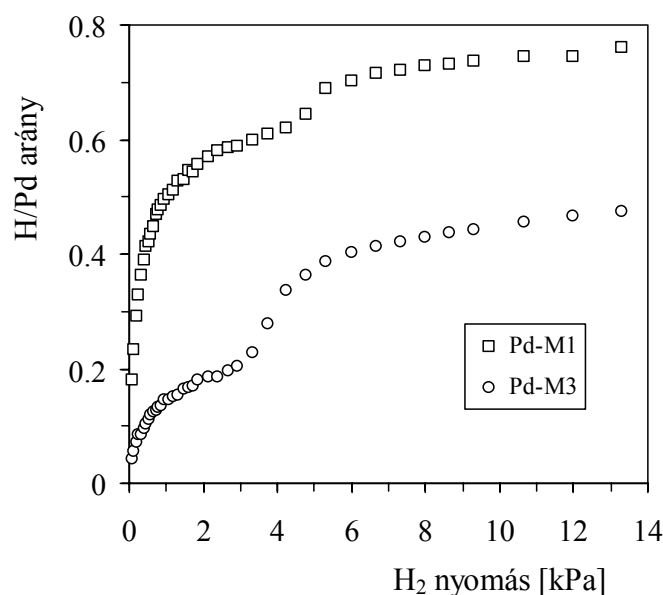


## ZÁRÓJELENTÉS

1. Kationos tenziddel stabilizált, szabályozott méretű Pd nanorészecskéket tartalmazó Pd-montmorillonit (Pd-M) katalizátorokat állítottunk elő, amelyek azonos fémtartalommal rendelkeznek (0.15%) és csak a fémrészecskék méreteloszlásában különböznek egymástól. A katalizátorok transzmissziós elektronmikroszkóppal történő jellemzése alapján megállapítottuk, hogy a részecskeméret csökkentése megnövelte a fémtartalom monodiszperz jellegét. A Pd tömbfázisában végbemenő  $\beta$ -hidridképződést hidrogén-kemisorpciós mérésekkel vizsgáltuk. Kimutattuk, hogy a  $\beta$ -hidridfázis keletkezése a legnagyobb fémrészecskéket ( $d=6.2$  nm) tartalmazó mintán (Pd-M3) volt a legintenzívebb (1. ábra).



1. ábra

Pd-montmorillonit katalizátorok hidrogénszorpciós izotermái 313 K hőmérsékleten

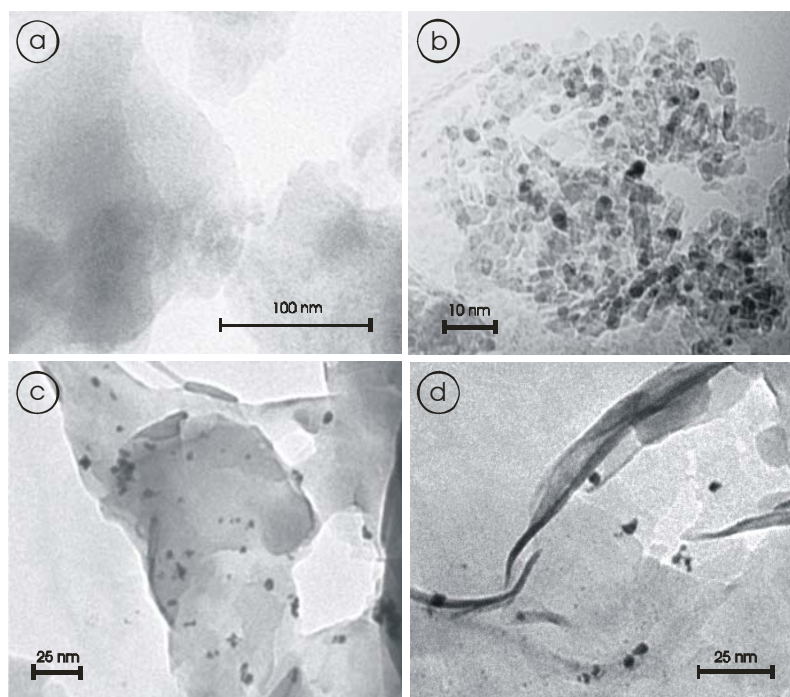
A minták katalitikus aktivitását és szelektivitását fenil-acetilén és 4-oktín folyadékfázisú hidrogénezési reakciójában tanulmányoztuk. A három vizsgált Pd-M minta aktív és szelektív katalizátornak bizonyult a terminális alkincsoportot tartalmazó fenil-acetilén hidrogénezési reakciójában. Megállapítottuk, hogy a katalitikus aktivitás a Pd diszperzitásával arányosan nő, a sztírol képződésének szelektivitása azonban változatlan marad. Mindhárom katalizátorra meghatároztuk a reakció aktiválási energiáját, amely igazolta az aktivitás részecskeméret-függését. A fenti reakcióban a legkisebb Pd részecskéket ( $d=1.5$  nm) tartalmazó (legnagyobb diszperzitású) mintát találtuk a leghatékonyabb katalizátornak, míg a másik két minta aktivitását nagymértékben megnövelte a reaktáns: Pd arány 2000-ről 800-ra történő csökkentése. A belső alkincsoportot tartalmazó 4-oktín hidrogénezési reakciójában a Pd-M minták mérsékelten aktív, de nagymértékben sztereoszelektív katalizátoroknak bizonyultak; a jelentős cisz-alkén sztereoszelektivitás ( $> 90\%$ ) a Pd diszperzitásával nem változott. Az

irodalomban előforduló korábbi feltevésekkel ellentétben azt tapasztaltuk, hogy az alkén típusú termékek szelektivitását a  $\beta$ -hidridfázis képződése nem csökkentette, amelyből arra következtettünk, hogy a  $\beta$ -hidrid nem játszik szerepet a vizsgált katalitikus reakciókban.

2. A fenti katalizátorokon tanulmányoztuk szén-diszulfiddal történő mérgezés hatását a minták aktív centrumaira sztirol folyadékfázisú hidrogénezési reakciójában. Korábban kimutattuk, hogy a katalizátorokban található Pd részecskék köb-oktaéderes szerkezetűek. A kísérletek megtervezésénél ezért abból a feltevésből indultunk ki, hogy a Pd részecskék él- és sarokatomjai (edge and corner atoms) a legaktívabbak a reakcióban. A szén-diszulfiddal végzett kísérletek eredményei alapján lineáris összefüggést állapítottunk meg a sztirol hidrogénezésének sebessége és a fenti, alacsony koordinációjú felületi atomok száma között, amely a részecskemérettől függetlennek bizonyult. Ebből arra következtettünk, hogy a szén-diszulfid adszorpciója elsődlegesen az él- és sarokatomokon megy végbe, míg a magas koordinációjú, ún. terasz-atomok nem vesznek részt a reakcióban. A sztirol hidrogénezésére vonatkozó specifikus aktivitás (turnover frekvencia) értékét a részecskemérettől függetlennek találtuk.

3. Külföldi és magyar kutatóintézetekkel történő együttműködés keretében nagydíszperzítású fémet tartalmazó Pt/grafit nanoszálakat (Pt/GNF) állítottunk elő három különböző típusú grafit nanoszál minta [halszálka (H), szalag (R) és lemez (P)] impregnálásával, etanol-toluol oldószerkeletben. Az anyagokat TEM és XPS mérésekkel jellemeztük. Megállapítottuk, hogy a redukált Pt részecskék mérettartománya 1-7 nm, továbbá mindhárom Pt/GNF minta döntően grafit típusú szerkezettel rendelkezik. Az anyagok katalitikus tulajdonságait hexán vázizomerizációs reakciójában tanulmányoztuk. A legjelentősebb aktivitást és szelektivitást a Pt/GNF-H minta esetében tapasztaltuk, amely egyben a legnagyobb hidrogéntároló kapacitással rendelkezett. Kimutattuk, hogy a minták hatékonysága oxigénnel történő regenerálás hatására nem változott. A Pt/GNF katalizátorok hidrogéntároló kapacitását a termékek szelektivitásával jellemeztük. Nagymértékű izomerizációs szelektivitásukat a hordozó nanoszál-szerkezetében tárolt hidrogénnek a Pt felületére történő migrációjára vezettük vissza, amely hidrogénben gazdag aktív helyek kialakulását eredményezte.

4. Agyagásvány hordozóban immobilizált Pt nanorészecskéket állítottunk elő kationcsere módszerrel. A szintézis során az aktív helyek módosítására az optikailag aktív cinkonidin molekulát alkalmaztuk. Tanulmányoztuk a különböző módon előállított Pt/bentonit minták szerkezetét és katalitikus tulajdonságait. A minták szerkezetvizsgálatát ICP-AES, röntgendiffrakciós és elektronmikroszkópos mérésekkel (2. ábra) végeztük. Megállapítottuk, hogy a különböző módon előállított Pt/bentonit minták esetében egyaránt végbement a cinkonidin módosító beépülése az agyagásvány rétegeközi terébe. A minták Pt részecskéinek méreteloszlásában azonban lényeges különbséget állapítottunk meg. A módosított Pt/bentonit



2. ábra

(a) bentonit hordozó, (b) Pt/B1, (c,d) Pt/B2 elektronmikroszkópos felvétele

minták katalitikus viselkedése alapvetően különbözött a hordozós Pt katalizátorokétól. Kimutattuk, hogy 2-ciklohexén-1-on hidrogénezési reakciójában a cinkonidin módosító jelenléte kedvezően befolyásolta a Pt/bentonit katalizátor kemoszelektivitását. Etil-piruvát enantioszelektív hidrogénezési reakciójára megállapítottuk, hogy a módosított aktív centrumok az agyagásvány hordozó rétegek közötti térben helyezkednek el, ezért kevésbé hozzáférhetőek a katalitikus reakcióban. A kísérleti eredmények alapján arra következtettünk, hogy a Pt/bentonit minták szintézise során a cinkonidinnel végzett ioncsere, és a redukciós lépés sorrendje alapvetően befolyásolta a katalitikus aktivitást és az enantioszelektivitást.

5. Pd-MCM-41 mintákat állítottunk elő hagyományos szintézismódszerrel, amelynek során az MCM-41 váz és a Pd nanorészecskék egyidejűleg alakultak ki. Röntgendiffrakciós vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy a Pd részecskék képződése nem változtatta meg az MCM-41 szabályos szerkezetét, bár némileg csökkentette a hordozó rendezettségét. A két különböző fémtartalmú (1.39%-os, és 5.85%-os) Pd-MCM-41 minta átlagos részecskemérete 23 nm-nek, ill. 10 nm-nek adódott. Eszerint a fenti előállítási módszer a Pd nanorészecskék méretének szabályozására nem alkalmazható, ezért a mintákat alapvetően MCM-41 hordozós Pd-katalizátoroknak tekintettük. A minták katalitikus aktivitását és szelektivitását fenil-acetilén, 3-butin-1-ol, 4-oktín és 1-fenil-1-butin folyadékfázisú reakcióiban tanulmányoztuk. Terminális alkének hidrogénezésében mindkét katalizátor jelentős aktivitást és alkén szelektivitást mutatott. Fenil-acetilén átalakulásában hatékonyabbnak találtuk az alacsonyabb fémtartalmú katalizátort, míg 3-butin-1-ol reakciójában lényeges különbséget nem találtunk.

Az utóbbi reakcióban tapasztalt 100%-os alkén szelektivitás a mellékreakciók teljes hiányára utalt. Belső alkének hidrogénezési reakcióiban a katalitikus aktivitás a Pd-MCM katalizátor diszperzítésének növekedésével csökkent, míg a *cisz*-alkén képződés sztereoselektivitása alapvetően nem változott. Különösen hatékony katalizátornak bizonyult az 1.39%-os Pd-MCM-41 minta 4-oktin reaktáns átalakulásában (1. táblázat). A Pd-MCM-41 katalizátorok magas *cisz* sztereoselektivitását a nagymértékben koordinált Pd-atomok jelenlétével hoztuk összefüggésbe.

1. táblázat

## Belső alkének hidrogénezése Pd-MCM-41 katalizátorokon

Katalizátor	Reaktáns	R [cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> min <sup>-1</sup> gPd <sup>-1</sup> ]	TOF [s <sup>-1</sup> ]	Konverzió [%]	S <sub>(Z)</sub> <sup>c</sup> [%]	S <sub>(E)</sub> <sup>c</sup> [%]	S <sub>alkán</sub> <sup>c</sup> [%]	Y <sup>d</sup>
Pd-MCM(1.39) <sup>a</sup>	4-oktin	20818	18.4	92.6	96.6	0.1	3.3	0.999
Pd-MCM(5.85) <sup>a</sup>	4-oktin	12919	6.9	64.1	93.8	0.8	5.4	0.992
Pd-MCM(1.39) <sup>b</sup>	1-fenil-1-butin	7742	6.9	49.8	88.6	3.8	7.6	0.959
Pd-MCM(5.85) <sup>b</sup>	1-fenil-1-butin	5194	2.8	71.1	91.2	2.9	5.9	0.969

<sup>a</sup> m = 5 · 10<sup>-3</sup> g, T = 298 K, p = 10<sup>5</sup> Pa, S: Pd = 2000, reakcióidő: 20 perc

<sup>b</sup> m = 5 · 10<sup>-3</sup> g, T = 298 K, p = 10<sup>5</sup> Pa, S: Pd = 1000, reakcióidő: 75 perc

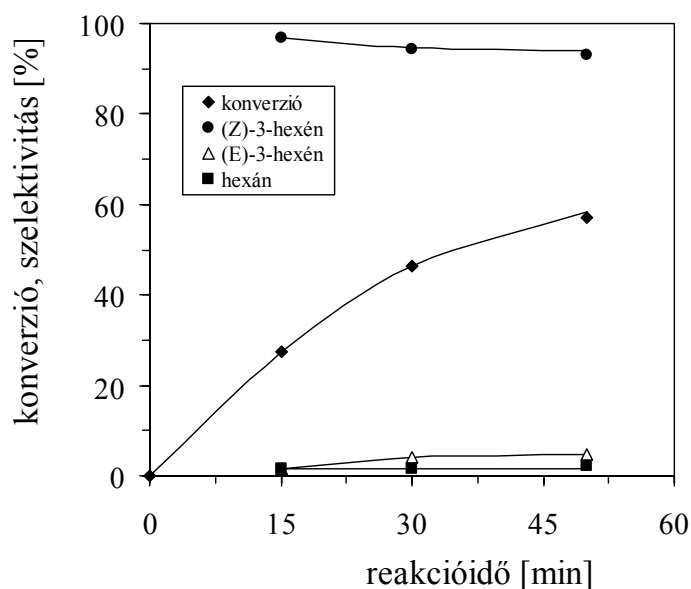
<sup>c</sup> szelektivitás 50%-os konverziónál

<sup>d</sup> Y = S<sub>(Z)</sub>/S<sub>(Z+E)</sub>, az 50% konverzióhoz tartozó szelektivitások alapján

6. Korábban részletesen tanulmányoztuk kationos tenzidekkel stabilizált átmenetifém nanorészecskék előállítását és katalitikus tulajdonságait. Ehhez a témához kapcsolódnak a tenzidek fémrészecskéken történő adszorpciójára vonatkozó vizsgálatok. Tanulmányoztuk a dodeciltrimetilammónium-bromid kationos tenzid aranyrészecskéken végbemenő adszorpcióját, áramlásos adszorpciós mikrokolorimetriás módszerrel. Vizsgáltuk a folyamat anyag, és entalpiamérlegét az oldat pH-jának függvényében. Megállapítottuk, hogy az adszorpciós folyamat három lépésből áll. Az első lépés a bromidanionok irreverzibilis megkötődése az aranyrészecskék felületi aktív helyein, amely erősen exoterm folyamat (kemisorpció). Ennek következtében felületi AuBr<sup>-</sup> részecskék alakulnak ki, amelyek negatív töltését az Au/víz határfelületen protonok semlegesítik. Ezáltal az oldat pH-ja jelentősen megnő. A második lépésben végbemegy a kationos tenzidmolekulák reverzibilis adszorpciója,

amely a fémrészecskék felületén monomolekulás borítottságot hoz létre. A harmadik lépésben pedig változatos összetételű felületi tenzid-aggregátumok alakulnak ki, amelyek képződése szintén reverzibilis folyamat.

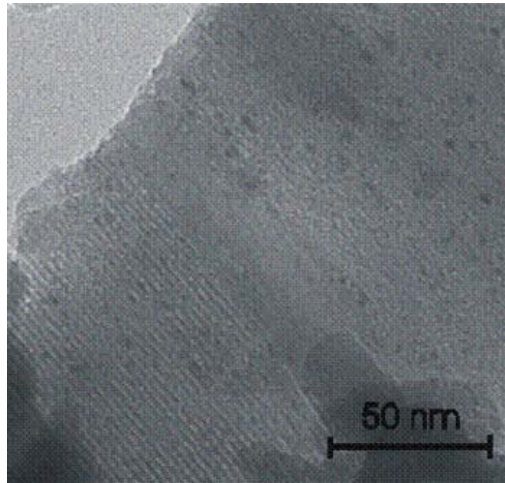
7. Pd-MCM-41 katalizátorokat állítottunk elő új szintézismódszerrel, amelyben az MCM-41 szerkezet tetradecil-trimetilammónium-bromid kationos tenziddel szabályozott kialakítását ugyanezen tenziddel stabilizált Pd nanorészecskék előállításával hoztuk összefüggésbe. A minták abban különböztek egymástól, hogy a  $K_2PdCl_4$  prekursor redukcióját az MCM-41 váz létrehozása előtt, ill. után végeztük el. Megállapítottuk, hogy a Pd részecskék kialakulása az MCM-41 szerkezet hosszútávú rendezettségét alapvetően nem csökkentette, a szintézis lépéseinek sorrendje azonban a Pd részecskék elhelyezkedését és méreteloszlását lényegesen befolyásolta. A Pd-A minta esetében, amelyre a redukciót a váz kialakítása előtt végeztük el, gömbszimmetrikus Pd részecskék képződtek az MCM-41 hordozó felületén, eszerint a minta MCM-41 hordozós Pd katalizátornak tekinthető. Ezzel szemben a Pd-B minta Pd részecskéi, melyeket a váz kialakítása után hoztunk létre, kimutathatóan beépültek az MCM-41 szerkezet mezopórusaiba. A minták jellemzésének eredményeit a katalitikus vizsgálatok is alátámasztották: a Pd-A minta lényegesen aktívabb katalizátornak bizonyult mind terminális, mind belső alkinek folyadékfázisú hidrogénezési reakcióiban (3. ábra). A Pd-B minta alacsonyabb katalitikus aktivitását, ill. a reakciósebesség csökkenését azzal értelmeztük, hogy a mezopórusokban található fémrészecskék a reaktánsok számára nehezebben hozzáférhetők, ezért a hidrogénezési reakciók sebességét transzportfolyamatok határozzák meg.



3. ábra

3-hexin hidrogénezése Pd-A katalizátoron

8. Hasonló módon állítottunk elő Pt nanorészecskéket MCM41 hordozóban: a szilikaváz kialakítására és a Pt részecskék stabilizálására ugyanazt a kationos tenzidet alkalmaztuk. Röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a redukált Pt részecskék képződése nem csökkentette a szabályos MCM-41 szerkezet hosszútávú rendezettségét. Elektronmikroszkópos felvételek segítségével kimutattuk, hogy a képződött Pt nanorészecskék átlagos mérete a mezopórusok méreténél lényegesen kisebb volt. Aggregátumok előfordulását nem tapasztaltuk. Megállapítottuk, hogy a redukált Pt részecskék jelentős része a mezopórusok belsejében képződött (4. ábra).



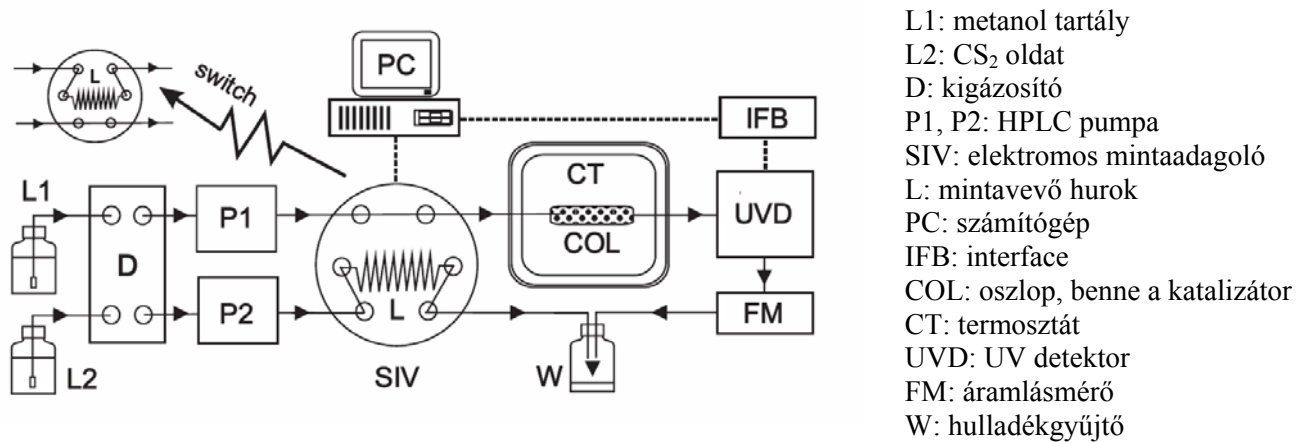
4. ábra

Pt-MCM-41 elektronmikroszkópos felvétele

A Pt-MCM-41 minta katalitikus tulajdonságait 1-hexén, ciklohexén, sztírol, 1-pentin és 1-hexin folyadékfázisú hidrogénezési reakciójában tanulmányoztuk. A minta közepesen aktív katalizátornak bizonyult gyűrűs és aromás alkének átalakulásában, terminális alifás alkinek és 1-hexén reakciójában azonban fokozott aktivitást mutatott. Ab initio számításokkal meghatároztuk a reaktánsok molekuláris paramétereit. Megállapítottuk, hogy a katalizátor aktivitása a reaktánsok molekulaméretének növekedésével arányosan csökkent. Ennek megfelelően a Pt-MCM-41 minta alakszelektív katalizátornak tekinthető. A hidrogénezési reakciók során tapasztalt sebességcsökkenést transzportjelenségek hatására vezettük vissza, amelyeket a minta mezopórusaiban található fémrészecskék katalitikus aktivitásával hoztunk összefüggésbe.

9. Új kísérleti módszert dolgoztunk ki hordozós Pd részecskék folyadékfáziú diszperzitásának meghatározására. A méréseket külön erre a célra tervezett berendezésben végeztük, amelynek fő alkotórésze egy nagynyomású folyadékkromatográfiás (HPLC) rendszer (5. ábra). A vizsgált Pd/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizátort a folyadékkromatográf kolonnájába helyeztük, majd metanolos oldatból CS<sub>2</sub> impulzusokat vezettünk a katalizátorra, amíg elértük a felület telítettségét. A CS<sub>2</sub> molekuláknak a Pd részecskéken végbemenő kemiszorpcióját UV

detektorral követték. Meghatároztuk a kumulatív  $\text{CS}_2$  felvételt az impulzusok számának függvényében, amelyre telítési görbét kaptunk. A telítési értékből számítottuk a katalizátor folyadékfázisú diszperzitását.



5. ábra

A folyadékkromatográfias módszer kísérleti berendezésének vázlatos ábrázolása

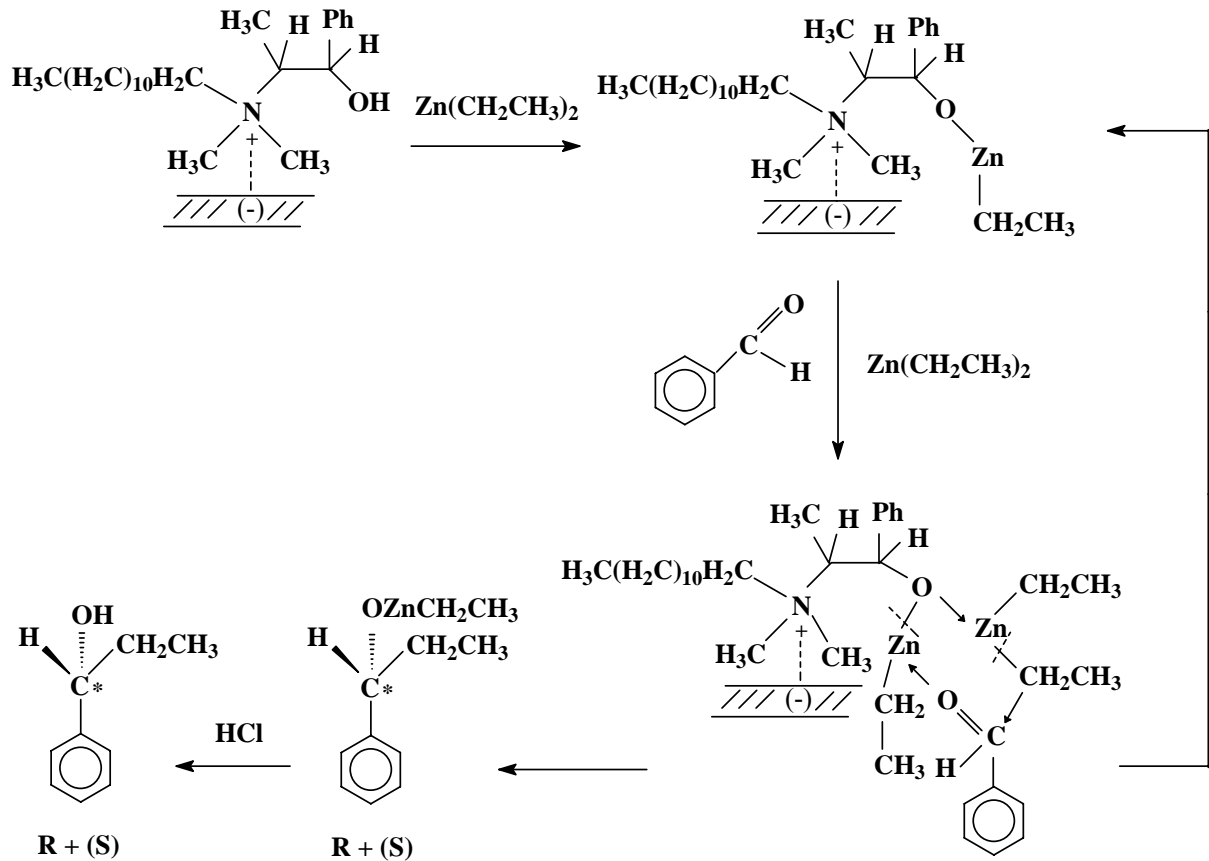
A kapott érték megbízhatóságát úgy ellenőriztük, hogy katalitikus reakciót hajtottunk végre, amelyben a hordozós Pd katalizátor aktív centrumait  $\text{CS}_2$  molekulákkal fokozatosan telítettük. Folyadékfázisú hidrogénező berendezésben tanulmányoztuk sztirol hidrogénezési reakcióját metanolos oldatban,  $\text{CS}_2$  jelenlétében. Különböző  $\text{CS}_2$  mennyiségek esetében kinetikai görbéket határoztunk meg, amelyek meredekségéből kiszámítottuk az átalakulások reakciósebességét. A reakciósebességek értékét a  $\text{CS}_2$  hiányában kapott sebességhez viszonyítva relatív sebesség-értékeket kaptunk. Azon a ponton, amikor elértük a felület  $\text{CS}_2$  molekulákkal történő teljes telítését, a relatív sebesség értéke nullára csökkent, következésképpen a katalitikus aktivitás megszűnt. A teljes mérgezéshez szükséges  $\text{CS}_2$  mennyiségből újabb folyadékfázisú diszperzitásadatot nyertünk, amelynek értéke a folyadékkromatográfia által meghatározott értékkel jó egyezést mutatott. További összehasonlítás céljából meghatároztuk a katalizátor diszperzitását gázfázisban is, adszorpciós mikroklorimetriával, valamint röntgendiffrakcióval és transzmissziós elektronmikroszkóppal. A folyadékfázisú diszperzitásra meghatározott értékek a gázfázisú diszperzitásokhoz képest lényegesen alacsonyabbnak bizonyultak, amelyből arra következtettünk, hogy a gázfázisú vizsgálatok túlbecsülik a folyadékfázisban ténylegesen hozzáférhető aktív centrumok számát.

10. Mivel az átmenetifém részecskék réteges kettős hidroxidokba (hidrotalcitokba) történő beépítése a vártnál alacsonyabb szerkezeti rendezettségű mintákat eredményezett, ezért a továbbiakban a kettős hidroxidokat katalizátorok szerkezeti módosításának céljára alkalmaztuk. Külföldi együttműködés keretében végeztük el egy ismert kereskedelmi katalizátor ( $\text{Cu}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , CZA) módosítását  $\text{MgAl}$  hidrotalcit-nitrát, ill.  $\text{MgAl}$  hidrotalcit-klorid vegyületekkel. A mintákat  $\text{N}_2$ -szorpcióval és röntgendiffrakcióval jellemeztük.

Tanulmányoztuk a módosított minták katalitikus aktivitását és szelektivitását metanol gőzfázisú reformálási reakciójában, átáramlásos reaktorban. Megállapítottuk, hogy a hidrotalcittal módosított katalizátor aktivitása és termikus stabilitása jelentős mértékben függ a hidrotalcit anionjának kémiai természetétől. Hidrotalcit-nitráttal módosított katalizátor (CZA-HTN) alkalmazása esetén a metanol átalakulásának konverziója, valamint a katalizátor termikus stabilitása az eredeti CZA katalizátorhoz képest számottevően megnőtt, egyidejűleg csökkent a CO melléktermék képződésének szelektivitása. Kimutattuk, hogy a reformálási reakció körülményei között a hidrotalcit-nitrát módosító részleges dezaggregációja megy végbe, amely kedvezően befolyásolja a minta katalitikus tulajdonságait.

11. Tanulmányoztuk az (1R,2S)-(-)-N-dodecil-N-metil-efedrinium-bromid (DMEB) királis kationos tenzid oldékonyságát és micellaképzési tulajdonságait vizes oldatban, konduktometriás titrálással és titrációs mikroklorimetriával. A királis tenzidet Na-montmorillonit agyagásványon ioncsere reakcióval immobilizáltuk, ezáltal organofil agyagásványt állítottunk elő (DME-M). Különböző szerves oldószerekben megvizsgáltuk a heterogenizált DME-M minta szerkezetét és duzzadásképeségét. Megállapítottuk, hogy a DME-M mintában az optikailag aktív tenzidmolekulák az agyagásvány rétegek közötti térben helyezkednek el. Röntgendiffrakciós vizsgálatokkal kimutattuk, hogy az organofil minta bázislaptávolsága szerves oldószerekben jelentősen megnőtt, toluol alkalmazása esetén pedig a duzzadás mellett dezaggregáció is végbement. Tanulmányoztuk a heterogenizált királis tenzid (DME-M) katalitikus tulajdonságait benzaldehid dietil-cinkkel végzett enantioszelektív alkilezési reakciójában (6. ábra). Összehasonlítás céljából megvizsgáltuk az eredeti királis tenzid (DMEB) katalitikus viselkedését, homogén reakcióban. Megállapítottuk, hogy DMEB katalizátor alkalmazása esetén a reakcióidő növelése az átalakulás konverzióját és a főtermékként képződő (R)-1-fenil-1-propanol enantioszelektivitását egyaránt megnövelte. Azonos reakciókörülmények között a heterogenizált DME-M katalizátor alkalmazása magasabb konverziót és alacsonyabb enantioszelektivitást eredményezett. Az (R)-1-fenil-1-propanol képződésének szelektivitása mindkét katalizátor esetében hasonlóan bizonyult, és nem változott számottevően az átalakulás reakcióidejének függvényében. A katalizátor mennyiségének növelése, valamint a reakció hőmérsékletének kismértékű emelése mind a homogén, mind a heterogén reakció esetében kedvezően befolyásolta az átalakulás konverzióját és a főtermék képződésének szelektivitását.

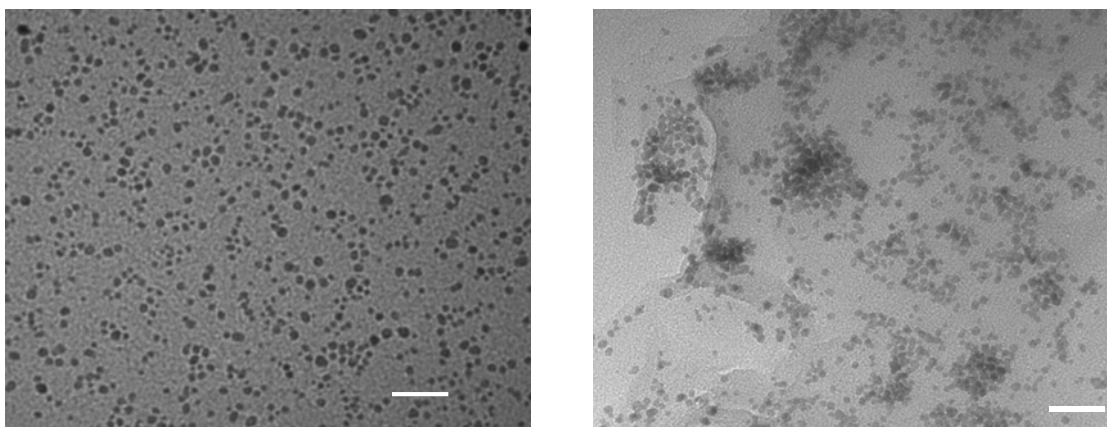




6. ábra

Benzaldehid enantioszelektív alkilezése dietil-cinkkel, DME-M királis katalizátor jelenlétében

12. Kationos tenziddel stabilizált Pd nanorészecskéket állítottunk elő rétegszerkezetű grafit-oxid hordozóban, 1-3 nm átmérőjű Pd részecskéket tartalmazó stabil Pd szol felhasználásával. A Pd szol kevertetése grafit-oxid vizes szuszpenziójával organofil Pd-grafit-oxid nanokompozitok képződését eredményezte. A fenti módszerrel különböző fémtartalmú Pd/grafit-oxid mintákat állítottunk elő, amelyek szerkezetvizsgálatát ICP-AES módszerrel, továbbá röntgendiffrakcióval és elektronmikroszkóppal végeztük. Kimutattuk, hogy a Pd részecskék monodiszperz jellege grafit-oxidon történő immobilizálás hatására nem változott, aggregáció nem történt (7. ábra). Redukált Pd részecskék jelenlétét nemcsak a hordozó külső felületén, hanem a hordozó rétegeközi térben is megállapítottuk. A minták katalitikus tulajdonságait 3-hexin, 4-oktin és 1-fenil-1-pentin folyafékfázisú hidrogénezési reakciójában tanulmányoztuk (2. táblázat).



7. ábra  
(a) Pd szol, (b) 0.18% Pd/grafit-oxid elektronmikroszkópos felvétele  
szakasz mérete: 20 nm

2. táblázat

Belső alkinek hidrogénezése 0.18% Pd/grafit-oxid katalizátoron

Reaktáns	S:Pd	reakcióidő [min]	R [cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> min <sup>-1</sup> gPd <sup>-1</sup> ]	TOF [s <sup>-1</sup> ]	Konverzió [%]	S <sub>(Z)</sub> -alkén [%]
3-hexin	5000	20	189017	38	100	94.9
3-hexin	10000	20	78137	15.7	54.7	98.3
4-oktin	5000	40	31543	6.3	100	93.1
4-oktin	10000	40	26983	5.4	43.8	96.2
1-fenil-1-pentin	2500	35	8057	1.6	64.8	82.5
1-fenil-1-pentin	5000	60	4148	0.8	44.6	91.3

Megállapítottuk, hogy a minták nagymértékben aktív és sztereoselektív katalizátorok, aktivitásuk azonban jelentős mértékben függ a reaktáns méretétől. Ebből arra következtettünk, hogy nemcsak a felületi, hanem a rétegek közti Pd atomok is résztvesznek a katalitikus reakciókban, ezért a Pd-grafit-oxid minták alakszelektív katalizátoroknak tekinthetők. A legnagyobb mértékű katalitikus aktivitást 3-hexin hidrogénezési reakciójában tapasztaltuk.

## **A kutatás eredményei**

Publikációk referált nemzetközi folyóiratban (megjelent, ill. elfogadott dolgozatok): 12  
Összes impakt faktor: 32.72

Nemzetközi konferencia előadások: 8

Nemzetközi konferencián bemutatott posztterek: 24