

TECHNICAL[®]

ČTVRTLETNÍK ČESKÉHO VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V PRAZE PODZIM 2021



DevOps nástroje a mnoho dalších

Java

C++

containers (kubernetes)

Java

cloud
(AWS,
Azure)

Python Go

containers
(kubernetes)

“ Pure Storage doporučuji všem ambiciózním studentům, kteří by rádi zjistili jaká je firemní kultura v úspěšném kalifornském startupu. V Pure Storage mají studenti možnost se podílet mimo jiné na vývoji nových funkcí pro produkty **FlashArray** a **FlashBlade** jako i nové generace flashových úložišť a navazujících cloudových služeb. Dle mého názoru je práce v Pure Storage na začátku kariéry pro studenty unikátní příležitostí k získání zkušeností s vývojem softwaru v nadnárodním prostředí s mimořádně talentovanými kolegy z celého světa. ”

Martin Vojtek

Koho hledáme?

- studenty (part time), čerstvé absolventy, od juniorních až po seniorní profily
- kolegyně a kolegyne jsou nejen z ČR ale i ze světa:)

Modern Data Experience

- Silicon Valley společnost v Praze
- největší R&D centrum mimo USA
- naše vlastní inovativní hardware produkty, vlastní software i operační systém
- in house projekty
- SW Academy
- moderní office přímo v Karlíně

Chceš se dozvědět
více či se rovnou přihlásit?

Napiš Lukášovi na
lmendel@purestorage.com



PURESTORAGE®

doc. RNDr. VOJTĚCH PETRÁČEK, CSc.
Vojtech.Petracek@cvut.cz



Vážené čtenářky, vážení čtenáři,

držíte v rukou další vydání časopisu TecniCall, jehož tématem je energetika. Oblast, která byla po dlouhá léta navázána především na nerostné suroviny a fosilní paliva, se od druhé poloviny dvacátého století mění v dynamické a velmi diskutované odvětví napojené na světovou ekonomiku. Spolehlivá energetika je přitom nezbytnou podmínkou existence moderní společnosti.

Aktuálně stojíme před klíčovými výzvami, jakými jsou zelená energie, elektromobilita, skladování energie nebo přestup od klasických zdrojů

k obnovitelným. S tím je spojené například úskalí nerovnoměrného zatížení distribuční soustavy a hrozba blackoutu. To s sebou samozřejmě nese celou řadu otázek, na které se někteří naši odborníci z ČVUT snaží najít odpověď, například v rozhovoru profesor Petr Páta, děkan Fakulty elektrotechnické.

Hned několik pracovišť ČVUT je součástí Národního centra pro energetiku, tudíž i z této strany máme unikátní šanci ovlivnit budoucí vývoj. Záběr projektů řešených na našich pracovištích je opravdu široký, jako příklad uvedu spalování biomasy, využití vyřazených baterií, energetickou flexibilitu, fúzní elektrárnu nebo mikro reaktor. Tato témata ale musíme řešit s ohledem na zachování energetické bezpečnosti, která jde ruku v ruce s fungováním kritické infrastruktury. Zajímavý je také pohled na to, kolik různých odvětví energetika spojuje, ať už jde o techniku a technologii, ekonomiku či ekologii.

Výhodou technické univerzity je, že na definování nových témat spojených s energetikou se podílí také špičkoví odborníci z praxe, kteří mohou měnit nahlížení na tuto problematiku a mohou naše studenty naučit, jak k novým výzvám operativně a efektivně přistupovat. Spolupráce probíhá ale i na institucionální úrovni, například připojením ČVUT k alianci EuroTeQ, která vznikla v loňském listopadu a tvoří ji šest evropských univerzit a více než čtyřicet průmyslových partnerů.

Doufám, že vás naše projekty, které vám představujeme a které přesahují do budoucnosti, zaujmou a že se s výstupy některých z nich již brzy setkáte v běžném životě.

doc. RNDr. Vojtěch Petráček, CSc.
rektor ČVUT v Praze



TecniCall podzim / 2021
Časopis pro spolupráci vědy a praxe

Vydavatel:
Rektorát ČVUT
Jugoslávských partyzánů 1580/3, 166 36
Praha 6
IČ: 68407700

www.cvut.cz / tecnicall@cvut.cz

Vydání: podzim 2021

Periodicita: čtvrtletník
Náklad: 3 000 ks / cena: zdarma
Evidenční číslo: MK ČR E 17564
ISSN 1805-1030

Šéfredaktorka
Mgr. Andrea Vondráková

Editorka
PhDr. Vladimíra Kučerová

Spolupracovníci z ČVUT
Fakulta stavební
Ing. Marie Gallová
marie.gallova@fsv.cvut.cz

Fakulta strojní
PhDr. Ladislav Lašek
Ladislav.Lasek@fsf.cvut.cz

Fakulta elektrotechnická
Ing. Mgr. Radovan Suk
sukradov@fel.cvut.cz

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Eva Prostějovská
eva.prostejovska@jfifi.cvut.cz

Fakulta architektury
Ing. arch. Jan Jakub Tesař, Ph.D.
tesarjan@fa.cvut.cz

Fakulta dopravní
doc. Ing. Zdeněk Lokaj, Ph.D.
lokaj@fd.cvut.cz

Fakulta biomedicínského inženýrství
Ing. Ida Skopalová
skopalova@fbmi.cvut.cz

Fakulta informačních technologií
Bc. Veronika Dvořáková
veronika.dvorakova@fit.cvut.cz

Design
Michaela Kubátová Petrová,
Lenka Klimtová / Nakladatelství ČVUT

Inzerce
Ing. Ilona Prausová
ilona.prausova@cvut.cz

Distribuce
ČVUT v Praze

Fotograf
Bc. Jiří Rysawy,
Výpočetní a informační centrum ČVUT
jiiri.rysawy@cvut.cz

Tisk
Grafotechna Plus, s. r. o.

Titulní strana:
Danchez DRAWetc. graphic atelier

Toto číslo bylo připraveno ve spolupráci
s Nakladatelstvím ČVUT.
Přetisk článků je možný pouze se souhlasem
redakce a s uvedením zdroje.

Z obsahu

- | | | | |
|--|----|---|----|
| > Národní kvantová infrastruktura | 2 | > Smart Grid Provázanost výroby a spotřeby energie | 22 |
| > Na mušce elektřina i prostředí
Zapojení ČVUT v Národním centru pro energetiku | 5 | > Optimalizace pro elektroenergetiku | 23 |
| > Energetika dominuje byznysu i každodennímu životu | 6 | > TEPLATOR Česká odpověď na European Green Deal | 24 |
| > Nový solární boom? Laboratoř diagnostiky
fotovoltaických systémů | 8 | > Udržitelné teplárenství Akumulace energie v solích | 27 |
| > Modelování rušivého světla | 9 | > Pokročilá jaderná paliva se zvýšenou bezpečností | 28 |
| > Mikroelektrárna WAVE | 10 | > Oxyfuel spalování Matematické modelování
a počítačové simulace | 30 |
| > Bio-CCS/U Centrum nízkouhlíkových
energetických technologií | 12 | > Gama spektrometrie K měření kontaminace
radioaktivními látkami se využívá i dron | 31 |
| > Od dřeva k rostlinné peletě | 13 | > Laboratoře bezpečnosti jaderných zařízení | 32 |
| > Fúzní elektrárna DEMO Model tepelných oběhů
termojaderné elektrárny | 14 | > Dispečerský trenažér | 35 |
| > Sušení biomasy pro energetické využití | 16 | > Blackout!? Zvládání rozsáhlých
výpadků dodávek elektrické energie | 36 |
| > Záchyt rtuti ve spalínách | 17 | > PROTUR Odvalovací vodní turbína uvedena
do praxe | 39 |
| > Ukládání energie Stlačování CO ₂ do solných jeskyní | 18 | > Vylepšená vrtulová vodní turbína | 40 |
| > Vývoj mikro reaktoru EnergyWell | 19 | > Pitná voda jako zdroj čisté energie | 41 |
| > Využití vyřazených baterií Projekt pro udržování
stability přenosové soustavy | 20 | > Studenti staví formuli na vodík | 42 |
| | | > C-ROADS Propojení vozidel na dálnicích i ve městech | 43 |

Národní kvantová infrastruktura

Českou Národní kvantovou infrastrukturu s napojeními na Německo, Rakousko, Slovensko a Polsko buduje pro Česko konsorcium Cybersecurity hubu, z. ú., Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze (FJFI), Fakulty informatiky Masarykovy univerzity, Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci a IT4Innovations Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava.

Národní kvantová infrastruktura, vybudovaná díky expertize zmíněných univerzit, propojí především organizace zajišťující kritickou infrastrukturu státu – hned v počátku se počítá s napojením Národního úřadu pro kybernetickou a informační bezpečnost, Ministerstva vnitra ČR, Ministerstva obrany ČR, Správy železnic, obou českých jaderných elektráren, klíčových nemocnic a vybraných dalších institucí.

„Jedná se o zdaleka nejkomplexnější projekt v kvantové komunikaci v České republice a je výrazným vyvrcholením předchozích desítek let výzkumných, vývojových a testovacích aktivit, které byly nebo jsou doposud u nás realizovány. I proto se jej účastní nejprestižnější pracoviště v tomto oboru, která v ČR jsou. Tato pracoviště nejenom rozvíjí špičkový výzkum v oblasti kvantových technologií, ale i vychovávají pro tuto oblast studenty,“ říká doc. Vojtěch Petráček, rektor ČVUT v Praze.

„Těší mě, že v rámci tohoto významného kroku ČR spojují své síly největší kapacity v oblasti kvantových sítí a kvantové informatiky. Česko může stavět na vysokém renomé základního výzkumu v oblasti kvantových technologií,“ doplňuje prof. Igor Jex, děkan FJFI a jeden z předních světových odborníků kvantové komunikace, který je mimo jiné členem strategického poradního sboru evropského výzkumného konsorcia QuantERA.

(red)



Robotické drony pomáhají mapovat historické objekty

Korunovační sál zámku v Kroměříži, kostely sv. Mořice v Olomouci a sv. Mikuláše v Praze či grotta v polském Gorzanowě, to jsou jen některé z památek, jejichž interiéry v uplynulých čtyřech letech prozkoumaly bezpilotní helikoptéry s palubní inteligencí neboli robotické drony. Skupina Multirobotických systémů z Fakulty elektrotechnické ČVUT vedená doc. Martinem Saskou během této doby v jejich vývoji významně pokročila: ty současné se dokáží v interiérech objektů pohybovat autonomně po předem určené bezpečné trase a přitom reagovat na neočekávané překážky. Jde o světově unikátní projekt pod názvem Dronument, kdy technologie zaznamenává vzácné historické hodnoty a pomáhá památkářům při jejich restaurování.

Skupina spolupracujících dronů létá plně autonomně, takže není potřeba operátor nebo pilot, který by je ze země řídil. Ačkoli jsou robotické drony už poměrně rozšířenou technologií pro mapování exteriérů historických objektů, k autonomnímu zkoumání jejich interiéru je podle dostupných informací českých památkářů ve světě využívá pouze tým doc. Sasky.

(red) foto: Petr Neugebauer, Fakulta elektrotechnická ČVUT



TERESA pomůže pacientům po covid-19

Týmy odborníků z ČVUT v Praze, Fakultní nemocnice Hradec Králové, Univerzity Palackého v Olomouci a Univerzity obrany spolupracují na unikátním projektu TERESA (TEleREhabilitation Self-training Assistant), který umožní rehabilitaci pacientů s přetrvávajícími následky po prodělaném onemocnění covid-19 v domácím prostředí. Současně budou mít pacienti možnost díky fitness náramkům sdílet s lékaři data o své fyzické aktivitě. Systém by v budoucnu mohli využívat i lidé s jinými plicními onemocněními.

(red) foto: Rektorát ČVUT v Praze

Na krkonošském hřebeni zaparkoval Piškot

Krkonoše mají nový informační kiosek. Objekt, jehož organický tvar připomíná oblíbený cukrářský pamlskek, navrhli a postavili studenti Fakulty architektury ČVUT v Praze. Od začátku letních prázdnin stojí na Zlatém návrší.

Piškot je minimální mobilní informační stánek, který může Správa KRMAP využívat pro informační servis a zázemí vysoko v horách. Na Zlatém návrší nedaleko Vrbatovy boudy nahradil původní kiosek, který zničila dřevomorka. Bude zde do doby, než se postaví stálé infocentrum. Na návrzích kiosku začali studenti pracovat v červenci 2019 během letní školy stavění organizované ateliérem Seho–Poláček. Stavbu realizovali přímo v Krkonoších, v areálu Dřevovýroby Správy KRMAP v Mladých Bucích, kde jim s ní pomáhali profesionální řemeslníci.

(red) foto: Martin Čeněk, Fakulta architektury ČVUT



Ing. arch. ZDENĚK RUDOVSKÝ, Ph.D.
Zdenek.Rudovsky@cvut.cz

BIM standard ČVUT

Efektivita ve stavebnictví, na rozdíl od mnoha jiných průmyslových oborů, nevzrůstá. Zvyšování efektivity v průmyslu je podmíněno digitalizací. Synonymem pro digitalizaci ve stavebnictví se stal výraz „BIM“. BIMLab (bim.cvut.cz) v rámci Odboru výstavby a investiční činnosti Rektorátu ČVUT v Praze úspěšně aplikuje svůj standard pro digitalizaci ve stavebních zakázkách.

BIM můžeme chápat jako způsob řízení výstavbového projektu (Building Information Management) s využitím digitálních nástrojů a za vzniku digitálního prototypu stavby – modelu BIM (Building Information Model).

BIM se u nás skloňuje již dlouho, pořádají se o něm konference, existují lobbistické organizace pro BIM a dokonce je několik let zřízena vládní agentura, která má tento model v ČR zavést. Slibovanými přínosy jsou kvalitnější projekty, úspory nákladů a času. To vše zní jako výborná zpráva pro zadavatele stavebních zakázek. Realita je však zcela odlišná.

Je nepopíratelné, že některé strany stavebních projektů již BIM model s výhodou využívají. Projektanti rychleji tisknou výkresy a výkazy množství. Subdodavatelé ocelových konstrukcí si pomocí modelů BIM připravují výrobu dílů. Mohli bychom pokračovat v tom, kdo a do jaké míry využívá digitalizaci ve stavebnictví ve svůj prospěch. V těchto případech se ale stále nejedná o BIM projekty. Byť jsou vytvářeny digitální data (modely BIM), nejsou mezi stranami stavebního projektu sdílena, nemají stejnou strukturu a výhoda digitalizace je tak nepřenositelná na další strany zapojené v projektu.

Tím méně je tato výhoda přenositelná na zadavatele. Přitom právě on drží klíče k odemknutí potenciálu digitalizace ve svůj prospěch. Jak? Nastavením svého BIM standardu.

BIMLab (bim.cvut.cz) na Odboru výstavby a investiční činnosti Rektorátu ČVUT v Praze vyvinul standard digitalizace, který umožňuje realizaci skutečného BIM projektu. Nastavuje pravidla tak, aby výhody využití BIM byly sdíleny a v první řadě byly adresovány zadavateli. Ukázalo se, že na ČVUT vyvinutý standard nakonec usnadnil práci i ostatním stranám projektu, aniž by to byl primární záměr.

BIM standard ČVUT je tak postupně přebírán ostatními zadavateli i zhotoviteli a jeho principy jsou aplikovány v řadě zakázek. Vedle několika veřejných zadavatelů je BIM standard ČVUT přímo využíván i společností Elektrárna Dukovany II, a. s.

Co je klíčem úspěchu BIM standardu ČVUT?

- 1) měřitelné cíle zavedení digitalizace u každého projektu
- 2) důsledné využití otevřených formátů IFC a BCF
- 3) jednoznačný popis kvality digitálního prototypu stavby – modelu BIM
- 4) průběžná kontrola kvality modelu pomocí specializovaných nástrojů
- 5) využití digitálních informací všemi stranami zapojenými v projektu

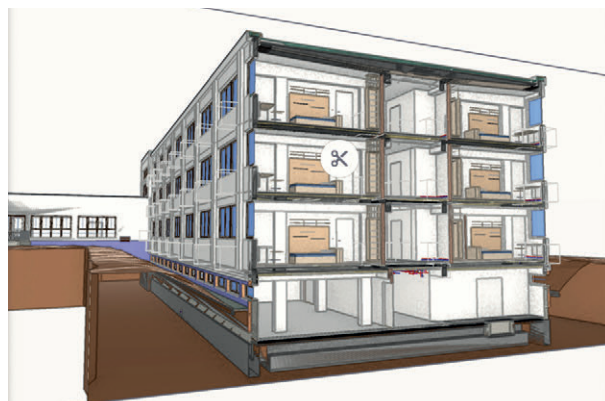
Dodržení těchto principů v důsledku naplno odemklo potenciál digitalizace ve stavebních projektech. Umožnilo praktické využití moderních technologií (virtuální a rozšířené reality, cloudových řešení, mobilních aplikací atd.), zefektivnilo komunikaci v rámci stavebního projektu, skokově zvýšilo kvalitu návrhu a zprůhlednilo investiční náklady.

V neposlední řadě vrátilo otěže řízení projektu plně zpět zadavateli.

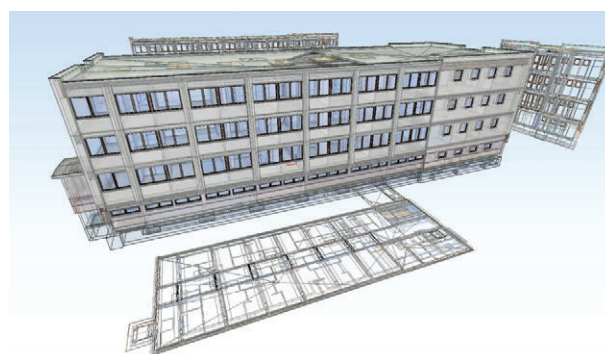
autor: Zdeněk Rudovský



Využití rozšířené reality při technické revizi návrhu
(foto: Zdeněk Rudovský)



Model BIM ve sdíleném datovém prostředí



Pilotní projekt rekonstrukce kolejí Strahov, blok 12

BIM standard ČVUT využívá Elektrárna Dukovany II, a. s. BIMLab (bim.cvut.cz) v rámci Odboru výstavby a investiční činnosti Rektorátu ČVUT v Praze úspěšně aplikuje svůj standard pro digitalizaci ve stavebních zakázkách.

Energetika

Jaké novinky, které vylepšují výrobu, přenos či skladování elektriny a související oblasti vyvíjejí vědci na ČVUT? V tématu čísla prezentujeme alespoň vybrané projekty jednotlivých fakult a vysokoškolských ústavů, které přinášejí zajímavá řešení, jakým je například využití použitých baterií z elektromobilů pro velkokapacitní bateriová úložiště energie...

Na mušce elektřina i prostředí

Zapojení ČVUT v Národním centru pro energetiku

Národní centra kompetence, program Technologické agentury ČR, cílí na podporu dlouhodobé spolupráce v rovině aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací mezi předními výzkumnými organizacemi a hlavními aplikačními subjekty v řadě oborů národního hospodářství. Za podpory programu vzniklo Národní centrum pro energetiku, do jehož projektů je aktivně zapojeno také několik pracovišť ČVUT.

Na Fakultě strojní (FS) byla v úzké spolupráci s Doosan Škoda Power, s. r. o., řešena problematika ventilačních režimů posledních stupňů parních turbín při nenávrhových velmi nízkých výkonech. Tyto provozní režimy jsou spjaty s řadou nepříznivých jevů, např. s nárůstem teploty páry a materiálu nad přípustné meze a s erozí odtokových hran lopatek, které negativně ovlivňují účinnost a spolehlivost turbín. Kombinací cílených laboratorních experimentů a měření na díle s numerickými simulacemi byly získány unikátní poznatky a připraveny podklady, které dále umožní vytvořit metodiku efektivního modelování ventilačních provozních režimů ve stávajících i v nově navrhovaných turbínách. Zároveň byla vyvinuta instrumentace pro výzkum rozměrové struktury erozní aktivních kapek v průtočné části turbín.

Další z významných oblastí je snižování dopadů výroby elektřiny a tepla z uhlí na životní prostředí. Nové je zaměření na speciální znečišťující látky, kterým dosud není věnována velká pozornost, ale přesto je potřeba jejich emise vzhledem k negativní zátěži ovzduší snižovat. Jednou z těchto látek je rtuť. Výzkumné aktivity na FS zahrnují vývoj a experimentální testování speciálních sorbentů, které umožní rtuť zachycovat. Dalšími polutanty, kterým se tým FS intenzivně věnuje, jsou chlorovodík a fluorovodík, jejichž zdrojem je opět přirozený výskyt v přírodě. Cílem je zabránit jejich přenesení do ovzduší. Intenzivní jsou rovněž práce na dalším vývoji technologií pro efektivní snižování emisí oxidů dusíku, které jsou obecně známé především jako problém dopravy, avšak i produkce elektřiny a tepla je jejich významným zdrojem.

V dalším dílčím projektu byla na Fakultě strojní analyzována problematika Carnotových baterií. Jde o akumulační technologie primárně konvertující elektřinu na teplo, které je skladováno v poměrně levných materiálech, a následně v čase potřeby konvertující toto teplo zpět na elektřinu. Tyto baterie mají potenciál dosažení účinnosti v rozsahu 35–75 procent, jejich hlavní výhodou je nízká měrná cena, vysoký počet pracovních cyklů, možnost aplikace systémů s velkými výkony (stovky MW) i kapacitami (GWh). Jako perspektivní se jeví také možnost jejich integrace do technologie uhelných elektráren. Ty lze místo očekávaného postupného odstavení konvertovat na systémy ukládající přebytečnou elektřinu z OZE. Výsledná cena takto produkované elektřiny pak může být výrazně nižší než z Li-ion bateriových systémů.

V rámci pracovního balíčku „Výpočet zkratových poměrů při symetrických a nesymetrických zkratech“ spolupracují Fakulta elektrotechnická a ČEZ Distribuce, a.s. Vzniká tak unikátní spojení znalostí univerzity a distributora elektrické energie, který disponuje jedinečnou databází síťových topologií a chodů své distribuční sítě včetně poruchových stavů. Byla již navržena architektura SW modulu pro výpočet zkratových poměrů a následně byl proveden sběr dat pro experimentální ověřování jeho chodu na datech z reálné sítě ČEZ Distribuce, a.s. V rámci analýz dat provedených společně oběma partnery byla zlepšena přesnost dat i samotného výpočtu. Dále proběhla diskuze možných algoritmů výpočtu a analýza příčin rozdílů výsledků jednotlivých metod.

Prodlužování provozu jaderných elektráren vede k rostoucím požadavkům na hodnocení provozní spolehlivosti. V uvedených souvislostech je jednou z velmi důležitých oblastí otázka bezpečného a bezporuchového provozu svařovaných systémů a konstrukcí. V provozu dochází k postupné degradaci materiálů a z tohoto důvodu je nezbytné při plánovaných odstávkách vždy včas opravit nebo vyměnit část zařízení. V některých případech již není při opravách možné použít původní svařovací postupy. Na Katedře materiálů Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské jsou proto v rámci centra realizovány fraktografické a metalografické analýzy nově vyvíjených typů heterogenních svařových spojů. Výsledky budou využity pro optimalizaci svarů s vysokou korozní i mechanickou odolností s cílem zvýšit bezpečnost provozu jaderných i klasických elektráren.

Kloknerův ústav zpracoval čtyři metodiky s analytickými postupy pro hodnocení technického stavu výrobních energetických bloků ve střednědobém horizontu tří až pěti let. Umožňují klasifikaci zařízení výrobních bloků z hlediska kritičnosti, identifikaci kritických zařízení, stanovení kritických degračních mechanismů vedoucích k poruchám s velkým dopadem na provoz bloků s využitím analýzy možného výskytu a vlivu vad FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) a úpravu nastavení systémů diagnostiky a údržby. Metodiky se opírají o analytické postupy pro řízení spolehlivosti, rizik a životnosti s využitím provozních dat.

autoři: Michal Kolovratník,
Zdeněk Müller, Jan Siegl,
Jana Marková

Uhelné elektrárny lze místo očekávaného postupného odstavení konvertovat na systémy ukládající přebytečnou elektřinu z OZE.

Energetika dominuje byznysu i každodennímu životu

Technická univerzita je pro veřejnost spojena nejen s náročným studiem a dobrým uplatněním v praxi, ale i úspěšnou vědou. Právě výzkum v oblasti energetiky, jemuž se věnujeme v tomto vydání TecniCallu, má na ČVUT silnou pozici, umocněnou spoluprací fakult a univerzitních součástí. V Národním centru pro energetiku se specialisté ČVUT velmi aktivně zapojují do řešení aktuálních úkolů, především jsou to vědci z fakult: strojní, elektrotechnické, jaderné a fyzikálně inženýrské, či Kloknerova ústavu. Další součásti, například Fakulta stavební či Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky a Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, jsou zapojeny do dalších platform a projektů. Nejen o výzkumu na Fakultě elektrotechnické (FEL), která má v tomto oboru velkou tradici a v současnosti i velmi dobré výsledky, hovoříme s jejím děkanem, prof. Mgr. Petrem Pátou, Ph.D.

Energetika prolíná celým ČVUT – bez pohonu to v dnešní době nejde. Vidíte potvrzení tohoto významu i v tom, jak se na naší univerzitě posouvá tento obor dopředu?

Energetika je skutečně něco jako evergreen, který nás trvale provází. Měli jsme šanci si to uvědomit právě letos, kdy si naše fakulta připomíná sedmdesát let od svého vzniku. Z tohoto bilančování je zřetelné, jakou roli hrály právě specializace napojené na energetiku v minulosti, kdy se spojovaly s pojmem silnoproud. Ani v současnosti tomu není jinak – energetika nadále dominuje jako téma pro byznys, kariéru a studium, ale i náš každodenní život. A jsem přesvědčen, že její význam a všeho, co se s ní spojuje, v budoucnosti jen poroste. Aby vše probíhalo s tou nejlepší péčí a pod dohledem odborníků, to je také role naší univerzity a jsem rád, že tady na ČVUT pro to existuje a dále se rozvíjí potřebné vědecké a pedagogické zázemí.

V oblasti energetiky se dá jistě mluvit o tom, že výzkum – například, jak řešit či předcházet strašáku moderní doby – blackoutu, jak šetrně vyrábět a distribuovat energii, jak inovovat využití nových zdrojů v návaznosti na umělou inteligenci a digitalizaci našeho života, se vlastně týká nás všech...

Blackout je jen jeden ze strašáků, i když jeden z nejhroživějších. Několikrát jsme byli jen kousek od masivního výpadku elektřiny a českým energetikům se podařilo jej odvrátit a zachránit před ním i sousední země. Uvědomujeme si pak, že i naši absolventi mohou být za hrdiny. Je za tím velká zodpovědnost, tyto lidi rozhodují o naprosto zásadních věcech, které se, jak říkáte, týkají každého z nás, fungování ekonomiky a společnosti. I pro naši fakultu a univerzitu je to závazek, abychom vychovávali takové odborníky, kteří zvládnou podobně náročné výzvy, a abychom se i nadále drželi na špičce v oblasti výzkumu a vývoje.

Fakulta elektrotechnická má vynikající vědce v umělé inteligenci, robotice a dalších oborech, o tom svědčí i fakt, že její osobnosti se umísťují na nejvyšších příčkách v různých žebříčcích v rámci ČR, někteří budoují i v mezinárodním srovnání. Například „váš“ profesor Matas je nejlépe hodnoceným informatikem z České republiky a ČVUT nejlepší univerzitou v tomto oboru. Jak si mezi těmi nejlepšími stojí energetika a vědci, kteří se jí na vaší fakultě věnují? A jaké mají na fakultě či celém ČVUT pro tento výzkum podmínky?

Pro konkrétní příklady úspěšných vědeckých projektů nemusíme chodit daleko, můžeme se jimi

prezentovat už na úrovni absolventů: prestižní Cenu Wernera von Siemens se letos odnesl náš absolvent Lukáš Janota. Svou diplomku o možnostech budoucího energetického využití vyřezaných bateriových článků z elektromobilů vypracoval pod vedením Ing. Tomáše Králíka, Ph.D., v rámci studijního programu Elektrotechnika, energetika a management. Takový úspěch by nebyl možný bez vědeckého zázemí pracoviště, které je schopné pro podobné projekty poskytovat podmínky dokonce už diplomantům. A samozřejmě nemohu opomenout úspěšné výzkumníky prof. Jaroslava Knápka či dr. Michaelu Valentovou, jejichž výzkum se soustředí na nejrůznější aspekty energetické efektivity a obnovitelných zdrojů často v mezinárodním srovnání, ani jejich kolegy doc. Jiřího Vašíčka a dr. Tomáše Králíka. V oblasti přenosových sítí jsou to pak doc. Zdeněk Müller, vedoucí Katedry elektroenergetiky a jeho tým. Tento přehled ale není zdaleka úplný, musel bych jmenovat další a další kolegy, jejichž výzkum souvisí s energetikou a má mezinárodní renomé.

Pravidelně informujete veřejnost o užitečných pomocnících, které vaši vědci vyvíjejí. Uvedu jen pár příkladů – odborníci z Katedry telekomunikační techniky navrhli unikátní sondu, která dokáže monitorovat spotřebu libovol-

ného spotřebiče a na dálku ji odesílat prostřednictvím sítě internetu věcí, v době koronavirové pandemie vaši vědci vyvinuli materiál, který se dá sterilizovat elektrickým proudem... Které počiny v této oblasti vy osobně považujete za přelomové, s velkým potenciálem pro praxi?

Zmiňujete koronakrizi a filtr, který lze sterilizovat elektrickým proudem. Těch inovací z FEL bylo mnohem více: technické řešení VENT-CONNECT, které usnadní péči o pacienty na covidových jednotkách, algoritmus pro automatizované testování na koronavirus ve FN Motol. Anebo aplikace kdynakoupit.cz (dříve Nebojsa), která lidem poradí, jak se vyhnout frontám v obchodech. Tento výčet není zdaleka úplný. Všechny tyto inovace reálně pomáhaly a stále pomáhají, ale až budoucnost rozhodne, které z nich bude možné označit jako přelomové. Mne na tom nepřestává fascinovat ta neskutečná energie, se kterou se naši výzkumníci dokázali zmobilizovat ve prospěch společnosti. Nejenže se museli přeorientovat na online výuku, ale vedle toho přesměrovali svoje vědecké projekty do boje proti covidu a v krátké době přišli s konkrétními aplikacemi. To bylo pozoruhodné a dokazuje to, jak důležitou roli mohou sehrát technici během krizí, jako byla tato. Můžeme z toho určitě čerpat sebedůvěru.

V tomto vydání představujeme mj. projekty FEL v energetice, které se věnují například veřejnému osvětlení, zmíněnému blackoutu, dispečerským systémům či otázce, co s použitými bateriemi. Cítíte ze strany firem či veřejné správy velký zájem o tuto spolupráci, aby akademici pomáhali řešit problémy z praxe?

Státní a veřejná správa je pro státní školu, jako je ta naše, přirozený partner v oblasti výzkumu nových technologií a jejich implementace. Snem každého akademika je, aby jeho objevy a vynálezy sloužily lidem, a to u projektů pro veřejnou správu vyplývá z podstaty věci. Co se týče naší spolupráce s firmami, tam je to podobně. Zájem o spolupráci s Fakultou elektrotechnickou ČVUT

je velký, příjem z těchto projektů tvoří významnou část našeho rozpočtu – konkrétně v roce 2020 činil příjem z doplňkové činnosti 7,5 procenta.

Dneska je trendy IT, zatímco o klasické elektroobory zřejmě není takový zájem. Mezi nimi právě energetika asi patří k nejtěžším. Jaký je zájem o program Elektrotechnika, energetika a management, jenž je jedním z osmi, které nabízíte bakalářským studentům? Přece jen jsou pro mnohé asi atraktivnější programy Kybernetika a robotika či Elektronika a komunikace...

Do značné míry máte pravdu, maturanti inklinují k oborům, které si lze jednoznačně spojit s trendy budoucnosti a robotika či telekomunikace mezi ně bezesporu patří. Ve své propagaci to tedy kybernetici asi mají o něco jednodušší: kdo by nechtěl ovládat robota SPOT, létat s drony? Ale platí to jen částečně, a právě energetika v sobě skrývá neskutečný potenciál. Experti z různých oborů se totiž shodují v jedné predikci: tématem číslo jedna budoucnosti je klimatická změna. Na tom, abychom ji v následujících letech a desetiletích zvládli, záleží kvalita našeho budoucího životního prostředí a našich životů. Je to bezesporu obrovská výzva, a kdo jiný by se na ní měl podílet, než právě experti na energetiku a alternativní zdroje energie, kteří budou rozumět jak jejich technické podstatě a procesům, tak ekonomickým zákonitostem okolo toho. V tuto chvíli už popisují profil absolventa v otázce zmíněného programu Elektrotechnika, energetika a management. Jsem přesvědčen, že jeho studenti mají před sebou skvělé možnosti uplatnění, a to nejenom u gigantů typu ČEZ, PRE či ČEPS, ale i v menších firmách či start-upech, které budou díky své flexibilitě a inovativnosti hýbat trhem právě třeba v segmentu alternativních zdrojů energií. Možná, že uchazeči o studium na FEL začínají chápat, kde leží budoucnost: právě tento program si letos co se týče počtu zájemců vedl velmi dobře a přitáhl významně více zájemců než před rokem.

Fakulta dlouhodobě věnuje pozornost středoškolákům, potenciálním studentům technické univerzity. Vy osobně máte silný vztah k dětem, za své dobrovolnické volnočasové aktivity jste získal několik ocenění. Na energetiku zaměřujete i letní akce, jako je třeba FEL_Camp, kde se jeho účastníci „učí“ i to, jak postavit solární elektrárnu či vyslat robota na průzkum. Pozorujete u dětí či středoškoláků, že se vztah k technice a jejich šikovnost mění?

Máte pravdu. Motivace a vztah mladých lidí k technice se buduje již v útlém věku. Velký vliv na budoucí směřování dítěte mají jeho rodiče, učitelé, a právě



**prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.,
děkan Fakulty elektrotechnické ČVUT**

vedoucí volnočasových aktivit. V této oblasti působím již déle než čtvrtstoletí a za tu dobu je patrný velký posun v zájmu dětí a mládeže. Děti si vybírají oblasti, které jim dávají smysl a jsou pro ně dostupné. Díky pokroku moderní techniky se otevřely obzory informatiky, robotiky a kybernetiky. Svět, který nás zcela obklopuje a lze ho nalézt v každém „šroubku“ i u nás na fakultě. Naším velkým úkolem je také vytvořit podmínky pro učitele, aby měli možnost nové trendy přenést i do reálné výuky. Věřím, že se nám to daří a nastupující generace se již nebojí nových témat a k technice se hlásí.

Vladimíra Kučerová

foto: Petr Neugebauer, FEL

Po letech solárního temna přichází doba rozvoje v podobě hned několika dotačních titulů. Ačkoliv i v období mezi roky 2010 a 2020 byly fotovoltaické instalace podporovány (OP PIK, NZÚ, OPŽP), existovala řada překážek, které rozvoj fotovoltaiky v ČR brzdily. Co přesně se tedy v České republice mění a jak může pomoci akademický svět?

Nový solární boom?

Laboratoř diagnostiky fotovoltaických systémů



V současné době spouští Česká republika Modernizační fond, ze kterého budou (mimo jiné) financovány také fotovoltaické elektrárny. Na rozdíl od předchozích let tak bude podpora poskytována na instalovaný výkon a nikoliv ve formě provozní podpory. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, se prostřednictvím Laboratoře diagnostiky fotovoltaických systémů (LDFS) významně podílí na nastavení podmínek Modernizačního fondu ve vztahu k fotovoltaice. Přestože celkový rámec programu je známý, je potřeba definovat přesně, jaké systémy budou podporovány a jakým způsobem nastavit podmínky pro podporu akumulace, včetně kalkulace tzv. alternativní investice, která značně omezuje možné způsobitelné náklady projektu (dáno evropskou legislativou – Nařízení komise (EU) č. 651/2014, článek 41, odstavec 6, bod b). Na rozdíl od předchozích podmínek je nyní požadována minimální kvalita komponent, a to i s ohledem na bezpečnost, kde univerzitní laboratoř spolupracuje s Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru. U velkých systémů (nad 1 MW) bude podpora poskytována na základě

výsledků technologicky neutrální aukce na instalovaný výkon (fotovoltaické systémy soutěží mezi sebou bez rozlišení typu), kde bude zvýhodněna akumulace a uhelné regiony. Výsledné podmínky jsou jistým kompromisem mezi snahou o zachování technologické neutrality soutěže (jednodušší administrace) a možnostmi instalace akumulace.

Na pomezí komerčních a malých systémů stojí velké průmyslové systémy, které slouží částečně (nebo zcela) pro krytí spotřeby objektů v místě instalace. Většina jich je rozsahově výkonem do 1 MW. Z důvodu snazší administrace bylo, kromě požadované kvality komponent, potřeba stanovit jednotkové náklady a z nich následně jednotkovou podporu (systémy tedy nesoutěží v aukci, ale mají podporu na jednotku výkonu). Laboratoř se podílela jak na nastavení nákladů, tak i právě výpočtu podpory pro systémy podpořené z Modernizačního fondu. Průmyslové systémy jsou také předmětem dotací z chystaného operačního programu Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (OP TAK), kde již nebudou diskriminovány zařízení s nižší mírou samospo-

třeby. Jelikož se tyto dva programy potkávají, tak z Modernizačního fondu nebude až do vyčerpání prostředků z OP TAK možné podpořit systémy, které by mohly být z tohoto programu financovány – systémy do 1 MW na střechách s výjimkou žadatelů z řad veřejných subjektů, žadatelů ETS, sdružených projektů (více předávacích míst) a kombinací s pozemními systémy.

Poslední skupinou jsou malé instalace na rodinné domy sloužící svým obyvatelům, které jsou podporovány z programu „Nová zelená úsporám“. Univerzitní laboratoř již delší dobu upozorňuje na fakt, že podmínky jsou nastaveny mnohdy nesmyslně a administrativní náročnost, zejména s ohledem na potřebu vypracování energetického posudku, je plýtváním veřejnými prostředky. Z tohoto důvodu byla laboratoř oslovena s žádostí o vypracování jednoduchého nástroje pro žadatele, který umožní snadno určit klíčové parametry systému i dotaci, a to nejen pro rodinné, ale i pro bytové a panelové domy. V novém programu tak již žadatelé nebudou muset prokazovat energetický posudek s nesmyslně spočtenou mírou samospotřeby, kterou nelze z důvodu zcela diskriminativní vyhlášky o měření u 3f systémů prakticky ani kontrolovat, a žadatel bude mít rychlý nástroj pro „hlídání“ investice.

Zajímavým otázkou je instalace nových typů fotovoltaik, jimiž jsou plovoucí fotovoltaika, agrofotovoltaika a komunitní systémy, jejichž popis by vydal na samostatný článek (i více článků). I díky laboratoři na Fakultě elektrotechnické jsou podmínky v Modernizačním fondu na tyto systémy připraveny. Evropská legislativa, zejména v případě komunitní energetiky, je nakloněna taktéž příznivě (tzv. Zimní energetický balíček – <https://www.niedermayer.cz/homepage/articles/zimni-balicek-cista-energie-dostupna-pro-vsechny-evropany>). Co zbývá, je zlomit legislativu na úrovni ČR, aby tyto systémy mohly být nejen podpořeny, ale i reálně postaveny. To však již není úkolem pro akademickou sféru...

**autorka: Ladislava Černá
ilustrační foto: Jiří Ryszawy**

Ing. MAREK BÁLSKÝ, Ph.D.
balskmar@fel.cvut.cz

Ing. MICHAL KOZLOK
kozlomi1@fel.cvut.cz

Modelování rušivého světla

S příchodem moderních světelných zdrojů LED na trh v minulém desetiletí se vkládala velká očekávání do jejich využití ve veřejném osvětlení. Očekávalo se, že technologie LED, principiálně odlišná od všech dosavadních světelných zdrojů, zcela změní vlastnosti uličních svítidel, zejména co se týče distribuce světelného toku od zdroje světla k uživatelům.

Konvenční svítidla ve veřejném osvětlení využívala zejména vysokotlaké sodíkové, příp. halogenidové výbojky vyzařující světlo do všech směrů, jejichž světelný tok musel být svítidly nasměrován k uživatelům (na vozovku, chodník apod.). To vedlo ke ztrátám způsobeným odrazem světla v optických částech svítidel. Zároveň bylo velmi obtížné zamezit vyzařování světla mimo osvětlovanou oblast, tedy např. do okolních obydlí či přírody (tzv. světelný přesah). LED naopak vyzařují světlo jen do omezeného prostorového úhlu, od čehož se očekávalo snížení ztrát ve svítidlech a snazší redukce světelného přechodu, tedy efektivnější osvětlování.

S postupným rozšiřováním LED svítidel se projevila ještě jedna významná změna oproti původním svítidlům. Jedná se o odlišnou chromatičnost světla, kdy původní sodíkové výbojky vyzařovaly světlo s výhradně nižšími teplotami chromatičnosti (tzv. teple bílé – angl. „warm white“) s převládající žluto-

oranžovou složkou, zatímco některá LED svítidla vyzařují světlo s vysokou teplotou chromatičnosti (tzv. studeně bílé – angl. „cool white“) s převládající modrou složkou. Na tu jsou nejcitlivější cirkadiánní fotoreceptory v lidském oku, které řídí tzv. biologické hodiny člověka pomocí vylučování hormonů melatonin a kortizol. Melatonin, tzv. klidový hormon, je vylučován výhradně v období bez přítomnosti modré složky světla, tedy v přirozeném prostředí v noci, zatímco kortizol, tzv. stresový hormon, je vylučován naopak při zvyšování podílu modré složky světla, tedy v přirozeném prostředí zejména ráno a přes den. Příchod LED technologie ve veřejném osvětlení odstartoval nárůst stížností obyvatel na rušivé účinky světla v oblastech, kde byla nově instalována LED svítidla s vysokým podílem modré složky vyzařovaného světla, která u citlivějších osob může způsobovat např. problémy s usínáním a spánkem či jiné zdravotní problémy související s nežádoucím ovlivněním produkce hormonů melatonin a kortizol v závislosti na přítomnosti modré složky světla.

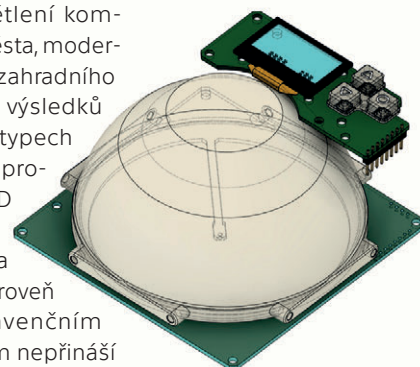
Z toho důvodu se nyní na Katedře elektroenergetiky Fakulty elektrotechnické ČVUT zabýváme simulací rušivého světla v městském prostředí, jejíž výsledky budou využity při probíhající tvorbě nové technické normy zabývající se rušivými účinky světla. Do této činnosti jsou zapojeni i studenti magisterských a doktorských studijních programů. Velký podíl na vznikajících výsledcích má Bc. Tomáš Vencovský, který ve své diplomové práci provedl výpočty rušivého světla v oblasti městské

části Prahy 6. Ve výpočetním programu vytvořil modely převažujících typů zástavby v městské části a pro každý její typ vypočetl podíl světla dopadajícího mimo osvětlované plochy (např. na okolní budovy, do zeleně, nad úroveň terénu apod.). Jedním z parametrů potřebných pro vytváření takových modelů jsou integrální činitele odrazu fasád okolních domů, kde dochází k odrazu světla osvětlovacích soustav. Za účelem měření integrálního činitele odrazu fasád je na Katedře elektroenergetiky vyvíjen reflektometr založený na principu mnohonásobných odrazů.

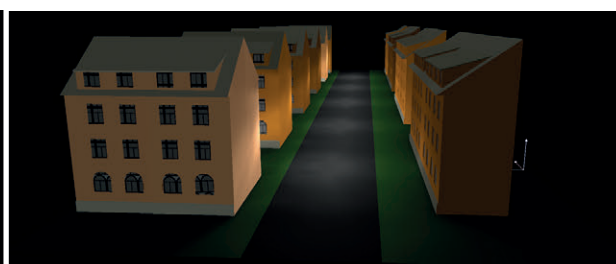
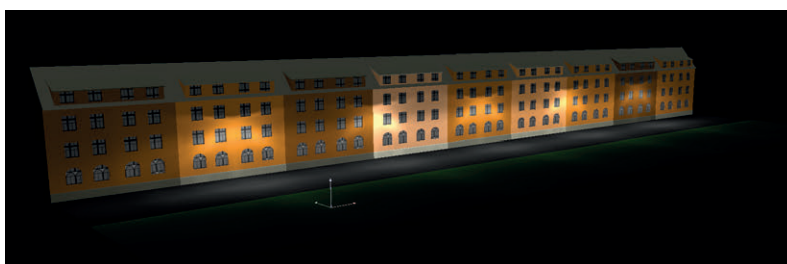
Na základě měření integrálních činitelů odrazu fasád byly v počítačových modelech využity kombinace fasád s reálně naměřenými činiteli odrazu v okolí Vítězného náměstí (modely osvětlení kompaktního otevřeného města, modernistického města či tzv. zahradního města). Z dosavadních výsledků vyplývá, že v některých typech zástavby dopadá až 35 procent světelného toku LED mimo osvětlovanou oblast, tedy zejména na okolní budovy a nad úroveň terénu. To oproti konvenčním osvětlovacím soustavám nepřináší očekávané snížení podílu rušivého světla, čemuž odpovídá nárůst počtu stížností obyvatel. Při dalších modernizacích veřejného osvětlení by proto měl být kladen větší důraz na snížení podílu světelného přechodu, tedy i na snižování energetické náročnosti veřejného osvětlení.

autoři: Marek Bálský
a Michal Kozlok

Reflektometr založený na principu mnohonásobných odrazů.



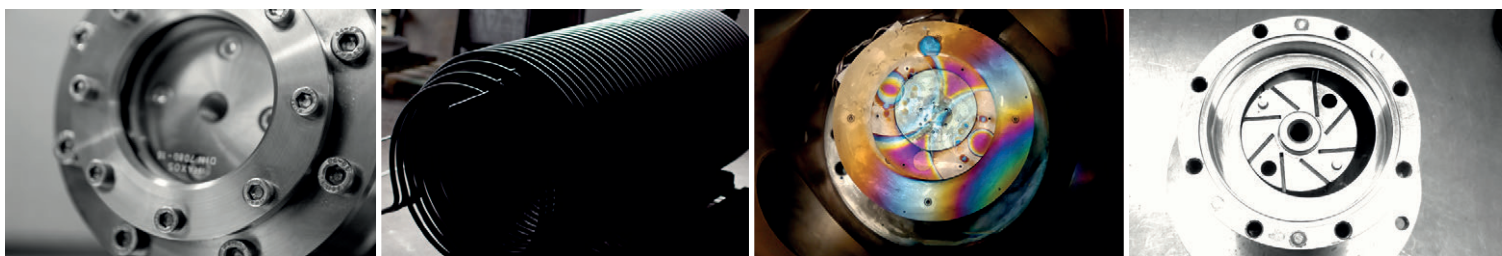
Na základě měření integrálních činitelů odrazu fasád byly v počítačových modelech využity kombinace fasád s reálně naměřenými činiteli odrazu v okolí Vítězného náměstí.



Ing. JAKUB MAŠČUCH, Ph.D.
jakub.mascuch@cvut.cz

Mikroelektrárna WAVE

Mikroelektrárna Wave, která se „narodila“ na ČVUT a je jediným zařízením svého druhu na světě, je v podstatě kotel na dřevní štěpky, který kromě tepla produkuje elektřinu. Zpřístupňuje tak možnost kombinované výroby elektřiny a tepla z biomasy uživatelům, kteří ji doposud nemohli využít. Tento klimaticky i energeticky nejefektivnější způsob použití paliva byl totiž kvůli nedostupnosti vhodných technologií doposud vyhrazen hlavně pro tzv. velkou energetiku.



Klíčové komponenty mikroelektrárny Wave byly vyvinuty „doma“ týmem z ČVUT – pohled na lamelový expandér a vinutý spalínový výměník

Zatímco běžný kotel pro svůj provoz elektřinu spotřebovává, Wave si svou spotřebu pokryje a přebytečnou elektřinu dodává do objektu, do bateriového úložiště nebo je odprodána do distribuční sítě. Výroba elektřiny je řešena prostřednictvím tepelného oběhu, který je obdobný jako u klasické uhelné elektrárny. Namísto vody je však využito silikonového oleje hexamethylendisiloxanu (MM), který má pro danou aplikaci vhodnější vlastnosti. Proto je oběh označován jako organický Rankinův. Teplo je po průchodu cyklem a částečné transformaci na elektřinu odvedeno do otopné vody určené pro vytápění budovy nebo jiné technologické využití. Provoz Wave je plně automatický včetně dopravy paliva, diagnostiky a bezpečnostních systémů. Zařízení je možné pomocí mobilní aplikace uvést do provozu a stejně snadno odstavit.

Historie projektu

Nápad spustit vlastní vývoj technologií založených na principu organického Rankinova cyklu (ORC) pro decentralizovanou energetiku vznikl na Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT na přelomu jara a léta roku 2008. Z úvodních analýz a následného výzkumu vyplynulo, že pokud se podaří připravit zařízení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla

Jednotka Wave120 za dobu životnosti vygeneruje na elektřině tolik úspor, že se celá zaplatí. Jde tedy bez nadsázky o „kotel“ na biomasu s nejlepší ekonomikou na trhu. Někdy ve zkratce říkáme, že je to na trhu jediný kotel na biomasu, který se vrací.

podobné automatickému kotli na biomasu, má taková technologie šanci uspět na trhu. Ukázalo se tedy jako smysluplné se výzkumu a vývoji v této oblasti, která je i v současné době ve světě předmětem intenzivního zájmu, věnovat.

Realizace prvního výzkumného projektu začala v prosinci 2008, zařízení spalující dřevěné pelety o tepelném výkonu 20 kW a elektrickém výkonu 0,5 kW bylo uvedeno do provozu v laboratoři Ústavu energetiky Fakulty strojní na Julisce v roce 2010 a posloužilo zejména k detailnímu studiu konstrukce a provozu komponent ORC. Na základě těchto zkušeností bylo možné přikročit k vývoji prakticky uplatnitelných řešení. Vyhovující podmínky pro takový vývoj se podařilo vytvořit v souvislosti s budováním Univerzitního centra energeticky efektivních

budov ČVUT v Buštěhradu (UCEEB), kde v roce 2013 vznikla Laboratoř organických Rankinových cyklů a jejich aplikací (LORCA).

Za projekt „Mikroelektrárna WAVE pro výrobu elektřiny a tepla z biomasy“ tým LORCA v roce 2015 obdržel cenu E-ON Energy Globe Award ČR 2015 (tzv. Ekologický Oskar) v kategorii Nápad. První prototyp této vývojové linie byl uveden do provozu v červnu 2016, první komerční jednotka s označením Wave50 stojí od podzimu 2018 v Mikolajicích na Opavsku. Zařízení v kontejnerovém provedení je spolu s fotovoltaickou elektrárnou součástí většího energetického celku, ve kterém kromě pokrývání potřeby tepla obecního úřadu, hasičské zbrojnice a obchodu dodává také elektrickou energii do lokální mikrosítě. V současné době má za sebou tři úspěšné topné sezóny.

Zkušenosti z vývoje a provozu Wave50 ukázaly, kam by měl vývoj směřovat pro dosažení komerční úspěšnosti řešení. Z nominálních hodnot 50 kW tepelných a 2 kW elektrických (po odečtení tzv. vlastní spotřeby) u Wave50 produkuje aktuálně komerčně nabízená jednotka s označením Wave120 nominálních 120 kW tepla a 6,5 kW elektřiny. Uživatelé však spíše zajímá, co zařízení „snese“, parametry se tak pro instalace individualizují. Při o málo vyšší

ceně celé instalace u Wave120 oproti Wave50 se podařilo dosáhnout významně lepší ekonomické efektivity pro koncové uživatele. Na podzim 2020 zařízení získalo certifikát Ekodesign, díky kterému Wave120 může na trhy v celé EU.

Potenciální uživatelé

Jednotka Wave120 se velikostně hodí například jako zdroj pro průmyslové provozy, které suší produkty nejrůznějšího druhu. Ideálním klientem jsou pily a farmy, které potřebují něco sušit a mají vlastní zdroje biomasy. Pokud je k dispozici dostatek ekonomicky dostupné biomasy, je zařízení kromě výrobních podniků vhodné do bytových domů, větších penzionů, kulturních domů nebo úřadů. V současnosti tým eviduje zájem několika obcí.

Ekonomika provozu

Potenciální uživatelé se v praxi často ptají: „Je to velmi zajímavé, ale jakou to má návratnost?“. Někdy poněkud neslušně odpovídáme otázkou: „Jak rychle se vrací běžný kotel?“. Z pohledu ekonomického hodnocení je kotel zařízení, které stojí peníze při nákupu a následně je nutné každý rok uhradit náklady na palivo, elektřinu a další tzv. provozní náklady. Pojem návratnost tak nedává smysl, klíčové by pro hodnotitele měly být spíše celkové náklady na pořízení tepla a elektřiny.

Cena kotlové části zařízení Wave120 je 1 mil. Kč, cena modulu výroby elektřiny je 1 mil. Kč. Kontejner a další příslušenství lze pořídit za cca 0,5 mil. Kč, plně automatická zásoba a doprava paliva stojí kolem 0,6 mil. Kč. Celková dodávka řešení včetně zásoby a dodávky paliva na klíč činí v obvyklém případě u jednoho zařízení 3,5 mil. Kč, u dvou je to 5,4 mil. Kč bez DPH. Oproti pořízení kotle na dřevní štěpky uživatel kupuje „navíc“ modul výroby elektřiny, který mu uspoří mezi 100 až 250 tis. Kč ročně podle druhu provozu a ceny elektřiny.

Při předpokladu dvacetileté doby hodnocení, která cca odpovídá reálné životnosti biomasových kotlových technologií, než jsou v praxi skutečně vyměňovány, lze zjednodušeně uvažovat úsporu například 20krát 175 tis. Kč, tedy 3,5 mil. Kč, což je cena celé dodávky Wave120. Jinými slovy, jednotka

Wave120 za dobu životnosti vygeneruje na elektřině tolik úspor, že se celá zaplatí. Jde tedy bez nadsázky o „kotel“ na biomasu s nejlepší ekonomikou na trhu. Někdy ve zkratce říkáme, že to je na trhu jediný kotel na biomasu, který se vrací.

Objevují se však i investoři uvažující poněkud jiným způsobem. Potenciální kupec například zvažuje variantu Wave120 oproti kotli na biomasu. Investice je vyšší o 1 mil. Kč, rozdíl v ročních provozních nákladech bude např. 175 tis. Kč ve prospěch varianty s Wave díky výrobě elektřiny. Investor předpokládá životnost obou variant dvacet let a uvažuje tak, že vynaložení extra nákladů z vlastních prostředků mu generuje provozní úspory, které vnímá jako výnosy. Ty jsou pak z jeho pohledu „zhodnocením peněz“ na úrovni $175/1\,000 = 17,5$ procenta. Tuto hodnotu následně porovná s jinými jemu dostupnými variantami využití kapitálu na stejnou dobu a dospívá k názoru, že investici dojde k navýšení vlastních jím přímo kontrolovatelných a ovlivnitelných aktiv a minimalizuje se riziko ztráty v jiných investičních příležitostech (akciové, finanční a jiné trhy).

Každopádně je ekonomika instalací hodně individuální otázkou a posuzuje se na konkrétních případech. Máme i takové, kdy se úplně celá investice bez dotací umí vrátit za necelých pět let.

Připravuje se malosériová výroba

Licenci na výrobu zařízení zakoupila zkraje roku 2021 od ČVUT UCEEB společnost Damgaard Consulting, která připravuje malosériovou výrobu. Každá instalace je vybudováním zdroje podle platné legislativy, takže vyžaduje zpracování projektu a další nezbytné dokumentace. Kontejnerové řešení a certifikát Ekodesign všechny tyto činnosti oproti alternativnímu budování kotelný značně zjednodušují.

Aktuálně se tým LORCA vydává dvěma principiálními směry, jeden je vývojový a druhý výzkumný. Vývojovým směrem je snižování výrobních nákladů, tedy výrobní a materiálové náročnosti řešení. Přejít od prototypu po produkční zařízení je sám o sobě časově náročnou záležitostí. Zdaleka ne všichni dodavatelé, kteří jsou vynikající ve fázi vývoje, jsou schopni dosáhnout potřebného

poměru kvality a ceny v sériové výrobě. V oblasti výzkumu čeká tým zvyšování podílu výroby elektřiny. Aktuálně produkujeme těsně přes 8 kW svorkového elektrického výkonu při 120 kW výkonu tepelného, cílem je v horizontu tří až čtyř let dosáhnout 14 kW (12 kW po odečtení vlastní spotřeby) svorkového výkonu při stejném tepelném výkonu a hlavně, což je to náročné, beze změny výrobních nákladů.

autor: Jakub Maščuch

foto: UCEEB

Práce energetika ve vývoji je často prací v terénu v nepříznivém počasí a za dlouhých zimních večerů



Zatímco běžný kotel pro svůj provoz elektřinu spotřebovává, Wave si svou spotřebu pokryje a přebytečnou elektřinu dodává do objektu, do bateriového úložiště nebo je odprodána do distribuční sítě.

Bio-CCS/U |

Centrum nízkouhlíkových energetických technologií

Centrum nízkouhlíkových energetických technologií (Bio-CCS/U) je unikátním úspěchem v rámci projektové soutěže Operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání ve výzvě Excelentní výzkum v roce 2016, kde se tento projekt umístil na druhém místě napříč všemi vědními obory a univerzitami v ČR. Zároveň je úspěchem jeho samotné vědecké zaměření, kterým jsou technologie CCS (carbon capture and storage), resp. CCU (carbon capture and utilization), jež jsou v ČR stále opomíjeny, ačkoliv jsou pro stabilní „nízkouhlíkovou“ budoucnost energetiky a průmyslu nezbytné.

Centrum Bio-CCS/U je jedinou integrovanou výzkumnou platformou, která se v ČR věnuje systematickému výzkumu v oblasti CCS/CCU. Integruje několik významných pracovišť v ČR a je vedeno Fakultou strojní ČVUT. V rámci univerzity se na realizaci rovněž podílí Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská. Dalšími partnery jsou Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Centrum Enet VŠB-TU Ostrava a Ústav Termomechaniky AV ČR. ČVUT celý projekt koordinuje a zároveň realizuje podstatnou část výzkumných aktivit. Na realizaci projektu se také podílí řada zahraničních odborníků, např. z TU Wien, univerzity v Neapoli, Wroclawské polytechniky, univerzity v Limericku nebo z TU Dresden, kteří jsou přímo zapojeni ve výzkumných týmech a přispívají k mezinárodnímu rozměru realizovaného výzkumu.

Jedním z nejvýznamnějších úspěchů v realizaci experimentálních zařízení je fluidní oxyfuel spa-

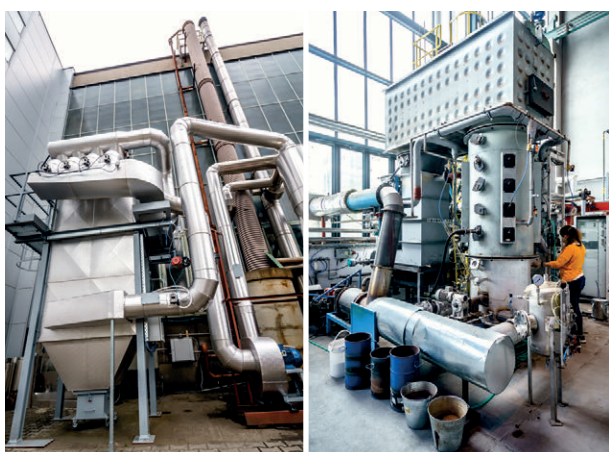
lovací systém, označovaný pracovním jménem jako Golem. Jde o technologii, která umožňuje získat přímo prakticky čistý CO_2 z energetické konverze biomasy v rámci jednoho procesu. Systém, navržený a zrealizovaný výzkumným týmem Bio-CCS/U, je jediným v ČR a patří mezi několik málo velkých výzkumných infrastruktur i v evropském kontextu. Se svojí velikostí 0,5 MW tepelného příkonu umožňuje validaci laboratorních výsledků na pilotní úrovni, která je ověřovacím předstupněm pro skutečnou realizaci. V rámci fluidní oxyfuel technologie je kromě vlastního procesu zkoumána řada dílčích podprocesů, které jsou převážně zaměřené na separaci nežádoucích příměsí v CO_2 , aby byl připraven pro navazující technologie využití. I v této oblasti bylo dosaženo unikátních výsledků, jedním je například experimentální katalytický blok pro vysokoúčinnou denitrifikaci nebo výzkumným týmem vyvinutý speciální systém vstřiku redukčního činidla. Pilotní oxyfuel jednotka Golem je dále podpořena funkční kopii v řádově menším měřítku, která umožňuje efektivně provádět experimentální výzkum ve výrazně širším rozsahu testovaných parametrů, a získat tak klíčové dílčí výsledky, které jsou na pilotní jednotce následně validovány. I toto zařízení ale pracuje v reálných procesních podmínkách a rovněž je unikátním zařízením v ČR. V oxyfuel fluidní technologii je řešeno využití jak dřevní, tak nedřevní biomasy, což reflektuje budoucí situaci, kdy bude nutné energeticky využívat i cíleně

pěstované plodiny. Na oxyfuel technologii navazují další výzkumné aktivity, mezi něž patří vysokoúčinná separace vodní páry z CO_2 . I v této oblasti má tým Bio-CCS/U na ČVUT na kontě několik jedinečných výstupů, jako jsou prototypy přímého či nepřímého kondenzačního systému, který je možné experimentálně validovat přímo ve spojení s fluidní oxyfuel technologií. Nedílnou součástí jsou i kroky zaměřené na optimalizaci výroby kyslíku pro oxyfuel systém a samotné technologie využití CO_2 , mezi něž patří katalytická konverze na metan či metanol, případně využití ve fotobioreaktorech. Experimentální aktivity, které jsou hlavním těžištěm výzkumu, jsou rovněž podpořeny numerickými metodami, které mají za cíl umožnit modelování jednotlivých procesů a z nich vyplývající možnosti optimalizace procesů.

Současný vývoj v ČR i Evropě potvrzuje správnost myšlenky se intenzivně věnovat výzkumu v této oblasti, zejména s ohledem na závazky Green Deal 2050 a související dekarbonizaci energetiky a průmyslu, která představuje závazek radikálního snížení emisí CO_2 do ovzduší. Abychom mohli závazku Green Deal 2050 dosáhnout a zároveň udrželi stabilitu a bezpečnost dodávek energie, budou se muset CCS, resp. CCU technologie stát nedílnou součástí energetiky a průmyslu. Výzkumné centrum však jde ještě dále a soustředí se na zachycení a využití CO_2 z energetických konverzí biomasy, která je jako taková považována z hlediska produkce CO_2 za neutrální. Míříme tedy k CO_2 negativním energetickým konverzím, kdy není CO_2 , původně zachycený při růstu rostlinné biomasy, vypuštěn do ovzduší, ale je uložen v geologických strukturách nebo využit.

autor: Jan Hrdlička
foto: Jiří Ryszawy

Oxyfuel jednotka
Golem umístěná
v laboratoři Juliska
Ústavu energetiky
Fakulty strojní
ČVUT



Dřevo jako palivo provází lidstvo od okamžiku, kdy člověk ovládl tajemství rozdělávání a udržování ohně. Svoji prioritu ztratilo s ovládnutím využívání fosilních paliv – uhlí, ropy, a nakonec zemního plynu. Současná snaha EU o dosažení uhlíkové neutrality význam dřeva, respektive biomasy obecně, opět zvýšila. Na vzestupu je peletové vytápění. Pracovníci Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT ve spolupráci s firmou Josa s.r.o., vyvíjejí kotel, který dokáže eliminovat i negativní jevy, související se spalováním rostlinných pelet.

Ing. PAVEL SKOPEC, Ph.D.
p.skopec@fs.cvut.cz

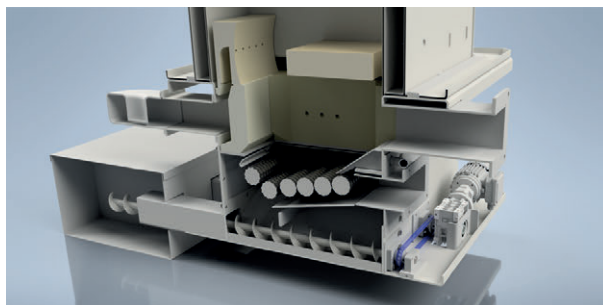
Od dřeva k rostlinné peletě

tedy hledat alternativní palivové vstupy ke dřevu a způsoby, jak tato paliva efektivně spalovat s dodržáním přísných emisních limitů.

Jednou z variant je využití tzv. rostlinných pelet, vyráběných z rostlinných zbytků zemědělského a potravinářského průmyslu, případně z cíleně pěstovaných plodin pro energetické účely. Konkrétně se jedná o pelety ze slámy, slunečnicových slupek, odpadního sena a dalších zemědělských plodin nebo jejich obtížně využitelných zbytků po zpracování. Na první pohled se mohou tato paliva zdát jako volně zaměnitelná za dřevěné pelety, ale opak je pravdou. Hlavním problémem při jejich spalování je specifické složení popelovin těchto pěstovaných plodin, které způsobuje např. jejich spékání nebo rozpádání rostlinných pelet, která záporně ovlivňuje možnost dosažení přijatelných úletů pevných částic. To zcela vylučuje spalování rostlinných paliv v hořácích jednoduché miskové nebo retortové konstrukce. Rovněž spalování s vodorovně posuvnými rošty je krajně nevhodné. Vzniklé spečence popela je ze zmíněných typů roštů nezbytně ručně odstraňovat, což v podstatě znemožňuje požadavek na bezobslužný a spolehlivý provoz.

Tvorba aglomerací popela dále komplikuje i ekologii spalování, neboť spečený popel zabraňuje rovnoměrnému přívodu spalovacího vzduchu k palivu, čímž výrazně stoupají emise jedovatého oxidu uhelnatého. Společně s tím roste i množství nedopáleného paliva, což ve výsledku snižuje účinnost celého kotle.

Pracovníci Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT ve spolupráci s firmou Josa s.r.o. vyvíjejí kotel, který výše zmíněné nevýhody dokáže eliminovat. Základním aspektem je unikátní konstrukce roštu, jenž se skládá z řady několika otočných válců opatřených trans-



portními výstupky, které posouvají a promíchávají vrstvu paliva. Mezi výstupky proudí spalovací vzduch, který zároveň válce chladí. Na konci roštu jsou umístěny dva rozrušovací válce, otáčející se proti sobě. Ty jsou schopné případné spečence nadrtit. Válce jsou uloženy ve vodou chlazených dutých trámčích, které zajišťují i odběr tepla přímo z oblasti roštu, čímž snižují teplotu spalování a samotný potenciál tvorby aglomerací popela. Zmíněné výstupy výzkumu jsou patentově chráněny.

Rostlinná paliva mají oproti dřevu zcela odlišnou charakteristiku popelových částic, mají menší rozměry a je jich výrazně větší množství. K zachytu je použit speciálně navržený cyklon s vícestupňovým průchodem spalin, který dokáže zachytit většinu produkovaných částic.

Současné kotle na dřevní pelety a štěpku, uváděné na trh, musí splňovat Nařízení Komise (EU) 2015/1189, známé pod pojmem Ekodesign. Kotle na nedřevní biomasu jsou z tohoto nařízení vyňaty, protože v současné době není k dispozici dostatek celoevropských informací pro určení vhodných úrovní pro požadavky na jejich ekodesign. Výstupem výzkumu je kotel, který za dodržení těch nejprísnejších emisních požadavků, bude schopen spalovat široké spektrum paliv rozdílné kvality a udrží si nízké nároky na údržbu a provoz.

autor: Pavel Skopec

Výstupem výzkumu je kotel, který za dodržení těch nejprísnejších emisních požadavků, bude schopen spalovat široké spektrum paliv rozdílné kvality a udrží si nízké nároky na údržbu a provoz.

Trend snižování emisí oxidu uhličitého do atmosféry se v rámci energetiky netýká jen velkých zdrojů, ale výrazně zasahuje i do těch menších, a to až na úrovni domácností. Podle nejnovějších dat v České republice stále zůstává více než tři sta tisíc nevyhovujících zdrojů tepla na uhlí. Velmi často slyšíme o využití biomasy jako paliva, čemuž odpovídá i nastavení dotačních programů, které podporují náhradu malých zdrojů na uhlí.

Při spalování rostlinné biomasy rovněž vzniká oxid uhličitý, který však rostlina během svého růstu z atmosféry odebírá, proto její využití považujeme za CO₂ neutrální, tedy za předpokladu, že je potřeba a přírůstek této biomasy v rovnováze. Nejčastěji využívanou biomasou v domácnostech je dřevo, a to buď ve formě kusového dřeva, štěpky, briket a především pelet. Právě peletové vytápění je u nás výrazně na vzestupu a potřeba pelet výrazně stoupá. Důvodem je hlavně jednoduchý a téměř bezobslužný provoz peletových kotlů srovnatelný s vytápěním plynem nebo elektřinou. Současný stav produkce v ČR po peletách plně uspokojuje a téměř tři čtvrtiny produkce dřevních pelet jsou určeny pro zahraniční trh. Tento stav je do velké míry způsoben nárůstem objemu zpracovávaného dřeva vinou kůrovcové kalamity. S postupem času lze očekávat rostoucí poptávku, čímž výrazněji poroste i cena tohoto paliva. Jedním z aktuálních úkolů je

Fúzní elektrárna DEMO

Model tepelných oběhů termojaderné elektrárny

Jaderná fúze umožní do konce tohoto století implementovat nízkemisní, nízkouhlíkovou a nízkoodpadovou výrobu elektrické energie o vysokém výkonu, nezávislou na počasí a geografických podmínkách. Vysoký energetický tok fúzních zdrojů dovolí koncentrovat výrobu čisté elektrické energie do jednoho místa a fúzní elektrárny vytvoří báзовou protivažbu distribuovaným obnovitelným zdrojům. Výzkumu se účastní i specialisté z Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT.

Vlajkovou lodí výzkumu jaderné fúze je mezinárodní projekt fúzního reaktoru ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), na kterém se podílí více než polovina světa: Evropská unie, USA, Rusko, Čína, Indie, Japonsko a Jižní Korea. Reaktor ITER dosáhne výkonu 500 MW a bude testovat reaktorové technologie pro fúzní elektrárny. Na základě výsledků projektu ITER budou postaveny první prototypy fúzních elektráren označované jako DEMO (Demonstration fusion power plant), jejichž zprovoznění se očekává do roku 2060. Práce na evropském projektu DEMO byly zahájeny v roce 2014 a v současnosti probíhá výběr technologií, které budou v elektrárně použité. Projekt je řízen konsorciem evropských fúzních laboratoří EUROfusion.

Při fúzní reakci se energie uvolňuje ve formě kinetické energie nabitých částic a neutronů. Nabité částice jsou zachyceny magnetickým polem reaktoru a zůstávají v plazmatu, kde se termalizují a ohřívají plazma. Neutrony bez elektrického náboje opouštějí plazma a pronikají do obklopující

reaktorové konstrukce, kde předávají svou energii a jsou absorbovány. Komponenty uvnitř reaktoru tvoří jadernou zónu reaktoru. Jde především o tzv. první stěnu, která je přímo vystavená působení horkého plazmatu, a blanket, který je umístěn mezi první stěnou a vnitřní stěnou vakuové nádoby. Úkolem blanketu je absorbovat neutronový tok, získanou energii předávat do primárního chladicího okruhu elektrárny a vyrábět tritium, jednu ze složek fúzního paliva. Ve spodní části nádoby je umístěn tzv. divertor, určený pro čištění plazmatu. Na divertorové terče nepřetržitě dopadá horké plazma, které se kontaktem s povrchem terčů ochlazuje a je odčerpáváno ven z reaktoru.

Model tepelných oběhů termojaderné elektrárny s reaktorem chlazeným plynem je zaměřen na chladicí systém elektrárny DEMO. Jeho reaktory budou chlazeny heliem nebo vodou. Volba chladicího média vyžaduje detailní zvážení všech výhod a nevýhod jejich použití, a proto jsou obě koncepce v současnosti rozvíjeny paralelně. Heliové chlazení reaktoru DEMO je

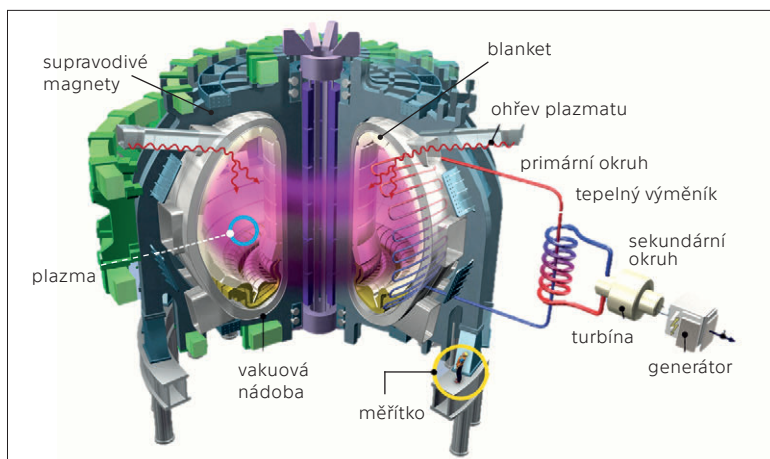
vyvíjeno především v německém Technologickém institutu KIT v Karlsruhe v rámci konceptu blanketu fúzního reaktoru HCPB (Helium Cooled Pebble Bed), vodní chlazení vyvíjí italská ENEA v rámci konceptu blanketu WCLL (Water Cooled Lithium Lead). Termodynamický model vychází z konceptu blanketu HCPB a zahrnuje primární a sekundární okruh elektrárny. Výroba elektřiny bude modelována na základě Rankinova parního cyklu nebo Braytonova cyklu se superkritickým CO_2 .

Heliové chlazení reaktoru DEMO představuje velkou výzvu, protože vyžaduje vysoký průtok helia fúzním reaktorem spolu s překonáním relativně vysokých tlakových ztrát. Do řešení této výzvy se již dříve zapojila česká firma ATEKO a.s. z Hradce Králové, která patří mezi přední světové výrobce heliových cirkulátorů a v současnosti spolupracuje s KIT na řešení hlavních turbocirkulátorů primárního okruhu DEMO. Termodynamický model umožní simulovat různé provozní stavy primárního okruhu elektrárny a bude pomocným nástrojem při vývoji nových vysokovýkonných heliových turbocirkulátorů.

Model je sestavován v programovacím jazyce Python verze 3.8 s implementovaným multiprocessingovým zpracováním. Termodynamické hodnoty jsou načítány z knihovny CoolProp. Model je typu on-design, je plně strukturovaný a jednotlivé technologické komponenty jsou modelovány paralelně a následně propojovány do celkového modelu na základě unifikovaných rozhraní. Optimalizace parametrů komponent je prováděna metodou hrubé síly v multiparametrickém prostoru.

autor: Slavomír Entler

Elektrárna DEMO s reaktorem typu tokamak
(zdroj EUROfusion/
FOM Rijnhuizen/
Verdult – Kennis in Beeld)



Ing. PAVEL ZÁCHA, Ph.D.
Pavel.Zacha@fs.cvut.cz

Rozmach výpočetní techniky a s ním spojené možnosti využívání stále větších a výkonnějších serverů umožnily v posledních dekádách i mohutný rozvoj aplikací, které tyto prostředky významně využívají. Jedním typem jsou i výpočetní metody simulující proudění tekutin, zkráceně CFD (Computational Fluid Dynamics – počítačová dynamika tekutin). Tyto velmi sofistikované programy nabízejí často velmi širokou škálu matematických modelů, které ve spojení se zkušeným výpočtářem dokáží s požadovanou přesností simulovat stále větší oblast proudění.

Simulace těžké jaderné havárie s tavením aktivní zóny



Simulace výtoku koria z otvoru v porušené tlakové nádobě a jeho následné šíření po dně šachty reaktoru (doba výtoku: 1 s, 5 s a 20 s)

Na začátku vývoje těchto programů se jednalo o 2D simulace stacionárního jednofázového proudění. To se psala ještě 90. léta minulého století. V dnešní době je již možné i v podmínkách akademického prostředí modelovat plně 3D geometrie, řešit nestacionární úlohy, dvofázové proudění nebo změny fází, lze zahrnout působení radiace, vybírat ze široké nabídky vhodný turbulentní model, simulovat proudění newtonských kapalin, volnou hladinu, míšení více tekutin a využívat řadu dalších modelů.

Toto relativně mladé odvětví CFD výpočtů se využívá i v jaderné energetice. Kromě běžných bezpečnostních analýz soustředících se na simulace provozních či abnormálních stavů primárního okruhu jaderných elektráren (nejčastěji simulace proudění chladiva v reaktoru jako celku či detailní studie chování chladiva v aktivní zóně) nebo např. na problematiku chlazení vyhořelého paliva v bazénech skladování se stále více využívá tento nástroj i k sofistikovanějším úlohám.

Jedná se například o simulaci podchlazeného varu na stěnách palivových tyčí, problematiku vzniku krize varu nebo simulaci rozlivu koria při velmi těžkých haváriích.

Mnoho bezpečnostních analýz přitom není možné z principu dost dobře experimentálně ověřovat a je nutné se ve velké míře spoléhat na výpočetní nástroje. A takovou je i zmíněná oblast rozlivu koria (roztavených částí aktivní zóny) při hypotetické těžké havárii, kdy se korium při velmi vysokých teplotách protaví reaktorovou nádobou a vyteče do šachty reaktoru. Pro předem vybraný scénář havárie je pro zdárnou simulaci nutné nejprve definovat kromě okrajových podmínek a materiálových vlastností i vhodné výpočetní metody, připravit dostatečně kvalitní síť výpočetních buněk a mít k dispozici dostatek strojového času, aby se pokryla požadovaná doba simulace.

A co je výsledkem? Plně 3D pohled na chování taveniny, rychlost jejího šíření a při dostatečně dlou-

hých simulacích i materiálové změny postupně chladnoucí taveniny. Na obrázcích je prezentována úloha pro rozliv koria v šachtě temelínské reaktoru VVER-1000. Výsledky kromě jiného ukazují, že korium při teplotách kolem 2 800 K má jako tekutina vlastnosti podobné vodě a jeho šíření po dně šachty, která má průměr 5,8 m, je velmi dynamické, čemuž významně napomáhá i velmi vysoká hustota (až 8 200 kg/m³). Nedílnou součástí práce s CFD úlohami je i zmíněná výpočetní síť a její dostatečná kvalita. Je třeba si ale uvědomit, že tento výpočetní nástroj není všespásný a pracuje s řadou zjednodušení, zde je to např. nulová chemická interakce s betonovou podložkou či stěnami nebo neměnné materiálové vlastnosti vytékajícího koria. Na druhou stranu CFD kódy svým přístupem umožňují vědcům kromě jiného i přiblížit daný jev s lepším prostorovým a časovým vnímáním.

CFD programy je také nutné vnímat z pohledu jejich náročnosti na strojový výkon, resp. čas. Čím větší oblast je řešena a čím komplikovanější úloha či delší je simulovaný čas, tím větší jsou nároky na výpočetní výkon. Pro tyto účely je naštěstí ČVUT vybaveno výkonným výpočetním serverem, na kterém lze podobně náročné úlohy řešit, a to i za pomoci její paralelizace na více (řádově desítky až stovky) výpočetních jader.

Získané zkušenosti z těchto simulací úspěšně využíváme na Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT nejen pro potřeby českých jaderných elektráren, ale jsou např. i součástí předkoncepčních návrhů nových typů reaktorů v rámci vývoje reaktorů čtvrté generace. Jedním z těchto vývojových koncepcí reaktorů je projekt ALLEGRO, řešený v rámci mezinárodního konsorcia za podpory EU (projekt Horizon 2020).

Dlouholeté zkušenosti, neustálý rozvoj výpočetních nástrojů a rostoucí výpočetní výkon tak postupně navyšují potenciál CFD metodik a v nich řešených úloh. V našem oboru to umožňuje soustavně zvyšovat jadernou bezpečnost a provozní spolehlivost.

autor: Pavel Zách
ilustrace: autor

S odklonem od spalování uhlí nabývá na významu energetické využití biomasy pro výrobu elektřiny a tepla. Kvalita biomasy je často degradována vysokým obsahem vody, který snižuje její výhřevnost, účinnost využití, a někdy limituje i její samostatnou spalitelnost. Tyto problémy lze řešit sušením biomasy před spalováním, což je však energeticky velmi náročný proces. Cílem výzkumně-vývojových prací Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT je mimo jiné i vývoj pokročilých, energeticky úsporných metod sušení biomasy, jejichž integrace do energetických zdrojů přispívá ke zvýšení jejich celkové účinnosti.

Sušení biomasy pro energetické využití

Příkladem energeticky efektivního řešení je nově navržený způsob integrace sušení biomasy do výtopenského systému. V horkovodní výtopně na mokrou dřevní štěpku je teplo pro sušení paliva získáváno z topné vody, která se v horkovodním kotli ohřívá na teplotu cca o 30 °C vyšší, než je třeba dodávat do otopné soustavy. Brýdová pára vystupující ze sušky je vedena do výměníku chlazeného vratnou vodou z otopné soustavy, kde částečně kondenzuje a předeheřívá vratnou vodu před zavedením do horkovodního kotle. Podmínkou fungování tohoto systému je dostatečně nízká teplota vratné vody, aby ke kondenzaci brýdové páry došlo v co možná nejvyšší míře.

Brýdová pára, která ze sušky paliva vystupuje, je vždy směsí vodní páry a vzduchu, jehož koncentrace bude záviset na zvoleném principu sušení a mimo jiné bude ovlivňovat i teplotu kondenzace brýdové páry. Pokud se použije sušení paliva horkým vzduchem, bude kon-

centrace páry ve vzduchu nízká, což výrazně omezí možnost získání a využití jejího kondenzačního tepla. Pokud by však byl použit princip kontaktního sušení s přívodem tepla do sušeného materiálu přes výhřevnou plochu, je možné vzduch (coby sušící médium) z procesu v podstatě vyloučit, jeho podíl v brýdové páře výrazně snížit a její kondenzační teplotu tím výrazně zvýšit. Experimentálně bylo ověřeno, že podíl vzduchu v brýdové páře vystupující z takto koncipované kontaktní sušky je kolem deseti procent, za atmosférického tlaku pak sušení probíhá při teplotě blízké 100 °C, zhruba s touto teplotou sušku opouští i brýdová pára a až 80 procent jejího kondenzačního tepla lze získat nad teplotou 85 °C.

Potenciální přínos tohoto řešení je závislý na počáteční vlhkosti paliva, míře jeho předsušení a stupni kondenzace brýdové páry.

Účinnost výtopny bez sušení paliva se mění pouze podle účinnosti kotle v závislosti na vlhkosti spalovaného paliva. V případě sušení paliva před spalováním kotel bude pracovat vždy s maximální účinností, energetický bonus je dán kondenzací brýdové páry. Je zřejmé, že největšího efektu se dosahuje při použití velmi mokrého paliva (např. lesní štěpky), kdy by bylo možné navrženým řešením účinnost systému zlepšit až o 10 procent. Dalším nezanedbatelným přínosem spalování předsušeného paliva je vznik menšího množství spalin, takže kotel vyjde rozměrově menší a sníží se i spotřeba elektřiny

na pohon vzduchového a spalino-
vého ventilátoru.

Konkrétní vývojové práce pro otestování navrženého principu byly zaměřeny na návrh a ověření funkce poloprovozní kontaktní sušky na mokrou biomasu. Bylo prokázáno, že tímto způsobem je možné mokrou štěpku dosušit až na obsah vody nižší než 10 procent, a tím její výhřevnost zvýšit ze 7 na 16 MJ/kg.

Sušku opouštěla brýdová pára s teplotou kolem 100 °C. Pro získání jejího kondenzačního tepla byl navržen a vyroben kondenzátor, který se od běžných typů liší tím, že pára je zavedena shora do svisle orientovaných trubek, v nichž kondenzuje, ohřívána voda proudí v mezitrubkovém prostoru. Výhodou tohoto řešení je zejména samočisticí efekt svislých trubek, kdy stékající kondenzát omývá jejich stěny a odplavuje usazené částice prachu ze sušené biomasy. Byl vyroben funkční vzorek takto koncipovaného kondenzátoru, který se po připojení za kontaktní sušku ukázal jako plně funkční a umožnil rekuperovat zpět do systému až 85 procent tepla brýdové páry opouštějící sušku na biomasu.

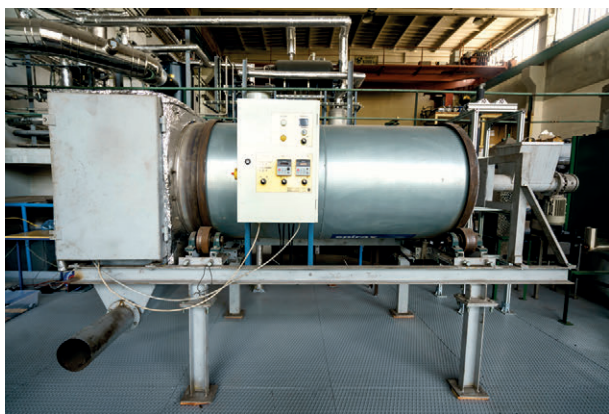
Popsané řešení je příkladem, jak by bylo možné zlepšovat účinnost, a tím i hospodárnost provozu standardních energetických zařízení, a tak docílit efektivnějšího využití primárních energetických zdrojů i environmentálních přínosů.

autoři: Tomáš Dlouhý

a Jan Havlík

foto: Jiří Ryszawy

**Experimentální
kontaktní suška na
biomasu s rotujícím
bubnem otápným
parou či horkou
vodou**



Ing. JITKA JENÍKOVÁ
Jitka.Jenikova@fs.cvut.cz

Ing. LUKÁŠ PILAŘ, Ph.D.
Lukas.Pilar@fs.cvut.cz

Záchyt rtuti ve spalinách

Klíčovým aktuálním tématem v energetice a ochraně životního prostředí je obsah těžkých kovů, zejména rtuti ve spalinách. Na řízení jejich emisí bude v nejbližší budoucnosti stát a padat provoz velkých energetických zařízení. Na Fakultě strojní (FS) se proto intenzivně věnujeme vývoji a testování pevných sorbentů určených pro záchyt rtuti ze spalin vzniklých po spálení pevných fosilních paliv a jiných pevných alternativních paliv typu TAP a kalů z ČOV.

Česká republika patří k zemím, které ve velké míře využívají pro výrobu elektřiny a tepla fosilní paliva. Přechod k obnovitelným zdrojům energie sice probíhá již desítky let, zdroje elektrické energie na spalování uhlí ale budou ještě chvíli velmi důležitým prvkem naší elektrické sítě. Emisní limity na škodlivé látky obsažené ve spalinách z průmyslu i energetiky jsou neustále zpřísnovány a koncentrace známých látek jako oxid siřičitý SO_2 , oxidy dusíku NO_x , prachu (TZL) a oxidu dusného CO jsou monitorovány již dlouhodobě. Nově se ve spalinách hlídají i škodliviny typu HF , HCl a Hg .

Rtuť je již obsažena v těženém černém i hnědém uhlí, její koncentrace se však výrazně liší dle druhu uhlí a místa těžby. I když od uhlí ustupujeme, je tato problematika aktuální i nadále, protože rtuť je mimo uhlí vázána i v tuhých alternativních palivech, tzv. TAP, popř. v odpadech.

Při spalování paliv se rtuť při vyšších teplotách začne uvolňovat do spalin a je ve volné atomární formě. Postupným ochlazením spalin část rtuti oxiduje spolu s chloridy a následně se váže na pevné částice (popílek). Rtuť tedy spalovací zařízení opouští v plynné formě spolu se spalinami a část je zachycena spolu s popílkem v odlučovačích. Snahou je převést co největší množství rtuti z plynné do oxidované formy a následně zachytit spolu s popílkem. K tomu slouží různé druhy pevných sorbentů, což jsou speciální jemně mleté materiály, které se vstříkují do proudu spalin, kde reagují se rtuť, která se pak adsorbuje na povrch sorbentu. Takto vázanou rtuť je pak jednodušší zachytit v rámci odlučovačů popílků

a následně případně v odsíření spalin. Účinnost záchytu TZL dnes dosahuje úrovně přes 95 procent. Popílek se následně využívá především ve stavebnictví.

Na Ústavu energetiky FS testujeme ve spolupráci s VŠB – TU Ostrava různé druhy pevných sorbentů. Některé jsou již průmyslově vyráběné a ověřené produkty, některé jsou nově připraveny pro účely experimentů. Zkoušené sorbenty byly na bázi aktivního uhlí, zeolitů, hydroxidů vápenatých a jejich modifikací s halogenidy, bromidy nebo jodidy. Dále jsme testovali zvýšení oxidované formy rtuti průchodem spalin katalyzátorem, který je primárně určen pro snížení emisí oxidů dusíku.

Experimenty byly prováděny na kotli o výkonu 500 kW vlastní konstrukce, jenž umožňuje fluidní spalování uhlí, biomasy, spoluspalování TAP a kalů z ČOV. Prvním úkolem bylo sestavit a optimalizovat zařízení pro pneumatickou dopravu sorbentů do spalin. Ze začátku jsme měli problémy se zalepováním trysky kvůli různým vlastnostem jednotlivých sorbentů. Následovaly experimenty s různými druhy sorbentů a jejich dávkování do spalin. Výhodou experimentů na našem kotli je, že se jedná o největší experimentální kotel ve střední Evropě a výsledky je možné aplikovat na průmyslovou úroveň.

Z jednotlivých sorbentů jsme vybrali ty vhodné k provedení experimentů na reálných velkých zdrojích. Výběr proběhl po posouzení z hlediska účinnosti, potřebného množství, a tedy ekonomiky provozu. Již proběhlo první testování sorbentů na velkém teplotěnském zdroji v Teplárně Trmice v rámci apli-

kace sorbentu do polosuché metody odsíření spalin. Na základě vyhodnocení došlo ke snížení Hg až o více než 60 procent a také došlo ke splnění budoucího emisního limitu na rtuť obsaženou ve spalinách. Zvýšení účinnosti sorbentů je možné jejich další modifikací.

Výzkum je cílen i na možnosti spolupráce s průmyslovými partnery. Nej důležitějším je pro nás výzkum s belgickou společností Lhoist S.A., jehož cílem bylo otestovat experimentální pevné sorbenty pro snížení rtuti ve spalinách připravené společností Lhoist. Spolupráce stále probíhá a v letošním roce budou provedeny další testy s novými modifikacemi sorbentů. Kromě uvedené zahraniční společnosti byl proveden i výzkum experimentálních pevných sorbentů se společností Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Samotná aplikace do průmyslového měřítka je již relativně jednoduchá. Velmi důležité je zajistit dokonalé rozptýlení daných pevných sorbentů do kouřovodu spalin. Technologie dávkování není z hlediska konstrukce a celkového provedení problematická a je k dostání na trhu. Hlavní problém je množství a tvar vstřikovacích kopí, které si jednotlivé společnosti patentově chrání. Dobře provedené vstřikovací kopí ušetří 20 až 30 procent spotřeby sorbentu. V rámci průmyslové aplikace bude následovat testování na daném zdroji dalších sorbentů modifikovaných jodidy.

autoři: Jitka Jeníková
a Lukáš Pilař



Měření
v Teplárně Trmice
(foto: Lukáš Pilař)

Ukládání energie

Stlačování CO₂ do solných jeskyní

Oxid uhličitý je jako technický plyn používán v celé řadě odvětví. Díky tomu je zkoumán i z pohledu potenciálu pro aplikaci v tepelných obězích pro energetiku. V dnešní době se nejčastěji pro výrobu elektrické energie používá Rankinův parní oběh, následovaný otevřenými tepelnými oběhy spalovacích turbín. Oxid uhličitý v nadkritickém stavu je možnou alternativou pro uzavřené plynové oběhy, která by mohla parnímu oběhu konkurovat.



Hlavním důvodem je fakt, že na rozdíl od jiných technických plynů má oxid uhličitý kritický bod při 7,4 MPa a 31°C. Díky tomu tak k jeho kompresi může docházet blízko kritického bodu, kde je vynaložená práce relativně malá. Více práce turbíny se tak využije k výrobě elektrické energie a dojde ke zvýšení účinnosti oproti plynům, které jsou stlačovány v ideálním stavu.

Výzkum oběhů s nadkritickým oxidem uhličitým se datuje do čtyřicátých let minulého století a od té doby je zkoumán potenciál tohoto tepelného oběhu. Na Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT se tomuto výzkumu věnujeme pro různé aplikace přes dvacet let. Na začátku našeho výzkumu byl zkoumán potenciál tohoto oběhu hlavně z termodynamického hlediska. Ukázalo se, že oběh by byl velice vhodný pro nové jaderné reaktory, což byla

tehdy hlavní oblast výzkumu. Postupem času se ale objevily nové aplikace a dnes je tento oběh zkoumán například pro využití odpadního tepla, jako tepelný oběh pro akumulací systémy solárních zařízení a objevují se i aplikace v klasické energetice, ať už pro běžné kotle, nebo pro systémy s oxy-fuel spalováním. Výzkum se tak v této oblasti posunul od prvotních termodynamických studií až k současnému vývoji komponent a výstavbě prvních demonstračních jednotek.

Náš výzkum se zaměřuje na celou škálu aplikací. Jsou to už zmiňované pokročilé jaderné reaktory, momentálně hlavně pro mikro jaderný reaktor EnergyWell, dále pak možnost použití tohoto oběhu pro fúzní jaderné elektrárny. Pro jednu renomovanou firmu jsme zpracovávali analýzu využití tohoto oběhu jako systému pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla plynových turbín v kompresních stanicích plynovodů.

Velice zajímavou oblastí je možnost ukládání energie pomocí stlačování oxidu uhličitého do solných jeskyní. Pro tento výzkum jsme byli osloveni firmou Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG) z Lipska, spolupráci jsme zahájili před dvěma lety. Letos končí úvodní projekt a připravuje se navazující výzkum, jehož cílem je návrh demonstrační jednotky v reálné lokalitě.

Myšlenka ukládání energie stlačováním plynu není nová, systémy na stlačování vzduchu jsou zkoumány již delší dobu. Hlavní výhoda použití oxidu uhličitého místo vzduchu leží opět v možnosti komprese blízko kritického bodu. Díky tomu se plyn tolik nezahřívá a je možné ho vtlačovat do podzemí bez dalšího chlazení. Vysoká teplota plynu by způsobila praskání hornin a následné úniky stlačeného média. V turbínovém režimu pak není nutné oxid uhličitý přehřívát. Nižší teplota umožňuje snadnou aplikaci v solných jeskyních. V tomto multidisciplinárním výzkumu se sešli mecha-

nici hornin (IfG), vrtaři (Untergrund-speicher- und Geotechnologie-Systeme GmbH) a strojaři. Naše řešení musí respektovat okrajové podmínky všech tří oblastí: fyzikální vlastnosti hornin, možnosti technologie hlubinných vrtů, hlavně maximální průměr vrtu, a strojní problematiku komponent s nadkritickým CO₂. Důvodem pro volbu solných jeskyní je fakt, že sůl je viskoelastická (tak trochu teče). Díky tomu vytváří v zásadě tlakovou nádobu, kde úniky plynu jsou skoro nulové. U stlačování vzduchu představují významnou ztrátu. Pro německou energetiku, která výrazně využívá intermitentní zdroje elektrické energie, je výzkum technologií akumulace energie klíčový, pokud mají úspěšně se svojí energetickou revolucí. My se snažíme přijít se systémem, který poskytuje výkon na úrovni desítek megawatt po dobu několika hodin. V současné době systém propojuje dvě solné jeskyně, nízkotlakou v hloubce 800 m a vysokotlakou v hloubce 1500 m, pomocí vrtů, které vedou na povrch, kde je instalovaná kompresorová a turbínová stanice. Zpětná účinnost našeho systému je kolem 50 procent, což je velmi slušný výsledek. Do budoucna navíc plánujeme mít celou instalaci pod zemí, aby nebylo nutné vést dlouhé potrubí na povrch a zase zpátky, což je doprovázeno značným poklesem tlaku (kvůli vysoké hustotě 800 kg/m³), což snižuje výkon celého systému.

Hlavním omezením je v současnosti maximální možný průměr vrtu. Ten je dán možnostmi vrtařských technologií. Jeho průměr určuje maximální výkon systému. Pokud se podaří toto omezení odstranit, a navíc úspěšně dovyvinout podzemní instalaci, bude se jednat o velice atraktivní systém pro akumulaci energie, který lze postavit mnohem snáze než vodní přečerpávací elektrárny.

autor: Václav Dostál
foto: archiv autora

doc. Ing. VÁCLAV DOSTÁL, Sc.D.
vaclav.dostal@fs.cvut.cz

V současné době jaderná energetika prochází velmi dynamickým obdobím a v souvislosti s tím se opět hodně hovoří o malých jaderných reaktorech. Často se navíc setkáváme s přídomkem modulární. Začíná se objevovat nová kategorie tzv. mikro jaderných reaktorů. Těmto trendům se aktivně věnujeme na Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT.

Vývoj mikro reaktoru EnergyWell

Hlavním důvodem, proč se o těchto reaktorech hovoří, je fakt, že v současné době dochází k přesunu výstavby nových jaderných bloků do Asie a tradiční jaderné země v tempu obnovy a nové výstavby začínají zaostávat. Souvisí to s problémem, kdy přesunem výroby právě do asijských zemí ztrácíme schopnost výstavby velkých projektů, a to nejen jaderných elektráren. Je to dáno i tím, že naše infrastruktura byla v minulosti postavena velice robustně a poměrně dlouhý čas nepotřebovala výraznou obnovu. To se ale v současnosti začíná měnit a dnešní energetika tak prochází výraznou změnou v souvislosti se snahou o větší decentralizaci, která je umožněna prudkým rozvojem jak výrobních technologií, tak hlavně moderními systémy řízení, měření a regulace, které představují obrovský potenciál pro nové přístupy.

V případě klasické jaderné energetiky jsou hlavním problémem výstavby nových jaderných bloků vysoké pořizovací náklady a s tím spojená obchodní rizika. Energetické firmy v našem prostoru již nebývají státní a jako takové tato rizika musí brát velice vážně, což je od výstavby velkých bloků, ze kterých má hlavní benefit stát v podobě

hlavně dlouhodobých garantovaných dodávek za nízkou cenu, energetické bezpečnosti a ekologické výhodnosti, zrazuje. Jaderné reaktory s nižším výkonem a nižšími pořizovacími náklady se jim tak jeví jako atraktivní, přestože jejich měrné investiční náklady a výrobní cena jsou dnes podstatně vyšší.

Malé jaderné reaktory jsou dle definice Mezinárodní agentury pro atomovou energii zařízení s výkonem nižším než 300 MWe. Dnes už se začíná hovořit o mikro jaderných reaktorech s výkonem zhruba do 40 MWe. Jedním z klíčových aspektů malých reaktorů je snížení jejich ceny pomocí velkého počtu opakování a principů masové výroby na rozdíl od velkých bloků, které využívají snížení měrných nákladů díky velkému výkonu. Zatímco tento způsob je praxí ověřen, masová výroba jaderných reaktorů ne. Dostáváme se tak do situace, kdy investice do výrobního závodu je podobnou překážkou jako samotná stavba velkého bloku. Klíčové tedy je zajistit velké počty reaktorů, což u těch s několika desítkami megawattů již není jednoduché. Proto se lze setkat i s přístupem nahrazení velkého bloku celou řadou menších reaktorů (modulů). Zároveň je u malých reaktorů snaha modularizovat i výrobu každého reaktoru. Velmi často se proto hovoří o malých modulárních reaktorech.

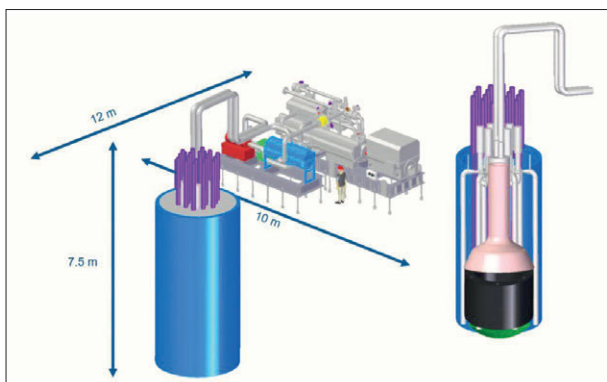
Všechny tyto revoluční přístupy narážejí na fakt, že licencování zcela nových jaderných zařízení státními dozory nad jadernou bezpečností je vzhledem k jeho rozsahu velice pomalé. Proto nelze očekávat masové nasazení těchto reaktorů

dříve než ve čtyřicátých letech, pokud ne později. Nicméně první demonstrační jednotky se očekávají v příštím desetiletí a zcela jistě pomohou zodpovědět celou řadu otázek, se kterými se dnes v návrhu malých reaktorů potýkáme.

Hlavní oblast našeho výzkumu, při němž spolupracujeme s Centrem výzkumu Řež, je návrh reaktoru pro odlehle lokality. Společně se snažíme vyvinout mikro reaktor s výkonem 7 MWe. Jedním z našich hlavních cílů je nalezení vhodné aplikace tohoto reaktoru a tomu přizpůsobit jeho design. V současnosti jsou prakticky všechny malé jaderné reaktory doménou námořních aplikací (ledoborce, ponorky, letadlové lodě). Jejich aplikace v běžné průmyslové praxi zatím nebyla nikde realizována a nedůvěra v tuto technologii je tak její hlavní překážkou. Aplikace malého nebo mikro jaderného reaktoru v místech s dostupnou elektrizační soustavou zatím ekonomicky nevychází. Proto je třeba zaměřit se na aplikace v odlehlých lokalitách, kde jediným konkurentem je obvykle výroba elektrické energie z dieslových agregátů. Ta je poměrně drahá a navíc je komplikována nutností kontinuálního transportu velkého množství paliva. Diamantové a zlaté doly v kanadských oblastech Severozápadního teritoria a Nunawatu se pro mikro modulární jaderný reaktor jeví jako ideální. Pro tuto aplikaci tedy pomáháme vyvíjet mikro reaktor s názvem EnergyWell, jehož koncept má Centrum výzkumu Řež patentován. Jedná se o zařízení chlazené tekutou solí, kde pro výrobu elektrické energie navrhujeme turbínu pracující s nadkritickým oxidem uhličitým. Jak je tomu běžné u malých jaderných reaktorů, jsou všechny bezpečnostní systémy pasivní a reaktor by měl být prakticky bezobslužný a bezúdržbový. Výměna paliva by probíhala ve výrobním závodě a celý modul by byl jednoduše transportovatelný. Snahou je navrhnout reaktor tak, aby se do jeho výroby mohly zapojit české firmy, které mají s výrobou jaderných komponent letité zkušenosti.

autor: Václav Dostál

Modul malého jaderného reaktoru EnergyWell



Využití vyřazených baterií

Projekt pro udržování stability přenosové soustavy

Novým prvkem, který by mohl do budoucna nahrazovat roli točivých zdrojů při udržování optimální hodnoty frekvence v soustavě, jsou velkokapacitní bateriová úložiště energie. Pro ně by se mohly úspěšně využívat vyřazené baterie z elektromobilů, které nyní nejsou v drtivé většině případů nikterak dále využívány a jsou často přímo dekomponovány a recyklovány.

Dle vytvořeného matematického modelu, popisujícího objem budoucí kumulované vyřazené kapacity baterií, jsme došli k závěru, že Česká republika bude po roce 2030 disponovat zhruba 2000 MWh volné kapacity v podobě vyřazených bateriových článků.

Jedním z nejvíce ohrožených regionů, jehož energetický mix je z velké části závislý na využívání uhlí, je region střední a východní Evropy. V České republice se předpokládá, že instalovaný výkon „klasických“ regulovatelných zdrojů klesne o více než 15 GW (11 GW tepelných elektráren a 4 GW jaderných elektráren) do roku 2040. Tímto rapidním úbytkem výrobních kapacit se česká energetika, která si doposud držela pozici stabilního exportéra elektrické energie s vývozem až 17–18 TWh za rok, stane v budoucnu energetikou s negativní územní bilancí v soustavě. Nutnost importu elektrické energie v některých časových okamžicích je predikována nejen pro ČR, ale i většinu okolních států.

Evropská unie si je potenciální hrozby rychlého úbytku výrobních kapacit vědoma a za účelem nahrazení ubývajících výrobních výkonů „klasických“ zdrojů jsou do propojené evropské elektrizační soustavy integrovány obnovitelné zdroje energie (OZE). Právě ty se mají stát hlavním nástrojem pro omezování produkce skleníkových plynů vznikajících při výrobě energie a dále mají zajistit přeměnu energetických mixů zemí EU směrem k výrobním mixům s nízkou až nulovou emisní zátěží. Touto zrychlující se penetrací obnovitelných zdrojů energie napříč evropskými zeměmi dochází k celkové změně charakteru energetické sítě z původně centrálně řízené soustavy na decentralizovanou a lokálně řízenou síť, která bude klást čím dál vyšší požadavky na lokální řízení a komunikaci napříč všemi uzly sítě v reálném čase. Výroba elektřiny na bázi OZE nám poskytuje bezpo-

chyby mnoho výhod, je však třeba zmínit i jejich signifikantní vlastnost, kterou je jejich neřiditelnost a omezená predikovatelnost jejich výroby. To s jejich narůstajícím využíváním při výrobě elektrické energie v kombinaci s ubývajícími konvenčními říditelnými zdroji disponujícími pohotovým výrobním výkonem může vést ke vzniku bezpečnostní hrozby pro chod a stabilitu celé propojené evropské páteřní soustavy.

Neřiditelnost a proměnlivý výrobní charakter OZE má také kritický dopad na proces udržování výkonové rovnováhy v elektrizační soustavě. Poskytovatelé služeb nyní pro udržování stability sítě využívají tradiční točivé zdroje, které regulují frekvenci sítě dodávkami tzv. regulační energie v případě výchylek od plánovaného objemu výroby či spotřeby elektrické energie v soustavě. Novým prvkem, který by mohl do budoucna nahrazovat roli točivých zdrojů při udržování optimální hodnoty frekvence v soustavě, jsou velkokapacitní bateriová úložiště energie. Tato zařízení disponují výbornými technickými parametry, a to zejména vysokou bezpečností a schopností dodávky vysokého regulačního výkonu v řádech sekund. Tyto vlastnosti je předurčují pro jejich využívání při poskytování služby automatického řízení frekvence v síti, což je nejrychleji reagující podpůrná služba. Tuto skutečnost potvrzuje také jejich plošné nasazování v rámci německé přenosové sítě, která ke konci roku 2020 disponovala více než 400 MW instalovaného výkonu bateriových úložišť, právě pro potřeby služby automatické regulace frekvence. Tyto bateriové systémy taktéž umožňují vyšší

penetraci OZE v rámci celkového výrobního mixu.

Největší stávající bariérou rozvoje velkokapacitních bateriových úložišť je jejich vysoká investiční náročnost. Zejména z tohoto důvodu jsme se v rámci našeho projektu možnosti využití vyřazených bateriových článků ve stacionárních úložištích pro poskytování služeb výkonové regulace sítě zabývali myšlenkou, jak tuto bariéru odstranit a napomoci tak budoucímu rozvoji. Odpověď a výraznou synergii jsme našli ve stále rychleji se rozvíjející oblasti elektromobility.

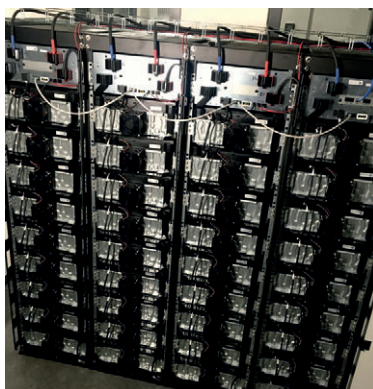
Budoucí rozvoj elektromobility, který je podporován nejen zpřísněním emisních limitů pro nově vyráběné automobily, je taktéž výraznou součástí klimatických plánů EU. V současnosti disponuje EU více než 3 miliony elektrických vozidel. Dle predikcí budoucího počtu elektrických vozidel v ČR lze do roku 2030 počítat s více než 200 tisíci elektromobily. Do roku 2040 by mělo zastoupení vozidel využívajících elektrický pohon na celkovém vozovém parku ČR přesahovat 33 procent.

Elektrická vozidla disponují stejnými typy lithiových baterií, které jsou využívány právě ve stacionárních úložištích. Z důvodu kritického provozního ukazatele, tzv. skladovací kapacity baterie na kilogram hmotnosti bateriového modulu a průměrné dojezdové vzdálenosti vozidla, jsou bateriové moduly z elektrických vozidel vyřazovány při dosažení zhruba 80procentní hodnoty původní skladovací kapacity. Této hodnoty dosahují bateriové články při běžném provozu elektromobilu zhruba po osmi letech. Za současné situace nejsou v drtivé většině případů tyto vyřazené bateriové články nikterak dále využívány a jsou často přímo dekomponovány a recyklovány. Z pohledu stacionárního systému jsou však plně využitelné a mohou sloužit novému účelu ještě mnoho let. Sekundárním vyu-

žíváním bateriových článků dojde k maximalizaci využívání cenných přírodních zdrojů, úspoře energie a emisí vznikajících při výrobě nových bateriových článků a celkovému prodloužení životního cyklu baterií minimálně na dvojnásobnou dobu.

Dle vytvořeného matematického modelu, popisujícího objem budoucí kumulované vyřazené kapacity baterií, postaveném na základě dat středního scénáře budoucího vývoje elektromobility ze studie Predikce vývoje elektromobility v České republice a respektováním průměrného poklesu kapacity článků během doby životnosti, jsme došli k závěru, že Česká republika bude po roce 2030 disponovat zhruba 2000 MWh volné kapacity v podobě vyřazených bateriových článků. Tato hodnota skladovací kapacity by byla pro představu schopná pojmout elektrickou energii vyrobenou během celé jedné hodiny provozu JE Dukovany při výrobě všech bloků na jejich plný instalovaný výkon.

Při podrobnějším zkoumání technického stavu vyřazených bateriových článků se nám potvrdil předpoklad, že jejich základní technické parametry, a to zejména teplotní stabilita a velikost vnitřního odporu článku, jsou zcela dostačující a bezpečné pro jejich další využití v bateriových úložištích. Při modelování provozu úložiště využívajícího vyřazené bateriové články, při respektování principů degradace článků v závislosti na provozní teplotě a hloubce vybíjecích cyklů stanovených na základě historických dat odchylek frekvence v přenosové soustavě ČR, bylo zjištěno, že tyto systémy mohou sloužit při stabilizaci elektrizační soustavy ještě dalších 10 až 15 let. Po této době poklesne kapacita článků pod přijatelnou mez, která je definována minimálními technickými požadavky pro poskytování podpůrných služeb (kodex ČEPS). Tato předpokládaná doba životnosti úložiště v rámci druhého života bateriových článků je zapříčiněna vhodně navrženou aktivní strategií řízení optimální úrovně nabití úložiště, která respektuje charakter využitých



Akumulátor s kapacitou 275 kWh ve Vestci

článků, a samotnou podstatou služby primární regulace frekvence. Dalším faktorem, který výrazně ovlivňuje prodloužení životnosti, je skutečnost, že při poskytování služby primární regulace bateriový systém většinu času funguje v mělkých vybíjecích cyklech, které jsou z pohledu životnosti ideální (nedochází k častému poskytování vysokých výkonů, které signifikantně zatěžují a nadlmičně ohřívají bateriové články).

Na základě provedených analýz a simulací provozu a vývoje podpůrných služeb a trhu se skladovací kapacitou bude pořizovací cena vyřazených bateriových článků v porovnání s cenou nových článků téměř třetinová. Při pohledu na predikovaný nárůst počtu elektrických vozidel v rámci vozového parku v ČR i celé EU bude nově vznikající trh

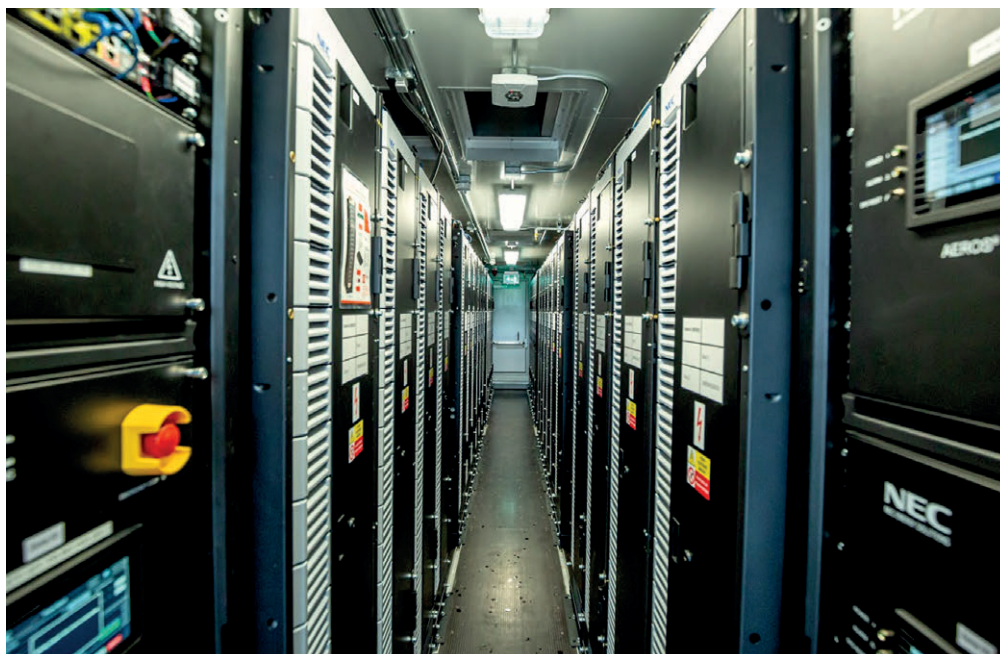
s vyřazenými bateriovými články disponovat masivní dostupnou skladovací kapacitou. Bateriová úložiště budou však stále častěji využívána i pro jiné aplikace, než je pouze udržování stability sítě, a to zejména při jejich paralelním chodu s intermitentními obnovitelnými zdroji. V rámci této synergie dojde k signifikantnímu snížení negativních dopadů nestálého výrobního charakteru OZE na elektrizační síť vlivem vyhlazení výrobního diagramu a možností přesouvání výroby do vhodnějších časů během dne. Velkokapacitní bateriová úložiště budou hrát také majoritní roli při podpoře rozvoje a integrace dobíjecí infrastruktury pro elektrická vozidla, která vyžaduje vysoké proudové přenosy a vyvíjí tak silný tlak na posilování kabelových vedení distribuční sítě. Všemi těmito zmíněnými benefity je naplněna myšlenka cirkulárního hospodářství EU, která je sama o sobě klíčovým nástrojem při transformaci evropské ekonomiky směrem k hospodářství s nulovou emisní bilancí. Bateriová úložiště se stanou v následujících několika dekádách naprosto klíčovou infrastrukturou při úspěšné transformaci evropské energetiky.

autoři: Tomáš Králík

a Lukáš Janota

foto: ČEZ, a.s.

> Více na <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/23/6396/html>



Smart Grid

Provázanost výroby a spotřeby energie

Před energetickou soustavou ČR stojí velké výzvy. Hlavní změnou, se kterou se aktuálně budeme muset vypořádat, je zajištění rovnováhy mezi výrobou a spotřebou. To bylo s fosilními palivy doposud řešeno hlavně na straně výroby elektřiny, nyní bude muset přispět i strana spotřeby a svůj energetický odběr dynamicky přizpůsobovat aktuální situaci v distribuční síti.

Smart Grid na CIIRC
ČVUT. Solární panely
na střeše budovy
reprezentují stranu
výroby elektřiny
(foto: Roman Sejkot)

Velké možnosti v této oblasti představují moderní flexibilní výrobní systémy implementované podle konceptů Průmyslu 4.0, které nespolehnají na fixní výrobní postupy, ale výrobní plány a rozvrhy přizpůsobují konkrétní situaci ovlivněné dostupností materiálu, kapacit, pracovní síly nebo přepravních služeb. Do takových systémů pak aktuální podmínky dostupnosti

energie vstupují jen jako další kritérium, které se zohledňuje při hledání optimálního výrobního postupu. Průmysl 4.0 tak nepřináší jen kvantitativní výhody jako rychlejší a efektivnější výrobu, ale i kvalitativní změny v podobě stabilních energetických sítí.

Na Českém institutu informatiky, robotiky a kybernetiky ČVUT (CIIRC) v rámci centra excelence RICAIP

vzniká výzkumná infrastruktura, která umožní vyvíjet řešení stojící na těsné informační provázanosti výroby a spotřeby energie, tzv. Smart Grid. Stranu výroby reprezentuje sestava fotovoltaických panelů a fyzické simulátory fotovoltaických panelů (DC zdroje). Několik zařízení může v závislosti na aktuální situaci vystupovat jako zdroj nebo spotřebič. Jedná se zejména o dvě bateriová úložiště a dále dvojici tzv. grid simulátorů, což jsou reverzibilní AC zdroje, které umí do laboratorní sítě dodat nebo ze sítě odebírat elektrický signál s přesně danými a opakovatelnými parametry. Díky tomu, že jsou tyto komponenty spojeny se simulačním prostředím reálného času MathWorks dSPACE, umožní v laboratoři nastolit podmínky, jaké vznikají v distribuční síti interakcí tisíců reálných zařízení.

Stranu spotřeby reprezentuje vybavení laboratoří zaměřených na výrobní systémy. Jedná se zejména o různé typy robotů, obráběcí stroje a dopravníkové systémy.



Mgr. JAKUB MAREČEK, Ph.D.
marecjak@fel.cvut.cz

Jednotlivá zařízení budou do laboratorní sítě připojena přes měřicí prvky, které umožní detailní sledování průběhu elektrického signálu. Přesná koordinace činností jednotlivých komponent vyžaduje spolehlivou a rychlou komunikaci. Ta bude v našich laboratořích zajištěna díky první instalaci 5G SA infrastruktury společnosti T-Mobile.

Vytvořené laboratorní prostředí umožní vyvíjet a testovat nové metody pro řízení energetických toků pro průmyslové i rezidenční aplikace. Jedním z prvních výzkumných témat, kterými se bude laboratoř zabývat, bude energetický management ve výrobních podnicích. Řešení bude založeno na rozšíření současných digitálních modelů výrobních strojů o model jejich energetické náročnosti vztažené k jednotlivým výrobním operacím. Simulační nástroj MathWorks dSPACE umožní z identifikovaných modelů vytvořit mnoho instancí, které v rámci simulace mohou běžet paralelně. Výsledný model tak bude svojí komplexitou odpovídat reálnému výrobnímu závodu a umožní sledovat, jaký dopad na průběh energetické náročnosti má daná výrobní konfigurace při konkrétním výrobním rozvrhu a jak ji můžeme ovlivnit jeho úpravami.

Celý systém bude zprovozněn na konci roku 2021 a výzkumníkům ČVUT umožní intenzivně se zapojit do vývoje energeticky zodpovědných a dlouhodobě udržitelných výrobních prostředků.

autor: Petr Kadera

Díky tomu, že jsou tyto komponenty spojeny se simulačním prostředím reálného času, umožní v laboratoři nastolit podmínky, jaké vznikají v distribuční síti interakcí tisíců reálných zařízení.

Optimalizace pro elektroenergetiku

Podobně jako auta se pomalu stávají „počítači na kolech“, i v energetice vstupují s digitalizací do řady procesů řešící optimalizačních problémů. Jednak hledají přípustná řešení problémů, což dnes „z hlavy“ není snadné ani pro vnitrodenní a denní přípravu provozu větších výrobců elektřiny, tím spíše pro složité strukturované nabídky některých podpůrných služeb. Řešiče také postupně poskytují stále lepší přípustná řešení a záruky na jejich kvalitu. Podobně jako „počítače na kolech“ vedly k zásadním pokrokům ve strojovém vidění, digitalizace elektroenergetiky vede k posunu vpřed v matematické optimalizaci.

Optimalizace pro elektroenergetiku je velmi bohatý obor: od problémů optimalizace přes ustálené stavy přenosové soustavy na straně provozovatele přenosové soustavy (kde jsou proměnné spojitě), přes řadu optimalizačních problémů v obchodování se silovou elektřinou a s podpůrnými službami, až po problémy nasazení zdrojů na straně výrobců (kde některé proměnné nabývají hodnot z množiny 0 a 1).

Většina problémů v předpovídání je řešena jako optimalizační problémy. Řada z nich v elektroenergetice vychází z prediktivního řízení. Pro každý z řady časových horizontů se pravidelně opakují úlohy podobné struktury, s upravenými koeficienty na vstupu. V tomto směru je možné tyto problémy vnímat jako „optimalizaci proměnnou v čase“. Donedávna však pro ni byly známy výsledky jen v případě, že je problém konvexní a nemá omezení.

V poslední době jsme učinili pokroky v oboru v čase proměnné optimalizace se spojitými proměnnými a omezeními. Pro nekonvexní nelineární problémy tzv. „ustálených chodů v síti“, tedy optimalizaci přes ustálené stavy dynamického systému, jakým je přenosová soustava, běžné učebnice uvažují jen tradiční metody se zárukami pro případ, že začínáme s dobrým odhadem řešení (např. Gauss-Seidlova nebo Newton-Raphsonova metoda). Pokud však začneme se špatným odhadem, mohou tradiční metody dávat libovolně špatná řešení. Volatilita, daná (nejen) výrobou z obnovitelných zdrojů, potom vede k tomu, že dobrý odhad řešení nemusíme mít. Alternativu k tradičním metodám nabízí postupně vytvářené konvexifikace, jež v nějakém smyslu pracují se stále přesnější nadmnožinou množiny přípustných řešení. Takové konvexifikace zaručují dobré řešení bez ohledu na počáteční řešení. Jako první u nich studujeme geometrii trajektorií optimálních řešení, když se některé parametry mění v čase. Zároveň prezentujeme algoritmy se silnými zárukami na vzdálenost trajektorie na výstupu algoritmu od trajektorie optimálních řešení, v závislosti na počtu aritmetických operací, které je možné provést za jednotku času.

Pro nekonvexní smíšené celočíselné problémy, jakými je nasazování zdrojů, kde se rozhoduje o nastavení jejich výkonu, pokud nastavitelný je, běžné učebnice uvažují opakované použití komerčních řešičů smíšeného celočíselného programování (MILP), bez uvažování „v čase proměnných“ aspektů problému. Toto uvažování umožní dávat dobrá přípustná řešení podstatně rychleji, a přitom poskytovat záruky kvality řešení. Tyto aspekty rozpracováváme v tzv. Optimalizačním modulu, který v řadě aplikací nasazování zdrojů na Dispečinku ČEZ, a. s., a na Tradingu ČEZ, a. s., nahrazuje dosud používané heuristiky. Věříme, že postupem času bude mít proměnná optimalizace řadu dalších elektroenergetických aplikací. Digitalizace v energetice vyžaduje nové řešiče optimalizačních problémů – a výzkum v matematické optimalizaci potřebuje nové výzvy.

autor: Jakub Mareček

TEPLATOR

Česká odpověď na European Green Deal

Naše teplárny zažívají nejtěžší období své existence: v rámci klimatických dohod evropské země odcházejí od spalování uhlí, emisní limity se zpřísňují a cena povolenek za produkované CO₂ atakuje několiknásobné hodnoty oproti loňsku. Není divu, že hrozba ekonomického úpadku visí nad mnohými českými teplárnami, a ty jsou v každém větším okresním městě. Existuje jednoduché a elegantní řešení – centrální vytápění jaderným teplem. První vlašťovkou je napojení Českých Budějovic na lokalitu elektrárny Temelín. Řešením pro další města může být TEPLATOR (reakTOR vyrábějící TEPLo), koncept vyvinutý zhruba tuctem vědců z ČVUT v Praze a ZČU v Plzni.

Inovace návrhu TEPLATORu spočívá v detailních fyzikálních výpočtech za použití nejnovějších simulačních nástrojů. Pro tento účel byl vyvinut například nejrychlejší kód na světě pro výpočet vyhoření jaderného paliva UWB1 (www.uwb1.cz). Technicky pak tento koncept vychází se známých komponent jaderné energetiky a pracuje na řádově nižších tlacích, hustotě výkonu, nižších teplotách a nižším celkovém výkonu než běžné energetické jaderné reaktory, které známe z Dukovan či Temelína. Tímto je TEPLATOR výrazně snazší na výrobu, licencování a provoz než stávající „velké“ reaktory.

TEPLATOR pracuje pouze s chladivem v kapalném stavu, není tedy primárně navržen na produkci páry, a tak ani na výrobu elektrické energie. TEPLATOR využívá dekadami ověřené palivo VVER 440 (používané například v Dukovanech), ať už čerstvé či ozářené. Výkonový rozsah TEPLATORu, jenž míří na velká okresní města, je 50–200 MWt, dle toho i jedna zavlážka (55 článků jaderného paliva) vydrží od devíti měsíců do dvou let provozu. V současnosti je jen v Česku takových vhodných ozářených, tedy „nevyhořelých“ palivových článků více než 10 000 a přibývají každý rok po stovkách, což dokládá energetický potenciál tohoto teplárenského řešení. Bez nadsázky je schopno „vytopit“ Česko.

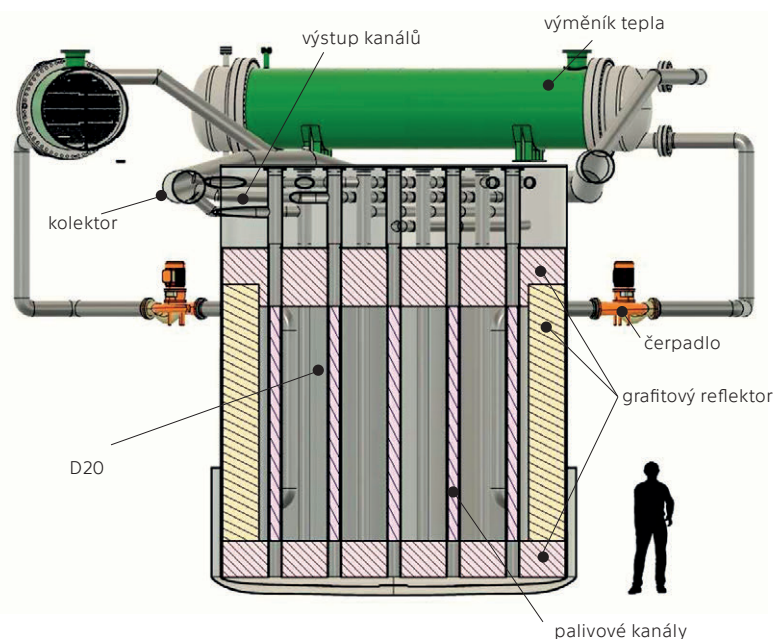
Reálně, pokud se k projektu přistoupí jako k vládní prioritě, je takové zařízení o výkonu do 50 MWt zprovoznitelné do roku 2028. TEPLATOR DEMO je navržen tak, aby stejné zařízení bylo možné po administrativním přelicencování provozovat jako TEPLATOR FULL až do výkonu 170 MWt s výstupní teplotou až 200 °C; to při připojení v roce 2032. Při použití nových chladiv lze uvažovat TEPLATOR HT s výstupní teplotou 420 °C, dodatečné studie umožňují nasadit toto řešení od roku 2035.

Celá technologie je zapojitelná na stávající rozvody centrálního vytápění a i s administrativními prostory se vejde do areálu velikosti přibližně poloviny fotbalového hřiště (cca 2000 m²), ideálně mimo zástavbu, ale s připojením na již stávající rozvodnou síť tepla. Například lokalita Řež u Prahy a připojení na stávající teplovod Mělník–Praha je ideálním řešením

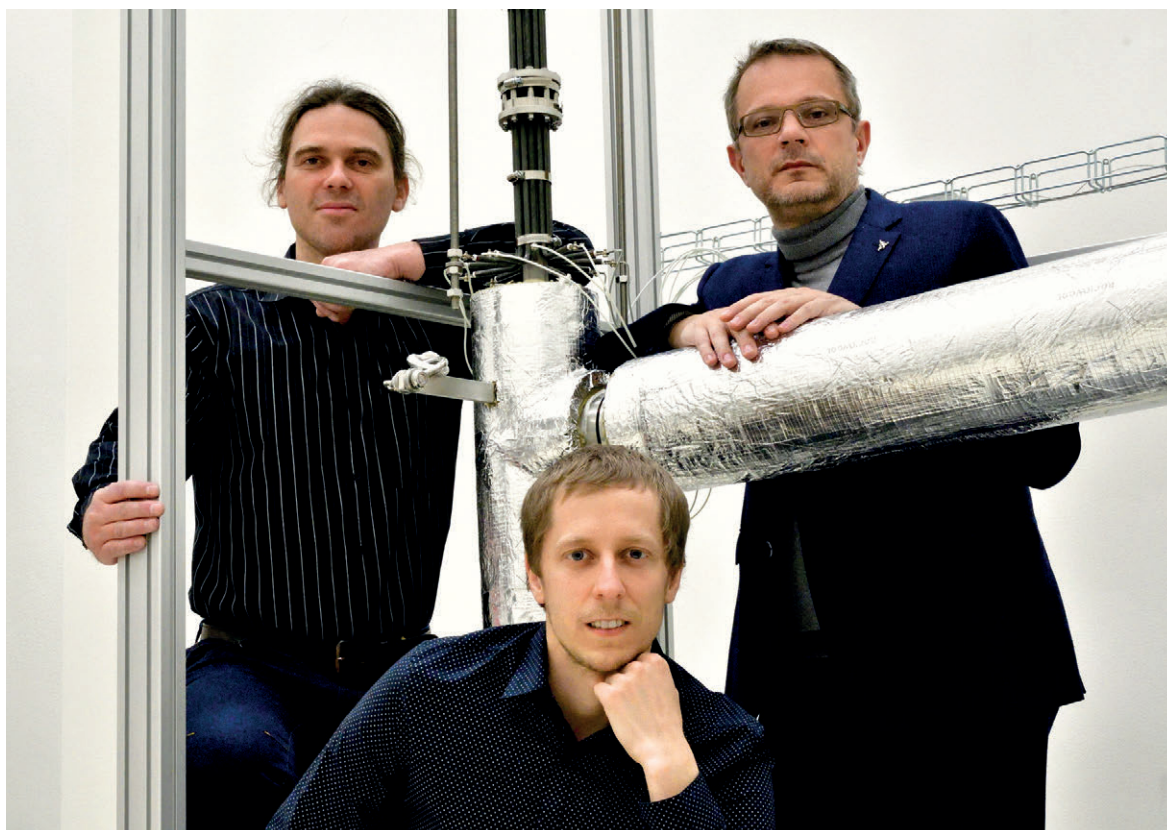
Řez Teplátorem
(zdroj: CIIRC ČVUT)



Teplátor v krajině.
(zdroj: CIIRC ČVUT)



Znovuvyužití „nevyhořelého“ jaderného paliva pro levnou produkci tepla je příkladem moderního upcyclingu a zapadá tak do koncepce cirkulární ekonomiky Průmyslu 4.0. Jelikož jaderné zařízení TEPLATOR je věru mezioborový projekt, je zde šance se zapojit pro akademiky a studenty všech fakult ČVUT.



Jan Škarohlíd, Tomáš Kořínek a Radek Škoda (vedoucí skupiny Energetika 4.0, CIIRC ČVUT), členové pražské části týmu Teplátor (foto: Roman Sejkot)

V současnosti je jen v Česku vhodných ozářených, tedy „nevyhořelých“ palivových článků více než 10 000 a přibývají každý rok po stovkách, což dokládá energetický potenciál tohoto teplárenského řešení. Bez nadsázky je schopno „vytopit“ Česko.

pro TEPLATOR a Prahu. Architektonicky je vše řešeno tak, že celé zařízení splývá s krajinou.

Vlastní teplárenský návrh zapojení do stávajících systémů zahrnuje tři okruhy. Primární okruh obsahuje nádobu, aktivní zónu s palivem, výměníky a čerpadla. Chladiivo z primárního okruhu – těžká voda – projde skrz palivové kanály a dále primární stranou výměníku. Přes čerpadlo a spodní rozdělovací komoru se dostává zpět do kanálů s palivem.

V sekundárním okruhu (tzv. meziokruhu) proudí sekundární teplosnosné médium, které předává teplo z primárního okruhu do vlastního topného okruhu přes sekundární výměník. Součástí meziokruhu je systém na ukládání energie pro teplárenské špičky, který je zároveň schopen odvést a uložit teplo ze zbytkového výkonu paliva.

Terciální, neboli vlastní topný okruh je pak již sestava sekundárního výměníku a trubek, které rozvádí teplotnosné médium (vodu/páru) ke koncovému zákazníkovi. Jak už bylo zmíněno, tyto topné rozvody jsou v Česku v každém větším okresním městě.

Nezávislost na dodávkách paliva je dána nejen tím, že využitelného „vyhořelého“ jaderného paliva je v Česku dostatek a není třeba ho nakupovat v zahraničí, ale i faktem, že TEPLATOR lze provozovat též se známým licencovaným čerstvým palivem, které se vyrábí v několika zemích. Pro provozovatele topných soustav a pro odběratele tepla je ovšem mimo zajištění spolehlivosti a bezpečnosti dodávek zásadní i příznivá cena dodávaného tepla. Tato cena je při použití „vyhořelého“ i čerstvého jaderného paliva výrazně nižší než při spalování zemního plynu. A není potřeba zdůrazňovat, že TEPLATOR neprodukuje žádné uhlíkové ani jiné emise. Znovuvyužití „nevyhořelého“ jaderného paliva pro levnou produkci tepla je příkladem moderního upcyclingu a zapadá tak do koncepce cirkulární ekonomiky Průmyslu 4.0. Jelikož jaderné zařízení TEPLATOR je věru mezioborový projekt, je zde šance se zapojit pro akademiky a studenty všech fakult ČVUT.

autor: Radek Škoda

Ing. ONDŘEJ MAMULA, MBA
Ondrej.Mamula@cvut.cz

Evropský trh s elektřinou je na rozcestí. Ekonomická zvýhodnění některých typů zdrojů a další zásahy do trhu prakticky paralyzovala samoregulaci. Investice do nových zdrojů a rozšiřování sítí de facto řídí státní pobídky, nikoliv volný trh, což vede k nevyrovnanému zdrojovému mixu s řadou strategických a systémových rizik.

Jedním z mechanismů, jak se vyhnout investicím do nových zdrojů, je i tzv. energetická flexibilita, tedy schopnost adaptovat svoji spotřebu či vlastní výrobu elektřiny dle momentální situace na trhu či v síti, kterou se zabývá skupina Energetika na Českém institutu informatiky, robotiky a kybernetiky ČVUT (CIIRC).

Energetická flexibilita

U obchodní flexibility, kde je obchodován průměrný výkon za obchodní interval, lze tuto úlohu přirovnat ke hře tetris. Z jednotlivých kostiček (jednotlivých flexibilit) je sestaven kompletní obrazec.

Funkční síť, svítící světla, elektřina v zásuvce a dostupný mobilní nebo wi-fi signál jsme si zvykli přijímat jako naprostou samozřejmost. Elektřina významně přispívá k našemu pohodlí. Abychom si tento komfort mohli užívat, je třeba, aby elektrický proud byl vyroben a dodán do našeho odběrného místa. Každý z nás se ale chová trochu jinak a během dne spotřebovává elektřinu odlišně. Dodavatel, který nám ji „prodává“, musí dobře predikovat chování všech svých odběratelů a zároveň do koncových obchodních tarifů správně promítnout nákupní ceny, včetně zohlednění všech rizik, například fluktuací odběru, chyb v predikcích apod. Dodavatel musí nepřesnou predikci operativně korigovat, jinak zaplatí tučnou pokutu za tzv. odchylku. Pro její korekci se využívá právě flexibilita. Sofistikovaný obchodník má ve svém portfoliu zdroje nebo odběratele, kteří své odběrové chování dokážou modifikovat. Provozovatel distribuční sítě také využívá flexibilitu pro předcházení přetížení sítě a stabilizaci napětí, a to prostřednictvím HDO a příslušných distribučních dvoutarifů.

Elektřiny musí být v každém zlomku vteřiny vyrobeno přesně tolik, kolik se spotřebovává. Tuto rovnováhu udržuje společnost ČEPS, pro její udržení čerpá flexibilitu v podobě tzv. Podpůrných

služeb. Jejich cílem je řízená dodávka chybějícího výkonu přesně dle požadavků ČEPSu. V horizontu deseti let se místo velkých fosilních zdrojů poskytovateli flexibility stanou nejen provozovatelé malých decentralních zdrojů, ale také spotřebitelé.

Projekty SecureFlex a Dflex

Aby bylo možné flexibilitu vůbec využít, musejí být správně nastaveny technologické, organizační, ekonomické i regulativní podmínky. Skupina Energetika na CIIRC ČVUT se účastní projektů SecureFlex a Dflex financovaných se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu THÉTA.

V projektu SecureFlex analyzujeme vhodné tržní modely pro obchodování s flexibilitou v ČR, vyvíjíme tržní i technické analytické a optimalizační nástroje pro obchodníky/agregátory a provozovatele sítí tak, aby bylo možno identifikovat dílčí dostupné flexibilitu a agregovat je do produktů obchodovatelných na trzích s elektrickou energií a poskytování podpůrných služeb, aniž by byl narušen bezpečný provoz sítí. Společně s dalšími řešiteli projektu jsme např. vyvinuli soubor vzájemně propojených komponent, které umožní spolehlivě agregovat dílčí flexibilitu dle požadavků trhu.

Nejprve je třeba analyzovat chování Poskytovatele flexibility (POFL), resp. technologie, kterými je vybaven, a zvolit vhodný obecný matematický model, kterým bude dostupná flexibilita modelována (např. tepelné čerpadlo, HVAC). Obecný model je následně nastaven dle konkrétních parametrů technologie. S využitím aktuálních hodnot o stavu technologie, případně dalších hodnot, které model vyžaduje, je průběžně poskytována predikce dostupného flexibilního výkonu pro konkrétního POFLa (tzv. instance).

Jednotlivé instance jsou sestavovány (agregovány) podle konkrétní služby požadované trhem. U obchodní flexibility, kde je obchodován průměrný výkon za obchodní interval, lze tuto úlohu přirovnat ke hře tetris. Z jednotlivých kostiček (jednotlivých flexibilit) je sestaven kompletní obrazec.

Příliš mnoho změn výkonu (změna výkonu oproti výchozímu odběrovému chování je principem flexibility) koncentrovaných do jedné části distribuční sítě by mohlo negativně ovlivnit její provozní parametry (např. napětí), proto je v konceptu SecureFlexu zařazen analytický modul, který ověřuje vliv agregace na síťovou bezpečnost.

V projektu Dflex pak navazujeme praktickým otestováním konceptu agregace flexibility na straně spotřeby pro účely poskytování podpůrných služeb (PpS). Hlavním cílem je potvrzení hypotézy, že PpS vzniklé agregací budou odpovídat evropským standardům a že budou kvalitativně srovnatelné s těmi dnešními, poskytovanými konvenčním způsobem.

Oba projekty v součinnosti identifikují technické a legislativní bariéry a doporučují případné úpravy energetické legislativy pro umožnění využití agregovaných služeb a produktů na trzích s elektrickou energií PpS v ČR. Projekty své výsledky rozšiřují prostřednictvím aplikačních garantů, odborných platform ERÚ a MPO, zájmových sdružení i výrobců průmyslových technologií a SW řešení v oblasti energetiky.

autor: Ondřej Mamula

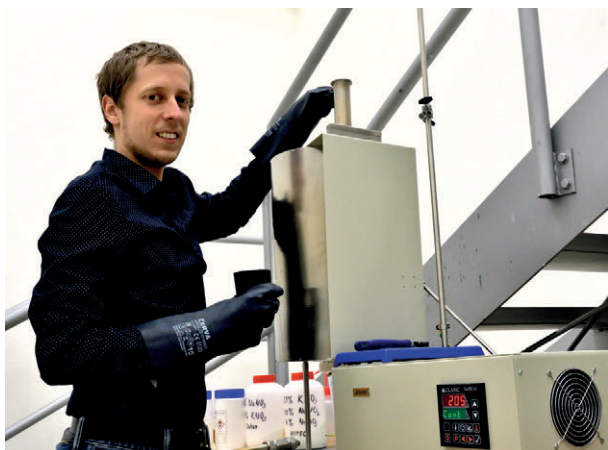
Ing. JAN ŠKAROHLÍD, Ph.D.
Jan.Skarohlid@cvut.cz

Ing. TOMÁŠ KOŘÍNEK, Ph.D.
Tomas.Korinek@cvut.cz

Udržitelné teplárenství

Akumulace energie v solích

Výzkumný tým Energetika 4.0, který působí na Českém institutu informatiky, robotiky a kybernetiky ČVUT (CIIRC), se mimo jiné zabývá ukládáním tepelné energie do roztavených dusičnanových solí. Ukládání tepla do alternativních úložišť je jednou z možných odpovědí na výzvy, kterými současné teplárenství prochází.



Laboratorní příprava eutektické směsi dusičnanové soli

Dusičnanové soli se celkem běžně používají např. jako hnojivo. Tento materiál teď nachází využití také pro ukládání a transport tepla v solárních koncentračních elektrárnách. Během dne se díky slunečnímu záření sůl nahřívá a v noci může sloužit k výrobě energie. Právě díky použití akumulace energie se jedná o udržitelný zdroj schopný pracovat v nepřetržitém provozu. Na rozdíl od běžných baterií, které se standardně k akumulaci energie užívají, je cena tohoto materiálu nízká, dá se využívat opakovaně a odpadají i náklady na recyklaci, nemluvě o úspoře přírodních zdrojů.

Akumulace energie v roztavených solích má své zastoupení i v oblasti regulace elektrické energie v síti, kdy při přebytku energie zásobníky nahříváme a při nedostatku využijeme naakumulované teplo pro výrobu páry a následnou výrobu elektrické energie. Toto úložiště tedy lze využívat v rámci energetické flexibility. Pro ohřev zásobníku se solí nemusíme využívat jen

nadbytečnou elektrickou energii, ale lze použít i odpadní teplo z technologických procesů.

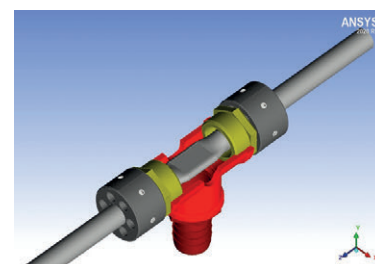
K aktivitám skupiny Energetika 4.0 patří výzkum a vývoj modifikovaných zásobníků tepelné energie, které kombinují skladování tepla v citelném a skupenském teple. V rámci těchto aktivit se provádí výzkum v nové laboratoři pro Průmysl 4.0, kde se testuje chování tepelného úložiště na experimentální smyčce s přirozenou cirkulací tekuté soli. Na tomto zařízení se zkoumá dynamické chování úložiště, účinnost ukládání energie a stabilita proudění roztavené soli. Laboratorní testy jsou doplněny počítačovými simulacemi. Ty slouží jak pro optimalizaci úložiště tepla, tak i k vývoji nových zařízení, jako je například kombinovaný zámrzný ventil.

Zámrzný ventil je unikátní bezpečnostní prvek původně navržený pro jaderné reaktory s tekutými solemi, který sloužil jako pojistný nástroj pro případ rychlého odčerpání tekutého paliva z prostoru reaktoru. S rozvojem použití roztavených solí našel tento prvek uplatnění i v oblasti transportu tekuté soli, kde se používá pro těsnění a řízení průtoku soli potrubím. Zámrzný ventil je tvarovaná část potrubního systému, která je externě chlazena tak, aby na vnitřní stěně bylo dosaženo teploty nižší, než je teplota tání soli. Podchlazením pod teplotu tání pak začne sůl v prostoru ventilu tuhnout a měnit tak průtočný průřez. Změnou výkonu chlazení ventilu pak lze tento průřez měnit a tím regulovat průtok soli. V případě potřeby úplného uzavření ventilu je pak výkon chlazení tak velký, aby došlo

k zatuhnutí soli v celém prostoru ventilu, čímž dojde k úplnému zastavení průtoku.

Ukládání tepla v roztavených solích není doména jen pro solární koncentrační elektrárny a země s velkou celoroční intenzitou slunečního záření jako Maroko, Španělsko či Nevada v USA. Svě uplatnění najde i v zemích střední Evropy. Příkladem může být akumuláční zásobník na roztavené soli vybudovaný v německém Kolíně nad Rýnem, jenž je součástí laboratoře na výzkum ukládání tepla v solích probíhající v německém centru leteckého a vesmírného výzkumu (DLR). V jeho rámci se zaměřují na testování nových zařízení a mimo jiné i na ukládání energie při nadbytečném výkonu z obnovitelných zdrojů.

**autoři: Jan Škarohlíd
a Tomáš Kořínek
foto: Roman Sejkot**



3D model zámrzného ventilu pro tekuté soli. Jedná se o unikátní bezpečnostní prvek původně navržený pro jaderné reaktory s tekutými solemi. S rozvojem použití roztavených solí našel tento prvek uplatnění i v oblasti transportu tekuté soli, kde se používá pro těsnění a řízení průtoku soli potrubím.

Pokročilá jaderná paliva se zvýšenou bezpečností

V současnosti pochází asi deset procent celosvětově vyrobené elektřiny ze zhruba 440 energetických reaktorů. Jaderná energetika tedy tvoří nedílnou součást světového energetického mixu. Zároveň je produkce jaderných elektráren levná, stabilní, předvídatelná a zejména bezuhlíková. I přes nesporná pozitiva je však produkce energie pocházející ze štěpení jádra v mnoha zemích z různých důvodů společensky i politicky nepřijatelná.



Palivový soubor typu VVER-1000 používaný v jaderné elektrárně Temelín

Historicky největší změny v bezpečnosti jaderných elektráren nastaly v reakci na havárie, především na dvě největší a nejtragičtější – jaderné elektrárny Černobyl a v japonské elektrárně Fukushima-Daiichi. Právě tyto události vedly některé země, v posledních letech například Německo, k radikální změně názoru a omezení využívání jaderné energie. Přitom po těchto haváriích i dalších menších nehodách docházelo vždy k diskusím nad bezpečností jaderných elektráren a často byly zvyšovány požadavky na jejich provoz a bezpečnostní systémy. Například po havárii v Japonsku v roce 2011 způsobené extrémním zemětřesením a následnou vlnou tsunami je trendem další zvyšování bezpečnosti s důrazem na extrémní externí jevy jako tornáda, záplavy, zemětřesení apod. Nejen v rámci Evropy proběhly po událostech v Japonsku tzv. stress-testy, na jejichž základě byly instalovány nové redundantní systémy, posíleny možnosti externího zásahu nebo zavedeny nové postupy pro případy současného působení několika negativních jevů.

Nové materiály ro vyšší bezpečnost

Kromě těchto systémových opatření se objevila také myšlenka dalšího zvýšení bezpečnosti jaderných

reaktorů pomocí zavedení pokročilých materiálů. Tyto materiály jsou typicky schopné vydržet extrémní podmínky v průběhu havárií a poskytnout tak operátorům více času na jejich zvládnutí. Jaderná paliva vyrobená z těchto pokročilých materiálů se označují jako tzv. paliva odolná vůči haváriím, někdy také nazývaná pouze jako pokročilá paliva nebo ATF z anglického Accident Tolerant nebo Advanced Technology Fuel.

Zde může vyvstat otázka, proč a jak je možné zvyšovat bezpečnost reaktorů změnami použitých materiálů? Motivací je především náchylnost v současnosti používaných slitin palivových pokrytí k vysoko-templotní oxidaci. Slitiny zirkonia, které se využívají, mají při nominálním provozu velmi dobré vlastnosti, ale právě při vyšších teplotách nastávajících při abnormálních stavech a haváriích oxidují velmi ochotně a rychle. Při této vysoko-templotní reakci zirkonia s vodní párou se uvolňuje velké množství energie, která dále urychluje průběh havárie, a také vodík, který je ve vyšších koncentracích výbušný. Toho jsme byli ve Fukušimě živě svědky.

Pokročilá paliva tedy musí být mechanicky i teplotně odolnější než v současnosti používané palivo, a to zejména v abnormálních a havarijních podmínkách. Měla by vydržet vyšší teploty a namáhání, a tím i delší dobu, což poskytne více času pro zvládnutí havarijních situací. Tato paliva jsou ve vývoji zhruba od roku 2012. I když je hlavním cílem prevence nebo omezení následků havárií, očekávají se od nich i další benefity, které jsou významné i při nominálním (běžném) provozu reaktorů a mají přímé pozitivní ekonomické dopady pro provozovatele jaderných elektráren, jako je ČEZ.

Nová paliva už se testují

V současnosti je ve světě rozpracována celá řada konceptů pokročilých paliv v různých fázích technologické připravenosti. V této oblasti jsou aktivní všechny světové společnosti zabývající se výrobou jaderných paliv, jmenovitě americké společnosti Westinghouse a GNF, francouzský Framatome, korejské KEPCO, čínské CGN a ruský TVEL (a další menší společnosti). Jejich paliva jsou aktuálně široce testována ve výzkumných reaktorech, zavezení prvních testovacích proutků s palivem do komerčního reaktoru proběhlo v USA v roce 2019. Od té doby byly testovací proutky nebo soubory zavezeny také do reaktorů v Rusku, Švýcarsku nebo Belgii. Další země se novými možnostmi a poskytnutými benefity aktivně zabývají a vyjadřují předběžný zájem o využití ATF paliv i ve svých reaktorech. Mezi tyto země patří i ČR.

Je nutné si ale uvědomit, že jaderná energetika je ze své povahy velmi regulovaná a konzervativní průmysl, což brání rychlejšímu inovacím. Současné snahy, i když probíhají zhruba od roku 2011, jsou z pohledu regulátorů a provozovatelů považovány za radikální a širší nasazení ATF paliv proběhne pravděpodobně až po ověření testovacích paliv zavážených v současnosti, tj. na konci tohoto desetiletí. I přesto je zavedení ATF paliv považováno za jednu nejvíce akcelerovaných iniciativ v jaderné energetice od projektu Manhattan, který měl za cíl vyvinout jadernou bombu v průběhu druhé světové války.

V rámci výzkumu jsou po celém světě v laboratořích zkoumány desítky konceptů nového typu paliv. Nejzajímavější z pohledu nasazení jsou však koncepty vybrané výrobci jaderných paliv s vyšším aplikačním potenciálem. Pokročilé palivo firmy Westinghouse je označované jako

Vědci z ČVUT jsou od roku 2016 zapojeni do dvou projektů Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA). V rámci těchto výzkumných prací koordinovaných IAEA spolupracují při vývoji ATF s desítkami organizací po celém světě od Japonska až po Argentinu a podílí se tak i na tvorbě budoucích doporučení pro bezpečnostní hodnocení a licencování, které je v mnoha oblastech odlišné od zavedených postupů při použití tradičního jaderného paliva. Díky získanému know-how a nezávislosti na konkrétním dodavateli paliva jsou čeští vědci také zapojeni do smluvního výzkumu a nezávislého testování produktů společností Framatome nebo Westinghouse Electric Company.

EnCore a jedná se o modifikované tradiční palivové proutky. Na zirkoniové pokrytí je nanášena chromová ochranná vrstva a palivové pelety jsou dopované oxidy chromu a hliníku. Další americká společnost zaměřující se zejména na palivo pro varné reaktory je GNF. Ta navrhuje kompletní náhradu palivového pokrytí slitinou FeCrAl (koncept označovaný jako Iron Clad) a v druhém případě se jedná o zirkoniové palivové pokrytí s proprietární ochrannou vrstvou, tento koncept označují jako ARMOR. Francouzský Framatome je považovaný obecně za leadera v této oblasti. Své palivové koncepty označuje souhrnně jako PROtect. Hlavní koncept je podobně jako u Westinghouse založen na kombinaci zirkoniového pokrytí s chromovou ochrannou vrstvou a palivové pelety dopované chromem. Jako dlouhodobý koncept vyvíjí pokrytí na bázi karbidu křemíku – SiC/SiC. Ruský TVEL, který je aktuálním dodavatelem paliva pro české reaktory, dokončil druhý rok ozařování ve výzkumném reaktoru MIR a zavezl testovací proutky do komerčního reaktoru.

Výzkum probíhá i v Česku

Česká republika je v oblasti výzkumu ATF paliv velmi aktivní, je zastoupena také v mezinárodních organizacích a konsorciích. V ČR bohužel neexistuje výrobce jaderného paliva, který by mohl inovace z výzkumu rovnou převádět do praxe, jako je tomu například v Jižní Koreji nebo Francii. I přes to se čeští vědci také díky dlouhodobé tradici jaderného výzkumu se svými výsledky prosazují ve světě jak ve vědecké, tak i průmyslové oblasti.

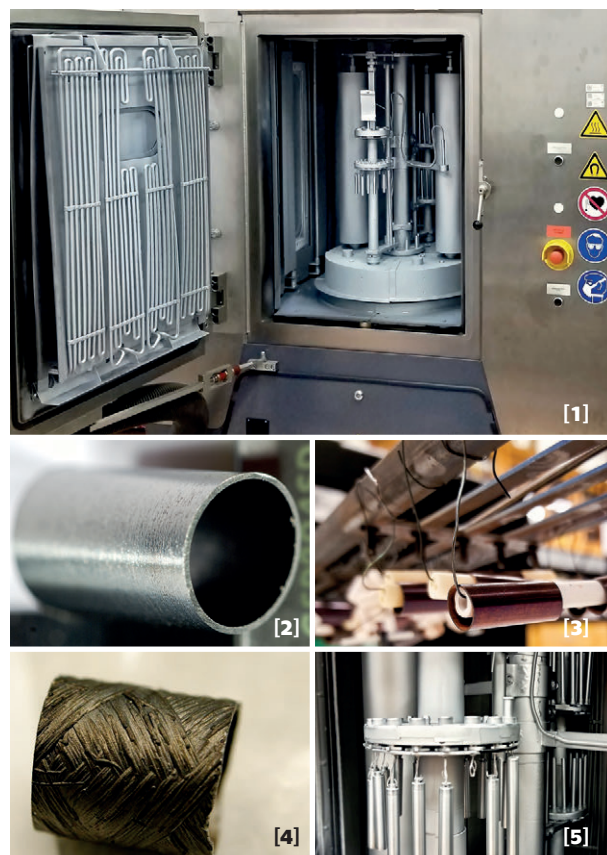
Čeští výzkumníci z ČVUT ve spolupráci s VUT v Brně, UJP Praha, a.s., Centrem výzkumu Řež, s. r. o., ALVEL, a. s., nebo ÚJV Řež, a. s., se dlouho-

době věnují například vývoji a testování funkčních povlaků pro jaderné palivo, které zvyšují mechanickou a oxidační odolnost materiálů a díky své malé tloušťce mají minimální negativní vliv na jaderné charakteristiky reaktorů. Toto řešení zvolili i světoví výrobci paliva. Aktuálně se připravuje zavedení těchto českých povlakovaných pokrytí jaderného paliva do reaktoru LVR-15 v Řeži, kde bude ozařováno v rámci projektu INCA, který je pod patronací OECD/NEA. V oblasti bezpečnostního hodnocení, což je zásadní oblast pro povolení zavedení paliva do komerčních reaktorů, jsou vědci z ČVUT od roku 2016 zapojeni do dvou projektů Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA). V rámci těchto výzkumných prací koordinovaných IAEA spolupracují při vývoji ATF s desítkami organizací po celém světě od Japonska až po Argentinu a podílí se tak i na tvorbě budoucích doporučení pro bezpečnostní hodnocení a licencování, které je v mnoha oblastech odlišné od zavedených postupů při použití tradičního jaderného paliva. Díky získanému know-how a nezávislosti na konkrétním dodavateli paliva jsou čeští vědci také zapojeni do smluvního výzkumu a nezávislého testování produktů společností Framatome nebo Westinghouse Electric Company.

Další oblastí je vývoj kompozitního tzv. studeného jaderného paliva a studium chování nové slitiny Chronic155™ jako náhrady stávajících materiálů založených na zirkonu. Tento výzkum probíhá primárně v rámci společného projektu UJP Praha, a.s., a ČVUT financovaného Technologickou agenturou ČR a jeho výstupy budou aplikovatelné také pro tzv. malé modulární reaktory, např. plovoucí elektrárny typu Akademik Lomonosov. Na rozdíl od předchozího evolučního přístupu

je toto řešení revoluční a poskytne značné benefity ve všech oblastech provozu jaderných reaktorů. Samozřejmě s revolučními změnami přichází i větší potřeba výzkumných a vývojových prací, a tedy času potřebného k implementaci do praxe. Pokud budou další aktivity nadále podobně úspěšné jako dosud, můžeme se dočkat chvíle, kdy budou české energetické reaktory v Temelíně nebo Dukovanech provozovány s materiály vyvinutými v ČR.

**autoři: Martin Ševeček
a Tereza Kinkorová**



[1] Komora pro povlakování palivového pokrytí na ČVUT

[2] Slitina FeCrAl po výrobě před zahájením testování

[3] Vzorky slitiny FeCrAl při testování urychlené koroze

[4] SiC/SiC kompozit z pevných vláken obalený monolitickou

matricí [5] Vzorky palivového pokrytí po nanesení ochranné vrstvy v depoziční komoře

(foto: Martin Ševeček)

Oxyfuel spalování

Matematické modelování a počítačové simulace

Skupina Matematického Modelování (MMG) na Katedře matematiky Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze se dlouhodobě věnuje vývoji komplexních matematických modelů v přírodě i průmyslu založených mimo jiné na modelování proudění tekutin. V rámci projektu OP VVV „Centrum vývoje nízkouhlíkových energetických technologií“ spolupracuje s kolegy z Ústavu energetiky Fakulty strojní ČVUT na zkoumání spalování biomasy ve fluidních kotlích v tzv. oxyfuel režimu.

Technologie spalování ve fluidní vrstvě je využívána při produkci tepelné energie v průmyslovém měřítku. Ve spalovací komoře je směs částic paliva a nehořlavého sypkého materiálu (např. písku) udržována ve vznosu prostřednictvím silného proudu plynu vstupujícího do komory skrze její dno, takže se chová jako tekutina. Fluidní kotle mohou na rozdíl od kotlů na práškové uhlí spalovat mnoho druhů

paliv či jejich směsí včetně čisté biomasy bez toho, aby docházelo k zanášení tepelných výměníků. Spalování zde probíhá při nižší teplotě, což má příznivý vliv na obsah škodlivin ve spalínách. Na druhou stranu je nutné proces spalování pečlivě řídit. Například teplota ve fluidní vrstvě nesmí příliš stoupnout, aby nedošlo ke spékání částic popela.

Za účelem dosažení uhlíkově neutrálního či dokonce negativního procesu produkce energie se v současné době experimentuje se spalováním v atmosféře tvořené směsí čistého kyslíku a recirkulovaných spalín, neboli s tzv. oxyfuel spalováním. Díky tomu, že je z procesu eliminován vzdušný dusík, mají výsledné spaliny velmi vysoký podíl oxidu uhličitého, který lze poté efektivně zachytávat a dále zpracovávat (např. skladovat). Využití této technologie ve fluidních kotlích je v současné době předmětem výzkumu.

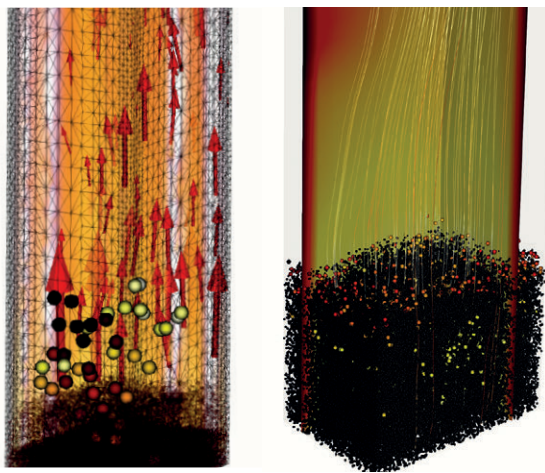
Simulační software vyvíjený MMG je založen na známém a volně dostupném softwarovém balíku OpenFOAM. Vyvíjený řešič obsahuje vhodné nastavené matematické modely procesů proudění a recirkulace spalín i fluidizace granulárního materiálu. Zatímco plyn je modelován jako kontinuum, částice paliva i nehořlavého materiálu jsou sledovány individuálně. Proto je možné přesně vystihnout rozložení velikostí částic a pro každou z nich zvlášť modelovat uvolňování těkavých látek (tzv. devolatilizace) i samotné vyhořívání. K tomu je nutné uvažovat všechny relevantní mechanismy přestupu tepla, tj. vedení, konvekce i radiace. Simulace oxyfuel spalo-

vání je pak specifická z hlediska nastavení nejen chemických reakcí, ale i fyzikálních vlastností látek. Simulace probíhají buď v modelu samotné spalovací komory, nebo celého kotle včetně odvodu spalín a recirkulačního potrubí. V takovém případě je nutné implementovat i model ventilátoru, který recirkulaci pohání.

Pomocí simulací lze zkoumat například vliv složení paliva, teploty a průtoku fluidizačního vzduchu nebo použitého nehořlavého materiálu. Simulační nástroje tak umožní optimalizovat návrh i provoz zařízení, které by jinak bylo obtížné či velmi nákladné postavit. Před tím však musí být jejich funkčnost ověřena vůči jednoduchým experimentům za pečlivě kontrolovaných podmínek. Tuto tzv. validaci umožňuje v rámci projektu spolupráce s Fakultou strojní, která má k dispozici několik experimentálních zařízení. Jednotlivé části celkového modelu lze validovat odděleně. Například k správnému nastavení přestupu hybnosti mezi plynem a částicemi lze využít experimenty ve fluidizační komoře, která je velmi podobná spalovací komoře fluidního kotle a v níž je za studena testována fluidizace různých druhů sypkých materiálů. Díky úzké spolupráci týmů zabývajících se simulacemi a experimenty se obě aktivity průběžně doplňují a vznikají náměty na další výzkum.

Realizace počítačových simulací spoléhá na paralelní algoritmy, které implementují rozdělení práce mezi mnoho procesorů a jejich jader a vyžadují mimořádně výkonnou výpočetní techniku. Superpočítač HELIOS postavený a provozovaný na JFIFI ČVUT byl částečně financován z prostředků projektu, a má proto část výpočetní kapacity (cca 250 výpočetních CPU jader, čtyři masivně paralelní výpočetní akcelerátory a 1000 GB operační paměti) stále k dispozici pro tyto účely. Díky tomu lze výpočetní prostředky flexibilně přidělovat a jednotlivé simulace nejsou limitovány časem nebo maximálním počtem procesorů, jako to je běžné při přístupu do velkých výpočetních center.

autor: Pavel Strachota
ilustrace: autor



Za účelem dosažení uhlíkově neutrálního či dokonce negativního procesu produkce energie se v současné době experimentuje se spalováním v atmosféře tvořené směsí čistého kyslíku a recirkulovaných spalín, neboli s tzv. oxyfuel spalováním. Díky tomu, že je z procesu eliminován vzdušný dusík, mají výsledné spaliny velmi vysoký podíl oxidu uhličitého, který lze poté efektivně zachytávat a dále zpracovávat (např. skladovat). Využití této technologie ve fluidních kotlích je v současné době předmětem výzkumu.

RNDr. LENKA THINOVÁ, Ph.D.
lenka.thinova@fjfi.cvut.cz

Gama spektrometrie

K měření kontaminace radioaktivními látkami se využívá i dron

Vyřazování jaderných elektráren z provozu je moderní, rychle se rozvíjející odvětví průmyslu. Vyřazování čeká však i jiná pracoviště, která nakládají se zdroji ionizujícího záření o vysoké aktivitě nebo se jedná o pracoviště III. kategorie, související s těžbou a úpravou radioaktivního nerostu.



Gama spektrometr D230A (2"x2" NaI(Tl)) v podvěsu dronu DJI M600 KDAIZ, měření v oblasti odvalu š. č. 15 (oblast Příbram, odval ve správě o. z. SUL, DIAMO, s. p.) po těžbě radioaktivního nerostu

Cílem vyřazování je (kromě uzavření či sanace podzemních částí) odstranění nadzemních objektů a roztřídění vzniklých materiálů. Ne všechny části vyřazovaných provozů jsou radioaktivní a na druhou stranu ne všechny materiály lze dekontaminovat. Snahou je vždy co největší objem materiálů uvolnit do životního prostředí, což znamená obrovskou úsporu nerostného bohatství a veškerých prostor určených k ukládání odpadů. Na konci celého procesu vyřazení je předání území původním majitelům či obcím ve stavu odpovídajícím požadavkům platné atomové legislativy.

Území po vyřazení nadzemních objektů mohou být zasažena různým stupněm kontaminace. Pro kontrolu těchto ploch a následné rozhodnutí o nutnosti a způsobu provedení sanace v případě překročení povolené úrovně koncen-

trací radionuklidů či příkonu prostorového dávkového ekvivalentu (PPDE [nSv/h]) je neocenitelným pomocníkem metoda gama spektrometrie. Tu pro identifikaci kontaminací v životním prostředí využívají pracovníci Katedry dozimetrie a ionizujícího záření (KDAIZ) na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT.

K tomuto účelu mají přenosné přístroje – tzv. spektrometry, umožňující přímo na místě bodové stanovení koncentrací radionuklidů nebo měření pochůzkou (přístroj je umístěn na zádech operátora ve výšce 1 m nad povrchem nebo na vozíčku, zaznamenává polohu a informaci o poli záření každou sekundu), přičemž výsledky měření lze zobrazit také v podobě barevně škálované mapy PPDE. Tento způsob měření je velmi operativní, umožňuje rychle vyhledat místa nesplňující sanační kritéria či vhodná pro odběry vzorků.

Mezi moderní způsoby detekce kontaminace patří využití gama spektrometru v podvěsu dronu. Uplatní se zejména v situacích po radiační mimořádné události, kdy úroveň ani typ kontaminace území nejsou známy a měření přenosným přístrojem by operátora mohlo vystavit zbytečnému, a hlavně neznámému ozáření. Bezpilotní letecké prostředky ve spojení s metodou gama spektrometrie lze však velmi dobře využít i v případě sledování starých ekologických zátěží a jejich vývoje v čase, kontaminací na pracovištích NORM, postupů sanací při vyřazování, ke geologickému mapování apod. Tento způsob měření realizuje nově také KDAIZ, a to například při měřeních odvalů po těžbě radio-

aktivních nerostů, území v záplavových oblastech povrchových toků kontaminovaných v důsledku těžby apod. Nově zde testují s překvapivě dobrými výsledky také využití bezpilotní gama spektrometrie pro zpřesnění geologických map. Nedílnou součástí měření je fotogrammetrická příprava 3D modelu měřeného prostoru s využitím dronu DJI Mavic 2 Pro. Přesně udržovaná výška letu pomocí on-board počítače a radarového výškoměru spolu s využitím RTK zpřesňuje výsledky měření.

Měření in situ je vhodné doplnit laboratorními gama spektrometrickými měřeními odebraných vzorků, které umožňují detailní pohled na koncentrace přítomných radionuklidů a posouzení existence radioaktivní rovnováhy především v uranové přeměnové řadě. Právě ta je v případě těžby a úpravy nerostů velmi často porušena.

Kombinací laboratorní, pozemní i bezpilotní gama spektrometrie lze získat ucelený obraz o stavu životního prostředí nejen v oblastech po vyřazování zařízení různého typu z provozu. KDAIZ taková měření zajišťuje hned v několika lokalitách na území Česka, dlouhodobě např. v okolí jaderné elektrárny Temelín.

Vyřazování jaderných zařízení z provozu lze studovat na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v programu, který společně připravily Katedra jaderných reaktorů, Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření a Katedra jaderné chemie.

**autoři: Lenka Thinová,
Jaroslav Klusoň,
Václav Štěpán
foto: Jan Hradecký**

Laboratoře bezpečnosti jaderných zařízení

Jaderné reaktory musí při svém provozu splňovat přísné požadavky národní legislativy. Jejich dodržování kontroluje příslušný národní dozorný orgán, u nás je to Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Představujeme univerzitní laboratoře, které se právě na jadernou bezpečnost zaměřují.

„Když se dnes kdekoli mluví o jaderném zařízení, a to bez ohledu na to, zda se jedná o jadernou elektrárnu, výzkumný reaktor, kontejnery pro přepravu jaderného paliva nebo sklady použitého jaderného paliva, zpravidla se mluví o bezpečnosti jaderného zařízení a bezpečnosti jeho provozu,“ vysvětluje doc. Lubomír Sklenka z Katedry jaderných reaktorů Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT (FJFI). „Bezpečnost, tj. ochrana obyvatelstva, pracovníků a životního prostředí před nežádoucím vlivem jaderných zařízení je pouze jedna část pohledu na jejich bezpečný provoz. Kromě bezpečnosti je nutné věnovat pozornost i zárukovému procesu a tzv. zabezpečení jaderných zařízení a jaderných materiálů, tj. ochraně jaderného zařízení před jeho zneužitím, poškozením nebo zničením,“ pokračuje doc. Sklenka.

Bezpečnost, zabezpečení a zárukový proces jsou tři základní složky bezpečného provozu jakéhokoliv jaderného zařízení. Mezinárodní atomová agentura IAEA se sídlem ve Vídni pro tyto tři složky používá označení PRINCIP 3S (safety, security,

safeguards). Zárukový proces zajišťuje, že jaderný reaktor a jeho jaderné materiály (uran, thorium, plutonium) se používají výhradně pro mírové účely v souladu se smlouvou o nešíření jaderných zbraní (non-proliferation treaty).

Bezpečnost jaderných elektráren a výzkumných reaktorů je již mnoho desetiletí jedním ze základních témat výuky budoucích jaderných inženýrů na ČVUT i na obdobných univerzitách ve světě, a to jak samotná jaderná bezpečnost, tak i radiační ochrana a dozimetrie nebo tzv. havarijní připravenost. Výuce v oblasti zabezpečení jaderných elektráren a výzkumných reaktorů se technické univerzity věnují velmi málo, většinou ji úplně opomíjejí.

„I na ČVUT se výuce a výzkumu v oblasti zabezpečení jaderných zařízení nikdo systematicky nevěnoval, a tak jsme se před pár roky domluvili s kolegy z dalších dvou kateder FJFI a jedné z Fakulty informačních technologií, abychom tuto mezeru zaplnili a vytvořili multidisciplinární doktorský studijní program Bezpečnost a zabezpečení jaderných zařízení a forenzní analýzy jaderných materiálů. A dnes již máme prvních sedm studentů v programu, který získal akreditaci vladi na jaře,“ doplňuje doc. Sklenka, který je i garantem tohoto doktorského programu.

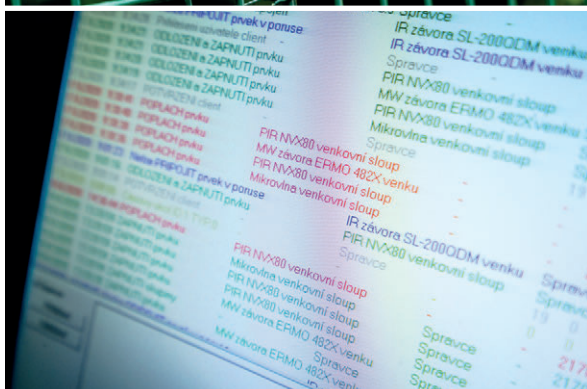
Výuku nového doktorského programu zajišťují společně čtyři katedry dvou fakult ČVUT – za FJFI je to Katedra jaderných reaktorů, Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření a Katedra jaderné chemie, za FIT je to Katedra informační bezpečnosti. Jednou z hlavních charakteristik programu je velký důraz na experimentální výuku v oblasti zabezpečení jaderných zařízení a jaderných materiálů, ale také na forenzní analýzy jaderných materiálů. Pro potřeby expe-

rimentální výuky a výzkumu vybudovaly čtyři katedry ČVUT specializovaná pracoviště: laboratoř fyzické bezpečnosti jaderných zařízení, laboratoř kybernetické bezpečnosti jaderných zařízení, laboratoř forenzních analýz jaderných materiálů a materiálů dvojího užití a laboratoř detekce jaderných materiálů a zdrojů ionizujícího záření.

„Naše laboratoř kybernetické bezpečnosti jaderných zařízení je určena pro výzkumné a výukové činnosti v oblasti tzv. etického hackování, penetračního testování a počítačových forenzních věd. Počítačová infrastruktura laboratoře umožňuje rychlou přestavbu a obnovu předchozích nastavení počítačů, síťových prvků a jejich propojení. Laboratoř nám umožňuje vytvořit zranitelné systémy, flexibilně nastavit síťovou strukturu, instalovat firewally, nasadit malware, provést útoky či hledat digitální artefakty,“ popisuje prof. Róbert Lórencz z Katedry informační bezpečnosti FIT.

„Laboratoř fyzické bezpečnosti jaderných zařízení je určena pro výuku a výzkum v oblasti fyzické ochrany jaderných zařízení. Máme v ní různé detekční a zpožďovací prvky zabezpečení jaderných elektráren včetně ústředí, kamerový systém a několik druhů vstupních a výstupních identifikačních systémů osob, a to i biometriku. Specializovaný software HYPO nám umožňuje provádět návrhy systémů fyzické ochrany hypotetického jaderného zařízení a hodnocení kvality a efektivnosti těchto návrhů. V nejbližších dnech očekáváme příjezd americké stážistky z partnerské školy MITS v Kalifornii, která v laboratoři stráví část své stáže u nás na katedře,“ uzavírá doc. Sklenka.

**autor: Jan Kadeřábek
foto: Jiří Ryszawy**



Laboratoř fyzické
bezpečnosti jaderných
zařízení FJFI

Plynárenství se dívá do budoucnosti

Plynárenství se po desetiletí profilelo jako spolehlivý sektor moderní energetiky, který nabízí velice šetrné a „uživatelsky přátelské“ palivo. Jeho význam v nejbližších letech poroste, plynárenníci se už ale dívají ještě mnohem dál.



Zemní plyn je spolehlivý, cenově i technicky snadno dostupný zdroj energie. Je nejekologičtějším fosilním palivem a bude i nadále hrát důležitou roli v energetickém mixu. To platí zejména pro Českou republiku, kde se v příštích dvou desetiletích očekává značný nárůst spotřeby zemního plynu (zejména v sektoru dálkového vytápění a při výrobě elektřiny), což do značné míry přispěje k dosažení ambiciózních cílů snížení CO₂. I Evropská unie s ním kvůli jeho příznivým parametrům počítá pro nejbližší dobu jako s tzv. přechodovým palivem, které usnadní tranzici od uhlí a ropy ke kompletně „zeleným“ zdrojům. Přesto se už dnes plynaři chystají na to, co přijde v budoucnosti – tedy přechod od zemního plynu k jiným typům nízkoe emisních či bezemisních plyných paliv.

Platí to i pro provozovatele přepravních soustav, z nichž ten český, společnost NET4GAS, je také partnerem ČVUT. Prostřednictvím soustavy plynovodů o celkové délce téměř 4 000 km přepravuje kolem 50 miliard m³ zemního plynu ročně. „Jako středoevropský provozovatel přepravní soustavy pro zemní plyn hrajeme aktivní roli při propojování a integraci evropských energetických trhů ve prospěch českých a ostatních evropských zákazníků.

Zároveň se podílíme na vytváření evropského energetického trhu v kontextu přechodu na nízkouhlíkovou ekonomiku,” říká jednatel a COO firmy Radek Benčík.

A jak ona příprava na dalekou budoucnost vypadá v praxi? „Máme skvěle fungující a spolehlivou plynárenskou infrastrukturu, na domácí i mezinárodní úrovni dobře propojenou. Něco takového by dnes nebylo snadné nahradit. Proto se ji snažíme adaptovat na to, aby byla schopna přepravovat jakýkoliv druh plynu, který se bude v budoucnosti používat, včetně vodíku,” pokračuje R. Benčík. Dovybavení, nové využití a případné rozšíření stávající infrastruktury podle něj bývá obvykle mnohem rychlejší, levnější a také ekologicky šetrnější variantou než kompletní výstavba na „zelené louce“. Provozovatelé přenosových soustav s plynem (a také provozovatelé distribučních soustav) mohou stavět na několika desetiletích zkušeností s rozvojem a údržbou plynárenské infrastruktury. Budou tedy mít i nadále všechny technické, obchodní i regulační znalosti pro přepravu, distribuci i skladování všech typů plynů, včetně těch „obnovitelných“.

Nedávno například skupina jedenácti evropských provozovatelů plynárenské infrastruktury z devíti členských států Evropské unie představila plán na vytvoření infrastruktury určené pro přepravu vodíku, tzv. European Hydrogen Backbone. Nová studie ukazuje, že stávající plynárenskou infrastrukturu lze vhodně upravit. „Předpokladem této studie je, že se přepravní soustavy budou postupně od poloviny dvacátých let tohoto století rozvíjet a do roku 2030 vznikne síť o délce 11 600 km. Do roku 2040 se předpokládá infra-

struktura pro přepravu vodíku o délce 39 700 km, z nichž 69 procent vznikne úpravou stávajících plynovodů a jen 31 procent skrze nově vybudované plynovody,” vysvětluje R. Benčík. Vodíková síť nabídne možnost energeticky úsporné přepravy velkých objemů vodíku na delší vzdálenosti, a to i s ohledem na místa jeho původu.

Plynárenníci se ale neupínají jenom k vodíku. Existují i další ekologické alternativy, jako právě biometan nebo syntetický metan. Všechno dokonce může dopadnout i tak, že samotný zemní plyn může být víc než jen přechodné palivo, např. pokud se prosadí technologie zachycování uhlíku (CCS). „Připravovat se na věci, které nastanou možná až za poměrně dlouhou dobu, je velká, ale zároveň velmi zajímavá výzva. Přesto ale už nyní pracujeme na tom, abychom byli schopni vykročit do více směrů v souladu se zásadou technologické neutrality a podpořit tak přechod evropské a české energetiky na bezuhlíková nebo nízkouhlíková plyná paliva,” uzavírá Radek Benčík.

To vše znamená, že bude třeba také nacházet nová a originální technická řešení. NET4GAS by rád našel odpovědi na tyto četné otázky také prostřednictvím diplomových prací studentů ČVUT. „Hledáme prozíravé a prakticky uvažující studenty se zájmem o problematiku dekarbonizace,” říká ředitelka lidských zdrojů Radka Hervertová. Témata diplomových prací lze sjednat prostřednictvím Kariérního centra ČVUT (www.kariernicentrum.cz). NET4GAS je rovněž připraven i na dlouhodobou spolupráci.

**Autor textu a foto:
redakce NET4GAS**

Ing. RADIM ČERNÝ
radim.cerny@cezdistibuce.cz

doc. Ing. ZDENĚK MÜLLER, Ph.D.
zdenek.muller@fel.cvut.cz

Ing. PETRA VOJÁČKOVÁ
petra.vojackova@cezdistibuce.cz

Dispečerský trenažér

Stále komplikovanější provozní stavy v distribuční soustavě vedou k nutnosti zajistit kontinuální výcvik pracovníků dispečerského řízení. Pro řešení této problematiky se vytvořil mezi ČVUT v Praze, Fakultou elektrotechnickou (Katedrou elektroenergetiky), a ČEZ Distribuce, a. s., společný výzkumný tým, který podporuje tvorbu nových algoritmů a procedur. Tato spolupráce zvyšuje užitnost nového dispečerského trenažéru.

Díky dispečerskému trenažéru je možné provádět trénink operativního řízení dle principu instruktor–žák, kdy instruktor připravuje modelové situace a žák je řeší. Zařízení umí simulovat provozní stavy, regulace procesy a také poruchové situace včetně jejich řešení. Poskytované informace, způsob zobrazení pro dispečera a ovládání prvků při řešení poruch jsou shodné jako v reálném provozu sítě.

Pro souběžný výcvik nad dynamickým modelem trenažéru i výcvik základních manipulací je možné současně pracovat v simulačním režimu řídicího systému.

Trenažér umožňuje modelovat výjimečné situace a poruchové scénáře, které mohou v síti nastat a je nutné na ně pracovníky systematicky připravovat. Systém umožňuje definovat různé typy poruch v síti (jednofázové, třífázové) včetně souběhu několika poruch různého typu ve stejnou dobu.

Pro inicializaci trenažéru je možné využít databáze parametrů prvků z dispečerského řídicího systému i pro vyšší funkce (stavové estimate, ustálený tok, optimalizace chodu sítě).

Trenažér obsahuje všechny komponenty zapojené do procesu přenosu a distribuce, a to jak vlastní model elektrizační soustavy a její prvky, měření a signalizaci, modely zátěže, tak i výrobní moduly včetně P/Q diagramů a nastavení ochrany a automatiky.

Mezi klíčové funkcionality trenažéru patří provádění manipulací shodně jako v dispečerském řídicím systému, přímo zapínání i po pomoci automatiky pro fázování a kruhování, přifázování generátoru, najetí generátoru na výkon, regulace napětí pomocí odboček transformátorů, regulace napětí pomocí zdrojů, pomoci automatického regulátoru napětí a pomocí terciární regulace s využitím optimalizace U/Q a regulace frekvence i zemních kapacitních proudů tlumivkami.

V oblasti působení ochrany a automatiky je to široký rozsah funkcionalit od signalizací překročení stanovených mezí, nefunkčnosti zařízení a signalizace ztráty komunikace přes působení všech typů ochrany včetně náběhů, automatiky opětovného zapínání jednofázové a třífázové, zemního spojení – vývod či zemního spojení – přípojnice až po působení hladinové regulace transformátoru.

Trenažér umožňuje modelování klíčových provozních stavů: změny zatížení v uzlu (skokové nebo trendové), změny dodávky od zdrojů P a Q, změny napětí v pilotních uzlech, změny toku Q v daném bodě, zkratky na vedení a na přípojnicích, další zkratky (jednofázové, třífázové, symetrické, nesymetrické, kovové, odporové), zemní spojení, regulaci napětí

pomocí spínání odboček, parametrizaci regulátorů generátorů a transformátorů, ostrovní provoz, Black start + ostrovní provoz, změnu měřené hodnoty, změnu signálu, popudy od zařízení a rozběh a vypnutí asynchronních pohonů.

Při tvorbě výcvikových scénářů je možné čerpat z archivovaných provozních stavů s výsledky v dispečerském řídicím systému.

Tento nástroj také nabízí tvorbu tzv. odvozeného scénáře, který vznikne z aktuální simulace.

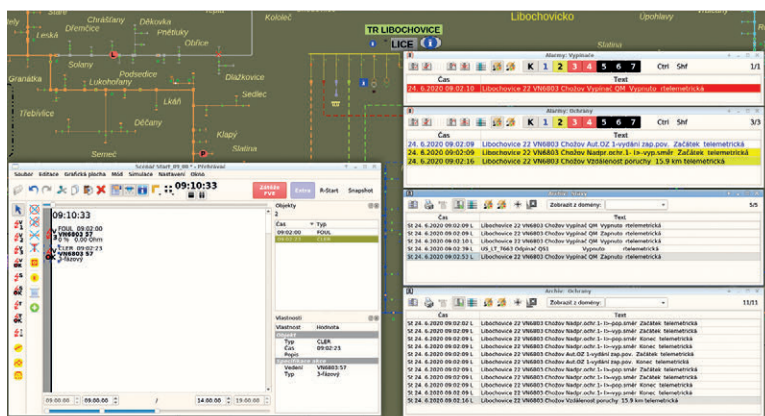
Samotný trénink dispečerů je možné rozdělit do typových oblastí dle seniority školeného pracovníka (základní trénink, trénink manipulací, trénink dispečerské komunikace, trénink řešení řízení napětí, bilance činných a jalových výkonů). Každý výcvikový scénář zahrnuje úplnou specifikaci počátečního stavu a zásahy pro veškeré dění při simulaci. Pro efektivitu tvorby scénářů je možné převzít údaje ze statistik a archivů řídicího systému.

Samotný výcvik se skládá ze tří fází – přípravné, tréninkové a validační. Velmi důležité je v celém procesu věnovat pozornost závěrečné fázi, kdy instruktor provádí vyhodnocení, zda dispečer prokázal znalost celé sítě, schopnost analýzy vzniklého stavu a jeho řešení, zda bezchybně manipuloval a komunikoval s ostatními dispečerskými stupni. Po skončení tréninku může instruktor s žákem projít celý scénář opakovaně a analyzovat jeho postup. Zároveň je možné konkrétní stavy spustit znovu a vyzkoušet variantní řešení likvidace poruchy.

Dispečerský trenažér je stěžejním nástrojem pro systematický výcvik a školení dispečerů a podporuje zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti provozu distribuční soustavy. Spolupráce ČEZ Distribuce, a. s., a univerzity vytváří unikátní prostředí pro rozvoj nových přístupů ke zlepšení techniky i lidských zdrojů.

**autoři: Radim Černý,
Zdeněk Müller
a Petra Vojáčková**

**Vizualizace
pracovní plochy
dispečerského
trenažéru**





Ing. JIŘÍ HALAŠKA, Ph.D.
jiri.halaska@fbmi.cvut.cz

doc. Ing. ZDENĚK MÜLLER, Ph.D.
zdenek.muller@fel.cvut.cz

prof. Ing. JOSEF TLUSTÝ, CSc.
tlusty@fel.cvut.cz

Blackout!? | Zvládání rozsáhlých výpadků dodávek elektrické energie

Blackouty, plošné dlouhodobé výpadky elektrické energie ve velké městské aglomeraci, byly zaregistrovány v řadě států světa a představují závažný potenciální problém i pro Českou republiku. V nedávných letech proběhla u řady krajských samospráv komplexní cvičení, která poukázala na jejich možné negativní dopady na život v kraji a nutnost všestranné technologické i organizační přípravy na zvládání těchto stavů. Jako důležitý závěr z těchto cvičení se ukazuje nutnost těsněji koordinovat opatření technicko-energetická s opatřeními krizového řízení a ochrany obyvatelstva. Pro poskytnutí odborné pomoci orgánům krizového řízení kraje byl podán společný výzkumný projekt dvou fakult ČVUT – Fakulty elektrotechnické (oblast energetiky) a Fakulty biomedicínského inženýrství (krizové řízení a ochrana obyvatelstva). Řešitelský tým projektu, který vyváženě obsahuje odborníky z akademického prostředí i z praxe, doplňují organizace: Teplárna Kladno s.r.o., SECURU s.r.o. a firma PRE distribuce, a.s. Doba realizace projektu je od července 2019 do června 2022.

Výzkumný projekt s názvem Zvýšení odolnosti regionu před hrozbou plošného výpadku el. energie s využitím nových technologií a postupů krizového řízení je zaměřen na komplexní a systémovou přípravu území na hrozbu plošného výpadku elektrické energie, přechod do ostrovního režimu a následnou obnovu s využitím moderních technologií a nově

vytvořených nástrojů a metod ochrany obyvatelstva a krizového řízení. Je realizován v rámci bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra ČR.

Výzkum je řešen ve dvou úzce souvisejících rovinách, jimiž jsou technická infrastruktura a na ni navazující rozvoj nouzových a krizových procesů. Realizace se soustředí na systémové zvládnutí kri-

zové situace při nefunkčnosti nadřazených systémů (tj. v oblasti technické infrastruktury při nefunkčnosti přenosové soustavy).

Jádrem projektu je procesní model zahrnující přípravu území na rozsáhlý výpadek elektrické energie, analýza typových vzorců chování regionu z hlediska potřebného zvýšení jeho odolnosti a navazující řešení technického i organizačního charakteru.

V první fázi řešení byla provedena v součinnosti s krajskými samosprávami analýza a následné zpracování požadavků na území z hlediska bezpečnosti (zajišťující základní potřeby obyvatelstva a nezbytnou míru kontinuity běžného života teritoria) s cílem minimalizace následků plošného výpadku elektrické sítě pro území a jeho obyvatelstvo.

Další fáze obsahuje popis a tvorbu procesně-funkčního modelu softwaru pro hodnocení území kraje z hlediska požadavků na bezpečnost. Následovat bude testování a optimalizace očekávané funkcionality softwaru pro hodnocení území z hlediska energetické bezpečnosti, včetně spolupráce na vývoji tohoto nástroje formou

V projektu se počítá s dlouhodobým výpadkem nadřazené sítě, vytvářením ostrovních provozů, ale i s uvažováním případných disfunkcí i uvnitř distribučního systému. Jde tedy o Smart technologie s ohledem na mimořádné stavy. Zohledňuje se hledisko stanovení důležitých infrastrukturálních prvků a jejich priorit ve vazbě na zvýšení elektroenergetické odolnosti tohoto teritoria.

konzultací k cílené funkcionalitě tohoto nástroje. Součástí projektu je i vytvoření souboru doporučení a zásad pro spolupráci bezpečnostního managementu území s energetickým sektorem pro potřeby zajištění krizového zásobování elektrickou energií na bázi ostrovních provozů, návrh doporučení pro úpravu obsahové náplně územní energetické koncepce z hlediska bezpečnosti ve vztahu k ostrovním provozům a jejich možnému využití.

V projektu se počítá s dlouhodobým výpadkem nadřazené sítě, vytvářením ostrovních provozů, ale i s uvažováním případných disfunkcí i uvnitř distribučního systému. Jde tedy o Smart technologie s ohledem na mimořádné stavy. Zohledňuje se hledisko stanovení důležitých infrastrukturálních prvků a jejich priorit ve vazbě na zvýšení elektroenergetické odolnosti tohoto teritoria.

V důsledku této znalosti je možné optimalizovat ostrovní provoz takovým způsobem, aby v rámci svého rozsahu pokrýval i nezbytné bezpečnostní potřeby (tj. zajistit dodávku disponibilní elektrické energie pro objekty zajišťující bezpečnost v území a související nouzové služby pro potřeby obyvatelstva).

Klíčovým výstupem bude software umožňující plánování a simulaci nouzových provozů elektrizač-

ních soustav regionů při rozsáhlých výpadcích elektrické energie. Soustava je simulována v rozsahu distribuční sítě regionu s příslušným zdrojem/zdroji. Software umožňuje kontrolu stability takto vydělené sítě a zároveň dopočet případné zbývající volné kapacity.

Systém umožní ověřit reálnost navrženého nouzového plánu provozu soustavy, v případě deficitu či přebytku tyto hodnoty dopočítá a rovněž řeší výpočet startu ostrova dle priorit prvků důležité infrastruktury. Pro realizaci ostrovního provozu se vytváří dva hardwarové výstupy – staniční automatika nou-

zového provozu a bilanční automatika pro řízení provozu zdroje energie při nouzovém provozu soustavy.

Oba hardwarové výstupy umožní selektivní vyčlenění části elektrizační soustavy obsahující důležité prvky. Umožní zachování napájení těchto prvků a odpojení odběrných míst s nižší prioritou, dále řeší dálkové ovládání nebo autonomní rozhodnutí k zahájení činnosti. Zároveň bude možné vydávání signálů pro řídicí systémy elektráren k zahájení nouzového provozu a jeho postupné najíždění dle požadavků na nouzový provoz regionu. Poznatky z projektu zvýší orientaci dispečerů v oblasti plánování nouzových provozů soustavy (např. vytvoření typových maker a sekvencí v řídicím systému SCADA distribučních sítí).

Projekt je součástí úsilí odborníků vědy a výzkumu nacházet nové funkční postupy a technická řešení, které by dokázaly eliminovat nebezpečí blackoutu či zmírnit jeho následky. Výsledky výzkumu by měly připravit použitelný nástroj pro zvýšení resilience krajských struktur v oblasti energetické bezpečnosti. Druhotným výsledkem výzkumu je i upevnění součinnostních vazeb odborné komunity v dané oblasti.

**autoři: Jiří Halaška,
Zdeněk Müller a Josef Tlustý
ilustrační foto: Jiří Ryszawy**



**Areál elektrárny
(foto: Teplárna
Kladno s.r.o.)**

Nová digitální banka

Komerční banka budoucnosti

Komerční banka připravuje rozsáhlou renovaci v oblasti digitalizace svých služeb, což se pojí s významnou generační obměnou technologií. Zeptali jsme se Davida Švejdy, jednoho z lídrů digitální transformace, co KB v tomo směru připravuje.

David Švejda Digital Transformation Lead

Pracuje v Komerční bance od roku 2015, nejprve na pozici zástupce CIO, později v agilní organizaci jako tribe lead. Od roku 2020 má na starosti technologickou část vybudování Nové digitální banky. V IT pracuje již 27 let po absolvování Matematicko-fyzikální fakulty UK, pracoval v Akademii věd ČR a poté 17 let v poradenské firmě Accenture, kde se věnoval především systémové integraci pro finanční instituce.



Nová digitální banka – co si pod tím máme představit?

Na přelomu 2019/2020 jsme si vytyčili cíl renovovat banku takovým způsobem, abychom na jednu stranu zůstali i nadále univerzální bankou nabízející klientům (od retailu přes malé podniky po velké korporace) potřebné finanční produkty, ale zároveň byli moderní, atraktivní a srozumitelní. Není asi překvapením, že eliminace papíru z našich procesů a digitalizace procesů je nedílnou součástí celého konceptu.

Tuto aktivitu jsme nazvali Nová digitální banka.

A to bude nová Komerční banka pouze digitální, když už to je v názvu?

Slovo digitální v názvu odkazuje právě na eliminaci papírových dokumentů – jak při komunikaci s klientem, tak interně v bance. Sázíme na omni-kanálový přístup – kde jednotlivé kanály (mobilní aplikace, webová aplikace, pobočka, bankomat, ...) poskytují stejné informace, a pokud to bude

dávat smysl, tak klient bude schopen rozpracovanou komunikaci s bankou v internetovém bankovníctví dokončit na mobilu, nebo pokud preferuje asistenci na pobočce, tak i na pobočce.

Jak rozsáhlá ta změna bude?

Je to jedna z největších a nekomplexnějších aktivit, kterou jsem zažil, nejen v KB, ale i ve své profesní kariéře.

Přistupujeme k tomu jako k obchodní změně, která hledá pro klienty to nejlepší řešení pro pokrytí jejich potřeb. Zároveň zjednodušujeme produkty tak, aby byly co nejvíce srozumitelné klientům, a maximalizujeme jejich plnou digitalizaci. Když jsme zhodnotili naše současné aplikace, z nichž nám některé slouží již desítky let, tak jsme rychle pochopili, že pokud budeme chtít stavět novou banku na starých technologiích a aplikacích, tak se v každém kroku budeme muset ohlížet na sadu omezení, které modernizaci znemožní. Proto velkou část řešení stavíme de facto na „zelené louce“ s minimální integrací do současných systémů.

Součástí zmíněné technologické modernizace je mimo jiné i výměna jádra celé banky – core systému.

Renovat banku není asi úkol na pár měsíců. Kdy můžeme očekávat první výsledky a kdy se s nimi setkají klienti?

Jasně, bavíme se o dlouhodobém plánu, na následující pětiletku. Nicméně postupujeme iterativně, a výsledky se proto budou ukazovat postupně – nejdříve v posledním kvartálu 2021 pro interní uživatele v rámci pilotu. Ve druhé polovině roku 2022 chceme nabídky otevírat klientům. Od roku 2023 se připravujeme

na migraci, tedy převod klientů ze současných nabídek do nového modelu a nových systémů. Iterace nám umožní průběžně upravovat cestu a reagovat na aktuální stav finančních služeb v ČR. Nicméně má to i druhou stránku – bude nutné, aby banka po dobu několika let běžela zároveň ve starém i novém modelu.

Studenty z ČVUT bude určitě zajímat, na jakých technologiích stavíte. Můžeš nám je přiblížit?

My jsme už přibližně před čtyřmi lety začali investovat do budování cloud native architektury a technologické podpory vývojářů, jako jsou CI/CD pipeline, implementované přepoužitelné architektonické vzory, automatizované testy, nebo zvyšování agility celé organizace.

Takže většinu nových komponent stavíme jako kontejnerizované microservice orchestrované přes Kubernetes cluster. Back-end logiku většinou stavíme v Javě na SpringBoot, front-end v Post-Script/Angular. Náš přístup je mobile-first, kde jsme se rozhodli jít cestou nativních aplikací – takže Swift a Kotlin.

Co tě na současné práci nejvíce baví?

Práce s lidmi. Ta ale byla bohužel v posledním roce náročnější – přímý kontakt byl minimální a při transformaci takového veličnosti se nedorozumění velmi obtížně narovnává. Dále mě fascinuje rozsah a dopad změny, která je nejen v bankovníctví unikátní. A v neposlední řadě mě motivuje právě ta práce s technologiemi, které jsou de facto standard používaný u současných technologických dravců.

<https://kb.jobs.cz/svet-it-v-kb/>

doc. Ing. MIROSLAV SEDLÁČEK, CSc.
sedlacek@fsv.cvut.cz

MILOŠ JANEČEK
milos.janecek@zdas.cz

PROTUR | Odvalovací vodní turbína uvedena do praxe

Koncem devadesátých let minulého století byla vynalezena tzv. bezlopatková odvalovací turbína. U jejího následného zdokonalení stála Fakulta stavební ČVUT, na jejíž Katedře ekonomiky a řízení ve stavebnictví vzniklo nové patentovaně chráněné řešení. Jeho původcem, jakož i autorem vynálezu odvalovacích turbín, je doc. Ing. Miroslav Sedláček, CSc. V současnosti se toto zařízení již dostalo do praxe, licenční smlouvu má společnost ŽĐAS, a. s., smluvně zajištěný podíl na výnosech z výroby turbíny přísluší Fakultě stavební ČVUT.

(red)



> Více o turbíně na
<https://www.youtube.com/watch?v=yJXf8k7ZDpo>

Od roku 2019 probíhají národní fáze patentování v různých státech světa a v dubnu roku 2020 byl získán Evropský patent číslo 3513057 B1 s názvem Precession fluid turbine.

Bezlopatková odvalovací turbína je vodním motorem, jehož podstata spočívá v odvalování tělesa osově symetrického tvaru uvnitř výtoku vodního konfuzoru. Rotorem je například polokoule, výtakový konfuzor (stator) je dutý válec, který se ve směru proudění tekutiny zužuje. V mezeře mezi povrchem rotoru a statoru nastane málo známý fluidní jev, který prozatím ještě není podrobněji prozkoumán. Jeho projevem je to, že rotor se v důsledku protékající tekutiny vychýlí ke stěně statoru a tam je unášen stále dokola. A protože se stěny dotýká, tak je roztáčen okolo své podélné osy. Přitom rotor i jeho hřídel konají nejen rotační, ale zároveň i precesní pohyb, tedy opisují kuželovou plochu.

V roce 2014 se do výzkumu odvalovacích strojů zapojila společnost P.F – Economy consulting, spol. s r. o., která během poměrně krátké doby finančně a organizačně zajistila novou etapu vývoje bezlopatkových precesních turbín. Tato etapa znamenala také zahájení spolupráce P.F – Economy consulting s Fakultou stavební ČVUT, kde na Katedře ekonomiky a řízení ve stavebnictví právě vznikala zdokonalená varianta precesních turbín. Výsledek spolupráce vyústil ve zpracování přihlášky vynálezu s názvem Precesní kapalinová turbína a český národní patent na předložené řešení byl získán v březnu roku 2017. Následně začaly být turbíny podle tohoto patentu nazývány PROTUR. Uvedený název akcentuje koncepci, která spočívá výhradně ve využívání precesního pohybu rotoru a veškerá práva obou přihlašovatelů, včetně rozpracované mezinárodní patentové přihlášky, byla vložena do nově vzniklé společnosti PROTUR, s. r. o. (Precesní Odvalovací TURbína, nebo Precession Rolling TURbine). Od roku 2019 probíhají národní fáze patentování v různých státech světa a v dubnu roku 2020 byl získán Evropský patent číslo 3513057 B1 s názvem Precession fluid turbine.

Fakulta stavební ČVUT a společnost PROTUR s.r.o. jako majitelé tohoto evropského patentu, českého národního patentu a všech ostatních ochranných dokumentů, poskytla firmě ŽĐAS, a.s., ze Žďáru nad Sázavou licenční práva pro výrobu popisovaného bezlopatkového vodního motoru. Jeho základní předností je, že může být úspěšně využíván na mimořádně nízkých spádech, například již od 0,5 m, a při průtocích několika desítek nebo i stovek litrů vody za sekundu. Nejnovější testovaná turbína je určena pro spád jeden metr a průtok 100 litrů vody za sekundu, jejíž okamžitý elektrický výkon je 0,5 kW.

Společnost ŽĐAS, a. s., začala získanou licenci a s ní související know-how intenzivně rozvíjet, aby vyvinula pro praktické využití kvalitně připravený produkt – precesní odvalovací turbínu PROTUR. Turbína Protur I je nainstalovaná a provozovaná v chladicím okruhu elektrických obloukových pecí ocelárny firmy ŽĐAS, a.s. Uvedené značení znamená, že se jedná o turbínu pro spády 0,5 m až 0,65 m s hlností do 35 litrů vody za sekundu. Sestava čtyř turbín Protur I je zase nainstalovaná v odtokových šachtách stanice likvidace odpadních vod tepelné elektrárny Ledvice. Prostřednictvím takto vyrobené elektrické energie je následně osvětlován celý areál záchytných nádrží. Další turbína Protur I je umístěna v odtokovém kanálu ČOV Žďar nad Sázavou, tato instalace slouží zároveň jako testovací se zaměřením na ověřování životnosti jednotlivých dílů a následně i celé sestavy. Turbína je již více jak dva roky vystavena náročným klimatickým podmínkám s průtokem vody během dne od 90 do 150 litrů za sekundu. Při další podobné instalaci do turbíny natéká voda přímo z dešťové kanalizace. Ta s sebou přináší velké množství nečistot a tím prověřuje schopnost jejího fungování na přírodních tocích.

autoři: Miroslav Sedláček

a Miloš Janeček

foto: Miloš Janeček, ŽĐAS, a.s.

Vylepšená vrtulová vodní turbína

Elektrická energie z vodních zdrojů je ověřeným zdrojem bezemisní elektrické energie. Vodní energie bezesporu patří mezi šetrné energetické zdroje a její využívání je zcela v souladu s celosvětovým trendem využívání obnovitelných zdrojů. V rámci projektu TA ČR byl úspěšně uveden do provozu prototyp vrtulové turbíny s proměnnými otáčkami, širokým regulačním rozsahem a vysokou účinností.

Projekt TH04010140 „Inovativní návrh kompaktního soustrojí Kaplanovy mikro-turbíny“ je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci programu EPSILON.

Pokrok v oblasti vývoje generátorů s permanentními magnety (PMG – Permanent Magnet Generator) a v oblasti frekvenčních měničů umožňuje nové koncepty nízkospádových axiálních vodních turbín s proměnnými provozními otáčkami a pevnými lopatkami oběžného kola. S využitím silných prostředků numerického modelování CFD (Computational Fluid Dynamics) ve spojení s efektivními optimalizačními nástroji lze překonat klasický koncept Kaplanovy turbíny s radiálním rozváděčem a získat mnoho provozních výhod.

Evropská energetika prochází výraznou proměnou vlivem dlouhodobého akcentu na využití obnovitelných zdrojů. Malé vodní elektrárny (MVE) a mikroelektrárny jsou důležitým článkem v celé této oblasti. Ve srovnání se solárními zdroji mají podstatně vyšší využitelnost instalovaného výkonu a stálost dodávky výkonu do sítě. Zároveň se významně podílejí na snížení distribučních ztrát při přenosu elektrické energie. Velká část malých vodních elektráren v ČR má zastaralou technologii, nežádoucí k předstávám cca sto let staré Francisovy vodní turbíny, které vyžadují náročnou repasi. Stávající technická řešení s nutností nákladných stavebních úprav znemožňují jejich efektivní rekonstrukci.

V rámci projektu TA ČR „Inovativní návrh kompaktního soustrojí Kaplanovy mikro-turbíny“ ve spolupráci Fakulty stavební ČVUT a Fakulty strojního inženýrství UJEP (Ing. Martin Kantor, Ph.D.) s firmou Elzaco s.r.o. (Ing. Roman Kubíček) jsme navrhli zcela nový koncept soustrojí spočívající ve významném zjedno-

dušení strojní části turbíny se současným zlepšením účinnostních charakteristik. Nové typy PMG umožňují vynechat problematický převod mezi generátorem a turbínou, čímž jsou výrazně sníženy vibrace a hluk. PMG generátor s vysokým krouticím momentem při nízkých otáčkách je v porovnání s běžnými asynchronními generátory podstatně menší, má vyšší účinnost a ztráty na převodu zcela odpadají. Provozní otáčky turbíny jsou regulovány pomocí čtyřkvadrantního frekvenčního měniče s rekuperační jednotkou a výstupním EMC filtrem. V návrhu je dále zahrnuto využití zbytkového tepla vodou chlazeného generátoru (případně i frekvenčního měniče) pro temperování strojovny MVE a přilehlého objektu. Dalším zásadním zjednodušením strojní části je oběžné kolo s pevnými lopatkami – tím odpadá hydraulické ovládání servomotoru, které je rizikové i z hlediska možné kontaminace vody hydraulickým olejem.

V rámci projektu byla navržena a nainstalována kompletní sestava prototypu. Turbinové soustrojí má regulovatelný radiální rozváděč, který nahrazuje provozní uzávěr. PMG je přímo napojený na hřídel turbíny a frekvenční měnič umožňuje nastavení požadovaných provozních otáček v závislosti na aktuálním spádu a otevření rozváděče.

Prototyp prokázal výhodnou konstrukční jednoduchost koncepce s pevnými lopatkami oběžného kola. To je vlastním „srdcem“ vodní turbíny, a proto bylo tvaru lopatek věnováno maximální úsilí. V rámci projektu byl navržen „work flow“ tvarové optimalizace celého soustrojí

vyvíjené turbíny. Nejdůležitější částí je poloaufomatický MOGA (Multi-Objectives Genetic Algorithm) optimalizační „engine“ parametricky zadaného tvaru lopatek oběžného kola, který umožňuje efektivně navrhnout optimální řešení podle zadaných kritérií. Těmito jsou v praxi zpravidla vážená účinnost ve vazbě na regulační rozsah a dále kavitační odolnost. S využitím PARETO grafů je pro vybrané tvarové kandidáty následně provedeno detailní měření turbíny na virtuální zkušební pomocí CFD metod a výsledky jsou v prostředí Matlab automaticky zpracovány do modelových charakteristik s následným přepočtem na charakteristiky provozní.

Výsledný návrh axiální turbíny splňuje požadavek širokého regulačního rozsahu i při silně kolísajícím spádu se zohledněním kavitační odolnosti. Postup umožňuje efektivní „tailor made“ návrh tvaru lopatek pro požadovaný rozsah provozních parametrů. Turbína má v porovnání s klasickou Kaplanovou turbínou nižší specifické (a zároveň i provozní) otáčky, delší lopatky oběžného kola a tím je šetrná pro povodňovou migraci ryb. Do okolí vyzařuje nižší hluk a vibrace, a proto je vhodná i pro urbanizované oblasti. Koncept soustrojí je zacílen pro instalaci na MVE s rozsahem spádu 1,5–15 m, průtoků 0,5–10 m³/s, při výkonu cca 10–400 kW.

autoři: Eva Bílková, Jiří Souček
a Petr Nowak
foto: archiv autorů



Průhled na instalované soustrojí prototypu ze strojovny do turbinové kašny

Dr. Ing. PETR NOWAK
petr.nowak@fsv.cvut.cz

Ing. EVA BÍLKOVÁ
eva.bilkova@fsv.cvut.cz

Ing. ROMAN KUBÍČEK
kubicek.r@elzaco.cz

Spolehlivé zásobování kvalitní pitnou vodou považujeme v rámci ČR za zcela samozřejmý a oprávněný požadavek. Velká část pohraničních regionů je zásobována povrchovou vodou z horských partií a voda je gravitačně dopravována k úpravě a následně k distribuci. Na cestě od zdroje až k cílovému odběrateli projde voda dlouhou trasu, na které je často několik míst s koncentrovaným zbytkovým spádem. Ta představují velmi efektivně využitelný energetický potenciál ekologické obnovitelné energie. Instalace vodních turbín na vodárenských systémech mají však svá výrazná specifika.

Na pracovišti Katedry hydrotechniky Fakulty stavební ČVUT máme dlouholeté zkušenosti s návrhem, instalací a provozem malých vodních elektráren (MVE) ve vodárenských systémech, a to jak s energetickým využitím surové vody, tak již vody upravené. V provozu se velmi osvědčily konstrukčně jednoduché Peltonovy turbíny. Koncepte těchto MVE je specifická zejména tím, že výroba elektrické energie je „pouze“ sekundárním užítkem při zachování primárního účelu, jímž je zajištění spolehlivé dodávky pitné vody ke spotřebitelům. Tomu je návrh plně podřízen, turbína je vždy zapojena jako „bypass“ k již existujícímu regulačnímu prvku (zpravidla regulační uzávěr v přerušovací komoře, vodoměru, tlakový redukční ventil apod.) a tím je zajištěn provoz i při odstávce turbíny. Návrh respektuje hygienické požadavky na zdravotně nezávadné materiály při styku s pitnou vodou.

Výhodou těchto lokalit je existence potřebné infrastruktury, např. přívod a odpad vody, armaturní komora jako strojovna, elektrická přípojka, příjezd či komunikační infrastruktura. Přívodem vody na tur-

Pitná voda jako zdroj čisté energie



binu bývá i několik desítek kilometrů dlouhý tlakový přívaděč, který představuje velké riziko tlakového rázu. Změny průtoku musejí být velmi pomalé i z důvodu rizika zvržení usazeného kalu v potrubním systému. Peltonova turbína je optimálním řešením s ohledem na rovnotlaký (akční) typ turbíny, protože při výpadku napájení generátoru neovlivňují otáčky průtok.

Na dvou projektech jsme spolupracovali s firmou Elzaco s.r.o., a to od koncepčního řešení až po výrobu, instalaci a uvedení soustrojí do provozu. Projekt začíná vždy analýzou provozních dat. „Reverse engineering“ těchto dat umožní stanovení návrhového spádu a průtoku spolu se stanovením jejich rozsahu. 2D histogramy provozovaných H-Q bodů s energetickou vahou jsou podkladem pro citlivostní analýzu parametrů turbíny s cílem maximalizace roční výroby elektrické energie při známé účinnostní charakteristice turbíny. Zohledněn musí být požadavek širokého rozsahu převáděných průtoků i při značném kolísání spádu.

MVE v obci Nový Malín představuje zákaznické řešení Peltonovy turbíny jako variantu k původnímu nerealizovanému neefektivnímu návrhu tří odstředivých čerpadel provozovaných v turbínovém re-

žimu. Spád okolo 300 m při jmenovitém průtoku 15 l/s a instalovaném výkonu 30 kW je realizován pomaloběžnou jednotrýskovou Peltonovou turbínou s automatickým deflektorem. CNC obroběné lopatky z nerezové chrom-niklové oceli jsou s diskem letmo uchyceny na náboji hřídele asynchronního generátoru. Po více než pětiletém provozu je soustrojí v perfektním stavu a celková investice při zanedbatelných provozních nákladech byla splacena přibližně za čtyři roky.

Další realizací je MVE na vodoměru Beroun o instalovaném výkonu 20 kW s rozsahem spádů 56–66 m a průtoků 2–40 l/s. Jednotrýsková Peltonova turbína s deflektorem a nerezovou turbínovou skříň má oběžné kolo letmo uchyceno na hřídeli asynchronního osmipólového generátoru. Protože by při nerezovém provedení lopatek bylo oběžné kolo těžké a drahé, byl použit kompozitový PA termoplast s dlouhými skleněnými vlákny s hygienickým atestem hlavního hygienika ČR. Použitím kompozitu jsme dosáhli snížení hmotnosti lopatky o cca 80 procent, snížení odstředivých sil, ohybu hřídele, nároků na dynamické vyvážení, ceny a výrobní lhůty.

autoři: Petr Nowak, Eva Bílková
a Roman Kubíček
foto: archiv autorů

V provozu se velmi osvědčily konstrukčně jednoduché Peltonovy turbíny. Koncepte těchto MVE je specifická zejména tím, že výroba elektrické energie je „pouze“ sekundárním užítkem při zachování primárního účelu, jímž je zajištění spolehlivé dodávky pitné vody ke spotřebitelům.

Středoškoláci ze severu Čech a Saska si mohou navrhnout a postavit vlastní autíčko na vodíkový pohon a prověřit jeho kvality v sérii atraktivních závodů. Díky projektu přeshraniční spolupráce, který pro ně připravilo děčínské pracoviště ČVUT a VŠCHT ve spolupráci s Unipetroleem a Technische Universität Chemnitz, mají studentské týmy z deseti českých a deseti saských středních škol celý rok k dispozici stavebnici s jednotlivými moduly vodíkového auta, a dostaly tak šanci vybudovat vlastní vývojový tým, který s pomocí odborníků z partnerských vysokých škol postaví tu nejlepší vodíkovou formuli.

Studenti staví formuli na vodík



Možnost postavit si vlastní model auta s vodíkovým pohonem a zasoutěžit si s ním není pro české středoškoláky ničím novým. Projekt H2AC4schools – Závod saských a českých škol ProJETí světa elektromobility s vodíkem se ale od podobných vzdělávacích projektů liší svým mezinárodním rozměrem. V soutěži totiž spolu nesoupeří jednotlivé střední školy, ale soutěžní týmy složené vždy ze studentů jedné české a jedné saské školy, které do klání vyšlou dva soutěžní vozy.

Každý středoškolský tým tak průběžně po celý rok formou kroužku poznává svět elektromobility a využití obnovitelných zdrojů energie. Studenti mají k dispozici vodíkový článek a k němu stavebnici RC modelu auta, který mohou v rámci pravidel upravovat a vylepšovat. Zaměří se například na konstrukční změny, odlehčení, provozní spolehlivost nebo rychlou opravitelnost během závodu. Na svých modelech vyzkouší změny i různá nastavení a v neposlední řadě budou pilovat plynulou jízdu. Konzultace jim k tomu poskytují odbor-

níci ze všech tří zapojených univerzit, zároveň se středoškoláci radí a vyměňují si poznatky a zkušenosti se svými zahraničními týmovými kolegy. Projekt tak kromě technických dovedností posiluje také schopnost týmové práce, komunikaci, rozdělení rolí v týmu (kromě řidiče je v něm mechanik, konstruktér, elektrikář, ale i mluvčí) a zlepšuje jejich jazykové dovednosti.

V průběhu školního roku pak týmy třikrát prověří své schopnosti na víkendových soutěžních setkáních. Své modely vyzkouší na certifikovaných soutěžních tratích, které pro ně partnerské vysoké školy postaví v Děčíně, Chomutově a v Chemnitz. První dva víkendy jsou tréninkové, kdy je doba závodu kratší, třetí je finálový a závod v něm je nejdelší.

Principem závodů/tréninků je ujet s omezeným množstvím energie co největší počet kol v daném čase. Omezení je dáno kapacitou baterie a množstvím hydrostiků (vodíkových zásobníků). Kromě hlavní ceny se vyhlašují i další kategorie, například pohár konstruktérů

pro zajímavá technická řešení. Součástí hodnocení je i prezentace vlastních úprav. Každý tým představí svoji práci a porotě vysvětlí, jaké úpravy na modelu udělal a proč.

Soutěžní víkend začíná společným tréninkem a kvalifikací. Večer naplněný česko-německou konverzací je tak většinou věnován posledním detailům soutěžní taktiky, druhý den už se jede naostro. V zatím posledním závodě, který se uskutečnil v lednu 2020 v Děčíně, ujel vítězný model středoškoláků z česko-lipské průmyslovky o celých 173 kol víc než další auto v pořadí.

Pandemie covidu samozřejmě naši mezinárodní vodíkovou formuli hodně ovlivnila. Online podoba závodů by připravila středoškolské týmy o tu pravou, bezprostřední adrenalinovou atmosféru, proto se všichni těšíme, že projekt úspěšně fungující už od roku 2017 budeme moci co nejdříve završit dalším skutečným soutěžním setkáním.

**autoři: Josef Drobny,
Ondřej Smíšek
a Alexandra Dvořáčková
foto: Fakulta dopravní**

doc. Ing. ZDENĚK LOKAJ, Ph.D.
zdenek.lokaj@cvut.cz

C-ROADS

Propojení vozidel na dálnicích i ve městech

**Výzkumné aktivity
Fakulty dopravní
ČVUT se dlouhodobě
zaměřují na oblast tzv.
kooperativních systémů
(označované také jako C-ITS
systémy), poskytujících
časově a místně relevantní
dopravní informace
prostřednictvím
komunikace mezi
vozidly a mezi vozidlem
a inteligentní dopravní
infrastrukturou přímo
na displej vozidla s cílem
zlepšení informovanosti
řidičů a zvýšení bezpečnosti
silniční dopravy v rámci celé
Evropské unie.**

V rámci projektu C-ROADS Czech Republic, který je spolufinancovaný programem CEF evropské agentury CINEA, se od roku 2016 podařilo vybudovat pilotní C-ITS infrastrukturu na dálnicích D1, D5 a D11 a také na křižovatkách v brněnské aglomeraci, ve vozidlech MHD v Ostravě a Plzni a na čtyřech nechráněných železničních přejezdech. Současně projektové konsorcium zahrnující Ředitelství silnic a dálnic ČR, O2, T-Mobile, Brněnské komunikace, Správu železnic, Intens Corporation a AŽD pod vedením Ministerstva

dopravy ČR vybuďovalo centrální systémy managementu dopravních informací, vytvořilo mobilní aplikaci jako další kanál poskytování aktuálních dopravních informací a vyvinulo třináct aplikací, které jsou v silničním provozu z hlediska bezpečnosti využitelné, např. upozornění na práci na silnici, varování před stojícím či pomalu jedoucím vozidlem, informace o blížícím se záchranářském vozidle, preference vozidel MHD na světelných křižovatkách, varování před vozidlem jedoucím na červenou.

Odborníci Fakulty dopravní ČVUT jako součást projektového konsorcia řešili zejména testování a evaluaci implementovaných systémů a jejich bezpečnostní řešení, aby se ověřil soulad vyvinutých systémů se závaznými dokumenty a normami a analyzovala akceptace poskytovaných dopravních systémů jejich uživateli, řidiči motorových vozidel. Celý ekosystém C-ITS otestovali jak v laboratorních podmínkách, tak v reálném prostředí na dálnicích, ve městech i na přejezdech, a také jej podrobili mezinárodnímu ověření interoperability se zahraničními partnery, kteří v rámci projektové platformy vyvíjeli C-ITS systémy ve svých zemích. Současně spolupracovali na přípravách strategických dokumentů dalšího rozvoje C-ITS systémů v ČR a reprezentovali Českou republiku v mezinárodních

pracovních skupinách C-ROADS Platform, které mají za úkol tvorbu závazných funkčních a technických specifikací, vedoucích k evropské interoperabilitě těchto systémů. V neposlední řadě se zabývali také právními aspekty zavádění C-ITS systémů, zejména ochrany osobních údajů, které jsou v rámci implementovaných aplikací zpracovávány, aby celé řešení bylo nejen technicky spolehlivé, ale i právně konformní.

V současné době přechází pilotní infrastruktura i vyvinuté aplikace do ostrého režimu, aby bylo možné od začátku roku 2022 poskytovat spolehlivé, důvěryhodné a aktuální dopravní informace všem uživatelům, kteří budou mít své vozidlo vybavené C-ITS technologií nebo budou využívat mobilní aplikace, a to nejen v České republice, ale ve všech zemích EU, zapojených do projektu C-ROADS.

Kooperativní systémy představují zásadní milník na cestě k vozidlům s autonomním řízením, pro které je poskytování dopravních informací zcela zásadní, a proto do jejich rozvoje Evropská unie i Česká republika investují desítky milionů korun. Fakulta dopravní je mezinárodně velmi respektovaným pracovištěm, které se zabývá jejich výzkumem, vývojem a zejména ověřováním a posuzováním.

**autor: Zdeněk Lokaj
foto: Fakulta dopravní**



Zrychlování výroby díky simulacím výrobních linek

Absolvent ČVUT Jakub Faltejsek přibližuje práci s nejnovějšími technologiemi v Continentalu v Brandýse nad Labem.



Podobně jako řada jiných studentů, také Jakub získal pracovní zkušenosti díky veletrhu iKariéra. Před třemi lety se na něm dozvěděl o brigádě v brandýském Continentalu a dnes se ve firmě věnuje virtuálním simulacím výrobních linek. „Continental je velká firma, blízko u Prahy, a absolventi nebo studenti závěrečných ročníků škol, jako je ČVUT, se tu mohou dostat k zajímavým projektům, moderním konceptům a technologiím výroby a jejího plánování“, říká Jakub Faltejsek, absolvent Výrobního inženýrství na Fakultě strojní.

V roce 2020 v Continentalu vzniklo oddělení Smart Automation, v rámci kterého si Jakub mohl

napsat diplomovou práci na téma simulace výrobních linek. „Na diplomce se mi pracovalo dobře, dostával jsem podporu od celého týmu, který se tomu projektu věnoval. Naučil jsem se, jak funguje práce na projektu ve firmě včetně takových věcí, jako je třeba nucená změna zadání a podmínek. Takže jsem si zkusil i práci pod tlakem, což zpětně vnímám jako pozitivní zkušenost. A vzhledem k tomu, že jsem se tématu chtěl věnovat i po škole, rozhodl jsem se v Continentalu zůstat“, vzpomíná Jakub, který dnes zastává pozici Production Equipment Engineer Junior.

Oddělení Smart Automation se ve firmě zabývá zejména robotizací

a cobotizací linek pro výrobu automobilové elektroniky. Při projektování výrobních linek řeší, jak zabránit kolizím robotických ramen, jak definovat správné odebírací a odkládací pozice nebo jak minimalizovat náklady na údržbu celé linky. Pro simulaci výrobních linek je využívána virtuální realita, díky níž je možné ověřit vzájemnou provázanost všech zařízení a systémů. Ta zároveň umožňuje simulovat změny výrobního procesu a pracovat na zvyšování efektivity výroby.

„Analýza všech kroků výrobního procesu je v reálném provozu velmi časově náročná – se stopkami v ruce sledujete videozáznam a zapisujete, kolik času operátor věnuje skutečné výrobě a kolik času tráví třeba manipulací s materiálem. Virtuální simulace nám umožňuje udělat takovou analýzu dvěma kliky myši i s exportem do tabulky pro další zpracování. Následně můžeme virtuálně upravit konfiguraci linky a vyzkoušet, zda tato změna přinese očekávané výsledky. Na jedné z výrobních linek se nám již takto podařilo optimalizovat pohyby cobotů natolik, že jsme výstup linky zvýšili o tisíc kusů výrobků za týden“, říká Jakub, kterého v Continentalu nejvíce baví právě vytváření 3D modelů v CAD softwaru a práce s layouty v simulačních softwarech.

**autorka: Věra Kubinová,
Continental Automotive
foto: Continental**



Continental Automotive Czech Republic v Brandýse nad Labem vyrábí autorádia, multimediální systémy a jejich přední displeje, palubní přístroje, ovládací panely klimatizací, telematiku, eCall systémy a také řídicí jednotky palivových systémů. Mezi zákazníky firmy patří největší světové automobilky, s jejich výrobky se můžete setkat ve vozech po celém světě.

Studenti mohou v brandýském Continentalu získat zkušenosti na brigádě, nebo si zde napsat bakalářku či diplomku. Uplatnění najdou i čerství absolventi, stačí si jen vybrat: continental.jobs.cz/brandys

PÍŠŤALY pro ČVUT

Spolek absolventů
a přátel ČVUT
pořádá

veřejnou sbírku na pořízení varhan do Betlémské kaple

Pojďme společně rozeznít
Betlémskou kapli!

Dar v jakékoliv výši můžete zasílat na účet
veřejné sbírky č. 2100626587/2010.

Zahájení sbírky:
1. října 2014

Příspěvat je možné
do 31. prosince 2021,
kdy bude sbírka ukončena.

www.absolventicvut.cz
www.varhany.cvut.cz

Osvědčení o konání sbírky vystavil
Magistrát hl. m. Prahy dne 19. 8. 2014.



ŠKODA
SIMPLY CLEVER

JAK VYPADAJÍ AUTA BUDOUNOSTI?

Jako smartphony na kolech. Dokážou si mezi sebou povídat, lépe předvídat dopravní situace a řidičům cestu zpříjemňují celou řadou chytrých funkcí.

„Automobilový průmysl teď prochází brutální revolucí. Intenzivně řešíme, jak a kde vyrábět nové vozy plné chytré elektroniky, které se výrazně liší od předchozích modelů. Stavba a první oživení vozu je čím dál tím složitější. Jsou před námi samé velké výzvy,“ říká Tomáš Dlabaja, který má ve ŠKODA AUTO na starost elektroniku všech modelů.



Tomáš Dlabaja

koordinátor elektroniky vozů ŠKODA AUTO

V mladoholeslavské automobilce začínal v roce 2013 jako strojný inženýr. „Nebyl jsem si ale jistý, jestli chci být ryze konstruktérem, tak jsem se přihlásil do Trainee programu ŠKODA AUTO, díky kterému jsem si během jednoho roku vyzkoušel práci v různých oblastech,“ popisuje. Prošel například oddělením vývoje, zkusil si vedení projektů a pokračoval až do aftersales a zahraničních garancí. „A pak mi zavolali z výroby, že na mě dostali doporučení z Trainee programu. Rozhodl jsem se nečekanou nabídku využít.“ Výroba ho nadchnula natolik, že v ní působí již šestým rokem. Nyní koordinuje tým padesáti lidí, který řeší elektroniku všech modelů ŠKODA jak v Česku, tak zahraničí.

**PŘEČTĚTE SI
CELÝ ROZHOVOR**

