

JE Temelín pod drobnohledem

Václav Havlíček¹, Jana Žďárská²

¹ Jaderná elektrárna Temelín, 373 05 Temelín-elektrárna

² Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

Jaderné štěpení prostřednictvím jaderné energetiky otevřelo lidstvu důležitou cestu k výrobě energie s malou uhlíkovou stopou. K jadernému štěpení uranu docházelo při experimentech v laboratořích už od roku 1934, jen o tom vědci nevěděli. Otto Hahn, Lise Meitnerová a Fritz Strassmann si tehdy jako první uvědomili (po velmi detailních experimentech a rozborech), že při jejich pokusech došlo ke štěpení jader uranu.¹ Během 2. světové války se následně rozběhl jaderný program v řadě zemí. První řízená řetězová štěpná reakce se uskutečnila 2. prosince 1942 v reaktoru CP-1, který postavil tým Enrica Fermiho v podzemí stadionu Chicagské univerzity. V České republice jsou v současnosti provozovány dvě jaderné elektrárny, a to v Dukovanech a Temelíně. O technologii výroby, bezpečnostních otázkách, nárocích na zaměstnance i celkovém vlivu jaderné elektrárny na okolí jsme hovořili s Ing. Václavem Havlíčkem, vedoucím II. reaktorového bloku Jaderné elektrárny Temelín.



Od začátku provozu ČEZ se zvýšil výkon Temelína o více než 200 MWe. Foto: Archiv JE Temelín

Výroba energie pomocí jaderného štěpení je i v současné době obestřena určitým tajemstvím. Zřejmě je to také tím, že si většina z nás nedokáže proces výroby energie štěpením jader uranu dost dobře představit. Když hoří dřevo, uhlí nebo plyn, vidíme to, je to pro nás svým způsobem hmatatelné a možná to dokážeme pochopit. Stejně tak je pro nás pochopitelný proces vzniku elektrické energie za pomoci obnovitelných zdrojů – tedy vody, slunce nebo větru. Ale představit si štěpnou reakci, při níž dochází k rozbití jádra nestabilního atomu a uvolnění energie, si tak snadno nedokážeme.

¹ O historii objevu a interpretaci jaderného štěpení jsme nedávno publikovali sérii článků Filipa Grygara: Čs. čas. fyz. 69, 49, 203, 339, 441 (2019).

Jak je historicky známo, člověk se nejvíce bojí toho, čemu nerozumí. Tyto obavy průběžně podporují i některé havárie jaderných reaktorů či zneužití štěpných reakcí ve vojenství. Zřejmě i na základě toho vznikají sdužení tvrdě vystupující proti budování jaderných elektráren a jaderné energii jako takové.

Proto se i samotné jaderné elektrárny snaží co nejlépe informovat o své činnosti. Na této propagaci spolupracuje i Jaderná elektrárna Temelín. Její informační centrum, které bylo firmou ČEZ založeno v roce 1991, informuje jak o jaderné elektrárně, tak i o jaderné energetice a fyzice obecně. Přicházející návštěvníci si zde mohou prohlédnout názornou expozici o problematice jaderného štěpení, vyslechnout různě cílené přednáš-



Během dvaceti let ČEZ v Temelině investoval 20,5 miliardy Kč do posílení bezpečnosti a modernizace.

Foto: Archiv JE Temelín

ky, zhlédnout vzdělávací filmy a prohlédnout si různé propagační materiály. A především se mohou na cokoli zeptat. Tuto příležitost jsem při své návštěvě využila i já a byla jsem velmi potěšena odborným přístupem povolaných pracovníků a kvalitou podaných informací.

Jaderná energetika je úchvatný obor a skrývá v sobě zajímavé fyzikální procesy. Pojďme se tedy nyní vydat doslova „mezi jádra atomů“, zlehka nahlédnout pod kryt jaderného reaktoru a postupně si krok po kroku projít jednotlivé fyzikální děje probíhající v jaderné elektrárně spolu s osobou nejpovolanější – s Ing. Václavem Havlíčkem, vedoucím reaktorového bloku.

■ **Jana Žďárská:** *Vážený pane inženýre, zajištění provozu jaderné elektrárny vyžaduje jistě velké úsilí i v běžném období. Ještě než se tedy ponoříme do objasnění technologií výroby energie z „jádra“, mohl byste nám přiblížit, jakým způsobem je zajišťována obsluha elektrárny v současné době – v době koronavirové karantény?*

Václav Havlíček: Pro nás je prioritou zabezpečit dodávky elektřiny pro Českou republiku, a to ve dne, v noci, v pracovní dny i ve svátky. Ono to vypadá trochu jako klišé, když to takto říkám, ale nejčastější otázka, která mi je pokládána, se týká toho, jestli budu v práci o Vánocích. My nerozlišujeme den, noc, Vánoce nebo naše narozeniny. Jsme tu pořád – 365 dní v roce. A pokud toto máme dokázat, tak musí existovat celý soubor opatření, aby se nás ani tak závažná situace, jakou současná pandemie rozhodně je, nedotkla. Navíc musíme být stále několik kroků před covidem. Například jde o měření tělesné teploty na vstupu, omezení osobních kontaktů, nošení roušek, elektronickou formu jednání a schůzek nebo využívání home office. Opatření začínají již při cestě do zaměstnání. Posádky nejedou autobusy, ale osobními vozidly. Maximálně po dvou a s rouškami. Toto jsme zavedli mnohem dříve, než to bylo nařízeno pro všechny občany. Operátoři se střídají v době, kdy je nejmenší pravděpodobnost, aby se s někým potkali. Navíc předání směny běží v podstatě bezkontaktně, kdy nová posádka vchází jiným vstupem, než odchází končící posádka. Směny pracují v respirátorech a za minimálního kontaktu s okolím. Jsou připraveny i plány, pokud by se situace zhoršovala. Od určitého momentu by došlo k odeslání celých posádek na hotely do izolace. Odtud bychom jezdili jen do práce a zpět, a to za velmi přísných podmínek. A samozřejmě máme v záloze i další

varianty. Nikdo na elektrárně nebere současnou situaci na lehkou váhu. Všichni víme, že na elektřině závisí chod celé společnosti. Každý z nás udělá maximum, aby elektřina z jaderných elektráren byla právě tam, kde je to potřeba.

■ **JŽ:** *Na JE Temelín pracujete již více než dvacet let. Čím jste chtěl být jako dítě a jak probíhalo vaše studium? A kdo vás k této cestě nasměroval? Měl jste nějaký svůj vzor?*

VH: Vzory jsem měl dva. Své rodiče. Oni mi umožnili studovat, i když to neměli jednoduché. Nevím, jestli jsem chtěl někým být. Vím, čím jsem být nechtěl. Nechtěl jsem být zemědělec. A to proto, že jsme museli pracovat na poli a kolem domácích zvířat. Možná to mě motivovalo, abych se učil. Studijní cesta byla od začátku do konce přímočará a směřovala k energetice. SPŠ Chomutov (tehdy velice prestižní škola), ČVUT Praha a rovnou ČEZ. Tady jsem prošel výcvikovým programem pro operativní personál, a pak už jen blokova dozorná a jednotlivé pozice. Nejdříve na JE Dukovany a následně už JE Temelín.

■ **JŽ:** *Pracujete jako vedoucí II. reaktorového bloku. Čím se zde zabýváte, co pro vás tato práce znamená a jak jste se k práci v elektrárně Temelín dostal?*

VH: Začnu odzadu. Během studia na ČVUT jsem si byl poslechnout přednášku s tehdejšími směnovými inženýry, dnes mým dobrým kamarádem Ing. Jiřím Tycem. Protože mi jeho povídání dávalo smysl a studium jaderné energetiky mě bavilo, tak bylo v podstatě rozhodnuto. Navíc se po mě nechtělo, abych hned po státních zkouškách vymyslel perpetuum mobile. Jaderná energetika je velice specializovaný obor, a tak si své operátory ČEZ vychovává sám.

Co pro mne práce na jaderné elektrárně znamená? Určitě je to prestiž. Práce se špičkovou technologií a ve velké většině komunikace s nadprůměrně inteligentními lidmi.

A teď to nejsložitější. Náplň mé práce. Smyslem naší snahy je vyrobit teplo v reaktoru a odvést ho na turbínu takovým způsobem, aby to bylo bezpečné, ekonomické a stále opakovatelné. Je to poměrně složité. K popularizaci naší práce snad nejvíce přispěl jeden seriál. Asi víte který. Ano, byli to Simpsonovi. Občas je naše povolání také srovnáváno s prací pilotů dopravních letadel. Myslím si, že na našem pracovišti, na blokové dozorně, máme více ovládacích prvků (cca 3000) i zobrazova-



V rámci přednáškové a osvětové činnosti se Ing. Václav Havlíček zabývá popularizací jaderné energetiky mezi studenty v ČR i v zahraničí. Na svém kontě má více než 1 200 přednášek. Foto: Archiv JE Temelín



V roce 2016 ČEZ v Temelíně zvýšil zásoby paliva. Posílil tak energetickou bezpečnost ČR. Foto: Archiv JE Temelín

cích displejů (1 714). Nikdy jsem ale neseděl v kokpitu dopravního letadla, tak můžu jen odhadovat. Rozdíly v naší práci jsou myslím větší. Pilot, když udělá chybu, tak jsou na zemi dříve, než je předpokládán čas přistání. U nás, kdyby došlo k chybě, tak máme nad sebou několik vrstev bezpečnostních systémů, které nás od takové katastrofy bezpečně ochrání.

■ *JŽ: Práce na takto odpovědné pozici není asi prací na osm hodin a dost. Musíte se neustále vzdělávat i opakovaně trénovat řešení různých nestandardních situací na simulátorech. Ovlivňuje vaše náročné povolání i váš soukromý život?*

VH: V nadsázce lze říci, že každý z nás se tak trochu oženil s elektrárnou. Bez podpory a pochopení našich rodin by to asi nešlo. Jsou chvíle (třeba před státními zkouškami nebo v době odstávky), kdy máme podstatně méně času na své blízké. Na druhou stranu od začátku věděli, že mají vedle sebe partnery, kteří pracují na jaderné elektrárně, a že s tím jsou spojena určitá omezení.

■ *JŽ: Vy máte za sebou mimo jiné i bohatou lektorskou činnost. Na co se vás lidé při přednáškách nejvíce ptají?*

VH: Zajímavých otázek je mnoho. Nejčastěji studenti zajímá, jestli to může bouchnout. Tato otázka zazní skoro pokaždé. Nicméně v poslední době jsou studenti na besedy stále lépe připraveni a zvedá se tak jejich úroveň. Ovšem nikdy nezapomenu na své první přednášky v Rakousku. Když jsem jel na tu první do Lince, rodina se se mnou rozloučila a dala mi nějaké peníze na cestu. Manželka brečela, protože byla přesvědčená, že vedoucího bloku z Temelína Rakušané musejí přinejmenším zavřít. A opravdu první besedy byly, trošku emočně náročnější. Dnes se na přednášky do Rakouska těším. Trvalo mi sice deset let, než tamní posluchači pochopili, že nejsem demagog, že je nechci zabít, ale naopak, že jim můžu něco vysvětlit a posunout je ve vzdělání.

■ *JŽ: Dohlížet na chod jednotlivých výrobních procesů, kontrolovat velké množství displejů a analyzovat jednotlivé údaje je určitě velmi vyčerpávající. Jak relaxujete a máte čas i na nějaké koníčky?*

VH: Každý z nás to má určitě jiné a individuální. Někdo sportuje, někdo manuálně „odpočívá“. Já jsem kombinace všech možností. Určitě je na prvním místě rodina. Vždy když přijdu domů, musím obdivovat svou manželku, jak vše dokázala zvládnout. Já bych to takto nedokázal, a proto se snažím alespoň trochu pomoci.

K tomu se snažím splnit úkoly, jak jinak než od manželky :-), okolo našeho domu. A když mi zbyde čas, tak je tu sport. Fotbal, jízda na koni a v neposlední řadě určitě běžné vesnické činnosti. Žijeme v malé obci (teď se určitě někdo usmívá), kde to funguje postaru. Každý něco umí, a tak jeden pomáháme druhému a všichni se pak sejdeme u soudku s pivem. P.S. Díky, lidičky!

■ *JŽ: Vzpomínáte si na dobu, kdy se jaderná elektrárna začala budovat? A jaké to ve vás vyvolalo pocity? Byl jste nadšen, nebo jste byl spíše odpůrcem jaderné energetiky?*

VH: Tak na to si vůbec nevzpomínám. V roce 1986 mi bylo patnáct let a to mě nějaká jaderná elektrárna nezajímala. Prvně jsem si prošel rozhodovacím systémem v roce 1990 (můj nástup na ČVUT). Tam jsem se musel rozhodnout, zda se budu věnovat tlakovodním reaktorům, či jaderné fúzi. Fúze mi dodnes nepřišla k srdci. Asi už zůstanu u „VeVERek“ (tlakovodních reaktorů).

■ *JŽ: Když se začalo uvažovat o stavbě jaderné elektrárny, které lokality byly tehdy navrženy a proč?*

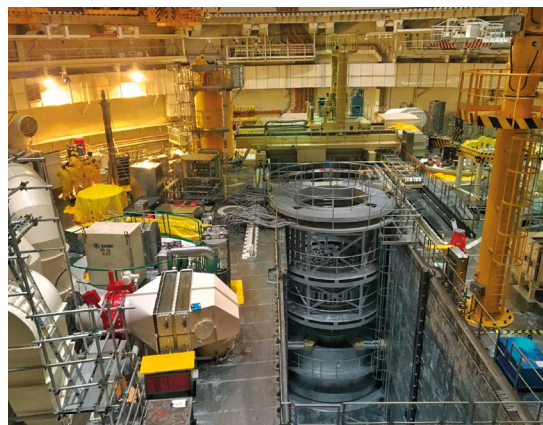
VH: Byly tři. Východočeský Tetov, severomoravské Blahutovice a Temelín. Temelín se jevil nejvýhodněji. Samozřejmě musel splnit přísná kritéria, jako například geologicky stabilní podloží, blízkost dostatečné velkému vodnímu zdroji, nízké osídlení nebo optimální dopravní napojení.

■ *JŽ: Proč byla pro stavbu JE Temelín nakonec vybrána právě tato lokalita?*

VH: Temelín splňoval posuzovací kritéria nejlépe a už jenom třeba jeho umístění na kopci mu dává dostatečnou ochranu proti povodním na Vltavě, což se potvrdilo i v roce 2002. Navíc jižní Čechy byly oblastí bez většího energetického zdroje. Umístění Temelína dávalo smysl i z hlediska přenosové soustavy a následně zprovoznění elektrárny bylo důležité i z pohledu ekologie. V severních Čechách totiž došlo k odstavení uhelných elektráren o souhrnném výkonu dva tisíce megawattů. Nyní se díky Temelínu nemusí ročně do ovzduší vypustit přes 10 milionů tun CO₂.

■ *JŽ: Jak velký je ochranný koridor kolem elektrárny?*

VH: Takzvaná zóna havarijního plánování byla SÚJB stanovena na 13 km, má tvar kružnice o poloměru 13 km (a v určitých místech sahá ještě o trochu dál).



Před dvaceti lety v Temelíně poprvé spustili reaktor prvního bloku (ilustrační foto z odstávky druhého bloku v roce 2018).

Foto: Archiv JE Temelín

» Pokud chcete najít tajemství vesmíru, je ukryto v pojmech energie, frekvence a vibrace. «
Nikola Tesla

» Manipulace při výměně paliva jsou v rámci bezpečnosti on-line přenášeny do sídla Mezinárodní agentury pro atomovou energii ve Vídni. «

■ JŽ: Kdy konkrétně začala stavba elektrárny a kolik betonu či oceli bylo přibližně použito?

VH: Stavba provozních objektů začala v únoru roku 1987. Přípravné práce na staveništi však probíhaly už o čtyři roky dříve. Množství betonu se dá jen odhadovat. Bylo to přibližně 232 000 m³ betonu a přibližně 60 000 000 kg oceli.

■ JŽ: Samotná stavba elektrárny trvala třináct let. Jakým způsobem probíhala a došlo během výstavby k nějakým významným problémům?

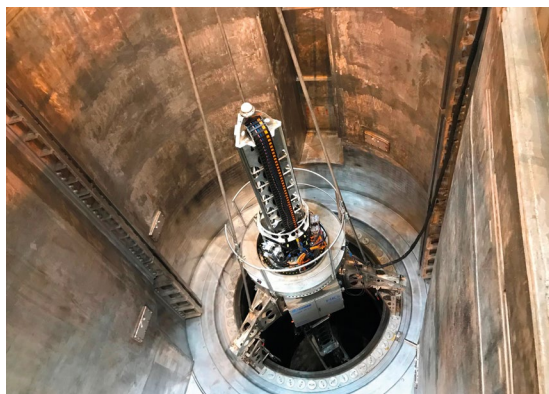
VH: Šlo o velký projekt, který logicky provázely velké diskuze. Z nich nakonec vyplynula redukce původního čtyřblokového projektu na polovinu. K tomu došlo v březnu 1993. Často nám bylo vytýkáno prodloužení termínu a zvýšení rozpočtu. Oboje hodně souviselo s úpravami, ke kterým během výstavby došlo. Ty vyplývaly z doporučení mezinárodních expertů, kteří do Temelína během výstavby pravidelně jezdili a přiváželi nejlepší světové praxe. Jednou z nejvýznamnějších změn byla náhrada původního systému kontroly a řízení za moderní, plně digitální. To sice znamenalo další prodloužení výstavby a navýšení rozpočtu, na druhou stranu to výrazně posílilo bezpečnost celé elektrárny. A takových příkladů by šlo uvést mnohem víc.

■ JŽ: Areál jaderné elektrárny je velmi rozsáhlý se spoustou budov a různých technických zařízení. Z čeho se jaderná elektrárna konkrétně „skládá“?

VH: Mnoho lidí si myslí, že elektrárna je jen reaktor a turbína. Ale ono to tak není. Elektrárna je o úpravě vody, o přípravě chemických sloučenin, o rozvodné síti, o zpracování látek, které vzniknou během výroby elektřiny. Je to ohromný závod s mnoha provozy, které možná nejsou tolik vidět, ale jsou pro nás důležité. V Temelíně máme dva tlakovodní reaktory (VVER-1000, typ V320), každý o tepelném výkonu 3 120 MW. Jde o vodou chlazený a vodou moderovaný reaktor, což je obrovská výhoda z hlediska jeho bezpečnosti. Při ztrátě vody, která zajišťuje chlazení, se reaktor sám na základě fyzikálních principů odstaví. Na druhé straně výroby elektřiny je elektrický turboalternátor o jmenovitém výkonu cca 1 090 MW. Úmyslně píší cca. Hodně to závisí na okolních klimatických podmínkách.

■ JŽ: Palivem pro jadernou elektrárnu je obohacený uran. Jak se vyrábí a proč je třeba jej obohacovat?

VH: Vytěžený přírodní uran se zpracuje. Využije se jeho izotop 235, který se následně obohacuje. Che-



Zařízení v hodnotě desítek milionů korun při kontrole tlakové nádoby reaktoru. Foto: Archiv JE Temelín



Během odstávky energetici vymění přibližně čtvrtinu paliva. Foto: Archiv JE Temelín

mickými procesy se pak přemění na práškovou formu oxidu uranitého. Ta je následně rozemleta na jemnější částice, z nichž se vytvoří granulát a ten je následně přetříděn, lisován a žhán. Nakonec je granulát pod vysokou teplotou tvarován do finální podoby paliva, nejčastěji peletek. Posledním krokem je broušení peletek a jejich třídění v případě, že jsou vadné. Peletky musejí odpovídat předepsanému tvaru s vysokou přesností, tak aby bylo možné uložit je do palivových článků ve tvaru šestibokého hranolu o výšce přibližně 4,5 metru. V jednom reaktoru je 163 palivových souborů, tedy přibližně 15,5 milionu pelet. Přitom pouze jedna peleta o velikosti přibližně dvou ibalginů energeticky nahradí cca 880 kilo černého uhlí.

■ JŽ: Proč se uran obohacuje jen na max. 5 procent ²³⁵U, a ne více? Je to kvůli bezpečnosti či jeho zneužití?

VH: Vychází to z pravidel Mezinárodní agentury pro atomovou energii a smyslem je ochrana proti zneužití. Pro energetické reaktory je to skutečně 5 % ²³⁵U, pro experimentální reaktory to může být až 20 % ²³⁵U. A jen tak pro zajímavost, pro atomovou bombu potřebujete obohacení větší než 85 % ²³⁵U. Jedním z prvků, který vzniká jadernými reakcemi v reaktoru z ²³⁸U, je i plutonium, které může být použito k výrobě jaderných zbraní.

■ JŽ: Jak probíhá výměna paliva v reaktoru, jak často k výměně dochází a kam je ukládáno to použité?

VH: Palivo se vyměňuje během pravidelných odstávek. Ty zatím na každém bloku probíhají jednou ročně, i když v rámci světové praxe mohou být palivové cykly ještě o něco delší. Samotná výměna paliva trvá přibližně dva týdny, i když vlastní odstávka je delší. Vymění se čtvrtina ze 163 palivových souborů. Součástí prací je i kontrola každého souboru. Vše běží pod vodou, která spolehlivě ochrání pracovníky na reaktorovém sále a pomocí dálkově ovládaného stroje. Manipulace jsou navíc po celou dobu on-line přenášeny do sídla Mezinárodní agentury pro atomovou energii ve Vídni. Palivo, které se do reaktoru nevrací, se umísťuje na přibližně deset let do bazénu, který je hned vedle reaktoru.

■ JŽ: Odkud se palivo dováží a jak probíhá jeho transport – je utajen?

VH: Z výrobního závodu ruské korporace TVEL. Ročně proběhne několik transportů. Částečně letecky, částečně po silnici. Palivo přitom urazí několik tisíc

kilometrů. Vše se děje pod přísným dozorem. O trase a termínech ví pouze omezený okruh prověřených lidí. Není to kvůli radioaktivitě. Ta je u čerstvého paliva srovnatelná s přírodním pozadím. Jde však o strategický a velmi drahý materiál. Ochrana a opatrnost jsou tedy rozhodně na místě.

■ **JŽ:** *Takže na začátku všeho je hornina, která se zpracuje v závodě na palivové soubory a ty jsou poté umístěny v reaktoru. Jak si takový jaderný reaktor můžeme představit?*

VH: Reaktor je takový velký Papinův hrnec. Jen není prázdný. Má mnoho vnitřních vestaveb. Tlaková nádoba je vysoká 11 metrů, průměr její dno je ve výšce 13 metrů nad úroveň okolního terénu. Vnější průměr je 4,585 m. Stěny válcové části mají tloušťku 193 mm. Nádoba je vyrobena z vysoce kvalitní nízkolegované chrom-nikl-molybden-vanadové oceli a je navržena na tlak 19,6 MPa při teplotě 350 °C, přičemž běžný provozní tlak je 15,6 MPa při teplotách 290–320 °C.

■ **JŽ:** *Celá výrobní technologie je umístěna v tzv. kontejnmentu. Je to z hlediska bezpečnosti? A jaké jsou jeho parametry?*

VH: Mohutná konstrukce kontejnmentu chrání reaktor a primární okruh před vnějšími vlivy a okolí elektrárny před následky případné havárie. Válec má průměr 45 m, výšku 56 m a tloušťku betonových stěn 1,2 m. Konstrukce kupole je pouze o 10 cm slabší. Jeho vnitřní ocelová výstelka má tloušťku 8 mm. Konstrukci kontejnmentu vyztužuje 132 ocelových lan o průměru 20 cm a o délce 95 až 190 metrů, každé je spleteno ze 478 drátků. Uvnitř kontejnmentu je trvale udržován mírný podtlak, který znemožňuje únik radioaktivních látek do okolí. Jsou zde rovněž umístěny bazény, kde se až 10 let uskládá použité jaderné palivo před umístěním do tzv. meziskladu.

■ **JŽ:** *Jak se dostane teplo, které vzniklo v důsledku štěpení, až k turbíně? A k čemu slouží parogenerátory?*

VH: Na tlakovou nádobu reaktoru jsou napojeny čtyři smyčky. Na každé smyčce je hlavní cirkulační čerpadlo a parogenerátor. To je jediné místo, kde se předává tepelná energie z primárního okruhu do sekundárního. Je to válcová horizontální nádoba o délce 14,8 m, jejich vnější průměr je 4,2–4,5 m. V každém parogenerátoru je 11 000 trubiček o průměru 16 mm. Uvnitř trubiček proudí chladivo primárního okruhu (320 °C, 15,6 MPa) a vně trubiček je voda sekundárního okruhu (220 °C a 6,0 MPa). Přes teplosměnnou plo-



Mezi důležité činnosti odstávek patří i kontroly turbíny.

Foto: Archiv JE Temelín



Před čtyřmi lety zazněl v temelínské chladicí věži Mozart v podání kvarteta Jihočeské filharmonie.

Foto: Archiv JE Temelín

chu trubiček dojde k předání energie a na sekundární straně každého parogenerátoru vznikne 1 470 tun páry za hodinu o teplotě 278 °C a tlaku 6 MPa. Tato pára pak proudí parovody až do turbogenerátoru (skládajícího se z parní turbíny, elektrického generátoru, budiče a pomocného budiče), kde se pak tepelná energie páry převádí na mechanickou energii pohybu turbíny a ta následně na energii elektrickou.

■ **JŽ:** *Kdo byl hlavním dodavatelem technologie?*

VH: Většinu vybavení sekundární části elektrárny, ale i reaktor a parogenerátory dodaly české firmy Škoda Praha (generální dodavatel elektrárny), Škoda Jaderné strojírenství Plzeň, Vítkovice a Sigma Lutín. Zbytek byl dodávkou ruského partnera.

■ **JŽ:** *Můžete prosím popsat, jaké reakce probíhají v primárním okruhu?*

VH: Zjednodušeně řečeno, v palivu probíhá štěpení jader uranu. Přitom se uvolňuje obrovské množství tepla, které ohřívá vodu primárního okruhu na teplotu 320 °C. Jen pro zajímavost – každou vteřinu proběhne v reaktoru 10^{20} štěpných reakcí. V parogenerátorech pak dojde k předání tepla vodě sekundárního okruhu a vzniku páry.

■ **JŽ:** *A jaké děje probíhají v sekundárním okruhu?*

VH: Úkolem sekundárního okruhu je dopravit páru ze čtyř parogenerátorů na turbínu. Jako celek je sekundární okruh asi nejsložitějším systémem v elektrárně. V jedné části zde vzniká pára, v jiné je potřeba kondenzát postupně přehřívát a zvyšovat jeho tlak. K tomu je nutná řada pomocných zařízení, čerpadel nebo tepelných výměníků. Navíc se teplo ze sekundárního okruhu používá i k vytápění elektrárny a k vytápění blízkého Týna nad Vltavou.

■ **JŽ:** *Můžete prosím popsat úlohu vody v obou okruzích?*

VH: V primárním okruhu se voda chladí a modereuje, v sekundárním vzniká pára, která se po splnění úkolu, tedy roztočení turbíny, mění na kondenzát. Ten se následně upravuje, aby opět mohla vzniknout pára. Pro oba okruhy je společné to, že voda musí být upravena v potřebné kvalitě. Konkrétně to znamená, aby měla správné pH, správné iontové složení, v případě primárního okruhu i optimální koncentraci kyseliny borité, která se během provozu v návaznosti na spotřebu paliva mění. Čím kvalitnější budou parametry vody,



Bazény technické vody jsou důležitou součástí klíčových bezpečnostních systémů. Foto: Archiv JE Temelín

tím lepší budou přeměny tepla a menší korozní namáhání materiálu. I proto je tzv. chemický režim v obou okruzích neustále kontrolovaný.

■ **JŽ:** *Může dojít k mísení vody mezi primárním a sekundárním okruhem?*

VH: Tak toho bych se nerad dožil. Znamenalo by to, že máme poškozenou teplosměnnou plochu parogenerátoru a aktivní médium by se nám dostalo na sekundární část elektrárny. Nicméně tento stav zvládne každá posádka vyřešit snad i poslepu. Je to jedna z základních úloh, neustále cvičená na тренаžeru.

■ **JŽ:** *Odkud elektrárna do svých provozů vodu čerpá?*

VH: Vodu čerpáme z Vltavy, respektive z vodní nádrže Hněvkovice, se kterou jsme spojeni dvěma šestikilometrovými potrubími. V čerpací stanici máme 6 čerpadel, běžně je v provozu pouze jedno, ostatní slouží jako záloha. Ovšem ani výpadek posledního čerpadla neznamená pro elektrárnu větší problém, protože v areálu elektrárny máme zásobník surové vody o dostatečné kapacitě pro další provoz.

■ **JŽ:** *Jak probíhá chlazení primárního okruhu?*

VH: Celkový objem chladiva v primárním okruhu je 337 m³, teplota chladiva na vstupu je asi 290 °C, na výstupu asi 320 °C. Primární okruh je chlazen čtyřmi vertikálními odstředivými čerpadly o výkonu 5,1 MW, umístěnými na studených větvích cirkulačních smyček. Při nominálních parametrech činí průtok jedním čerpadlem 21 200 m³ za hodinu a výška čerpadel je 11,9 m.

■ **JŽ:** *Rozumím tomu správně, že chlazení sekundárního okruhu zajišťují chladicí věže? Na jakém principu fungují?*

VH: Na elektrárně máme tři uzavřené okruhy. Primární okruh slouží jako nositel energie mezi palivem a parogenerátory. Sekundární okruh dopraví páru z parogenerátorů až k turbíně a po její kondenzaci v kondenzátorech zajistí její návrat do parogenerátorů. Kondenzaci páry zajišťuje terciární okruh. Studenou vodu vhnáme do hlavních kondenzátorů, kde odebere tepelnou energii páře (ta zkondukuje) a ohřátou vodu pak dopravíme na chladicí věže. Ty fungují na tzv. komínovém efektu. Voda, která se do věže vrací z kondenzátoru, je uvnitř věže rozprašována na milio-

ny kapiček a přirozenou cirkulací vzduchu se ochlazuje z cca 33 °C na přibližně 15–22 °C. Chladicí věže jsou už z dálky dobře viditelnou dominantou okolí. Měří 155 metrů a pod každou věž byste schovali hlavní náměstí v Českých Budějovicích.

■ **JŽ:** *Má chladicí voda nějaký vliv na okolní přírodu?*

VH: Přestože je pára odcházející z chladicích věží zdaleka viditelná, její skutečný vliv na hydrometeorologické okolí je nepatrný – průměrná teplota v okruhu 5 km je vyšší jen o 0,02–0,06 °C, vlhkost vzduchu je vyšší pouze o 0,006 g/m³. Předpokládá se mírný nárůst tzv. hydrometeorů (námrza, mlha, jinovatka) v bezprostředním okolí elektrárny. To se však zatím nepotvrdilo.

■ **JŽ:** *Při výrobě energie vzniká také tzv. odpadní teplo. Dochází k jeho dalšímu využití?*

VH: Při plánování elektrárny se uvažovalo o řadě možností, jak využít odpadní teplo, které tvoří většinu celkového výkonu elektrárny a je většinou bez užitku vypouštěno. Uvažovalo se například o jeho využití pro zemědělství a rybníkářství. Pokud jde o teplo, zatím se podařilo uskutečnit pouze vytápění Týna nad Vltavou. Nejde však o teplo z chladicích věží – to má nízké parametry, přibližně 30 stupňů. K výrobě tepla pro vytápění se používá pára, která projde turbínou. Jinými slovy, o co více tepla dodáme, o to méně elektřiny vyrobíme. Hodinově jde o nižší jednotky MW, ale i to je potřeba vnímat.

■ **JŽ:** *Reaktory byly prvně nastartovány 11. října 2000 v 6:19 hodin. Co tomu všechno předcházelo?*

VH: Prvnímu startu reaktoru předcházela velká část zkoušek, testů a nastavování systémů. Nejdříve testy probíhaly bez jaderného paliva. Když nám SÚJB vydal povolení k zavezení aktivní zóny, proběhlo vlastně spuštění reakce. Ostré spuštění reaktoru proběhlo poměrně hladce. O něco více pak zlobila prototypová turbína, kterou nebylo možné předtím kdekoli otestovat. Takže jsme její dětské nemoci léčili za pochodu. A je pravda, že řešení některých otázek okolo turbíny nás v různých detailech stále provází.

■ **JŽ:** *Vybavuji si vás ze záběrů v televizi (vy tedy vůbec nestárnete), když se reaktor poprvé „rozběhl“. Jaký to byl pocit, zahájit jadernou štěpnou reakci?*

VH: Nevím, jestli teď neprozradím nějaké tajemství, ale pravda je, že jste mne mohla vidět v záběrech ze spouštění prvního bloku. Byl jsem součástí posádky, která na to byla připravována. Ovšem ty posádky byly dvě. A já, bohužel, byl nakonec v té rezervní. Nicméně z důvodu odlehčení mediálního tlaku na „vyvolenou posádku“ bylo spouštění reaktoru on-line simulováno v našem výcvikovém středisku a zde byly i televizní kamery. Takže si mnoho lidí myslí, že jsem to byl právě já, kdo spustil první řetězovou reakci v jaderné elektrárně Temelín. Ale nebyl. Útěchou pro mne může být přítomnost mojí posádky u spuštění druhého bloku. Tam jsem reaktor opravdu spustil.

■ *JŽ: Zbudování JE Temelín bylo jistě velkým počinem. Byla elektrárna slavnostně pokřtěna? A kdo se křtu ujal?*

VH: Na základní kámen někdy v 80. letech 20. století (tuším, že se jednalo o rok 1986) určité důležité poklepal někdo s čelných představitelů tehdejší vlády. Co vím ale jistě, tak u spuštění prvního i druhého reaktoru byla přítomna předsedkyně SÚJB Dana Drábová a tehdejší premiér Miloš Zeman. Na druhém bloku byl u spuštění tehdejší ministr průmyslu Miloš Grégr. Jinak pokřtěnou máme první turbínu, jmenuje se Dana. Jméno má po jeřábnici.

■ *JŽ: Jak je elektrárna dozorovaná a jak probíhá její údržba a jednotlivé provozní odstávky?*

VH: Jsme pod neustálým dozorem Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Prostřednictvím kamer Mezinárodní agentura pro atomovou energii a Euratom sledují klíčová místa, jako například bazény skladování paliva nebo sklad použitého paliva. Pravidelně k nám jezdí i mezinárodní experti v rámci různých misí. Bezpečnosti je tedy nejen od nás, ale i z vnějšího prostředí věnována velká pozornost. Pokud jde o údržbu, tak hlavní činnosti probíhají právě během odstávek. Ty jsou pro nás paradoxně nejnáročnějším obdobím. Během dvou měsíců musíme zvládnout přes deset tisíc činností, a to bezpečně a kvalitně.

■ *JŽ: Velmi důležitým aspektem výroby energie z jádra je zajištění bezpečnosti celého provozu. Jakým způsobem toto probíhá a kdo se na něm podílí?*

VH: Bezpečnost provozu je naprosto klíčová. A je jedno, zda se bavíme o ochraně proti přírodním katastrofám, nebo teroristickému útoku. Bezpečnost elektrárny musí zohlednit všechna, byť jen teoretická rizika. Například umístění elektrárny na kopci ji chrání proti povodním na Vltavě nebo záplavám z lokálních extrémních srážek, seizmicky „zodolněné“ klíčové budovy zajistí ochranu zařízení při zemětřesení. Je nastavena ochrana proti kybernetickým útokům, útokům pomocí dopravního letadla nebo i vnitřnímu nepříteli. Technická (provozní) bezpečnostní opatření v Temelíně zahrnují celou škálu opatření na řadě úrovní. Bezpečnost zvyšuje i to, že řada bezpečnostních systémů je založena na rozdílných fyzikálních a technických principech. Jedním z nejdůležitějších principů je tzv. princip ochrany do hloubky. Ten definuje tři ochranné bariéry stojící mezi radioaktivitou v reaktoru a okolním prostředím. Jedná se o pevnou keramickou strukturu samotného paliva a pokrytí palivových proutků, dále jde o tlakovou hranici primárního okruhu a ochrannou obálku (kontejnment). Aktivní bezpečnostní systémy jsou nainstalovány trikrát.

■ *JŽ: Došlo už v elektrárně k nějaké havarijní nebo nestandardní situaci?*

VH: Od zahájení provozu nedošlo u nás k žádné události, kterou by mezinárodní stupnice INES hodnotila jako nehodu či havárii. Není to však důvod k nějakému uspokojení. Naopak je potřeba na sobě neustále pracovat, být připraven na v podstatě nepravděpodobné situace, posilovat bezpečnost, havarijní plány, neustále cvičit, prostě být ve střehu. Ztráta pokory, respektu a pozornosti je totiž prvním krokem k nějakému průšvihovi a to platí obecně – nejen na elektrárně, kde třeba lidské chyby jsou ještě pojištěny několika „vrstvami“ bezpečnostních systémů. I tak je potřeba jim předcházet.

■ *JŽ: Vy jste vedoucím pracovníkem blokové dozorny. Jak tato dozorna funguje a kolik pracovníků zde má v jedné směně službu?*

VH: Operátoři na blokové dozorně jsou pouze částí provozní směny. Sem dále patří například i strojníci, odborníci ze systému kontroly a řízení, dozimetristé, fyzická ochrana nebo hasiči. Celkově má směna pro provoz jednoho bloku šest desítek lidí. Přímou na velině sedí dva operátoři, vedoucí blokové dozorny a vedoucí reaktorového bloku. Je zde zaveden jasný řád, jasné pravomoci a zodpovědnosti. Tak trochu vojenský režim. Každý neustále monitoruje chování jeho části



Ing. Václav Havlíček (*1971) vystudoval Elektrotechnickou fakultu ČVUT v Praze. Od roku 1995 pracuje v ČEZ. V roce 1997 získal oprávnění k činnosti vybraných pracovníků jaderných zařízení – nejprve pro funkci operátora reaktoru na JE Dukovany a následně pro všechny vybrané funkce na BD JE Temelín. Postupně vystřídal pozice operátora sekundárního okruhu, operátora primárního okruhu, vedoucího blokové dozorny a vedoucího reaktorového bloku.

Od roku 2000 je členem spolku Jihočeští taťkové. Mezi lety 2012–2018 byl prezidentem tohoto spolku. V rámci přednáškové a osvětové činnosti se zabývá popularizací jaderné energetiky mezi studenty v ČR i v zahraničí. Na svém kontě má více než 1 200 přednášek.

Se svou ženou vychovává pět dětí (4 syny a 1 dceru). Mezi jeho koníčky patří sport, práce na rodinném domě a jízda na koni.

Poslední rok se intenzivně věnuje studiu andragogiky s důrazem na upevňování znalostí, schopností, dovedností, hodnotových postojů i společenských forem jednání a chování osob, jež ukončily školní vzdělání a přípravu na povolání a vstoupily na trh práce.

» Prostřednictvím kamer Mezinárodní agentura pro atomovou energii a Euratom sledují klíčová místa, jako například bazény skladování paliva nebo sklad použitého paliva. «



V roce 2018 se temelínské dominanty rozhlédly. Oči jim tehdy propůjčil umělec Milan Cais. Foto: Archiv JE Temelín

elektrárny a dohromady tvoří sehraný tým. Za provozu je na „blokovec“ relativně klid. Kontrolujeme parametry bloku, případně provádíme zkoušky záložních systémů. Během odstávky je to i pro nás náročnější. Musíme totiž zařízení zajistit tak, aby v něm pak mohli lidé pracovat.

■ **JŽ:** Jakým zaměstnavatelem je JE Temelín a kolik zaměstnanců má celkem?

VH: Aktuálně má elektrárna přibližně 1300 zaměstnanců. Více než polovina jsou vysokoškoláci a drtivá většina (přes 90 %) má minimálně středoškolské vzdělání. Další stovky lidí jsou zaměstnány u dodavatelů firem, pro které je elektrárna důležitým zdrojem zakázek. Celkově patří Temelín, resp. ČEZ na jihu Čech k nejvýznamnějším zaměstnavatelům.

■ **JŽ:** Jak jsou zaměstnanci rozděleni do směn a jsou například i nějaké zálohy – tedy pracovníci, kteří by byli povoláni, pokud by došlo k nepředvídatelné situaci?

VH: Máme šest základních směn a jednu zálohou. Kterákoliv směna může být kdykoliv povolána a je schopna kompletně převzít řízení elektrárny. Standardní pracovní doba je 8 hodin. Máme přesně stanoveno, jak probíhá střídání, jak se předávají informace a zkušenosti.

■ **JŽ:** Jak je o zaměstnance v tak náročném provozu postaráno? Je sledován jejich zdravotní stav či způsobilost k zastávání tak náročného povolání?

VH: Zaměstnanci pravidelně navštěvují lékařské prohlídky a sleduje se také jejich psychický stav. Vybraní zaměstnanci mají i další lékařské benefity. Například letos ČEZ zajistil zdarma očkování proti chřipce. Teď aktuálně máme v elektrárně zavedena i přísná protikoronavirová opatření, jako například nošení roušek, měření teploty na vstupu, porady pouze elektronicky, využívání home office atd. Ve speciální ochraně jsme pak my operátoři.

■ **JŽ:** Je nějakým způsobem omezen věk zaměstnanců nebo doba zaměstnání, po níž mohou v elektrárně pracovat?

VH: Není. Jedinou „věkovou“ podmínkou plynoucí z legislativy je 18 let pro vstup do kontrolovaného pásma a 15 let pro vstup do elektrárny. Jinak o práci v elektrárně rozhodují znalosti, dovednosti, předpoklady nebo zkušenosti. Většinou je práce v jaderné elektrárně celoživotním posláním. I proto máme nízkou

fluktuační. Dobrovolné odchody se ročně pohybují v jednotkách lidí, jde tedy přibližně o jedno procento z celkového počtu zaměstnanců. Nároky na zaměstnance jsou přísné. A nejde jen o znalosti nebo odpovídající psychologický profil. Většina pracovníků musí projít například i bezpečnostními prověrkami. Lidé to tu určitě nemají „odsezené“.

■ **JŽ:** Poblíž elektrárny se plánuje vybudování nového úložiště jaderného odpadu. Jak tuto skutečnost respektují obyvatelé v okolních obcích?

VH: To není otázka úplně na mě. Výběrem a správou se zabývá Správa úložišť a my na to jako původce použitého paliva jenom zásadním způsobem přispíváme. Je třeba chápat, že lidé mají obavy a záleží jim na jejich okolí, a také k nim s tím vědomím přistupovat. Ani my nevysvětlujeme bezpečný a čistý provoz pomocí tabulek a analýz. Ale dáme ochutnat výborný med z areálu elektrárny, lidé zveme do chladicí věže a jsme všem otevření. A podobně otevřeně a srozumitelně by se mělo postupovat i při přípravě hlubinného úložiště.

■ **JŽ:** Plánuje se výstavba třetího a čtvrtého bloku JE Temelín? Pokud ano, tak kdy?

VH: Jsem přesvědčen, že další blok se postaví nejdříve v Dukovanech. A pak se uvidí. Třeba dojde i na Temelín...

■ **JŽ:** Četla jsem zajímavou informaci, že kromě včel se v areálu elektrárny líbí a daří také zajícům?

VH: To asi ano. Nemají tu přirozené nepřátele (lišky, jezevce, myslivce). A tak se jim tu daří. V pravidelných intervalech probíhá jejich odchyt a vypuštění do přírody. Kolik jich ale je, to si netroufám odhadnout.

■ **JŽ:** A na závěr našeho rozhovoru bych se ráda zeptala, co vám běží hlavou pokaždé, když jdete „do práce“?

VH: Snad jen abych netrefil srnku nebo divočáka. Je jich tu hodně. Asi se jim zde líbí stejně jako králíkům – pokus o vtíp! Každý den je jiný, pokaždé něčím zvláštní. Mám možnost spolupracovat se špičkovými odborníky. Takže se do práce těším a vím, že zvládneme vše, co si elektrárna pro nás přichystá.

■ **JŽ:** Děkuji vám za zajímavý vhled do jednotlivých technologií a provozů jaderné elektrárny i za vaše osobní vyznání. A závěrem přeji nám všem, aby byl chod takto důležitých provozů zajišťován prostřednictvím pracovníků s tak vysokou profesionalitou.



Vedle elektrárny vyrábějí v Temelíně i med. Foto: Archiv JE Temelín