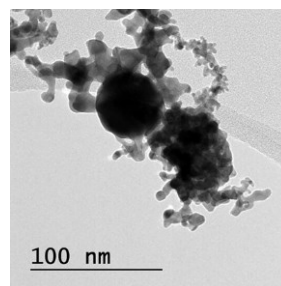
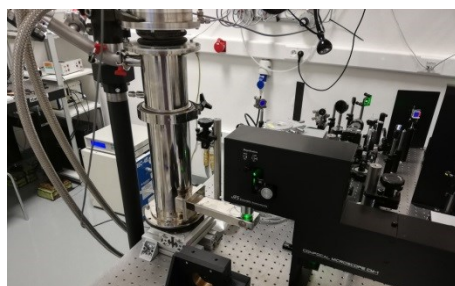
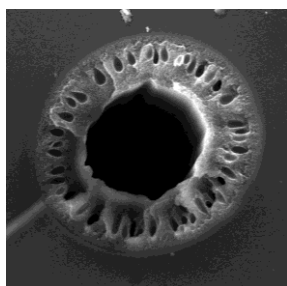
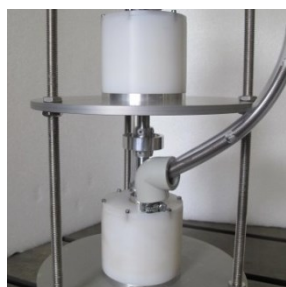


**Průběžná zpráva o řešení
výzkumného programu v roce 2019**



ÚVOD: Výzkumný program č. 3 v číslech

Výzkumný program č. 3 (VP03) byl v roce 2019 realizován řešením 6 výzkumných témat, na jejichž řešení se podílelo 10 ústavů AV ČR a 20 spolupracujících pracovišť. Program byl koncipován prostřednictvím 16 koordinovaných aktivit, z nichž 10 bylo řešeno ve spolupráci více pracovišť AV ČR a 7 ve spolupráci s pracovišti mimo AV ČR. Řešení všech témat probíhá bez odchylek od plánovaných cílů.

Výzkumná témata

- Efektivní využití obnovitelných zdrojů energie a inteligentní přenos energie
- Účinné a čisté postupy zpracování paliv
- Nanostrukturní materiály pro konverzi a skladování energie
- Skladování energie v setrvačnicích
- Skladování tepelné energie
- Zvyšování účinnosti elektráren

Pracoviště AV ČR podílející se na řešení VP03

- Ústav termomechaniky AV ČR (ÚT)
- Ústav chemických procesů AV ČR (ÚCHP)
- Ústav informatiky AV ČR (ÚI)
- Ústav fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského AV ČR (ÚFCH-JH)
- Fyzikální ústav AV ČR (FZÚ)
- Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR (ÚSMH)
- Ústav fyziky plazmatu AV ČR (ÚFP)
- Ústav makromolekulární chemie AV ČR (ÚMCH)
- Ústav přístrojové techniky AV ČR (ÚPT)
- Ústav výzkumu globální změny AV ČR (ÚVGZ)

V roce 2019 byly uspořádány 4 workshopy a další 2 se uskuteční do konce r. 2019:

- Energy Days 2019, Liberec / Praha, 19. – 21. 9. 2019
- Improving the efficiency of power engineering machines, Plzeň, 11. – 13. 6. 2019
- Aerodynamika vysokých rychlostí, Nový Knín, 6. 6. 2019
- DYMAMESI 2019 – Krakov, 5. – 6. 3. 2019
- Diagnostika obnovitelné zdrojů energie na bázi dřeva – Brno, listopad 2019
- Workshop „Rozvoj Společné laboratoře skladování energie“ – Praha, listopad 2019

Celkem bylo v r. 2019 realizováno 15 popularizačních aktivit (výstupy v médiích, popularizační přednášky, demonstrace technologií).

VP03 v roce 2019 pracoval s rozpočtem 7,29 mil. Kč (bez koordinačního příspěvku), z něhož bylo k 20. 9. 2019 vyčerpáno 2,48 mil. Kč (přibližně 34 %).

TÉMA 1: Efektivní využití obnovitelných zdrojů energie a inteligentní přenos energie

Odpovědný řešitel: prof. Ing. Emil Pelikán, CSc., Ústav informatiky AV ČR

Pracoviště AV ČR: ÚI, ÚCHP, ÚPT, ÚVGZ

Spolupracující pracoviště: UK MFF, ČVUT FSI, ČVUT FA, ČVUT FEL, TUL, IPR Praha, Magistrát hl. m. Prahy, Meteo Romania, MU Brno, UPOL, VŠCHT, VUT Brno

Workshop Energy Days 2019 (ÚI, UK MFF, ČVUT FSI, TUL)

Workshop Energy Days 2019 se uskutečnil ve dnech 19. – 21. 9. 2019 v Liberci a Praze. Workshop je koncipován jako kombinace zvaných a běžných přednášek na téma modelování energetických systémů. Součástí workshopu jsou kulaté stoly k propojení výzkumných týmů s energetickou sférou. Workshopu se zúčastnilo přibližně 50 odborníků z ČR i zahraničí. Více na <http://www.energy-workshop.cz/#program>. Všechna spolupracující pracoviště se podílela na pořádání workshopu.

Statistická kalibrace numerických modelů předpovědi počasí pro odhad výkonu obnovitelných zdrojů (ÚI, Meteo Romania)

Aktivita navazuje na předchozí aktivity realizované v rámci VP03. V roce 2019 pokračoval vývoj několika variant kalibračního modelu předpovědi počasí pro odhad výkonu obnovitelných zdrojů a jejich selekci vzhledem k predikčním vlastnostem i interpretabilitě jednotlivých modulárních komponent. Ve spolupráci s Meteo Romania (Rumunsko) byl zkvalitňován profesionálně provozovaný model ALARO proti měření větru na desítkách stanic provozovaných v oficiální měřicí síti Meteo Romania. Ukazuje se, že semiparametrické modelování i v této nepříliš prozkoumané doméně pomáhá odhalovat různé geografické zdroje systematického vychýlení a naznačuje i možnosti jejich opravy. Na výsledcích se ÚI podílel analýzami, výpočty, matematickým a statistickým modelováním a interferencemi a společnost Meteo Romania expertizami, poskytnutím dat a analýzami.

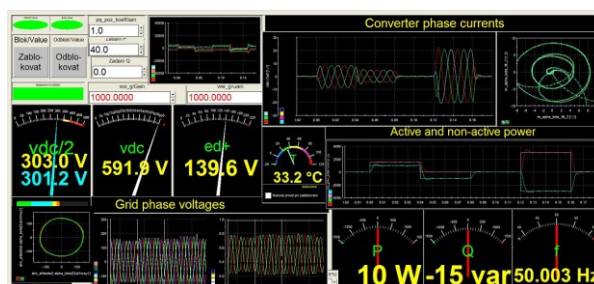
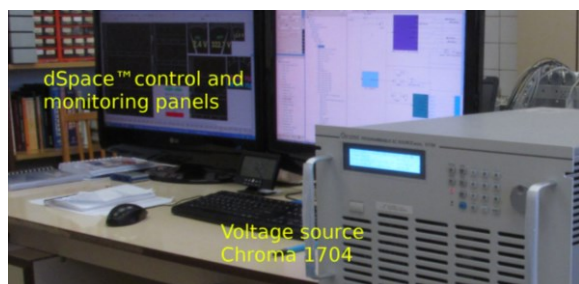
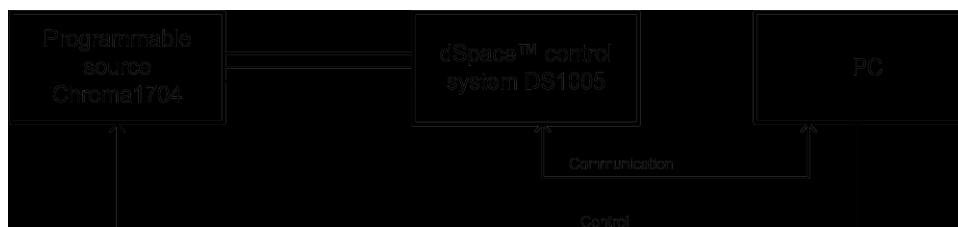
Energetické interakce budov a venkovního městského prostředí (ÚI, ČVUT FA, Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, Magistrát hl. m. Prahy)

Aktivita navazuje na předchozí aktivity realizované v rámci VP03. V roce 2019 se řešitelský tým zaměřil na výzkum interakcí budov s vnějším prostředím. Předchozí simulace ukázaly, že budovy představují za určitých podmínek významný prvek měnící mikroklima značně rozsáhlé části uličního kaňonu. Prostředky VP03 byly použity k doplnění prostorové databáze s vlastnostmi budov ve vybraných částech historického centra Prahy a ke zpřesnění mapování vlastností budov v oblasti Prahy-Dejvic. Průběžné výsledky zaujaly architekty a stavaře z ČVUT, kteří usilují o kombinaci výstupů moderních nástrojů a jejich implementaci do městského prostoru. Na podzim proběhla setkání za účelem rozšíření spolupráce. O výstupy s aplikačním potenciálem projevil zájem pracovníci Institutu plánování a rozvoje hl. m. Prahy, kteří chtějí využít modelové hodnoty z Prahy-Dejvic pro posouzení plánovaných projektů (např. při revitalizaci dejvického kampusu). Spolupracující instituce se na výsledcích podílely expertizami (ČVUT) a definováním úkolů a směrů výzkumu (IPR, Magistrát).

Synchronizace, řízení a kooperace výkonových měničů distribuovaných zdrojů energie v decentralizovaných sítích (ÚT, ČVUT FEL)

Připojení obnovitelných zdrojů energie (OZE), zejména fotovoltaických a větrných elektráren, a energetických systémů do distribučních sítí způsobuje řadu technických a provozních problémů dotýkajících se například kvality napájení, stability sítě, změn síťového napětí a chybových stavů. K překonání výše uvedených problémů byla vyvinuta koncepce mikrosítí. Mikrosíť má centrální řídicí jednotku pro specifickou oblast a společný bod pro připojení a odpojení od standardní sítě.

Proudově řízené nebo napěťově řízené měniče napětí (VSC) jsou široce používány v aplikacích přeměny energie používaných v OZE kvůli oddělené regulaci toku výkonu, rychlé dynamické odezvě a vysoké kvalitě řízení energie. VSC se musí vyrovnat s těžkými provozními režimy kvůli častým poklesům napětí a jiným poruchám. Jednou z důležitých vlastností měničů je schopnost řízení, která umožňuje, aby měnič zůstal připojen k rozvodné síti i během různých typů poruch sítě a vyloučila se tak potřeba jeho odpojení. Napěťové poruchy jsou nejčastějším typem poruch sítě. Přítomnost složek s negativními složkami v napětí během těchto změn způsobuje proudy záporných složek a zvlnění výkonu dodávaného do sítě. To způsobuje také proudové špičky v síti a kolísání napětí sběrnice stejnosměrného obvodu měniče, které mohou být v některých případech kritické. Ovšem v současnosti není požadována pouze schopnost zachování funkce měniče bez jeho odpojení v případě poruchy sítě, ale také poskytování specifických služeb podpory sítě. Všechny požadavky kladené na měniče připojené k síti se musí odrážet v návrhu jejich řídicích systémů. Kromě toho by měniče výkonu měly být navrženy vhodně pro provoz mikrosítí v obou provozních režimech.



Navzdory rozsáhlému probíhajícímu výzkumu existuje mnoho zásadních otázek. V této aktivitě se zaměřujeme na oblast, která má stále ještě vysoký inovační potenciál. Naším cílem je vyvinout, simulovat a experimentálně prověřit pokročilé strategie řízení a synchronizace pro výkonový elektronický měnič jako takový, stejně jako pro skupinu k mikrosíti připojených měničů v poruchových podmínkách v různých režimech mikrosítí. Strategie řízení a synchronizace měničů

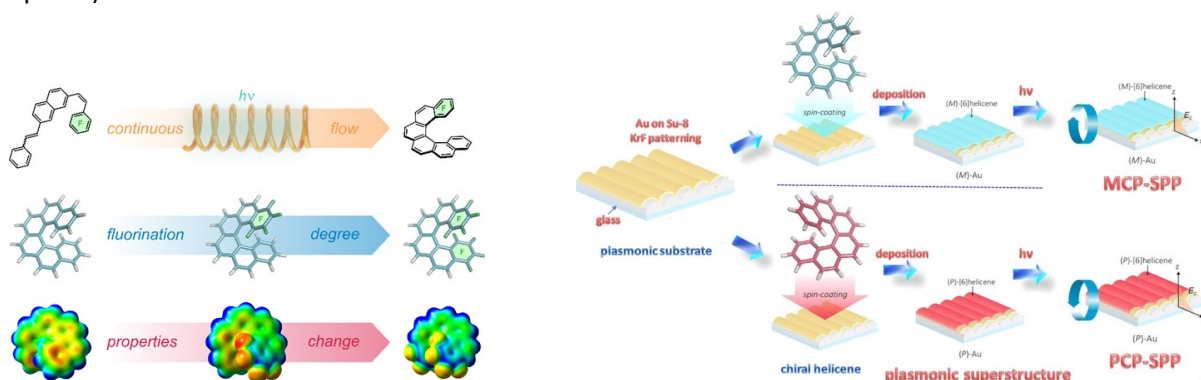
připojených k síti jsme většinou vyvinuli a testovali za zjednodušujících nebo specifických podmínek. V dalších pracích navrhujeme metody pro méně specifické nebo méně předvídatelné podmínky a budeme se orientovat zejména na prediktivní metody řízení měničů na síti.

Získané poznatky byly využity pro analýzu chování symetrizační strategie jednofázových odběrů ve střídavé elektrické trakci zpracované pro společnost Elektrotechnika a.s. Poznatky byly také shrnuty v několika publikacích a jsou řešitelským týmem průběžně zařazovány do kurzů magisterského studia na Katedře elektroenergetiky a Katedře elektrických pohonů a trakce a také do přípravy doktorandů FEL ČVUT.

Spolupracující pracoviště Katedra elektroenergetiky FEL ČVUT v Praze se na výsledcích podílí poskytováním konzultací a podkladů z oblasti energetických sítí.

Aparatura pro výzkum aplikace fenacenů v oblasti organických fotovoltaických článků (ÚCHP, MU Brno, UPOL, VŠCHT)

Aparatura je určena k syntéze a charakterizaci fenacenů a helicenů. Nové směry výzkumu těchto látek se zaměřují do oblasti elektronově polarizovaných molekul, které mohou sloužit jako klíčové komponenty v oblasti organických fotovoltaických článků, tedy při přeměně energie světelné na elektrickou. Tyto nové materiály lze využít jak v klasických organických fotovoltaických článcích využívajících polovodivých vlastností fenacenů, tak i v tzv. DSSC článcích, kde fenaceny fungují jako ligandy přechodných kovů v barvivech a určují tak základní vlastnosti těchto článků. V roce 2019 byla aparatura použita k přípravě a charakterizaci fyzikálně-chemických vlastností [6]helicenů fluorovaných na koncových kruzích (obrázek vlevo) a k přípravě hybridních struktur s chirální plasmonovou odezvou na bázi helicen-SPP konjugací pro enantioselektivní SERS detekci (obrázek vpravo).



Aktivita byla řešena ve spolupráci s Ústavem lékařské chemie a biochemie Univerzity Palackého v Olomouci, Ústavem chemie Masarykovy univerzity v Brně a Ústavem inženýrství pevných látek VŠCHT v Praze. Uvedená pracoviště se na výsledcích podílela významnou měrou.

Diagnostika obnovitelné zdrojů energie na bázi dřeva (ÚPT, ÚVGZ, VUT Brno)

Mezi hlavní cíle energetické politiky Evropské unie je využívání obnovitelných zdrojů energie, odstranění závislosti na fosilních palivech a snížení emisí CO₂. Jedním ze způsobů dosažení tohoto cíle je využití biomasy jako zdroje energie. Zejména dřevní pelety a dřevo nabízejí bezpečnou, zdravou a pohodlnou variantu paliv k překlenutí energetické mezery v přechodu od fosilních paliv. Dřevní pelety mají několik výhod – proces peletizace chrání pelety a tím zajišťuje jeho hodnotu jako palivo a je zavedena evropská standardizace což umožňuje obchod uvnitř EU. Výhřevnost pelet je vysoká (~18 000 kJ/kg). Manipulace a skladování jsou efektivnější díky hustotě pelet (~650 kg/m³) a jejich nízké vlhkosti (~5 %). Jednotná velikost dělá pelety vhodné pro malé topné systémy, jako jsou kamna a kotle pro domácí použití.

Předmětem této aktivity je návrh nových experimentálních metod diagnostiky dřeva a dřevních pelet s využitím Ramanovy spektroskopie. Ramanova spektroskopie poskytuje přístup k molekulární struktuře materiálu v přirozeném stavu. V kombinaci s mikroskopií lze sledovat chemické složení společně s mikrostrukturou. Metoda je nedestruktivní a vhodná k analýze přímo na výrobní lince v reálném čase. Ramanova spektroskopie je schopna velice rychle detekovat většinu složek dřevní biomasy (lignin, celulóza atd.) a je kombinována se softwarovým zpracováním získaných spekter.

Součástí aktivity je workshop s řečníkem z University of Natural Resource and Life Science, Vídeň, který se uskuteční začátkem listopadu v Brně. V rámci workshopu budou prezentovány živé demonstrace nových metod a postupů k diagnostice biomasy a dřevních pelet. Všechna spolupracující pracoviště se budou podílet na pořádání workshopu.

Plánuje se zahájení spolupráce s biotechnologickou firmou, která se zabývá produkcí dřevních pelet.

TÉMA 2: Účinné a čisté postupy zpracování paliv

Odpovědný řešitel: Ing. Miroslav Punčochář, CSc., DSc., Ústav chemických procesů AV ČR

Pracoviště AV ČR: ÚCHP, ÚMCH, ÚFP, ÚSMH

Minimalizace environmentálních dopadů termochemické konverze paliv (ÚCHP, ÚMCH)

Minimalizace dopadů energetických procesů na životní prostředí patří mezi hlavní výzvy současného výzkumu v oblasti ochrany životního prostředí, a to jak s ohledem na kyselé složky plynu, tak s ohledem na emise skleníkových plynů. Zpřísnující se emisní limity pak neumožňují použití stávajících technologií, což vyžaduje rozvoj nových postupů s vyšší účinností.

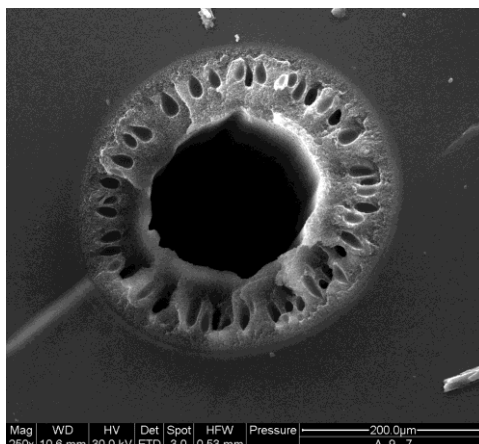
Tato aktivita navazuje na aktivity předchozích let. Na laboratorní aparatuře dokončené v roce 2018 byla úspěšně otestována metoda vodní kondenzující membrány na dočištění plyných produktů

spalin. Tato technologie využívá různé rozpustnosti plynů ve vodě a tzv. rozpustnostně-difuzního modelu. V tomto roce rovněž probíhalo měření transportních vlastností membrán na zakotvených iontových kapalinách a kompozitních polymerních membrán. Tyto jednotlivé série experimentálních testů pro ověření separační účinnosti jednotlivých typů membrán se nyní analyzují. Hlavní pozornost je pak orientována na možnost separace CO_2 ze spalin s možností jeho dalšího využití či skladování.

V roce 2019 byl také na základě aktivit Strategie AV21 získán projekt TAČR z programu Théta, Podprogramu 3, se zaměřením na separaci CO_2 pomocí membránových technologií, kterého se účastní ÚCHP, ÚFP, ÚMCH a společnosti MEGA a.s. a MemBrain s.r.o. jako aplikační partneři. Navázání této spolupráce stejně jako stavba prvotní aparatury pro ověření konceptu byla financována v rámci aktivit VP03 v přechozích letech. V této oblasti pak probíhá spolupráce s ÚMCH, který se věnuje vývoje membrán v podobě dutých vláken. Z vybraných materiálů ULTEM 1000 (aromatický polyetherimid), který je vhodný pro separaci O_2/N_2 , ve spolupráci s MemBrain s.r.o. bylo vyrobeno 7 šarží těchto dutých vláken. Z těch byly vyrobeny zkušební moduly obsahující 3 až 12 vláken délky 30 cm. Tyto moduly byly testovány pro separaci plynů. Na základě zjištěných transportních vlastností byla postupně optimalizována technologie výroby vláken. Paralelně byly vyvíjeny porézní vlákna na bázi polyethersulfonu (PSf). Tyto vlákna budou moci sloužit jako nosič pro nanášení supertenkých vrstev selektivního polymeru – PEBAX, který je vhodný pro separaci CO_2 z bioplynu nebo ze spalin.



Aparatura pro testování membránových separací pro čištění spalin



Asymetrická polyetherimidová membrána v podobě dutého vlákna (příčný lom, zvětšení 250×)

V roce 2019 byly výsledky prezentovány v rámci diskuse organizované Institutem pro veřejnou diskusi, kde M. Šyc prezentoval příspěvek s názvem Energetické využití odpadů jako součást cirkulární ekonomiky. Závěry z diskuse pak byly otištěny v časopise EKONOM. Výsledky aktivit také byly prezentovány na konferenci AV ČR k výsledkům Strategie AV21, přičemž byly dále citovány například i na webu ČT24. ÚCHP se také spolu s konzultační společností Danish Waste Solution podílí na nastavení pravidel pro využití pevných zbytků z energetického využití odpadů v kontextu cirkulární ekonomiky, přičemž zpracovává expertní stanoviska a návrh těchto pravidel pro MŽP. Výsledky dosažené v rámci Strategie byly medializovány:

- ČT 24: „Z oxidu uhličitého uděláme něco užitečného, slibují čeští vědci“. 18. 5. 2019. <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2816990-z-oxidu-uhliciteho-udelame-neco-uzitecneho-slibuji-cesti-vedci>
- Článek na TYDEN.CZ: Čeští vědci zkoumají, jak CO₂ při spalování oddělit a zpracovat. 16. 5. 2019. https://www.tyden.cz/rubriky/veda/cesti-vedci-zkoumaji-jak-co2-pri-spalovani-oddelit-a-zpracovat_522235.html
- Článek v časopise EKONOM: Beton z popela, teplo z odpadků aneb cirkulární ekonomika v praxi, 13. 6. 2019. <https://ekonom.ihned.cz/c1-66588760-beton-z-popela-teplo-z-odpadku-aneb-cirkularni-ekonomika-v-praxi>

Podíl na výsledcích: ÚCHP se podílí na experimentálním ověření a testování membránových modulů v podmínkách modelových a reálných spalín. ÚMCH se pak podílí na volbě vhodných materiálů a návrhu membrán pro experimentální ověření.

Nové postupy termochemické konverze biomasy a odpadů (ÚCHP)

V rámci této aktivity byly testovány vhodné jednodruhové materiály na bázi biomasy nebo odpadů s predikovatelnými vlastnostmi, které lze procesem pyrolýzy upravit na reálně využitelné produkty, což je jedním z cílů oběhového hospodářství. Aktivita navazuje na předchozí aktivity, v jejichž rámci byly upraveny laboratorní aparatury na řešitelských pracovištích, a to jak pyrolyzní (ÚCHP, ÚMCH), tak i

zplyňovací (ÚFP) s potenciálem pro použití i pro plazmovou pyrolýzu (kinetický reaktor a pilotní 500 kW reaktor Plasgas) a vybrány materiály vhodné pro zpracování procesem pyrolýzy.

- 1) Prvním testovaným materiálem jsou čistírenské kaly (ČK). Využitelným produktem pyrolýzy je kalouhel (biochar na bázi čistírenského kalu), tj. P,N – hnojivo.
- 2) Druhým testovaným materiálem je zemědělská „odpadní“ biomasa a biologicky rozložitelné odpady (BRO). Využitelným produktem je biochar, tj. porézní uhlíkatý materiál.
- 3) Třetím testovaným materiálem jsou plastové odpady. Využitelným produktem, v závislosti na teplotě pyrolýzy, respektive typu zařízení, je buď olej, nebo funkční saze.

Ad 1) V oblasti materiálového a energetického využití stabilizovaných čistírenských kalů procesem pyrolýzy byla vyšetřena hmotová a energetická bilance procesu za různých praktických teplot pyrolýzy a vyhodnoceny vybrané aplikační parametry biocharů. Výsledky byly prezentovány na konferencích.

Ad 2) Byla provedena výroba a charakterizace biocharu, byla vyšetřena hmotová a energetická bilance procesu za vybraných teplot a vyhodnoceny vybrané aplikační parametry biocharů ze studovaných biomas (sláma pšenice a ječmenu, technické konopí, posklizňové zbytky, dřevo apod.).

Výsledky slouží k řešení navazujících projektů základního a aplikovaného výzkumu (Zpracování zbytkové biomasy kombinovanou termolýzou na pokročilé energetické nosiče a půdní aditiva MZe (2018–2020) – QK1820175.; Dlouhodobý test aplikace biocharu vyrobeného z odpadní biomasy do zemědělské půdy za účelem řešení problematiky sucha v intenzivně zemědělsky využívaných oblastech České republiky MZe (2019–2023) – QK1910056.

V rámci aktivity byl realizován smluvní výzkum ÚČHP v oblasti výroby a charakterizace biocharu. Výsledky byly publikovány v časopise Paliva.

Ad 3) Poslední oblastí je zpracování plastových odpadů pomocí pyrolýzy. Cílem je testování možnosti použití plastových odpadů pro výrobu funkčních sazí a vodíku. Prozatím byla navázána spolupráce s firmou FCC Regios, a.s., s cílem identifikovat, jaké odpadní plasty jsou vhodné pro využití pro proces plazmové pyrolýzy. Na základě konzultace bylo vybráno nadrcené tuhé alternativní palivo, které tato firma produkuje a které sestává cca z 50 % ze zbytkového plastu ze žlutých popelnic a ze zbylých 50 % z průmyslového plastového a papírového odpadu. 150 kg tohoto paliva je připraveno k testování na reaktoru Plasgas. V rámci přípravných experimentů na pyrolýzu plastů byla realizována sada experimentů pyrolýzy metanu a na základě dosažených výsledků byl zahájen upgrade vedení plynu tak aby byl vhodnější pro vysoký obsah pevných látek. Byla renovována chladicí jednotka plynu a instalován nový vysokovýkonný a vysokoteplotní filtr pevných částic. Samotné provedení série experimentů s připraveným palivem (plastovým odpadem) je plánováno na měsíce říjen/listopad. Zároveň je ve spolupráci s ÚČHP a ÚSMH ve fázi finalizace designu v přípravě výstavba nového kinetického reaktoru, zaměřeného na základní studium principu vzniku specifických nanočástic uhlíku.

Výsledky slouží k řešení navazujících projektů aplikovaného výzkumu jako Národní centrum kompetence pro materiály, pokročilé technologie, povlakování a jejich aplikace TAČR (2019–2020) – TN01000038; projekt Membránová separace oxidu uhličitého ze spalín a jeho následné využití TAČR (2019–2024) – TK02030155.

V rámci aktivity byl realizován smluvní výzkum ÚFP na problematice produkce uhlíkových nanočástic. Byl podán také návrh juniorského grantu GAČR: Systematická studie procesu termicko-plazmatické konverze organických plynů a par na uhlíkové nanočástice a vodík – výsledek bude znám v listopadu 2019.

Podíl na výsledcích: ÚCHP se zejména podílel na přípravě biocharu z biomasy a charakterizaci pevných produktů pyrolýzy. ÚSMH se podílel zejména na přípravě biocharu z SČK a interpretaci analýz pevných produktů pyrolýzy. ÚFP se zejména podílel na experimentech s odpadními plasty, na modelování procesů a na bilancích.

TÉMA 3: Nanostrukturní materiály pro konverzi a skladování energie

Odpovědný řešitel: prof. RNDr. Ladislav Kavan, CSc., DSc., Ústav fyzikální chemie AV ČR

Pracoviště AV ČR: ÚFCH-JH, ÚCHP, ÚT, FZÚ

Spolupracující pracoviště: HE3DA, s.r.o., EPF Lausanne, Fyzikální ústav SAV, Ústav polymérů SAV, GETec Microscopy, FORTH/ICE-HT, CEITEC Brno, VŠCHT

V tomto tématu je řešeno několik různých okruhů problémů popsaných dále, s aplikacemi nanomateriálů v oblasti akumulátorových baterií pro skladování energie, fotovoltaických článků a katalytických vrstev pro vodíkové palivové články a elektrolyzéry.

Nanostrukturní materiály pro Li a Na baterie nové generace vykazující vyšší bezpečnost, kapacitu i rychlost nabíjení (ÚFCH-JH, HE3DA s.r.o.)

Podíl na výsledcích: V rámci této aktivity provádí ÚFCH-JH elektrochemickou charakterizaci nových nanostrukturních materiálů, přípravu vybraných vzorků, charakterizaci textury, analýzu složení elektrolytů, zpracování dat a publikování výsledků. Spolupracuje se společností HE3DA s.r.o. na optimalizaci materiálu katody, testuje elektrochemické chování modifikovaných materiálů a analyzuje jejich morfologii, je odborným garantem postupu testování baterií a přípravy tiskových i marketingových výstupů. Společnost HE3DA provádí zpracování materiálu katody a anody, montáž a dlouhodobé testování prototypů baterií a propagaci výsledků na veletrzích i v médiích.

Katodový materiál $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ (NMC), jehož syntéza byla zoptimalizována v předchozím roce pomocí screeningu prováděného na tenké elektrodě, byl spolu s ostatními optimalizovanými komponentami (separátorem, proudovými sběrači) použit do sestavy 4V článku. Byl nadefinován postup formátování čerstvě připravené baterie. Využitelná kapacita baterie po formátovacím procesu oproti teoretické byla 80–95,1 % v závislosti na kvalitě kontaktů v baterii. Následné dlouhodobé galvanostatické cyklování prokázalo stabilitu 4V modulu. Využitelná kapacita baterie po 300 cyklech představovala 85,4 % kapacity baterie po jejím zformátování, přičemž k největšímu poklesu kapacity dochází při prvních 50 cyklech, mezi 200. a 300. cyklem vykazují naměřené kapacity v jednotlivých cyklech kladné i záporné fluktuace v řádech jednotek promile, nedochází již k systematickému poklesu. Bylo zjištěno, že vylepšením kvality kontaktů („utažením“) baterie lze výše zmíněný pokles kapacity významným způsobem eliminovat. Elektrochemické chování dalších variant materiálu NMC, bohatších z hlediska obsahu Ni (NMC 622 a NMC 523) bylo otestováno na tenké elektrodě i ve 4V modulu. Oproti očekávání byla kapacita těchto materiálů nižší než v případě NMC 333. Anodový materiál TiO_2B byl připraven hydrotermálním postupem a testován elektrochemicky cyklickou voltametrií inserce lithia a galvanostatickým cyklováním. Tento materiál, využitelný v budoucnosti jako bezpečný materiál anody v Li-ion bateriích (náhrada grafitu), vykazoval při dlouhodobém galvanostatickém cyklování stabilní nábojovou kapacitu přes 200 mAh/g.



Očekává se, že optimalizace prototypu baterie HE3DA bude dokončena do dvou let. Produkt by se měl následně vyrábět na velkokapacitní lince, jejíž výstavba již probíhá.

Výsledky aktivity byly publikovány ve vědeckých časopisech a mezinárodních konferencích. Bylo uskutečněno několik popularizačních přednášek a v rámci Týdne vědy a techniky AVČR je plánována účast v panelové diskusi Energetika současnosti (12. 11. 2019; L. Kavan, ukládání energie v bateriích).

Barvivem sensibilizované solární články (ÚFCH-JH, FZÚ, VŠCHT)

V rámci této aktivity byl vyvinut nový postup přípravy filmů rutilu pro aplikaci v barvivem sensibilizovaných solárních článcích. Příprava spočívá v termální oxidaci tenkého filmu titanu, který je nanášen technikou magnetron sputtering. Tato vrstva se uplatňuje jako blokační mezifáz v TiO_2 fotoanodě solárního článku. Přítomnost čistého rutilu v těchto vrstvách je poměrně nečekaná

vzhledem k relativně nízkým teplotám kalcinace. (Nízká teplota je výhodná pro možnost práce se skleněnými, resp. FTO substráty). Optimalizované vrstvy kombinují rektifikující vlastnosti polovodivé elektrody s dobrou optickou propustností, což je obojí důležité pro barvivo sensibilizované solární články, zejména pro jejich moderní varianty využívající jako redox mediátor sloučeniny Co(III/II) a Cu(II/I). Pro alternativní typ solárního článku s barvivo sensibilizovanou fotokatodou byl již dříve identifikován borem dopovaný diamant jako možný elektrodový materiál (viz zpráva VP03 za rok 2018). V tomto období byl výzkum dotažen až do stadia uděleného patentu, který chrání přípravu porézního diamantu ve formě nanovláken. Nanovláknitý diamant kombinuje výhodu vektorového přenosu elektronu s velkým relativním povrchem pro pohlcování slunečního světla barvivo (osvědčilo se např. komerční barvivo P1, které bylo původně vyvinuté pro sensibilizaci p-NiO). Na sklonku roku 2018 byla rovněž publikována kniha o protielektrodách do těchto solárních článků (která nebyla zahrnuta ve zprávě VP03 za rok 2018).

V rámci této aktivity se řešitelský tým spolupodílel na organizaci konference 7th International Conference on Semiconductor Photochemistry, Milano, Italy 10. – 15. 9. 2019.

Podíl na výsledcích: Do řešení problematiky jsou přímo zapojeni studenti PŘF UK a VŠChT. FZÚ a ÚFCH-JH spolupracují na výzkumu heteropřechodů křemíku a 2D nanostruktur a tenkých vrstev.

Perovskitové solární články (ÚFCH-JH, FZÚ, EPF Lausanne, FÚ SAV, ÚP SAV)

Vývoj elektrodových materiálů se soustředil na optimalizaci záporné elektrody. Zde je hlavním úkolem přesné nastavení pozice vodivostního pásu v použitém polovodivém materiálu, tj. TiO₂ a SnO₂. Nastavení je možné jednak volbou krystalové fáze u TiO₂ (anatas, rutil, popř. brookit), jednak krystalinitou, která se modifikuje teplotou kalcinace (v případě SnO–2). Těžištěm aktivit v roce 2019 bylo dokončení studie CuSCN jakožto nového nadějněho systému pro vodič děr v perovskitovém solárním článku. Tento materiál by mohl nahradit dosud používaný spiro-OMeTAD, který je nejen velmi drahý, ale též nestabilní. CuSCN je levný, avšak rovněž nestabilní, protože způsobuje korozi proudového kolektoru. Tento problém se podařilo do značné míry vyřešit přidáním stabilizační vrstvy redukovaného grafen-oxidu. Významně k tomu přispěla podrobná elektrochemická, fotoelektrochemická a spektroeletrochemická studie CuSCN vrstev na různých vodivých substrátech. Studie byla provedena ve spolupráci s partnery (FZÚ a EPF Lausanne). V roce 2019 byla dále zahájena spolupráce se slovenskými partnery (FÚ SAV a ÚP SAV) a s partnery z University of Seoul. Byla zaměřena na vývoj bezolovnatého perovskitu, resp. možnosti omezení obsahu olova v tomto materiálu; toxicita olova je nepochybně jeden z největších problémů perovskitové fotovoltaiky současnosti. Konkrétně se jednalo o efekt Pb(SCN)₂ na vlastnosti bezolovnatého perovskitu, CH(NH₂)₂SnI₃. Byl zjištěn víc než 5násobný nárůst účinnosti u optimalizovaného materiálu. Publikace na toto téma bude dokončena v r. 2020.

Komercializace perovskitové fotovoltaiky je prozatím globálně otevřená otázka vzhledem k nestabilitě a toxicitě těchto systémů. Proto budou kontakty s průmyslovými firmami prozatím zejména v režii zahraničních partnerů (EPF Lausanne, University of Seoul).

V rámci této aktivity se řešitelský tým spolupodílel na organizaci konference The 24th International Conference on Semiconductor Photocatalysis and Solar Energy Conversion (SPASEC-24) Niagara Fall, Canada, 14. – 17. 10. 2019.

Řešitelský tým se podílel na přípravě demonstrace perovskitové fotovoltaiky a elektrolýzy vody pomocí solárního tandemu Si-perovskit pro veřejnost v rámci oslav 50 let EPF Lausanne (spolupracující pracoviště) ve dnech 14. – 15. 9. 2019.

Konverze solární energie na elektrickou prostřednictvím nových konceptů na bázi křemíkové fotovoltaiky (ÚFCH JH, FZÚ, ÚCHP)

V rámci této aktivity byly podrobně zkoumány možnosti využití dvourozměrných (2D) materiálů v heterostrukturách s 3D substráty (zejména polovodiči: křemík atp., kovy: zlato, grafit) pro konverzi solární energie. Důraz byl kladen zejména na výzkum struktur připravitelných ve velké ploše, tj. použitelných v průmyslových aplikacích. Byl testován fotovoltaický článek grafen-Si s vybranými molekulárními mezifázemi. Časové testy ukazují uspokojivou stabilitu jeho PV charakteristik, v současné době probíhají testy procesů k vylepšení těchto charakteristik (pomocí zvyšování koncentrace náboje grafenu atp.). Dále jsou testovány další postupy přípravy mezifáze, která by umožnila přímé dopování grafenu. Dále byla rozvíjena invertovaná architektura Si-grafen článků, kde byla optimalizována metoda přípravy s ohledem na současnou maximalizaci vodivosti deponovaného Si a kvality grafenu. Výzkum heterostruktur byl dále rozšířen o MoS₂ na křemíku (p-n přechod) a Au (Schottkyho přechod). U těchto materiálů byl započat výzkum fotoelektrolytického vylučování vodíku. Spolupráce FZÚ v rámci konsorcia NextBase vedla k návrhu nového zařízení pro vizualizaci heterostruktur na povrchu pasivovaných křemíkových desek, které jsou základem pro články označované jako IBC SHJ, tedy v současnosti nejúčinnější typ křemíkových článků. Při prvním návrhu jsme využili také konzultace v ÚPT v Brně.

V druhé polovině listopadu bude uspořádán workshop za účasti Dr. Christopha Schnedermanna (Cambridge University), uznávaného světového odborníka v oblasti přenosu náboje.

Aktivita byla popularizována na ČRo Plus, pořad Ranní plus, 1. 2. 2019: Frank O. Bouša M. Reportáž o in-situ metodě pro výzkum fotoelektrolytického vylučování vodíku.

Více na <https://program.rozhlas.cz/zaznamy#/plus/2019-02-01>.

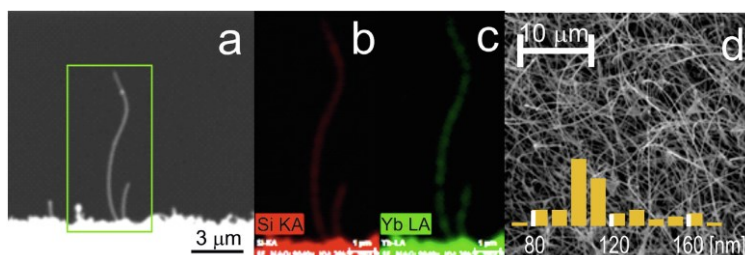
Výsledky byly publikovány v množství časopiseckých článků a zveřejněny formou několika popularizačních přednášek.

Příprava nanostruktur vhodných pro (foto)elektrochemické aplikace (ÚCHP, FZÚ)

V rámci této aktivity se řešitelský tým soustředil na dvě oblasti:

1) Nanostrukturované depozity oxynitridu molybdenu MoOxNy. Experimentální práce byly rozšířeny prací uvedených ve zprávě za r. 2018. Výsledky byly publikovány v prestižním časopise 1. kvartilu impaktu.

2) Příprava nanodrátů ze silicidu ytterbia SiYbx pomocí pulsní laserové ablace. Metodou pulsní laserové ablace byly připraveny nanodráty silicidu ytterbia SiYbx (obrázek). Tato standardní metoda byla rozšířena kvůli relaxaci ablaovaného materiálu vyhříváním v peci, v tomto případě až na 800 a 1000 °C. Složený rotující target ze Si a Yb byl střídavě ozařován ArF laserem v proudu inertního plynu Ar. Byla popsána struktura připravených nanodrátů a proměřeny elektrické vlastnosti. Práce byla publikována v impaktovaném časopise.



a) SEM obrázek SiYbx nanodrátu, b, c) EDX elementární analýza (Si, Yb) tohoto nanodrátu a d) SEM obrázek nanodrátového depozitu s histogramem distribuce tloušťek nanodrátů

V rámci této aktivity proběhl studijní pobyt (13. – 24. 5. 2019) dvou studentů ze střední školy (SPŠ Podskalská), kteří se seznámili s experimentální a analytickou technikou ve skupině a podíleli se na přípravných pracích na experimentech.

Technologie depozice katalytických vrstev pro vodíkový palivový článek pomocí jiskrového výboje (ÚT, FZÚ)

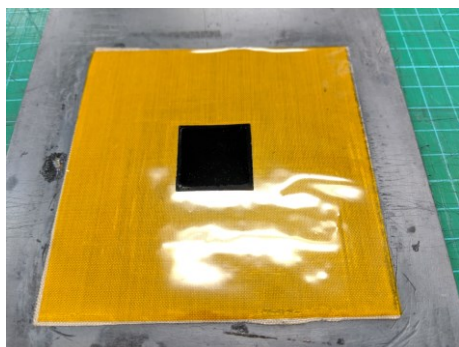
V rámci projektu jsou syntetizovány vlastní kovové nanostrukturní materiály, které lze využít jako **katalytické vrstvy pro konverzi energie** ve vodíkovém palivovém článku. Výzkum je zaměřen na katalytické vrstvy vodíkového palivového článku. Z důvodu nutnosti využívání drahých kovů (platina, ruthenium atd.) se jedná o jednu z nejnákladnějších součástí palivového článku. Výzkum má ambice zlevnit a zjednodušit výrobu katalytických vrstev a tím přispět k prosazení technologie vodíkového palivového článku do běžných energetických aplikací (záložní zdroje elektřiny, jednotky pro výrobu elektřiny a tepla v domácnostech, pohon elektrických vozidel).

Aktivita navazuje na předchozí dvě aktivity řešitelského týmu v rámci VP03: Výkonný generátor jiskrového výboje pro syntézu jemných práškových materiálů (2017) a Testovací sestava vodíkového palivového článku (2018). V roce 2017 jsme sestavili aparaturu využívající principu jiskrového výboje pro syntézu kovových nanomateriálů. Nanomateriály složené z drahých kovů (platina, iridium, případně jejich slitin s dalšími kovy) se využívají jako katalyzátory v nízkoteplotních vodíkových palivových článcích a elektrolyzérech (typu PEM – s polymerní elektrolytickou membránou). V roce 2018 jsme sestavili laboratorní vodíkový palivový článek, který umožňuje v reálném zatížení testovat hlavní, elektrochemicky aktivní část vodíkového palivového článku, tzv. MEA (membrane-electrode assembly – sestava membrány a elektrod). MEA se skládá z polymerní elektrolytické membrány umístěné mezi dvěma plošnými elektrodami s nanesenými katalytickými vrstvami. V laboratorním palivovém článku lze vyhodnocovat výkon MEA a sledovat její degradaci.

Příprava vzorků MEA

Pro nanášení katalytické vrstvy platinových nanočástic vytvořených pomocí jiskrového výboje (SDG) jsme sestavili jednoduchou depoziční celu připojenou na generátor jiskrového výboje. Katalytické vrstvy jsou nanášeny na difúzní vrstvu o aktivní ploše 5 cm^2 (tj. $23 \times 23\text{ mm}$) v různých množstvích od $0,08$ do $1,4\text{ mg}_{\text{Pt}}/\text{cm}^2$. Bylo vyrobeno 23 katalytických vrstev pro testování výkonu a vyladění procesu lisování MEA. Většina vzorků používala čistou platinu, ovšem experimentovali jsme i se slitinou platina/wolfram a s oxidem platiny.

Lisování vzorků MEA jsme provedli ve spolupráci s Industrial Technology Research Institute (ITRI, Tchaj-wan), v rámci zahraniční stáže hlavního řešitele projektu (projekty AV ČR pro spolupráci se státy jihovýchodní Asie). V ITRI bylo získáno know-how procesu lisování za tepla a byly testovány různé parametry lisování (tj. teplota, tlak, doba). Dále byly připraveny referenční vzorky MEA se standardní katalytickou vrstvou ($0,5\text{ mg}_{\text{Pt}}/\text{cm}^2$, blade coating) využívající standardní iontovodivou membránu Nafion HP.

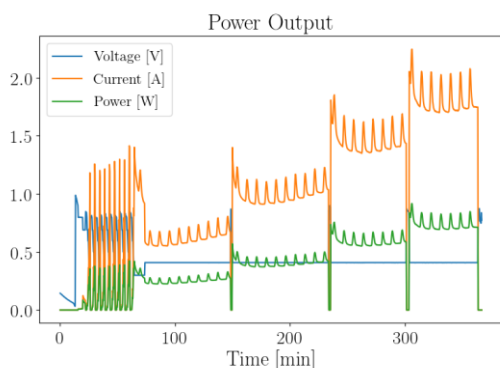


Obr. 1: MEA o aktivní ploše 5 cm^2 s katalytickou vrstvou vyrobenou pomocí jiskrového výboje připravená pro lisování za tepla.



Obr. 2: MEA hot-pressing – lisování za zvýšené teploty ($140\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Vzorky MEA jsme použili pro testování výkonu. Vzorky byly vloženy do testovací cely vodíkového článku a byla provedena standardní zahořovací procedura (MEA brake-in) pro oživení MEA a dosažení konstantního výkonu. SDG vzorky vykazovaly různé stupně výkonu, od velmi nízkého způsobeného poškozením MEA při výrobě, až po výkon na úrovni 85% výkonu referenčních MEA. Tento výsledek je velmi slibný, a po vyladění depozičního procesu a lisování MEA by mohl konkurovat současně používaným postupům.



Obr. 3: Průběh zvyšování výkonu MEA během break-in procedury.



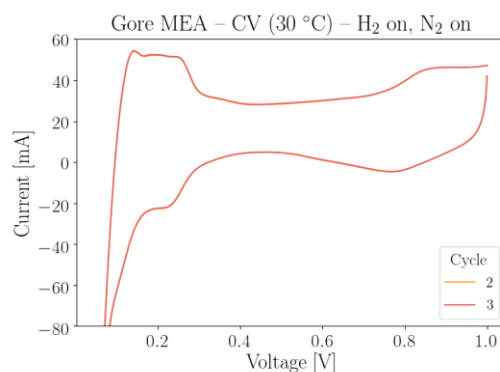
Obr. 4: Testovací ceta vodíkového palivového článku.

Měření elektrochemické aktivity nanomateriálů

Provedli jsme přípravu na měření elektrochemické aktivity pomocí rotační diskové elektrody. Z katalytického nanomateriálu vyrobeného pomocí jiskrového výboje byl připraven roztok vhodný pro nanosení na aktivní plochu diskové elektrody. První měření na RDE doposud neukázala jednoznačné výsledky. Procedura charakterizace pomocí RDE bude dále zpřesňována.



Obr. 5: Aktivní plocha rotační prstencové diskové elektrody s nanoseným roztokem platinových nanočástic před evaporací rozpouštědla.

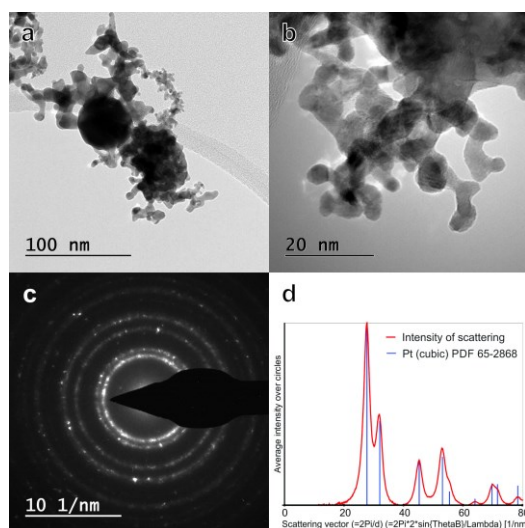


Obr. 6: In-situ cyklický voltamogram katody vodíkového palivového článku.

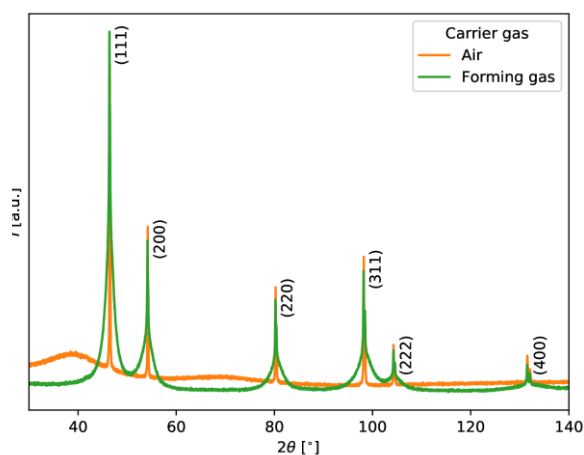
Dále jsme zkoumali metodu charakterizace elektrochemické aktivity využívající in-situ měření elektrochemicky aktivní plochy katalytické vrstvy pomocí cyklické voltametrie. Metoda byla úspěšně zvládnuta a umožnila získat další informace o aktivitě SDG katalytických vrstev a porovnat jejich chování s komerčně dostupnými materiály. Dále byly otestovány a provedeny analýzy lineární voltametrie pro zjištění průniku vodíku membránou palivového článku a diagnostikování porušení struktury membrány.

Charakterizace TEM a XRD

Vzorky nanomateriálů jsme průběžně analyzovali pomocí TEM a XRD. Tyto analýzy jsou nezastupitelné pro optimalizaci jiskrové syntézy. Elektronová mikroskopie umožnila zobrazit typické struktury nanomateriálu (aglomeráty nanočástic, solidifikované kapky uvolněné z elektrod, amorfni vs. krystalickou strukturu). Rentgenový rozptyl umožnil vyhodnotit podíl jednotlivých fází ve výsledném nanomateriálu a vliv přítomnosti kyslíku v nosném plynu na jiskrovou syntézu.



Obr. 7: TEM analýza platinového nanomateriálu.



Obr. 8: XRD rozlišení amorfního a krystalického nanoprášku.

Zahájili jsme charakterizaci pomocí skenovacího elektronového mikroskopu zaměřenou na zobrazení jednotlivých vrstev MEA. Řez skrze sendvičovou strukturu MEA, tj. plynově difúzní elektrody oddělené protonově vodivou membránou, umožní odhalit porušení struktury jednotlivých vrstev, a zkorelovat strukturální změny s poklesem výkonu katalytické vrstvy v důsledku zátěže. Degradační jevy v MEA souvisí s rozpouštěním katalytických nanočástic a depozicí materiálů v polymerní membráně (Pt-band), zvětšováním velikosti (Ostwald ripening) a agregací nanočástic, vznikem mechanických trhlin na rozhraní membrány a katalytické vrstvy, apod.

Výstupy:

- publikace v recenzním řízení - Tomáš Němec, Jiří Šonský, Jan Gruber, Esther de Prado, Jaroslav Kupčík, Mariana Klementová: Platinum and platinum oxide nanoparticles generated by unipolar spark discharge, Journal of Aerosol Science
- podání projektu do programu TAČR Delta2 – mezinárodní spolupráce na vývoji 30kW modelu vodíkového palivového článku (Development of high-performance catalyst materials and high-durability metallic plates for intelligent automated manufacturing of fuel cell stacks, spolupracující podniky – ÚJV Řež, Leadtech International Tchaj-wan, e-FORMULA Tchaj-wan)
- účast na veletrhu – demonstrace výroby nanočástic pomocí jiskrového výboje, Veletrh vědy 2019, PVA Praha Letňany, 5. 6. – 8. 6. 2019
- přednáška pro střední školu – Tomáš Němec: Výroba platinových nanočástic jiskřením a jejich využití pro vodíkové technologie, Gymnázium Jiřího Gutha-Jarkovského, Den vědy, 20. 5. 2019
- popularizační přednáška – Tomáš Němec: Jiskrový výboj – užitečný pomocník při výrobě nanočástic, Týden vědy a techniky AV ČR, 12. 11. 2019

Podíl na výsledcích: ÚT zajišťuje experimentální testování, zatímco FZÚ zajišťuje charakterizaci TEM a XRD nanomateriálů.

TÉMA 4: Skladování energie v setrvačnicích

Odpovědný řešitel: prof. Ing. Jaroslav Zapoměl, DrSc., Ústav termomechaniky AV ČR

Pracoviště AV ČR: ÚT, FZÚ

Spolupracující pracoviště: Ústav elektrotechniky SAV

Setrvačnickové akumulátory (ÚT, FZÚ, Ústav elektrotechniky SAV)

V roce 2019 byl připraven k testování koncepční návrh setrvačnickového zařízení se svislým rotorem zavěšeným v radiálních supravodivých ložiskách (obrázek). Hlavními částmi ložisek jsou vysokoteplotní supravodivé segmenty, které jsou uloženy v kontejnerech spojených se stacionární částí, a axiální permanentní magnety, které jsou nasazeny na hřídeli setrvačnicku. Ložiska jsou chlazena tekutým dusíkem a po jejich aktivaci vyvíjejí sílu působící mezi stacionární částí ložiska a rotorem nejenom v radiálním, ale i v axiálním směru, čímž umožňují levitaci setrvačnicku. Pro experimentální zařízení byla navržena a vyrobena nosná konstrukce, k níž jsou připojena ložiska. Její součástí je i posuvné zařízení, která umožňuje odpojení motoru po roztočení setrvačnicku, a soustava

rozvodu tekutého dusíku k dolnímu a hornímu ložisku. Po doplnění nosnou konstrukcí je zařízení připraveno k testování. Před započítím experimentů musí být ještě opatřeno tepelnou izolací.

Při návrhu, konstrukci a výrobě setrvačníků se supravodivými ložisky probíhala spolupráce s firmami CAN Superconductors (ČR) a MAG SOAR (Španělsko) navázaná v r. 2018.

Podíl na výsledcích: ÚT zajišťuje přípravu experimentů, konstrukční návrhy, přípravu výroby, realizaci experimentů, vyhodnocování výsledků, FZÚ zajišťuje konzultace v experimentální oblasti a Ústav elektrotechniky SAV konzultace v teoretické oblasti.

Mezinárodní kolokvium Dynamika strojů a mechanických systémů s interakcemi 2019 (DYNAMESI) (ÚT)

Kolokvium DYNAMESI se konalo v polském Krakově ve dnech 5. – 6. března 2019 a bylo pořádáno společně s Krakovskou polytechnikou (Cracow University of Technology). Kolokvium bylo zaměřeno na témata, která jsou relevantní pro výzkum mechanických částí setrvačníků pro skladování energie, jako je kmitání dynamických systémů, mechanické systémy se zpětnými vazbami, aero- a hydroelastické problémy v rotačních strojích, nelineární systémy, stabilita, bifurkace, chaos, identifikační metody, vibrodiagnostika. Kolokvia bylo se zúčastnilo přibližně 30 odborníků.

TÉMA 5: Skladování tepelné energie

Odpovědný řešitel: Ing. Jan Hrubý, CSc., Ústav termomechaniky AV ČR

Pracoviště AV ČR: ÚT, ÚCHP, FZÚ

Rozvoj Společné laboratoře skladování energie (ÚT, ÚCHP)

Společná laboratoř skladování energie ÚCHP a ÚT byla založena v roce 2015 jako interdisciplinární pracoviště výzkumu a implementace skladování tepelné energie jako významného faktoru pro snížení spotřeby primární energie a lepší využití intermitentních obnovitelných zdrojů. Postupně byla infrastrukturně vybavena z prostředků VP03.

V roce 2019 byl předmětem řešení výzkum látek vhodných pro skladování tepelné energie, metod stanovení jejich termofyzikálních vlastností a souvisejících procesů sdílení tepla a hmoty. Látky pro skladování tepelné energie byly studovány jak látky využívající latentního tepla (materiály s fázovou přeměnou), tak látky využívající tepla citelného (teplosměnné kapaliny s dostatečně velkou tepelnou kapacitou a energetickou hustotou). Byly studovány dvě sady iontových kapalin s imidazoliovým kationtem, u nichž se pro skladování tepelné energie předpokládá aplikační potenciál.

Současně bylo vybudováno zařízení pro integrální charakterizaci vlastností pracovních látek pro přenos tepelné energie (např. mezi solárním panelem a akumulátorem tepelné energie). Výhodnost

určité teplosměnné látky je dána souhrnem vlastností (tepelná vodivost, viskozita, tepelná kapacita) a jejich teplotních závislostí. Protože měření individuálních vlastností je zatíženo nezanedbatelnými chybami a modely přestupu tepla obsahují empirické vztahy s významnými nejistotami, jeví se jako vhodné řešení testování vhodnosti látek tepelný okruh, který principiálně odpovídá aplikaci a přitom je velmi dobře definovaný na základě použitých geometrií a přesného měření. Navržený měřicí okruh se skládá ze dvou měřících výměníků, čerpadla a kompenzačního výměníku, který odvádí teplo disipované čerpadlem. Okruh je vybaven přesným měřením tlaku, teploty a průtoku.

Poznatky získané v předchozích letech řešení aktivity v rámci VP03 a vybudované vybavení umožnilo řešitelskému týmu realizovat hospodářskou smlouvu o výzkumu nových nátěrových látek s tepelně izolačními a akumulačními vlastnostmi. Řešitelský tým ÚCHP a ÚT společně s ČVUT FJFI/FS a ČVUT FS také připravil návrh projektu „Komplexní přístup ke skladování tepelné energie: od laboratorních experimentů po energetickou simulaci budov“ (GAČR).

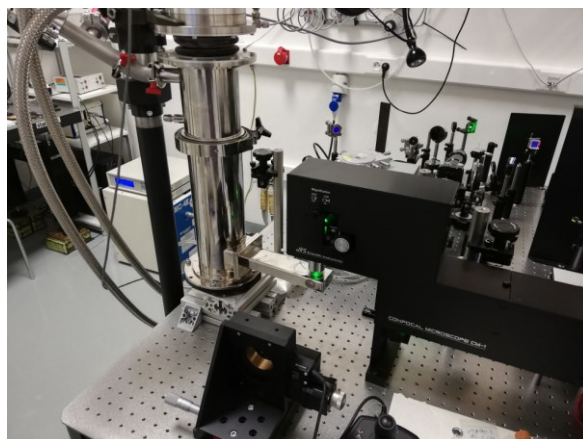
Výsledky letošních prací budou do konce roku prezentovány na workshopu „Rozvoj Společné laboratoře skladování energie“ v ÚCHP.

Podíl na výsledcích: ÚCHP provedlo studium konkrétních látek vhodných pro skladování tepelné energie, ÚT návrh a výrobu zařízení pro integrální charakterizaci vlastností pracovních látek pro přenos tepelné energie.

Rozvoj metodiky charakterizace materiálů pro energy harvesting (ÚT, FZÚ)

Přeměna odpadních forem energie mechanických systémů (teplo, vibrace) na zpětně využitelnou elektrickou energii patří mezi hlavní trendy vývoje energeticky úsporných součástek a zařízení. K získání elektrické energie z vibrací se nejčastěji využívají piezoelektrické materiály na bázi PZT. Jejich použití je však omezeno kvůli nízké hodnotě piezoelektrických koeficientů do 400 pC/N. Objev piezoelektrických monokrystalů na bázi relaxorů a feroelektrik s až 2 500 pC/N může situaci změnit. Tenké filmy a nanostrukturované materiály na jejich bázi by mohly výrazně zefektivnit energy harvesting z vibrací, což povede k rozvoji nových, energeticky úsporných technologií.

K pochopení fungování těchto nových materiálů je klíčové jejich studium za extrémně nízkých teplot, kdy lze izolovaně studovat vibrační módy takzvaných polárních nanooblastí. Zůstává také nevyjasněna role feroelektrických doménových stěn. V rámci této aktivity byla v ÚT navržena sestava spojující aparaturu Brillouinovy spektroskopie (BS) umožňující studovat vibrační módy s heliovým kryostatem (viz obrázek). Vzniklé zařízení bude využito k charakterizaci tenkých vrstev a nanostruktur z relaxorových



materiálů vyvíjených v Oddělení dielektrik FZÚ. Aparatura bude využita k prezentaci vědecké veřejnosti a soukromému sektoru.

Na nové aparatuře úspěšně proběhly testy na známých materiálech za pokojové teploty a od počátku září probíhají testy za extrémně nízkých teplot. Podařilo se získat stabilní záznamy Brillouinových spekter za teplot až do 60 K na vzorku křemenného skla. Jako vhodný modelový materiál bylo vytipováno perovskitové piezoelektrikum o složení $\text{Pb}(\text{Zn}/\text{Nb}/\text{Ti})\text{O}_3$.

V následujících měsících proběhne dovybavení aparatury a budou zahájena společná měření ÚT a FZÚ. Po úspěšném ověření na širším spektru látek bude aparatura představena zástupcům firmy Tesla Blatná a.s. pro možné komerční využití. Výsledky společných měření budou publikovány.

TÉMA 6: Zvyšování účinnosti elektráren

Odpovědný řešitel: Ing. Jan Hrubý, CSc., Ústav termomechaniky AV ČR

Pracoviště AV ČR: ÚT, ÚI

Vibrodiagnostika oběžných lopatek točivých strojů v energetice (ÚT, ÚI)

Cílem aktivity je zvýšení spolehlivosti provozu parních turbín s využitím vibrodiagnostiky oběžných lopatek jejich nízkotlakých stupňů. Aktivita propojuje vědecké oblasti elektrotechniky, mechatroniky, mechaniky a matematické statistiky. Je pokračováním aktivit z předchozích let, kdy umožnila ustanovit velice úzkou a efektivní spolupráci mezi ÚT a ÚI. ÚT se zabývá výzkumem a vývojem měřicích systémů pro vibrodiagnostiku a zajišťuje získávání experimentálních dat pro matematické modelování a zpracování. ÚI se zabývá modelováním procesů a netradičními metodami zpracování dat se zaměřením na statistiku a korelační analýzu.

V roce 2019 byl vypracován bazální matematický model pro simulaci základních tvarů vibrací lopatkového kola turbíny za provozu. Model byl rozšířen o funkce přesněji zohledňující nestability otáčení rotoru kola. Proběhlo experimentální ověření funkcí modelu a porovnání deterministických a statistických metod pro různé otáčky a referenční signály. Byla vypracována nová metoda zpracování experimentálních dat založená na kombinaci vyhlazení signálu a následné aproximaci. Tento postup dovoluje definovat funkci nestability v širokém rozsahu frekvencí otáčení, přičemž čas výpočtu je o řád kratší ve srovnání s FFT. Statistickými metodami byla studována hypotéza časové variability studovaných procesů. Bylo zformulováno zobecnění GAM modelu pro časově-proměnlivé komponenty spektra získaného z vibrodiagnostických dat. Metoda s několika senzory dovoluje navýšení Nyquistovy meze oproti jednoduchému vzorkování. Použitý přístup se ukázal jako velice efektivní způsob hodnocení podstaty těchto procesů. Dosažené výsledky byly publikovány v časopisech.

Pokračoval také výzkum a vývoj nových senzorů a metod bezkontaktního snímání výchylek bandážovaných lopatek se zaměřením na zvýšení citlivosti senzorů při nestacionárních režimech. Pro tento účel budou teoreticky a experimentálně řešeny možnosti kombinovaného elektromagnetického principu snímání vibrací lopatek při nízkých i vysokých rychlostech. Toto řešení je novým principem a vykazuje za určitých podmínek dobré vlastnosti. Jako nevýhoda se ukazuje zvýšená citlivost vůči rušivým signálům. Byl vyroben funkční vzorek zařízení pro sběr a ukládání vibrodiagnostických dat se dvěma měřicími kanály. Zařízení bylo ověřeno v laboratorních podmínkách na modelovém lopatkovém kole. Práce budou pokračovat i v roce 2020.



V rámci aktivity byla také provedena úprava a optimalizace části systému pro synchronizaci časových měření. Ve spolupráci s dodavatelem technologie modelového zkušebního kola byla provedena údržba zařízení.

Řešitelský tým získal společný projekt **Horizon 2020** s University of Manchester a EMTD Ltd. (Spojené království) s názvem „Blade Tip Timing System Validator“ (BATISTA), č. 862034 (<https://cordis.europa.eu/project/rcn/224434/factsheet/en>), zaměřený na verifikaci diagnostických systémů vibrací lopatek za rotace. Projekt byl přijat Evropskou komisí pro řešení v letech 2019–2021.

Při řešení aktivity probíhala vědecká spolupráce s FEL ČVUT, University of Manchester, Imperial College London, Università di Perugia a Università di Torino. Nově byla navázána spolupráce se School of Industrial Engineering, Polytechnic University of Catalonia. Společně s Università di Perugia

a Università di Torino byly zahájeny přípravy projektu Evropské komise pro vytvoření sítě **ETN (European Training Network)** vzdělávání studentů doktorandského studia.

Kromě publikací v impaktovaných časopisech byl v r. 2018 získán patent, který nebyl zmíněn ve zprávě za r. 2018. Byly také podány přihlášky 2 dalších patentů a vypracovány dvě výzkumné zprávy. Dosažené výsledky budou veřejnosti popularizovány při Dnech otevřených dveří.

Komericializace výsledků probíhá na základě spolupráce s výrobcem turbín Doosan Škoda Power. Předchozí verze vibrodiagnostických zařízení byly komerčně uplatněny a úspěšně ověřeny na elektrárnách Temelín, Pruněrov a Počerady. V roce 2018 byl úspěšně ověřen snímací systém dodaný ÚT AVČR pro parní turbínu na Martiniku (nebylo zahrnuto do průběžné zprávy za r. 2018).

Podíl na výsledcích: ÚT zajišťuje výzkum a vývoj senzorů, elektroniky, měřicích metod, ÚI zajišťuje výzkum a vývoj matematických metod a matematické modelování systémů se zaměřením na statistické zpracování informace.

Statistický odhad nejistoty v termodynamických výpočtech pro energetické aplikace (ÚT, ÚI)

V rámci této aktivity je vyvíjena metodika odhadu nepřesností matematických modelů termofyzikálních vlastností. Tyto modely jsou úhelným kamenem technologií v energetice, jak v tepelných elektrárnách, tak pro ukládání tepelné energie, a dále pro energeticky náročné technologie jako chlazení a klimatizace nebo chemická výroba. Aktivita spojuje kompetence ÚI v oboru matematické statistiky a kompetence ÚT v oboru vývoje matematických modelů termofyzikálních vlastností. Cílem je vytvoření nástroje pro odhad nejistot veličin vypočtených z těchto modelů. Motivace pochází z potřeb Mezinárodní asociace pro vlastnosti vody vodní páry (IAPWS), aktivita ale má významně širší záběr, a to jak v rozměru základního výzkumu, kde jde o vývoj metodiky pro spolehlivý odhad nejistot termofyzikálních vlastností vypočtených z fenomenologických modelů, tak rozměr aplikační, kde odvození vztahů pro konkrétní případ umožní praktické využití nejistot v návrhu průmyslových zařízení.

V roce 2019 probíhal vývoj statistického modelu s náhodnými efekty jako formalizovaného nástroje pro praktický odhad nejistot. V návaznosti na experimentální výzkum a fenomenologické modelování termofyzikálních vlastností v ÚT a s využitím statistického aparátu vyvíjeného v ÚI byly zkoumány složitější případy strukturovaných dat, kdy při odhadu výsledné nejistoty je třeba pracovat jak s rozptylovými charakteristikami dat, tak s apriori informacemi vycházejícími z matematického modelu experimentu a teorie šíření chyb.

Problematika termofyzikálních vlastností je řešena i na jiných pracovištích AV ČR. Pro zlepšení vzájemné informovanosti a vznik možných synergických efektů se v listopadu 2019 uskutečnil workshop na toto téma.

Seminář Aerodynamika vysokých rychlostí (ÚT)

Seminář je platformou pro setkávání výzkumných a vývojových pracovníků z akademické sféry (ČVUT, TUL, ÚT, ZČU, VZLÚ, ÚJV Řež) a výrobní sféry (Doosan Škoda Power, Howden ČKD Compressors, ZVVZ Milevsko, TechSoft Eng. s.r.o., PBS Energo, PBS Turbo) v oboru lopatkových strojů. Workshop byl zaměřen na problematiku proudění stlačitelné tekutiny v parních turbínách a ventilech a v kompresorech a zúčastnilo se ho celkem 102 účastníků.

Workshop Improving Efficiency of Power Engineering Machines (ÚT)

Workshop zaměřený na zvyšování účinnosti energetických strojů byl uspořádán jako samostatná aktivita v rámci konference „Power System Engineering, Thermodynamics & Fluid Mechanics – 2019“ ve dnech 11. - 13. 6. 2019. Akce se účastnilo 47 účastníků, z toho 15 ze zahraničí. Významná byla také účast pracovníků Doosan Škoda Power a Škoda JS. Sborník bude publikován ve Web of Science.