



Akademie věd
České republiky

2019

Strategie AV21

OD JADERNÉ FÚZE PO LIDSKÁ PRÁVA



Akademie věd
České republiky

Strategie AV21

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



Fúzní elektrárna? To se lehkou řekne... **06**

Program Strategie AV21 *Systémy pro jadernou energetiku*

Atlas prachových částic **22**

Program Strategie AV21 *Přírodní hrozby*

Hodná auta bez řidiče **32**

Program Strategie AV21 *Naděje a rizika digitálního věku*

Když se sovy mění ve skřivany **42**

Program Strategie AV21 *Kvalitní život ve zdraví i nemoci*

Polymery pro chytrou medicínu **52**

Program Strategie AV21 *Molekuly a materiály pro život*

Houby nejsou na houby **68**

Program Strategie AV21 *Rozmanitost života a zdraví ekosystémů*

Žádné rychlé závěry, jen něžně natukávat **78**

Program Strategie AV21 *Evropa a stát: mezi barbarstvím a civilizací*

Jak dál ve školství **90**

Program Strategie AV21 *Efektivní veřejné politiky a současná společnost*

Vysvobodíme lidská práva ze soudních síní **100**

Program Strategie AV21 *Globální konflikty a lokální souvislosti: kulturní a společenské výzvy*



Vážení čtenáři, vážené čtenářky,

popularizace vědy patří vedle vědecké práce a pedagogické činnosti mezi důležité úkoly vědců a vědkyň z pracovišť Akademie věd ČR. V každodenním životě naší instituce má právem velmi důležité i respektované postavení. Důkazem toho je rovněž publikace *Strategie AV21: od jaderné fúze po lidská práva*, která poutavě a srozumitelně představuje zajímavé projekty vybraných výzkumných programů.

Ambiciózní model mezioborové a meziinstitucionální vědecké spolupráce jsme odborné i laické veřejnosti představili v prosinci 2014. Jedním z hlavních úkolů iniciativy, která svou podstatou reflektuje proměnu Akademie věd ČR v moderní vědeckou instituci 21. století, je reagovat na bezprostřední i dlouhodobé společenské výzvy a hledat jejich řešení. „Život“ jednotlivých programů Strategie AV21, které se v posledních dvou letech rozrostly z původních 14 na současných 18, sleduji z pozice předsedkyně Akademie věd ČR od roku 2017. Ráda bych proto v této souvislosti vyzdvihla, že jednou z mnoha jejich devíz je promyšlená „rozkročenost“ mezi jednotlivými vědeckými oblastmi a disciplínami. Právě s využitím tohoto širokého pojetí se mohou vědci a vědkyně z pracovišť Akademie věd ČR zabývat komplexními problémy, jejichž úspěšné řešení si obvykle žádá spolupráci odborníků různých vědních oblastí – mnohdy i na první pohled vzdálených.

I když mají jednotlivá pracoviště Akademie věd ČR svou vědeckou autonomii, pod hlavičkou programů Strategie AV21 mohou účinněji spolupracovat, a to v té nejširší škále různých oborů, kterou v naší republice zastřešuje právě jen Akademie věd. Tento model propojení se v praxi osvědčil a snažíme se pro něj vytvářet vhodné podmínky. Dlouhodobě totiž zastávám názor, že potenciál Akademie věd ČR jako celku je mnohem vyšší než možnosti a kapacity jednotlivých ústavů či jejich prostý součet. Vnímám naši instituci jako společenství, v němž se mohou systematicky projevovat nejrůznější synergické efekty. Model spolupráce, který zprostředkovává právě Strategie AV21, je vyjádřením tohoto společenství. A jelikož žijeme také z peněz daňových poplatníků, je naší povinností informovat o jejich využití a také je v co nejvyšší možné míře daňovým poplatníkům vracet. Ať už prostřednictvím základního, či aplikovaného výzkumu.

Strategie AV21 má pomoci při řešení relevantních problémů, jimž naše společnost čelí nyní, i těm, se kterými se bude potýkat v budoucnosti – každý náš vědecký výsledek má potenciál, aby byl využitelný a užitečný v praxi. Jednotlivé výzkumné programy žijí vlastním životem a stále procházejí vývojem. Mnohé se již našim vědcům a vědkyním povedlo; některé programy fungují velmi dobře, jiné se vyvíjejí s perspektivou využití v blízké budoucnosti. Příkladem první skupiny budiž například spolupráce pracovišť v programu, který poskytuje prakticky orientované socioekonomické studie se zaměřením například na školství. Do druhé skupiny patří třeba výzkumy nové diagnostiky, která nalezne uplatnění v připravovaném fúzním reaktoru ITER. A jaderná fúze je zatím jedním z nejslibnějších energetických zdrojů budoucnosti.

Nejen s těmito programy se setkáte na stránkách publikace, kterou připravili zkušení vědečtí novináři Lenka Vrtišková Nejezchlebová, Jana Olivová a Ondřej Vrtiška.

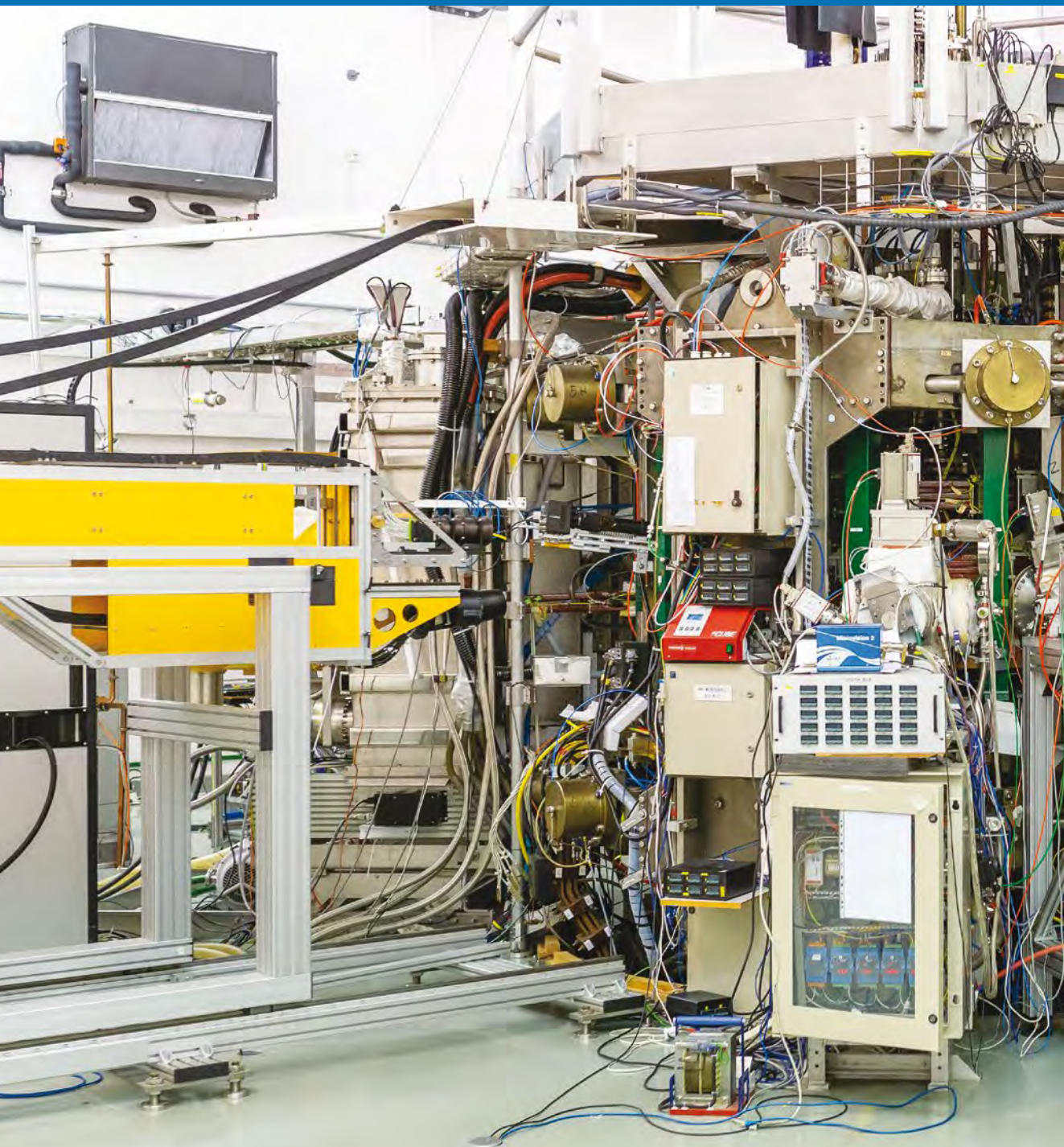
Přeji vám inspirativní čtení.

Eva Zažímalová
předsedkyně Akademie věd České republiky



Akademie věd
České republiky

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



PROGRAM: SYSTÉMY PRO JADERNOU ENERGETIKU



TOKAMAK COMPASS

V ÚSTAVU FYZIKY

PLAZMATU AV ČR

Fúzní elektrárna? To se lehkou řekne...

ONDŘEJ VRTIŠKA

Sen o zkrocení jaderné fúze, prakticky neomezeného zdroje čisté energie, sní lidstvo už od poloviny 20. století. Přenést proces pohánějící hvězdy k nám na Zemi je ale nesnadný úkol. Přesněji řečeno: obtížné je provozovat ho kontrolovaně a dlouhodobě. Ale zatímco sny se pouze zdají, výzkumu jaderné fúze a jejímu využití se věnují nejlepší mozky planety. Krůček po krůčku se vědcům daří překonávat překážky na cestě k cíli. Odborníci z České republiky mezi nimi zaujímají respektované postavení.

Od využití jaderné fúze nás dělí třicet let – a vždy to tak bude, praví oblíbený bonmot. Někdy ho lze zaslechnout i v obecnější a snad ještě sarkastičtější podobě: Jaderná fúze je energetickým zdrojem budoucnosti. A navždy jím zůstane.

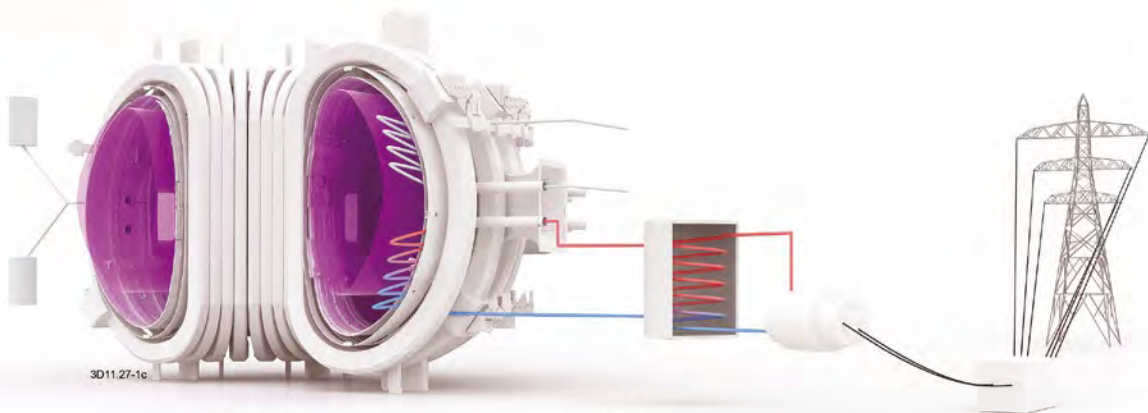
Jsou to zlá slůvka, ale mají reálný základ. Na počátku výzkumu jaderné fúze mnozí fyzikové překypovali optimismem. Řešení se však od té doby průběžně odsouvá, protože se ukazuje, že překážek a problémů je více, než si kdo dokázal představit. To však neznamená, že bonmot bude platit navždy. Na pozadí se odehrávají velké věci. Některých si všímá i laická veřejnost – budování mezinárodního experimentálního reaktoru ITER je dobrým příkladem –, o jiných ví jen úzký okruh znalců.

A právě toto skryté dění nám dává naději, že se fúzních elektráren dočkáme. „Existuje krásný graf, který srovnává výzkum fúze se slavným Moorovým zákonem. A to srovnání zhruba sedí,“ říká Slavomír Entler z oddělení Tokamaku

Ústavu fyziky plazmatu AV ČR. Moorův zákon sice nemá sílu zákona přírodního, jde o čistě empirický postřeh, už desítky let však platí. V souladu s ním roste závratnou rychlostí hustota tranzistorů v integrovaném obvodu – a tím i výkonost počítačů. Naše chytré telefony toho umí nesrovnatelně více (a rychleji) než sálové počítače šedesátých let 20. století.

„Teprve v roce 1968 se v experimentálních reaktorech typu tokamak podařilo dosáhnout teploty 10 milionů stupňů. Z dnešního pohledu to není nic moc, dostali jsme se už na 200 milionů, což je více, než potřebujeme. Ano, čas letí, ale vývoj nestagnuje,“ pokračuje Slavomír Entler.

Proč tedy fúzní elektrárny stále nestojí? Jaderná fúze se od výpočetní techniky v důležitém aspektu liší: Počítače fungovaly i v době, kdy hustota tranzistorů nebyla nijak závratná. Byly jen pomalejší a na některé dnes běžné úkoly nestačily. Aby fungovala fúzní elektrárna, musí být splněna řada náročných podmínek. Nesplníte jedinou z nich a spláčete nad výdělkem.



FÚZÍ ELEKTRÁRNY –
POTENCIÁLNÍ ZDROJ ČISTÉ
ENERGIE PRO
BUDOUCNOST

Zatímco vývoj počítačů představuje kontinuum, které každý z nás prožívá na vlastní kůži, na jaderné fúzi se pracuje z velké části mimo zraky veřejnosti. Dlouho nevidíte zdánlivě žádný výsledek, až se nakonec vše složí do vyladěného celku a výzkum se rázem posune o velký kus vpřed.

Takových skoků už ve výzkumu fúze nastalo několik, dalším na řadě bude spuštění zmíněného reaktoru ITER. „Dnes jde o technologický, nikoli fyzikální problém. Když to zjednoduším: už neřešíme, jak kontrolovaně uvolňovat fúzní energii, ale jak vyrobit součástku tak, aby vydržela podmínky v tokamaku,“ vysvětluje Slavomír Entler.

Jednotlivých technických detailů, které je třeba vyřešit, je nepřeberné množství. Každý z nich vyžaduje systematický výzkum, testování, hledání kompromisů a prošlapávání slepých uliček. Mnohdy je třeba přijít se zcela novými postupy či materiály, které pak ale mohou posloužit i mimo oblast jaderné fúze. „Reaktor není kus železa, ale komplex nově vyvinutých a pak mnohokrát testovaných dílů, které nemají nic společného se současnou průmyslovou produkcí,“ říká Slavomír Entler.

Podrobněji si přiblížíme dva projekty, jimž se věnují čeští odborníci v rámci programu Systémy pro jadernou bezpečnost, který je součástí Strategie AV21: vývoj keramicko-kovových Hallových senzorů magnetického pole a gradovaných materiálů pro první stěnu tokamaku.

Tančí magnetické pole správně?

Magnetické pole je jednou z klíčových komponent tokamaku, protože

jako neviditelná nádoba udržuje termojadernou plazmu v bezpečné vzdálenosti od stěn, které by jeho bezprostřední působení dlouho nevydržely. A tato magnetická nádoba je všechno možné, jen ne jednoduchá. Pole generují jak cívky obklopující komoru tokamaku, tak elektrický proud protékající plazmatem.

„Plazma je velmi živé médium se spoustou turbulencí a nestabilit, které mají vliv na elektrický proud a jeho distribuci, a tedy i na magnetické pole. Plazma magnetickou nádobu různě deformuje a posouvá, je to velmi dynamický proces,“ vysvětluje Entlerův kolega Ivan Ďuran. Proto je potřeba chování magnetického pole neustále monitorovat. „Pokud zjistíme, že se řítíme do problému, můžeme v magnetických cívkách upravit proud a vrátit plazma do relativně stabilního stavu,“ říká Ivan Ďuran.

V dosavadních tokamacích k tomuto sledování stačily indukční cívky. Nyní však přestávají vyhovovat. Kamenem

úrazu je, že cívky neměří přímo intenzitu magnetického pole, ale její derivaci, tedy změny, jimiž prochází. V dnešních tokamacích to nevádí, protože výboje v nich trvají krátce – typicky desítky sekund až minuty. Ale v tokamaku ITER budou výboje trvat i několik desítek minut a v budoucím prototypu skutečně funkční fúzní elektrárny, nazvané DEMO,

Je třeba přijít se zcela novými postupy a materiály.



JEDNOTKA OBSAHUJÍCÍ DVA NA SEBE KOLMÉ
HALLOVYSENZORY, TERMOČLÁNEK
A KALIBRAČNÍ KAPSLI

řádově hodiny. Drobné chyby, které při měření cívkami vznikají a na krátkých časových škálách nevadí, by v tomto případě narostly do nebezpečných rozměrů. Operátoři by mohli z naměřených dat například získat dojem, že se sloupec plazmatu pomalu posouvá jedním směrem, takže by se ho pokusili ukáznit – ale protože by pracovali s falešným signálem, svým zásahem by napáchali víc škody než užítku.

Řešení od pana Halla

Bude tedy nutné měřit přímo intenzitu magnetického pole, nikoli jeho změny. „To byla hlavní motivace, proč jsme se před nějakými dvaceti lety začali zabývat Hallovými senzory,“ říká Ivan Ďuran.

Jak už jejich název napovídá, tyto senzory využívají tzv. Hallův jev. Nejde o žhavou novinku, americký fyzik Edwin Herbert Hall ho objevil už v roce 1879. Princip je poměrně jednoduchý: na vodič nebo polovodič (představte si spíše plochý plíšek než tenký drátek), jímž podélně protéká elektrický proud, nechte působit magnetické pole, jehož siločáry směřují kolmo ke směru proudu. Výsledek? Magnetické pole vychyluje protékající elektrony, takže se napříč vodičem rozloží nerovnoměrně: na jedné straně jich je nadbytek, na druhé nedostatek. Tím mezi oběma stranami vzniká (Hallovo) napětí, které lze měřit. Je přímo úměrné velikosti magnetického pole. Využití v tokamaku se tedy nabízí. Má to ale háček...

Dlouhou historii za sebou nemá jen znalost Hallova jevu, ale i jeho praktické využití. Hallovy senzory se používají v mnoha oblastech, například jako

bezdotyková čidla přiblížení pro průmyslové roboty. Slouží i v automobilech od motoru po měření hladiny paliva, v bezkontaktních spínačích, v otáčkoměrech všeho druhu... „Hallových senzorů se vyrábějí miliardy, trh s nimi je obrovský. Za tři koruny koupíte kus,“ říká Slavomír Entler. V čem je tedy zmíněný háček? „I kdybyste se roztrhali, nekoupíte Hallův senzor, který bude fungovat při více než 150 °C a v prostředí s radiací.“ A to je pro tokamak problém. Provozní teplota senzorů v ITER se sice bude pohybovat v rozmezí od 95 do 105 °C, ale při odplyňování vakuové komory reaktoru se může vyšplhat až na 220 °C. A pro budoucí fúzní elektrárny bude třeba připravit senzory zvládající až 500 °C.

Navíc jsou stávající polovodičové senzory málo odolné vůči ionizujícímu záření. „Na jaře jsem byl ve Fukušimě a sledoval roboty, které tam používají. Není v nich žádná elektronika, vše se ovládá po drátech. V provozu jsou nanejvýš kamery, které vydrží pracovat pár dnů a pak musí být vyměněny. Polovodičová elektronika, která by dlouhodobě vydržela silné ionizující záření, neexistuje,“ říká Slavomír Entler.

Co takhle zkusit bismut?

Jev, jenž byl po něm posléze pojmenován, E. H. Hall objevil při pokusech se zlatými fóliemi. Tedy s kovovým vodičem, pro který je typická velká koncentrace vodivostních elektronů. Dnešní Hallovy senzory jsou však vyrobeny z polovodičů, které mají těchto elektronů mnohem méně. Hallův jev je v nich díky tomu mnohem lépe měřitelný. „Jakmile se objevily polovodiče, nastal boom praktického využití Hallových senzorů, protože jejich Hallovo napětí bylo o několik řádů větší. Kovy upadly do zapomnění,“ říká Ivan Ďuran a dodává: „My jsme je oprášili,



ING. JIŘÍ
MATĚJČEK,
PH.D.

Vystudoval na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze, doktorát získal na State University of New York (Stony Brook, USA). V oddělení materiálového inženýrství Ústavu fyziky plazmatu AV ČR se zabývá vývojem materiálů pro jadernou fúzi, charakterizací žárových nástřiků, jejich mechanickými vlastnostmi a zbytkovým nputím. V roce 2006 získal Prémii Otto Wichterleho – cenu pro mladé vědecké pracovníky Akademie věd ČR.



protože jsme si uvědomili, že by pro fúzi a možná i v jiných aplikacích mohly být zajímavé. Jsou teplotně i radiačně mnohem odolnější.“

Nejprve se zkoušely měděné senzory, ale v nich generované Hallovo napětí bylo příliš nízké. Potom Ivan Ďuran na základě analýz a konzultací s experty z jiných oborů vyzkoušel bismut. Byl to originální nápad – Hallův jev se v tomto kovu měřil už dříve, protože ve fyzice pevných látek se takové měření používá ke studiu vlastností materiálů, ale postavit bismutový Hallův senzor do té doby nikoho nenapadlo.

Bismut se ukázal jako správná volba. „Není to úplně typický kov, někdo ho řadí mezi polokovy. V kovech má každý atom jeden nebo několik volných elektronů ve vodivostním pásu. Proto v nich je volných nosičů náboje moc. V polovodičích v podstatě není žádný, ale v závislosti na teplotě tam občas nějaký vyskočí. A bismut je někde na půl cesty. Ve vodivostním pásu má elektronů relativně málo, takže se trochu podobá polovodičům,“ vysvětluje Ivan Ďuran.

Citlivost kovů na magnetické pole je o šest řádů (tedy milionkrát) nižší než polovodičů, citlivost bismutu je nižší pouze asi stokrát. Zatímco typické kovové

senzory vyžadují měření s přesností nano- až pikovoltů, což je mimo laboratoř mimořádně obtížné, bismutové senzory generují napětí v řádu milivoltů a ty stačí měřit s přesností na mikrovolyty. Bismut je

radiačně velmi odolný a jeho teplota tání je 271,5 °C, pro ITER tedy dostatečná.

Ale jak už jsme u technologií potřebných pro provoz fúzních reaktorů zvyklí, opět před námi vyvstává problém. Citlivost bismutových senzorů totiž se zvyšující se teplotou klesá. Je tedy potřeba teplotu měřit, aby se naměřené hodnoty magnetického pole daly přepočítat, a získat nezkrácené informace. U senzoru

Bismut je teplotně i radiačně odolnější než polovodiče.



ING.

MONIKA

VILÉMOVÁ,

P.H.D.



Vystudovala na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze, kde na katedře materiálů získala i doktorát. V rámci doktorského studia absolvovala stáž na State University of New York (Stony Brook, USA). V oddělení materiálového inženýrství Ústavu fyziky plazmatu AV ČR se zabývá wolframem, přípravou jeho slitin a studiem jejich vlastností. Věnuje se také přípravě a charakterizaci žárových nástřiků.



EXPERIMENTÁLNÍ
TOKAMAK COMPASS
V ÚSTAVU FYZIKY
PLAZMATU AV ČR

Nikdo jiný dosud takový materiál nepotřeboval.

jsou proto termočlánek a kalibrační kapsle obsahující indium, které taje přesně při 156,5985 °C. Roztavení india lze zaznamenat a se znalostí tohoto údaje se dá termočlánek pravidelně kalibrovat.

Nemůže být kalibrace ohrožena? „Museli jsme modelovat transmutaci india, abychom měli jistotu, že i po deseti letech provozu bude v kapsli skutečně čisté indium s tabulkovou hodnotou teploty tání. Naštěstí to dopadlo dobře, ale až tak daleko je třeba vše domýšlet,“ upozorňuje Ivan Ďuran.

Transmutace prvků je mimochodem jeden z důvodů, proč pro senzory nelze využít zlato, na němž Hall „svůj“ jev objevil, přestože má jinak řadu výhodných vlastností.

„Ukázalo se, že kvůli vysoké citlivosti na neutronový tok by se během předpokládané životnosti senzorů na reaktoru DEMO třetina zlata přeměnila na rtuť. Senzory by nám při provozu doslova odtékly,“ vysvětluje Slavomír Entler.

A tak je to u fúze se vším. Náročné pracovní prostředí vyžaduje neustálé

zvažování výhod a nevýhod materiálů, hledání kompromisů, které odstraní fatální nedostatky, aniž by příliš snížily přesnost či spolehlivost jednotlivých komponent. Závislost bismutu na teplotě je nepříjemná, pro DEMO bude ovšem omezující zejména relativně nízká teplota tání, ale proti tomu stojí poměrně slušná citlivost a vysoká odolnost vůči ionizujícímu záření. Výhody jsou tak zásadní, že bismutové senzory vyvinuté pro ITER možná poslouží i v budoucích plně funkčních fúzních elektrárnách – alespoň v místech, kde to teplota umožní. Například v divertoru ve spodní části tokamaku, kde se odstraňují odpadní produkty fúzní reakce a odvádí se nejvíce tepla. Divertor bude chlazen na 150 °C, takže bismutové senzory by v něm měly fungovat.

Kyslíku vstup zakázán

Další problém, který bylo nutné vyřešit, souvisí s velkou ochotou bismutu oxidovat, zvláště při vyšších teplotách. Proto se musí povrch senzoru překrýt vrstvou nějakého materiálu, jenž přístupu kyslíku zabrání. Po dlouhé době zkoušení se

nejvíce osvědčil korund (Al_2O_3). Ale i přes něj kyslík pomalu proniká, takže fyzikové hledali, čím by se dal ještě překrýt.

„Nakoupili jsme desítky různých materiálů počínaje vodním sklem a konče různými šamotovými pastami. Když už se zdálo, že jsme našli vhodného kandidáta, nezvládl test teplotními cykly,“ vzpomíná Slavomír Entler. Sensory totiž budou umístěny v těsné blízkosti radiačního štítu, který bude chlazen heliem na teplotu kapalného dusíku (zhruba $-200\text{ }^\circ\text{C}$). A je třeba počítat i s tím, že dojde k nehodě a chladicí médium pronikne k sensorům. Během testů tedy patřičně chráněné sensory absolvovaly skokové ochlazení z $200\text{ }^\circ\text{C}$ na $-200\text{ }^\circ\text{C}$. Většina materiálů tak drastické zacházení nevydrží a praskne.

Jako v mnoha jiných případech by se vědcům vyvíjejícím sensory hodil e-shop, v němž by si mohli naklikat požadované vlastnosti hledaného materiálu. Jenomže takový obchod samozřejmě neexistuje. Požadavky jsou velmi specifické, nikdo jiný dosud takový materiál nepotřeboval.

Nakonec se sice podařilo vhodný kryt najít, ale tím starosti neskončily. „Najdete pastu, která splňuje vše, co od ní čekáte – a rok poté výrobce změní technologický postup výroby a její vlastnosti se třeba mírně, ale v pro nás důležitých aspektech změní,“ uvádí příklad Ivan Ďuran.

První prototypy bismutových sensorů vznikly v Ústavu fyziky plazmatu AV ČR v roce 2014, nyní je jejich vývoj ukončen a je rozhodnuto, že budou instalovány v reaktoru ITER. Vnější plášť vakuové nádoby se osadí šedesáti jednotkami. Každá jednotka, silná asi jeden centimetr, bude mít dva na sebe kolmé sensory a bude obsahovat i již zmíněný termočlánek a kalibrační kapsli pro měření teploty a další obslužné součástky. Sama citlivá bismutová vrstva na senzoru je silná pouhou tisícinu milimetru.

Miliardtiny voltu

Ale ani bismut plně neuspokojí nároky reaktoru DEMO a fúzních elektráren v reálném provozu. Pro ně budou



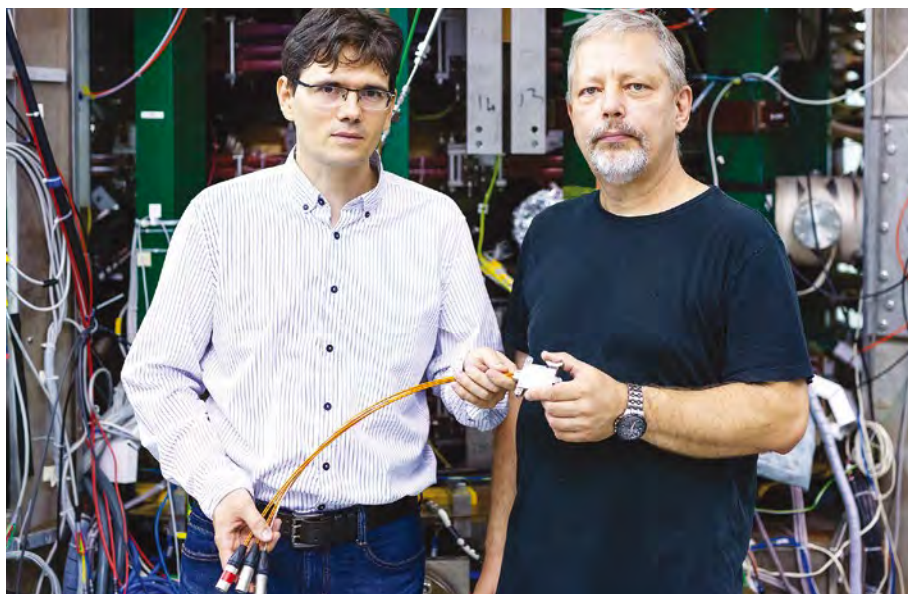
ING.

SLAVOMÍR

ENTLER,

P.H.D.

Vystudoval Energeticko-fyzikální fakultu Moskevského energetického institutu, doktorát získal v oboru Energetické stroje a zařízení na Fakultě strojní ČVUT v Praze. O jaderné fúzi a termojaderných zařízeních přednáší na Fakultě strojní a na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT. V oddělení tokamaku Ústavu fyziky plazmatu AV ČR se zabývá diagnostikou plazmatu, vývojem technologií pro fúzní zařízení a integrací fúzních reaktorů do energetiky.



IVAN ĎURAN

A SLAVOMÍR ENTLER

VYVINULI SENZORY

MAGNETICKÉHO POLE

PRO REAKTOR ITER.

JADERNÁ FÚZE: CO, JAK, PROČ

Zatímco v klasických jaderných elektrárnách se štěpí atomová jádra těžkých prvků, ve fúzních elektrárnách se budou slučovat atomová jádra lehkých prvků. Cílem je využívat k výrobě energie proces, který pohání hvězdy včetně Slunce. I zde platí, že rozbít je snazší než spojit. Energii termojaderné fúze dosud lidstvo zvládlo uvolnit pouze explozivně – ve vodíkové pumě. V první generaci fúzních elektráren se budou slučovat těžké izotopy vodíku – deuterium ^2H a tritium ^3H (vznikající přímo v reaktoru z lithia ^6Li) – za vzniku helia ^4He a volných neutronů, které budou odnášet uvolněné teplo do stěn reaktoru, odkud je odvede chladicí systém k výrobě elektrické energie. V další generaci by mělo stačit pouze deuterium (získávané z vody, jejíž je sice minoritní, ale přirozenou součástí).

Reaktory budou bezpečné – termojaderná fúzní reakce může probíhat pouze za obrovských teplot (asi 160 milionů °C) a za splnění dalších podmínek, takže se nemůže vymknout kontrole. Při jakékoli nestabilitě se sama zastaví. Naopak je extrémně náročně udržet reakci v běhu tak dlouho, aby fúzní elektrárna generovala více energie, než kolik sama spotřebuje. **V každém okamžiku budou v reaktoru řádově jen gramy paliva a nebude vznikat radioaktivní odpad** – s výjimkou konstrukčních prvků reaktoru, které budou aktivovány dopadajícím proudem vysokoenergetických neutronů. Materiály však budou nejpozději za sto let relativně bezpečné. Proti vyhořelému palivu dnešních jaderných elektráren jde o okamžik.

Zatímco tepelná elektrárna o výkonu 2 GW spotřebuje denně 40 000 tun uhlí a jaderná 125 kg oxidu uranu, fúzní elektrárna by si vystačila s 2 kg vodíkových izotopů. Obnovitelné zdroje energie jsou kvůli nízkému energetickému toku náročné na prostor: zatímco jaderná nebo fúzní elektrárna o výkonu 2 GW zabere plochu asi 1,5 km², větrná farma o stejném výkonu potřebuje přibližně 32 km² a solární elektrárna 96 km². Fúzní elektrárny by proto do budoucna mohly být efektivní, čistou a bezpečnou součástí energetického mixu.

zapotřebí senzory odolávající teplotě až 500 °C, také by bylo výhodné zbavit se závislosti měření na teplotě.

„Podali jsme návrh na patent na anti-monové čidlo. Tento polokov má podobné vlastnosti jako bismut, jeho Hallův jev je sice asi 25× slabší, ale pořád výrazně větší než u kovů. A 500 °C vydrží. Vykazuje však podobnou teplotní závislost jako bismut a očekáváme, že bude o něco méně radiálně odolný, takže ani on není pro reaktory zcela ideální,“ říká Slavomír Entler. Mohl by se však uplatnit v jiných průmyslových odvětvích, v nichž musí odolávat vysokým teplotám, nikoli však intenzivnímu ionizujícímu záření.

„Pro energetické reaktory musíme hledat dál. Bohužel jsme došli k závěru, že nezávislost citlivosti měření na teplotě je spojena s vysokým množstvím nosičů náboje. Z tohoto pohledu zkrátka budou vhodné kovy. Ty však mají velmi slabý Hallův jev. Tím se dostáváme do situace, která představuje mimořádnou výzvu: měřit v průmyslových podmínkách na dlouhou vzdálenost napětí s přesností na nanovolty (miliardtiny voltu). Zní to skoro jako technický nesmysl, ale musíme toho dosáhnout,“ představuje Slavomír Entler další krok na cestě k senzorům magnetického pole pro fúzní elektrárny.

Ve spolupráci s odborníkem na elektroniku Petrem Sládkem a dalšími experty proto nyní vědci z Ústavu fyziky plazmatu Akademie věd ČR hledají způsob, jak dosáhnout zdánlivě nemožného. Jedním z nástrojů, jenž je součástí řešení, je využití proudové rotace. „Náš Hallův senzor je kříž se čtyřmi symetrickými póly. Dvěma senzory napájíte, dvěma měříte výstupní signál. Při využití proudové rotace neustále prohazujete póly pro napájení a měření. Eliminujete tím napěťové nesymetrie senzoru a zvyšujete přesnost měření,“ vysvětluje Slavomír



NA JIHU
FRANCIE SE
STAVÍ ME-
ZINÁRODNÍ
EXPERIMEN-
TÁLNÍ REAK-
TOR ITER.



ING.
IVAN
ĎURAN,
PH.D.

Vystudoval na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze, doktorát získal na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze. V oddělení tokamaku Ústavu fyziky plazmatu AV ČR se zabývá vývojem a testy diagnostických metod pro charakterizaci vysokoteplotního plazmatu, studiem okrajového plazmatu a turbulence v tokamacích a vývojem Hallovyh sensorů pro měření magnetických polí ve fúzních zařízeních. V roce 2008 získal Prémii Otto Wichterleho – cenu pro mladé vědecké pracovníky Akademie věd ČR.

Entler. A doplňuje, že další používanou metodou je synchronní detekce: „Sensor napájíme referenčním signálem a ve výstupním signálu hledáme jeho otisk. Pokud jej najdeme, můžeme všechno ostatní zahodit. Tím se zbavíme všeho šumu a rušivých napětí a můžeme měřit i velmi nízké Hallovo napětí.“

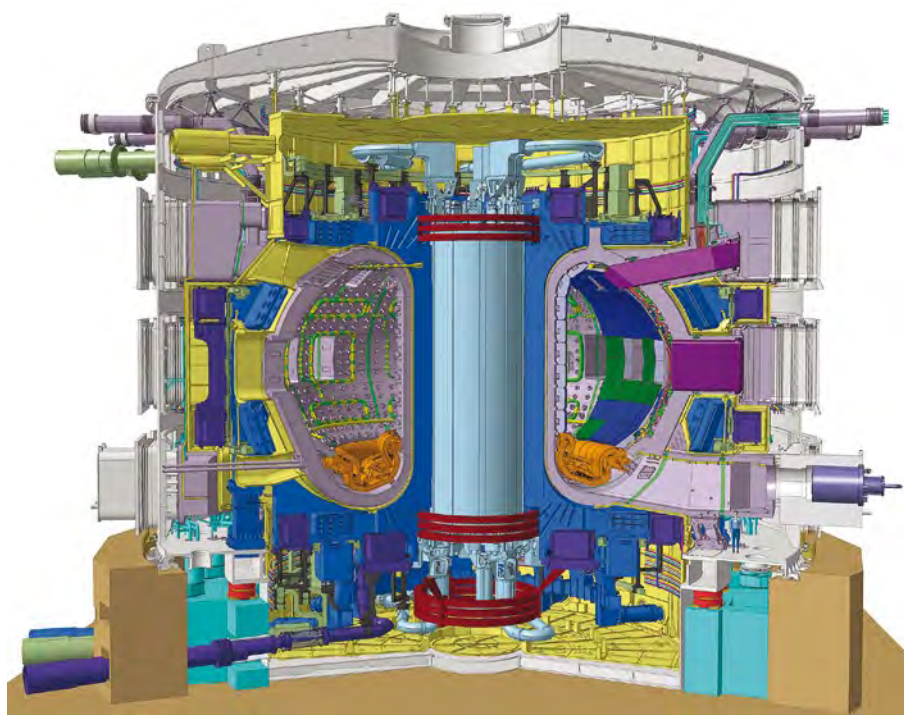
Úkol vsutku obří. A času není mnoho. Jedním z hlavních cílů ITER je testování technologií pro fúzní elektrárny, které jdou svými nároky daleko za úroveň postačující pro samotný ITER. „Počítá se s tím, že se nové senzory umístí do testovací kazety, která bude zasunuta do portu reaktoru a bude se zkoušet, zda budou senzory pro fúzní reaktory použitelné. Takže my tu kazetu musíme dát dohromady maximálně do deseti let, možná dříve, přestože v té době se ještě fúzní elektrárna stavět nebude,“ říká Slavomír Entler a dodává: „Doufáme, že nám sportovně založený kolega, který dělá elektroniku, nespadne ze skály. Za ty roky získal takové znalosti, jaké nikdo jiný v jeho oboru nemá. Kdybychom museli hledat náhradu, ztratíme několik let.“ Ivan Ďuran doplňuje: „Člověk za život stihne vyzkoušet tři čtyři cesty, vše trvá hodně dlouho. Potřebujeme i trochu štěstí.“

Výzkum Hallovyh sensorů pro měření magnetického pole v tokamacích je komplexní, mezioborová záležitost. Ústav fyziky plazmatu AV ČR proto

spolupracuje s odborníky řady jiných institucí. Pomáhají například kolegové z Fyzikálního ústavu AV ČR – zkoumají vlastnosti potenciálně vhodných materiálů, zajišťují deponování tenkých vrstev (podobně jako společnost HVM Plasma) a připojení drátků na deponované nanovrstvy. Ve společném pracovišti Fyzikálního ústavu a Univerzity Karlovy probíhají testy v silných magnetických polích, v Centru výzkumu Řež se ověřuje stabilita v radičním prostředí. Český metrologický institut spolupracuje na kalibraci termočlánků. Firma už zmíněného Petra Sládka se stará o elektroniku, s níž je spojena velká část technických výzev. „Kdyby se vše mělo koncentrovat na jedno pracoviště, vznikl by docela velký ústav,“ komentuje šíři spolupráce Slavomír Entler.

Ústav je integrován i do mezinárodních struktur, které se fúzí zabývají: v ITER International Fusion Energy Organization a v evropském konsorciu EUROfusion. „Trochu se potýkáme s tím, že české grantové agentury nevědí, kam nás zařadit. Grantová agentura podporuje základní výzkum, my se však zabýváme aplikacemi. Ale v Technologické agentuře by požadovali, abychom za tři roky vyvinuli produkt, který si od nás někdo koupí. My pracujeme na věcech bezpochyby praktických, ale jejich využití se pohybuje v delším časovém horizontu. Jsme proto vděční Strategii AV21

ITER BUDE
JEDNÍM
Z NEJKOM-
PLEXNĚJŠÍCH
STROJŮ,
KTERÉ
LIDSTVO
VYROBIL.



Akademie věd ČR, která podporuje mezioborové vazby a výzkumné projekty realizované mimo aktuální výzkumné programy," uzavírá Ivan Ďuran.

Vnitřní štít tokamaku

Hallové senzory budou pomáhat udržet magnetickou nádobu v dobré kondici, aby plazma nepřicházelo do kontaktu se stěnou tokamaku. Ta proto může být

na svém vnitřním povrchu obložena třeba karbonem?

Nikoli. Plazma vyzařuje obrovské množství energie, vždyť právě kvůli tomu chceme fúzní elektrárny stavět. Mezi plazmatem a stěnou tokamaku bude značný

tepelný tok, který jen tak nějaký materiál nevydrží, byť největšímu náporu bude vystaven divertor, tvořící spodní část tokamaku. Stěnu budou také bombardovat vysokoenergetické neutrony, na které magnetické pole nepůsobí.

„Kromě toho není magnetické udržení plazmatu dokonalé. Probíhají tam různé

turbulence a difúze, takže nějaké částice ke stěně pronikají neustále. Výboj navíc nelze udržet donekonečna, vždy po nějaké době skončí a částice dopadnou na stěny," vysvětluje Jiří Matějčík z Oddělení materiálového inženýrství Ústavu fyziky plazmatu AV ČR.

Plazma bude na stěnu tokamaku působit řadou fyzikálních a chemických mechanismů. Ani pro ni není žádný materiál ideální, každý má svá pro a proti. Nezbývá než hledat kompromisy a pokoušet se vybraný materiál upravit tak, aby se důsledky jeho špatných vlastností co nejvíce omezily.

V experimentálním tokamaku COMPASS, který pracuje v Ústavu fyziky plazmatu, jsou vnitřní stěny obloženy grafitovými dlaždicemi. „Grafit se dobře obrábí a nepodléhá tavení, takže vysoké tepelné toky nepředstavují problém. Navíc je poměrně levný," říká Jiří Matějčík.

Jak už asi tušíte, i grafit má svá „ale“, jež jeho využití ve fúzních elektrárnách komplikují. „Interakcemi s neutrony uhlík ztrácí tepelnou vodivost, což je pro materiál první stěny tokamaku, který musí odvádět teplo následně využitě pro

Grafit
pohlcuje
tritium, stěna
by byla příliš
radioaktivní.

transformaci na elektrickou energii, klíčová vlastnost," vysvětluje Matějčíková kolegyně Monika Vilémová.

„Další nevýhodou grafitu je, že reaguje s izotopy vodíku. Jednak je dost pohlcuje, takže by se v něm akumulovalo tritium a stěna by byla příliš radioaktivní. Reakce s vodíkem by navíc vedla k tzv. chemické erozi: vznikaly by plynné uhlovodíky, které by se ze stěny postupně uvolňovaly," říká Jiří Matějčík. „Chemická eroze by vedla k nízké životnosti dlaždic. Výměna v prostředí s radioaktivními prvky nebude úplně jednoduchá, takže životnost představuje důležitý faktor," doplňuje Monika Vilémová. To jsou hlavní důvody, proč se od grafitu upustilo, i když zpočátku s ním fyzikové počítali i pro ITER.

Budoucnost patří wolframu

Pro první stěnu reaktoru ITER bylo zvoleno berylium, pro divertor wolfram. Je ale jasné, že tím berylium končí – v reaktoru DEMO a budoucích elektrárnách se bude muset využít jiný materiál. Berylium ve formě prachu je toxické, což by působilo potíže při výrobě a odstavení reaktoru. „Smyslem ITER je prokázat fyzikální podstatu fúze a funkčnost základních mechanismů jejího využití. V něm berylium nevádí. Ale u DEMO se už bude brát v úvahu i tento faktor. Kvůli bezpečnosti je spousta vhodných prvků z výzkumu automaticky vyloučena, což dost omezuje prostor, ve kterém se můžeme pohybovat," vysvětluje Monika Vilémová. Padlo arbitrární rozhodnutí, že materiály se musí vybírat tak, aby jejich radioaktivita po sto letech umožnila bezpečnou manipulaci v ochranném oděvu. O tak nízké radiaci si u tradičních jaderných elektráren mohou fyzikové nechat jen zdát.

Zdá se, že budoucnost patří wolframu, alespoň pokud jde o první stěnu

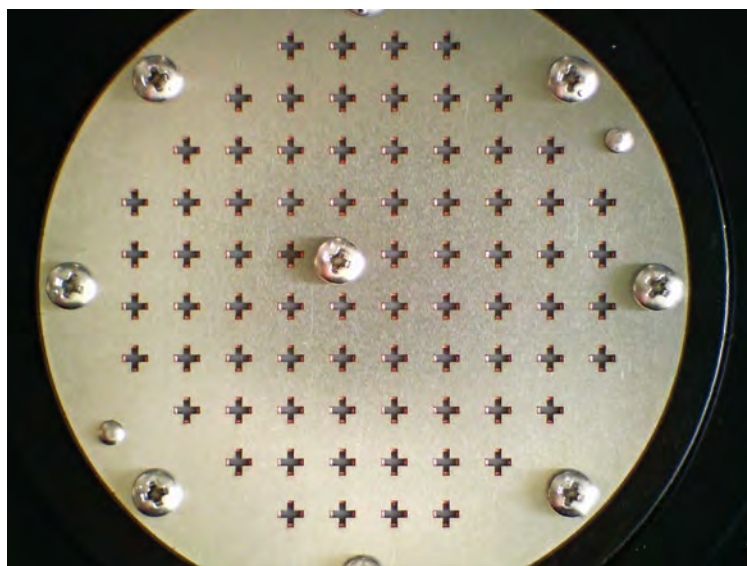
a divertor fúzních reaktorů. Porovnáním jeho dobrých a špatných vlastností vychází nikoli jako dokonalý materiál, ale jako nejmenší zlo. Nic lepšího zkrátka k dispozici zatím není. I některé z dnešních velkých tokamaků (např. ASDEX-U) již mají po modernizaci první stěnu z wolframových dlaždic, aby se na nich daly dělat experimenty relevantní pro budoucí elektrárny.

„Wolfram vydrží vysoké teploty a má dobrou tepelnou vodivost. Jako prvek s vysokým atomovým číslem je schopen vydržet dopad všech možných částic plazmatu, aniž by se příliš erodoval," vyjmenovává Jiří Matějčík výhody tohoto kovu. Ten také na rozdíl od grafitu příliš nepohlcuje vodík a ne reaguje s ním.

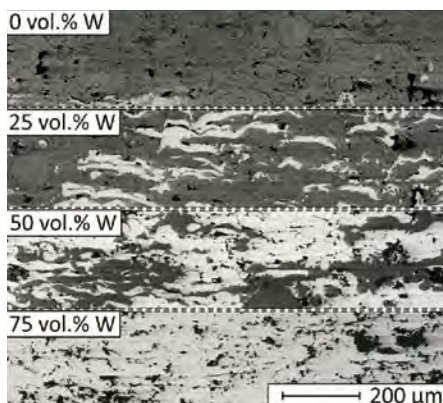
Ani on však není dokonalý. Těžké prvky obecně jsou jen vzácně vyraženy

Nic lepšího než wolfram zatím k dispozici není.

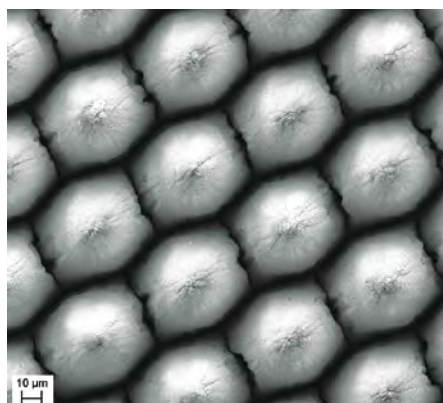
DEPOZIČNÍ
MASKA PRO
VÝROBU
BISMUTOVÝCH
HALLOVÝCH
SENZORŮ



GRADOVANÁ VRSTVA
 OCEL-WOLFRAM
 S ROSTOUČÍM PODÍLEM
 WOLFRAMU
 (OD 0 % DO 75 %)



GRADOVANÁ VRSTVA
 WOLFRAM-OCEL
 PŘIPRAVENÁ METODOU
 SPARK-PLASMA
 SINTERING (SPS)



POVRCH WOLFRAMU
 OPRACOVANÝ LASEREM
 PRO LEPŠÍ PŘILNAVOST
 NÁSTRÍKU

Oxid chromu zabrání kontaktu wolframu s kyslíkem.

z povrchu dopadem jádra vodíku nebo helia, ale když už se tak stane, prudce plazma ochladí, což může komplikovat udržení fúzní reakce. Další nepříjemnou vlastností wolframu je, že při teplotách nad 1200 °C rekrytalizuje a působením neutronů křehne, takže později může podlehnout teplenému (a tím i mechanickému) namáhání a prskat.

Hlavní potíže jsou však spojeny s chováním wolframu v případě havárie. „Velká část nehod, o kterých se uvažuje, souvisí s poškozením chladicího okruhu, při kterém vnikne do reaktoru voda, nebo dojde k poškození integrity reaktoru a dostane se do něj vzduch a vlhkost. A když wolfram za

vysokých teplot přijde do styku s něčím, co obsahuje kyslík, začne velice intenzivně oxidovat,“ říká Monika Vilémová. Oxidovaný wolfram nabývá na objemu a mohlo by se stát, že se reaktor dokonce roztrhne. „Oxid wolframu je navíc těkavý, snadno se šíří vzduchem. Aktivovaný wolfram by pak ve formě oxidu mohl kontaminovat okolí elektrárny,“ upozorňuje Monika Vilémová.

Jedním z cílů výzkumu proto je nevýhodné vlastnosti wolframu co nejvíce potlačit. Ale jak se dá vylepšit chemický prvek? „Například přípravou vhodných slitin, které budou na přítomnost kyslíku za vysokých teplot reagovat vytvořením tenké oxidové vrstvy z jiného prvku. Takovou vrstvou může být například oxid chromu, který vytvoří neprostupnou bariéru a zabrání dalšímu kontaktu wolframu s kyslíkem. Nevznikaly by tak oxidy

odnášející radioaktivní materiál pryč. Ale tento výzkum je zatím v začátcích," říká Monika Vilémová, jež se věnuje studiu mikrostruktury, fázového složení a tepelné stability podobných materiálů. „Tyto slitiny se často připravují z prvků, které se lidově řečeno vzájemně nemají moc rády. Netvoří jednu fázi a nastávají problémy," vysvětluje.

Problém oddělených fází pomáhá omezit relativně nová metoda sinterování, tzv. spark-plasma sintering (SPS). Materiál ve formě prášku se nasype do grafitové formy, v níž na něj souběžně působí mechanický tlak a elektrický proud, který surovinu zahřívá. Největší elektrický odpor vzniká na hranicích mezi zrnky, proto se tam materiál zahřívá nejvíce. Lze tak dosáhnout, že se rychle zahřeje i zchladí, a omezit tak rozpad na více fází a nárůst krystalových zrn. „Spolu s jednou laboratoří v Německu jsme jako první připravili slitiny wolframu a chromu ve formě jediné fáze, které se pro pasivaci povrchu hodí nejvíce," dodává Monika Vilémová.

„Jednou z možností, jak vylepšit mechanické vlastnosti wolframu, je vyrobit kompozit z wolframových vláken a prášku. Pokud v něm vznikne trhlinka, narází na vlákno, odkloní se podél něj a ke svému šíření pak potřebuje více energie. V homogenním materiálu by se šířila mnohem snadněji tím směrem, kterým by ji navádělo mechanické napětí," říká Jiří Matějček. Lze si hrát i s velikostí zrna a s přidávkem nanočástic jiné fáze. Při zahřívání pak krystaly tolik nerostou, jejich spojení je pevnější a křehnutí není tak intenzivní.

Pěkně postupně...

Wolfram se tedy jeví jako zatím nejlepší volba pro povrch, který bude čelit nejrůznějším formám působení plazmatu. Nemůže se z něj však postavit celý

TOKAMAKY SOUČASNÉ I BUDOUCÍ

Tokamak je jen jednou z více cest vedoucích ke zkrácení jaderné fúze, technicky je však nejdál. Tento koncept původem z bývalého Sovětského svazu využívá k udržení termojaderného plazmatu silné magnetické pole v nádobě prstencovitého tvaru (tokamak = тороидальная камера с магнитными катушками, toroidální komora s magnetickými cívkami).

Ve světě funguje řada experimentálních tokamaků, nejsou však určeny k výrobě energie – a nejsou toho koneckonců ani schopny. Největší z nich je evropský tokamak JET (Joint European Torus) v anglickém Culhamu. Ústav fyziky plazmatu AV ČR provozuje tokamak COMPASS, získaný v roce 2006 z Velké Británie. V roce 2022 by měla vědcům začít sloužit jeho vylepšená verze COMPASS-UPGRADE.

U výzkumného centra Cadarache ve francouzské Provence se od roku 2007 staví mezinárodní reaktor ITER. Na výstavbě se podílejí země EU, USA, Rusko, Čína, Indie, Japonsko a také Jižní Korea. Po několika odkladech by měl ITER začít fungovat v roce 2025 a na plný výkon pak pracovat v roce 2036. Má sloužit k demonstraci technické realizovatelnosti a správného fungování všech hlavních komponent reaktoru. Přestože bude mít fúzní výkon 500 MW (při příkonu 50 MW), nebude ještě určen k výrobě elektrické energie. Jde o druhý nejdražší mezinárodní vědecký projekt světa (po Mezinárodní vesmírné stanici ISS).

Na ITER naváže DEMO – první funkční prototyp fúzní elektrárny ověřující všechny technologie v podmínkách reálného provozu. Mnohé technologie a materiály pro něj teprve vznikají a stejně jako na ITER se na jeho vývoji podílejí i čeští odborníci. Mohl by fungovat kolem roku 2070. A za dalších dvacet třicet let se možná dočkáme (či spíše naši potomci) první generace plnohodnotných fúzních elektráren. Jistě, jde o běh na dlouhou trať, ale chceme-li jako technická civilizace přežít, musíme ho absolvovat. Naštěstí jsme už dávno vzběhli a zdoláváme kilometr za kilometrem...

Poměr wolframu a oceli by se dal měnit i plynule.

tokamak. Bude ho tedy třeba napojit na hlavní konstrukční materiál – ocel, případně na měď sloužící k odvodu tepla do chladicího systému.

Ale zatímco wolfram při vysokých teplotách příliš objem nemění, ocel a měď mají teplotní roztažnost velkou, takže hrozí, že spoj nevydrží. „Místo ostrého rozhraní je proto vhodnější vytvořit plynulý přechod. K tomu slouží funkčně gradované materiály, které snižují koncentraci napětí,“ vysvětluje Jiří Matějček. Wolfram by se zkrátka postupně mísil s ocelí – ve vrstvě silné asi jeden milimetr by jednoho z materiálů postupně ubývalo ve prospěch druhého.

Pro tvorbu gradientu mezi wolframem a ocelí (případně mědí) se hodí metoda, jejíž název napovídá, že k ní mají v Ústavu fyziky plazmatu blízko: plazmové stříkání.

Základem aparatury je plazmový hořák. Je mnohem teplejší než běžný plamen, teplota u jeho ústí se pohybuje v desítkách tisíc stupňů. U některých typů se může jako médium pro tvorbu plazmatu použít například argon, vodík nebo dusík, v tomto případě posloužila voda. Hořák má podobu válcovité komory, do níž se voda přivádí tangenciálně po vnitřním povrchu. Na obou koncích jsou elektrody, mezi nimiž se zažehne elektrický oblouk. Ten vodu na povrchu ohřívá, odpařené molekuly disociují, atomy se ionizují a vzniká plazma tvořené ionty vodíku a kyslíku. Ohřátím se zvětšuje objem a tlak žene plazma z trysky ven. Zbývající voda komoru obtéká a udržuje plazma uprostřed, takže se komora neroztaví.

Do tryskajícího plazmatu se tenkou trubičkou fouká příslušný materiál

v podobě prášku. Velikost zrn se pohybuje v desítkách mikrometrů – představte si například hrubou mouku. „Velikost se přizpůsobuje použitému materiálu, jeho bodu tání, tepelné kapacitě a dalším parametrům,“ vysvětluje Jiří Matějček. Prášek se v plazmatu taví a ve formě kapiček dopadá na zvolený podklad. „Je tam řada parametrů, které lze měnit, proto hodně času věnujeme hledání vhodné kombinace, abychom docílili lepších výsledků.“

Prášek lze například vstříkovat v různé vzdálenosti od ústí hořáku. Čím dále, tím je teplota plazmatu nižší, takže tímto způsobem lze ovlivňovat míru natavení. Wolfram se vstříkuje blíže trysce než ocel. Je potřeba najít takovou vzdálenost, v níž se prášek ještě roztaví, ale už se moc neodpařuje. Podobně se pracuje se vzdáleností, na kterou kapička roztaveného materiálu letí, než dopadne na povrch. Ladí se i výkon hořáku nebo jeho rychlost, s jakou přejíždí nad podkladem.

V dosavadních experimentech fyzikové měnili poměr wolframu a oceli skokově, takže vznikl materiál, v němž podíl wolframu činil postupně 25, 50 a 75 %. „To nám prozatím stačilo, abychom získali přehled, jak se vlastnosti materiálu mění od jednoho složení k druhému. Ale s upravenou aparaturou by se dal měnit i plynule nebo po každém přejezdu,“ říká Jiří Matějček.

Plazmové stříkání v normální atmosféře ale vede k tomu, že wolfram oxiduje a zhoršuje tak vlastnosti výsledného materiálu. Řešení pomohl najít kolega z ústavu, materiálový chemik Vlastimil Brožek. Vznikla speciální komora, která umožnila nástřik v ochranné atmosféře z argonu a vodíku. Tento postup je ale vykoupěn nižší rychlostí nanášení a většími nároky na přesné nastavení všech parametrů.

PLAZMA

V EXPERIMENTÁLNÍM

TOKAMAKU COMPASS

Povrch, na který kapičky dopadají, je dobré zdrsnit kvůli lepšímu mechanickému zakotvení. Třeba otryskáním pískem. Ale lze na to jít i sofistikovaněji, vysvětluje Jiří Matějček: „Ve spolupráci se Západočeskou univerzitou, kde se hodně věnují laserovému zpracování materiálů, jsme vyzkoušeli úpravu povrchu laserovou ablací, která přináší podstatně lepší výsledky.“

Zatím není jasné, který směr gradace se při výrobě materiálu pro první stěnu tokamaku využije. Technologicky nejspokladnější by bylo postupovat od oceli k wolframu. Odpadla by nutnost napojit poslední, na wolfram nejbohatší vrstvu na čistý wolfram. Ale wolframová vrstva vyrobená plazmovým nástřikem má přece jen horší tepelnou vodivost než kompaktní wolfram, protože ji omezují mikroskopické póry mezi kapičkami. Tuto nevýhodu se fyzikové z Ústavu fyziky plazmatu snaží postupným vylepšováním co nejvíce omezit. „V nedávné době jsme ale zkoušeli i druhou variantu. Plazmový nástřik by začal na wolframové dlaždici z nejlepšího dostupného wolframu a přecházelo by se k oceli. Spojení s čistou ocelí by se pak dalo provést standardními technikami za nižších teplot, než jaké vyžaduje spojování wolframu,“ říká Jiří Matějček.

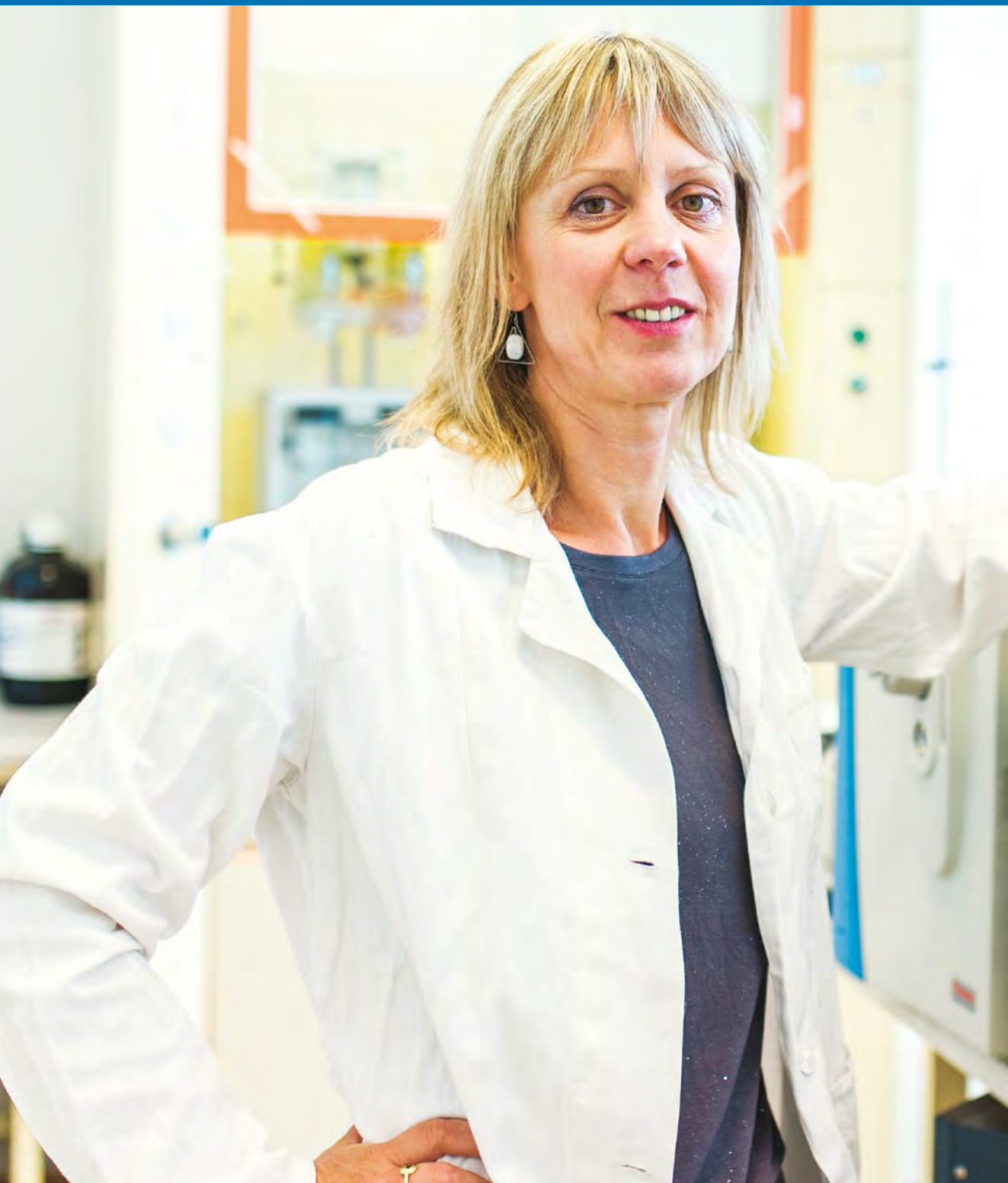
S kolegy zkoušejí i jiné metody pro přípravu kompozitů a gradovaných vrstev. Ve spolupráci s Fakultou strojní ČVUT například experimentují s kombinacemi wolfram-měď a wolfram-nikl spojovanými takzvaným plazmovým navařováním (plasma transferred arc). Tato metoda umožňuje nanášet vrstvy podobně jako plazmové stříkání, ale na rozdíl od něj umí vytvořit kompaktní vrstvu bez pórů a mikroskopických rozhraní. I takto připravené materiály by mohly najít využití ve fúzních reaktorech budoucnosti. ■





Akademie věd
České republiky

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



PROGRAM: PŘÍRODNÍ HROZBY



DR. MARTINA HAVELCOVÁ,
ÚSTAV STRUKTURY
A MECHANIKY
HORNIN AV ČR

Atlas prachových částic

JANA OLIVOVÁ



MGR.

MARTINA

HAVELCOVÁ,

PH. D.

Vedoucí Oddělení geochemie Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR se zaměřuje na organicko-chemickou analýzu uhlí a organicky bohatých hornin, zjišťuje sorpční schopnosti nízkoenergetického uhlí a huminových látek. Studuje pozůstatky nedokonalého spalování fosilních paliv, biopaliv a biomasy v prostředí. Zabývá se rovněž organickými sloučeninami a procesy ve stavebních prvcích historických památek. Je autorkou nebo spoluautorkou studií týkajících se vztahu organických materiálů a vybraných prvků v různých matricích, věnuje se i popularizaci svého oboru.

Zdálo by se, že prach důvěrně známe – vítr ho víří v ulicích měst i na venkovských cestách, zvedá se za koly aut, proniká nám okny do bytů, přinášíme si ho domů na botách... Usazuje se prakticky všude. Ale co ho vlastně tvoří? Odkud se berou jeho různé složky, jak vypadají místo od místa? Donedávna se odpověď hledala těžko. Nyní si ji však může každý snadno zjistit v unikátním elektronickém Atlasu prachových částic, který začal vznikat v rámci výzkumného programu *Přírodní hrozby Strategie AV21*. U zrodu atlasu stáli a o jeho další rozšiřování pečují vědci z Geologického ústavu AV ČR a Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR.

Prach je téměř všudypřítomný, ale zdaleka není pouze neškodnou, i když otravnou, nepříjemností. Naopak – může se nepříznivě podepsat na našem zdraví i na životním prostředí. Přepestrá směs všemožných pevných částic anorganického i organického původu s průměrem obvykle pod 500 mikrometrů, jejich šíření, ukládání a následné vdechování s sebou může nést řadu rizik, včetně alergií i chorob dýchacích cest. Zřetelně se v něm odráží prostředí, v němž se vyskytuje. „Prach obsahuje jednak přírodní složky (tedy částičky hornin, sopečného popela a podobně, ale i pylová zrnka, kousičky rostlin, hmyzu a jiných živočichů), jednak stopy lidské činnosti. Mezi ně patří pozůstatky spalování uhlí, dřeva, průmyslové činnosti, těžby či dokonce vojenských operací a tak dále. Vše se ještě před dopadem na zem důkladně promísí,“ vysvětluje spoluautorka atlasu Martina Havelcová, vedoucí oddělení geochemie Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR.

Aby ukázali, z čeho se skládá, jaké typické částice (mikromarkery) obsahuje usazený prach v konkrétních lokalitách a odkud pocházejí jeho jednotlivé složky, začali vědci zpřístupňovat své poznatky online v anglicky psaném Atlasu prachových částic neboli Atlas of Dust Particles (<http://dustparticleatlas.gli.cas.cz/>). Každý, kdo ho otevře, si může zadat místo, které ho zajímá, podívat se, jak vypadal třeba prach sebraný z okna automobilu, ze sněhu u silnice, z vysokého komína, stěny domu, parkoviště...

Martina Havelcová a její kolegové už odebrali a analyzovali dlouhou řadu vzorků, postupně budou nabírat další a další a databázi postupně rozšiřovat. Jejich zásluhou se můžeme podívat, jaký prach na nás padá třeba v pražském Suchdole. Zúčastnili i materiál z katedrály sv. Víta v Praze. „Nahoře jsou ochozy, kam se nikdo běžně nedostane. Na nich byla spousta prachu – nikdo tam nechodí, nikdo neuklízí. Nedočkámu odhadnout, jak dlouho tam prach ležel, ale byly ho opravdu nánosy, z nichž

jsem vzala vzorky.“ Rozbory podle očekávání potvrdily zejména polycyklické aromatické sloučeniny vznikající nedokonalým spalováním, většinou v dopravě, ale i zdroje lokálního spalování uhlí ještě z minulosti.

Geologové však shromažďují vzorky nejen z České republiky, ale přivážejí je z celého světa – i ony postupně doplní veřejně přístupnou databázi. Zahrnuje údaje, jež mohou usnadnit určování jednotlivých částic prachu, sloužit k jejich porovnávání a hodnocení, ale také k rozšiřování poznatků o vlivu prachu na životní prostředí. Najdeme v ní i pozoruhodné snímky z mikroskopů, třebaže jsou v menšině. A v neposlední řadě nabízí atlas možnost pro spolupráci odborníků z různých oborů. Cílem je především zpřesnit rozpoznávání jednotlivých částic o rozměru od několika málo do několika desítek či dokonce stovek mikrometrů, pomoci rozlišovat jejich strukturu, složení a zvláště odhalovat původ.

V Atlasu prachových částic je podle Martiny Havelcové seznam vzorků. Každý má své číslo s datem a místem odběru. Podle toho se dá v databázi vyhledávat. „Daný vzorek prachu doprovází fotografie z mikroskopu, na níž jsou identifikovány částice, které obsahuje. Mohou být ještě blíže určené co do prvkového složení.“ Můžeme si vyhledat kupříkladu všechny vzorky či všechny částice obsahující křemík. „Nebo v případě našich vzorků zaměřených spíše na organické zbytky po spalování si zadáte třeba ‚saze‘ a aplikace vyhledá všechny vzorky a jejich částice, u nichž se toto slovo vyskytuje.“ Ve výsledku se objeví seznam vzorků s podrobně popsány analýzami – a zájemce může porovnávat, jak daná částice (například ona saze) vypadá v různých vzorcích z různých lokalit.

Na prachu je asi nejzajímavější – a potažmo nejsložitější – že nejen obsahuje



bezpočet nejrůznějších částic, ale navíc je velice variabilní. Proměňuje se nikoli jen v čase, ale často i v prostoru. Každý odběr je unikátní a neopakovatelný, takže se nedá najít obecně platná charakteristika. Nelze říct, že dejme tomu prach z Václavského náměstí vypadá obvykle tak či onak. „Záleží na tom, kdy se odebírá – jestli na jaře, v létě, na podzim... Ale i když budete stát na jednom místě ve stejný čas, může být složení prachu úplně jiné. Stačí, když se bude rekonstruovat jedna budova vedle nás – a už se tam promítne. Proměnných je skutečně příliš mnoho,“ vysvětluje dál Martina Havelcová.

Z těchto důvodů je Atlas prachových částic jiný než kupříkladu atlas květin nebo hub – ty ukazují, jak vypadají, řekněme, petrklíč nebo hřib satan, kde a kdy rostou atd... Počet druhů částic prachu je na jedné straně přece jen omezenější než počty rostlin a živočichů, jejich soubor je konečný. Zakopaný pes je na druhé straně v tom, že částice jsou ve vzorku namíchané vždycky jiným způsobem – a možných kombinací je bezpočet. „I kdybychom měli všechny částice

PRACH
Z KATEDRÁLY
SV. VÍTA
V PRAZE

Prach obsahuje přírodní složky, ale i stopy lidské činnosti.

zmapované, v každém vzorku budou vždycky zastoupeny jinak.“ Jde proto spíš o to, získané informace nějak utřídit. „Když zadám nějaký vyhledávací výraz a vyjedou mi příslušné vzorky, v každém může mít hledaná částice jiný tvar, trošičku jinak vypadat, ačkoli její chemické složení bude stejné. A zase naopak mohou existovat částice na pohled podobné, ale mít zcela jiné chemické složení.“

Vše zatím postupuje pomaleji, než by si vědci přáli. „Musíte vzorek odebrat, připravit k pozorování, sednout si k mikroskopu – my používáme hlavně optické –, pozorovat ho, najít zajímavé rysy, což vyžaduje určité zkušenosti, a zapisovat poznatky. A nakonec vše převést do elektronické formy a zanést do databáze,“ líčí Martina Havelcová.

Elektronová mikroskopie a databáze mikromarkerů

Aby databáze Atlasu prachových částic mohla vůbec vzniknout, musela se nejprve vypracovat metodika a vyvinout nové postupy pro analýzu prachových částic, stanovit, jaké údaje se budou zaznamenávat, v jaké podobě, jak se budou členit atd., zdůrazňuje Tomáš Hrstka z Geologického ústavu Akademie věd. Tamním badatelům bylo proto jasné, že se neobejdou bez automatické analýzy prachových částic metodami elektronové mikroskopie, že musí nezbytně zapojit umělou inteligenci a její pomocí vytvořit rozsáhlou databázi typických částeček – mikromarkerů.

Výhodou automatizace je, že dovoluje zkoumat celý vzorek, nejen jeho vybrané jednotlivé části, a získat o něm nepřeborné kvantum reprezentativních dat. Díky dalšímu vývoji výpočetní techniky současné přístroje samy jednotlivé minerály poznají. Změří jejich spektra (jakési chemické „otisky prstů“) v každém bodě



vzorku, porovnají je s databází obsahující klasifikační schémata, a tímto způsobem definují složení celého vzorku, včetně zastoupení jednotlivých složek.

Využití umělé inteligence

Přesto vědci stále naráželi na zádrhel: databázi museli pracně, krok po kroku budovat sami, což je časově nesmírně náročné. Proto se pokusili zapojit umělou inteligenci a naučit inteligentní mikroskopické systémy, aby si databáze či klasifikační schémata dokázaly sestavit samy, určit jakýkoli neznámý vzorek a získat o něm velké množství obrazových i chemických dat. „To je v případě prachových částic důležité pro hodnocení jejich rizik jak zdravotních, tak environmentálních,“ objasňuje Tomáš Hrstka. Jestliže se prach analyzuje jako celek a projeví se v něm např. zvýšený obsah arzenu, z chemického rozboru pokaždé nevyplyne, odkud a jak se tam dostal. „Pokud ovšem zvládneme provést automatickou analýzu částice po částici – a v prachu jsou jich miliony – umíme je rozdělit do jednotlivých skupin a říct: toto jsou minerály z přírodního pozadí, ze zvětralých hornin nebo půdy. Ale stejně tak tam mohou být částice z nějaké továrny nebo spalovny – vidíme, že prošly určitým procesem, mají specifické tvary a složení, můžeme je vysledovat zpět ke zdroji.“

Díky umělé inteligenci, která nejen „nabere“, ale i patřičně zpracuje obrovské soubory dat, mohou badatelé získat z každého analyzovaného vzorku údaje o milionech jeho jednotlivých částic. To jim dá šanci podívat se na prach v daleko širší perspektivě. „Dostáváme se na úplně novou úroveň poznání: proč prach dělá to a ono, proč se například atmosféra víc ochlazuje, když je prašno, než když je méně prašno, a podobně. Takové otázky se dají řešit až ve chvíli, kdy máme

kompletnější obraz, ne pouze jednotlivosti,“ konstatuje Tomáš Hrstka.

Sám se proto nejvíc věnuje metodám strojového učení a směřuje k vývoji softwaru, který by byl schopen prachové částice automaticky rozpoznávat. Zájem o něj by měly kromě Geologického ústavu AV ČR i jiné instituce: „Dokonce mě oslovili lidé z komerční sféry v Brazílii, které zajímá situace na ložiscích nerostných surovin. Jaký prach se dostává do ovzduší při těžbě, jaké jsou jeho složky, případně jak jejich dopad minimalizovat, aby těžba byla ekologicky co nejpríznivější.“

Ozvalo se rovněž gymnázium, jehož studenti se věnují elektronové mikroskopii a v rámci jednoho projektu hledají mikrometeority, to znamená také prach. „Snažíme se s nimi dohodnout spolupráci, kdy by se vzorky, které seberou, daly vkládat do Atlasu prachových částic.“

Tomáš Hrstka věří, že do budoucna by do atlasu mohli přispívat i dobrovolníci, třeba žáci a studenti, kteří by jednou za týden smetli prach před školou a poslali ho vědcům. „Není možné, aby náš tým objížděl celou republiku, všude odebíral vzorky a měřil je.“ Uvedenému postupu se ve světě říká „open science“ nebo též „crowd science“, tedy volně přeloženo „otevřená věda“ či „veřejná věda“.

Obdobně geologové diskutují o spolupráci s odborníky z Českého hydrometeorologického ústavu, zejména z úseku kvality ovzduší, jejichž doménou jsou primárně nejmenší částičky prachu. „I je zajímavá především případná automatizace, protože začínají generovat poměrně velké množství dat.“

Strojové učení a prachové analýzy

Právě ve zpracování velkých objemů dat vidí Tomáš Hrstka největší potenciál strojového učení, kdy vědci usilují



RNDR.

TOMÁŠ

HRSTKA,

P.H.D.

Vědecký pracovník Geologického ústavu AV ČR se specializuje na geochemii hydrotermálního procesu a aplikovanou mineralogii, automatizaci metod elektronové skenovací mikroskopie a její využití pro automatické rozpoznávání minerálů a hornin. Věnuje se i uplatnění nových mikroanalytických metod v průmyslu a ve vědách o Zemi, např. při vyhledávání zdrojů nerostných surovin a při ochraně životního prostředí. Působí v Jihoafrické republice, Austrálii a Kanadě. Je autorem, spoluautorem a recenzentem více než 100 technických studií a dalších odborných prací.

ZBYTEK
NOHY
ROZTOČE



SLEPENEC
ANORGANICKÝCH
ČÁSTIC



FRAGMENT
Z KVĚTU
LÍPY



SMĚS
ANORGANICKÝCH
A ROSTLINNÝCH
ČÁSTIC



PYLOVÉ
ZRANKO
PETRKLÍČE



o automatické určování, ke které skupině materiálů daná zkoumaná částice patří.

Využili software vyvinutý na univerzitě v Lublani, který se obecně zaměřuje na strojové učení ve všech oborech, na zpracování velkého objemu dat a jejich vizualizaci. „Letos jsme s nimi dokončili projekt, díky němuž se dají do tohoto softwaru automaticky vkládat tisíce spekter naměřených na částicích prachu a umělou inteligenci nechat, aby je rozdělila do nějakých skupin.“

Cílem je najít ještě dokonalejší metody a postupy, jak analyzované částice co nejlépe a nejpřesněji definovat. Nyní tedy v Geologickém ústavu AV ČR vyvíjejí software ještě mnohem více specializovanější na částice prachu, který si umí poradit nikoli s tisíci, ale se statisíci jejich spekter a dal by se dobře použít v praxi.

Hybridní inteligence

„Co mě teď hodně zajímá, je kombinace umělé a lidské inteligence,“ vysvětluje dál Tomáš Hrstka. Snaží se využít konceptu zvaného hybridní inteligence. „Na začátku dodáte stroji neznámá data a řeknete mu, aby je podle svých kritérií rozčlenil. Třeba podle toho, odkud podle jeho úsudku jednotlivé částice jsou, nebo které by třeba z jeho pohledu měly patřit k sobě.“ Potom se přizve expert, který počítači řekne: zde je to správně, ale tady ne. Fakticky částice stroji jako by dál popíše – definuje, kde se mu rozhodnutí povedlo a kde nikoli. Stroj se na základě toho učí. Tímto způsobem se kombinuje inteligence lidská a strojová. „Několik lidí přišlo se zajímavými koncepty vycházejícími z předpokladu, že i když máte počítač, který není zvláště výkonný, a zkombinujete ho s člověkem, ve výsledku je systém chytřejší než superpočítač. V tom spočívá myšlenka hybridní inteligence,“ objasňuje Tomáš Hrstka.

V současnosti spolupracuje se skupinou z Matematicko-fyzikální fakulty UK, která se umělou inteligencí zabývá, a jeden ze studentů mu pomáhá právě s vývojem softwaru pro analýzu prachu.

Vznik atlasu byl dlouhý a složitý proces

Tímto směrem se v Geologickém ústavu AV ČR vydali i kvůli Atlasu prachových částic, který je potřeba naplnit spoustou dat. Na začátku měli „jen“ banku prachu, jinými slovy spousty vzorků v šuplicích. Sestavili z nich databázi a k ní webovou stránku, aby se k atlasu dalo přistupovat zvnějšku a mohli do něj přispívat i další lidé. „Pokud jste vědec, sbíráte prach a máte o něm nějaké informace či obrázky, dají se do něj nahrát a touto formou sdílet.“

Jenže aby se daly informace o prachu vkládat smysluplně, nejen bez ladu a skladu, musí se v databázi vytvořit nějaký řád, „škatulky“, do nichž bude každý typ prachových částic příslušet. Což je bohužel stále značně problematické. „Jak máme hodnotit prach? Podle toho, co v něm je, nebo odkud je?“ ptá se Tomáš Hrstka. „Prach se nesmírně rychle mění. Zafouká vítr, zvedne ze země nějaké částičky a přenáší je dál – zeminu z pole, z lesa, nečistoty ze silnice... Všechny se smíchají do nějaké anorganické směsi, přimíchají se i organické látky, jako pyl z květin, zbytky rostlin nebo živočichů. Na pyly se uchyťí houby, začnou pyl spotřebovávat. Složení celé směsi se tudíž neustále mění, je to velice dynamický systém.“

Databáze atlasu nicméně nemůže být bezbřehá, jak už bylo řečeno. Je třeba stanovit nějaké hranice, specializovat se na vybrané konkrétní aspekty. Tomáš Hrstka, který se významně orientuje na automatizaci, se proto s kolegy nejprve

pustil do metodiky vzorkování, jak prach správně zpracovat, jak jeho analýzu zautomatizovat, aby získali informace s potřebnou výpovědní hodnotou, použitelné v praxi.

Jakmile se smete prach třeba na Václavském náměstí v Praze, provede se analýza částička po částičce: „Naznačí, odkud ty jednotlivé částičky jsou, takže se dají snáz rozklíčovat zdroje – včetně potenciálních znečišťovatelů – nebo vliv přírody podle počtu a charakteru částic, ať už pylových, nebo částiček hornin uvolňovaných při orbě a tak dále.“

Přesto se však do atlasu nedá jednoduše zadat např. „Václavské náměstí, datum, částice ty a ty“. Proto se vědci nejprve snažili definovat mikromarkery, podle nichž budou prach třídít a „škatulkovat“. „Zatím se nám jako nejjednodušší jeví hledat částice pro něco typické: takto vypadá popílek, když vyletí z elektrárny. Tak vypadá okuje, když brzdí tramvaj a létají z kolejí kousíčky kovu.“ To znamená zachytit podobu jednotlivých základních složek prachu, například přírodních minerálů, které mohou něco vypovědět o původu dané složky. Ovšem v atlasu je místo i pro zapsání celkového složení analyzovaného prachu, protože nejvyšší metou autorů je samozřejmě zahrnout obojí, jednotlivé částičky prachu i jejich poměrné zastoupení. Stanovit, že složení prachu odebraného třeba 10. srpna 2019 na Karlově náměstí v Praze je takové a takové.

Projekt je jako ledovec a atlas jeho špičkou. Zajímavé je i to, co zůstává skryto.

Badatelé teď usilují o vypracování nových analytických postupů, aby z prachu dokázali získávat víc a víc informací.

Cílem však není automatická analýza milionů a milionů prachových částic, jejichž údaje by se do atlasu neustále doplňovaly. To by podle Tomáše Hrstky bylo příliš velké sousto. Jelikož vzorek prachu může obsahovat miliony různých částic, soubor dat produkovaných při jejich analýze dosahuje mnoha gigabytů, dokonce i terabyte, což se všechno samozřejmě nedá do databáze atlasu přenést. „Jeho úkolem je spíš zviditelnit vybrané mikro-markery ve smyslu ‚takhle nějak to může vypadat‘. Pokud bychom se naučili s takovými daty běžně pracovat, mohla by se posléze používat ke zjišťování kvality ovzduší, pomohla by i ve zdravotnictví a celkově ve veřejném sektoru.“

Dnešní podoba Atlasu

Nyní je Atlas prachových částic dostupný online, je v něm nahraná část vzorků, které vědci nasbírali, s parametry zapsanými v rámci jejich sběru. „Jde spíš o určitý metodický zápis – informace o vzorcích jako takových. K některým se teď snažíme přidávat i fotografie vybraných částic a více je popsat,“ říká Tomáš Hrstka. Jedním ze záměrů vědců bylo, že by si uživatel řekl: mám něco, vidím určité složení a strukturu, zkusím tedy určit, čemu to odpovídá. „Z tohoto důvodu se snažíme v atlasu vytvořit galerii, v níž by byly jasně vidět obrázky jednotlivých částic – jako v atlasu hub. Můžete si zadat například slovo ‚Sahara‘, podívat se na výsledky nikoli ve formě textu, ale v podobě obrázků, a říct si: aha, na Sahaře jsou složky, které vypadají tak a tak...“ Zní to krásně, jenže ambiciózní plán omezuje nedostatek lidských zdrojů.

Databáze má být samozřejmě přístupná dalšímu rozšiřování a vědci chtějí

zjišťovat, co ještě by mohlo zajímat další případné uživatele, jaké informace by si přáli mít k dispozici. Třeba o částicích nejkritičtějších pro lidské zdraví.

Odborníci z Geologického ústavu AV ČR nedávno pracovali na společném projektu s kolegy z Univerzity Karlovy, kteří v Africe zkoumají škodlivé prvky v prachu napadaném v půdách. Zaměřují se konkrétně na prach spojený s těžební činností a chtějí identifikovat, jestli se v okolí továrny na výrobu kovů z rudy dostávají do přírody nebezpečné látky, případně kolik a v jaké formě. Chemickými metodami dokážou určit množství potenciálně škodlivých látek, jako kadmia nebo arzenu. Chtějí-li však stanovit, nakolik se tyto prvky dostávají do lidského těla, je třeba volit jiné postupy. „Metodami automatické mineralogie nebo elektronovým mikroskopem hledáme jednotlivé částičky. Umíme zjistit, kolik arzenu nebo jiných prvků je ve formě, která ani příliš nevadí, protože arzen je v ní pevně vázaný a organismus ho vyloučí, a kolik je naopak ve formě, jíž je třeba se ze zdravotního hlediska zabývat,“ vysvětluje Tomáš Hrstka. Nebo v obráceném pořadí – badatelé se snaží pomocí svých znalostí o prachu určit, jestli by struska z průmyslových procesů šla znovu zpracovat a potenciálně škodlivé těžké kovy, jež v ní zůstaly, ještě zpětně získat, recyklovat a použít pro další výrobu.

Atlas prachových částic jako takový tedy není podle Tomáše Hrstky konečným cílem vědců z Geologického ústavu AV ČR a Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR, snaží se použít metody, které pro něj vyvíjeli i k jiným praktickým účelům. „Celý projekt je jako ledovec, jehož viditelnou špičkou je atlas, ale ještě zajímavější je to, co zůstává dosud skryto.“

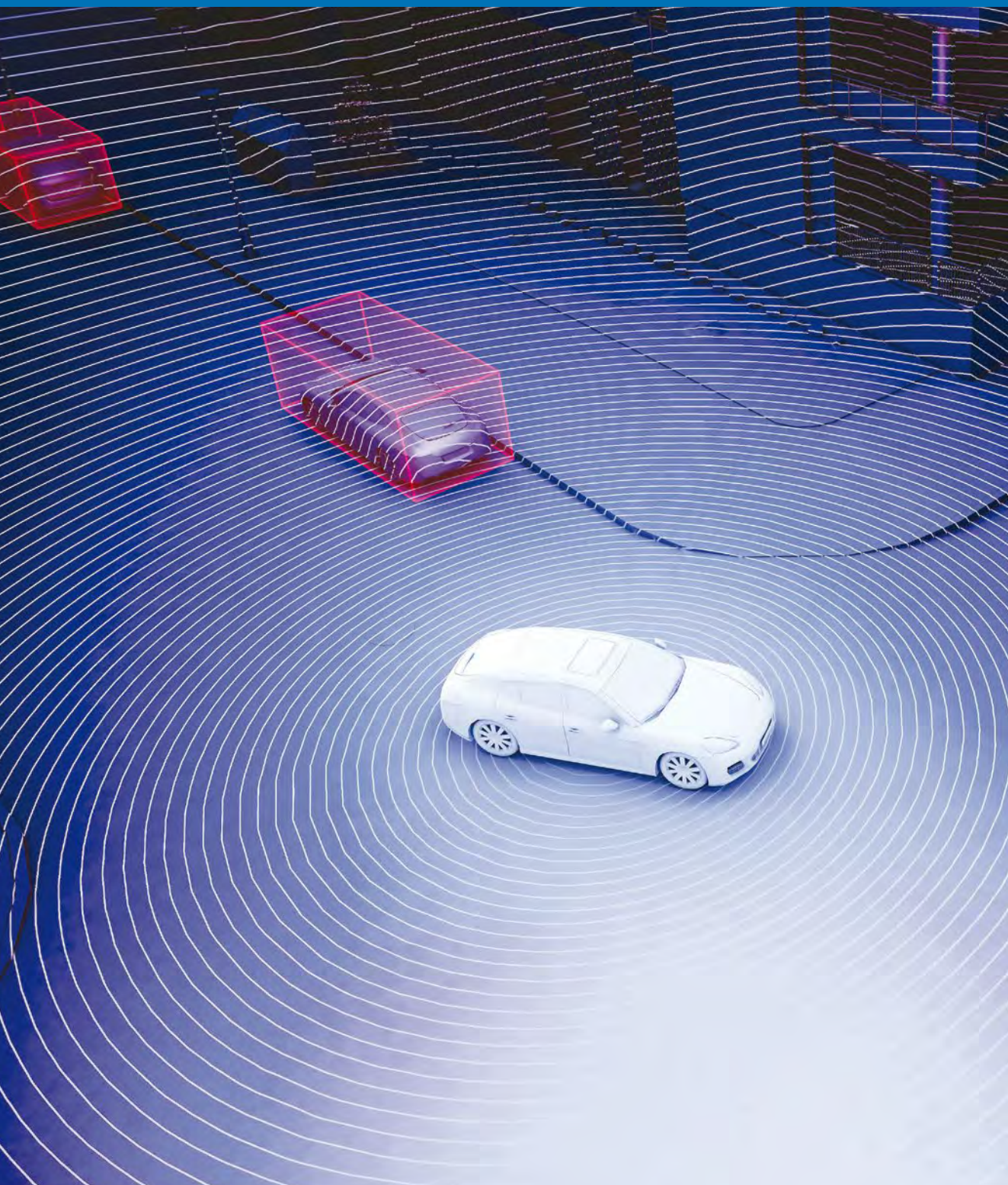


SNÍMEK Z ELEKTRONOVÉHO
MIKROSKOPU:
PRACH Z NEWYORSKÝCH
„DVOJČAT“, ZNIČENÝCH
TERORISTY V ROCE 2001

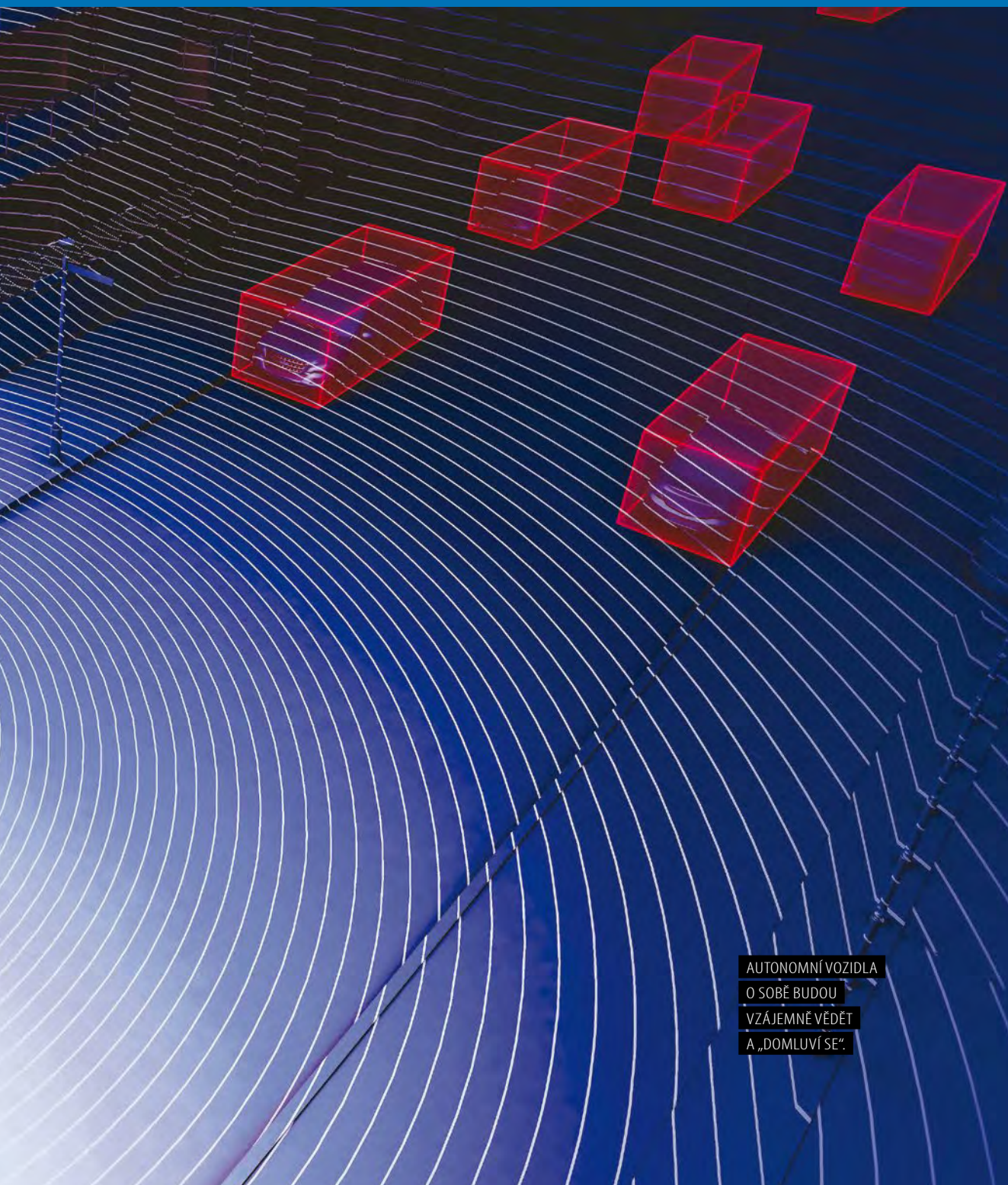


Akademie věd
České republiky

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



PROGRAM: NADĚJE A RIZIKA DIGITÁLNÍHO VĚKU



AUTONOMNÍ VOZIDLA
O SOBĚ BUDOU
VZÁJEMNĚ VĚDĚT
A „DOMLUVÍ SE“.

Hodná auta bez řidiče

ONDŘEJ VRTIŠKA

Jedete devadesátkou po hlavní, když vtom vám z vedlejší silnice jiné auto nedá přednost. Doleva uhnout nemůžete, v protisměru projíždí kamion. Zabrzdit nestihnete. Co teď? Zavřete oči a pojedete rovně? Strhnete řízení doprava a vletíte na cyklostezku, po níž v tom okamžiku projíždí skupinka cyklistů? Zareagujete nejspíš instinktivně, na promýšlení není čas. Autonomní auto ale musí být naprogramováno tak, aby jednu z reakcí zvolilo. Kterou?



MGR.

ET MGR.

ROBIN

KOPECKÝ

Vystudoval filozofii na Filozofické fakultě UK a teoretickou evoluční biologii na Přírodovědecké fakultě UK, kde dokončuje doktorské studium a pracuje jako výzkumník. Věnuje se vybraným tématům z oblasti aplikované etiky a experimentální filozofie, včetně etiky autonomních vozidel a morálních intuic dospělých i dětí.

Popsaný scénář je nepravděpodobný, většina z nás podobný malér naštěstí nemusela nikdy řešit. Ale různých kolizních situací nastává v dopravě každý den spousta a autonomní auta budou často postavena před nutnost vybrat jedno z více možných řešení. Mají vždy udělat maximum, aby ochránila vlastní pasažéry? Mají volit řešení, které v součtu povede k co nejmenším škodám na lidských životech a zdraví? Je přípustné, aby kladla na misky vah životy různých lidí a volila, které obětují?

Čím více o podobných otázkách člověk přemýšlí, tím složitější se problém jeví. Nechme nyní stranou technickou stránku věci – jak pravidla „správného“ chování převést do kódu srozumitelného počítači a z dat poskytovaných senzory získat co nejpřesnější představu o dopravní situaci. Jen samy etické aspekty pravidel silničního provozu v éře autonomních vozidel znamenají velké téma k diskusi.

V rámci programu Naděje a rizika digitálního věku Strategie AV21 se (nejen) touto problematikou zabývá Centrum Karla Čapka pro studium hodnot ve vědě a technice (viz rámeček), sdružující

odborníky řady oborů od informatiků po filozofy. Autonomní vozidla jsou jen jednu z oblastí, které v budoucnu ovlivní a v některých ohledech už nyní ovlivňuje rozvoj umělé inteligence. „Poznatky a zkušenosti, které takto získáme, můžeme modifikovat a použít třeba pro bojové drony nebo pečující roboty,“ konstatuje filozof Robin Kopecký, který v Centru Karla Čapka reprezentuje Přírodovědeckou fakultu UK.

Příprava na budoucnost

Z mezinárodních statistik vyplývá, že příčinu asi 93 % dopravních nehod je třeba hledat mezi volantem a sedačkou. Řidičova chyba je zdaleka nejčastějším zdrojem problémů, ať už je za ní nepozornost, únava, nezkušenost, přehnané sebevědomí nebo alkohol. Zbývající nehody vznikly především v důsledku srážky se zvířeti, v menší míře je zavinili chodci, závady na vozidle nebo na komunikaci. Jen v Česku ročně na silnicích zemře kolem 600 lidí, celosvětově je obětí 1,25 milionu.

Právě o 93 % lze proto teoreticky snížit počet dopravních nehod – za předpokladu, že auta s řidičem zcela ustoupí



plně autonomním vozidlům a ta žádné chyby dělat nebudou. Takový předpoklad je sice až příliš optimistický, ale ono úplně stačí, aby dělala méně chyb než lidé – pořád budou zachraňovat životy. O plynulosti provozu a větší šetrnosti k životnímu prostředí díky efektivnější jízdě a využití sdílených autonomních aut nemluvě.

Z pozornosti, kterou autonomním vozidlům věnují média, můžeme nabýt dojem, že revoluce v dopravě je na spadnutí. Ve skutečnosti je od dnes prodávaných vozů automobilky Tesla nebo od experimentálních aut Google či Uberu k plně autonomnímu provozu ještě dlouhá cesta. „V kontrolovaném cvičném prostředí ta auta jezdí krásně. Ale Prahou by sama neprojela,“ říká Jiří Wiedermann z Ústavu informatiky AV ČR. A na zdánlivě banálním příkladu vysvětluje důvod: „Řidič musí poznat, že dvě dámy povídají si u přechodu se nechystají přejít, ale dítě běžící za míčem míří do silnice přechod nepřechod. A taková situace vyžaduje pokročilé znalosti o lidském světě. Auto schopné spolehlivě číst chování lidí v okolí vozovky nemá daleko k univerzální umělé inteligenci, která je schopna

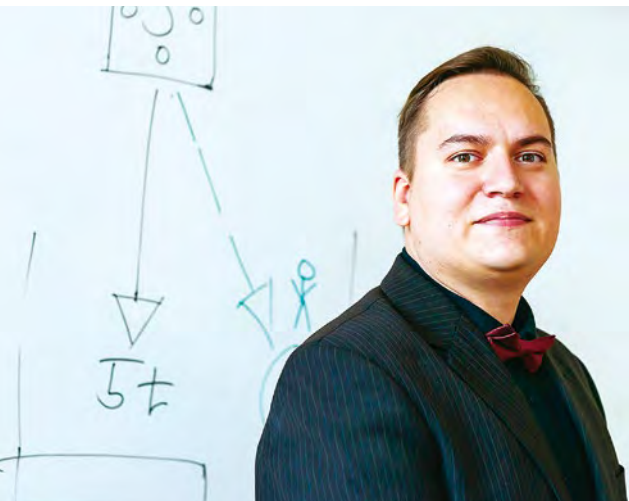
poradit si v celém spektru možných situací. Řekl bych, že tohle si konstruktéři zpočátku neuvědomovali.“

Díky výkonnějším počítačům slavní úspěchy neuronové sítě, které se učí a zdokonalují, takže dovedou divy například při analýze obrazu a řešení dalších složitých úkolů. Příkladem je nedávné vítězství programu AlphaGo nad velmistrem ve hře go, která má tolik možných pozic, že stroj nemůže člověka překonat pouhou hrubou silou výpočetního výkonu. Ale stále to nestačí, k univerzální umělé inteligenci máme ještě velmi daleko.

Čekáme i na dokonalejší senzory. „Za dobrých světelných podmínek to celkem jde, ale v noci, za deště a sněhu, ve stříkajícím blátě jde spolehlivost senzorů výrazně dolů,“ upozorňuje Jiří Wiedermann. Bezpečná, plně autonomní auta podle něj v budoucnu určitě jezdí budou, ale ještě si na ně musíme počkat.

V Česku ročně na silnicích zemře kolem 600 lidí.

VZNIK CENTRA
KARLA ČAPKA
STVRDIL SLAVNOSTNÍ
PODPIS SMLOUVY
12. ŘÍJNA 2018.



Znamená to, že debaty o jejich chování jsou předčasné a odborníci na etiku nastupujících technologií si zatím mohou dát nohy na stůl?

Zkušenost nás učí, že vývoj technologií není lineární a je těžké odhadovat, kdy nastane rychlý skok vpřed. Například schopnost číst a editovat dědičnou informaci lidstvo získalo v době, kdy ještě nebyly všechny důsledky dobře promyšlené a prodiskutované. Nyní kvůli tomu narážíme na problémy, neboť veřejnost možnostem a rizikům současných biotechnologií nerozumí.

Proto má diskuse o etických aspektech provozu autonomních vozidel smysl. Až v plné síle vyrazí do ulic, budeme připraveni.

Konečným cílem vývoje autonomních aut je plně automatizovaný dopravní systém, v němž už není pro lidskou chybu prostor a jehož aktéři o sobě vzájemně vědí a své chování přizpůsobují situaci ve svém okolí. Kolize popsaná v úvodu

článku by neměla nastat, protože takovou chybu, jakou je nedání přednosti v jízdě, stroj neudělá.

Ve skutečnosti auta zřejmě nějaké chyby dělat budou, třeba kvůli nedokonalým senzorům. Stále budou do hry vstupovat další nepředvídatelné události a nekontrolovatelní aktéři – divočák přebíhající přes silnici, padlý strom, námraza v lesním stínu, uvolněné kolo protijedoucího vozu... A nejspíš se nevyhneme nejkritičtější přechodové fázi, kdy se po silnicích budou pohybovat jak plně autonomní vozidla, tak auta řízená lidmi.

Řidiči se dnes řídí pravidly silničního provozu, vedle nichž existují i nepsané zvyklosti. V některých asijských městech má přednost auto s nejhlasitějším klaksonem, ale i v Evropě je důležitý oční kontakt, bliknutí dálkovými světly, mávnutí... Systém autonomních vozidel by ve své nejrozvinutější podobě pracoval se skutečností, že jednotliví aktéři o sobě na dálku vědí. „Pro tato vozidla budou stávající pravidla zbytečně svazující. Proč by mělo auto zastavit na křižovatce, když ví, že za rohem nic nejede? Ale protože se bude muset počítat s lidmi, bude

Vývoj
technologií
není lineární
a je těžké ho
odhadovat.



třeba, aby auta tato pravidla respektovala," říká Jiří Wiedermann.

Nebezpečné situace, v nichž software automobilu bude rozhodovat mezi několika variantami řešení, ze silnic jen tak nezmizí. Jak je řešit? Jedno stanovisko bude obhajovat právník, další státní úředník, jiné stoupenci různých filozofických škol. Jde o multidisciplinární problém. Auto ale nemůže v každé takové situaci svolat expertní komisi a zařídít se podle jejího závěru. Společnost se musí na nějakých pravidlech shodnout, aby bylo možné podle nich vozidla naprogramovat.

Myšlenkové experimenty

Požadavek, aby autonomní vůz v nejvyšší možné míře ochránil svou posádku, může znít samozřejmě – jde nám přece o maximální bezpečnost. Jenomže auta se nebudou po silnicích pohybovat sama a není těžké představit si situaci, v níž jde ochrana posádky proti bezpečnosti ostatních účastníků provozu.

Mezi filozofy se značné popularity těší utilitarismus a další konsekvenčialistické přístupy k etice. Zjednodušeně řečeno – jsou to etické směry, které správnost

nějakého chování vyvozují z jeho důsledků. Pokoušejí se kalkulovat ztráty a přínosy pro všechny zúčastněné a dobrat se takového řešení, které povede k maximalizaci užítku a minimalizaci škod. Může být tedy ospravedlnitelné například obětovat jeden život, zachráníme-li tím více jiných životů.

Proti tomuto přístupu stojí deontologická etika, která stanovuje zásady, jimiž je potřeba se řídit bez ohledu na důsledky. Obětovat něčí život nelze, tečka. Na součet dobra a zla se nehraje, účel nespvětí prostředky, i kdyby byl sebectnostnější. Tímto směrem míří etický kodex samořidi-telných aut, který v roce 2017 vypracovala odborná komise ustavená německým ministerstvem dopravy. Odvolává se na rozhodnutí ústavního soudu v jiné otázce: nelze sestřelit letadlo unesené teroristy, přestože hrozí, že ho únoscí navedou na stadion plný lidí. Nelze aktivně zabít nevinné, i když rozhodnutí nekonat povede ke smrti většího počtu lidí.

Teoreticky formulované etické systémy nám pomáhají vykolíkovat hřiště, na kterém se pohybujeme, v praxi se však jimi do všech důsledků řídí málokdo. Realita je barevnější. Co například znamená „obětovat něčí život“? „V lidské psychologii je obrovský rozdíl, jestli pouze předpokládáte, že v důsledku vaší aktivity nastane něčí smrt, nebo ji přímo způsobíte. Lidé obecně přijímají relativně snadno, že jejich jednání způsobí nějakou vedlejší škodu. Chcete zabít teroristu, ale protože se schovává v podzemí a bomba je silná, poboříte i domy v okolí a možná v nich zahynou civilisté. Jejich smrt není vašim cílem – to by byl válečný zločin –, ale jejich smrt jako vedlejší důsledek útoku na teroristu je často přijímána s pochopením,“ ilustruje složitost problému Robin Kopecký. Míra onoho pochopení samozřejmě závisí na řadě faktorů – například



PROF.

RNDR.

JIŘÍ

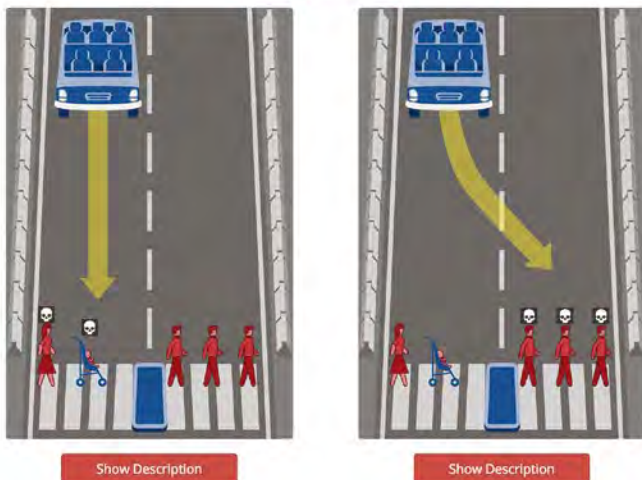
WIEDERMANN,

DRSC.

Vystudoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Komenského v Bratislavě. Působí v Ústavu informatiky AV ČR, v letech 2000 až 2017 byl jeho ředitelem. Zabývá se umělou inteligencí, strojovým učením, teorií výpočetní složitosti, ad-hoc sítěmi, distribuovanými výpočty, filozofií informatiky a řadou dalších témat. Je členem Učené společnosti České republiky.

Baby

Share Link 0 Likes Random



< MĀ AUTO
 OBĚTOVAT
 JEDEN ŽIVOT ZA
 JINÝ? PŘÍKLAD
 MORÁLNÍHO
 DILEMATU
 V APLIKACI MIT
 MORAL
 MACHINE.

na počtu civilních obětí, na (ne)dostupnosti jiných řešení, ale třeba i na tom, zda se o události člověk dozví ze strohého tiskového oznámení o likvidaci obávaného teroristy, nebo z televizní reportáže, v níž mezi troskami vystupují pozůstalí po civilních obětech.

AUTONOMNÍ
 VOZIDLA
 NEBUDOU
 DĚLAT LIDSKÉ
 CHYBY.

Rozdíl mezi smrtí jako vedlejším důsledkem naší aktivity a přímým zabitím dobře ilustruje tzv. tramvajové dilema – myšlenkový experiment, který v roce 1967 představila americká filozofka Philippa Footová: tramvaj se řítí na pět

dělníků opravujících trať. Pokud nic neuděláte, zemřou. V jedné verzi experimentu můžete přehodit výhybku, takže tramvaj odbočí na vedlejší kolej, kde srazí a usmrtí pouze jednoho člověka. V jiné verzi můžete tramvaj zastavit pouze tak, že před ní z mostu shodíte tlouštika, jehož tělo ji zbrzdí. Výsledek je v obou případech stejný: jeden mrtvý místo pěti, a přesto je první verze pro většinu lidí přijatelnější než druhá.

Podobné myšlenkové experimenty filozofové a etikové nedělají ve snaze rozhodnout, které řešení je správné. A už vůbec si nemyslí, že popisují každodenní lidskou zkušenost; příležitost zastavit rozjetou tramvaj shobením tlouštika z mostu měl věru málokdo. Nehledě na to, že v reálném světě nepotkáváme unifikované postavy bez tváře, ale malé dítě, těhotnou ženu, nemohoucího staříka, bezohledného sobce, agresivního opilce... A ke každému z nich se v různých situacích chováme více či méně odlišně. „Fyzikové pracují s hmotnými body. My podobně redukuje realitu na to podstatné, co nás zajímá,“ vysvětluje Robin Kopecký. Cílem je testovat morální



intuice lidí, kteří modelové situace řeší. Co považují za správné? Co za nepřipustné?

Porozumění tomu, jak lidé vnímají modelové situace, umožňuje kvalifikovaněji odhadnout, jaké chování očekávají od autonomních vozidel. A to je důležité. I kdyby se totiž stoupenci různých etických směrů shodli, jaké řešení problematických situací je nejlepší, nebylo by to nic platné, pokud by veřejnost ve své většině taková auta odmítla přijmout. „Lidé budou vyžadovat, aby autonomní auta

to, zda tím ohrozí posádku. Ale kdyby si měli vybrat auto pro sebe, dali by přednost takovému, které v první řadě chrání vlastní pasažéry. Ještě výraznější posun k tomuto typu auta nastane, pokud si má člověk představit, že v něm sedí jeho dítě.

Z dotazníků, jež vědcům z Centra Karla Čapka online vyplnilo téměř 2800 dobrovolníků, vyplývá, že auto chránící přednostně posádku by jako obecné řešení preferovalo 20 % respondentů, pro sebe by je chtělo 45 % a pro své dítě 67 %. Au-



AUTONOMNÍ
VOZIDLA JSOU
TEPRVE VE
VÝVOJI.

byla, hodná. Aby se chovala podle nějakých etických pravidel, i když je nebudou schopni formulovat jazykem etické teorie. Konkrétní podoba pravidel bude na akademících, ti však musí pohled veřejnosti vzít v úvahu,“ říká filozof David Černý z Ústavu státu a práva AV ČR a z Ústavu informatiky AV ČR.

Musí se přitom počítat s lidskou přirozeností. Většina lidí chce, aby po silnicích jezdila auta, která v případě nehody minimalizují oběti na životech bez ohledu na

tomobil snažící se o minimalizaci obětí by obecně preferovalo 67 % dotázaných, pro sebe 45 % a pro své dítě 28 %. Nejméně populární bylo ve všech případech vozidlo, které v kolizní situaci neudělá nic, pokud by jeho reakce vedla k něčí smrti – bez ohledu na to, jaké důsledky by takový pasivní přístup měl pro posádku a pro ostatní účastníky nehody. Řídilo by se tedy doporučením německé etické komise.

Opět jde jen o zjednodušení pro potřeby studia morálních intuicí. „Nikdo si



PHDR.
DAVID
ČERNÝ,
PH.D.

Studoval filozofii na univerzitách v Bologni a Římě, na 1. lékařské fakultě Karlovy univerzity získal doktorát z lékařské etiky. Působí v Ústavu státu a práva AV ČR a v Ústavu informatiky AV ČR. Zabývá se morální filozofií a personální ontologií, především filozofickými a etickými implikacemi umělé inteligence a robotiky.

CENTRUM KARLA ČAPKA

Centrum Karla Čapka pro studium hodnot ve vědě a technice je společný projekt tří ústavů Akademie věd – Ústavu informatiky, Filosofického ústavu a Ústavu státu a práva a Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Zabývá se etickými důsledky nových technologií a společenskými a politickými otázkami, jež s nimi souvisejí. Některé jsou zatím hypotetické, jiné ovlivňují naše životy už dnes. „Zatím se nebojím ani tak strojů, které by se postavily proti lidstvu, jako spíše lidí, kteří nové technologie používají. Ať už jde o systém sociálních kreditů v Číně, jenž využívá nástroje umělé inteligence ke kontrole obyvatel, nebo třeba o politický marketing. Politika se bude kvůli datům sbíraným a vyhodnocovaným umělou inteligencí vyprazdňovat, bude ztrácet hodnotovou dimenzi a přizpůsobovat se tomu, co bude mít šanci oslovit nejvíce voličů. Částečně se to už děje,“ podotýká filozof David Černý.

Do budoucna se budeme muset připravit na nástup univerzální umělé inteligence a superinteligence, která bude sama sebe zdokonalovat; není snadné odhadnout, jaký bude mít vztah ke svým tvůrcům. „Nebudeme moci postupovat metodou pokusu a omylu, která se lidstvu osvědčila v minulosti. Je to první technologie, u níž bude třeba naprosto přesně předem určit podmínky, za kterých by měla fungovat, protože existenciální rizika jsou obrovská. Aby to nebyl náš poslední vynález,“ upozorňuje David Černý.

nemyslí, že by se auta chovala přesně tak jako některý z typů softwaru, které testujeme. Ve skutečnosti by to mohlo fungovat třeba tak, že auto sníží bezpečnost posádky o několik procent, což mu umožní nebezpečným manévrem zabránit hromadné kolizi,“ vysvětluje Robin Kopecký.

Upozorňuje, že pokud veřejnost novou technologii nepřijme, hrozí morální panika, kvůli níž budou lidé odmítat i takové řešení, které je jim objektivně ku

prospěchu. Bylo by to podle něj podobné jako s očkováním, které nás prokazatelně chrání před vážnými infekčními chorobami, ale kvůli fámám a neporozumění je část veřejnosti odmítá. Roli hraje i skutečnost, že s řadou nemocí už nemáme osobní zkušenost. U autonomních aut může nastat podobná situace – po nějaké době jejich úspěšného provozu lidé zapomenou na tragické důsledky lidských chyb za volantem a uvidí jen vzácné, ale hojně medializované případy, v nichž objektivně bezpečnější autopilot způsobí něčí smrt.

I David Černý zdůrazňuje nutnost zahrnout přirozené morální intuice uživatelů do úvah o tom, jak se vozidla mají chovat: „Musíme se smířit s kompromisem, který do určité míry vyjde vstříc lidským intuicím. Nebude to dokonalé řešení, ale jinak to podle mne nepůjde. Pokud vymyslíme auto, které bude z hlediska kterékoli z etických teorií dokonalé, ale lidé je nebudou chtít používat, k čemu bude?“

Dokážeme pustit volant?

Lidé budou autonomní auta vnímat do určité míry jako „myslící bytosti“, které se rozhodují, jak se v určité situaci zachovají. „Není to pasivní technologie jako třeba most. Ten má nějakou nosnost a všichni chápeme, že pokud ji překročíme, most spadne a někdo při tom může zemřít. Autonomní auta mají také nějaké limity, ale budeme je vnímat jako morální aktéry,“ říká Robin Kopecký. Auto se stane tím, kdo bude v reálném čase rozhodovat. Lidé už nebudou držet volant a volit cestu, stanou se pasivním „nákladem“. Ztratí pocit, že mají situaci pod kontrolou.

Aby lidem zůstala alespoň nějaká možnost volby, a tedy i vědomí podílu na odpovědnosti, Robin Kopecký navrhuje, aby mezi sebou na trhu soupeřily různé typy softwaru, mezi nimiž bychom



PROTOTYPY
UMOŽNÍ
VOLBU MEZI
PLNĚ
AUTOMATICKÝM
REŽIMEM
A BĚŽNÝM
ŘÍZENÍM.

si mohli vybírat. Podle něj by se tak mohlo zabránit morální panice. Připomeňme si analogii s očkováním, mnohé znepokojené rodiče by s vakcinací smířila větší možnost spolurozhodovat o očkovacím kalendáři svých dětí.

David Černý však upozorňuje na možné důsledky: „Soutěž různých softwarů si příliš nedovedu představit. Automobilka, která by více zohlednila nealtruistické intuice svých zákazníků a nabídla by větší ochranu posádky než ostatní, by získala konkurenční výhodu. Nakonec bychom skončili u ‚sobeckých‘ aut, která by se vůbec nechovala tak, jak od nich společnost očekává. Protože každý by sice takové auto chtěl pro sebe, ale nechtěl by se s ním na silnici potkávat.“ Spíše lze tedy očekávat, že do hry vstoupí regulační orgány a na území své působnosti (EU, USA...) nařídí používání jednoho typu softwaru.

Z už citovaného online průzkumu však vyplynula ještě jedna zajímavá skutečnost. Preference autonomních aut se výrazně promění ve chvíli, kdy si lidé nevybírají vozidlo skrytí před zraky ostatních, ale každý vidí, jakým typem jezdí. Auta by například mohla svou barvou nebo světelnou signalizací dávat najevo, jaký software používají. Ze 45 % těch, kteří by si tajně zvolili automobil

maximálně chránící posádku, se třetina dotázaných rázem rozhodla pro jiné řešení. Ve velké většině se přesunuli do skupiny těch, kteří by si vybrali vůz snažící se minimalizovat celkový počet obětí. Takovému řešení by dalo přednost 58 % respondentů.

Výsledky naznačují, že společenský tlak by mohl hrát důležitou roli v rozhodování, jaké auto si pořídíme. Člověk je tvor sociální a každý si dobře rozmyslí, zda chce na své okolí působit bezohledným dojmem. Pokud by se výsledky výzkumu potvrdily v praxi, mohla by zřejmě fungovat i konkurence různých systémů – „sobectější“ by nejspíš nepřevládly.

Ať už se prosadí jakékoli řešení, společnost jako celek na něm vydělá. „I když se auto zachová z hlediska nějaké etické teorie nesprávně, pořád to bude lepší než dnes. Bude umírat méně lidí, auta budou úspěšnější a šetrnější k životnímu prostředí,“ říká David Černý. „Filozofové by se měli mírnit a uvědomit si, že jsou příliš ambiciózní. Otázku etiky řešíme v západní filozofii 2500 let a stále nepanuje shoda. Nebudme tedy přehnaně ambiciózní a postupujme jako inženýři, kteří nestaví nezničitelné mosty, ale takové, které vydrží deklarované zatížení,“ doplňuje ho Robin Kopecký. ■



Akademie věd
České republiky

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



PROGRAM: KVALITNÍ ŽIVOT VE ZDRAVÍ I NEMOCI



JE LEPŠÍ BÝT
„SKŘIVAN“, ANEBO
„SOVA“? A JAK TO SOUVISÍ
S LETNÍM ČASEM?

Když se sovy mění ve skřivany

LENKA VRTIŠKOVÁ NEJEZCHLEBOVÁ

Sovy mají větší sklony k nezdravému životnímu stylu, skřivánčí život je „spořádanější“. Bez umělého světla se však i středně „těžké“ sovy umí proměnit ve skřivany. Alespoň tedy v říši lidí. Naše vnitřní hodiny, jejich tikot, nastavení, předbíhání i zpoždování ovlivňují zdraví víc, než jsme si asi ochotní připustit. O lidských chronotypech a nesouladech mezi biologickým, solárním a sociálním časem a negativním vlivu této disharmonie na člověka vypráví v rozhovoru fyzioložka Alena Sumová.

Spí Češi zdravě? Máme naše vnitřní hodiny a budíky dobře seřizené?

Většina lidí v dnešní uspěchané době spánek během pracovního týdne zanedbává a nahromaděný spánkový dluh dospívá o víkendech. Pokud k tomu mají ještě

špatně seřizené vnitřní hodiny, je zaděláno na zdravotní problémy. Problém se týká především těch, kteří žijí ve větších městech, kde se život po celých čtyřiaadvacet hodin nezastaví a kde lidé často tráví většinu aktivní doby v budovách.

Díky údajům získaných z dotazníků reprezentativního sociodemografického šetření v domácnostech, které jsme získali zásluhou projektu Strategie AV21, máme k dispozici komplexní data o sociálním, ekonomickém i zdravotním stavu české populace. Nyní je dále analyzujeme, zkoumáme a srovnáváme, abychom zjistili vzájemné souvislosti a mohli publikovat závěry těchto šetření.

Čím jste začali?

Vybrali jsme si data, ze kterých jsme sestavili rozložení chronotypu mezi lidmi. Hledali jsme závislosti mezi chronotypem a dalšími jevy a faktory. Doufám, že výsledky poslouží jako podklad pro „knowledge based decision“, neboli rozhodnutí založené na znalostech těm politikům, kteří mají určit, zda se bude Česká republika celoročně řídit zimním nebo letním časem.

Vím, že evropští chronobiologové – včetně vás – se kloní k ponechání zimního času; k vašim argumentům se ještě dostaneme. Jaké je tedy rozvrstvení chronotypů mezi lidmi v České republice, jak vyplynulo z výzkumu?

Ukazuje se, že i na našem poměrně malém území platí velice podobné zákonitosti jako pro ostatní evropské země, nejsme až tak odlišní, jak si o sobě někdy myslíme. Jen jsme trošičku víc, než je evropský průměr, nastaveni na dřívější čas. Odpovídá naší východnější geografické poloze a zčásti nejspíš i naší historii, ale to už by byly spekulace.

V Česku žije víc skřivanů, než je evropský průměr.

Brzké vstávání do úřadů a škol od dob Marie Terezie už máme doslova pod kůží? V hodinkách každé buňky?

S trochou nadsázky ano, ale opakují, že důkaz nemáme, je to hypotéza. Závislost na geografické poloze je však prokazatelná.

Čím víc na východ, tím víc „skřivanů“?

Ano, ale pozor. Obecně v populaci spíš více lidí náleží k mírně a středně pozdnímu chronotypu, je mezi námi více „sov“, jak se říká lidově, ale směrem na východ obecně lehce stoupá procento časnějšího chronotypu prostě proto, že na východním konci stejného časového pásma vychází slunce dříve než na západním. Zároveň z našich dat o Češích vyplývá, že chronotyp závisí do značné

míry na věku, což se prokázalo i v jiných zemích. U nás se to potvrzuje.

Jak se chronotyp mění s věkem?

Pro střední věk je charakteristická obrovská škála od raného po pozdní chronotyp, v tomto období se uplatňuje nejvíce variant, ale většina lidí náleží ke střednímu chronotypu. U malých dětí a u stárnoucí populace významně převládá časný chronotyp. Naopak adolescenti jsou v průměru nejpočetnější skupinou „sov“.

Podle některých studií představuje právě přechod z adolescence do dospělosti zlom, kdy většina lidí přechází do průměrného rozvrstvení chronotypů. Výrazné předbíhání biologických hodin v dětství a opožďování v dospívání

MILIONY
VNITŘNÍCH
BUDÍKŮ...



nejspíš přímo souvisí s fyziologickým vývojem.

Rodiče pubertáků jsou někdy až nepřítelny, jak jejich děti vyspávají, nejsou ochotné o víkendu vstát před jedenáctou, ale do pozdních nočních hodin sedí u počítačů či mobilů. Přitom s nimi jen cloumají hormony!

Ano. Trochu jim křivdíme, ale zase to neznamená, že by děti v pubertě nešlo „seřadit“, jistě záleží i na životním stylu dospívajícího člověka. Ale mohu rodiče uklidnit, časem se to srovná.

Který chronotyp je na tom v průměru zdravotně hůř?

Tipla byste si?

Vycházím jen z vlastního pozorování, ale mám pocit, že „skřivanci“ jsou ukázněnější, přijdou mi štíhlejší, pijí méně alkohol. Odpovídá to datům?

Docela ano. Prokázalo se, což se dřív předpokládalo, že opravdu extrémně pozdní chronotyp má tendenci k nezdravějšímu životnímu stylu. Mezi těmito lidmi je víc kuřáků, víc konzumentů alkoholu, častěji se hůř stravují. Na jejich metabolických markerech se častěji objevují anomálie. Od části respondentů, kteří byli součástí studie provedené v rámci programu Qualitas (jeden z programů Strategie AV21), jsme měli k dispozici krevní vzorky, tedy i základní biochemické údaje, jako je například hladina cholesterolu; předběžné výsledky vykazují u extrémně pozdních chronotypů negativní odchýlení od normy ve srovnání s časnými chronotypy. Co je ale zajímavé, tento vliv, stejně jako sklon k obezitě, jsme v závislosti na chronotypu našli jenom u žen.

Jak je to možné?

Zatím můžeme jen hádat, čekáme na výsledky dalších analýz. Nicméně ženy obecně možná víc než muži řeší každodenní stres, který plyne z přemíry povinností, jež musí zvládat jednak jako matky, jednak po profesní stránce, když chtějí být a jsou úspěšné ve svých oborech, větším příjmem kalorické stravy. Ženy s pozdním chronotypem k tomu navíc inklinují v nočních hodinách a o negativním vlivu příjmu potravy v noci na naši hmotnost toho bylo napsáno až dost.

Jak byste vymezila „extrémní pozdní chronotyp“?

Dělicí linie se hledá těžko, ale za extrém se považuje pravidelné usínání několik hodin po půlnoci, mírný pozdní chronotyp je zhruba půlnoční. Důležitější však je, že problém nespočívá jen v pozdním chronotypu jako takovém. Pokud se člověk nemusí přizpůsobovat řádu a pracovnímu režimu, který je mu diktován sociálním prostředím, ale funguje podle svých hodin, tudíž jde spát, kdy je mu příjemné, a vstává podle svého vnitřního budíku, nemusí mít pozdní chronotyp na zdraví velký vliv.

Problém nastává, když se musí budít v době, kdy má podle svých vnitřních hodin ještě noc, pak mluvíme o tzv. sociální jet lag, neboli sociální pásmové nemoci. Už z názvu je jasné, o co jde. Vnitřní čas člověka není v souladu se sociálním časem podobně, jako když přeletí přes časová pásma. Právě nesoulad mezi vnitřními a vnějšími hodinami je příčinou některých nemocí.

Zatímco „skřivan“ jde spát v deset, vstane v šest a je čilý, člověk pozdního chronotypu je prostě nedospalý?

Nejen že je nedospalý, ale navíc jej jeho vlastní vnitřní budík vzbudí uprostřed

Extrém je každodenní usínání hluboko po půlnoci.



FYZIOLOŽKA

ALENA

SUMOVÁ

doby, kdy má hlubokou noc a není ještě připraven na vstávání. Je to kombinace obou faktorů.

Patřím k pozdním chronotypům. Obávám se, že my „sovy“ dobře víme, jak by nám prospělo, kdybychom šly spát dřív. Ale já osobně se nepřinutím.

Ale mohla byste to zkusit. Přinutit své vlastní hodiny, aby se nastavily na správnou dobu. Vyžaduje to ale velkou disciplínu, pravidelnost a pevný řád. Podobný experiment udělal v Americe jeden z našich významných kolegů chronobiologů Kenneth Wright. S lidmi, kteří žijí městským způsobem života a inklinují k pozdnímu chronotypu, ne k úplnému extrému, ale mírně nebo středně pozdnímu vyjel do přírody, aby společně týden kempovali. Byli vystaveni dennímu světlu od úsvitu do soumraku a neměli žádné umělé světlo.

Srovnal se jejich chronotyp?

Za pár dní, nejpozději za týden. Kenneth Wright provedl pokus v létě i v zimě; účastníci po týdenním celodenním vystavení dennímu světlu začali fungovat podle přirozeného rozednění a stmívání. Zaznamenával časy, ptal se jich, jak se cítí, dělal odběry slin, aby v nich sledoval hladiny melatoninu, hormonu, který ukazuje fázi vnitřních hodin. Všichni se posunuli směrem k dřívější denní době, žili více v souladu se solárním cyklem a cítili se dobře.

Vydrželo jim to?

Kdepak. Jakmile přijeli domů, vrátili se k původnímu časovému režimu. Ale od té doby existuje důkaz pro naše hypotézy, že většina lidí je schopna seřídít své vnitřní hodiny na správnou dobu, pokud budou dodržovat disciplínu. Ale je pochopitelné, že pro mnoho lidí je úkol skutečně

obtížný vzhledem ke způsobu sociálního městského života, který vedou.

Rodiče dětí třeba po večerech dohánějí práci, kterou přes den kvůli péči o potomky nestihli nebo si v nočních hodinách jen užívají klid sami pro sebe. Po podvečerním kolotoči s dětmi je třeba pro mě ten čas, kdy všechno doma ztichne, úplná oáza a nechci jít spát.

Naprosto vám rozumím. Péči o děti uvádíme jako jeden z parametrů v analýze dat získaných při socio-demografickém šetření. Zjistili jsme však, že v průměru lidé, kteří pečují o menší děti, mají spánkovou fázi oproti bezdětným stejného věku naopak posunutou na dřívější dobu. S malými dětmi není člověk pánem svého času, tedy ani spánku.

MOCI TAK
BÝT PÁNEM
SVÉHO
SPÁNKU...

Kdyby se „sovy“ – čistě teoreticky – mohly v životě zcela podřídit svému vnitřnímu časování, cítily by se pak lépe?

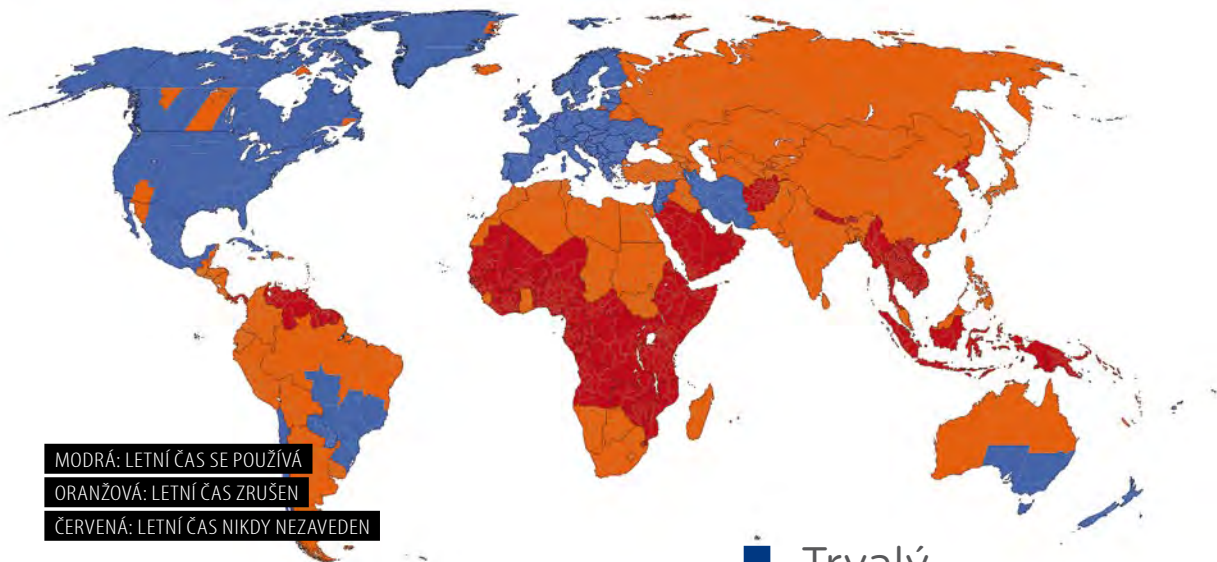
S velkou pravděpodobností ano. Jenže málokdo si může režim přizpůsobit úplně svému biorytmu. To si mohou dovolit možná bezdětní lidé na „volné noze“.

Ponocování taky svádí ke konzumaci alkoholu, zvláště ve společnosti, v níž „sovy“ vydrží déle, nebo k nočním nájezdům na ledničku. Ráno si nevy spalá „sova“ doplňuje energii sladkou nebo tučnou snídaní, aby fungovala, zatímco „skřivánek“ jde z večírku domů první, ráno se probudí svěží, před prací si ještě stačí zaběhat nebo zaplavat, pak si dá lehkou snídani...

Přesně tak. Existují i studie, které dokazují, že lidé mají tendenci v noci přijímat kaloričtější jídlo. Časné chronotypy, které odcházejí první z večírků, možná nemusí být v kolektivu nejoblíbenější, zaměstnavatelé je však považují za pracovitější a výkonnější. Pravděpodobně také žijí zdravějším a přirozenějším stylem.

Vraťte se k letnímu a zimnímu času. Podle rozhodnutí Evropské unie jejich střídání končí, každý členský stát si může vybrat, jestli zůstane celoročně u letního, či zimního času. Zastupujete Česko v Evropské společnosti biologických rytmů, jaké je vaše doporučení? Evropští odborníci a také jejich kolegové v zámoří, kteří se zabývají časovým řízením procesů v těle, jednoznačně doporučují, aby byl ponechán standardní čas, tedy ten, který nesprávně označujeme jako „zimní“.

V Rusku už mají experiment s trvalým letním časem za sebou, střídání zrušili dávno. Nejdřív s velkou slávou zavedli celoroční letní čas, ale netrvalo dlouho



a zrušili ho na základě stížností, nedělal dobrotu.

Jaký je nejsilnější argument proti?

Dlouhé letní večery a možnost pobytu venku během letních měsíců, kdy je příjemné počasí umožňující nejrůznější aktivity.

Kdo by nemiloval dlouhé letní večery?!

Taky je miluju. Vždy si to uvědomím hlavně při cestování do jižních krajín, kde i v létě slunce zapadá relativně brzy zvečera. Zajímavé je, že tam si nikdo na slunce zapadající v létě kolem sedmé hodiny nestěžuje. V našich končinách by ale celoroční „letní“ čas napáchal mnohem víc škody než užítku. Kdokoli trochu rozumí fyziologii a trochu se nad tím zamyslí, dojde k názoru, že ponechat letní čas v zimě je nesmysl.

Proč?

O několik měsíců bychom si prodloužili dobu, kdy vstáváme do tmy. Vezměme například děti, kterým v převážné většině začíná škola v osm hodin ráno. Velká část jich cestuje do školy ve větší vzdálenosti a vstává již kolem šesté. Během letního času se však již od začátku října začíná rozednívat až kolem sedmé, od 6. listopadu do 21. února by dokonce bylo světlo až po osmé hodině

ráno, tedy po začátku vyučování. V lednu by se žáci dokonce učili ještě celou první hodinu při venkovní tmě. Je jasné, že by přinejmenším měla vliv na jejich pozornost. Existuje také mnoho profesí, kterým začíná pracovní doba ještě dříve, ty by pocítily dopad ještě větší.

Když si svítíme po večerech, přisvítili bychom si víc i ráno. Nestačí to?

Otázka, do jaké míry umělé světlo nahradí přirozené denní světlo, je stále předmětem odborných diskusí. Běžné světelné zdroje zcela jistě nejsou imitací přirozeného denního světla – především s ohledem na spektrální složení a jeho proměnlivost během denní doby. Výrobci se sice snaží vyvinout svítidla, která se mu alespoň blíží, ale zatím není jejich použití běžné.

Pro naše vnitřní hodiny je ranní synchronizační světelný signál nesmírně důležitý, díky němu si udržují svůj 24hodinový cyklus. Tělo ranní světlo potřebuje. Pokud budeme vstávat dlouhodobě do tmy, hodiny nebudou u většiny z nás správně nastaveny a budeme nuceni se ráno probouzet v době, kdy náš organismus bude ještě prožívat noc. Naše vnitřní hodiny nebudou mít možnost, aby tělo

Trvalý
letní čas by
napáchal
víc škody
než užítku.

na vstávání připravily. Situace se podobá tomu, jako bychom v zimě startovali auto se studeným motorem, jak vystihl jeden reportér.

Tělo se nestačí rozehrát, když vstává do tmy?

Velmi obrazně řečeno, je to tak. Pokud vstáváme podle svých vnitřních hodin, než nám ráno zazvoní budík, začnou se ještě předtím v našem těle na jejich pokyn dít věci, které nám ranní rozjezd usnadní a zajistí optimální funkci všech orgánů. Zvedají se například hladiny některých hormonů, krevní tlak apod. Vstaneme a tělo je připravené.

Kolem „modrého světla“ vzniká trochu hysterie.

Při stávajícím zimním režimu také několik měsíců nevstáváme za světla – a přežijeme to.

Ano, ale letním časem bychom martyrium prodloužili o několik měsíců. Pro spoustu lidí – a myslíme i na děti – by to znamenalo nejen

diskomfort, ale velmi pravděpodobně i vyšší riziko zdravotních problémů. Trpíváte jarní únavou?

Určitě jsem ji několikrát silně pocítila.

Dlouho se soudilo, že jde o únavu kvůli nedostatku vitaminů v zimě, ale v našich podmínkách rozhodně nemůžeme o nedostatku mluvit, ovoce a zeleninu můžeme mít, kdykoli se nám namane, a přesto se řada lidí cítí na jaře vyčerpaně a jen pomalu sbírá síly. Proto se vědci kloní k názoru, že jarní únava pramení z nedostatku světla během zimy. A co se stane, když si temná rána prodloužíme? Nemáme sice důkazy, protože takový experiment s lidmi – když nepočítám zmíněné

Rusko – se ještě neuskutečnil, ale na základě našich vědomostí o správné synchronizaci tělesných biorytmů s denní dobou můžeme soudit, jaký by to pro mnohé lidi mohl být problém.

Jaké zdravotní potíže by mohly nastat?

S velkou pravděpodobností by se časem zvýšil výskyt chorob, které dnes souhrnně označujeme jako civilizační: neuro-psychiatrických, kardiovaskulárních a metabolických. Je například známo, že výskyt infarktu myokardu vykazuje denní závislost a vrcholí v ranních hodinách, což se do jisté míry přisuzuje právě „nezahřátému motoru“.

V posledních letech se taky hodně mluví o neblahém vlivu takzvaného modrého světla na tvorbu melatoninu, což podle některých expertů činí náš spánek méně kvalitním a vede také k řadě onemocnění. Co si o modrém světle myslíte vy?

Myslím, že kolem něj vzniká trochu hysterie. Není pochyb, že modré světlo je ve spektru denního světla při seřizování našich vnitřních hodin nejučinnější, časový systém v našem těle si na něj vytvořil největší citlivost, máme pro něj vyvinuty speciální fotoreceptory v oku. A je pravda, že donedávna byla v umělém světle modrá složka malá; problematika modrého světla se vynořila až s LED lampami a novými modernějšími nebo úspornějšími zdroji.

Některé informace o jeho vlivu na naše zdraví jsou ale skutečně zavádějící. Neexistuje žádný důkaz, že by modrá složka v umělém světle způsobovala větší komplikace než osvětlování se intenzivním světlem bez modrého spektra. Je to otázka intenzity, délky expozice, doby, kdy na nás světlo působí, naší předchozí



AREÁL
PRACOVIŠTĚ
ALENY SUMOVÉ
V PRAŽSKÉ KRČI



DOC.

PHARMDR.

ALENA

SUMOVÁ,

DSC.

Je vedoucí oddělení neurohumorální regulace ve Fyziologickém ústavu AV ČR. Vedle toho zastává funkci vědeckého sekretáře v Evropské společnosti biologických rytmů. Je nositelkou řady vědeckých ocenění. Zabývá se neurofyziologií, neurohumorální regulací (tj. vzájemnou komunikací mezi buňkami živého organismu) a chronobiologií (tj. cyklickými ději v živých organismech).

„světelné historie“ a také individuální citlivosti ke světlu. Jinými slovy, i světlo bez modré složky může ovlivnit tvorbu hormonu melatoninu. Jisté je, že osvětlování se dlouho do noci je nežádoucí, jelikož posouvá naše vnitřní hodiny, a tím i dobu nástupu spánku do pozdějších hodin. Pokud jde o dlouhodobý jev a pokud nemáme dostatek ranního světla, můžeme si přivodit stav, který jsme si popsali jako sociální jet lag.

Tvorba melatoninu je řízena našimi vnitřními hodinami a citlivost ke světlu je jedním z mechanismů, který umožňuje snadněji uzpůsobit jeho hladinu vnějším světelným podmínkám. Tato skutečnost je velmi důležitá pro jeho hlavní úlohu ve fyziologii savců, to je přizpůsobení se změnám roční doby. Bude to asi znít kacířsky, protože z jiných zdrojů slyšíte něco jiného, ale poklesu hladiny melatoninu po osvětlení je přisuzována až příliš významná úloha z hlediska zdraví.

Řada lidí podléhá panice, protože se večer osvětili a oni jsou přesvědčeni,

že kvůli tomu onemocní. Ano, z experimentálních výsledků na zvířatech je zřejmé, že melatonin hraje roli například při antioxidačních procesech v buňkách. Velmi pravděpodobně se však jedná o mechanismy souvisejícími s melatoninem, které si tyto buňky samy lokálně tvoří ve vysokých koncentracích ve střevech, v kůži, v sítnici v oku a vůbec nesouvisí s melatoninem, který se vytváří v epifyze a odpovídá na změnu osvětlení.

Jak se tedy máme chovat, pokud chceme udělat pro své zdraví v rámci našich možností co nejvíc?

Snažit se nad svým životním stylem trochu přemýšlet. Naordinovat si co nejvíce času venku na denním světle, které umělé světlo doma nebo v interiéru nikdy nenahradí. Večer si zbytečně nesvítit, když to není nutné. Tlumit světlo lamp, dalších spotřebičů, mobilů i tabletů. Pokud věříte na modré světlo, i ono jde odfiltrovat. Pokud možno chodit v rozumnou dobu a v pravidelný čas spát. ■



Akademie věd
České republiky

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



PROGRAM: MOLEKULY A MATERIÁLY PRO ŽIVOT



HYDROGELOVÉ
KULIČKY SLOUŽÍ
JAKO DEKORACE,
ALE SPECIFICKÉ
HYDROGELY
S KONTROLOVANÝMI
VLASTNOSTMI MAJÍ
VYUŽITÍ
IV MEDICÍNĚ.

Polymery pro chytrou medicínu

ONDŘEJ VRTIŠKA

Jak zlikvidovat nádor v oku batolete, aniž by malý pacient trpěl závažnými vedlejšími účinky chemoterapie? Je možné rozsvítit těžko přístupný nádor v krku, aby chirurg přesně viděl, kterou tkáň odstranit? Existuje pomoc pro nemocné trpící ukládáním mědi v těle? Řešení podobných problémů hledají chemikové z Ústavu makromolekulární chemie AV ČR ve spolupráci s lékaři a experty z dalších oborů. Využívají k tomu polymery, v jejichž výzkumu má ústav tradici už od dob Otto Wichterleho.

Na fotografiích pořízených s bleskem na nás často místo našich blízkých hledí postavy z béčkového hororu. Oči jim červeně svítí, protože světlo blesku se odrazilo od sítnice. Ale může být hůř. Běda, když se na snímcích malých dě-

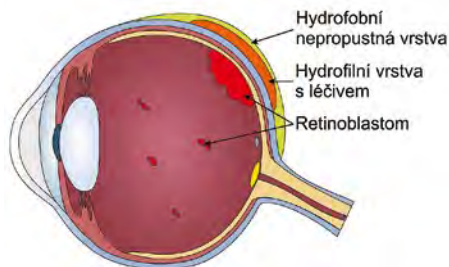
tí místo červených očí objeví oči bílé. Červené oči se „vyléčí“ úpravou v počítači, jde o pouhý důsledek použité techniky snímání. Bílé oči si ce v počítači napravíme podobně, ale s odstraněním jejich příčiny to tak snadné není.

Bílá skvrna v dětském oku totiž bývá prvním viditelným projevem retinoblastomu – zhoubného nádoru, který, jak už název napovídá, vzniká z buněk sítnice (retiny). Jak roste, shluky nádorových buněk se uvolňují a volně plavou ve sklivci. Neléčený nádor se zvětšuje a postupně se šíří do dalších tkání.

Poměrně vzácné onemocnění se objevuje u jednoho ze 17 000 novorozenců, diagnostikováno bývá zpravidla až po prvních narozeninách. U nás ročně onemocní do deseti dětí, na celém světě je za stejnou dobu rozpoznán asi u 8000 nových pacientů. (Skutečný počet je vyšší, v chudých zemích se mnoho postižených do statistik nedostane.)

Pro farmaceutické firmy nejde o žádný pořádný byznys a do vývoje nových léků s náklady ve stovkách milionů dolarů se žádná nehrne – na rozdíl od léků třeba

Pro farmaceutické firmy nejde o žádný pořádný byznys.



DVOUVRSTVÝ HYDROGELOVÝ IMPLANTÁT PRO LÉČBU
RETINOBLASTOMU UVOLŇUJE CYTOSTATIKUM DIFUNDUJÍCÍ
DO OČNÍHO BULBU A ZÁROVEŇ CHRÁNÍ OKOLNÍ TKÁŇ



PŘIPRAVENÉ
VZORKY
HYDROGELŮ
PRO TESTOVÁNÍ
SORPCE
A DESORPCE
CYTOSTATIK



RNDR.

JAKUB

ŠIRC,

P.H.D.

na vysoký tlak. Stávající metody léčby přitom mají svá úskalí. U rakoviny ostatně nic výjimečného.

Léčba: něco za něco

Retinoblastom se standardně léčí nitrožilním podáním cytostatika. Běžně se používá například topotecan, který blokuje enzym důležitý pro kopírování DNA, nebo vincristin, jenž brání správnému rozdělení chromozomů při dělení buňky. Jenomže cytostatika nepůsobí jen na nádorové buňky, ale i na zdravé tkáně. Jsou to vlastně jedy, které při správném dávkování dovedou zachránit život, ale jejich vedlejší účinky nejsou zanedbatelné.

„Mezi účinnou dávkou dostatečnou k zahubení nádoru a dávkou, která už je nebezpečná pro okolní tkáň, je bohužel velmi malé terapeutické okno.“ Když se vincristin aplikuje nitrožilně a nešťastnou náhodou vypadne jehla z žíly, je to problém, vznikají závažné nekrózy, které někdy mohou končit amputací ruky,“ přibližuje účinky jednoho z léků Jakub Širc z oddělení polymerních sítí a gelů Ústavu makromolekulární chemie AV ČR. Ale žádná nehoda ani nemusí nastat. I při bezchybném podání se dětští pacienti

potýkají s řadou potíží, mimo jiné s úbytkem bílých krvinek a s následnými problémy pramenícími z oslabené imunity a náchylnostmi k infekcím. Většina dětí sice přežije, ale mohou mít trvalé pozdní následky včetně ztráty zraku. Závažnost ztráty zvyšuje skutečnost, že u 40 % případů jsou retinoblastomem postiženy obě oči.

Při podání léku do žíly je velmi těžké dosáhnout potřebné terapeutické koncentrace ve sklivci postiženého oka a nepoškodit přitom zdravé tkáně. Oči představují asi 0,05 % hmotnosti celého těla, takže z celkového množství podaného léku do nich doputuje jen malá část. K buňkám odděleným od hlavní nádorové masy navíc neexistuje přímá cesta. „Tyto buňky nejsou napojeny na cévní zásobení krví, takže distribuce léčiva k nim je velice neefektivní,“ vysvětluje Jakub Širc.

Sofistikovanější metodou je doprava cytostatika až do cévy zásobující nádorem postižené oko pomocí katetru zaváděného tříselnou tepnou. Jedná se však o nesmírně náročný zákrok vyžadující zkušenost a nákladné vybavení. Chyba by mohla vést například k mozkové příhodě

Vystudoval analytickou chemii na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. Působí v Oddělení polymerních sítí a gelů Ústavu makromolekulární chemie AV ČR a v centru BIOCEV vede Laboratoř čistých prostor pro výrobu polymerních materiálů pro medicínální aplikace. Zabývá se vývojem polymerních nosičů pro lokální aplikaci léčiv, především pro protinádorovou terapii a pro oftalmologické aplikace. Ve volném čase se věnuje své rodině, rád cestuje, v roce 2006 pracoval pro organizaci Člověk v tísni v zemětřesením postižené pákistánské části Kašmíru.

VNITŘNÍ
HYDROFILNÍ
VRSTVA
IMPLANTÁTU
ODPOVÍDAJÍCÍ
ZAKŘIVENÍ
OČNÍHO
BULBU



s trvalými následky – manipulace uvnitř tepen v hlavě není jednoduchá. Zákrok je náročný i v evropských podmínkách, v méně rozvinutých zemích zatím pro většinu pacientů nepřipadá v úvahu.

Další možností, jak dostat cytostatikum až k nádorovým buňkám, je injekční aplikace přímo do oka. Takový zákrok je však

spojen s rizikem, že se místem vpichu nádorové buňky dostanou ven. „A to by byl velký průšvih. Pokud se nádor generalizuje, úmrtnost je kolem 85 %“, říká Jakub Širc. Existuje už postup, který umožňuje, že se jehla během aplikace zmrazí a nádorové „utečence“ zničí. Nevýhodou této metody však je, že se v jedné dávce

stále podává velké množství cytostatika. Krevním řečištěm se poměrně rychle odplaví, jeho působení na nádorové buňky je tudíž časově omezené a koncentrované léčivo může poškodit sítnici nebo duhovku.

Hydrogelový implantát

Nebylo by možné dodávat léčivo pouze k nádorovým buňkám, a to dlouhodobě a v množství, které by neohrožovalo okolní tkáň?

Retinoblastom se dříve léčil i ozařováním. Tento způsob však byl spojen s velkým rizikem druhotného zhoubného bujení, protože dětská nervová tkáň je na působení ionizujícího záření velmi citlivá. Aby se riziko omezilo, lékaři používali tzv. brachyterapii – zlaté implantáty umístěné na zadní oční segment. Zářiče na vnitřním povrchu působí na nádorové buňky a zlato funguje jako stínění směrem k okolní tkáni.

„Když jsme se o tom bavili s dětským onkologem Karlem Švojcem a s oftalmologem Pavlem Pochopem, kteří odpovídají za léčbu retinoblastomů ve Fakultní nemocnici v Motole, napadlo nás, že by se dal objemný zlatý implantát nahradit hydrogelovou vrstvičkou, z níž by se do oka v řádu desítek hodin nebo dnů cytostatikum postupně uvolňovalo,“ popisuje Jakub Širc inspiraci pro výzkum, kterému se (mimo jiné) v posledních letech věnuje.

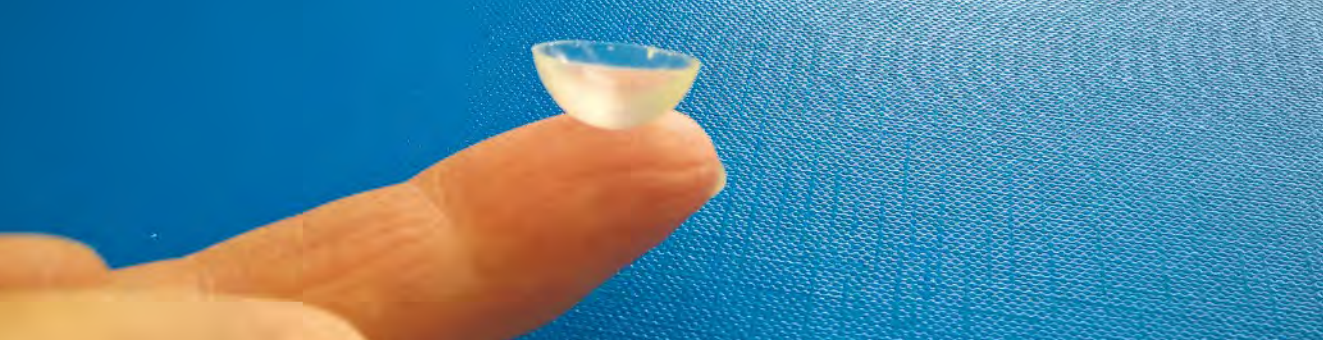
Hydrogelový implantát by byl kompatibilní s okolní tkání po chemické i mechanické stránce, tělo by na něj reagovalo podobně jako na kontaktní nebo nitrooční umělou čočku. A zatímco zlatý implantát se musí ke sklěře (bělímě, ochranné vrstvě oka půl milimetru silné) přišít, hydrogel by stačilo volně zavést na vnější povrch zadního segmentu oka, aplikace by byla mnohem méně invazivní.

„V žádnou chvíli by tam nevznikla tak vysoká koncentrace cytostatika jako při injekční aplikaci. Léčivo by postupně z plochy několika desítek milimetrů čtverečních difundovalo do oka,“ říká Jakub Širc. Místa pro léčivo by v implantátu bylo dost. I při nitrožilní aplikaci, při níž se lék roznese po celém těle, se dětským pacientům podávají řádově desetiny miligramu léku na kilogram hmotnosti dítěte. Při zacílení jen na oko, představující 0,05 % hmotnosti těla, by stačilo množství vskutku nepatrné.

Odborníci z Ústavu makromolekulární chemie Akademie věd nebyli první, kteří s nápadem na využití hydrogelů přišli, originální je však jejich řešení cíleného směřování léčiva. Implantát by mohl sestávat ze dvou vrstev odlišných vlastností. Hlavní, k oku orientovaná hydrofilní vrstva by byla napuštěna léčivem, které by se z ní postupně uvolňovalo. Překrývala by ji ochranná hydrofobní vrstva zabraňující difuzi léčiva směrem ke zdravé a hojně prokrvené tkáni, jíž by se jinak mohlo dostat dále do těla. Jakub Širc doufá, že tato léčebná metoda by jednou mohla pomáhat dětem na celém světě: „Oftalmologové nám říkají, že vložení takového implantátu by bylo relativně jednoduché, na rozdíl např. od aplikace cytostatika katetrem by se mohlo provádět i v zemích, jejichž zdravotní systém není zdaleka tak vyspělý jako u nás.“

Po několika dnech či týdnech by lékaři implantát opět odstranili. „Dal by se připravit i tak, aby ho tělo postupně

K oku orientovaná hydrofilní vrstva by byla napuštěna léčivem.



VNĚJŠÍ NEPROPUSTNÁ
ČÁST IMPLANTÁTU
CHRÁNÍCÍ
VASKULARIZOVANOU
TKÁŇ

vstřebalo, ale museli bychom řešit vliv produktů jeho degradace na organismus. Výrazně by se zkomplikovalo schvalování implantátu pro klinické použití a jeho fungování, protože bychom tak zanesli další mechanismus uvolňování léčiva. Vzhledem k snadné aplikaci i vyjmutí proto dáváme přednost vložení na dobu určitou,“ odhaluje Jakub Širc další aspekt, který bylo třeba zohlednit.

Odkaz Otto Wichterleho

Od nápadu k realizaci je však v medicíně zpravidla dlouhá cesta, během níž se musí vymyslet, připravit a vyzkoušet spousta věcí, aby vše fungovalo, jak má. V tomto případě byla jedním z prvních kroků volba vhodných materiálů.

Pro vnitřní vrstvu sloužící jako zásobník léčiva nakonec padla volba na polymer, jehož základní stavební jednotkou je 2-hydroxyethyl-methakrylát. Pokud

vám zní složitě, vězte, že přesný název, který je v souladu s mezinárodně platnými pravidly chemického názvosloví, je ještě složitější: 2-hydroxyethyl-2-methylprop-2-enoát. My si však vystačíme se zkratkou HEMA.

„HEMA gel měl v rovnováze s vodou asi 40 % vody, měl docela dobré mechanické vlastnosti a podle očekávání byl dokonce čirý. Bylo tedy možné představit si i kontaktní čočku z tohoto materiálu, jak jsem anticipoval už ve své původní patentové přihlášce,“ píše Otto Wichterle ve své knize *Vzpomínky* (Academia, 2005). Ano, právě tento polymer připravil počátkem padesátých let minulého století pozdější zakladatel Ústavu makromolekulární chemie Akademie věd

s kolegou Drahoslavem Límem a o deset let později ho použil k výrobě prvních gelových kontaktních čoček.

Poly-HEMA se dnes v medicíně používá mnoha způsoby. Kromě již zmíněných kontaktních a nitroočních čoček se z něj a z jeho upravených variant vyrábí například „lešení“ pro pěstování buněk při výrobě bioimplantátů, slouží i k přípravě různých mastí a gelových přípravků. Tělo ho dobře snáší, při správné aplikaci nepůsobí mechanické podráždění a imunitní systém na něj nereaguje. Mnohaletá zkušenost s jeho využíváním je obrovskou výhodou – souhlas příslušných regulačních orgánů (např. americké FDA, českého SÚKL) s jeho novým využitím by neměl představovat větší administrativní problém.

Vnější vrstva implantátu sloužící jako ochranný štít by mohla být z méně známého polymeru poly-EOEMA (2-ethoxyethyl-methakrylát). V rovnovážném stavu pojme vody mnohem méně, pouze 1 %. I díky minimu vody je poly-EOEMA pro cytostatika těžko překonatelnou bariérou.

Aby zkratek nebylo málo, hydrofilní polymer, jenž slouží jako zásobník léčiva, obsahuje kromě HEMA ještě malé množství další látky, EDMA. Ta funguje jako síťovadlo – její množství spoluurčuje míru propojení polymeru, a tím i jeho mechanické a fyzikální vlastnosti. Tým Jakuba Širce experimentoval s různým podílem této látky – od 0,3 do 0,7 %. „Největší sorpční kapacitu pro léčivo k našemu překvapení vykazovala směs s 0,5 % EDMA. Vyšší i nižší podíl vykazovaly sorpce nižší. Domníváme se, že proti sobě působí dva faktory, které jsou při 0,5% podílu v rovnováze: interakce mezi molekulami léku a hydrofobními doménami vytvořenými síťovadlem na jedné

Zatím je to jen hypotéza zasluhující detailnější prozkoumání.



straně a rostoucí rigidita polymerní sítě při zvyšujícím se podílu EDMA. Ale je to zatím jen hypotéza zasluhující detailnější prozkoumání,” vysvětluje Jakub Širc. Každopádně se ukazuje, že i zdánlivě malé rozdíly mohou vlastnosti materiálu výrazně ovlivnit.

Další výzvou je sama výroba implantátu. Pro experimenty stačilo vyrobit dvouvrstvu, což nebyl takový problém. Poly-HEMA i poly-EOEMA mají velmi podobný chemický základ, při jejich polymeraci (spouštěné UV zářením) se používá stejné síťovadlo a obě vrstvy se relativně dobře spojují. Těžší je vyvinout technologický postup, jenž umožní dosáhnout takového tvaru, který by kopíroval zakřivení očního bulbu a byl použitelný v klinické praxi.

Jakub Širc s kolegy se nejprve inspirovali metodou Otto Wichterleho. Ten na Štědrý den roku 1961 odlil první čtyři kontaktní čočky na provizorním zařízení sestaveném ze stavebnice Merkur a z dynamy jízdního kola. „My jsme místo Merkurů použili laboratorní hřídlové míchadlo, které jsme otočili vzhůru

nohama a umístili na něj formu z polypropylenu s tvarem odpovídajícím vnějšímu zakřivení implantátu. Do ní jsme kápeli polymerizační směs EOEMA a v další fázi HEMA. Zkoušeli jsme různá množství a různé otáčky, měřili jsme tloušťku vrstev a distribuci obou polymerů ve vzdálenosti od středové osy,” popisuje Jakub Širc první pokusy. Výsledky odstředivého odlévání však nebyly uspokojivé a cesta zřejmě povede spíše přes odlévání do formy, která zajistí správný tvar jak vnější, tak vnitřní strany implantátu.

Slepičí vajíčka a prasečí oči

Jak ověřit, že zvolené materiály mají opravdu takové vlastnosti, které jsou pro implantát uvolňující cytostatikum do dětského oka potřeba? Než bude možné přistoupit ke klinickým zkouškám na pacientech, je samozřejmě nutné udělat mnoho testů. Každý z nich má svá omezení, zodpoví jen část otázek a různé důležité faktory zanedbá. Lepší představu poskytne až kombinace výsledků.

V první řadě se muselo samozřejmě ověřit, zda poly-HEMA vůbec bude



VZOREK
OBARVENÉHO
POLYMERU
PRO TESTOVÁNÍ
SPOJENÍ
HYDROFOBNI
A HYDROFILNÍ
VRSTVY

schopna pojmout dostatečné množství cytostatika. Ověření dopadlo na výbornou – zatímco gram tohoto polymeru může obsahovat stovky mikrogramů topotecanu nebo vincristinu, koncentrace léčiv v poly-EOEMA se na konci pokusu pohybovala v tisícinách mikrogramu na gram. Jinými slovy: z tohoto základního pohledu zásobník i bariéra skutečně fungují, jak mají.

Jak se ale osvědčí prostupnost hydrogelu pro léčivo a jeho uvolňování? Léčivem nasycený hydrogel vědci na několik dní ponořili do vody a průběžně měřili, jak se léčivo uvolňuje. Vincristin do ní přešel během prvních 24 hodin prakticky všechen, zatímco převážná část molekul topotecanu zůstala i po pěti dnech v hydrogelu. Zbytek se uvolňoval pomalu během dalších dvaceti dní. Jak ale zjistíme později při pokusech

s živými buňkami, nelze z těchto základních měření vyvozovat dalekosáhlé závěry, protože když se do čistě fyzikálních a chemických dějů vloží biologie, dění se zpravidla zkomplikuje.

Další informace poskytly experimenty se zařízením, které si Jakub Širc se svými spolupracovníky vypůjčil od kolegů

studujících děje na membránách. Se-stává ze dvou komůrek. Ve spodní části jsou propojeny trubičkou, kterou lze uprostřed přehradit přepážkou ze zkoumaného materiálu. Vědci do jedné komůrky umístili roztok s léčivem, do druhé destilovanou vodu a měřili rychlost difuze molekul léčiva přes membránu z poly-HEMA. V dalším experimentu dali do obou komůrek čistou vodu a oddělili je dvouvrstvým hydrogelem, do kterého předtím sorbovali topotecan nebo vincristin. Zatímco na straně poly-HEMA se léčivo postupně do vody uvolňovalo, na straně poly-EOEMA se nic takového nedělo. Při následujícím pokusu sledovali pronikání léčiva přes sklěru (bělimu) z prasečího oka, která se velmi podobá lidské. Ověřili si další nutnou podmínku: že se léčivo může dostat přes oční stěnu k nádoru a do sklivce.

Komůrkami však nelze simulovat vliv nitroočního tlaku a další specifické podmínky skutečného oka. Tento nedostatek částečně vyřešily experimenty s vyjmутými prasečíma očima. Autoři výzkumu je ponořili do roztoku s léčivem tak, aby molekuly léku musely pronikat přes sklěru, a nikoli snadnější cestou v místě, kterým do oka vstupují cévy a oční nerv. Difuzi mohli sledovat i mikroskopicky – na vzorcích odebíraných v různých intervalech po několika hodinách. „Topotecan je fluorescenčně aktivní, takže v konfokálním mikroskopu je dobře vidět. Naměřili jsme slušné koncentrace ve sklěře i ve sklivci,” říká Jakub Širc.

S kolegy z 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a z Fakultní nemocnice v Motole sledovali i působení léčiv skrytých v hydrogelu na buněčnou kulturu lidského retinoblastomu. Zatímco buňky vystavené působení čistého hydrogelu nijak ne-strádaly, poly-HEMA nasycená léčivem usmrtila během 24 hodin na 60 % buněk.

Dlouhodobé působení je pro nasazení implantátu důležité.



Jeden vzorek hydrogelu nechali vědci postupně působit na více buněčných kultur. A v dalších cyklech se začaly mezi oběma cytostatiky projevovat rozdíly. Účinnost topotecanu po druhém kole výrazně poklesla a při pátém opakování přeživalo asi 90 % buněk; hydrogel s vincristinem si neměnnou účinnost po všech šest cyklů, v nichž pokus probíhal, udržel.

Právě dlouhodobé působení je pro nasazení implantátu důležité. I proto se experimenty soustředily na poměrně stabilní topotecan a vincristin. Proti retinoblastomu působí i jiné léky, ale například melphalan se v organismu rozpadá už za 75 minut, takže pomalé uvolňování z hydrogelu by nebylo účinné.

Nejblíže skutečným podmínkám v organismu se přiblížily experimenty na slepičích vejcích, s nimiž pomohli odborníci z univerzity v německém Marburgu. Z oplodněného vejce v devátém dni vývoje se odstraní část skořápky a odhalí se tzv. chorioalantoidní membrána – součást zárodečných obalů. Ve sterilních podmínkách se potom na membránu položí kousky hydrogelu se sorbovanými léčivy a sleduje se jejich účinek. „Tato metoda je výhodná i z etického hlediska – netrápíme při ní pokusná zvířata“ vysvětluje Jakub Širc.

Čistě hydrogely neměly na krevní řečiště chorioalantoidní membrány ani po pěti dnech žádný pozorovatelný vliv.

KOMPLETACE
FORMY PRO
PŘÍPRAVU
HYDROGELOVÝCH
FÓLIÍ POMOCÍ
RADIKÁLOVÉ
POLYMERIZACE
INICIOVANÉ
UV ZÁŘENÍM



RNDR.

TOMÁŠ

ETRYCH,

PH.D., DSC.

Vystudoval chemii na Přírodovědecké fakultě UK. V Ústavu makromolekulární chemie AV ČR vede oddělení biolékařských polymerů a v centru BIOCEV je garantem projektu Polymerní nanoterapeutika pro léčbu nádorových a infekčních onemocnění.

Podobně neškodný byl i vzorek poly-EOEMA obsahující cytostatika. Zcela jinak se ovšem vyvíjely pokusy s léky v poly-HEMA. Vincristin už po hodině vedl k omezení průtoku krve v cévách pod gelem. Po dni bylo patrné krvácení a značné poškození. Během dalších dní se tkáň zajizvila a cévní zásobenění se začalo obnovovat. Topotecan při nižších koncentracích nevykázal žádný efekt. Ani při vyšších dávkách nebylo vidět poškození cév, ale polovina embryí pokus nepřežila, takže k nějakému toxickému působení zjevně došlo.

„Je otázka, jak se implantát bude chovat in vivo. Jak zafunguje mechanický stres u oka, enzymatická aktivita, odplavování léčiva krevním řečištěm a další faktory, které se in vitro nedají zcela napodobit,“ upozorňuje Jakub Širc a dodává: „Problém je, že nelze využít testy na myších nebo na potkaních. Jejich oko je příliš malé. Bude velmi důležité sledovat farmakokinetiku, tedy nárůst koncentrace cytostatika ve sklivci. K tomu potřebujeme odebrat 100 až 200 mikrolitrů sklivce – z potkaního oka to není možné. Ani výroba



dostatečně malého implantátu by nebyla jednoduchá.“

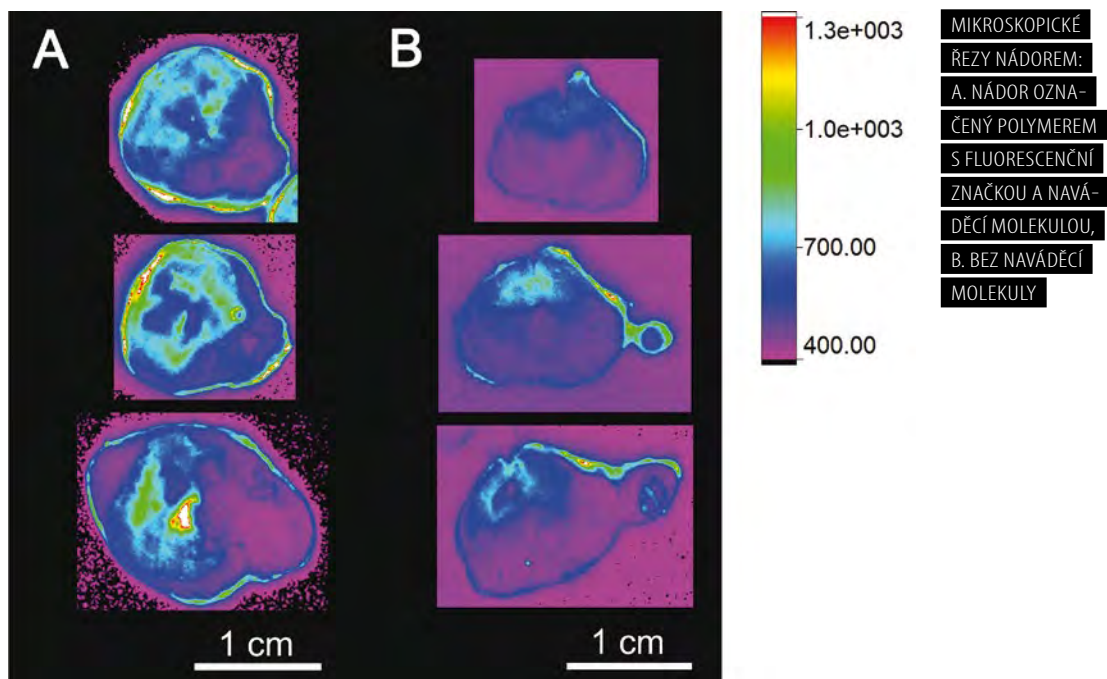
Pokusy se proto musí uskutečnit na králících nebo na prasatech. V plánu jsou experimenty ve spolupráci s Ústavem živočišné fyziologie a genetiky Akademie věd v Liběchově. Do prasečího oka snad bude v budoucnu možné implantovat buňky lidského retinoblastomu a zařídit, aby je imunitní systém prasete nezlikvidoval. Vznikl by zvířecí model lidského onemocnění – nejbližší možné přiblížení skutečné terapii před tím, než by došlo na klinickou studii s lidskými pacienty.



EXPERIMENT NA CHORIOALANTOIDNÍ MEMBRÁNE SLEPIČÍHO VEJCE.

A. Z HYDROGELU POLY-HEMA SE UVOLŇUJE CYTOSTATIKUM, DOCHÁZÍ K POŠKOZENÍ KREVŇÍHO ŘEČIŠTĚ MEMBRÁNY.

B. HYDROGEL POLY-EOEMA NEUVOLŇUJE CYTOSTATIKUM, KREVŇÍ ŘEČIŠTĚ ZŮSTÁVÁ BEZ PATRNÝCH ZMĚN.



Navigace pro chirurgy

Polymery však mohou lékařům pomoci vypořádat se i s jinými typy nádorů. Tomáš Etrych, vedoucí oddělení biolékařských polymerů Ústavu makromolekulární chemie AV ČR, se s kolegy zabývá možností vizuálně odlišit nádory od okolní tkáně, aby chirurg při operaci přesně viděl, co je třeba odstranit.

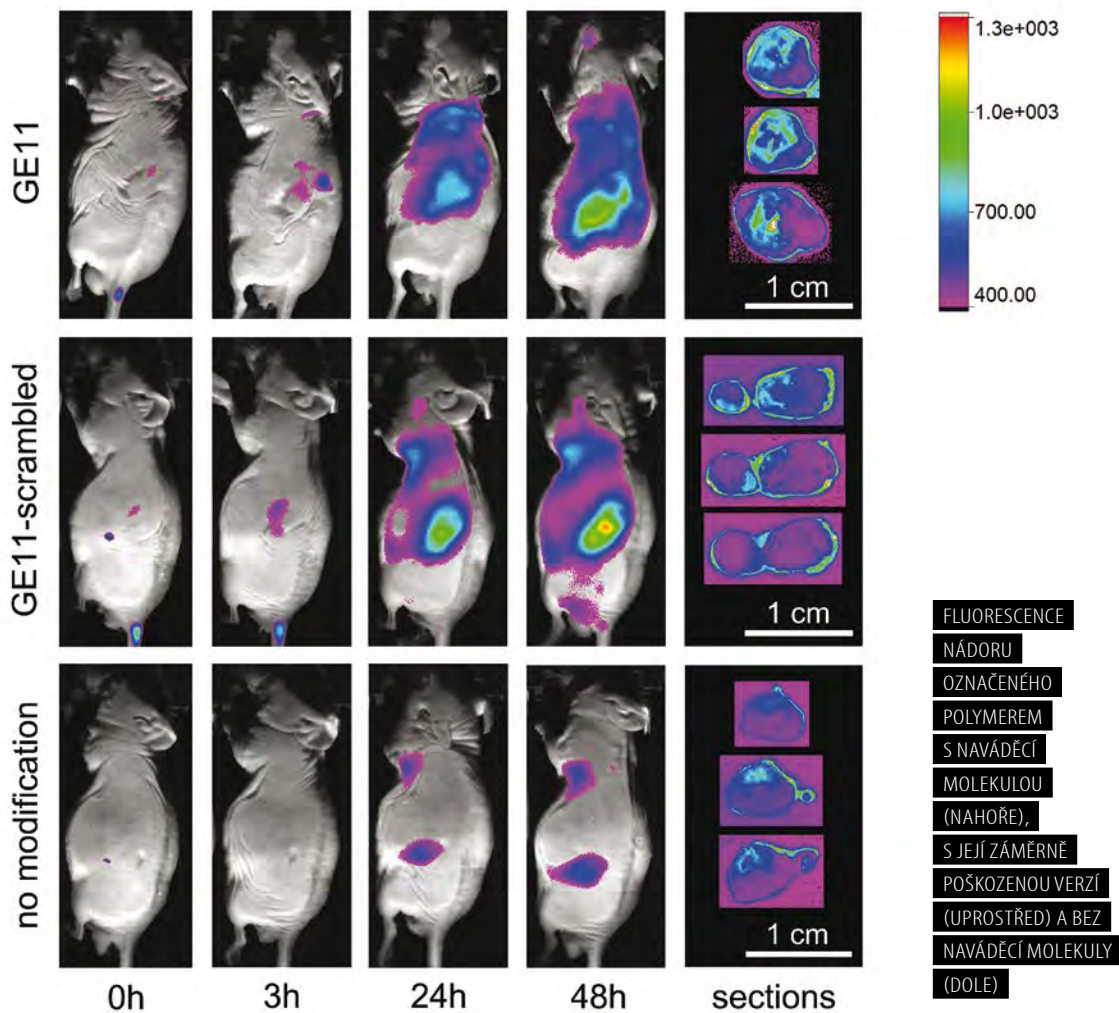
„Máme dobré kontakty s klinikou ORL Fakultní nemocnice v Motole, jejíž součástí je i nádorová chirurgie hlavy a krku. Při operacích se často používají endoskopické metody, protože tyto nádory nejsou přístupné zvenčí. A chirurgové se potýkají s problémem, jak odebrat celé ložisko, ale zároveň nevyjmout zbytečně mnoho zdravé tkáně. Speciálně u hlasivek, hrtanu a hltanu může úbytek zdravé tkáně i při úspěšném odstranění nádoru výrazně zhoršit kvalitu života. Hrozí potíže s polykáním, ztráta hlasu a podobně,“ vysvětluje Tomáš Etrych.

Nádory epitelové tkáně krku a hlavy celosvětově postihují asi 600 000 lidí ročně, takže ve srovnání s retinoblastomem je pacientů řádově více a vývoj nových terapeutických metod je zajímavý

i z komerčního hlediska. Zviditelnění operovaného nádoru by navíc mohlo být užitečné i u kolorektálních karcinomů nebo nádorů prsu. Zkrátka u těch, které se objevují na povrchu těla nebo vnitřních orgánů či nepříliš hluboko pod ním a k nimž se lze dostat endoskopickými nástroji. Omezení je dáno tím, že fluorescence, kterou by bylo možno nádory zviditelnit, proniká jen slabou vrstvou tkáně – zpravidla nanejvýš dva centimetry.

Rozdíly v optických vlastnostech nádorů a okolní tkáně se v omezené míře využívají už v současnosti. Některé nádory totiž vykazují autofluorescenci – po ozáření světlem určité vlnové délky samy vydávají záření, které lze detekovat. Ale tento efekt je velmi slabý a pro spolehlivé odlišení se příliš nehodí. Chirurgové používají i tzv. narrow band imaging (NBI) – endoskopickou metodu, která

Fluorescence
proniká
jen slabou
vrstvou
tkáně.



Značení
by bylo
využitelné
i při
navádění
chirurgických
robotů.

zvýrazňuje změny spojené s rozvojem nádoru pomocí filtrovaného světla, v němž je mezi tkáněmi vyšší kontrast než v obyčejném bílém světle.

Lékaři však stále čekají na metodu, jež by nádorovou tkáň rozsvítila zřetelně a jednoznačně. Bylo by možné

připravit nanosondy, které by vyhledávaly nádorové buňky, navázaly se na ně a označily je miniaturními fluorescenčními „lucerničkami“? Tomáš Etrych věří, že

tomu v principu nic nebrání, jen je třeba převést teorii do praxe. Takové značení by bylo využitelné i při navádění chirurgických robotů, třeba systému Da Vinci, využívaného i v některých českých nemocnicích.

Základem sondy je polymerní nosič, na který lze napojit různé „nástroje“ – v tomto případě fluorescenční značku a molekulu, jež rozpozná nádorové buňky a naváže se na ně, aniž by se zároveň vázala na buňky zdravé.

Vhodný polymer musí být v první řadě biokompatibilní – nesmí organismus mechanicky dráždit, působit toxicky ani vyvolávat imunitní reakci. „V našem

PROTI NÁDORŮM I NADBYTEČNÉ MĚDI

Nápadů, jak by se k diagnostice a terapii lidských chorob daly využít polymery, se v Ústavu makromolekulární chemie AV ČR rodí spousta. Několik z nich rozpracoval i Martin Hrubý z oddělení nadmolekulárních polymerních systémů. Podívejme se alespoň na dva z nich.

Aktivace imunitního systému

Regulační T-lymfocyty jsou bílé krvinky, jejichž přirozeným úkolem je tlumit přehnané imunitní reakce. Brání tak organismus před autoimunitou, tedy před útoky imunitního systému vůči vlastním buňkám. Nádory v pokročilém stadiu svého vývoje však regulační T-lymfocyty zneuvžívají. Dovedou si je vycílit jako bodyguardy a imunitní systém na ně potom nemůže. Martin Hrubý s kolegy připravil polymerní systém, který tuto obranu pomáhá prolomit. Využívá mimo jiné tzv. Toll-like receptory na povrchu některých typů bílých krvinek.

Toll-like receptorů existuje několik typů. Každý z nich reaguje na nějakou látku nebo skupinu látek typických pro patogeny a parazity. Když se s takovou látkou setkají, vyvolají poplach: spustí kaskádu dějů, v jejichž důsledku na postižené místo dorazí další buňky imunitního systému a zaútočí.

Polymerní systém z dílny Martina Hrubého sestává z několika složek. Základem je β -glukan – polysacharid z buněčné stěny hub, v tomto případě z ucha jidášova (*Auricularia auricula-judae*). Ve vodných roztocích se samouspořádává do nanovláken. A na něj reagují některé Toll-like receptory. K polysacharidu je připojen syntetický polymer reagující na teplotu: za pokojové teploty je rozpustný, ale teplota lidského těla způsobí, že se vysráží. Poslední složkou systému je radioaktivní izotop yttria (^{90}Y).

Po vpíchnutí do nádoru se polymer citlivý na teplotu srazí, takže místo putování organismem „zaparkuje“ v nádoru. Radioaktivní yttrium zlikviduje jak nádorové buňky, tak regulační T-lymfocyty. V místě zůstane masa mrtvých buněk přístupná imunitnímu systému. Sražený polymer vytvoří jádro gelovité struktury, na jejímž povrchu je β -glukan. Na něj zareagují Toll-like receptory a výsledkem je silná imunitní reakce,

kteřá se obrátí i proti metastázám. Proti nádoru tak ve dvou vlnách zaútočí nejprve radioaktivní izotop a poté imunitní systém, aniž by bylo nutno ozařováním zatěžovat okolní tkáň.

„**Systém jsme úspěšně ověřili** ve spolupráci s Centrem pokročilého preklinického zobrazování při 1. lékařské fakultě Univerzity Karlovy na myších s lymfomem, polovinu z nich se podařilo vyléčit bez významných vedlejších účinků. Nyní hledáme komerčního partnera,“ říká Martin Hrubý.

Měď pod kontrolou

Wilsonova choroba je vzácné geneticky podmíněné onemocnění, při kterém organismus nedokáže vylučovat měď a ta se pak v těle hromadí. Vede k řadě komplikací, především k poškození jater a k neurologickým potížím. Příznaky lze částečně mírnit úpravou jídelníčku, ale protože měď je obsažena ve všech potravinách a tělo ji v malém množství potřebuje, nepředstavuje dieta samospásné řešení.

Lékaři pacientům předepisují buď nízkomolekulární chelátory mědi (organické molekuly schopné tvořit komplexy s mědí a tím ji neutralizovat), nebo vysoké dávky zinku, který se ve střevě váže na stejný transportér jako měď a omezuje tak její vstřebávání. Oba způsoby léčby však mají vážné vedlejší účinky.

Místo nízkomolekulárních „lapačů mědi“ tým Martina Hrubého připravil polymery (upravené polysacharidy celulózu a chitosan), na něž je navázán silný selektivní chelátor mědi. Polymer se podává spolu s jídlem. Zabráni vstřebávání mědi z potravy, a protože si s ním lidský trávicí systém neví rady, je bezpečně vyloučen stolicí a nemá žádné vedlejší účinky. „Fungování jsme ve spolupráci s 1. lékařskou fakultou Univerzity Karlovy ověřili na potkaním modelu Wilsonovy choroby. Máme ten nápad patentovaný a pracujeme na jeho komerčním využití,“ uzavírá Martin Hrubý.

Klíč musí
pasovat
do zámku,
a k tomu
nestačí jen
správný tvar.



MGR.

MARTIN

HRUBÝ,

PH. D., DSC.

Vystudoval organickou chemii na katedře organické a jaderné chemie Přírodovědecké fakulty UK a v Ústavu polymerů VŠCHT. V oddělení nadmolekulárních polymerních systémů Ústavu makromolekulární chemie AV ČR se zabývá využitím těchto systémů pro cílený transport a řízené uvolňování léčiv a radionuklidů a biokompatibilními polymery obecně. Podílí se na organizaci chemických olympiád, věnuje se popularizaci chemie.

ústavu bylo takových materiálů vyvinuto několik, v našem oddělení pracujeme především s methakrylamidy, nejdůležitější z nich je N-(2-hydroxypropyl) methakrylamid," říká Tomáš Etrych.

Jak a kde svítit?

Fluorescenčních značek zkoušejí v oddělení biolékařských polymerů více. „Snažíme se pohybovat ve vzdálené červené nebo v blízké infračervené oblasti elektromagnetického spektra, protože takové vlnění dobře prochází tkání, a přitom ji moc neohřívá," vysvětluje Tomáš Etrych. Prostupnost tkáněmi totiž roste se zvětšující se vlnovou délkou, ale pokud bychom se od viditelné části spektra posunuli příliš daleko do infračervené oblasti, tkáň by se mohla zahřát natolik, že by hrozilo její tepelné poškození.

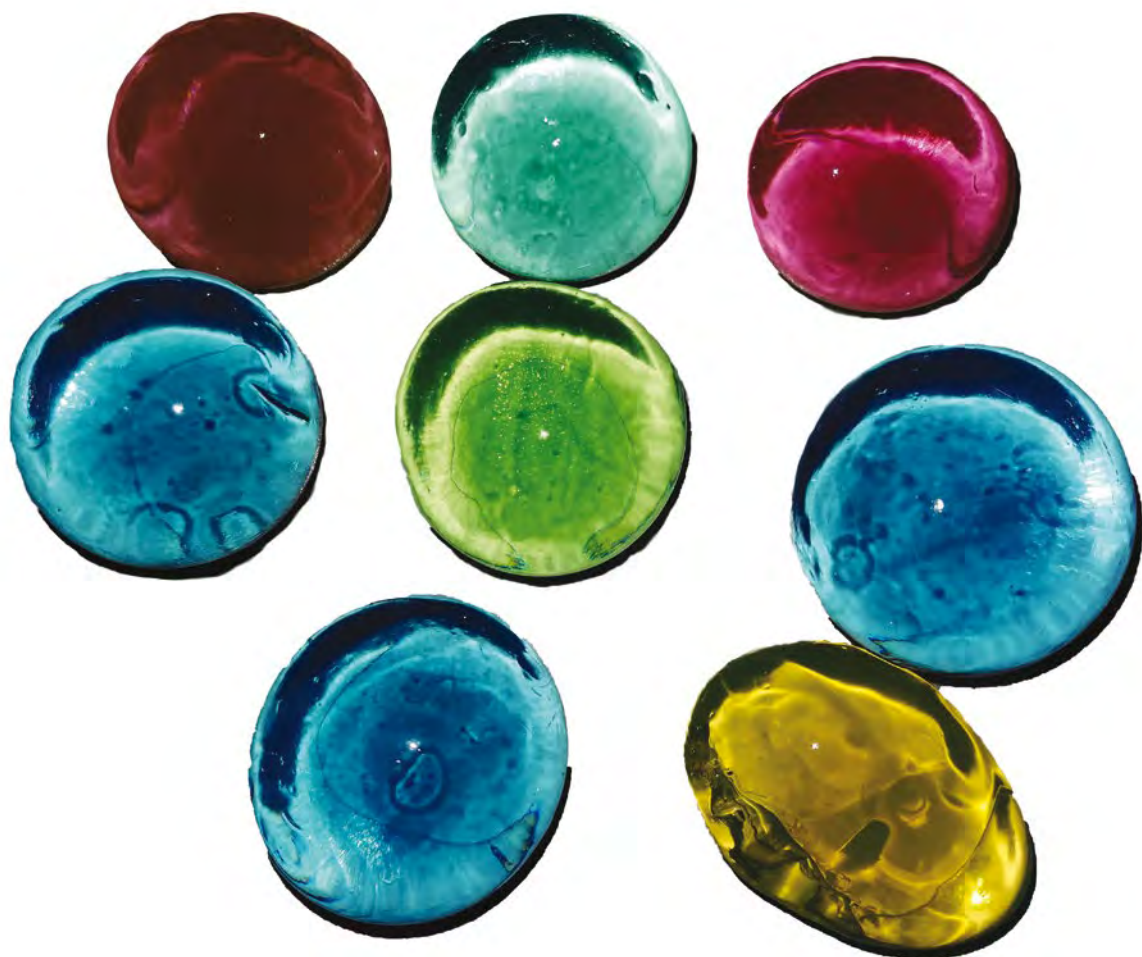
Vhodnou značku je možno volit i podle toho, jakou aktivitu od ní chceme. Má svítit ihned po vpravení do těla? Nebo až v nádoru? Někdy se může hodit, abychom sledovali putování značky organismem, jindy je potřeba co největší kontrast mezi „temnou“ zdravou tkání a svítícím nádorem. Spínačem pro aktivaci značky může být například změna pH – nádory bývají obecně kyselější než okolní tkáň. Podobně lze využít aktivitu enzymů charakteristických pro nádorové buňky.

Ve světě se zkoušejí i fotoakustické značky, které po ozáření vhodnou vlnovou délkou vydají ultrazvukový signál. „Nedávno jsme navázali spolupráci s jedním pracovištěm ve Francii, kde se této možnosti věnují. Měli bychom pro ně vyvíjet polymerní systémy," říká Tomáš Etrych, jehož tým spolupracuje

i s českými biology a lékaři. Mimo jiné s Centrem pokročilého preklinického zobrazování při 1. lékařské fakultě Univerzity Karlovy nebo s už zmíněnou ORL klinikou v Motole, jejíž lékaři jsou pro chemiky „koncovými zákazníky“. To oni nejlépe vědí, jak by se měly nanosondy v praxi chovat, aby co nejvíce usnadnily chirurgické zákroky.

Jak polymer pozná, kde má fluorescenční značku „zaparkovat“? K tomu slouží naváděcí molekuly schopné specificky se navázat na některý z receptorů na povrchu nádorových buněk, případně buněk, jež obstarávají zásobování nádoru. Je potřeba cílit na takový receptor, který je pro nádor charakteristický a zároveň není hojný na povrchu zdravých buněk. Týmu Tomáše Etrycha se v dosavadních testech osvědčil receptor EGFR. Běžně slouží k vazbě epidermálního růstového faktoru – proteinu, který stimuluje buněčné dělení. Na povrchu buněk epitelálních nádorů hlavy a krku (a řady dalších) však bývá přítomen v mnohem větším počtu.

Jako naváděcí molekuly schopné navázat se na EGFR v testech posloužily dva oligopeptidy – krátké řetězce aminokyseliny, stavebních jednotek proteinů. Při hledání vhodných kandidátů bylo třeba myslet nejen na jejich schopnost vázat se na cílový receptor, ale také na jejich interakci s nosným polymerem. „Receptor a naváděcí molekulu si můžeme představit jako zámek a klíč. Klíč musí pasovat do zámku, a k tomu nestačí jen správný tvar. Musím ho také správně uchopit. Pokud ho budu přikládat špatnou stranou, zámek neodemknu. Polymer je velký. Když k němu připojím menší molekulu, může se stát, že ji obalí a učiní ji neviditelnou. Systém je proto potřeba navrhnout tak, aby onen klíč směřoval ven a mohl se spojit se zámkem," vysvětluje Tomáš Etrych.



Máme-li polymerní systém schopný rozpoznat nádorové buňky a selektivně se na ně navázat, nešlo by k nim místo fluorescenční značky vyslat nadílku cytostatik? I tímto problémem se vědci v Ústavu makromolekulární chemie AV ČR zabývají, ale cesta od zobrazení k terapii není tak přímočará. „Léčivo se musí dostat trochu jinak než značka. Tu potřebujeme na povrchu nádoru, ideální je rozsvítit několik řad buněk na hranici. Léčivo je však třeba směřovat do aktivně se dělící části nádoru, ideálně do nádorových kmenových buněk. Princip je podobný, ale v detailech se oba postupy liší. Jsou potřeba jiné směřující skupiny, jiné způsoby aktivace,“ upozorňuje Tomáš Etrych.

Vývoj zatím dospěl do stadia pokusů na buněčných kulturách (buněk z nádorů hltnu a prsu) a na myších s uměle vyvolaným nádorovým bujením – vědci jim do těla injekčně vpravili lidské nádorové buňky, které vytvořily několik milimetrů velké tumory. „Výsledky vypadají zajímavě. Víme už přibližně, jak by nanosonda mohla vypadat, nejvíc nás teď zajímá aktivace signálu. Ve spolupráci s nemocnicemi můžeme systém otestovat na dalších hlodavcích, možná i na nějakém větším zvířeti,“ shrnuje Tomáš Etrych současný stav.

Potvrdí-li se slibné výsledky, bude nutné najít komerčního partnera, možná menší biotechnologickou firmu, která metodu dotáhne do klinické fáze. ■



Akademie věd
České republiky

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



PROGRAM: ROZMANITOST ŽIVOTA A ZDRAVÍ EKOSYSTÉMŮ



HELMOVKA SLIZKÁ (*MYCENA EPIPTERYGIA*)

VÝBORNĚ ROZKLÁDÁ CELULÓZU

V ROSTLINNÉM OPADU.

Houby nejsou na houby

ONDŘEJ VRTIŠKA

V České republice roste více než sto tisíc druhů hub, na celém světě snad tři miliony. Kolik přesně? Nikdo neví. Nejsou tu přitom zdaleka jen pro houbaře. Jsou to živé chemické továrny, recyklační centra a sklady strategických surovin. Odborníci z Akademie věd ČR se je snaží zmapovat, porozumět jejich schopnostem a uchovat jejich bohatství pro budoucnost. Využívají při tom i pomoci nadšených amatérů.

Houby hrají klíčovou roli v rozkladu organické hmoty a v koloběhu živin, většina rostlin včetně stromů by bez těsné spolupráce s nimi (mykorhizy) chřadla, jejich schopnost „skladovat“ uhlík je důležitá pro pochopení role lesních ekosystémů ve vývoji globálního klimatu. Houbami produkované látky jsou zajímavé pro řadu průmyslových aplikací od recyklace po farmacii...

(Nejen) kvůli vyjmenovaným schopnostem se o houby zajímá Petr Baldrian, vedoucí Laboratoře environmentální mikrobiologie Mikrobiologického ústavu

AV ČR. V rámci programu Rozmanitost života a zdraví ekosystémů Strategie AV21 řeší výzkumné téma „Od funkční diverzity k biotechnologickému využití a ochraně hub“.

Už v roce 1959 vznikla v Mikrobiologickém ústavu sbírka kultur bazidiomycet, tedy stopkovýtusných hub, k nimž patří naprostá většina druhů oblíbených houbařů, ale také rzi, sněti a další méně známé skupiny. „Původně byla zaměřena především na uchovávání producentů antibiotik nebo enzymů a dalších biotechnologicky využitelných druhů, dnes jejím prostřednictvím chráníme i vzácné druhy a využíváme ji pro ekosystémový výzkum,“ říká Petr Baldrian.

Co která houba umí

Potenciál sbírky výrazně vzrostl s nástupem nových metod, které umožňují jednotlivé vzorky nejen morfologicky popsat, ale také charakterizovat na genetické úrovni a otestovat jejich základní vlastnosti důležité jak pro biotechnologie, tak pro jejich fungování v ekosystému. S druhovým zařazením pomáhá sekvenace DNA, další informace poskytne

HOUBY MAJÍ
VELKOU SCHOP-
NOST ŠÍŘIT SE
V PROSTŘEDÍ
DÍKY MASIVNÍ
PRODUKCI MIKRO-
SKOPIČKÝCH
VÝTRUSŮ.





měření jejich enzymové aktivity a určení obsahu uhlíku, dusíku a fosforu.

„Pro stanovení enzymové aktivity se část plodnice rozele a inkubuje se s příslušným substrátem, jehož rozklad nás zajímá,“ vysvětluje Petr Baldrian. Reakce se projeví změnou barvy, jejíž intenzitu lze změřit spektrofotometrem, nebo je substrát fluorescenčně značen a aktivitu enzymů vyjadřuje změna fluorescence. Z rychlosti zaznamenaných změn lze poznat, jakým tempem jednotlivé enzymy substrát rozkládají. Ke každé sbírkové položce tak existují data o tom, zda daný druh houby rozkládá například celulózu, lignin, škrob, fenoly, tuky nebo chitin a jak je v tom aktivní.

„Houby mají velkou výhodu, že je jejich produkce enzymů relativně stabilní. Pokud zjistíme vysokou aktivitu enzymů v plodnici, pravděpodobně bude vysoká

i v kultuře. A naopak: pokud v plodnici žádnou aktivitu nezaznamenejeme, je jasné, že si ji nevynutíme ani v kultuře. Samozřejmě se některé houby v laboratorních podmínkách dají přimět, aby aktivitu enzymů zvýšily, ale bavíme se o zvýšení třeba na pětinašobek, ne stonásobek. Základní test enzymové aktivity nám proto poskytuje přibližnou informaci, co která houba umí. Je to jednoduchý první krok, který nám pomáhá najít druhy zajímavé pro biotechnologický výzkum,“ říká Petr Baldrian.

Rychlý test enzymové aktivity pokrývá nejběžnější požadavky průmyslu. Odhalí mimo jiné vysokou aktivitu enzymů rozkládajících složky buněčné stěny rostlin (celulózu, hemicelulózy, lignin). Využití se nabízí například pro rozklad bioodpadu a produkci biopaliv, lignin peroxidáza se uplatňuje i při výrobě papíru, protože

TLEJÍCÍ BUKOVÝ KMEN
JE VLASTNĚ VELKÝM
BIOREAKTOREM.
K ROZKLADU
DŘEVA JSOU
NEZBYTNĚ ÚČINNÉ
ENZYMY, A MRTVÉ
KMENY TAK HOSTÍ
ŘADU BIOTECHNOLO-
GICKY VÝZNAMNÝCH
DRUHŮ HUB.



HOUSENICE ČERVENÁ

(CORDYCEPS MILITARIS)

PARAZITUJE NA TĚLECH

ČLENOVCŮ A ZA TÍM

ÚČELEM PRODUKUJE

ENZYMY

ROZKLÁDAJÍCÍ CHITIN.

VZHLEDEM K RŮSTU NA

BOHATÉM SUBSTRÁTU

JSOU I PLODNICE

BOHATÉ NA DUŠÍK.

zbavuje buničinu zbytků ligninu. Houbová fenoloxidáza je jedním z enzymů využívaných v pracích prášcích...

Z přírody do sbírky

Snahou týmu Petra Baldriana je získat z hub nalezených v přírodě čisté izoláty, které lze dlouhodobě uchovávat a kdykoli v budoucnu využít. Plodnice bývají kontaminovány biologickým materiálem nejrozumnějšího původu. Jsou na nich spory jiných hub, drobná semínka rostlin, hmyzí exkrementy a bakterie...

„Izolát získáváme tak, že plodnici sterilně rozložíme a z vnitřního pletiva

vyjmeme malý kousek na selektivní agar, který potlačuje růst bakterií,“ popisuje Petr Baldrian postup přípravy. Pokud se izolace podaří, výsledkem je kultura obsahující pouze buňky příslušné houby bez kontaminace jinými organismy. Čistotu potvrdí kontrolní analýza DNA.

Čistý izolát pak může putovat do sbírky, v níž bývá pro jistotu uložen dvěma různými metodami. Tradičnější je postupné pasážování s pomalým růstem. Laborant či laborantka kulturu naočkuje na agar obsahující vše, co houba potřebuje k růstu, a uloží ji do chladničky o teplotě 4–7 °C. Houbové mycelium (podhoubí) agar pomalu porůstá, takže vždy po třech až dvanácti měsících (podle druhu houby) se musí kultura přeočkovat. Druhou, modernější metodou je zamrazení

Využití se nabízí např. pro rozklad bioodpadu.



SMRŽ JEDLÝ (*MORCHELLA ESCULENTA*)

JE VÝBORNÁ JEDLÁ HOUBA, TVOŘÍ VELKÉ

PLODNICE, COŽ JE MEZI STOPKOVÝTRUSÝMI

HOUBAMI VÝJIMEČNÉ.

(kryoprezervace) v kapalném dusíku. „Kolegové vždy zjišťují, zda houba snese přímé zamražení čistého mycelia, nebo jí více vyhovuje zamražení s nějakým porézním substrátem, díky kterému ten proces proběhne pomaleji a šetrněji,“ říká Petr Baldrian.

Zamražené vzorky je nutné po několika letech zkontrolovat. Každý izolát se uchovává v několika zkumavkách, z nichž se dvě rozmrazí, mycelium se naočkuje na vhodné médium a zjišťuje se, zda začne růst. Ukáže-li se jakýkoli problém, ať už s růstem, nebo s kontaminací, rozmrazí se i zbývající vzorky a z těch, které si uchovaly životaschopnost, se namnoží nové kultury k dalšímu zamražení.

Od každého biotechnologicky potenciálně zajímavého druhu se odborníci z Mikrobiologického ústavu snaží získat více vzorků z různých lokalit a ve sbírce uchovávat různé kmeny, které se svými vlastnostmi mohou lišit, protože každá populace, z níž byly získány, roste v trochu jiných podmínkách. Díky geografické izolaci se u nich mohly vyselektovat různé vlastnosti, které sice nestačí k oddělení do samostatných druhů, ale pro praktické využití mohou být významné. „Je to jako u lidí. Někdo má vlohy být sprinter, někdo je lepší jako vytrvalec,“ konstatuje Petr Baldrian, který zároveň upozorňuje, že nejde jen o biotechnologie. Izoláty mají význam i pro ochranu druhové rozmanitosti hub. Kdyby některý ze vzácných druhů z přírody vymizel, lze ho z uchované kultury namnožit a pokusit se o jeho návrat: „Zvláště u dřevokazných hub už jsou dokumentované úspěšné reintrodukce. Ve Finsku strkají klacíky osazené izoláty ohrožených druhů hub do vyvrtaných děr ve stromech a takto jim umožňují znovu kolonizovat lesní prostředí.“

Občanská věda

S rozšiřováním sbírky pomáhá i veřejnost. Ústav v rámci Strategie AV21 vyzval amatérské mykology, aby přinášeli nasbírané plodnice. Zájemci o spolupráci však musí splnit několik podmínek nezbytných pro úspěšné zpracování nálezu. Plodnice musí být čerstvé a nesmí být napadené hmyzem, v chladničce mohou být uchovávány nanejvýš jeden den, poté se musí zamrazit. K nálezům je třeba doplnit GPS souřadnice odběru, informaci o substrátu a stromech v okolí, ideálně také fotodokumentaci.

Skvělý příklad tzv. citizen science – občanské vědy, která vědcům reálně pomáhá při sběru (v některých případech i při vyhodnocování) dat a laikům umožňuje, aby se aktivně podíleli na „velké“ vědě.

„Naši spolupracovníci z řad amatérských mykologů jsou opravdoví nadšenci a výrazně nám pomáhají. Získáváme materiál, ke kterému bychom se jinak nedostali. Nebyli bychom schopni financovat terénní výpravy, během nichž bychom houby sbírali sami. A spolupráce je výhodná vzájemně. Určujeme druhy, u nichž si houbaři nebyli determinací jisti, pomáháme jim nacházet odpovědi na otázky, které je zajímají,“ chválí si spolupráci veřejnosti Petr Baldrian.

Amatérští mykologové sledují, které houby už ve sbírce jsou, a snaží se přinášet druhy dosud nezmapované. Ročně se od nich sejdou plodnice asi 300 nebo 400 druhů hub. Petr Baldrian momentálně další dobrovolníky neshání, protože jeho kolegové by neměli kapacitu větší objem plodnic zpracovat: „Bylo by mi hloupé lidem říkat, že jsme se k jejich vzorkům nedostali. Kdybychom po nich chtěli, aby třeba počítali ptáky, bylo by to snadné a mohli bychom zapojit desítky



DOC.

RNDR.

PETR

BALDRIAN,

P.H.D.

Vystudoval mikrobiologii na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. V Mikrobiologickém ústavu AV ČR vede laboratoř environmentální mikrobiologie. Zabývá se ekologií a fyziologií půdních hub a bakterií. V roce 2017 obdržel od předsedkyně AV ČR Akademickou prémii.

Na území ČR
se vyskytuje
100 až
200 tisíc
druhů hub.

tisíc pozorovatelů. Stačil by nám jednoduchý online formulář, z něhož bychom data ukládali do databáze. Ale my potřebujeme, aby nám lidé houby ve zpracovatelném stavu přivezli. Pak musíme nálezy

osekvenovat, změřit enzymovou aktivitu, zjistit obsah živin... Jsou s tím spojené nemalé finanční a časové náklady, takže si větší rozsah spolupráce bohužel nemůžeme dovolit.“

Sbírka se každoročně rozšiřuje o stovky druhů.

Pokud se třeba u každé dvacáté ukáže nějaký biotechnologický potenciál, pomohou amatéři vytipovat desítky druhů, které si zaslouží další výzkum.

pohybují kolem tří milionů druhů. Většinu je těžké objevit, protože tvoří makroskopické plodnice a rostou skryty našim zrakům. „Odhaduji, že na území České republiky se vyskytuje sto až dvě stě tisíc druhů,“ říká Petr Baldrian.

Sledování výskytu plodnic je jen jedním ze způsobů, jak zjišťovat rozmanitost hub na nějakém území. Má značný význam například pro studium vlivu klimatických změn, protože v tomto ohledu máme k dispozici bohatá data přinejmenším od sedmdesátých let 20. století. Opět mimo jiné zásluhou amatérských mykologů. Můžeme tak například pozorovat vliv teploty nebo sucha na délku období, v němž jednotlivé druhy tvoří plodnice.

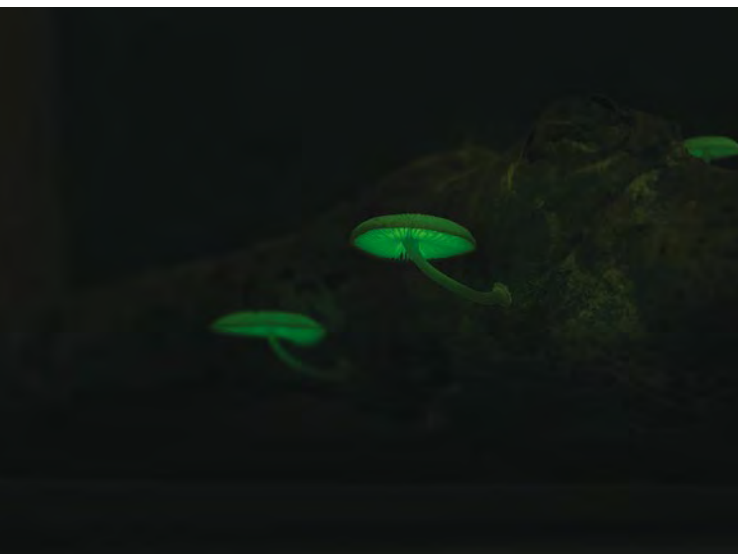
Ale samotné plodnice nám nikdy nemohou poskytnout obrázek o skutečné druhové a funkční rozmanitosti. Reprezentativnější informaci přinášejí jiné metody, které umožnil až rozvoj rychlého a levného čtení genetické informace. Dnes stačí odebrat vzorek půdy, opadu, dřeva – zkrátka substrátu, jehož houbové společenstvo nás zajímá. Ze vzorku se izoluje DNA a sekvenuje se. Kromě bakterií, roztočů a dalších organismů se takto zachytí i sekvence náležející houbám. V jednom gramu půdy může být 500 až 1000 druhů hub. Většinu sekvencí se podaří přiřadit už popsáním druhům, ostatní můžeme zařadit na správné místo fylogenetického stromu – do řádu, čeledi, rodu –, ale zcela jim neodpovídá žádný známý druh. Takto lze zachytit genetickou rozmanitost hub v celé její pestrosti – včetně dosud nepopsaných druhů.

Poměry jednotlivých sekvencí navíc vypovídají o relativním zastoupení jednotlivých druhů a větších skupin. A tím i o jejich ekologickém významu v daném prostředí. „Pokud je druh početný, generuje hodně biomasy. A to znamená, že se pravděpodobně účastní řady

VÝZNAM
BIOLUMINISCENCE
(SVĚTĚLKOVÁNÍ)
NĚKTERÝCH
HUB JE ZATÍM
NEOBJASNĚNÝ.

Rozmanitost druhová i funkční

Mykologové na našem území popsal asi 15 000 druhů hub. Na celém světě asi 120 tisíc. Odhady skutečné druhové rozmanitosti se však v globálním měřítku





HOUBY LZE
ZKOUMAT
JAK V JEJICH
PŘIROZENÉM
PROSTŘEDÍ,
TAK I V ČISTÝCH
LABORATORNÍCH
KULTURÁCH.

biochemických procesů, které v ekosystému probíhají,” vysvětluje Petr Baldrian.

Pokud jde o biotechnologicky zajímavé druhy, nemusí nás obrovská a dosud málo prozkoumaná rozmanitost tolik trápit. Pro většinu aplikací jsou zajímavé především druhy schopné efektivně rozkládat různé organické látky. A těch zase není tolik, řekněme tři tisíce. Asi desetinu už mají v Mikrobiologickém ústavu zmapovanou. „Navíc máme hlavně ty běžnější druhy. A když je houba běžná, vypovídá to o její ekologické úspěšnosti. Pokud v konkurenci druhů kolonizujících mrtvé dřevo obstála, zřejmě produkuje nadprůměrné množství rozkladných enzymů. Takže mezi už podchycenými druhy jsou pravděpodobně ve vyšší míře zastoupeny právě ty, které mají biotechnologický potenciál,” předpokládá Petr Baldrian.

Složitější situace je u druhů disponujících nějakou unikátní biochemickou drahou, například pro produkci dosud neznámého antibiotika. V tomto směru vědcům bezpochyby dosud mnohé zajímavé druhy unikají, protože je těžké hledat něco, o čem ani nevíme, že by nám mohlo být užitečné.

Většina půdních bakterií je rozšířena celosvětově. Jejich životní prostor je mikroskopický, vnímají především chemické složení svého okolí. Houby mají přece jen větší mycelium, potřebují více živin, „čtou“ širší okolí. Vyžadují tlející větev nebo třeba kořínky konkrétní rostliny, v jejich prostředí je více zdrojů variability. Řada hub je navázána na lokální vegetaci, ale přesto je i mezi houbami mnoho druhů s globálním rozšířením.

A je pro ně typická velká funkční redundance. „Třeba smrk tvoří v jednom porostu mykorhizu s desítkami druhů hub, ale potenciálně je ji schopen tvořit se stovkami druhů. Pokud stávající druhy vymizí, snadno je nahradí jiné,” upozorňuje Petr Baldrian. Za normálních okolností se proto nemůže stát, že by ekosystém kvůli vyhynutí některého z druhů hub ztratil například schopnost rozkládat celulózu. Vždy bude dost jiných druhů, které dovedou totéž.

Jako „skladiště“ uhlíku nefungují všechny druhy.



IZOLÁT VÁCLAVKY

CIBULKOTŘENNÉ

(*ARMILLARIA CEPIS*

TIPES)

NA LABORATORNÍM

MÉDIU. HOUBA JE

NEJENOM PATOGENEM,

NAPADAJÍCÍM ŽIVÉ

STROMY, ALE TAKÉ

EFEKTIVNĚ

ROZKLÁDÁ DŘEVO.

Petr Baldrian na houby nahlíží pohledem systémového ekologa: rozmanitost je takřka neomezená, nikdy ji dokonale nepoznáme a nemusí nás to příliš trápit. Nepotřebujeme znát houby představující setinu procenta celého společenství. „Lidstvo asi není závislé na každém jednotlivém z 200 000 našich druhů. Vy-mizení každého z nich je samozřejmě škoda, ale z funkčního hlediska ho nemusíme nijak hořce oplakávat. Potíže by nastaly až ve chvíli, kdy bychom kvůli nějaké razantní změně přišli o významnou část funkční rozmanitosti. Ale význam jednotlivých druhů není tak velký jako u ptáků, savců, stromů nebo kulturních plodin, kde je ztráta rozmanitosti samozřejmě významným problémem.“

Skladiště uhlíku

Už jsme se zmínili, že součástí analýzy při ukládání nově získaného vzorku do sbírky je i určení poměru hlavních živin: uhlíku, dusíku a fosforu. Tato informace je totiž důležitá pro rozpoznání role daného druhu v koloběhu uhlíku.

Rostliny fotosyntézou fixují vzdušný uhlík z oxidu uhličitého do organických látek, z nichž se následným rozkladem opět uvolňuje. Ale příjem uhlíku fotosyntézou v lesích převyšuje ztráty rozkladem

organické hmoty o 7 až 25 %. Proto je studium lesních ekosystémů důležité i v kontextu globální klimatické změny.

Kam se přebytečný uhlík ukládá? Jeho významnou zásobárnou jsou houby, které rostou buď v mykorhizním vztahu na kořenech stromů, nebo rozkládají mrtvé dřevo. Ale jako „skladiště“ uhlíku nefungují zdaleka všechny druhy. „Zjistili jsme, že doba potřebná k rozkladu plodnice závisí na obsahu živin. Čím více jich plodnice obsahuje, tím je pro mikroby atraktivnější a tím rychleji se uhlík v ní obsažený vrací do koloběhu. Plodnice živinami chudé vydrží dlouho a uhlík, který je v nich obsažený, se často ukládá do půdní organické hmoty,“ vysvětluje Petr Baldrian. Uhlíku je v půdě obvykle dost, pro mikroby není limitující. Ukazuje se, že rozhodující je množství dusíku. Čím méně ho je, tím déle se plodnice rozkládá.

Detailnějšímu porozumění procesům probíhajícím v lesním ekosystému napomáhá metoda známá jen několik málo let. Pomocí kapalného dusíku lze „zastavit čas“ – zmrazit děje, které v určitém okamžiku v substrátu probíhají, a analyzovat je. Přítomná RNA napoví, které geny jsou v danou chvíli přepisovány do proteinů a které reakce právě běží. Ukáže se, jak intenzivně houby rozkládají celulózu nebo lignin, fixují dusík atd.

Tento přístup umožňuje studovat reakce ekosystému jak na cyklické změny podmínek během roku, tak na mimořádné události (extrémní sucho, kůrovcovou kalamitu...). Poskytne také vhled do dlouhodobější sukcese ekosystému v řádu let a desetiletí. A na této dynamice se na každém konkrétním místě podílejí tisíce druhů hub. „Z pohledu systémové ekologie nás zajímá, co se s lesním ekosystémem děje, nejen to, které organismy v něm žijí,“ uzavírá Petr Baldrian. ■

BIOLOGICKÁ ROZMANITOST V MRAZÁKU I V DATABÁZI

Sbírka stopkovýtusných hub Mikrobiologického ústavu AV ČR pochopitelně není jediná, kterou ústavy Akademie věd obhospodařují. V depozitářích všeho druhu vědci uchovávají celé spektrum organismů od virů přes bakterie, řasy, sinice a houby až po živé rostliny a zamražené tkáně obratlovců. Ačkoli se sbírky liší předmětem zájmu, metodami uchovávání vzorků, účelem i velikostí, Akademie věd se snaží o jejich koordinaci.

V rámci programu Rozmanitost života a zdraví ekosystémů (ROZE) Strategie AV21 bylo sdruženo (zatím) třináct sbírek šesti ústavů, jejichž pracovníci si vyměňují zkušenosti a know-how týkající se například sdílení informací v databázových systémech. Uspořádání a dostupnost dat je neodmyslitelnou podmínkou smysluplného využívání všech sbírek. K čemu by byly sebevzácnější vzorky dobré, kdyby o nich nikdo kromě jejich správce nevěděl?

„Hranice mezi sbírkou a ne-sbírkou není ostrá. Vědci mají spoustu materiálu, který sbírají v rámci výzkumných projektů, leží jim někde v mrazáku a nikdo o něm neví. Plnohodnotná sbírka se z takového materiálu stane ve chvíli, kdy dotyčný odborník informace o svých sběrech zedituje do publikovatelné podoby a zveřejní je, čímž se materiál stane dostupný pro další zájemce,“ vysvětluje Barbora Rolečková z Ústavu biologie obratlovců AV ČR, která sbírky v rámci ROZE koordinuje. Od roku 2015, kdy Akademie věd začala své sbírky prostřednictvím ROZE podporovat, do nich přibýlo 17 400 položek, 19 600 se dočkalo digitalizace a 15 100 se dostalo do veřejně přístupných databází.

Pod biologickou sbírkou si laik představí nejspíše herbář nebo brouky v krabicích s průhledným víkem. „To je historická představa. Takové sbírky dříve vznikaly především za účelem morfologického popisu. Což má význam i dnes, ale posouváme se dál. Zásadní roli dnes hrají informace, o které sbírky obohatil rozvoj genetiky a molekulární biologie,“ vysvětluje Barbora Rolečková.

Jako příklad uvádí využití genetické banky Ústavu biologie obratlovců při monitoringu druhového složení rybích společenstev v malých stojatých vodách: „Rybáři pro účely monitoringu normálně používají elektrický agregát. Ale získat povolení pro každý malý rybník by bylo velice složité. Místo toho se odeberou vzorky vody a izoluje se z nich DNA. V bance máme téměř všechny druhy ryb České republiky, takže jsme mohli vytvořit srovnávací databázi a díky tomu zjistit, které druhy v konkrétním rybníčku žijí.“

Možnosti využití sbírek se tak postupně rozšiřují. Slouží k základnímu výzkumu druhové rozmanitosti i variability v rámci jednoho druhu. Zároveň představují časové konzervy, takže lze srovnávat situaci v různých obdobích. To je důležité například při sledování ohrožených druhů a při snaze o jejich záchranu. Některé sbírky mohou posloužit jako zásobárny pro reintrodukcce zpět do přírody. Ale kromě toho z nich lze vyčíst například možnou příčinu poklesu genetické rozmanitosti v přírodě a určit míru propojenosti jednotlivých populací, takže se třeba ukáže nutnost vybudovat biokoridory, které umožní tok genů mezi izolovanými lokalitami a omezí příbuzenské křížení.

Botanický ústav v Průhoncích udržuje genofondovou sbírku starých odrůd. Spolupracuje například na rekonstrukcích historických zahrad a parků. Sbírka vodních a mokřadních rostlin téhož ústavu v Třeboni se podílí na záchranných programech s ministerstvem životního prostředí a s Agenturou ochrany přírody a krajiny. Podobných spoluprací se státní správou, výzkumnými institucemi, záchrannými stanicemi, školami i firmami u nás i v zahraničí probíhá mnoho.

Sbírky pomáhají studovat reakci organismů na znečištění a změny klimatu, postup rezistence půdních bakterií k antibiotikům, šíření invazních druhů... Zároveň jsou zdrojem informací o organismech využitelných v průmyslu, ve farmacii, ve zpracování odpadu nebo při odstraňování organického znečištění.



Akademie věd
České republiky

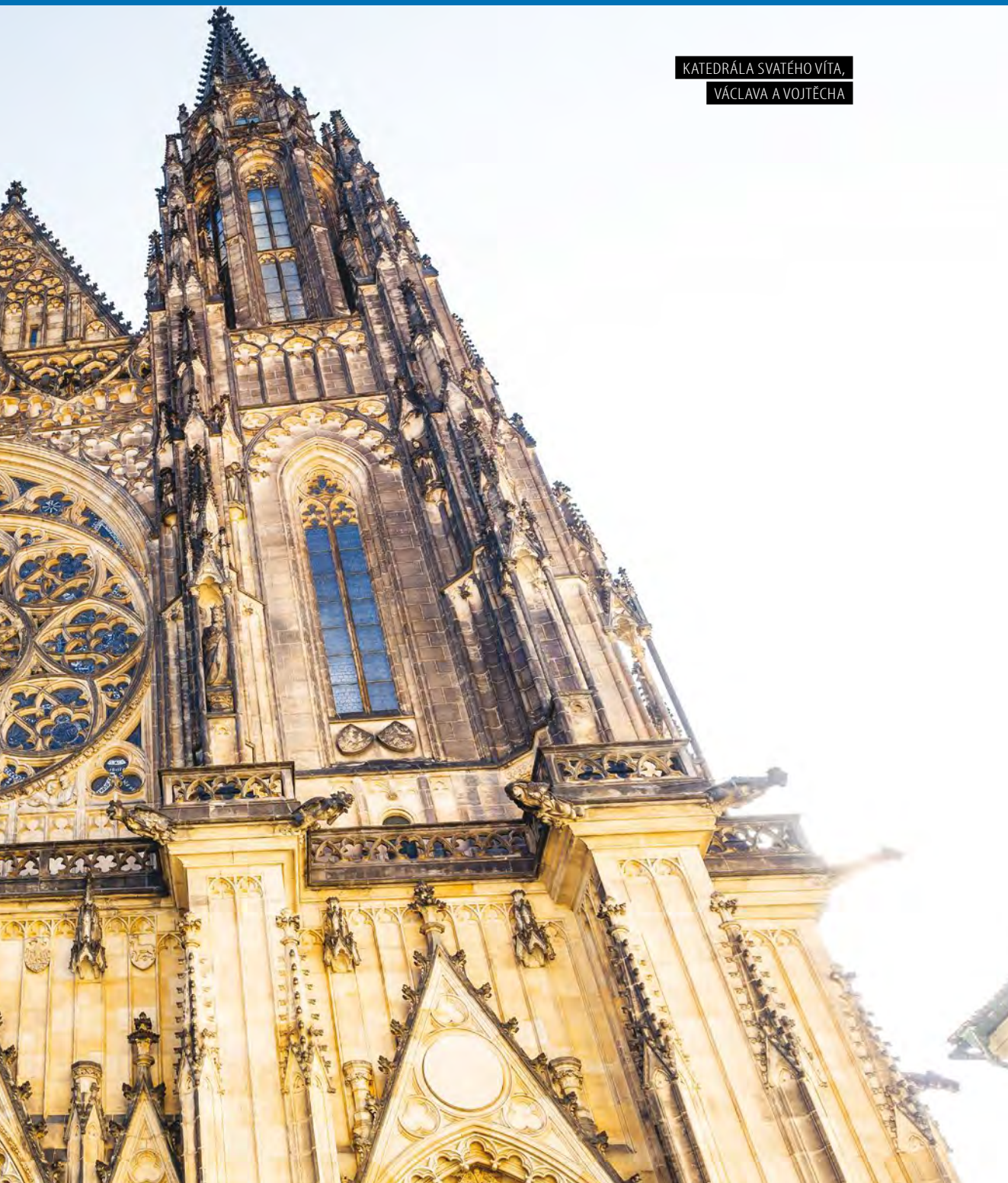
Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



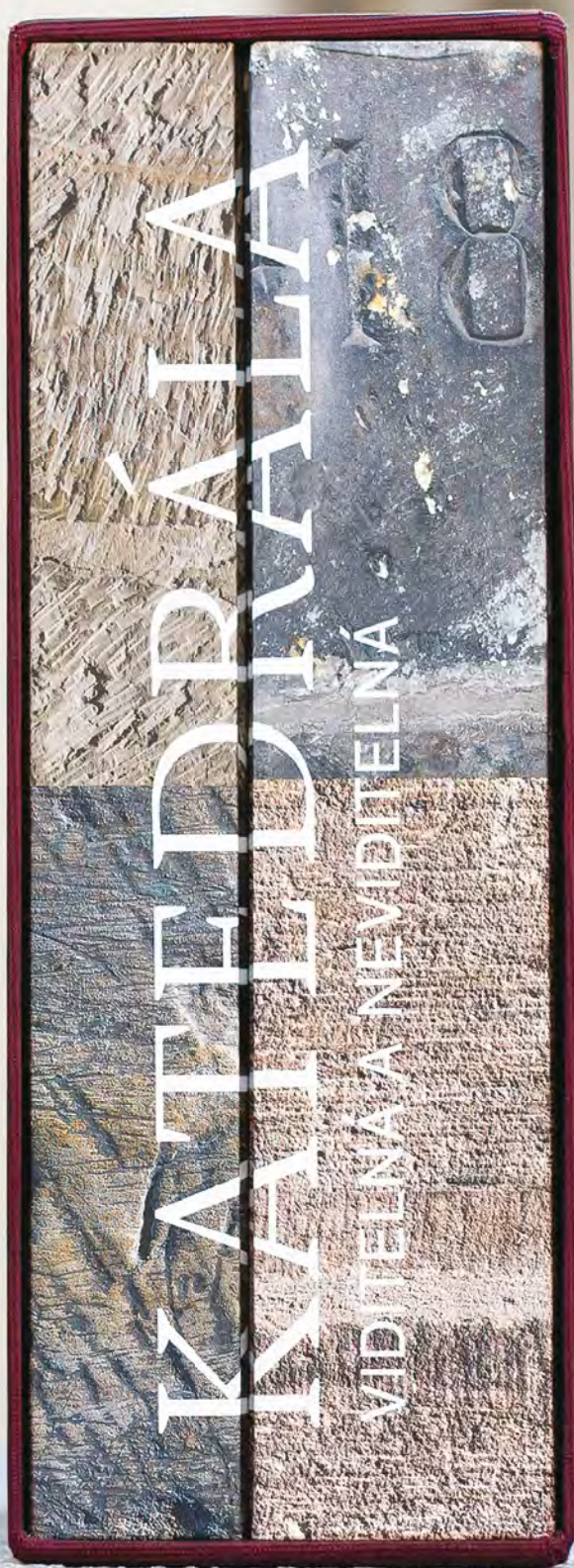
PROGRAM: EVROPA A STÁT: MEZI BARBARSTVÍM A CIVILIZACÍ

KATEDRÁLA SVATÉHO VÍTA,

VÁCLAVA A VOJTĚCHA



TISÍC STRAN,
PĚT
KILOGRAMŮ



Žádné rychlé závěry, jen něžně natukávat

LENKA VRTIŠKOVÁ NEJEZCHLEBOVÁ

Můžete být v Praze téměř kdekoli – vidíte ho. Hradčanský kopec. Středobod díla archeoložky Jany Maříkové Kubkové (a jejích spolupracovníků). Ať už listujete virtuálním *Archeologickým atlasem Pražského hradu* nebo dvoudílnou, několikakilogramovou monumentální knihou *Katedrála viditelná a neviditelná*, odkrýváte vrstvy příběhu, o nichž jste nejspíš neměli dosud tušení. „Nechci nikomu nic vnucovat, chci vysvětlovat, přeju si, aby čtenáři sami přemýšleli, pokládali si otázky a hledali a nacházeli odpovědi.“



MGR.

JANA

MAŘÍKOVÁ

KUBKOVÁ,

P.H.D.

Archeoložka, vedoucí pracoviště Pražský hrad Archeologického ústavu AV ČR. Specializuje se na pozdně antickou a raně středověkou sakrální architekturu, středověké stavební technologie a dějiny archeologie. Je spoluautorkou knihy *Katedrála viditelná, neviditelná* a virtuálního *Archeologického atlasu Pražského hradu*, má na kontě řadu výstav a publikací.

Na *Katedrále* pracovalo sedmáct autorů, stejně jako se na *Archeologickém atlasu Pražského hradu* podíleli odborníci napříč obory a profesemi. Zaujalo mě, že v týmu byl i geolog. Čím je hradčanský kopec výjimečný z geologického pohledu?

Geolog by měl asi jiná kritéria. Ale výsledek geologického bádání je výjimečný – nebo spíše pro nás překvapivý. Před příchodem člověka totiž vypadal úplně jinak než dneska, což si lze jen těžko představit. Dnes Hrad vnímáme jako architektonizovaný, zastavěný, široký a plochý hřbet. Kdysi ale byl hřbet úzký, s poměrně ostrými svahy. A byl rozdělen v místě dnešního III. nádvoří – laicky řečeno roklí, správně odborně depresí.

Tam byla rokle?

Všichni se diví, i když o takovou novinku úplně nejde. Určitou představu o ní měli už naši předchůdci, stavitel Karel Fiala, archeolog Ivan Borkovský. Jen

její podoba nebyla příliš brána v potaz při vytváření možných stavebních podob nejstarších fází Pražského hradu. V raném středověku rokle rozdělovala hradní hřbet i funkčně. Když jsme před deseti lety začali zpracovávat virtuální atlas Pražského hradu a modelovali si, v jakém vztahu je nejstarší architektura k rekonstruované podobě georeliéfu, začalo nám docházet, že všechno možné bylo na začátku jinak, než jak si představovala dosavadní česká historiografie. Na starých modelech původního „hradiště“ stojí na rovině kostely a dřevěná zástavba... což je z dnešního pohledu nereálné, tak to být nemohlo.

Začínáme „zostra“...

Od 19. století je Pražský hrad vnímán jako raně středověké, přemyslovské hradiště. Tato představa vychází především z interpretace písemných pramenů, archeologické poznatky se dlouhodobě podřizovaly historické interpretaci.

Objevuje se před námi zcela jiný obraz.

Ale skutečnost byla poněkud jiná.

Velmi pravděpodobně ano. Jenže se zažitými představami se těžce bojuje, je to otázka dalšího bádání možná i několika generací, než náš nový pohled přijme širší odborná i laická veřejnost. Mojí výhodou je, že jsem vystudovala trochu jiný obor než archeologii českého středověku, takže k tématu „přemyslovského hradiště“ jsem přistupovala ze širšího, středoevropského nebo evropského kontextu. I díky tomu je pro mě snazší nový pohled přijmout.

Jak to tedy s hradčanským kopcem bylo? Jak víme, Hrad je vidět prakticky od všud, i z okrajů Pražské kotliny, z Kavčích hor, ze zoologické zahrady i z prosecké vyhlídky. Pražská kotlina je starou sídelní oblastí, takhle nápadný musel být už od nejstarších dob.

Jak to tedy s hradčanským kopcem bylo?

Jak víme, Hrad je vidět prakticky od všud, i z okrajů Pražské kotliny, z Kavčích hor, ze zoologické zahrady i z prosecké vyhlídky. Pražská kotlina je starou sídelní oblastí, takhle nápadný musel být už od nejstarších dob.

A to by bylo, aby ho naši předkové jaksepatří nevyužili!

Výjimečné polohy mívají i výsadní postavení v rámci funkcí jednotlivých prvků v osídlené krajině. Odhlédněme od nejstarších období, pro která prozatím nemáme dostatek informací, a soustředme se na období raného středověku.

Hradčanský ostroh můžeme podle dnešní podoby rozdělit přinejmenším na část východní – dnešní Pražský hrad – a západní – od Hradčanského náměstí po Pohořelec. Domníám se, že právě k východní části by se mohla vztahovat Kosmova zpráva o místě Žiži, která je snad odrazem kultovních praktik obyvatel Pražské kotliny před příchodem křesťanství. Když však rekonstruujeme postup kamenné zástavby a navázaných funkcí,

objevuje se před námi zcela jiný obraz, než jaký je dnes přijímán.

Můžete ho popsat?

Nejstarší křesťanský areál s kostelem Panny Marie byl vybudován mezi Hradčanským náměstím a budoucím Pražským hradem, z hlediska dnešní podoby jsou jeho fragmenty pod západním křídlem Hradu, pozůstatky kostela Panny Marie jsou vidět z průjezdu mezi II. a IV. nádvořím.

Druhý křesťanský areál s bazilikou sv. Jiří byl vybudován na zcela opačném konci ostrožny, na východní špičce, za zmiňovanou roklí, tedy depresí.

Následuje třetí okrsek s rotundou sv. Víta, kterou založil svatý Václav a která stále ještě zůstává na východní špičce spolu s jiřským areálem a za onou depresí. Až po dalších několika dalších desetiletích, na počátku sedmdesátých let 10. století, se založením biskupství, je zbudován biskupský dům s kaplí sv. Mořice; v té době je rokle překročena, v horní části už pravděpodobně částečně zazemněna, a tak se i prostor dnešního III. nádvoří ocitá v kontextu zástavby navázané na nejstarší církevní okrsky.

Budeme si tedy muset postupně přehodnotit – hlavně sami v sobě, v našich utkvělých představách - pohled na to, co Pražský hrad v raném středověku byl.

Takže nebyl hradištěm? Lidé tam nebydleli?

Když budete brouzdat naším atlasem, zřetelně uvidíte prudké svahy a jen malé rovné plochy. Každého snad napadne, že se tam asi – tak jak si představujeme na jiných hradištích – bydlet nedalo. Jakkoli stále převládá představa o svrchované moci panovníka, knížete či krále na Pražském hradě, na rovných plochách na vrcholu byly pouze a jen církevní stavby.

Klér ale někde bydlet musel?

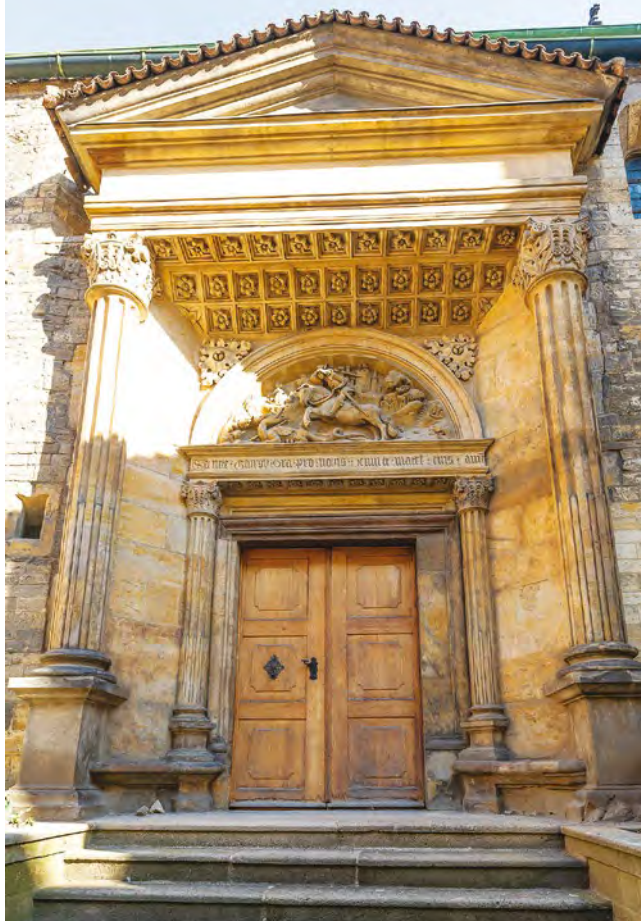
Jistě. V jejich okolí je i obytná, zprvu dřevěná a později kamenná zástavba. Někteří historici zde předpokládají archypresbyteriát, víme o biskupství a benediktinském klášteře, ovšem i bez těchto předpokládaných nebo historicky doložených institucí musíme počítat s poměrně početným aparátem lidí, kteří měli chod kostela a liturgie na starosti. A když si na základě analogií představíme počty kleriků a jejich spolupracovníků, dosud nalezené části zástavby se zdají téměř nedostatečné.

Navíc biskupství a kapitula jsou stejně jako benediktinský klášter uzavřené okrsky. Z pramenů je zřejmé, že kapitula obsáhla většinu plochy dnešního III. nádvoří a Jiřského náměstí. Koncem 11. století a na počátku 12. byl budován Starý palác, románská stavba, ovšem na jižním úpatí hradního svahu, výrazně níže a mimo církevní areály.

Poměr církevních a světských sil se začal srovnávat?

Ano, ale změna, která začala mířit k současné podobě Hradu, nastala až v době vlády Karla IV. (ve druhé polovině 14. století). Na Hradě se postupně usídlily další instituce a první šlechtické domy, okrsek svatovítské kapituly s výstavbou gotické katedrály zmizel.

Už v počátcích práce na mapování archeologických nálezů jsem cítila, že nám pod rukama vzniká něco, co odporuje hluboko zažitým všeobecným představám. Proto jsem se rozhodla pro web, kde si odborník i laik můžete skládat půdorysy v jednotlivých vrstvách. Každý sám může přijít na to, jak se Hrad formoval. Webová stránka vzniká a je postupně doplňována díky Strategii AV21. Zatím to vypadá tak, že východní špiče – tedy





zhruba v rozsahu dnešního Pražského hradu po Hradčanské náměstí – sloužila v raném středověku především církvi.

Takže hradčanský kopec byl vlastně svatá hora.

Ano. Jsme pořád, nebo spíše znovu, na začátku výzkumu, nechci dělat rychlé závěry, spíš tak něžně našukávat, ale postupně se snad ukáže, že hradčanský kopec byl prostor, který byl výjimečný v rámci osídlení Prahy už před příchodem Slovanů, dost možná byl starším kultovním areálem. Rituální místo lze nejpravděpodobněji situovat do prostor současného III. nádvoří. Nějaké osídlení naopak postupně poznáváme na Hradčanském náměstí a jeho okolí. Skládáme znovu Rubikovu kostku, kterou jsme rozložili na kostičky.

Přeju, ať do sebe všechny krychličky zapadnou, jak mají. Vraťme se ještě k vaší knize *Katedrála viditelná a neviditelná*. Kolik let života vás stála?

Sedm. Měli jsme to štěstí, že jsme na peníze získali od soukromého dárce, od rodiny Turkových. Zadání znělo: Ať je kniha pěkná a dá se číst. Koncept je můj, ale knížku jsme dělaly s mou spolupracovnicí a zároveň kamarádkou Sylvíí Novotnou, která má zkušenosti s produkcí velkých kulturních projektů. Díky mecenášům jsme měly volnost ve výběru autorů textů i fotografií, mohly jsme si dovolit luxus jim i přiměřeně zaplatit.

Je o knížku zájem?

V první dnech po vydání byl zájem obrovský, první náklad byl hned pryč, do měsíce byl vydán dotisk. Vyšla řada pochvalných recenzí, chystá se druhé české a první anglické vydání. Mám z toho velkou radost. Ale radostná byla i tvorba sama. Už jen ty krásné chvílky, kdy jsme se

scházeli v týmech „po stoletích“, probírali jednotlivá témata a motivy, přemýšleli, jak je propojit. Knížkou budou lidé spíše listovat, než že by ji četli od začátku do konce, budou si prohlížet fotografie a číst rozšířené popisky, zastaví se u některých kapitol. Nejlip to vystihl náš grafik, když jsme mu posílali na poslední chvíli opravit zápatí v jednom z archů, když už šla knížka do tisku. Tři dny se neozval. Volám mu, co se stalo. „Já jsem se zase začel, promiň.“ To je nejhezčí, co se knížce může stát.

Co jste knihou chtěla sdělit vy osobně?

Že katedrála je organismus, který „žije“ přes tisíc let, vše se v ní vrství i prolíná, máloco mizí. Je skutečně živou památkou naší nejstarší minulosti, příběhem naší kultury od 10. století. Všichni ze školy víme, že dnešní stavbě předcházela rotunda založená sv. Václavem, méně známá je podoba románské baziliky založené knížetem Spytihněvem.

Obecně ale panuje přesvědčení, že o dnešní podobu se v podstatě zasloužil Karel IV. Nechal zbořit starší románskou stavbu a úplně nově a s novým konceptem začal stavět katedrálu gotickou, která byla ovšem dokončena až v roce 1929. Tak to ovšem není.

Není bourání zažitých představ vaším programem?

Vycházím jen z faktů. Základní liturgická topografie rotundy byla přenesena do východní části románské baziliky, tam byla rozšířena a ustálena, kodifikována už ve statutech Arnošta z Pardubic. Pro ni pak byla budována gotická katedrála.

Přímým důkazem jsou polohy hrobů našich předních světců, sv. Václava a sv. Vojtěcha. Například kaple svatého Václava zůstává od 10. století na stejném místě, stejně jako světcův hrob, jen získávala aktuální podobu, předrománskou,

románskou, nakonec gotickou. Byla jednou z architektonických a liturgických os katedrály.

Nejvíc překvapení pro vás prý paradoxně skrývala nejmladší éra katedrály, tedy 20. století. Jak je možné, že bylo dosud méně detailně popsáno než předchozí etapy?

Je to živá historie, která se vždycky zpracovává hůř. Chybí odstup. Z hlediska architektonického byla dobře popsána dostavba katedrály do konce dvacátých let 20. století. Nikdo se ale prozatím komplexně nezabýval uměleckou výzdobou realizovanou posléze.

Do stavby i života katedrály promlouvala za první republiky církve, šlechtické rody, ministerstvo školství a osvěty a samozřejmě kancelář prezidenta i prezident sám, velký vklad můžeme přičíst i dalším institucím, např. pojišťovnám a bankám. Katedrála byla ústředním bodem a všichni do ní chtěli vnést něco svého.

Materiálně, nebo i symbolicky?

I symbolicky. Katedrála se postupně stala symbolem české státnosti a české historie, mnohem méně byla liturgickým prostorem, v polovině třicátých let si architekt Jan Sokol stěžoval, že je více muzeem než kostelem.

Muzeum umění?

Jistě. I díky různosti a rozdílnosti zadavatelů uměleckých děl vedle sebe působili zástupci prakticky celé umělecké scény, akademici i zastánci moderních směrů.

Katedrála je živý organismus, který žije přes tisíc let.

Katedrála je z hlediska umělecko-historického odrazem prvorepublikového umění. Začínali zde tehdy mladí umělci, ze kterých pak vyrostly silné osobnosti.

Začít kariéru v katedrále není vůbec špatné...

Byla pro ně odrazovým můstkem. Nové impulzy ale přicházely i v liturgické sféře. Založením Československa došel určitého vrcholu od obrození oblíbený příklon ke slovanskému světu, s ním i nová liturgická hudba, Hlaholská mše od Josefa Bohuslava Foerstera. Poprvé za tisíciletou existenci katedrály je do ní uvedena slovanská liturgie. Tyto změny a vývoj ve 20. století dosud neprošly komplexním zpracováním. Kapitoly o umění, hudbě a liturgii 20. století se snaží tento místy až překotný vývoj zachytit. Nám se povedlo získat odborníky i pamětníky, ale hledali jsme někoho, kdo se s tímto problémem vypořádá.

Našli jste ho?

U liturgie a hudby to bylo snazší, Tomáš Slavický byl připraven se do takové práce pustit. K umělecké výzdobě jsme hledali mezi renomovanými kunsthistoriky, ale nakonec jsme dostali tip na doktorandku Marianu Šindelkovou. Odložila kvůli nám doktorát a ještě během příprav porodila dvě děti. Odvedla obrovskou práci a věřím, že bude formativní i pro její kariéru.

Na rozdíl od předchozích kapitol jste do části o 20. století pustili i politiku. Proč?

Až do roku 1918 jsme – na rozdíl od předchozích prací – kladli důraz na kulturní přínos katedrály. Chtěli jsme katedrálu představit jako prostor mimořádně multikulturní, inovativní a zároveň stabilní. Aby bylo zřejmé, že jsme byli součástí Evropy, že by nevznikla bez lidí, kteří studovali nebo se vyučili v zahraničí, bez

těch, kteří ze zahraničí kvůli katedrále připutovali. Ve 20. stoletím se katedrála sama politikem stává a její moderní historie se nás všech bezprostředně dotýká. Po vzniku Československa se katolická církev se svým rakousko-uherským dědictvím dostala do určitých problémů, význam katedrály ale umenšen nebyl. Jak bylo výše řečeno, stávalo se z ní trochu muzeum české historie, český pantheon s hroby významných světců. Přiváděla přední české umělce k mimořádným výkonům a její význam a autorita byly patrné i během 2. světové války a na počátku nového zřízení.

Odehrával se v katedrále za komunistů liturgický život?

Překvapivě ano. Skupina lidí chór udržovala všemu okolo navzdory.

Nejspíš na svou odvahu doplatili...

Bohužel je to tak. Už od začátku protektorátu, za války a v padesátých letech přišla spousta lidí o život ve snaze udržet chór v chodu. Skončili ve vězení, v koncentracích, v internaci. Je těžké vybrat jeden, je jich hodně a jsou to silné a smutné osudy. Až vloni, téměř po padesáti letech se vrátily do pražské katedrály ostatky kardinála Josefa Berana, který byl pražským arcibiskupem od roku 1946, byl vězněn nacisty i komunisty, nakonec byl vyhnán z vlasti a zemřel v Římě.

Často nevíme, s čím vlastně zacházíme. Chtěla jsem, aby tento dluh byl alespoň částečně splacen. I kvůli památce lidí, z nichž mnozí nejsou ani obecně známi.

Z pohledu lidských obětí bylo 20. století asi nejdramatičtější. Likvidace jedinců začala, až když církev ztratila svoje postavení a do dění začala vstupovat politika, nacistická a komunistická. Celkově bylo pro mě 20. století jedním velkým objevem.



Dají se v pramenech zjistit postoje lidí ke katedrále nebo k jejím předchůdkyním – bazilice, rotundě?

Ze středověku existují písemné zprávy, ale neobsahují emoce. Postavení katedrály však bylo výjimečné, souvisí s příběhem celého Hradu. Připomeňme si, že hradčanský kopec jsme naučení vnímat jako hradiště, ale byl původně a na dlouhou dobu výlučně církevním prostředím, které s okolním světem komunikovalo omezeně a bylo hodně uzavřené. Pohled dnešními očima je velmi zkreslený.

Ve středověku žilo toto místo svým vlastním uzavřeným církevním životem, mělo na lidi působit, ale nebylo jim dostupné. Institut farního kostela, který je součástí každodenního života běžného člověka, se začíná vyvíjet během středověku, ale netýká se Pražského hradu. Až ve druhé polovině 14. století se část postupně zanikající románské baziliky stala na omezenou dobu farním kostelem nově založených Hradčan.

Měla jste za těch sedm let, co jste na knižce pracovala, katedrály někdy „po krk“?

Spíš jiných věcí, k ní jsem si naopak chodila po večerech odpočinout. Z větší

části kniha vznikala mimo moji hlavní pracovní náplň, v té době jsem pracovala na jednom evropském a jednom projektu NAKI.

S kolegyní Sylvií jsme ale střídavě prožívaly chvíle, kdy jsme myslely, že knihu nedokončíme. Pokud ale má člověk dobrého „partáka“, nakonec všechno zvládne. Když jedna z nás už nemohla, druhá ji povzbuzovala, střídaly jsme se. Párkrát jsme byly unavené k slzám, ale vzájemně jsme se vždycky podpořily. V nejhorším často přišla nějaká vzpruha. Nové fotografie, grafický návrh, nový úžasný text, kdy jsme si řekly, že má cenu pokračovat. Ale prožily jsme krušné chvíle, už třeba jen kvůli autorským právům.

Měly jsme terabajty fotografií. Fotografové vnímali svou práci na knize téměř jako životní dílo. Dbali na to, aby snímky byly opravdu co nejlepší. Martin Frouz dobře zná prostředí archeologických výzkumů a i těm zdánlivě nejméně přitažlivým fragmentům umí dodat na zajímavosti a atmosféře. Jan Gloc, jehož osudem je dokumentace památek

PRÁCE NA
KNIŽE ZABRALA
SEDM LET.

S knihou
jsme prožili
i krušné
chvilky.

(dlouhou dobu působil jako fotograf Bildarchivu Foto Marburg), se dokázal na stejná místa vracet, dokud záběr nepovažoval za dokonalý, počkal si na záběr, který jde udělat jen jednou za rok, a to ještě jen tehdy, když neprší.

Podpořila vás rodina?

Synovi je dvacet a řekl mi od plic, že mě od svých 13 let prakticky neviděl. Má teď takové období, osamostatňuje se a v rámci formování své osobnosti má záchvaty přímocharosti; ve chvílích jeho bezprostřední upřímnosti jsem se dozvěděla, jaká jsem strašná matka.

Manžel je taky archeolog. Má pochopení, i když několik let viděl jen moje záda, jak se hrbí u počítače. Ale z výsledku má velkou radost, možná je docela hrdý, a nejen na to, že všechno vydržel...

Máte na kontě řadu pozoruhodných výstav a projektů, mimo jiné například výstavu Dědictví Karla Velikého a další. Našla byste ústřední myšlenku, která všechny vaše projekty spojuje?

Že nejsme ostrov uprostřed Evropy, ale naopak nedílnou součástí kontinentu, i když někdy máme potřebu se vymezovat. Jsme součástí západní části Evropy, byť řekněme „okrajovou“.

Ze Západu k nám taky přichází většina kulturního vlivu. A po celý středověk, raný novověk až do moderní doby jsme byli zemí multikulturní, která dokázala vstřebat velmi rozdílné vlivy a podněty a uměla vytvořit prostor tvůrcům všech možných národů, jazyků a někdy i vyznání.

V českém a moravském (a vlastně celém československém) prostředí se

PRO
FOTOGRAFY
TO BYLO
ŽIVOTNÍ
DÍLO.



neumím smířit s přečeňováním Velké Moravy, přemyslovského státu. Starší historiografie, především z období po 2. světové válce, nám Velkou Moravu představuje jako mocnou říši, která jako by fungovala mimo evropský kontext. Byla bych ráda, aby se tato velkomoravská bublina vyfoukla a naučili jsme se vnímat v užším středoevropském a širším evropském kontextu.

Tohoto tématu se dotkla i výstava Dědictví Karla Velikého, která byla v Praze, putovala nejen po západní Evropě, ale také se představila na třech místech na Slovensku. S instalací v Praze nám, tehdy vlastně poprvé, pomohl program Strategie AV21.

Nemám ráda jednostranné interpretace. V moderním přístupu k vlastní minulosti, památkám bychom měli umět

pracovat s jednotlivými vrstvami historie, se skutečnou historickou i emoční hodnotou věcí, osobností, událostí. A umět vysvětlovat.

Myslím si, že stav současné společnosti je částečně zaviněn i selháním humanitních elit. Po roce 1990 se humanitní obory octly na okraji zájmu – na rozdíl od dob, kdy byly součástí ideologií. Dlouhá léta byly podfinancované a částečně ztratily i společenskou váhu. Snažím se tedy trochu přispět k nápravě. Nechci nikomu nic vnucovat, chci vysvětlovat. Výstavami, *Katedrálou viditelnou a neviditelnou*, *Atlasem Pražského hradu*. Chci, aby lidé přemýšleli sami, aby si pokládali otázky, hledali a nacházeli odpovědi. ■

Nechci
nikomu nic
vnucovat.





Akademie věd
České republiky

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



ZVÝŠENÍ PRESTIŽE UČITELSKÉHO

ZAMĚSTNÁNÍ JE AKTUÁLNÍ POLITICKÉ TÉMA.

PROGRAM: EFEKTIVNÍ VEŘEJNÉ POLITIKY A SOUČASNÁ SPOLEČNOST



Jak dál ve školství

JANA OLIVOVÁ

Do školy jsme chodili všichni, každý má proto svůj názor na její (ne)fungování, slabé i silné stránky, na potřebu změn. Neposuzujeme však situaci často spíš na základě dojmů než skutečných čísel a faktů? Je i rozhodování politiků a pedagogů dostatečně podložené vědeckými daty? Dodat veřejné diskusi reálné argumenty se snaží výzkumný program Strategie AV21 nazvaný Efektivní veřejné politiky a současná společnost. Zaměřuje se na nejrůznější aspekty vzdělávacího procesu – od dovedností učitelů a jejich odměňování přes zatížení žáků domácími úkoly a dopady známek na jejich rozhodování o dalším studiu až po vliv vzdělanosti na zaměstnanost a ekonomický i sociální rozvoj.

S NÁZORNÝMI

POMŮCKAMI

JE UČENÍ

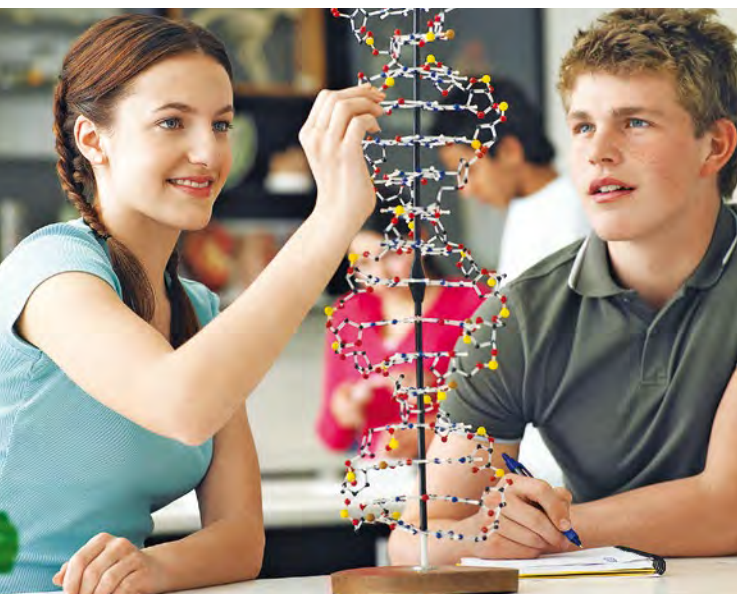
SNAŽŠÍ.

Vědci zpřístupňují, často i prostřednictvím médií, své poznatky nejen odborníkům a snaží se do veřejné debaty

o školství přispět kvalitními analýzami a speciálně zjišťováním kauzálních efektů, tedy příčin a důsledků různých jevů a opatření. „To je pro společenskou debatu a nastavení veřejných politik v České republice klíčové,“ zdůrazňuje Václav Korbel z Institutu pro demokracii a ekonomickou analýzu (IDEA) při Národohospodářském ústavu AV ČR.

Vše začíná učitelem

Všeobecně se soudí, že kvalita učitelské práce se zásadním způsobem podepisuje na výsledcích vzdělávání, a tím do značné míry předurčuje i budoucí stav ekonomiky a kvalitu života v dané zemi. Z tohoto základního předpokladu vyšla jedna z nedávných studií IDEA, která zjišťovala Intelektuální dovednosti českých učitelů v mezinárodním a generačním srovnání. Ukázala, že: „Intelektuální dovednosti českých učitelů v mezinárodním srovnání zůstávají průměrné až



mírně nadprůměrné, a to jak u starší, tak u mladší generace.“ Nadějná je podle autorů skutečnost, že se dynamicky zvyšují čtenářské dovednosti a schopnosti využívat informační technologie u mladší generace učitelů, přesto však jsou mezi nimi výrazné rozdíly. Česká republika má totiž ve srovnání s jinými zeměmi zároveň vysoký podíl mladých učitelů, jejichž úroveň čtenářských gramotností je nízká, dokonce pod průměrem celé mladší dospělé populace. Kvalita učitelů je tedy značně rozkolísaná, což je jeden z problémů, na něž je třeba zaměřit pozornost.

Zjištění, že v posledních zhruba 15 letech klesají nebo přinejmenším stagnují výsledky žáků v mezinárodních srovnáních, přiměla Janu Krajčovou, Daniela Münicha a Tomáše Protivínského z IDEA ke studii Kvalita práce učitelů, vzdělanost, ekonomický růst a prosperita České republiky. Aby lépe ozřejmili dopad a význam kvalitnější práce učitelů, vypracovali několik alternativních scénářů budoucího vývoje s různým vlivem na úroveň vzdělání českých žáků – a v důsledku i na dlouhodobý hospodářský růst České republiky. Nereformní scénář počítající se stagnací předvídá, že se podaří zastavit pokles a udržet výsledky žáků na úrovni z roku 2015. Pesimističtější scénář vyčíslil neradostné dopady situace, kdy bude učitelská profese nadále pro mladé lidi nepřitažlivá a s generační obměnou se kvalita učitelů nezvýší. Na druhou stranu několik reformních scénářů možného zlepšování kvality práce učitelů vesměs vykazuje relativně rychlý příznivý efekt v závislosti na tom, nakolik by rostla kvalita práce všech učitelů a jakým způsobem by probíhala generační výměna. Podle neoptimističtějšího scénáře, který kalkuluje s nejvyššími investicemi do zkvalitňování výuky, by mohl hrubý domácí produkt v horizontu

ZDROJE DAT PRO ANALÝZY

IDEA a CERGE-EI pracují s daty shromážděnými v České republice, ať už jde o výsledky národních zkoušek, nebo údaje získané například společností Scio. Zároveň ovšem široce využívají i závěry velkých mezinárodních testování, včetně PISA, která sledují úroveň čtenářské, matematické a přírodovědné gramotnosti patnáctiletých žáků. Dále se opírají o zjištění PIRLS, jež je zaměřené na testování čtenářské gramotnosti žáků 4. ročníků, a TIMSS zjišťující úroveň znalostí a dovedností žáků 4. a 8. ročníků základních škol v matematice a v přírodovědných předmětech. Data o dospělé populaci, včetně učitelů, poskytuje testování PIAAC. „Hodně nahlížíme na novější data, řekněme od roku 2010, protože představují relevantní časovou řadu pro dané zkoumané otázky. Dlouhodobější údaje často ani nejsou k dispozici,“ říká Václav Korbel. „Podstatné je, že jde většinou o vzorky velké, reprezentativní.“

80 let narůst 5,5krát, kdežto autonomně pouze dvakrát. Prokazatelný ekonomický přínos by se samozřejmě projevil dříve a výsledky žáků by se mohly znatelně zlepšit už během prvního desetiletí. „Na konkrétních číslech lidem ukážeme, že investice do vzdělávání nejsou jen peníze, které se musí vydat z rozpočtu. Jsou to investice, které se časem společnosti finančně vrátí v podobě budoucí vyšší produktivity práce, vyššího ekonomického výkonu a potažmo kvality života,“ objasňuje Jana Krajčová.

Asi nikdo nerozporuje, že je potřeba do školství přivést mladé lidi, kteří jsou intelektuálně skutečně na výši.

Dovednosti českých učitelů v mezinárodním srovnání jsou průměrné.

Zároveň je však potřeba získat i starší kvalitní a zkušené odborníky z jiných odvětví. Musí se jim však nabídnout především odpovídající finanční ohodnocení. A v tomto aspektu Česká republika stále hodně pokulhává. Dokazuje to i jedna z nejnovějších studií CERGE

-EI (sdružuje Národohospodářský ústav AV ČR a Centrum pro ekonomický výzkum a doktorské studium Univerzity Karlovy) a IDEA – Platy českých učitelů: nová naděje o odměňování pedagogických pracovníků v mezinárodním porovnání. Hned v úvodu konstatuje, že platy českých učitelů patří v rámci ekonomicky nejvyspělejších zemí světa dlouhodobě k nejnižším. „Často používaný indikátor porov

nává platy učitelů se mzdami ostatních vysokoškolsky vzdělaných pracovníků. Podle něj čeští učitelé dostávají asi 2/3 průměrné mzdy vysokoškolsky vzdělaných pracovníků, kdežto v řadě zemí je to kolem 100 %. A Česká republika je bohužel zase na posledním místě,“ konstatuje Václav Korbel. Připouští však, že oproti minulým letům došlo k příznivému posunu a situace se postupně zlepšuje. „Naneštěstí je dluh z minulých let stále vysoký. Proto i kdybychom se posouvali stále dál a dál, bude trvat relativně dlouho, než doženeme západní země.“

Václav Korbel se přímo podílel na dvou studiích založených na datech z testování TIMSS. Jedna – Dopady vzdělávacích metod na výsledky a sociálně-emoční schopnosti žáků: klasika vs. moderna – sledovala vliv různých metod vyučování, jak standardnější

frontální výuky s důrazem na memořování poznatků, která stále v českém vzdělávání převažuje, tak modernějšího vysvětlování látky pomocí experimentů a reálných příkladů, interaktivní práce v malých skupinkách vyžadující aktivnější zapojení žáků a podobně. Vědce zajímal dopad různých vyučovacích metod nejen na výsledky žáků, ale také na jejich vnitřní motivaci a sebedůvěru. Zjednodušeně řečeno, zda platí, že když učitel učí novějšími metodami a jeho hodina je pestřejší, žáky víc baví a silněji je motivuje se učit. „Vyšlo nám, že v krátkodobém horizontu, který můžeme zkoumat, jsou dosažené výsledky srovnatelné.“ Výuka participativními metodami, které nutí žáky více přemýšlet a aktivněji se zapojovat, je ovšem skutečně pro žáky přitažlivější a jsou si v daném předmětu jistější. „Do budoucna by to mohlo znamenat, že se žáci budou i víc učit a mohou dosahovat lepších výsledků. Ale to už je spekulace,“ připouští Václav Korbel.

Nepotvrdilo se tedy, možná trochu překvapivě, že když učitel nebude učit klasickými metodami, nepředá žákům stejné penzum informací a ti pak budou mít horší výsledky v testech. Studie zaměřená na žáky 8. tříd navíc ukázala, opět možná poněkud nečekaně, že moderní vzdělávací přístupy výrazněji přispívají k rozvoji sociálně-emočních schopností, a to jak chlapců, tak dívek, kdežto klasické výukové metody sociálně-emoční schopnosti nerozvíjejí a mají nepříznivý dopad na vnitřní motivaci a sebedůvěru chlapců. Z toho plyne, že částečný posun ve způsobu výuky ve prospěch moderních metod by podle výzkumníků mohl mít nezanedbatelný příznivý efekt. Bezesporu zajímavý argument do diskusí o nejučinnějších pedagogických postupech.



Vědci z CERGE-EI a IDEA se také podívali na mezinárodní porovnání výsledků moderních a klasických výukových metod, které zahrnuje přibližně 40 zemí. Prokázalo, že pozitivní dopad moderních vyučovacích metod patří v České republice mezi nejvyšší. „Což vlastně dokumentuje situaci, že v Česku pořád převládají frontální metody výuky, a když učitel zapojí též jiné postupy, třeba přiměje žáky pracovat ve skupinkách, je to pro ně něco nového a víc je to těší,“ poznamenává Václav Korbela. „Například v USA, kde daleko běžněji používají jiné přístupy, už nedosáhnou tak markantního rozdílu, když jich použijí ještě o trošku víc. Ale v České republice, kde je to pořád relativně nové a pro žáky zajímavé, je výsledný efekt značný.“

Co se týče mezigeneračních a regionálních rozdílů, o něco častěji využívají moderní metody mladší učitelé, což je dané i tím, že se mění výuka na pedagogických fakultách. Neplatí ale, že by se kupříkladu na gymnáziích učilo tak, na

školách v malých městech onak, z tohoto pohledu nejsou rozdíly velké. Podle Václava Korbela se ani nedá generalizovat, že by jeden typ učitelů učil jedněmi metodami a jiní učitelé odlišnými. Neplatí, že třeba starší nebo méně zkušení pedagogové nebo učitelé z menších měst upřednostňují klasické postupy. „Takto paušalizovat úplně nelze, což dokumentuje, že školství v České republice je velmi decentralizované. Každá škola má dost velkou autonomii ve způsobu učení. Má významný vliv i na výběr učitelů, takže existují značné rozdíly škola od školy a učitel od učitele.“

Obecně tedy ze studie vyplývá, že zlepšení výsledků žáků a studentů českých škol nezávisí jen na vysokých investicích do platů učitelů či vybavení škol. Žádoucí ovoce přinese i relativně malá změna přístupu, kdy učitel nemusí náhle naprosto změnit hodinu, ale jen lehce ji obměnit a udělat trochu zajímavější. Toto téma v české společnosti silně rezonuje, o čemž svědčí i řada iniciativ usilujících

AKTIVNÍ
ZAPOJENÍ DO
VÝUKY ROZ-
VÍJÍ I SOCIÁL-
NÍ A EMOČNÍ
SCHOPNOSTI.



VÝUKA
NOVĚJŠÍMI
METODAMI
SILNĚJI
MOTIVUJE
K UČENÍ.

o proměnu výuky nebo pregraduálního studia, projekty ministerstva školství, program „Učitel naživo“ a další.

Děti a domácí úkoly

Jak předat dětem co nejvíc znalostí a dovedností, ale přitom je na jedné straně nezavalit učivem a na straně druhé je nenechat zbytečně zahálet a nepromarnit jejich potenciál? Tuto otázku řeší pedagogové i rodiče v mnoha zemích. Jak jsme na tom u nás? Odpověď přináší další studie CERGE-EI a IDEA pod titulem Zatížení školními domácími úkoly v České republice a srovnání se světem. Opět vychází z dat získaných v mezinárodních testováních TIMSS mezi žáky 4. a 8. tříd v matematice a přírodovědných předmětech. Sleduje zaprvé, kolik úkolů v porovnání se zahraničím čeští žáci vypracovávají a zda se jejich množství liší podle typu učitele, typu školy atd. Zadruhé se vědci snažili odvodit, jaký mají vliv na studijní výsledky – bohužel z dostupných dat nebylo možné na tuto otázku najít spolehlivou odpověď. Badatelé navíc demonstrovali, že velice záleží na způsobu zkoumání: „Při změně předpokladů metodologie se nám mění

závěry analýz. Nejde jednoduše říct, že více úkolů znamená lepší výsledky, celá věc je složitější,“ naznačuje Václav Korbel. Upozorňuje, že hodnotit pouze množství úkolů je zkreslující. Je třeba zahrnout i způsob výuky, metody, jaké učitel používá, jak domácí úkoly zapadají do celkové výuky, jestli jsou pro žáky zábavné, nebo ne. „Debata zploštlá pouze na množství je zavádějící, a proto možná i kontraproduktivní.“

Studie Zatížení školními domácími úkoly v České republice a srovnání se světem analyzovala jak průměrnou časovou zátěž vyplývající z procenta vyučovacích hodin, ve kterých je domácí úkol zadán, tak kolik minut v průměru žák nad úkolem stráví. Nejednoho rodiče možná překvapí, že podle závěrů citované studie jsou čeští žáci v porovnání s ostatními zeměmi zatíženi velmi málo. Ve 4. třídách se domácími úkoly zabývají v průměru jen 13 minut na každou vyučovací hodinu, což je pod průměrem zúčastněných zemí. V 8. třídách je to ještě méně – průměrně tráví nad domácím úkolem na vyučovací hodinu pouhých 9 minut, což je nejkratší doba ze všech 45 zemí zahrnutých do studie. „Na druhou

stranu bychom nechtěli, aby z toho vyšel jednoduchý závěr: čeští žáci v porovnání s jinými státy mají málo úkolů, pojdme jim přidat. To ne," varuje Václav Korbel. Poukazuje přitom právě na fakt, že není prokázáno ani u nás, ani v zahraničí, že vyšší zatížení domácím úkoly automaticky zlepšuje studijní výsledky, takový kauzální vztah nebyl odhalen. „Nejvíce se jich zadává v postkomunistických zemích, jako jsou Rusko nebo Kazachstán; tam děti tráví nad domácím úkolem na každou vyučovací hodinu i půl hodiny. Na druhou stranu my zase sledujeme pouze domácí úkoly a nezahrnujeme přípravu na testy a zkoušení, což může být v českém prostředí také důležité.“ Čeští učitelé totiž sice nezadávají tolik domácích úkolů, ale zato daleko víc testují, než je běžné v západních zemích. Proto se rodičům může zdát, že přípravou do školy tráví děti, zejména ty menší, spoustu času. Nicméně v České republice také do určité míry záleží na věku a počtu let praxe učitele stejně jako na vzdělávacích metodách, jaké používá. „To odpovídá skutečnosti, že učitelé nejsou tlačeni regulací a mohou se rozhodovat sami, jak k zadávání domácích úkolů přistoupí," píše se ve studii.

Co říkají a neříkají školní známky

V rámci Strategie AV21 a s její podporou vznikly i dvě práce orientované na hodnocení žáků. V první, nazvané Co skrývají známky na vysvědčení?, Daniel Münich a Tomáš Protivínský poukazují mimo jiné na genderové rozdíly v hodnocení známkami a v reálných znalostech: ukazují, že dívky v devátých třídách základních škol mírají v matematice i českém jazyce lepší známky než chlapci. V anonymně vyhodnocených testech však jsou chlapci v matematice v průměru lepší. Je proto zřejmé, že učitelé dávají na vysvědčení

děvčatům lepší známky, než jakým odpovídá jejich výkon. „Známky v Česku neznamenaají pouze, jak jsou žáci dobří v daném předmětu, ale učitelé současně zohledňují, jak se snaží, jak dobře plní jiné povinnosti, jak se chovají v hodinách. Říká se tomu sociálně-emoční dovednosti, občas též nekognitivní dovednosti," objasňuje Václav Korbel. Problémem je, že zkreslení známek může nepříznivě ovlivňovat budoucí akademickou dráhu mladých lidí, zejména při rozhodování, zda pokračovat ve studiu, nebo nikoli, a na jaké škole. Signál vyslaný známkami může být hodně silný. „Chlapec si může říct: já jsem dostal dvojku, úplně si nevěřím, že bych se na osmileté gymnázium mohl dostat, tak si přihlášku vůbec nepodám. Kdežto dívka, která dostane jedničku, řekne: já si přihlášku podám. I když by oba v testech dopadli stejně a měli stejnou šanci se na vybranou školu dostat."

Autoři studie navrhuji: „Jednou z mnoha možných změn ke zvážení je používat ve školách dvě škály hodnocení. Jedna by postihovala pouze dosažené výsledky a druhá škála by zohledňovala přístup žáka ke vzdělávání, bez ohledu na jím dosažené výsledky."

Na tuto práci navazuje Miroslava Federičová studií nazvanou Dopady známek na vysvědčení na životní rozhodnutí žáků. I ona upozorňuje, že pokud žáci i jejich rodiče dostávají prostřednictvím známek nepřesné informace, může to zkreslit záměry žáka ohledně dalšího vzdělávání – v tomto případě konkrétně

V Česku pořád převládají frontální metody výuky.

Ve veřejných diskusích se často zaměňuje korelace a kauzalita.

rozhodnutí podat si přihlášku na víceleté gymnázium. Nasměruje ho jinak, než by odpovídalo jeho skutečným schopnostem, což má fakticky dopad na celou jeho životní dráhu. Zatímco totiž pro přijetí na danou školu je podstatný výsledek v přijímacích testech doplněný průměrem známek na posledním pololetním

vysvědčení, samo rozhodnutí podat přihlášku se naopak zakládá především na známkách na vysvědčení. Jak ovšem vyplývá z citované studie, dosáhnout objektivního hodnocení je velmi složité, neboť různé školy známkuje s různou přísností, pohled učitele je nevyhnutelně subjektivní a také sociálně-emoční schopnos-

ti žáka se berou v potaz různou měrou. Velmi obtížně se tak porovnávají známky z různých škol.

Obě zmíněné studie mohou mít opět dopad i do veřejných politik a přispět pádnými argumenty do debat o přínosu formativního hodnocení, jelikož je jasné, že známky nepodávají celou informaci o schopnostech žáka. „Kdyby byl učitel schopen více rozlišovat a ukázat rodičům a žákům, co danou známkou míní, možná by usnadnil rozhodování dětí i rodičů, kam jít dále studovat,“ dodává Václav Korbela.

Kauzální dopady aneb hledání příčin a následků

Jak už bylo řečeno, vědci mají při zpracovávání dostupných dat k dispozici řadu metod, na jejichž správné volbě často závisí výsledek. Neméně důležité je, jako ve vědě prakticky vždy, položit správnou výzkumnou otázku. Podle

Václava Korbela se začíná základní statistikou, základními statistickými údaji. Další postup závisí na tom, co se chtějí badatelé dozvědět. Například některé ekonometrické modely umožňují zkoumat kauzální dopady a souvislosti, jiné nikoli. „Vždycky záleží na datech. Mikroekonometrie se snaží hledat situace, v nichž můžeme kauzální dopad najít, často se tomu říká přirozený experiment nebo také kvazi-experiment. Je to však obtížné, ne vždy jsou k dispozici potřebné údaje.“

Řada studií, které vědci v CERGE-EI a IDEA vytvářejí, neumožňuje definovat kauzální dopady studovaných jevů. „My jsme ale v tomto ohledu velmi transparentní. Otevřeně říkáme, kdy se dají naše výsledky interpretovat kauzálně a kdy je můžeme vykládat pouze jako korelace nebo statistické indikátory, které něco naznačují.“

Jedním z důležitých cílů studií je poukázat na fakt, že ve veřejných diskusích se korelace a kauzality často zaměňují. Výrazně se proto podle Václava Korbela zaměřují na to, co lze interpretovat jako skutečný dopad a co lze vykládat pouze jako určitý vztah. „Ve svých studiích i v následných diskusích se snažíme silně propagovat, že je potřeba obojí od sebe pečlivě odlišovat. A za druhé, že nejen my, výzkumníci, ale i veřejná správa musí zkoumat skutečné kauzální dopady.“

To přirozeně vyžaduje nejprve shromáždit co nejkvalitnější data, která umožní provést potřebné analýzy, a poté z nich definovat příčiny a následky – neboli vyvodit kauzální vztahy.

Sebelepší a sebezpečnější vědecké výsledky by bezesporu měly jen omezený vliv, kdyby se k nim nedostala odborná i laická veřejnost a představitelé veřejné správy. „Kromě toho, že jako výzkumník působím v IDEA



a v Národohospodářském ústavu AV ČR, pracuji i na ministerstvu školství a ze své zkušenosti mohu říct, že tyto výsledky někdy ovlivňují rozhodování," říká Václav Korbela. Jako jeden z příkladů uvádí diskuse o navýšení platů pedagogů. Ukazuje konkrétně na dohadování mezi ministerstvem školství a odbory o tom, jestli má navýšení směřovat pouze do tarifu, nebo částečně do tarifu a částečně do nadtarifů, aby ředitel školy mohl diverzifikovat platy a odměnit lepší pedagogy. Jako jeden z argumentů slouží již citovaná studie o odměňování. „V ní je v mezinárodním porovnání vidět, že odměňování českých učitelů je relativně rovnostářské a do odměn nebo nadtarifů jde relativně malé procento. Takže ředitelé mají menší prostor pro odměňování dobrých učitelů oproti zahraničí.“ Výzkumníci si však nečiní ambice určovat, „má to být tak nebo onak“, spíše přinášejí fakta, o něž se může opřít smysluplná, reálnými daty podložená diskuse.

Kvalitní analýzy, definování kauzálních efektů, čili dopadů různých opatření, totiž vědci považují za klíčové pro nastavení veřejných politik. Upozorňují, že je minimálně neefektivní zakládat rozhodnutí (často za miliony či stamiliony korun) na špatných nebo jen partiálních datech či analýzách – nebo dokonce jen na dojmech a pocitech. Vypracovávat kvalitní rozbor má tudíž smysl. „Opravdu je zásadní, a to nejen z finančního hlediska, ale hlavně kvůli budoucnosti celé naší společnosti, abychom se dnes rozhodli dobře. A to můžeme podle nás dosáhnout jen tehdy, pokud se budeme rozhodovat na základě dobré evidence a dobrých dat,“ říká Václav Korbela. Dodává, že do celé diskuse pak přirozeně vstupují ještě další argumenty, jako je morální a etické nastavení společnosti, politická realita a podobně. „Základem jsou nicméně fakta – ta tam vždycky musí být. Bez nich to nejde.“

PREZENTACE
VÝSLEDKŮ
VÝZKUMŮ
V CERGE-EI



Akademie věd
České republiky

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



PROGRAM: GLOBÁLNÍ KONFLIKTY A LOKÁLNÍ SOUVISLOSTI: KULTURNÍ A SPOLEČENSKÉ VÝZVY



EVROPSKÝ SOUD PRO
LIDSKÁ PRÁVA, ŠTRASBURK

Vysvobodíme lidská práva ze soudních síní

LENKA VRTIŠKOVÁ NEJEZCHLEBOVÁ



MGR.

PETR

AGHA,

PH.D.,

LL.M.

Je ředitelem Centre for Law and Public Affairs při Ústavu státu a práva AV ČR. Od roku 2014 je odborným asistentem na katedře politologie a sociologie Právnické fakulty UK. Je držitelem stipendia British Chevening Scholarship a FWO PhD Fellowship. Působil na University of Helsinky, v současné době je hostujícím vědeckým pracovníkem na University of Palermo. Je editorem knihy *Human Rights Between Law and Politics. The Margin of Appreciation in Post-National Contexts* (Hart Publishing 2017), *Law, Politics and the Gender Binary* (Routledge 2018) a *Lidská práva v mezikulturních perspektivách* (Academia 2019).

„Lidská práva jsou vlastně utopický projekt, který by měl vyjadřovat naši představu o tom, jaký má svět být,“ říká právník Petr Agha, editor publikace *Lidská práva v mezikulturních perspektivách*, která na fenomén lidských práv pohlíží z mnoha úhlů pohledu. Lidská práva nejsou univerzální, nejsou tu od pradávna a nejsou „přirozená“. Pokud chceme, aby v našem světě hrály dál zásadní roli, nestačí jen spoléhat na soudy.

Co má společného filozof Friedrich Nietzsche, ideál lidských práv, motorka italského závodníka Valentina Rossiho a Aladinova lampa, o kterých píšete na zadní stránce přebalu vaší knihy?

Nietzsche byl netypický filozof, velmi komplikovaná postava, zpochybňovatel všeho lidského, všeho univerzálního. Přijde mi, že se v současné době všechny přístupy k lidským právům vyčerpaly, nejsou schopné přinést nic nového a zajímavého, pokud se na celou problematiku nepodíváme úplně jinak. Oči Friedricha Nietzscheho nám právě mohou ukázat cestu, i když pro mnohé kontroverzní, která začne právě zpochybňováním univerzality lidských práv.

Takže pro začátek zpochybníme jejich univerzalitu?

Ano. Už dlouho si vyprávíme příběh o tom, jak lidská práva platí pro všechny, ale nejsme schopni tu ideu vůbec naplnit. Je tedy sama o sobě vůbec nosná? Nebylo by dobré podrobit lidská práva

kritickému pohledu Friedricha Nietzscheho? O tom je naše knížka.

A co motorka závodníka Valentina Rossiho?

Trochu provokace. Motorka je symbol. Všichni jsme součástí globálního kapitalistického světa, kde se stírá rozdíl mezi fikcí a realitou a řada věcí funguje na úrovni symbolů a reprezentací. Motorka mistra světa už není jen konkrétní stroj, stává se z ní symbol otevřený interpretacím, může být symbolem úspěchu, rychlosti, dominance atd. Na obálce naší knihy symbolizuje právě svět, ve kterém žijeme, a ve zkratce i hodnoty, na kterých stojí – konzum, úspěch, rychlost, technologie, monetizaci téměř všech aspektů života. Lidská práva můžeme taky považovat za symbol západní kultury, který se podobně jako motorka šíří po světě, kde nabývá různých významy.

Proč Aladinova lampa?

Opět symbol. Mezikulturní komunikace. Potřebujeme komunikovat s jinými

sociálními a kulturními okruhy, jenže na každodenní bázi nejsme schopni pracovat s faktickými informacemi, takže si vytváříme zkratky a symboly, jimiž charakterizujeme „cizí“ společnost. Stejně jako ona, velmi pravděpodobně také tak zkraseně, charakterizuje nás.

Aladinova lampa pro celý arabský svět?

Vše na východ od Balkánu, vše, co zahrneme pod pojem Orient. S příběhem, předsudky, legendami a mýty. Vnímání lidských práv je v různých kulturách různé. V našem kontextu často jako právo jednotlivce vůči společnosti, proto na nás dělá dojem třeba slavná fotografie Číňana na Náměstí nebeského klidu. Muž proti tanku. Jednotlivec proti mašinérii. Ve východních zemích ale nikoho nedojme, jejich obyvatelé se nevnímají jako jednotlivci, ale jako skupiny. A tak i uvažují o lidských právech.

Zmínil jste, že se ve vaší publikaci sešli lidé, kteří by spolu jinak nenašli společnou řeč; jak jste je dal dohromady?

Hledal jsem autory, kteří by reprezentovali celý vějíř pohledů na lidská práva, logicky to nemůže být parta „kluků a holek, co spolu mluví“. Musel jsem jít do různých diskurzů. V tom je snad i naše knížka unikátní, co kapitola, to jiná reflexe lidských práv. Od analytické filozofie, přes radikálně pravicovou kritiku, přes individualistickou kritiku k environmentální a genderové.

Lidská práva se promítají do celé řady aktivit nebo oblastí lidského života, a tak je i potřeba se na ně dívat. Různýma očima, v různém kontextu. Proto do knihy přispěli „čistý“ filozof, znalec islámu, expert na mezinárodní vztahy, ale



také specialistka na environmentální záležitosti.

Co vás samotného v knize – v dobrem, nebo naopak negativním smyslu – nejvíc překvapilo?

Zaujalo mě, že bytí by se mohlo zdát, že lidská práva jsou skoro zmíráním fenoménem – pod obrovským tlakem globalizace a relativizace všeho a všude – autoři nabízejí naději, že lidská práva stále mohou a budou hrát zásadní roli v našem světě. A to je snad dobrá zpráva.

Sdílette tu naději?

Ano. Myslím, že lidská práva mohou nabrat zpět svou sílu právě tehdy, vysvobodíme-li je ze soudních síní a stanou-li se opět součástí politického boje, vrátí se na

Lidská práva mohou nabrat zpět svou sílu.

pole občanského aktivismu. Když nebudeme lidská práva vnímat jako chladné normy, které jsou pod kontrolou expertů – soudců nebo ústavních právníků, do jejichž problematiky běžný občan vůbec nevidí, ale stanou se součástí politického boje uvnitř společnosti.

Proč jsou podle vás uvězněna v soudních síních?

Jednoduše řečeno: když má člověk pocit, že jsou porušována jeho „lidská práva“,

velmi často se rovnou obrací na soud, který by měl zrychlit cestu k uznání menšinových identit ve společnosti, právě s odkazem na univerzálně platný lidsko-právní katalog, který by měl převážit existující společenské uspořádání.

Soudní řízení jistě představuje možnou cestu, otázkou zůstává, nakolik je taková cesta z hlediska skutečného uznání menšin opravdu efektivní.

Problémem je poměrně velká disbalance mezi tím, co je zákonem deklarováno, a skutečností, ve smyslu pravidel a norem, které naše životy ovlivňují a řídí každý den. Ústavně je sice dáno, že jsme si rovni bez ohledu na pohlaví, ale už podle doprovodných ustanovení – dejme tomu úpravy rodičovské, mateřské dovolené – to tak není, dochází ke znevýhodnění, protože společnost stále jaksi automaticky předpokládá, že žena bude ta, která ponese větší, často celý díl péče a starostí o děti, rodinu a domácnost.

A když ženy, kterým se to nelíbí, řeknou, že se necítí být si s muži rovny, většinová společnost je odkáže na zákony. Přítom studie potvrzují rozdíly v platech, diskriminaci žen matek a podobně.

To napětí je přítomné pořád. Zákon sám o sobě neumožňuje hlubokou celospolečenskou změnu. V debatě o rovnosti je podle mě zásadní, aby se víc mluvilo o tom, v čem je výhodná pro muže.

Proč?

Stejně jako se mnohým ženám nelíbí, jak je nastavená jejich role ve společnosti, nemusí zdaleka vyhovovat ani mužům. Když role rozvolníme, můžeme vnitřně pomoci každému z nás. A sdílení povinností a práv – ve vztahu k dětem, domácnosti na jedné straně a kariéře na druhé – je pro společnost výhodné. V žebříčcích ekonomické prosperity jsou na tom velmi dobře země, kde právě toto funguje.

Pokud je matka třeba deset let doma s dětmi, zatímco otec dvanáct hodin denně pracuje, jak moc jsou ve svých rolích šťastní? Takový model je nevýhodný i pro společnost, žena postupně přichází o kvalifikaci, o schopnost pracovat, ale také o kontakty. Nevydělává, neodvádí daně, je závislá na dávkách, bude mít nízký důchod. A chlapovi ujíždí vlak jako táto. Trpí tím rodina i vztah.

Nicméně, jisté posuny v tomto směru byly vykonány, pečujících mužů přibývá, stejně jako žen, které spojují mateřství s prací, o rodičovskou dovolenou je možné se dělit.

Ale dalo to práci. V roce 2004 jsem pracoval pro kancelář vládního zmocněnce pro lidská práva, prosazovali jsme možnost střídání partnerů při ošetřování člena rodiny. Úřednice ministerstva práce a sociálních věcí nechápaly, oč nám jde, proč by měl být doma s nemocným dítětem muž?! Kategoricky prohlásily, nejde to, musely by se změnit formuláře. Nakonec to šlo. Ano, jsme dál, ale pořád



se otvírají nové otázky. Co znamená být muž? Co znamená být žena? Co je rodina? Rodič? A jednou z největších výzev dnešní doby – kromě životního prostředí a sociálních nerovností – je eroze a rozpad „tradičních“ pilířů společnosti...

Rozpad „tradičního“ modelu rodiny, jak o něm mluvíme asi 150, možná 200 let?

Ve skutečnosti jsou důvody hlavně ekonomické. Tradiční rodina už není svázaná ekonomickou potřebou. Dřív žena udržovala rodinu, protože věděla, že pokud se rozvede, skončí na ulici. Dnes jsou ženy ekonomicky dostatečně silné i na to, aby žily samy, i s dětmi. Rodiny se rozpadají, protože muži nejsou schopni reagovat na nově vzniklou společenskou realitu. Nové nároky vznikají z nových životních situací a jsou formulovány jazykem lidských práv, většinová společnost je bohužel vnímá tak, že za to „můžou lidská práva“.

Přesto mluvíte o naději, že lidská práva dál mění svět – z našeho pohledu – k lepšímu.

Svým způsobem ano. Ale ne vlivem politické nebo soudní moci, důležitější je ten substrát, živná půda, kterou změním jedině každodenními interakcemi a aktivní kampaní. V tom vidím naději. Uvedu konkrétní příklad. Osobně se do jisté míry angažuji v otázce přirozených, nebo řekněme domácích porodů. Existuje medicínský diskurz, který stanoví, jak mají porody probíhat. Určitá skupina žen však chce rodit doma. Aktivizují se, pořádají různé akce, vzdělávací kurzy. Stále více žen si uvědomuje, že mají nějaká práva, že mohou některé věci odmítat, dochází k dialogu s medicínským diskurzem, kterému se do změn moc nechce, ale stejně se pod nekončícím tlakem mění.

Dodejme, že v tomto případě nejde o to, aby co nejvíc žen rodilo doma, ale o posun porodnic k citlivějšímu přístupu, k většímu angažmá asistentek a podobně.

Jistě, jde o interakci, spoluúčast, spolurozhodování. Spíš jde o změny v chápání ženského těla, těla rodičky, co to znamená rodit, kdo vlastně rodí, žena, nebo lékař? Už jen to, že se o rodičkách



Kniha sleduje inherentní napětí v konceptu lidských práv a vytváří paralely mezi různými tradicemi a myšlenkovými systémy ve snaze najít prostor pro efektivní komunikaci mezi kulturami, chápány jako celky jak ve smyslu geografickém, tak i politickém, filozofickém a náboženském. Vyšlo v nakladatelství Academia v roce 2019 za podpory Strategie AV21.



uvažuje jako o pacientkách o něčem vypovídá. Jaká může, vlastně má být účast „pacientky“ při porodu?

Kvůli rozhovoru jsme se sešli nadvakrát. Minule jsme se loučili trochu v depresi, teď zníte o něco pozitivněji. Ale jen mírně. Opravdu zásadním pozitivním změnám doba nepřeje. Společnost se pohybuje v trajektorii, která se zdá hodně jasná a silná. Nemůžeme očekávat zásadní zlepšení z politických pater, ale na lokální úrovni, u určitých institucí je možné některé věci měnit.

Nepředbíhalo vlastně vždycky právní zakotvení lidských práv společenský konsenzus?

V mnoha případech určitě. V České republice se váže na Chartu 77, na to, jak o nich chartisté uvažovali, takže se do lidskoprávních otázek logicky v devadesátých letech promítl ten chartistický étos, protože například Ústavní soud sestával z více „chartistických“ osobností.

Takže jedna věc byla litera zákona, druhá „duch“ soudu?

Ano. Zatímco na úrovni běžných soudů k zásadní výměně komunistických kádrů nedošlo, ústavní soudci chápali lidská práva jako důležitou hranici v politice. Lidská práva jako odpor vůči ideologiím, odpor vůči rozkládání veřejného života, jako výraz univerzální morálky, která platí ve všech, ve všech případech.

Jenže?

Tento étos se naprosto rozcházel s praxí devadesátých let. Lidská práva, byť ústavou ukotvená, se stala zvláštním korektivem, který byl přisuzovaný „havlismu“, „havlístům“, zbývající část společnosti s nimi nedokázala organickým způsobem pracovat. Lidská práva se zasekla v univerzálním morálním étosu, nestala se součástí každodenní praxe.

Zdá se mi, jako by ohledně lidských práv společnost dosáhla svého vrcholu kolem roku 2000. Od té doby šlo

obecné vnímání důležitosti lidských práv zase dolů, v posledních několika letech dost rychle. Pletu se?

Souhlasím. Na jednu stranu jsme stále tolerantnější například k přijetí stejnopohlavních párů i jejich přáním vychovávat děti, na druhou stranu by čtvrtina Čechů nechtěla za souseda Žida – to v devadesátých letech nikdo neřešil.

Do roku 2000 byla lidská práva symbolem „go west“. Odklonu od východu. Dnes je velká část společnosti vnímá jako diktát Západu, Bruselu, jako útlak, jako ISO normu, podle které se kontroluje kvalita demokracie, ale vytratil se z nich onen emancipační potenciál. Už nevidíte velká občanská hnutí, spíš se konkrétní případ pošle do Štrasburku. Ten jej odklepne a pak se implementuje. Tím se vracíme k tomu, co jsme už zmínili. Soudní vymáhání převažuje.

Když srovnáme stav lidských práv v naší zemi, v ostatních „postkomunistických“ zemích a na blízkém Západě, pořád se projevuje naše původní zpoždění?

Je pořád znát ve způsobu přemýšlení, který je v nás zakořeněný. Mí spolužáci ze škol v Anglii, v Belgii uvažovali jinak. Ano, konstatují, „multi-kulti“ je problém, ale všichni jsme lidi; v Česku se řekne, „multi-kulti“ je problém, protože nám sem posíláte / „černý vopice“

Myslím, že demontáž principů demokracie, tak jak se o ní mluví v souvislosti s nárůstem nacionalismu a populismu, je tak dominantní a rychlá právě v našem regionu, protože nám chybějí kořeny, na Západě je trend taky jasný, ale potrvá déle.

V Maďarsku a Polsku už vidíme konkrétní zásahy do vybojovaných lidských práv ohledně

potratů, oklešťování svobody médií a podobně.

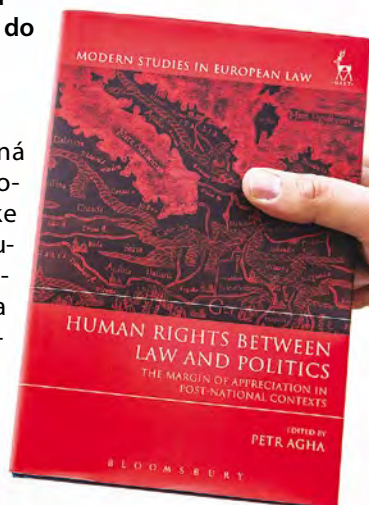
Maďarsko a Polsko demontují demokracii ve jménu konzervativních hodnot, zatímco Česká republika a Slovensko jde cestou tzv. technokratického nebo-li vlastně bezhodnotového populismu. Populistická hesla staví spíš na ekonomické efektivitě a růstu ekonomiky. I to vypovídá o společnosti.

Skoro bych nesměle pípla, že to u nás ještě možná není tak zlé...

Přesně! Říkám to každému, dokud jde „jen“ o peníze, není alespoň potřeba vynášet nějaké šílené nesnášenlivé karty.

Může se stát, že se jednoho dne probudíme do systému, kde padnou všechny lidskoprávní vydobyté pozice?

Otázka je, co znamená „ze dne na den“. Samozřejmě, může dojít ke spoustě drobných posunů, které se potom na jednu sejdou, spousta drobností nás může přivést na cestu do pekel. Právě teď pracujeme na knížce o roku 1989 a ukazuje se, že ještě v létě 1989 nedokázali experti na mezinárodní vztahy předpovědět, co se stane na podzim. Existuje přesvědčení, že sociální vědci umí odhadovat, jak se společnost vyvine. Prognózy se stavějí pomocí vzorců, které však vznikají na základě minulých dat, která sledují jakési historické ověřené indikátory. Cesta k jejich změně je velmi dlouhá, takže se opět může stát, že podobně jako analytici v létě roku 1989 sledovali indikátory, psali statě



KNIHU PETRA
AGHY VYDALO
PRESTIŽNÍ
NAKLADATELSTVÍ
BLOOMSBURY.



STRUČNÁ HISTORIE LIDSKÝCH PRÁV

„Máme všichni pocit, že lidská práva jsou tady odnepaměti, ale je otázka, jak historii čteme. Už ve starých náboženských textech se dají vysledovat poukazy na to, že člověk je bytost hodná ochrany, že existují morální zásady, které je třeba respektovat, ale o lidských právech jako silné myšlence se hovoří až v souvislosti s francouzskou revolucí. Tehdy poprvé se vztahovala na všechny, do té doby šlo vždy o ‚lidské právo‘ bohatých či jinak privilegovaných vůči panovníkovi. Až francouzská revoluce proklamovala, že lidská práva jsou univerzální. A jak to dopadlo... Znovu se lidská práva stala aktuální za ‚bolševické‘ revoluce, což byla svým způsobem taky lidskoprávní revoluce, ale víme, co přinesla. Skutečná změna nastává až po válce, až s norimberským procesem, kdy spojenci hledali způsob, jak obžalovat a soudit německé válečné zločince, protože podle zákonů, kterým za války podléhali, je nebylo možné odsoudit. Musely se ustanovit univerzální hodnoty překračující lokální právní řády, a tak byla formulována soudobá idea lidských práv. Jako něco externího, co směřuje vůči státům dovnitř. Druhá vlna, v sedmdesátých letech, přinesla do oblasti lidských práv politický jazyk; mezníkem se stala helsinská Všeobecná deklarace lidských práv a první soudní instituce.“



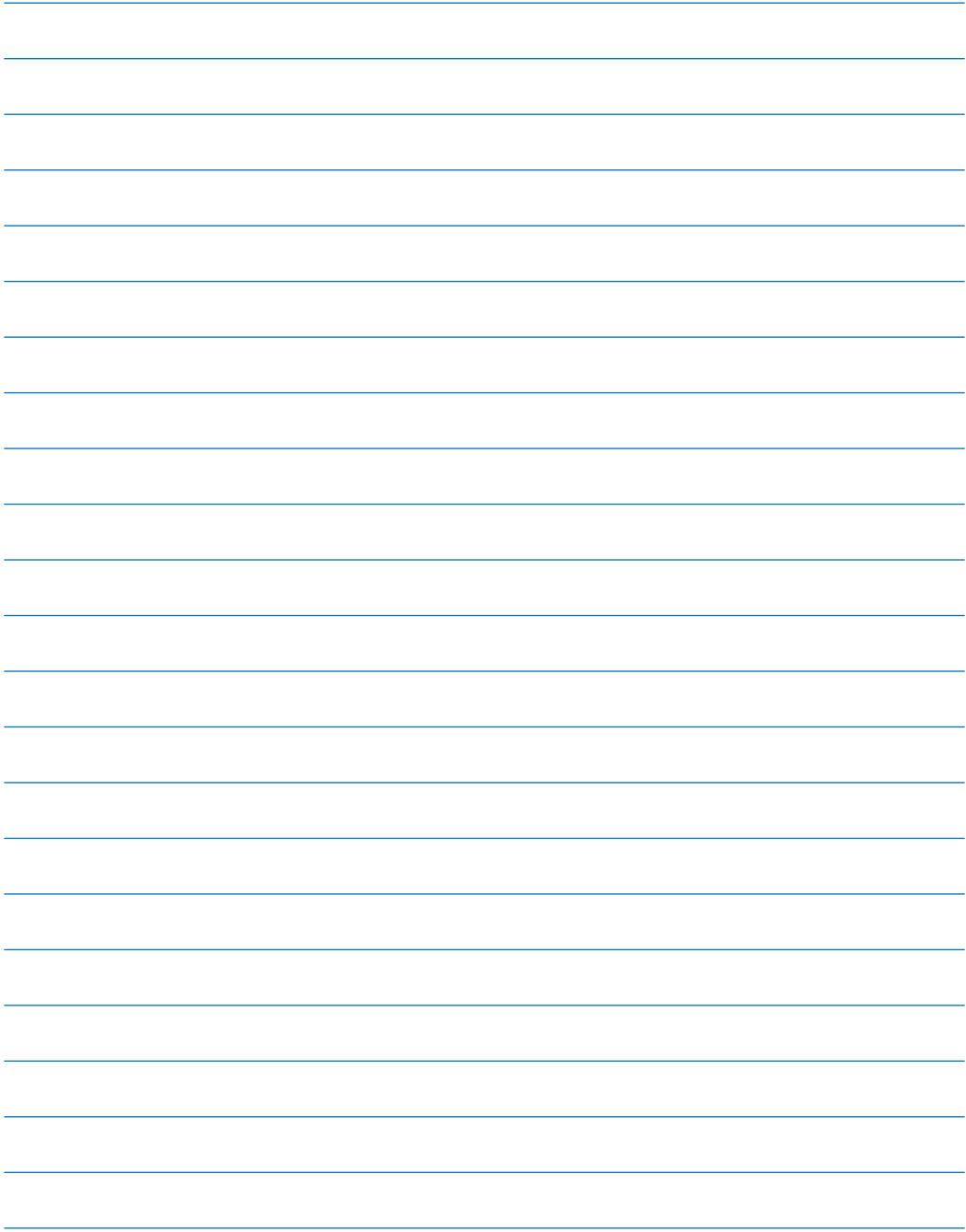
a konferovali o bipolárním světě, nedokázali vůbec zachytit radikální proměny světa.

Jako předpověď počasí. Matematické modely fungují, dokud nečekaně nepříjde studená fronta. Všechno je pak jinak.

Jistě, dokud se společnost vyvíjí jakžtakž lineárně, vzorce fungují, leccos se dá vyčíst z veřejného mínění, z dat o náladách ve společnosti, ale teď se zdá, že dochází k tak zásadním proměnám, že návody, které dosud možná vycházely, nefungují. K některým věcem jsme slepí.

Jak by lidská práva fungovala v ideálních podmínkách?

Ideální podmínky nás nemusejí zajímat, ty nikdy nenastanou. Ale pořád bychom si měli pojmenovávat, k čemu se upínáme, co chceme. Nejsme si rovni, ale shodli jsme se, že budeme jednat tak, abychom k té rovnosti špli. V každé oblasti a situaci funguje rovnost jinak, ale dokud se shodneme, že pro nás je obecně výhodné, když o sobě budeme uvažovat jako o sobě rovných, má to smysl. Lidská práva jsou vlastně utopický projekt, který by měl vyjadřovat naši představu o tom, jaký svět má být. ■



SEZNAM VÝZKUMNÝCH PROGRAMŮ STRATEGIE AV21

01

**NADĚJE A RIZIKA
DIGITÁLNÍHO VĚKU**

doc. RNDr. Barbara Zitová, Ph.D.

02

**SYSTÉMY PRO
JADERNOU
ENERGETIKU**

doc. RNDr. Radomír Pánek, Ph.D.

03

**ÚČINNÁ PŘEMĚNA
A SKLADOVÁNÍ
ENERGIE**

Ing. Jiří Plešek, CSc.

04

PŘÍRODNÍ HROZBY

RNDr. Josef Stemberk, CSc.

05

**NOVÉ MATERIÁLY NA
BÁZI KOVŮ, KERAMIK
A KOMPOZITŮ**

prof. RNDr. Ludvík Kunz, CSc., dr. h. c.

06

**DIAGNOSTICKÉ
METODY A TECHNIKY**

Ing. Ilona Müllerová, DrSc.

07

**KVALITNÍ ŽIVOT VE
ZDRAVÍ I NEMOCI**

doc. MUDr. Jakub Otáhal, Ph.D.

08

**POTRAVINY PRO
BUDOUCNOST**

prof. Ing. Jaroslav Doležel, DrSc.

09

**ROZMANITOST ŽIVOTA
A ZDRAVÍ EKOSYSTÉMŮ**

prof. Ing. Josef Špak, DrSc.

10
**MOLEKULY
A MATERIÁLY PRO
ŽIVOT**

Ing. Jiří Brus, Dr.

11
**EVROPA A STÁT:
MEZI BARBARSTVÍM
A CIVILIZACÍ**

prof. PhDr. Petr Sommer, CSc., DSc.

12
**PAMĚŤ V DIGITÁLNÍM
VĚKU**

PhDr. Luboš Velek, Ph.D.

13
**EFEKTIVNÍ VEŘEJNÉ
POLITIKY A SOUČASNÁ
SPOLEČNOST**

doc. Ing. Daniel Münich, Ph.D.

14
**FORMY A FUNKCE
KOMUNIKACE**

prof. PhDr. Petr Kořátko, CSc.

15
**GLOBALNÍ
KONFLIKTY
A LOKÁLNÍ
SOUVISLOSTI:
KULTURNÍ
A SPOLEČENSKÉ
VÝZVY**

doc. PhDr. Marek Hrubec, Ph.D.

16
VE SMÍR PRO LIDSTVO

RNDr. Jiří Svoboda, Ph.D.

17
**SVĚTLO VE SLUŽBÁCH
SPOLEČNOSTI**

Ing. Tomáš Mocek, Ph.D.

18
**PREKLINICKÉ
TESTOVÁNÍ
POTENCIÁLNÍCH LÉČIV**

MUDr. Jan Kopecký, DrSc.



Vydala Akademie věd České republiky v roce 2019

TEXT

Ondřej Vrtiška, Lenka Vrtišková Nejezchlebová, Jana Olivová

FOTO

Jana Plavec / AV ČR (6, 10–13, 15 vpravo, 34, 36, 37, 39 vpravo, 47, 51 vpravo, 55, 56, 60, 61, 78–83, 87–89, 99, 102, 103, 106, 107 a 109), Pavlína Jáchimová / AV ČR (4, 22–26, 35, 62 vlevo, 73 vpravo a 75), Stanislava Kyselová / AV ČR (51 vlevo), ITER (9, 15, 16), Jordan Cavalier / ÚFP AV ČR / Věda fotogenická (21), Lenka Borecká / ÚSMH AV ČR (28), Tereza Vlková (68, 72), Tomáš Větrovský (71), Vendula Brabcová (76), ostatní foto Profimedia, Shutterstock a archiv AVČR; foto na titulní straně Profimedia

GRAFICKÁ ÚPRAVA

Karol L' Huillier

JAZYKOVÁ ÚPRAVA

Irena Vítková

PRODUKČNÍ

Markéta Wernerová

ODPOVĚDNÝ REDAKTOR

Viktor Černocho

TISK

Unipress, spol. s r. o.

CENA

zdarma

Veškeré texty a dále fotografie autorek Jany Plavec, Pavlíny Jáchimové a Stanislavy Kyselové jsou uvolněny pod svobodnou licencí Creative commons CC BY-SA 3.0 CZ.

Středisko společných činností

AV ČR, v. v. i.


Odbor akademických médií

Divize vnějších vztahů

Národní 1009/3, 110 00 Praha 1

av21.avcr.cz





Strategie AV21 je vlajkovou lodí interdisciplinárního výzkumu Akademie věd České republiky. Motto této ambiciózní platformy „Špičkový výzkum ve veřejném zájmu“ výstižně deklaruje, co je jejím záměrem – kvalitní vědecká práce, která slouží občanům České republiky, ale i světové komunitě při řešení celospolečenských výzev. Během pětileté existence Strategie AV21 vzniklo 18 výzkumných programů, které se zabývají problémy, jež se bezprostředně dotýkají našich životů. Hledají se tak například efektivnější a nové cesty pro energetiku, ochranu přírody a zemědělské půdy, vznikají studie zaměřené na společenská témata – globální konflikty, efektivní veřejné politiky v oblastech bydlení, zdraví, školství...

„Pro tuto knihu jsme vybrali devět konkrétních projektů, aktivit, výzkumů či publikací, které ilustrují nejen šíři záběru Strategie AV21, ale také čtivě informují o vědeckých úspěších, výsledcích a projektech vědců z pracovišť Akademie věd ČR. Spojuje je skutečnost, že bez finanční podpory Strategie AV21 by vznikaly jen obtížně, nebo pravděpodobně vůbec. A to by byla škoda,“ vysvětluje Michal Haindl, který je v Akademické radě AV ČR pověřený koordinací a rozvojem Strategie AV21.