhasználható termékek közé tartoznak. Előállításuk poliizocianátok és poliolkok poliaddíciós reakciójával történik. Az alifás és cikloalifás diizocianátok olyan izocianátok, amelyekben az izocianát funkciós csoport alifás, vagy cikloalifás szénláncához kapcsolódik. Legfőbb képviselői közé tartoznak a hexametilén-diizocianát (HDI), az izoforon-diizocianát (IPDI) és a 4,4-diciklohexil-metán-diizocianát (HMDI). A xililén-diizocianát (XDI) az alifás és az aromás diizocianátok között helyezkedik tulajdonságai tekintetében. Az alifás izocianátok reaktivitása jóval kisebb az aromás izocianátokénál, a belőlük készült poliuretán termékekre kiváló időjárásállóság, fényállóság, magas hőmérséklet-állóság, alacsony sárgulási index a jellemző. Ezen tulajdonságaik hasznosítására felhasználási területei közé tartozik az ilyen típusú igényekkel rendelkező repülőgépipar, űripar, napenergia-ipar és egyéb csúcskategóriás vasúti és autóiipari berendezések gyártása.

Célul tűztük ki a HDI, IPDI, HMDI, XDI és alkoholok, valamint poliolkok közötti reakciók vizsgálatát. Az alkoholok közül kis molekulatömegű alkoholokat (propanol, butanol, pentanol és hexanol), dietilén-glikol-monometilétert (DEGME) és metoxilált polietilén-glikolt (mPEG) használtunk a kísérletekhez. A reakciókat különböző hőmérsékleteken végeztük el, a kapott eredményekből pedig aktiválási energiákat számoltunk. A reakciók követésére tömegspektrometriás és folyadékkromatográfiás módszereket használtunk, melyek a termékeloszlásról minőségi és mennyiségi információt adtak. Kísérleti eredményeink alátámasztására és a reakciómechanizmus mélyebb megismerése érdekében elméleti (kvantumkémiai) számításokat végeztünk.

Alkalmazott módszerek

Munkám során vizsgáltuk az XDI reakcióinak kinetikáját különböző hosszúságú alkilláncú alkoholokkal, mPEG-el és PTHF-al történő reakciója során. Az alifás alkoholokkal történő reakció hőmérsékletfüggését 50-80 °C -os tartományban tanulmányoztuk. Elvégeztük az alifás diizocianátok (HDI, HMDI, IPDI) katalizált és nem katalizált reakcióit butanollal különböző hőmérsékleteken (50-80°C), valamint ón-bisz (2-etil-hexanoát) katalizátor használata mellett. A katalizátor koncentrációjának a reakcióra gyakorolt hatását 0,001-0,005 M-os tartományban vizsgáltuk. A reakciókban a pszeudo-elsőrendű kinetika elérése érdekében az alkoholt a diizocianátokhoz képest nagy moláris feleslegben alkalmaztuk. Oldószerként szárított toluolt használtunk és nitrogén atmoszféra alatt dolgoztunk. A megfelelő időpontokban mintákat vettünk, a reakciót metanol hozzáadásával állítottuk meg. Alifás diizocianátoknak nincs UV elnyelésre alkalmas kromofór csoportja, így az MS detektálás miatt a reakciók kvencselésére d_9 -bután-1-olt használtunk. A reakciók követését XDI esetén HPLC-diódasoros (PDA) készülékkel végeztük és a mintákat $\lambda = 210$ nm-en detektáltuk. Az ESI-MS tömegspektrumokat a HDI, HMDI, IPDI reakcióinál MicrOTOF-Q típusú QqTOF-MS-el rögzítettük, majd a kiértékelést Bruker által kiadott DataAnalysis 3.4 szoftverrel készítettük.

A kísérleti eredményeinket kvantumkémiai számításokkal alátámasztottuk. A számításokhoz Gaussian16 programcsomagot használtunk. A geometriai optimalizálást B3LYP módszerrel, 6-31+G(d) báziskészlettel végeztük. Az optimalizált szerkezeteken kiszámoltuk a frekvenciákat a reakciómechanizmus termodinamikai tulajdonságainak meghatározására. A reakció energiaprofiljának megerősítésére az átmeneti állapotok szerkezetein belső reakciókoordináta (IRC) számításokat alkalmaztunk. Minden számítást 298,15 K hőmérsékleten, 1 atm nyomáson és toluolban végeztük Polarizable Continuum Model (PCM) oldószermodell segítségével.

Új tudományos eredmények

1. Meghatároztuk 1,3-xililén-diizocianát és különböző lánc hosszúságú alkoholok reakcióinak látszólagos (pszeudo-elsűrendű) sebességi együtthatóit és aktiválási paramétereiket. Megállapítottuk, hogy mindkét izocianát csoport látszólagos sebességi együtthatója ($k_{1,app}$ és $k_{2,app}$) nőtt az alkoholok szénatomszámának a növekedésével.

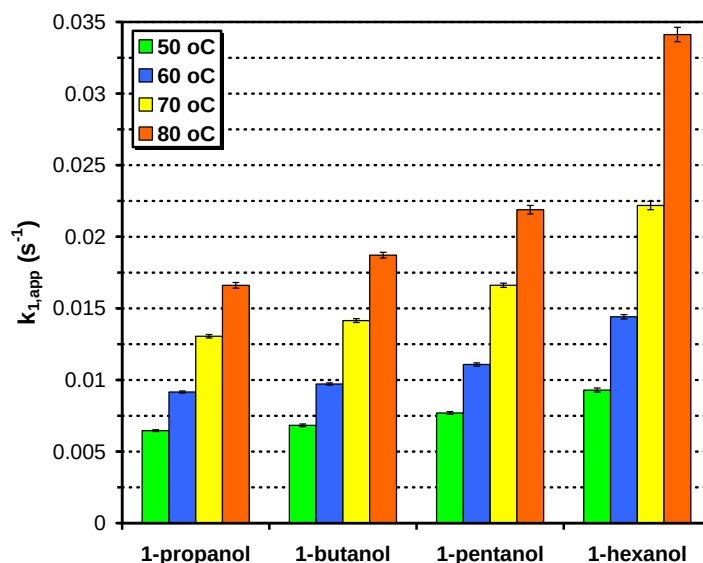
Bizonyítottuk, hogy az 1-propanoltól 1-hexanorig mind a $k_{1,app}$, mind a $k_{2,app}$ értékek növekedést mutattak a szénatomszám emelkedésével. A $k_{1,app} / k_{2,app}$ arány közel 1 maradt, ami azt jelzi, hogy az első reakció végbemenetele nem befolyásolta a második izocianát csoport reakcióképességét.

Kimutattuk a reakció hőmérsékletfüggését vizsgálva (1. ábra), hogy a $k_{1,app}$ értékek körülbelül kétszeresére-négyszeresére nőnek (és ez igaz a $k_{2,app}$ értékekre is), ami viszonylag alacsony aktiválási energiákra utal ezeknél az uretánképző reakcióknál.

Megállapítottuk, hogy a k_{app} értékek a lánc hosszal való növekedésének magyarázata az, hogy nem poláris közegben, mint a toluolban, az alkoholos OH-csoport jobban hozzáférhető a reagáló izocianát csoport számára, mivel a hosszabb alkilcsoportokat hatékonyabban oldják fel a környező nem poláris oldószermolekulák.

1. táblázat Az 1,3-XDI és az alkoholok látszólagos (pszeudo-elsőrendű) sebességi együtthatói

Látszólagos sebességi együtthatók	Alkohol			
	1-propanol	1-butanol	1-pentanol	1-hexanol
$k_{1,app} \cdot 10^2$ [perc ⁻¹]	1,66 ± 0,02	1,87 ± 0,02	2,19 ± 0,03	3,41 ± 0,05
$k_{2,app} \cdot 10^2$ [perc ⁻¹]	1,57 ± 0,02	1,74 ± 0,02	2,18 ± 0,03	3,18 ± 0,05



1. ábra A $k_{1,app}$ értékének változása az alkilánc hosszának és a hőmérsékletnek a növelésével.

Kísérleti körülmények: $[1,3\text{-XDI}]_0 = 0,01\text{ M}$, $[\text{Alkohol}]_0 = 0,65\text{ M}$

A kinetikai adatokat az Arrhenius-egyenlet logaritmikus formájának segítségével értékeltük ki, melyekből meghatároztuk a látszólagos aktiválási energiákat ($E_{a,app}$) és preexponenciális tényezőket (A_{app}).

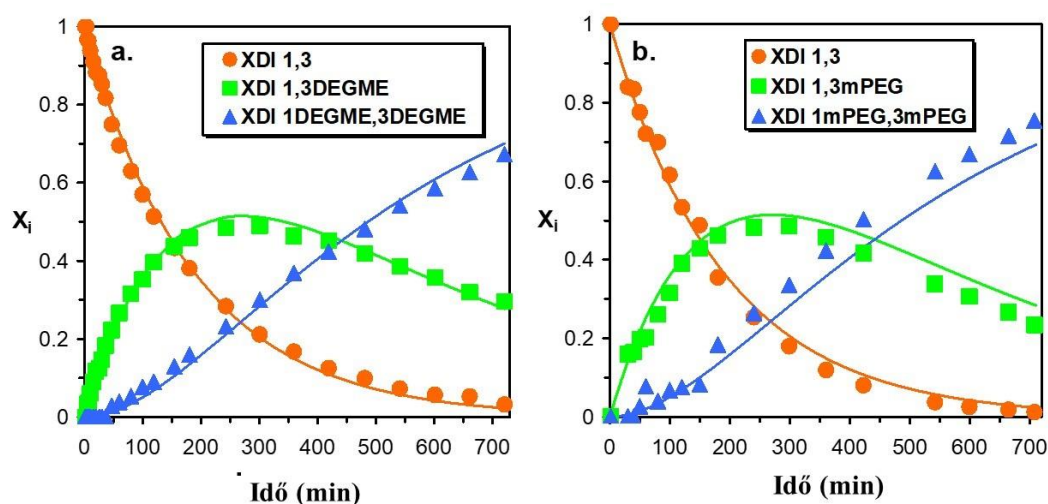
2. Megállapítottuk, hogy a polimer-poliol-izocianát reakció termékeloszlása megjósolható egy sokkal egyszerűbb, a megfelelő polimer-poliol izocianát reakciót mimikáló rendszerből kapott sebességi együtthatók segítségével.

Az 1,3-XDI és mPEG reakcióinak modellezéséhez a polimer poliolláncvég mimikálására a DEGME-t alkalmaztuk. Az 1,3-XDI-DEGME reakció kinetikájából kapott látszólagos sebességi együtthatókat használva az 1,3-XDI-mPEG reakciójához bizonyítottuk, hogy az ezekkel a látszólagos sebességi együtthatókkal számított termékeloszlási görbék jól illeszkednek a kísérleti görbékhez.

Meghatároztuk a látszólagos sebességi együtthatókat, amelyek jelentősen kisebbek, mint az alkylancú alkoholok esetében.

A DEGME izocianátokkal szembeni alacsonyabb reaktivitását az éter oxigén atomjának induktív effektusa okozza, csökkentve a DEGME reagáló OH-csoport oxigén atomjának részleges negatív töltését.

Igazoltuk, hogy a DEGME-ből származtatott kinetikai adatok alapján számított termékeloszlások jól egyeztek az 1,3-XDI és mPEG reakciójának kísérleti eredményeivel, megerősítve, hogy egy polimer-poliol rendszer reakció termékeloszlása előre jelezhető egy egyszerűbb modellvegyület kinetikai adatainak felhasználásával.

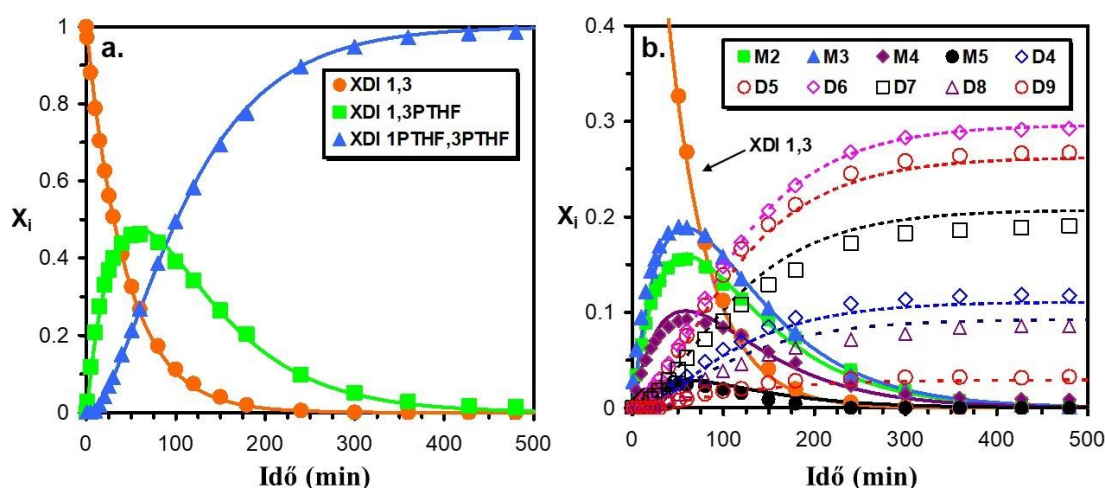


2. ábra A termékeloszlások a reakcióidő függvényében az 1,3-XDI és a DEGME (a), valamint az mPEG reakciója esetén(b) (a kinetikai adatokat 1,3-XDI-DEGME reakciójából használtuk)

Kísérleti körülmények: $[1,3\text{-XDI}]_0 = 0,01 \text{ M}$, $[\text{DEGME}]_0 = 0,65 \text{ M}$, $[\text{mPEG}]_0 = 0,65 \text{ M}$, $T = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$

3. Kimutattuk, hogy a kis molekulatömegű PTHF és 1,3-XDI reakciójában keletkező termékek HPLC-vel szétválaszthatók a PTHF ismétlődő egységeinek száma szerint és bebizonyítottuk, hogy a látszólagos sebességi együtthatók függenek a lánchossztól.

Az 1,3-XDI reakciója a PTHF-fel olyan termékeket eredményezett, amelyeket HPLC-vel a PTHF ismétlődő egységeinek teljes száma szerint különítettünk el. Először ezeket az egyedi, különálló csúcsokat annak megfelelően összegeztük, hogy megkapjuk a nem reagált, az egyszeresen reagált és a kétszeresen reagált diizocianátok móltörtjeit. A következő lépésben meghatároztuk az összes egyedi oligomer termékeloszlását UV elnyelés alapján, kromofórként fenil-izocianátot alkalmazva. Ez alapján megállapítottuk, hogy az egyszeresen reagált diizocianát termékek esetében a PTHF oligomer száma 2, 3, 4 és 5 ismétlődő egységekből állnak, a kétszeresen reagált diizocianátnál pedig a csatolt PTHF 4, 5, 6, 7, 8 és 9 egység számú. Kimutattuk, hogy a kapott k_{app} értékek kisebbek, mint az alkiláncú alkoholok esetében, ami ismét alátámasztja azt a tényt, hogy az oxigénatom jelenléte csökkenti a reagáló OH-csoport reakciókészségét.



3. ábra (a) A termékeloszlások görbéi az idő függvényében az 1,3 XDI és a PTHF közötti reakció esetében az összesített oligomer HPLC csúcsterületek, valamint **(b)** az egyes oligomer HPLC-csúcsterületek felhasználásával.

Kísérleti körülmények: $[1,3\text{-XDI}]_0 = 0,01 \text{ M}$, $[\text{PTHF}]_0 = 0,32 \text{ M}$, $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

4. Meghatároztuk HDI, HMDI és IPDI bután-1-ollal történő katalizátor nélküli reakcióinak látszólagos sebességi együtthatóit, aktiválási paramétereit. Igazoltuk kvantumkémiai számításokkal, hogy a HDI esetében az izocianát csoport nagyobb reaktivitását az N–H–N és N–H–O hidrogén-kötésekkel áthidalt gyűrűk képződése okozhatja. Bizonyítottuk, hogy lineáris összefüggés van a látszólagos sebességi együttható és az ón-bisz (II-etil-hexanoát katalizátor koncentrációja között.

Bizonyítottuk, hogy a d₉-bután-1-ollal végzett reakciók során keletkező egyszeresen és kétszeresen reagált uretánok ESI-MS intenzitásaránya jól tükrözi a megfelelő koncentrációarányokat, így a módszer megbízható a reakciók nyomon követésére.

Igazoltuk, hogy az alifás diizocianátok reaktivitási sorrendje a látszólagos sebességi együtthatók ($k_{1,app}$) alapján a következő: HMDI < IPDI < HDI < 1,3-XDI. Az IPDI esetében megfigyelhető, hogy az első izocianát csoport reakcióját követően a második izocianát csoport reaktivitása csökken, vagyis k_1 nagyobb, mint k_2 . HDI-nél fordított sorrend figyelhető meg: az első reakció után a második izocianát csoport reaktivitása nő, így k_1 kisebb, mint k_2 .

Feltártuk, hogy a HDI esetében a második izocianát csoport nagyobb reaktivitását az N–H–N és N–H–O hidrogén-kötésekkel áthidalt gyűrűk képződése okozhatja és bizonyítottuk DFT számításokkal.

Megállapítottuk, hogy ón-bisz (2-etil-hexanoát) katalizátor jelenlétében is hasonló tendencia érvényesül, mint katalizátor nélküli reakcióknál (HMDI < IPDI < HDI). A katalizátor koncentrációjának reakcióra gyakorolt hatását 0,001-0,005 M közötti tartományban vizsgáltuk és kimutattuk, hogy lineáris összefüggés áll fenn a látszólagos sebességi együttható és az ón-bisz (2-etil-hexanoát) katalizátor koncentrációja között.

2. táblázat A pszeudo-elsőrendű sebességi együtthatók a HDI, HMDI és IPDI katalizátor nélküli reakcióira bután-1-ollal különböző hőmérsékleteken

Sebességi együttható (M ⁻¹ perc ⁻¹) × 10 ⁴	HDI	HMDI	IPDI
50 °C			
<i>k</i> ₁	5,02 ± 0,08	0,99 ± 0,02	3,72 ± 0,08
<i>k</i> ₂	6,72 ± 0,14	0,92 ± 0,08	1,70 ± 0,04
60 °C			
<i>k</i> ₁	7,21 ± 0,06	1,05 ± 0,01	4,37 ± 0,09
<i>k</i> ₂	10,64 ± 0,13	1,01 ± 0,03	1,89 ± 0,11
70 °C			
<i>k</i> ₁	10,20 ± 0,35	2,54 ± 0,05	10,53 ± 0,19
<i>k</i> ₂	16,61 ± 1,10	2,27 ± 0,04	5,45 ± 0,11
80 °C			
<i>k</i> ₁	13,11 ± 0,10	3,61 ± 0,02	12,33 ± 0,23
<i>k</i> ₂	25,62 ± 0,26	3,29 ± 0,04	6,42 ± 0,35

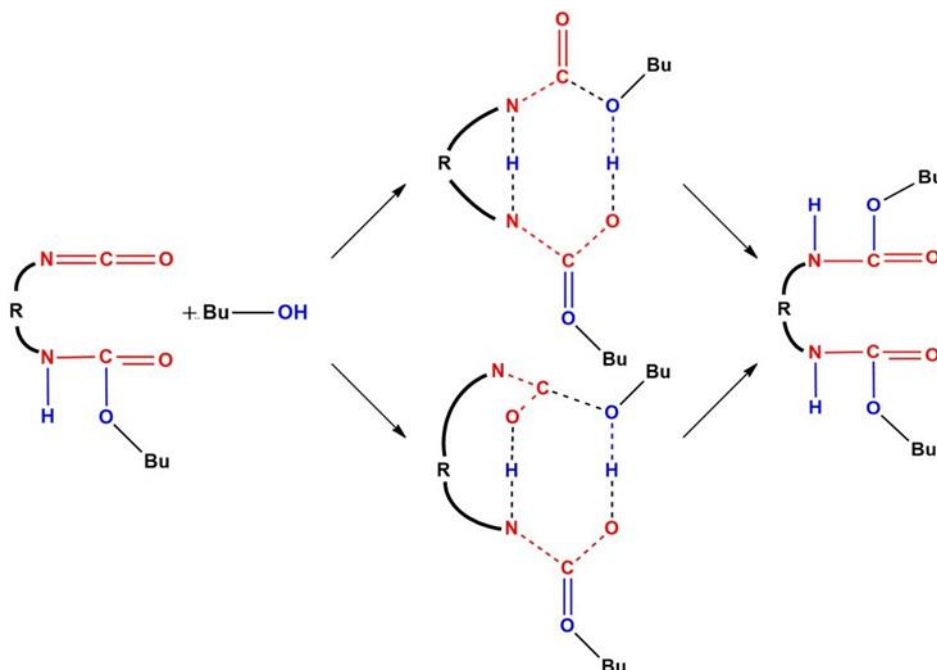
5. Kísérleti eredményeinket kvantumkémiai számításokkal is alátámasztottuk az XDI, HDI, HMDI és az IPDI butanollal történő reakciójának vizsgálata során. Kimutattuk, hogy a koncentrikus monobutanolos, di- és tributanolos mechanizmusok közül az aktiválási energiák alapján a kísérletileg meghatározott értékek a tributanolos mechanizmus eredményeivel vannak összhangban. Bizonyítottuk, hogy a HDI esetében az ún. N–H–N és N–H–O hídak közül az N–H–N -es út lesz energetikailag kedvezőbb.

Megállapítottuk, hogy az XDI, HDI, HMDI és IPDI esetében a koncentrikus monobutanolos mechanizmusnál túl magas az energiagát.

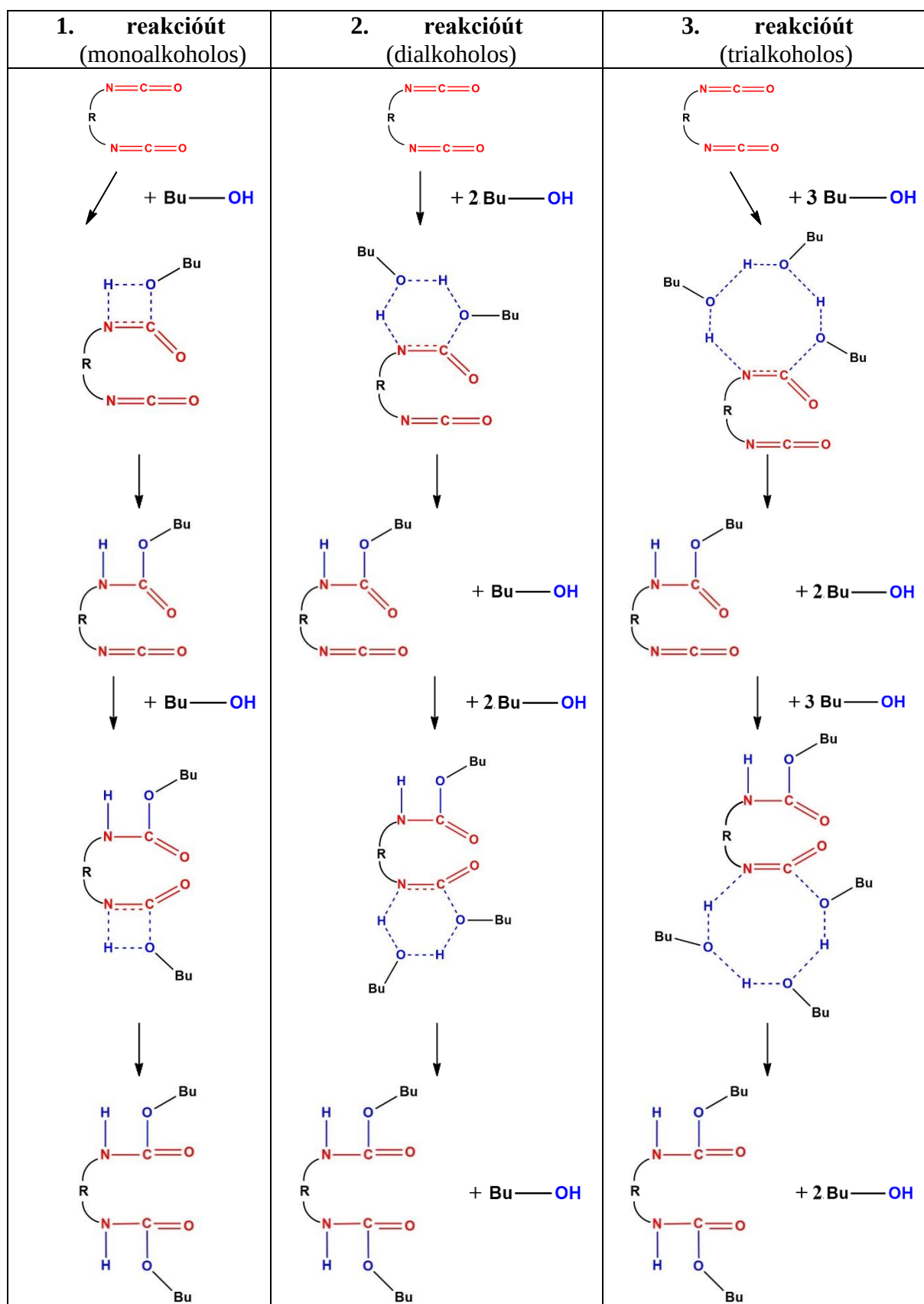
Igazoltuk, hogy a di- és tributanolos mechanizmusok esetében kapott aktiválási energiák összhangban vannak a kísérletileg meghatározott értékekkel.

Az N–H–N és N–H–O gyűrűs átmeneti állapotoknál feltártuk, hogy csak a HDI esetében közelítünk a kísérleti úton kapott értékekhez és a két mechanizmus közül az N–H–N -es út energetikailag kedvezőbb.

Az IPDI esetében összhangban a kísérleti tapasztalatainkkal bizonyítottuk, hogy a második izocianát csoport reaktivitása csökkent az első izocianát csoporthoz képest.



4. ábra A második izocianát csoport reakciója során az átmeneti állapotban képződő intramolekuláris gyűrűk szerkezete (N–H–N gyűrű, N–H–O gyűrű)



5. ábra Számításaink során vizsgált uretánképződési mechanizmusok

Az eredmények hasznosítási lehetőségei

A poliuretángyártásban a különböző alifás és cikloalifás diizocianátok reakciómechanizmusainak és reaktivitásbeli különbségeinek alaposabb megértése lehetőséget biztosít a termékek tulajdonságainak célzott szabályozására. Ennek következtében testreszabott reaktivitásprofilú prepolimerek állíthatók elő, amelyek különböző feldolgozási körülményekhez (pl. hőmérséklet, idő, viszkozitás) optimalizáltak. A reaktivitási sorrendek figyelembevételével szelektívebb reakciók valósíthatók meg, például blokk-kopolimerek vagy specifikus szerkezetű térhálós anyagok szintézise során. A bioalapú poliolokkal való reakciók tervezése is előre jelezhetővé válik.

Emellett új, specializált felhasználási területek fejlesztésére is lehetőség adódik, ahol a precíz reakciókontroll kulcsfontosságú. Az alifás diizocianátok előtérbe kerülése a biomedikai anyagok terén számos előnyükből fakad, amelyeket az aromás diizocianátok nem biztosítanak. Jellemző rájuk az alacsonyabb toxikus és allergén hatás, így biztonságosabbak az orvosi célú alkalmazásokban. Rugalmasabbak, nagyobb stabilitásúak és fenntarthatósági szempontból környezetbarátabb alternatívát kínálnak.

Az alifás diizocianátok az űrparban is ígéretes alkalmazásokat kínálnak, mivel számos előnyt biztosítanak szélsőséges környezetekben. Főként poliuretán alapú anyagok, kompozitok és bevonatok előállítására hasznosíthatók, amelyek speciális mechanikai, hőmérsékleti és kémiai ellenállóképességet igényelnek. Felhasználhatók többek között űrrepülőgépek szigetelésére, űrszondák és műholdak könnyű és erős szerkezeti komponenseiként, űrhajós ruházatok készítésére, valamint kompozit anyagok és bevonatok előállítására, amelyek képesek ellenállni a szélsőséges űrbeli környezetnek.

Köszönetnyilvánítás

Legnagyobb hálámat szeretném kifejezni témavezetőmnek *Dr. Kéki Sándor* egyetemi tanárnak, az Alkalmazott Kémiai Tanszék vezetőjének, hogy elsőként támogatott a doktori tanulmányaimban, mindvégig türelemmel és megértéssel segítette munkámat. Köszönöm a hasznos szakmai tanácsokat és azt, hogy bármikor fordulhattam hozzá kérdéseimmel.

Köszönettel tartozom *Dr. Nagy Lajos* egyetemi docensnek a szakmai és gyakorlati segítségért, a tanácsokért, amelyek nagymértékben hozzájárultak a dolgozatom elkészítéséhez. Szeretném megköszönni az *Alkalmazott Kémia Tanszék* valamennyi munkatársának támogatását, kiemelve *Dr. Vadkerti Bencének* a laboratóriumi munkában nyújtott segítségét.

Hálával tartozom *Dr. Rágyanszki Anitának* és *Dr. Farkas Ödönnek* azért, hogy bevezettek az elméleti kémia különleges világába és a nap bármely szakaszában kereshettem őket kérdéseimmel.

Köszönetemet fejezem ki *Purzsa Tamás Vice President* Úrnak, hogy munkám mellett lehetővé tette számomra a PhD fokozat megszerzését. I would like to thank Zhao Nan Deputy Chief General Engineer for his support. Honorable the opportunity provided by Wanhua-BorsodChem to conduct my PhD Study.

Külön szeretném megköszönni *Bódi Tibornak* és *Timkó Attilának* azt, hogy annak idején elindítottak ezen az úton, biztattak és támogattak. Nélkülük nem lett volna merszem hozzá.

Köszönöm kollégáimnak, barátnőimnek és barátaimnak, *Jozinak*, *Emesének*, *Fanninak*, *Mariannak* és *Bélának*, nagynénémnek *Ancikának* és *Anitának*, hogy végig követték tanulmányaimat, izgultak értem és bátorítottak a könnyebb és nehezebb időkben egyaránt.

Nagyon szépen köszönöm drága barátnőmnek, *Marcsinak*, hogy előttem példát mutatva biztatott és támogatott, mindig mindenben számíthattam rá.

Hálás szívvel köszönöm *drága szüleimnek* és *testvéremnek*, *Melindának*, hogy minden feltételt megadtak tanulmányaimhoz, nyugodt, szeretetteljes, kiegyensúlyozott légkört teremtettek.

El nem múló hálával köszönöm imádott *férjemnek*, *Istinek* és kislányomnak, *Lizának* a kitartását, támogatását és szeretetét. Köszönöm, hogy minden egyéb terhet levettek a vállamról.

Szeretettel gondolok a mennybe elköltözött *nagyszüleimre*, akik minden egyetemi vizsgám előtt imádsággal bátorítottak, tudom, hogy most nagyon büszkék lennének rám.

Köszönöm az anyagi támogatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFI) FK-128783 számú pályázatnak, valamint a TKP2021-EGA-20 számú projekt Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatásnak, amely a TKP2021-EGA pályázati program finanszírozásában valósult meg.



Nyilvántartási szám: DEENK/145/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Juhász Anett
Doktori Iskola: Kémiai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10097984

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. Nagy, L., **Juhász, A.**, Zsuga, M., Kéki, S.: Uncatalyzed urethane forming reaction of 1,3-xylylene diisocyanate with aliphatic alcohols of varying chain lengths and polyols.
Express Polym. Lett. 14 (4), 336-347, 2020. ISSN: 1788-618X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3144/expresspolymlett.2020.28>
IF: 4.161

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

2. **Juhász, A.**, Üneri, H. S., Lakatos, C., Vadkerti, B., Rágyanszki, A., Farkas, Ö., Kéki, S., Nagy, L.:
The kinetics of uncatalyzed and catalyzed urethane forming reactions of aliphatic diisocyanates with butan-1-ol.
New J. Chem. 47 (34), 16096-16107, 2023. ISSN: 1144-0546.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/D3NJ02747C>
IF: 2.7

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

3. Vadkerti, B., **Juhász, A.**, Lakatos, C., Zsuga, M., Kéki, S., Nagy, L.: Reactivity of multi-arm polyols towards isocyanates.
New J. Chem. 46, 9871-9879, 2022. ISSN: 1144-0546.
DOI: <https://doi.org/10.1039/D2NJ01103D>
IF: 3.3





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (3)

4. Vadkerti, B., Lakatos, C., Üneri, H. S., Rágyanszki, A., Farkas, Ö., **Juhász, A.**, Zsuga, M., Kéki, S., Nagy, L.: Alifás diizocianátok és butan-1-ol reakcióinak kinetikai vizsgálata = Kinetic study of the reactions between aliphatic diisocyanates and butan-1-ol.
In: XXIX. Nemzetközi Vegyészkonferencia = 29th International Conference on Chemistry.
Ed.: Majdik Kornélia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 61, 2023, (ISSN 2734-7109)
5. Vadkerti, B., **Juhász, A.**, Lakatos, C., Zsuga, M., Kéki, S., Nagy, L.: Polimer poliolk és fenil-izocianát reakcióinak kinetikai vizsgálata = Kinetic study of reactions of polymer polyols and phenyl-isocyanate.
In: XXVIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia = 28th International Conference on Chemistry.
Ed.: Majdik Kornélia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 43, 2022, (ISSN 2734-7109) ISBN: 27347109
6. Nagy, L., Vadkerti, B., **Juhász, A.**, Lakatos, C., Zsuga, M., Kéki, S.: Négy- és ötkarú polimer poliolk reaktivitásának vizsgálata fenil-izocianát jelenlétében = Reactivity of four- and five-arm industrially important polymerpolyols in the presence of phenyl isocyanate.
In: XXVII. Nemzetközi Vegyészkonferencia = 27th International Conference on Chemistry.
Ed.: Majdik Kornélia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 1, 2021, (ISSN 2734-7109)

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 10,161

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 6,861

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

Debrecen, 2025.04.08.

