

Nemzeti felsőoktatási ösztöndíj
Folyóiratban való cikk megjelenés, könyv/könyvfejezet megjelenés adatlap
2021/2022. tanév

Adatok:

Név:	Szabó Renáta
Neptun-kód:	P5GHYJ
Melléklet sorszáma:	4
Téma kódja:	C

Publikációra vonatkozó adatok: A megfelelő bekarikázandó:

☒ HAZAI	☐ NEMZETKÖZI
---	-------------------------------------

Publikáció pontos címe:	Tiolo és származékaik előállítás elemi kénnel elektronhiányos kettős kötést tartalmazó vegyületekből
Publikáció nyelve:	magyar
Elfogadás dátuma ¹ :	2020.10.27. – 2020.10.28.
Megjelenés helye ² :	http://www.staff.u-szeged.hu/~mkecsmc/MKECSMCSfiles/KEN-2020-kiadvany_FINAL.pdf XLIII. Kémiai Előadói Napok előadás összefoglalók, lekt.: Dr. Pálinkó István, 38-45. oldal
ISBN/ISSN:	978-615-6018-04-5
Témavezető neve, oktatási szervezeti egysége:	Dr. Ábrányi-Balogh Péter, Természettudományi Kutatóközpont Németh András, Természettudományi Kutatóközpont

	Szerző(k)	Szerző(k) munkájának %-os megoszlása ³	Szerző(k) aláírása
1.	Szabó Renáta	90	<i>Szabó Renáta</i>
2.	Németh András	10	<i>AN</i>
3.	Dr. Ábrányi-Balogh Péter	0	<i>Ábr. P.</i>

Budapest, 2021.07.08.

Ábr. P.
Dr. Ábrányi-Balogh Péter
**BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM**
Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar
Szerves Kémia és Technológia Tanszék

AN
Németh András
témavezető

Szabó Renáta
Szabó Renáta
pályázó

¹ éééé.hh.nn. – éééé.hh.nn. formátum,

² Amennyiben a publikáció már megjelent, a Magyar Pedagógia publikációs stílusának, illetve az abban nem tárgyalt esetekben az Amerikai Pszichológiai Társaság (APA) hivatkozási szabványa szerint.

³ Témavezető igazolja, aláírásával hitelesíti

Szerkesztették

Böszörményi Éva

SZTE TTIK Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

Kocsis Marianna

SZTE TTIK Szerves Kémia Tanszék

Lektorálta

Dr. Pálinkó István, egyetemi tanár

a Magyar Kémikusok Egyesületének főtitkára

SZTE TTIK Szerves Kémia Tanszék

ISBN 978-615-6018-04-5

Tartalom

A MAGYAR KÉMIKUSOK EGYESÜLETE ÁLTAL A 2020. ÉVBEN NÍVÓDÍJJAL KITÜNTETETT DIPLOMADOLGOZATOK	3
A XLIII. KÉMIAI ELŐADÓI NAPOK KONFERENCIA KIADVÁNYKÖTETÉBE BENYÚJTOTT KÖZLEMÉNYEK.....	5
RÉZ(I)-OXID TARTALMÚ SZOL-GÉL BEVONATOK KIALAKÍTÁSA ÉS JELLEMZÉSE	6
CH-SAVAS VEGYÜLETEK ACILEZÉSE	13
KÜLÖNFÉLE α -HIDROXIFOSZFONÁTOK ÉS ANALOGONOK SAVAS HIDROLÍZISÉNEK VIZSGÁLATA.....	19
D-GALAKTÓZALAPÚ KORONAÉTEREK SZINTÉZISE ÉS ALKALMAZÁSA ASZIMMETRIKUS REAKCIÓKBAN	31
TIOLOK ÉS SZÁRMAZÉKAIK ELŐÁLLÍTÁSA ELEMI KÉNNEL ELEKTRONHIÁNYOS KETTŐS KÖTÉST TARTALMAZÓ VEGYÜLETEKBŐL	38
ÁTMENETIFÉM-KATALIZÁLT KERESZTKAPCSOLÁSI ÉS C-H AKTIVÁLÁSI REAKCIÓK A $^{13}\alpha$ -ÖSZTRON SORBAN	46
KIRÁLIS CIKLOPROPÁN-SZÁRMAZÉKOK ELŐÁLLÍTÁSA SZÉNHIDRÁTALAPÚ KORONAÉTEREK FELHASZNÁLÁSÁVAL.....	53
ÚJ α -HIDROXI-ETILÉNBISZFOSZFONÁT-SZÁRMAZÉKOK ELŐÁLLÍTÁSA Al_2O_3 FELÜLETÉN	60
2020. ÉVI KÉMIAI ELŐADÓI NAPOKAT TÁMOGATTÁK.....	66

TIOLOK ÉS SZÁRMAZÉKAIK ELŐÁLLÍTÁSA ELEMI KÉNNEL ELEKTRONHIÁNYOS KETTŐS KÖTÉST TARTALMAZÓ VEGYÜLETEKBŐL

Szabó Renáta^{a,b}, Németh András György^{a,b}, Ábrányi-Balogh Péter^{a,b}

^a*Természettudományi Kutatóközpont, Gyógyszerkémiai Kutatócsoport,*

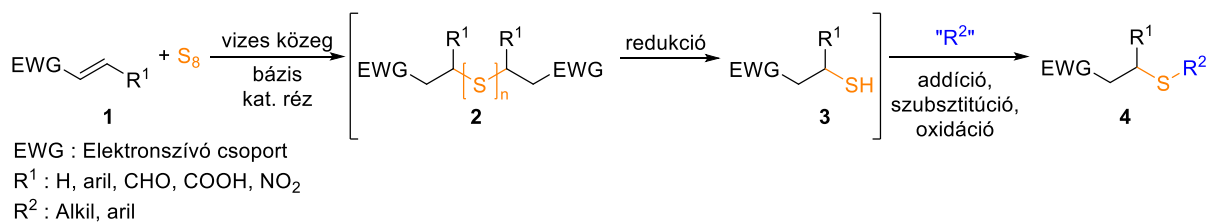
1117 Budapest Magyar Tudósok körútja 2.

^b*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar,*

1111 Budapest Műegyetem rakpart 3.

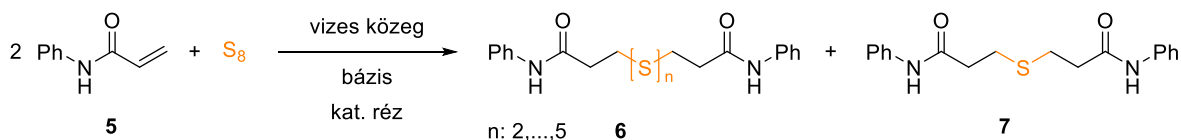
A multikomponensű reakciók fontos részét képezik a modern szerves szintetikus kémia eszköztárának. Ezek a reakciók *one-pot* körülmények között megvalósított átalakítások, amelyekben legalább három kiindulási komponens a reakció kezdetétől jelen van a reaktortérben, és mindegyik részben vagy teljesen beépül a termékbe. Segítségükkel komplex szerkezetek alakíthatók ki akár egy preparatív lépésben, illetve alkalmasak lehetnek környezetbarát, jobb atomhatékonyságú és biztonságosabb alternatívát nyújtani, mint a korábban kidolgozott szintetikus eljárások. Amennyiben ezekben a reakciókban a természetben nagy mennyiségben előforduló, nem toxikus és könnyen kezelhető elemi kén alkalmazására kerül sor, kiválthatóak veszélyes és mérgező reagensek, továbbá még inkább fokozni lehet a reakciók atomhatékonyságát [1-3]. Kutatócsoportunkban korábban már több elemi ként tartalmazó multikomponensű reakciót kidolgoztak. Hatékonyan állítottak elő változatos szerkezetű tioamidokat [4-5], valamint *O*-tiokarbamátok és ditiokarbamátok szintézisét is megvalósították [6]. Emellett sikeresen fejlesztettünk egy vizes közegű áramlásos kémiai, illetve egy kromatográfia mentes multikomponensű eljárást is tiokarbamidok előállítására. A kutatócsoport eddigi eredményeire és hagyományaira építve figyelmünk középpontjába a vizes közegű, elemi kénrel megvalósítható multikomponensű reakciók kerültek.

Ezekről az alapokról indulva célul tűzttem ki egy új réz-katalizált vizes közegű pseudo-multikomponensű reakció kidolgozását elektronhiányos kettős kötést tartalmazó vegyületekből **(1)** és elemi kénből kiindulva poliszulfán intermediereken **(2)** keresztül tiolok **(3)** előállítására. A multikomponensű reakcióban kapott poliszulfánokat **(2)** *egy-üst* reakcióban alakítottam tiolokká **(3)**, amelyekből további *egy-üst* eljárásban addíciós, szubsztitúciós és oxidációs reakciókban széles szerkezeti diverzitású kénartalmú származékokat **(4)** állítottam elő **(1. ábra)**.



1. ábra. A kidolgozott eljárás általános sémája tiolok (3) és származékaik (4) előállítására

A témához kapcsolódó korlátozott mennyiségű szakirodalmat áttekintve, először különböző elektronhiányos kettős kötést tartalmazó vegyületek reakcióját vizsgáltam elemi kénnel. Előzetes eredmények alapján a reakciókat vizes közegben, bázikus körülmények között, réz katalizátor jelenlétében valósítottam meg. A reagensek oldódásának elősegítésére a reakcióelegyhez acetonitrilt adtam segédoldószerként. A reakciókat 0,17 mmol-os méretben végeztem el, a konverziót és a keletkező termékeket minden esetben HPLC-MS segítségével vizsgáltam. Előkísérleteim során összesen 10 vegyületet próbáltam ki (vinil-szulfon, elektronszívott aromás olefinek, α,β -telítetlen oxovegyületek, akril-származékok), melyek közül a 2-nitrokalkonnal, valamint fahéjaldehiddel a szakirodalomban ismert szubsztituált benzotiofén[7], illetve tiofén keletkezett [8]. *N*-fenilakrilamiddal egy HPLC-MS-sel jól elemezhető, tiszta spektrumot kaptam a kívánatos poliszulfánok (6) és a melléktermék szimmetrikus tioéter (7) elegyéről, így ezen a modellvegyületen végeztem el a reakciókörülmények optimalizálását (2. ábra).



2. ábra. Az optimalizálás modellreakciója

Vizsgáltam a reakció szelektivitására ható paramétereket, mely során a célom az volt, hogy az *N*-fenilakrilamid (5) és az elemi kén reakciójában visszaszorítsam a szimmetrikus tioéter (7) mennyiségét, és ezzel párhuzamosan elősegítsem a poliszulfánok (6) keletkezését. Elsőként a bázis hatását vizsgáltam a termékelegy tioéter–poliszulfán arányára nézve. A mennyiségi meghatározást a termékelegyből vett HPLC-MS minta tömegspektruma alapján a tioéter és a poliszulfánok relatív jelintenzitásának összehasonlításával végeztem el. A kvantitatív meghatározás alapja, hogy a vizsgált komponensek szerkezetükben, hidrofobicitásukban, bázicitásukban, töltésükben – melyek a mért jel intenzitását befolyásolni képesek – nagyon hasonlóak. Az 1. táblázatból megállapítható, hogy a legjobb eredményt, 2%-os tioéter arányt *N*-etil-piperidin jelenlétében sikerült elérnem. Érdeemes megemlíteni, hogy a poliszulfánok keletkezése majdnem teljesen visszaszorult nátrium-hidroxid és nátrium-szulfid jelenlétében, amelyeknél 98%, illetve 94%-os arányban keletkezett a 7 szimmetrikus tioéter. Második

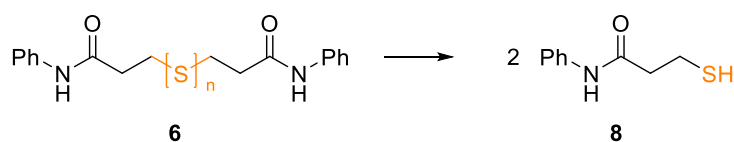
lépésben különböző réz katalizátorok, illetve ligandumok hatását vizsgáltam. A HPLC-MS eredmények alapján a réz katalizátor és a ligandum minősége nem befolyásolta a reakció szelektivitását. Fontos megjegyezni, hogy a spektrumok alapján réz katalizátor hiányában ugyanolyan termékösszetételhez jutottam, mint katalizátor jelenlétében. Meghatároztam a reakcióhoz szükséges bázis, illetve kén mennyiségét is. Három ekvivalensnél kevesebb kén alkalmazása nem elegendő a teljes konverzió eléréséhez. *N*-Etil-piperidinből viszont 7,5 ekvivalens helyett 2 ekvivalens alkalmazása mellett is 2%-on tartható a tioéter keletkezése. A reakció szelektivitása 100 °C-on nem változott számottevően, ugyanakkor 60 °C-on csak gyenge konverziót sikerült elérnem.

1. táblázat. A reakció paramétereinek hatása a konverzióra és a szelektivitásra

Sorszám	Bázis	Kén mennyisége [ekv]	Hőmérséklet [°C]	Tioéter–poliszulfán arány ^a 7:6 [%]
1^{b,c,d}	<i>N</i>-Etil-piperidin	3	80	2:98
2	K ₃ PO ₄	3	80	14:86
3	Trietil-amin	3	80	18:82
4	DIPEA	3	80	35:65
5	PMDTA	3	80	56:44
6	NaOH	3	80	98:2
7	Na ₂ S	3	80	94:6
8	Na ₂ S	—	80	komplex termékelegy
9 ^e	Cs ₂ CO ₃	3	80	komplex termékelegy
10 ^f	Egyéb bázisok	3	80	nincs reakció
11	<i>N</i> -Etil-piperidin	3	60	nincs teljes konverzió
12	<i>N</i> -Etil-piperidin	3	100	3:97
13	<i>N</i> -Etil-piperidin	2	80	nincs teljes konverzió

^aReakciókörülmények: **5** (0,17 mmol); **S₈** (0,51 mmol); bázis (1,28 mmol); CuI (0,034 mmol); 1,10-fenantrolin (0,034 mmol); víz:acetonitril (9:1; 2 ml); 80 °C; 1,5 óra. ^bAlkalmazott réz katalizátorok: CuCl₂; CuSO₄; Cu(acac)₂; Cu(OAc)₂; réz katalizátor nélkül. ^c Alkalmazott ligandumok: 2,2'-bipiridin; ligandum nélkül. ^{c d} Bázis optimalizálás: 5; 3; 2 ekvivalens *N*-etil-piperidin. ^e TBAOH. ^f *N*-metil-morfolin; DABCO; DMAP; urotropin; piridin; TMEDA.

Miután vizsgáltam a poliszulfánok szelektív előállításának körülményeit, olyan redukálószer kerestem, amellyel szelektíven tiolokat (**8**) tudok előállítani (**3. ábra**).



3. ábra. A poliszulfánok (**6**) redukciója tiollá (**8**)

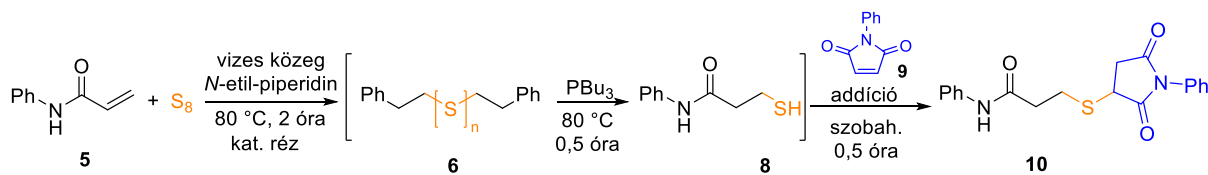
A redukciót *egy-üst* reakcióban végeztem el és HPLC-MS segítségével figyeltem a reakció előrehaladását. Triciklohexilfoszfin (PCy₃) és nátrium-borohidrid–metanol keverék alkalmazásával sikertelen volt a redukció, nem keletkezett a **8** tiol (**2. táblázat**). Trisz(2-karboxietil)foszfin (TCEP) esetében a reakcióelegy pH-ja savas tartományba került, így a redukált tiol részben diszulfiddá alakult. Ennek oka, hogy alacsonyabb pH-n a keletkezett tiolok nem stabilak, oxigén jelenlétében diszulfiddá oxidálódnak [9]. Trifenilfoszfin jelenlétében (PPh₃) sem a várt tiol, hanem szelektíven diszulfid keletkezett. Tributilfoszfinnal (PBu₃) azonban szelektíven jutottam a kívánt **8** tiolhoz. Érdeemes megemlíteni, hogy a tributilfoszfinnal végzett redukcióban 7,5 ekvivalensnél kevesebb *N*-etil-piperidin hozzáadása során a tiol és a diszulfid keverékét kaptam, feltehetően az alacsonyabb pH miatt. Emiatt, bár az első reakciólépéshez kevesebb bázis is elegendő, mégis érdemes 7,5 ekvivalens *N*-etil-piperidint használni a polisulfánok előállításához.

2. táblázat. Redukálószeres vizsgálat a **8** tiol előállítására

Sorszám	Redukálószer	Eredmény ^a
1	NaBH ₄ – MeOH vagy PCy ₃	nem keletkezett a várt tiol
2	TCEP	diszulfid és tiol keveréke keletkezett
3	PPh ₃	szelektíven diszulfid keletkezett
4	PBu₃	szelektíven tiol keletkezett

^aReakciókörülmények: **6** (0,17 mmol); redukálószer (0,51 mmol); víz:acetonitril (9:1; 2 ml); 80 °C; 15 perc.

A kísérleti paraméterek vizsgálata során alkalmazott réz katalizátorok és ligandumok azonos szelektivitással szolgáltatták a **6** polisulfánokat (**1. táblázat**, 1. sor). Ezeket a kísérleteket nagyobb, 0,5 mmol-os méretben is megismételtem és a redukció során keletkezett **8** tiolt izoláltam. A célom az volt, hogy termelés adatok alapján ki tudjam választani az optimális réz-katalizátort és ligandumot. A feldolgozást és tisztítást követően tiszta anyagot kaptam termékül, azonban az eredményeket nem tudtam reprodukálni. A termelések jelentősen szórtak, melynek oka lehet, hogy **8** tiol a feldolgozás és tisztítás körülményei között nem stabil. Emiatt úgy döntöttem, hogy a tiolt izolálás nélkül használok fel aszimmetrikus tioéter előállítására, és így optimalizálom a háromlépéses *egy-üst* eljárást. Először kereső reakciókat végeztem, hogy megtaláljam azt a reagenst, amellyel szelektíven, teljes konverzióval és rövid reakcióidővel tudok tioétert előállítani. A legmegfelelőbb vegyületnek az *N*-fenil-maleimid (**9**) bizonyult, amellyel fél óra alatt szobahőmérsékleten szelektíven keletkezett a várt termék (**10**, **4. ábra**). A **10** tioétert a feldolgozást követően normál fázisú oszlopkromatográfiával tisztítottam. Az *N*-fenil-maleimid vizes közegben gyűrűfelnnyílással járó reakcióban hidrolizál, ezért a reakciókat minél kevesebb víz jelenlétében, víz:acetonitril 1:9 arányú elegyében végeztem el. Ilyen körülmények között nem figyeltem meg sem a reagens, sem a termék hidrolízisét.



4. ábra. A tiol előállítás körülményeinek optimalizálása *N*-fenil-maleimiddel (**5**) *egy-üst* reakcióban

A vizsgált réz katalizátorok közül a legjobb, 77%-os termelést – mely három, átlagosan 92 %-os termelésű preparatív lépésnek felel meg – CuCl₂ jelenlétében kaptam 1,10-fenantrolint alkalmazva ligandumként (**3. táblázat**). Réz-klorid mellett 2,2'-bipiridinnel 72%-os termelést értem el, míg ligandum hozzáadása nélkül a termelés 40%-ra esett vissza. Elvégeztem a reakciót réz katalizátor nélkül is, mely szintén 40%-os termeléssel szolgáltatta az előállítani kívánt tioétert.

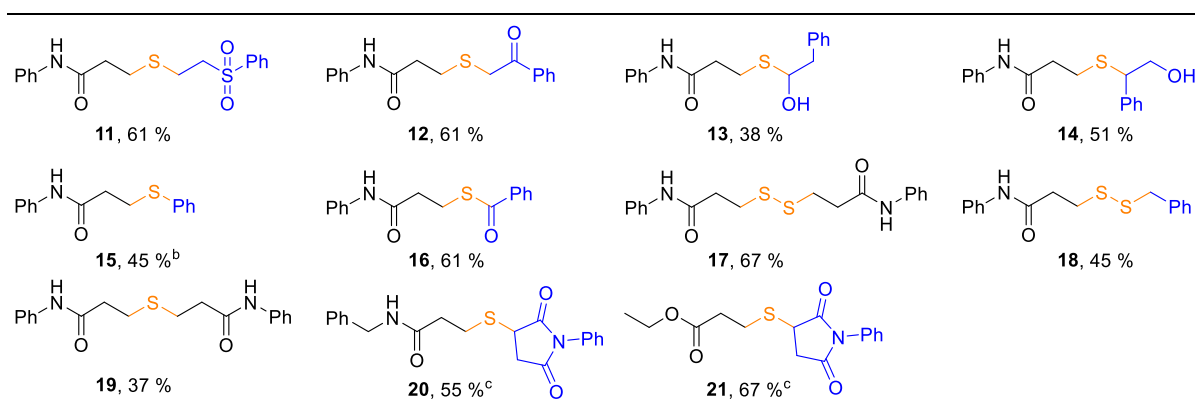
3. táblázat. Optimalizálás az izolált termelésekkel

Sorszám	Réz katalizátor	Ligandum	Termelés ^a [%]
1	CuI	1,10-fenantrolin	68
2	CuCl₂	1,10-fenantrolin	77
3	CuSO ₄	1,10-fenantrolin	63
4	Cu(OAc) ₂	1,10-fenantrolin	70
5	Cu(acac) ₂	1,10-fenantrolin	46
6	CuCl ₂	2,2'-bipiridin	72
7	CuCl ₂	–	40
8	–	–	40

^aReakciókörülmények: **5** (0,50 mmol); **S₈** (1,50 mmol); *N*-etil-piperidin (3,75 mmol); réz katalizátor (0,10 mmol); ligandum (0,10 mmol); víz:acetonitril (1:9; 2 ml); 80 °C; 1,5 óra. Redukció: PBu₃ (1,50 mmol); 80 °C; 0,25 óra. Addíció: **9** (0,60 mmol); szobahőmérséklet; 0,5 óra.

Terveim között szerepelt a kidolgozott tiol előállítás összekapcsolása az irodalomban ismert tiolokra jellemző addíciós, szubsztitúciós és oxidációs reakciókkal *egy-üst* eljárásban, valamint a kiterjesztés elvégzése további elektronhiányos kettős kötést tartalmazó vegyületekkel (**5. ábra**). Ezek a reakciók szobahőmérsékleten, fél óra alatt teljes konverzióval lejáródtak. Az ismertetett módszerrel előállított **8** tiolt (vinilszulfonil)benzollal, illetve 2-bróm-1-feniletanonnal reagáltatva a **11** és **12** tioéterekhez jutottam, mindkét esetben 61%-os termeléssel. 2-Feniloxiránnal a sztérikusan zsúfoltabb **13** és a kedvezőbb **14** *S*-alkil vegyületeket állítottam elő rendre 38%, valamint 51%-os termelésekkel. A **13** és **14** vegyület keverékét normál fázisú oszlopkromatográfiával elválasztottam és ¹H NMR méréssel igazoltam a szerkezetüket. Jódbenzollal 100 °C és 27 óra volt szükséges a **15** *S*-aril vegyület előállításához, melyet 45%-os termeléssel izoláltam. Benzoil-kloriddal a **16** *S*-acil származékot állítottam elő 61%-os termeléssel. A tiolt jóddal oxidálva 67%-os termeléssel jutottam **17** szimmetrikus diszulfidhoz. Szintén oxidációs reakcióban benzil-merkaptánnal a **18** aszimmetrikus szerkezetű

diszulfidot állítottam elő. *N*-Etil-piperidin helyett, nátrium-szulfidot alkalmazva bázisként 37%-os termeléssel állítottam elő a **19** szimmetrikus tioétert. *N*-fenilakrilamid mellett *N*-benzilakrilamiddal és etil-akriláttal is sikeresen állítottam elő poliszulfánokat, amelyeket redukálva és *N*-fenil-maleimiddel reagáltatva a **20-21** tioétereket izoláltam. *N*-benzilakrilamid esetében 55%-os, míg etil-akriláttal 67%-os termelést kaptam. A reakció során a nyerstermékeket normál vagy fordított fázisú oszlopkromatográfiával, illetve, ha szükséges volt, átkristályosítással is tisztítottam. Az irodalomban eddig nem ismert tioéterek szerkezetigazolása (¹H NMR, ¹³C NMR, HRMS) folyamatban van.



^aReakciókörülmények: **5** (0,50 mmol); **S₈** (1,50 mmol); *N*-etil-piperidin (3,75 mmol); CuCl₂ (0,10 mmol); 1,10-fenantrolin (0,10 mmol), víz:acetonitril (9:1; 2 ml); 80 °C; 1,5 óra. Redukció: PBU₃ (1,50 mmol), 80 °C; 15 perc. Elektrofil „**R**” (1,00 mmol); szobahőmérséklet; 0,5 óra. ^b 100 °C, 27 óra ^c Víz:acetonitril (1:9; 2 ml).

5. ábra. A kidolgozott eljárás kiterjesztése

Fahéjaldehiddel az előkísérletek során 80 °C-on kén, *N*-etil-piperidin és katalitikus mennyiségű réz-jodid, illetve 1,10-fenantrolin jelenlétében megfigyeltem a **23**, a szakirodalomban is ismert tiofén keletkezését (**6. ábra**). Mivel csak alacsony konverziót tapasztaltam, a hőmérsékletet 100 °C-ra növeltem, ahol már 0,5 óra alatt teljes konverziót értem el a fahéjaldehidre (**22**) nézve. A reakcióelegyet feldolgoztam, a nyersterméket fordított fázisú oszlopkromatográfiával tisztítottam, így jutottam 32%-os termeléssel a **23** tiofénhez (**4. táblázat**). A 32%-os termelés az irodalomban ismertetett 1,5%-os termelésnél [8] jelentősen jobb, így a reakciót tovább optimalizáltam.



6. ábra. Tiofén (**23**) előállítása

Vizsgáltam a közeg, a katalizátor és a bázis hatását a reakció termelésére nézve (**4. táblázat**). Trietil-aminnal víz és acetonitril 9:1 arányú elegyében 27%-os termeléssel jutottam a **23** tiofénhez, tiszta vízben és réz-katalizátor nélkül azonban már 39%-os termeléssel izoláltam a várt terméket. Terveim között szerepel az eljárás további optimalizálása és a reakció kiterjesztése rokon szerkezetű vegyületekre, például fahéjsavészterekre.

4. táblázat. A **23** tiofén előállításának optimalizálása

Sorszám	Bázis	Oldószer	Hőmérséklet [°C]	Termelés ^a [%]
1	<i>N</i> -Etil-piperidin	víz:ACN 9:1	100	32
2	Trietil-amin	víz:ACN 9:1	100	27
4	<i>N</i> -Etil-piperidin	víz	100	22
3	Trietil-amin	víz	100	39
5	<i>N</i> -Metil-morfolin	víz	100	Nincs reakció
6	DABCO	víz	100	Gyenge konverzió
7 ^b	Egyéb bázisok	víz	100	Komplex termékelegy
8	Trietil-amin	víz	120	Komplex termékelegy
9 ^c	Trietil-amin	víz	90	29

^aReakciókörülmények: **22** (0,50 mmol); **S₈** (1,50 mmol); bázis (1,5 mmol); 0,5 óra; oldószer, hőmérséklet; ^b DIPEA, PMDTA. ^c1,5 óra reakcióidő.

Összefoglalásként elmondható, hogy sikeresen kidolgoztam egy új eljárást tiolok (**8**) és széles szerkezeti diverzitású kéntartalmú származékaik (**11-21**) előállítására. Az eljárás újdonsága az irodalomban eddig nem ismert, réz-katalizált vizes közegű pszeudo-multikomponensű reakció poliszulfánok (**6**) előállítására. A témában a kutatócsoport tervei között szerepel az eljárás alkalmazása további elektronhiányos telítetlenséget tartalmazó vegyületekre, illetve a módszer alkalmazhatóságának vizsgálata tiolok változatos szerkezetű *egy-üst* reakcióira. Továbbá munkám során egy irodalomban ismert, fahéjaldehidből (**22**) és elemi kénből kiinduló tiofén (**23**) előállítására szolgáló eljárást sikerült továbbfejlesztenem, és az irodalomban leírt termelést jelentősen növelnem.

- [1] T. B. Nguyen, *Adv. Synth. Catal.*, **2017** (359) 1066–1130.
- [2] W. Böhmer, A. Volkov, K. Engelmark Cassimjee, *Adv. Synth. Catal.*, **2020** (362) 1723–1723.
- [3] J. Liu, X. Feng, *Synlett*, **2020** (31) 211–222.
- [4] P. Ábrányi-Balogh, B. Volk, M. Milen, *Tetrahedron Lett.*, **2018** (59) 617–619.
- [5] M. Milen, P. Ábrányi-Balogh, A. Dancsó, G. Keglevich, *J. Sulfur Chem.*, **2012** (33) 33–41.
- [6] A. G. Németh, G. M. Keserű, P. Ábrányi-Balogh, *Beilstein J. Org. Chem.*, **2019** (15) 1523–1533.
- [7] T. B. Nguyen, P. Retailleau, *Org. Lett.*, **2017** (19) 4858–4860.
- [8] E. B. Krein, Z. Aizenshtat, *J. Org. Chem.*, **1993** (58) 6103–6108.
- [9] F. J. Monahan, J. B. German, J. E. Kinsella, *J. Agric. Food Chem.*, **1995** (43) 46–52.

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek a rengeteg hasznos tanácsért, illetve segítségért, melyet számomra nyújtottak. A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-1-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának Támogatásával készült.