

Útban a zöldebb foszforkémia felé

Beszélgetés Keglevich György professzorral

Keglevich Györggyel, a BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Szerves Kémia és Technológia Tanszékének vezetőjével 2016 decemberében beszélgettünk. Mielőtt bekapcsoltam volna a diktafont, három füzetet nyújtott át. Az egyik a Tanszék „2015. évi oktatási és kutatási tevékenysége”-t foglalja össze, a másik „az oktatók szakmai tevékenysége”-t mutatja be, a harmadik a Periodica Polytechnica tematikus száma, amely a tanszék „100/75.” évfordulójára született [1].

– Régebben voltak olyan kollégáink – *magyarázta Keglevich professzor* –, akik nem produkáltak túl sokat, miközben magukat próbálták előtérbe helyezni. Amikor tanszékvezető lettem, azt mondtam, hogy töltsünk tiszta vizet a pohárba: nézzük meg, ki mit tett le az asztalra, és próbáljunk meg örülni a másik sikerének is. Tizennyolc éve szerkesztjük ezeket a füzeteket – jól megoldozunk velük, de igen hasznosak.

2007 óta két tanszékünk vagyunk „öszszegyúrva”: a Zemlén-alapította Szerves Kémia Tanszék 2015-ben volt 100 éves, a Csűrös-vonal pedig – a korábbi „tanszékem”, amely a kezdeti textiltechnológiáról fokozatosan tért át a gyógyszeres irányvonalra – 75 éves. Innen származik a 100/75.

– *Nemsokára lesz egy újabb jubileum: tíz éve olvadt össze a két tanszék.*

– Mintha most lett volna! 2006-ban költöttünk át a központi épületből, mert a légymányosi ingatag alap miatt körülbelül húsz centit süllyedt a déli rész. A szakemberek attól féltek, hogy megroppan a középső szakasz, ezért ki kellett költöznünk, és ezután alábetonozták az épületet. Faigl Ferencsel, Marosi Györggyel és Farkas Lászlóval alakítottuk ki a terveket, hogy „belakjuk” az F épület ránk eső részét: korszerű laborokat szereltünk fel. A tanszék-egyesítésnek az volt az előzménye, hogy az egyetemen kb. száz tanszék működött, de csak a fele felelt meg az 10–5–1-es szabálynak, amely előírja, hogy a tanszéken kell lennie legalább egy professzornak, legalább öt PhD-fokozattal rendelkező és öt további munkatársnak. Mi, vegyészek, bár bőven teljesítettük az említett kritériumot, mégis csökkentettük a tanszékek számát – gazdaság okok miatt.

Akkoriban egy szükségállapot közepén

voltunk: olyan kevés költségvetési pénz jutott ránk, hogy körülbelül tíz évig nem lehetett fiatalítani, illetve előléptetni. Ez a folyamat a Bokros-csomaggal kezdődött, amikor – kimondani is borzasztó! – 55–58 éves adjunktusokat, docenseket küldtek nyugdíjba. Többen megkeseredtek közülük. E miatt a tíz év miatt szinte teljesen hiányzik a karon a 48–58 éves korosztály. Fiatalok viszont vannak – de ez nem általános az egyetemen. Nem minden vezető érti ugyanis, hogy ahhoz, hogy egy tanársegéd vagy adjunktus itt maradjon – miközben a tanársegédi fizetés a doktoranduszi ösztöndíjjal összemérhető –, törődni kell vele. Nagyon örülök, hogy most hét fiatal adjunktus és két tudományos munkatárs dolgozik nálunk. És azt hiszem, jól érzik magukat – mert segítjük őket a kutatásban, a cikkírásban, bevonjuk őket az oktatásba, a szerződéses munkákba.

Régen nagy megtiszteltetésnek számított, ha kineveztek valakit tanársegédnek. Ezután többnyire magára hagyták, de velünk már akkor is törődtek. Ha úgy tetszik, ezt a hagyományt visszük tovább.

A tanszékünk másik kincse, hogy megtudtuk tartani az idősebbeket.

– *Ők emeritusok, vagy „csak úgy” bejárnak?*

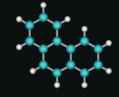
– A nyugdíjas kollégák igénylik, hogy bejárhassanak és taníthassanak. Kapnak ugyan csekély honoráriumot, de nem ez hozza vissza őket, hanem az elkötelezettségük. „Önkéntes szerződés”-t kötünk velük; hozzánk tartoznak, használhatják az egyetem nevét, vannak jogaik, például dolgozhatnak a szerződéses munkájukon, és ebből kiegészíthetik a nyugdíjukat.

A régi Szerves Kémiai Technológia Tanszéken Tőke László és Fogassy Elemér pro-

fesszorok – a korábbi tanszékvezetők – lendítették fel az alkalmazott szerves kémiai kutatómunkát. Tőke Lászlót a Szerves Tanszékről helyezték át, hogy nagyobb hangsúly kerüljön a kutatásra a „Csűrös-tanszéken”, amit akkor Rusznák István professzor vezetett. Fogassy professzor a doktoráns-képzésért tett nagyon sokat. Egyetemi szinten mi vagyunk az egyik legjobb tanszék ezen a téren. Miért? A válasz nagyon egyszerű, de még a karon sem követik a példánkat. Fogassy Elemér vezette be a PhD-hallgatók félévenkénti beszámolóját. Ez ösztönzi a fiatalokat, versenyeznek egymással (pontosan tudják, hol állnak a rangsorban), és ennek – meg a törődésnek – köszönhető a 85–90 százalékos körüli végzési rátánk. Országosan 35, az egyetemünkön átlagosan 45 százalék lehet ez a szám. Sokan arra törekednek, hogy minél tovább tartsák a laborban a doktoránst. Ellenzem ezt a felfogást, és ennek hangot is szoktam adni. Most átalakul a PhD-képzés: két év után komplex vizsgát kell majd tenni. Megnézzük, hogy ennyi idő alatt mit tett le a delikvens az asztalra. Ha van számottevő eredmény, akkor hadd folytassa. Ezzel az intézkedéssel a 35 százalékos arányon akar a kormányzat változtatni – mert elképesztő, hogy 10 emberből csupán 3 vagy 4 végez. A második két év akár öt évre is elnyújtható, legalábbis addigra kell befejezniük a „doktori cselekményt”, ami nem túl szerencsés.

– *Mi történik a hallgatókkal, ha elnyerik a fokozatot?*

– Az ipar egyre inkább a PhD-diplomásokat várja. Leépült ugyan az ipari kutatás, de még mindig van kutatás-fejlesztés főleg a Richterben, és kisebb mértékben az Egisben és a Chinoiban, sőt további kis

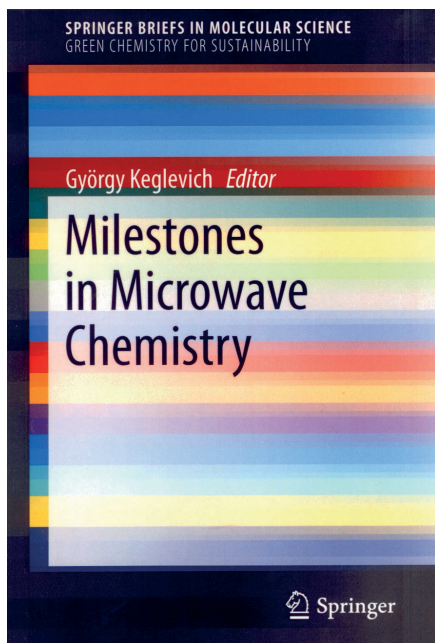


cégekben is. A PhD-diploma jó befektetés, már a kezdők is rendszeresen keresnek. És a mi PhD-diplomásainkat megbecsülik. A gyógyszeripar – nekünk ezzel erős a kapcsolata – szinte lesi, hogy ki mikor végez. A Richterből el is csábították az egyik frissen végzett doktoránsomat, akit poszt-doktorként szerettem volna még tartani, de végül is büszke vagyok rá, hogy a Richtert erősíti.

A mi tanszékünk régen is nagyon jó volt. Az utóbbi tizenöt évben talán tőlünk került ki a legtöbb kari vezető. Bitter István például Gál Sándor dékánása idején volt dékánhelyettes. Két másik korábbi dékánhelyettes szintén a mi régi tanszékünkön „nevelkedett”. Most Faigl Ferenc professzor a dékán és Nagy József docens az egyik helyettese. A professzorok nagyobb száma problémát is jelentett, mert sok bért igényeltünk. Csak akkor léptethetünk elő kollégákat vagy vehetünk fel újakat, ha van bevételünk. Erre pedig úgy tehetünk szert, ha bőven van oktatási terhelésünk, amit nem az előadások növelnek meg, hanem inkább az egyéni feladatok. A tanszékünkön minden oktatónak legalább négy hallgatót „kell vinnie” egyéni feladatosként. Néhány nagyobb csoportban akár 6–8 hallgató is juthat egy oktatóra. Az elmúlt években sok diákunk volt, és így „költségvetési pluszba” kerültünk: ennek köszönhetően maradt vegyszerekre és vizsgálatokra is némi pénzünk.

– *A rengeteg hallgatót beszámítva is feltűnően sokat publikálnak. Hogyan közöl évi negyven cikket a csoportja?*

Mérföldkövek a mikrohullámú kémiában.
Szerkesztette: Keglevich György

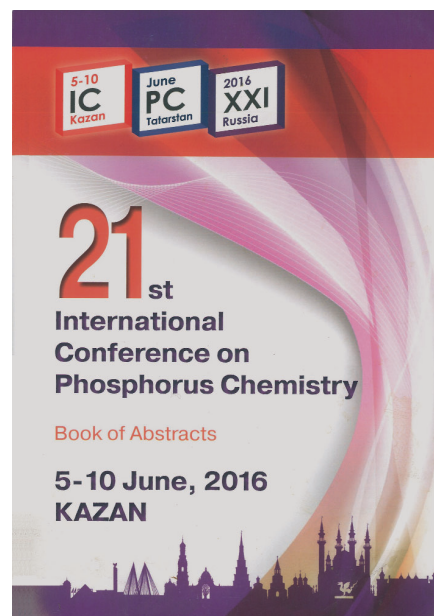


– A PhD-védéshez előírás három impactfaktoros és egy további cikk közlése. Többen attól félnek, hogy ez a követelmény (ami szerintem egyáltalán nem túlzott) elriasztja a hallgatókat, holott a jó légkörben zajló, becsületes munka vonzza a diákokat, akik örülnek, ha cikkeik jelennek meg. Az aktív kutatóknak rengeteg lehetőségük nyílik a publikálásra. Biztosan nem csak én kapok hetente tucatnyi felkérést, amelyből néhány nívós lapoktól érkezik. A felkérések lehetőséget adnak például előközlésre vagy review-cikkre, tematikus szám szerkesztésére. Azt a folyóiratot kötelességünk is támogatni, ahol szerkesztők, szerkesztőbizottsági tagok vagyunk. Nagyon hálás feladat a mini-review-írás, mert munka közben a saját kutatási területünket tekintjük át. Ma divat a review-cikk írása, és erre bátorítom is a kollégákat, bár egy komoly dolgozatra, könyvfejezetre rámehet akár a nyarunk is. Cserébe rutint szerzünk – ugyanúgy, mint a bírálatok megírásában. Szerkesztőként nem ritkán 30 cikket kezelünk, és átlagosan legalább három komoly kéziratot bírálunk hetente. A (relatív) boldogságom titka, hogy nem görgetem magam előtt a feladatokat, hanem lehetőleg mindent azonnal elvégzek.

Mostanában a jobb konferenciák plenáris és „keynote” előadásai szintén publikálhatók. Én leginkább a nemzetközi „foszforkonferenciákon” veszek részt; nemrég volt a 21. Kazánban – a szerves foszforkémia szülőhelyén –, a 22.-et pedig Budapesten tartjuk 2018-ban. A MKE csapata segít majd a lebonyolításban. Ezek a konferenciák nagyon rangosak; volt már ilyen Sendaiban, Xiamenben, Wrocławban, Rotterdamban, Birminghamban, Cincinnati-ban, Jeruzsálemben, Toulouse-ban és Tallinnban. A 2018-as rendezvényért az Egyesült Államokkal versenyeztünk, és mi nyertünk, mert ide akartak jönni az emberek! Ez hazánkon kívül talán a mi szakmai munkánk elismerése is. Azt hiszem, ez a konferencia lesz a pályám csúcspontja.

Manapság érezhetően megváltozott a hallgatók szakmai felkészültsége és viselkedése. Sajnos, negatív irányba! Persze, tisztelet a sok-sok kivételnek! Tanszékünk a közelmúltban napirendre tűzte a „Z” generációval kapcsolatos problematika kérdését.¹ Az „Y” generációval még jól elboldogulunk. A „Z”-sek azonban már számítógépen nőttek fel, elválaszthatatlanok a mobiltelefonjuktól, és sokan nem szívesen írnak, nem képesek „szintetizálni” az is-

¹ Az 1980 és 1999 között született fiatalokat sorolják az Y, az 1996 és 2007 közöttiek a Z generációba.



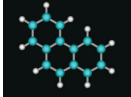
A kazáni konferencia előadásainak összefoglalói.

„A következő kötetet mi adjuk ki!”

meretanyagot, illetve következtetéseket levonni, és sokszor nem ismerik az alapvető udvariassági szabályokat sem. Engem nem zavar, ha esznek az órán – de Pungor professzor anno ezért még kizavarta a hallgatókat. Nagy József professzor szeretetlen kémia óráira pedig csak a szünetben mehettek be a késők – a mai diákok 45 percen keresztül érkeznek. Az előbb említett tanszéki értekezleten azt beszél-tük meg, hogyan tudnánk változtatni. „Be kell vésni” a tudatukba a szabályokat, és szigorúan meg kell követelni a betartásukat. Ezenkívül motiválni kell a hallgatókat. Egyébként is szeretek érdekességeket mondani az előadáson, de ezekre most fokozottan felhívom a figyelmet. A jobbaknak külön feladatokat tűzünk ki – mert tévedés ne essék: nem az összes hallgatóról beszélünk! 40 százalék ma is olyan, mint régen, a második 40 százalékkal sem lenne baj, ha a maradék 20 százalék – amely a túlélésre játszik – nem rontaná el. De még a jókkal is nehéz néha elérni, hogy a TDK-dolgozat írását ne a beadás előtt pár héttel akarják elkezdni. Vallom, hogy oktató-nevelő munkát folytatunk, és ebben sok partnerem van a Tanszéken.

– *Ahogy a kutatásban is.*

– Hadd kezdjem az elején: hallgatókóromban a „Foszforvegyületek szintézise” szakdolgozat-témát választottam, amit Petneházy Imre – ma egyetemi magántanár – írt ki. A műszaki doktori disszertáció is ebből a témából készült, Petneházy Imre és Tőke László professzor mentorálásával. A Perkov–Arbuzov-reakció mecha-



nizmusát, kinetikáját vizsgáltam. Ez a reakció a növényvédő szerek előállítása miatt volt fontos. A munkából négy nemzetközi cikk született [2], ami szokatlanul számított egy műszaki doktori értekezéshez kapcsolódó kutatásban. Akkoriban találkoztam Louis D. Quin foszforkémikusával, aki meghívott az Észak-karolinai Egyetemre posztdoktornak. Nála P-heterociklusos vegyületekkel foglalkoztam közel másfél évig; később kétszer is visszamentem hozzá, de már a Massachusettsi Egyetemre [3,4]. A P-heterociklusos kutatást az ő beleegyezésével itthon is folytattam; új területeket nyitottam, és nagyon jó együttműködés alakult ki. Ennek köszönhetően hamar megszereztem a kandidátusi fokozatot, 37 évesen pedig a nagydoktorit. Kiváló szerves kémikusok voltak a bizottsági tagok: Messmer András, Kucsman Árpád, Kapovits István, Bernáth Gábor és Pintér István. Több új P-heterociklusos vegyületcsoportot állítottunk elő [5–7], köztük bioaktív származékokat; mechanizmusokat tártunk fel, új reagenseket, új szintézismódszereket dolgoztunk ki [8–10] – idézik is rendszeresen ezeket a munkákat.

Tíz-tizenöt évvel ezelőtt arra gondoltunk, hogy a környezetbarát diszciplínával, a zöldkémiaiával kellene összekapcsolni a kutatásainkat. Hamar kiderült, hogy ez nem volt rossz választás. A foszforkémiaiban sok fontos – akár ipari jelentőségű – reakció van, amely nem felel meg a zöldkémiai elvárásoknak. Például a növényvédő szerek, a tenzidek, a katalizátorok gyártása mind foszforral kapcsolatos. Mi a mikrohullámú technika alkalmazását helyeztük előtérbe. Sohasem felejttem el: a nyolcvanas évek közepén Franciaországban jártam, és bevittem egy laborba, ahol csupa konyhai mikrohullámú sütővel dolgoztak. Mondták, hogy vigyázni kell, nehogy felrobbanjon az ember, mert a sütőkben nincs semmiféle kontroll. Ekkor kezdtem érdeklődni a mikrohullámú kémia iránt. Konyhai mikrohullámú sütőben soha nem folytattunk kísérleteket, inkább beszereztünk néhány professzionális reaktort. Ezekben a legtöbb reakció gyorsabb, hatékonyabb lesz, és kevesebb melléktermék keletkezik, mint egyébként. Mi azonban olyan reakciókat is kerestünk, amelyek nem játszódhatnak le a hagyományos melegítés hatására. Ezek közé tartozik például a különböző „foszfortartalmú savak” észterezése. Szerves kémiai evidencia, hogy bár a karbonsavakat lehet, a foszfinsavakat nem lehet közvetlenül alkoholokkal észterezni. Betettük a reaktánsokat a mikrohullámú berendezésbe – és láss csodát: lezajlott a re-



A legközelebbi munkatársakkal

akció [11,12]. A tioészterezés és az amidálás már nehezebben ment.

– *Miért?*

– Mindjárt mondom. Én egyedül kicsi vagyok, de óriási csapattal dolgozom együtt. Hadd említsem meg Grün Alajos docentet, Bálint Erika tudományos munkatársat, Kiss Nóra Zsuzsa és Bagi Péter adjunktusokat, Kovács Tamara doktorjelöltet, valamint Sőregi-Nagy Dávid, Tajti Ádám és Rádai Zita szenior doktoránsokat. Mindig fontosnak tartottam például, hogy kiszámoltassam a reakciók energetikáját. Régebben Körtvélyesi Tamás számolt nekünk, újabban Mucsi Zoltán. A mikrohullámú kivitelezés szempontjából ugyanis fontos a reakciók energetikája. Az észterezéseknek gyakorlatilag nincs energianyeresége, termoneutrálisak a reakciók. Míg a foszfinsavak esetében relatíve nagy az aktiválási energiaigény (130 kJ/mol), a karbonsavaké feleakkora. Ezért tudjuk a karbonsavakat már 100 °C alatt észterezni, de a foszfinsavaknak kell a mikrohullámú segítség [13]. A tioészterezés endoterm reakció, ami már lehetetlenné teszi a mikrohullámú megvalósítást. Az amidálás is endoterm, és bár kisebb az aktiválási energiája, ebben az esetben is csak részleges konverziót érünk el. Tehát a mikrohullámú technikát a termoneutrális és nagy aktiválási energiájú reakciók esetében érdemes bevetni.

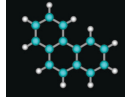
– *Hogyan segíti a mikrohullámú sugárzás a reakciókat?*

– Éppen ennek a megértésén dolgozunk. A mikrohullámok hatását nem kevesen valamiféle „fekete mágiaként” fogták fel korábban. Volt egy másik tábor is, amelyik azt mondta, hogy valószínűleg vala-

milyen különleges termikus hatásról van szó. Mikrohullámú besugárzáskor a poláris molekulák periodikusan változó elektromágneses térbe kerülnek, és a dipólus molekulák elkezdnek oszcillálni, azaz felveszik az elektromágneses tér változásának ritmusát. Az ide-oda mozgó molekulák kicsit elcsúszhatnak egymáson, és ez a súrlódás vezet a melegedéshez. Ez a folyamat nem minden szegmensben játszódik le ugyanúgy, hanem lesznek olyan helyek, ahol nagyobb lokális túlmelegedés következik be: itt az átlagos hőmérsékletnél néhány fokkal, vagy akár 60 °C-kal melegebb gócok is kialakulhatnak. A kisebb túlmelegedések természetesen sokkal gyakoribbak. A mikrohullámú melegítés nagyon kíméletes, mert csak hol itt, hol ott melegszik jobban az anyag egy-egy „nanoszegmensben”, de ez a túlmelegedés már elég lehet az aktiválási entalpia leküzdésére.

– *Molekuláris szinten nem jelentkezik a besugárzás hatása?*

– Ez izgalmas kérdés. Mi most a lokális túlmelegedés eloszlását próbáljuk meg (önkéntesen választott) eloszlásfüggvény figyelembevételével matematikailag modellezni, erről már három cikkünk jelent meg. Feltételezve, hogy az elegynek mekkora hányada melegszik túl, a különböző, lokális túlmelegedésekhez tartozó és az Arrhenius-egyenlet alapján számolt parciális sebességi állandók kiadják a teljes rendszerre vonatkozó sebességi állandót, és így ki tudjuk számolni, hogy mekkora lesz a reakció „eredő” sebességi állandója [14,15]. A mért sebességi állandóval való összehasonlításból aztán megállapítjuk, hány százalék melegedhetett túl valójá-



ban. Persze, többféle eloszlás, többféle modell is elképzelhető; eddig még csak mi adtunk kvantitatív képet egy mikrohullámú reaktorban zajló reakció sebességnövekedésére.

A mikrohullámú technikát már tanítjuk a hallgatóknak. Ezt a módszert nemcsak reakciók megvalósítására, hanem analitikai műveletek során is alkalmazzák roncsolásra, illetve extrakcióra. A zöldkémiai ajánlás szerint a gyógyszereket lehetőleg nem petrokémiai alapon célszerű szintetizálni, hanem inkább a természetben előforduló növényekből ajánlatos kinyerni a hatóanyagot. Erre is alkalmas a mikrohullámú extrakció.

Azt is fontosnak tartjuk, hogy katalizátorrendszereket váltsunk ki vagy egyszerűsítsünk a mikrohullámú sugárzás alkalmazásával. A zöldkémia 12 alapelve között szerepel, hogy előnyben részesítjük a katalitikus reakciókat. Igen ám, de sok olyan reakció van, ahol nem is lenne szükség katalizátorra, hisz egyszerű melegítésre lejátsszódik a kémiai átalakulás. Időnként megkérdezem a hallgatóktól: melyik a „zöldebb”, ha egy reakció szobahőmérsékleten is lejátsszódik egy speciális katalizátor jelenlétében, vagy ha fölmelegítjük a reakcióelegyet 60–80 °C-ra, és elhagyjuk a katalizátort? Sokan küzdenek azért, hogy szobahőmérsékleten játszódjon le egy reakció, és a siker érdekében még elvarázsolt, drága, mérgező katalizátort is hajlandók bevetni. Például a Kabachnik–Fields-kondenzációhoz „csodálatos” katalizátorokat írtak le, de mi azt találtuk, hogy mikrohullámú besugárással katalizátor nélkül is lejátsszódik a reakció [16,17]. A Hirao-féle foszfor–szén kapcsolási reakcióhoz többen „egzotikus” foszfortartalmú ligandumokat, palládiumhoz kötött foszfinokat használnak. Gondoltunk egy bátrtat: mi van, ha csak palládium-acetátot adunk a kapcsolási reakcióhoz? És a reakció működött [18,19]! Miért? Mert az egyik reagens, egy öt vegyértékű, négyes koordinációjú foszforvegyület tautomer egyensúly révén átbillenhet hármas koordinációjúvá, és az már ligandumként viselkedhet. Kicsit több reagenst kell csak bemérni, de ez a vegyület olcsó. Ebből a munkából született a legutóbbi doktori disszertáció a csoportomban. Azóta más katalizátorrendszereket is próbálunk egyszerűsíteni. Vagy tekintünk a fázisátvitel katalízisra. A kvarter ammóniumsó vagy koronaéter katalizátorok segíthetik a fázisok közötti anyagtranszportot. Mi azt találtuk, hogy ha a rendszert mikrohullámmal sugározzuk be, bizonyos esetekben a fázisátvitel

fer katalizátor elhagyható, ugyanis a mikrohullám is elősegítheti a fázisok közötti átmenetet [20,21]. A mikrohullámú besugárzás ipari alkalmazása persze nem egyszerű.

Fontos területünk még a különféle, köztük a királis P-ligandumok előállítására és azok platinakatalizátorokban való hasznosítása [22–25]. Új kétfogú P-ligandumokat is bevezettünk [26].

Az oldószerekről sorra derítik ki, hogy ártalmasak. Már a toluolról is azt mondják, hogy genotoxikus. Az oldószerek helyes megválasztását szintén tanítjuk, és néhány MSc-kurzusunkra ipari kollégákat kérünk fel zöldkémiai tapasztalataik átadására céljából. A mikrohullámú reakciók olvadékban is lejátszódhatnak, a mi reaktorunk 220 °C-ot is elbír. Tehát a mikrohullámú berendezések akár oldószermentes reakció-megvalósításra is alkalmasak. Hígításra és keverésre azért szükség lehet. Lelkesen dolgozunk a rossz oldószerek lecserélésén, de a legszívesebben elhagyjuk az oldószereket. Az oldószerek kiváltása más munkáinkban is előkerül.

Eddig éppen csak utaltam az ipari tevékenységünkre. A Richter dorogi gyáregységében néhány hatóanyagot gyártanak a csontritolus leküzdésére. Ezekből nagyon kis mennyiséget kell szedni, ezért nem túl nagy volumenű a termelés. A szintézis viszont drága, és nem „zöld” – ezért több éve foglalkozunk a drógsavak (hidroxibiszfoszfonátok) gazdaságos előállításával [27–29].

– *Az előbb említette, hogy a mikrohullámú technika ipari megvalósítása nem egyszerű feladat.*

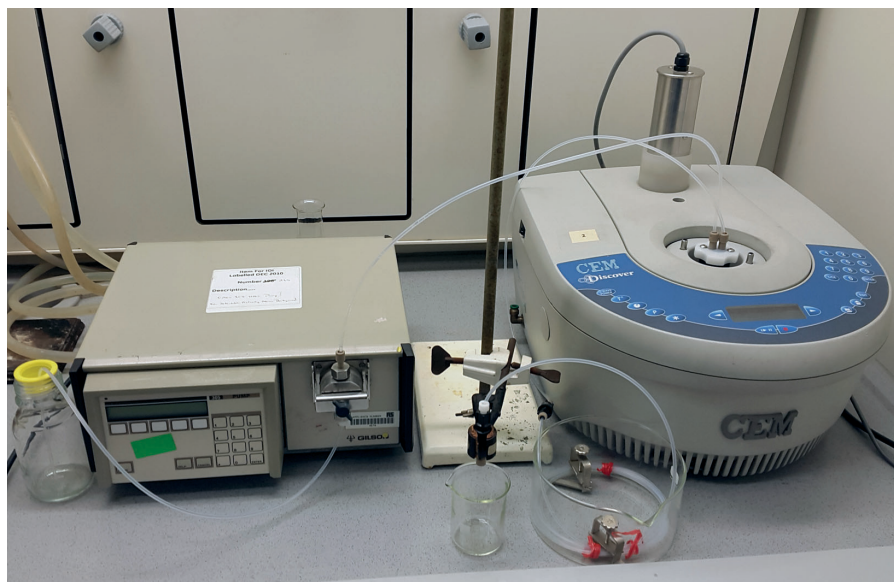
– A mikrohullámú reakciók megvalósításának egyik gátja, hogy nem állhat fémből a reakcióedény. Az „ipari méretű” üveg meg veszélyes, mert eltörhet, de maga a besugárzás megvalósítása sem egyszerű nagyméretű berendezések esetén. Ezért az iparban nem használhatunk szakaszos eljárást. Marad a folytonos megoldás [30]. Már kétféle ilyen reaktorunk is van. Jó analógia az áramlások kémia. Ott a reakció kapillárisokban folyik, hogy elkerüljék a robbanást. Akár sok ezer kapillárist helyezhetnek el egymás mellett, és „sok kicsi sokra megy”: megnő a kapacitás. Ha a mikrohullámú reaktorban kis, párhuzamos csövekben folyhat a reakció, az eljárás ipari méretben is működhet. Ez lehet a jövő útja. Az alkalmas reakciók megkeresése meglehetősen komoly kihívás, mert például nem tömődhet el a cső és nem lehet vizkórus az anyag. Közben fejlődnek a berendezések, és tervezzük egy új modell beszerzését is.

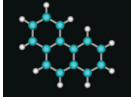
Látja, még ennyi év után is izgalomba jövök a kémiától!

– *És a tanítástól. Otthon is volt kit tanítani. Kristóf fia nemrég írt remek cikket az MKL-be.*

– Kristóf kémia-történelem szakos tanár. A Fazekasban tanít kémiát, bár történelemből doktorált. A disszertációjában középkori cisztercita monostorokról írt, de a pecsétek kémiai elemzésére is kitért. Péter adjunktus a CH épület alkaloidkémiai laboratóriumában, Hazai László professzor mellett. Szerencsés, hogy még tanulhatott Szántay professzortól. Laura rezidens reumatológus, és a másfél éves Jo-

Folytonos mikrohullámú reaktor. A mikrohullámú egységben kis reaktor-spirál van (ez nem látszik); a bal oldalon lévő perisztaltikus pumpa juttatja be az egyik csövön a reagenseket, egy edényben pedig az elreagált elegy gyűlik





A csoport másik folytonos mikrohullámú reaktora. Fölül a hűtő látszik. Alatta teflonszőben játszódik le a reakció. „Ezt magunk alakítottuk át a megfelelő kapacitásra”

hanna mamája. Andris fiam, a legkisebb, a Richterben dolgozik, talán nem meglepő, hogy gyógyszer-vegyészmérnökként.

– *Olvastam, hogy a Keglevichék között „császári és királyi aranykulcsos” is volt. Ennek a családnak az utódai?*

– Nem tudok erről. Nagy Iván „Magyarország családjai” könyvéből kiderül, hogy a török időkben Kégel várát „védtük” hősiessé, és ezért kaptuk a Keglevich nevet. Kálmán nagyapám pedig azt mesélte, hogy abból a horvát eredetű, elszegényedett nemesi ágból származunk, amelyikben az egyik főúr beleszeretett a cselédjébe, és elvette feleségül.

Silberer Vera

IRODALOM

- [1] Keglevich G.: Editorial for the 100+75 Anniversary Issue of Periodica Polytechnica Chemical Engineering. *Per. Polytechn. Chem. Eng.* (2015) 59, 1–2.
- [2] Petneházy I., Keglevich G., Tőke L., Hudson, H.R.: Mechanism of the reaction of trialkyl phosphites with α -halogenoacetophenones in alcoholic solvents. *J. Chem. Soc. Perkin Trans.* (1988) 2, 127–132.
- [3] Quin L. D., Keglevich G., Jonkin A.S., Kalgutkar R., Szalontai G.: Phospholes with reduced pyramidal character from steric crowding I., Synthesis and NMR characterization of 1-(2,4-di-*tert*-butyl-6-methyl)phenyl-3-methylphosphole. *J. Org. Chem.* (1996) 61, 7801–7807.
- [4] Keglevich G., Böcskei Z., Keserű G. M., Újszászy K., Quin L. D.: 1-(2,4,6-Tri-*tert*-butylphenyl)-3-methyl-

phosphole: A Phosphole with a significantly flattened phosphorus pyramid having pronounced characteristics of aromaticity. *J. Am. Chem. Soc.* (1997) 119, 5095–5099.

- [5] Keglevich G., Petneházy I., Miklós P., Almásy A., Tóth G., Tőke L., Quin L. D.: Ring expansion in the addition of dichlorocarbene to 2,5-dihydro-1H-phosphole 1-oxide. *J. Org. Chem.* (1987) 52, 3983–3986.
- [6] Keglevich G.: Synthesis of 6- and 7-membered P-heterocycles by ring enlargement. *Synthesis* (1993) 931–942.
- [7] Keglevich G.: 6-Membered P-heterocycles: 1,2-Dihydro-, 1,2,3,6-tetrahydro- and 1,2,3,4,5,6-hexahydrophosphinine 1-oxides. *Curr. Org. Chem.* (2006) 10, 93–111.
- [8] Keglevich G., Chuluunbaatar, T., Ludányi K., Tőke L.: Phosphine-boranes based on the 7-phosphanorbornene framework; A regioselective approach to the monoboranes of the dimers of phospholes. *Tetrahedron* (2000) 56, 1–6.
- [9] Keglevich G., Forintos H., Körtvélyesi T.: Synthesis and reactions of β -oxophosphoranones/ylides containing a cyclic or acyclic P-moiety. *Curr. Org. Chem.* (2004) 8, 1245–1261.
- [10] Keglevich G., Szelke H., Kovács J.: Fragmentation-related phosphorylation and phosphonylation of nucleophiles utilising the bridging P-unit of 2-phosphabicyclo[2.2.2]oct-5-ene derivatives. *Curr. Org. Synth.* (2004) 1, 377–389.
- [11] Keglevich G., Kiss N. Z., Mucsi Z., Körtvélyesi T.: Insights into a surprising reaction: The microwave-assisted direct esterification of phosphinic acids. *Org. Biomol. Chem.* (2012) 10, 2011–2018.
- [12] Kiss N. Z., Keglevich G.: Microwave-assisted direct esterification of cyclic phosphinic acids in the presence of ionic liquids. *Tetrahedron Lett.* (2016) 57, 971–974.
- [13] Mucsi Z., Kiss N. Z., Keglevich G.: A quantum chemical study on the mechanism and energetics of the direct esterification, thioesterification and amidation

of 1-hydroxy-3-methyl-3-phospholene 1-oxide. *RSC Adv.* (2014) 4, 11948–11954.

- [14] Keglevich G., Greiner I., Mucsi Z.: An interpretation of the rate enhancing effect of microwaves – modelling the distribution and effect of local overheating – A case study. *Curr. Org. Chem.* (2015) 19, 1436–1440.
- [15] Keglevich G., Kiss N. Z., Mucsi Z.: Milestones in microwave-assisted organophosphorus chemistry. *Pure Appl. Chem.* (2016) 88, 931–939.
- [16] Keglevich G., Bálint E.: The Kabachnik–Fields reaction: Mechanism and synthetic use. *Molecules* (2012) 17, 12821–12835.
- [17] Bálint E., Tripolszky A., Jablonkai E., Karaghiosoff K., Czugler M., Mucsi Z., Kollár L., Pongrácz P., Keglevich G.: Synthesis and use of α -aminophosphine oxides and N,N-bis(phosphino)ylmethylamines – A study on the related ring platinum complexes. *J. Organomet. Chem.* (2015) 801, 111–121.
- [18] Keglevich G., Jablonkai E., Balázs L. B.: A “green” variation of the Hirao reaction: the P–C coupling of diethyl phosphite, alkyl phenyl-H-phosphinates and secondary phosphine oxides with bromoarenes using P-ligand-free Pd(OAc)₂ catalyst under microwave and solvent-free conditions. *RSC Adv.* (2014) 4, 22808–22816.
- [19] Jablonkai E., Balázs L. B., Keglevich G.: A P-ligand-free nickel-catalyzed variation of the Hirao reaction under microwave conditions. *Curr. Org. Chem.* (2015) 19, 197–202.
- [20] Keglevich G., Novák T., Vida L., Greiner I.: Microwave irradiation as an alternative to phase transfer catalysis in the liquid-solid phase, solvent-free C-alkylation of active methylene containing substrates. *Green Chem.* (2006) 8, 1073–1075.
- [21] Grün A., Bálint E., Keglevich G.: Solid-liquid phase C-alkylation of active methylene containing compounds under microwave conditions. *Catalysts* (2015) 5, 634–652.
- [22] Kollár L., Keglevich G.: P-heterocycles as ligands in homogeneous catalytic reactions. *Chem. Rev.* (2010) 110, 4257–4302.
- [23] Bagi P., Ujj V., Czugler M., Fogassy E., Keglevich G.: Resolution of P-stereogenic P-heterocycles via the formation of diastereomeric molecular and coordination complexes (a review). *Dalton Trans.* (2016) 45, 1823–1842.
- [24] Bagi P., Kovács T., Szilvási T., Pongrácz P., Kollár L., Drahos L., Fogassy E., Keglevich G.: Platinum(II) complexes incorporating racemic and optically active 1-alkyl-3-phospholene P-ligands; Synthesis, stereostructure, NMR properties and catalytic activity. *J. Organomet. Chem.* (2014) 751, 306–313.
- [25] Keglevich G., Szelke H., Kerényi A., Kudar V., Hanusz M., Simon K., Imre T., Ludányi K.: New chiral P-ligands: P-amino- and P-cycloalkoxy dibenzo[c,e][1,2]oxaphosphorines. *Tetrahedron Asym.* (2005) 16, 4015–4021.
- [26] Keglevich G., Sipos M., Szieberth D., Nyulászi L., Imre T., Ludányi K., Tőke L.: Weak intramolecular interactions as controlling factors in the diastereoselective formation of 3-phosphinooxido- and 3-phosphono-1,2,3,6-tetrahydrophosphinine 1-oxides. *Tetrahedron* (2004) 60, 6619–6627.
- [27] Hudson H. R., Wardle N. J., Blich S. W. A., Greiner I., Grün A., Keglevich G.: N-Heterocyclic Dronic acids; applications and synthesis. *Mini-Rev. Med. Chem.* (2012) 12, 313–325.
- [28] Nagy D. I., Grün A., Garadnay, Greiner I., Keglevich G.: Synthesis of hydroxymethylenbisphosphonic acid derivatives in different solvents. *Molecules* (2016) 21, E1046.
- [29] Garadnay S., Grün A., Keglevich G., Neu J.: Új eljárás dronsavak gyógyszeripari előállítására. Magyar szabadalmi bejelentés, HUP1100071 (2011); Novel process for the preparation of dronic acids. WO2012/107787 (2012).
- [30] Keglevich G., Sallay P., Greiner I.: Folytonos üzemű mikrohullámú reaktorok. *Magy. Kém. Lapja* (2008) 63, 278–283.