

prof. Ing. Ján Híveš, PhD.
Ústav anorganickej chémie, technológie a materiálov
FCHPT STU
Radlinského 9, 812 37 Bratislava

Oponentský posudok na habilitačnú prácu

Názov práce: **Aditívna výroba elektrochemických systémov: in-situ charakterizácia a aplikácie**

Autor práce: Mgr. Táňa Sebechlebská, PhD.

Predložená habilitačná práca „**Aditívna výroba elektrochemických systémov: in-situ charakterizácia a aplikácie**“ predstavuje rozsiahly a konzistentný súbor výsledkov, ktorý je tematicky sústredený na vývoj, modifikáciu a experimentálne overenie 3D tlačených elektrochemických systémov. Práca je rozdelená na dve hlavné časti: teoretický úvod a jadro tvorené deviatimi publikovanými štúdiami habilitantky.

V teoretickej časti autorka prehľadne sumarizuje aktuálny stav problematiky, s dôrazom na elektricky vodivé kompozity využiteľné v 3D tlačených elektródach, ich fyzikálno-chemické vlastnosti, možnosti modifikácie a charakterizačné nástroje. Osobitná pozornosť je venovaná elektrochemickej impedančnej spektroskopii, UV-Vis spektroelektrochémii a parametrom, ktoré limitujú alebo zvyšujú funkčnosť 3DP elektród. Text je logicky štruktúrovaný, informatívny a vytvára pevný rámec pre pochopenie aplikačných výsledkov uvedených v ďalších kapitolách.

Druhá časť práce tvorí nosnú podstatu habilitačného dosiahnutia – súbor deviatich vedeckých publikácií reflektujúcich systematickú snahu habilitantky rozvíjať aditívne vyrábané elektrochemické systémy rôznych typov a funkcií. Uvedené štúdie sa venujú okrem iného:

- galvanickému pokovovaniu a povrchovým modifikáciám 3DP kompozitov,
- prepojeniu 3D tlače s in-situ spektroelektrochémiou,
- prenosu elektrónov pri reakciách CO₂ a hydrazínu,
- elektrochemickej konverzii CO₂ na kompozitných 3D elektródach,
- fyzikálno-chemickej a morfolologickej charakterizácii tlačených štruktúr.

Jednotlivé práce sú vzájomne previazané, metodicky konzistentné a jasne dokladajú dlhodobé výskumné smerovanie. Monotematickosť je v tomto prípade pozitívnym atribútom – ukazuje schopnosť habilitantky budovať odborný profil, prehĺbovať metodiku a aplikovať získané poznatky v rôznych elektrochemických scenároch. Z formálneho aj obsahového hľadiska pôsobí habilitačná práca kompaktno, odborne vyzrelo a so zreteľným autorským rukopisom.

Silné stránky práce

- vysoká aktuálnosť výskumu v kontexte rozvoja aditívnej výroby pre elektrochémiu,
- prepojenie dizajnu 3DP komponentov s ich elektrochemickou funkcionalitou,
- interdisciplinarita (elektrochémiu – 3D printing – materiálové inžinierstvo – spektroeletrochémiu),
- jasná experimentálna línia, metodická uvážlivosť a reprodukovateľnosť postupov,
- zreteľne formulované aplikačné scenáre (CO₂ redukcia, senzory, katalytické reakcie).

Priestor pre ďalší rozvoj

Potenciál ďalšieho smerovania vidím najmä v:

- rozšírenie materiálovej bázy 3DP elektród o pokročilé hybridné plnivá (MXeny, kovové pasty, grafénové deriváty),
- integrácii real-time/in-situ diagnostiky (Raman SEC, synchrotrónové techniky, EPR spin-probes),
- optimalizácií geometrie elektród pomocou AI-a generatívneho topologického dizajnu,
- presune od laboratórnych prototypov k pilotným celkom (mikrofluidika, prietokové reaktory, škálovanie).

Otázky pre habilitantku

Vzhľadom na skutočnosť, že všetky kľúčové publikácie tvoriace jadro habilitačnej práce už prešli dôkladným recenzným procesom v renomovaných odborných časopisoch, je možné konštatovať, že základná vedecká kvalita a odbornosť výstupov bola nezávisle overená. Z tohto dôvodu sú otázky pre habilitantku v rámci obhajoby smerované predovšetkým do roviny budúceho smerovania jej výskumu – teda najmä na širšiu víziu rozvoja doterajších výsledkov, možnosti interdisciplinárneho presahu, technologického rastu a prepojenia 3D tlače s modernými nástrojmi

a trendmi. S tým prirodzene súvisí aj očakávanie, že prípadné pôsobenie na pozícii docentky bude vyžadovať schopnosť nadhľadu nad úzko špecializovanou problematikou, otvorenie priestoru pre nové koncepty a integráciu aktuálnych progresívnych prístupov, vrátane potenciálu využitia umelej inteligencie v experimentálnom výskume, dátovej analýze, pedagogickom procese a aj pri následnej výchove novej generácie výskumníkov.

1. Ktoré technologické parametre 3DP elektród podľa Vás najviac limitujú ich využitie v praxi a ako ich plánujete ďalej optimalizovať?
2. Vidíte potenciál pre prechod k novým typom vodivých kompozitov alebo multimateriálovej tlači s vyššou katalytickou aktivitou? Viete si predstaviť zakomponovať vodivé keramické materiály do vašich systémov, ktoré by mohli eventuálne vylepšiť niektoré materiálové parametre a bilancie?
3. Vo vašej práci ste sa zameriavali hlavne na kombináciu UV-Vis spektroskopie a elektrochémie vo vašich 3DP systémoch. Vedeli by ste načrtnúť ktoré iné techniky by bolo možné skombinovať s vašim dizajnom, resp. ako by bolo nutné upraviť dizajn vašich systémov tak, aby sa aj iné optické či iné techniky dali využiť v kombinácii s 3D tlačou?
4. Ako by ste modifikovali dizajn experimentov pri CO₂ elektroredukcii, ak by ste mali využiť súčasné skúsenosti s povrchovou úpravou elektród? Uvažovali ste o upscale systému?
5. Ako vo všeobecnosti hodnotíte možnosť škálovania 3DP elektrochemických reaktorov na úroveň polopriemyselných prototypov? Čo sú kľúčové bariéry a ako ich prekonať?

Záverom možno konštatovať, že habilitačná práca je po obsahovej, formálnej aj vedeckej stránke veľmi kvalitná, prináša originálne výsledky a predstavuje hodnotný vedecký prínos v rýchlo sa rozvíjajúcej oblasti aditívne vyrábaných elektrochemických systémov. Práca jasne dokumentuje samostatnú tvorivú, vedecko-výskumnú činnosť habilitantky, jej metodické majstrovstvo a schopnosť spolupráce a schopnosť formulovať a viesť vlastný výskumný zámer/smer.

Na základe preloženej habilitačnej práce a pripojených dokladov

odporúčam

prijat' habilitačnú prácu Mgr. Táni Sebechlebskej, PhD. ako podklad pre habilitačné konanie za účelom udelenia vedecko-pedagogického titulu docent.

Bratislava, 01.12.2025

prof. Ing. Ján Híveš, PhD.