

Palivový cyklus jaderné elektrárny Dukovany. Unikátní popis výběrového řízení na dodávky jaderného paliva

Mezi uživateli jaderného paliva pro VVER-440 patří jaderná elektrárna Dukovany k průkopníkům a iniciátorům většiny jeho modernizací. České provozní zkušenosti s palivem proto bedlivě sledují i mezinárodní odborníci. Česká „jaderka“ je totiž tradičně první zahraniční elektrárnou, kam výrobce paliva TVEL dodává palivové novinky, tedy po řádném otestování a licencování v Rusku.

Změna parametrů jaderného paliva může významně přispět ke zvýšení spolehlivosti provozu elektrárny a rovněž přinést výrazné ekonomické efekty. Výrobci paliva proto s provozovateli jaderných elektráren spolupracují na vývoji nových palivových produktů. Letos v září dostala nové palivo jaderná elektrárna Dukovany, respektive její první blok. Modernizovaná verze uran-gadoliniového paliva druhé generace nese označení Gd-2M+ a jeho odlišnost spočívá v optimalizaci konstrukce palivového proutku. Palivová tabletky byla mírně zvětšena a je již vyráběna bez centrálního otvoru, což zvyšuje obsah uranu v palivovém souboru o 9 kilogramů. Současně je vyšší i obohacení uranem 235 (4,75 % oproti původnímu 4,38 %). „Tato změna umožní zachování plného pětiletého palivového cyklu i při prodloužení palivových kampaní díky zkrácení plánovaných odstávek bloků, a to při provozu na plném výkonu. Tím se zvýší i efektivita využívání jaderného paliva,“ řekl Michal Borovička, vedoucí odboru reaktorové fyziky jaderné elektrárny Dukovany v tiskové zprávě ČEZ v září letošního roku.

Prvnímu zavezení tohoto typu paliva předcházely roky testování v provozu na ruské Kolské jaderné elektrárně, kdy se pečlivě analyzovalo chování paliva a jeho jakost. Testování probíhalo v úzké spolupráci s výrobcem a palivo muselo samozřejmě projít schválením nejen Ruským státním dozorem nad jadernou bezpečností, ale i českým SÚJB. Na tomto procesu se kromě ruských organizací podíleli i čeští odborníci z ČEZ, Škoda JS, ÚJP Praha, ÚJV Řež a ALVEL.

Současná změna je již několikátou v pořadí v historii provozu JE Dukovany

Původní projekt jaderné elektrárny Dukovany využíval palivo s obohacením 3,6 % v pracovních a 2,4 % v regulačních palivových souborech. Distanční mřížky mezi palivovými pruty byly z nereza-vějící oceli. Reaktor tehdy pracoval v tříletém palivovém cyklu a každý rok bylo potřeba vyměnit třetinu z celkových 349 palivových souborů. Ty se do reaktoru zavázely podle schématu označovaného jako „out-in-in“, kdy na okraj aktivní zóny se zaváží čerstvé palivové soubory. Nevýhodou tohoto schématu je jednak horší ekonomika, ale hlavně relativně vysoké neutronové dávky na reaktorovou nádobu, které mají silný vliv na její celkovou životnost. Proto ČEZ už od roku 1987 (tedy dva roky po uvedení elektrárny do provozu) začal s přípravou přechodu na čtyřletý palivový cyklus. Cesta k němu nakonec ale vedla přes složitý a poměrně dlouhý tendr.

V souvislosti s politickými změnami v 90. letech minulého století a po zkušenostech z výstavby jaderné elektrárny Temelín se ČEZ rozhodl v roce 1994 vyhlásit tendr i na dodávky jaderného paliva pro Dukovany. Jeho průběh popisuje tehdejší vedoucí odboru reaktorové fyziky dukovanské elektrárny Rudolf Vespalec v textu První a poslední tendr. Cílem výběrového řízení bylo kromě výběru dodavatele paliva i zrovnoprávnění smluvních vztahů s dodavatelem tak, aby odborníci z Dukovan měli standardní přístup k informacím výrobce o provozních zkušenostech s takovým či podobným palivem dodavatele. Tyto informace měly sloužit k vypracování komplexního systému kontroly jakosti paliva. Z původního seznamu šesti přihlášených firem nakonec zůstaly jen dvě: ruský výrobní závod ELEMAŠ (dnes spadá pod výrobce paliva TVEL) a americký Westinghouse. Díky dohledu zahraniční poradenské firmy se podařilo výrazně technicky vylepšenou nabídku Rusů podpořit i smluvním zakotvením nové formy spolupráce českých a ruských specialistů. Víteztvím v tomto tendru také odstartovala nová etapa dlouhodobé spolupráce dnešního dodavatele paliva TVEL a ČEZ při dalším vývoji jaderného paliva pro reaktor VVER-440.

V rámci tohoto procesu došlo k postupnému zlepšení konstrukce paliva, odstranění materiálů s parazitickou absorpcí neutronů a zvýšení obsahu izotopu uranu 235 jak díky vyššímu obohacení, tak i celkovým zvýšením obsahu uranu v palivových souborech.

Postupně bylo původní palivo v roce 1998 nahrazeno palivem profilovaným se středním obohacením 3,82 %. Od roku 2003 bylo licencováno a začalo se zavážet palivo s obsahem gadolinia jako vyhořívajícího absorbátoru s označením Gd-1, které umožnilo přechod elektrárny ze čtyřletého na pětiletý cyklus i následně zvýšení výkonu bloků.

Další inovací palivového souboru bylo prodloužení palivového sloupce o 6 cm a zlepšení vodo-uranového poměru (snížení tloušťky obálek palivových souborů), které umožnilo snížení středního obohacení na 4,25 % U235. Toto palivo označované jako Gd-2 (příp. Gd2M) využívají Dukovany od roku 2008. Poslední inovovaný typ Gd2M+ zavezený na prvním bloku v letošním roce má palivové proutky identické s palivem označovaným ruským výrobcem TVEL jako palivo 3. generace RK3, které je již ve zkušebním provozu na Kolské elektrárně. To dokazuje, že reaktory VVER-440 nejsou ani z pohledu dodavatele paliva minulostí, a že spolu s jejich provozovateli

Modifikace paliva

Jaderná elektrárna Dukovany oslaví příští rok 30. let provozu. Za tu dobu se pomocí řady modernizačních kroků podařilo zvýšit výkon z původních 4 × 440 MW na současných 4 × 510 MW. Z původního tříletého palivového cyklu přešla elektrárna na nyní pětiletý, uvažuje se o prodloužení až na šestiletou kampaň. Významnou měrou se na těchto ekonomicky významných změnách podílelo jaderné palivo. To během tří dekad rovněž prošlo mnoha modifikacemi. Týkaly se například těchto parametrů:

- Míra obohacení uranu.
- Radiální profilování obohacení (tj. proutky s různým obohacením v jednom palivovém souboru).
- Velikost (popř. přítomnost) centrálního otvoru v palivové tabletě.
- Rozměry palivových tablet (výška, vnější průměr) a jejich struktura.
- Inovace použitých materiálů (např. pokrytí palivových proutků, distanční mřížky).
- Tloušťka obálky palivového souboru.
- Velikost tlaku hélia uvnitř palivových proutků.



Jaderná elektrárna Dukovany oslaví příští rok 30. let provozu – ilustrační foto

První a poslední tendr na dodávku jaderného paliva pro jadernou elektrárnu Dukovany

Vzpomínky Rudolfa Vespalice (Pozn.: Absolvent Fakulty technické a jaderné fyziky ČVUT Praha. V letech 1963 až 1980 pracoval v laboratoři výzkumného reaktoru ŠR-O, kde se zabýval především aplikacemi dozimetrie reaktorového záření při výzkumu a ověřování stínění a při radiačním testování materiálů. V září 1980 nastoupil do jaderné elektrárny Dukovany. Před spuštěním elektrárny a v prvních fázích provozu se významně podílel na zpracování normativně bezpečnostní a provozní dokumentace)

„Od začátku provozu Dukovan jsme měli značně omezený přístup k informacím týkajícím se projektování a testování paliva v SSSR a zdůvodnění jeho provozních i bezpečnostních limitů, zejména v oblasti termomechaniky a chování paliva. Podnikli jsme proto pokus proniknout do procesů projektování, konstrukce a testování paliva. Specialisté ÚJP Zbraslav (kteří později přešli do ČEZ) zpracovali dotazník, který jsme předložili výrobci paliva a požadovali jsme širší přístup k informacím a dokumentaci. Výsledek bohužel potvrdil naše očekávání, což nás utvrdilo v přesvědčení, že změna struktury kontraktu a našeho postavení vůči dodavateli paliva jsou nutné. Za zásadní jsme považovali zejména získávání informací od dodavatele a institucí, které mu zajišťovaly technickou podporu, přenos zkušeností z provozu VVER, a vypracování komplexního systému kontroly jakosti paliva. V 90. letech minulého století došlo ke změně situace, která umožnila, že jsme se společně se slovenskou energetickou společností SEP (Pozn.: Dnešní Slovenské elektrárne, a.s. patřící italské energetické skupině ENEL) rozhodli vypsát tendr na dodávku jaderného paliva pro elektrárny VVER-440. Hlavním cílem kromě výběru nejlepšího dodavatele paliva bylo i změnit strukturu kontraktu dle zásad popsaných výše a zrovnoprávnit vztahy s budoucím dodavatelem. Z našeho hlediska byl velmi významným krokem příchod specialistů z ÚJP Zbraslav do ČEZ a vytvoření odborně i organizačně silného oddělení jaderného paliva na Hlavní správě ČEZ. V rámci tendru byli osloveni všichni světoví výrobci jaderného paliva. Japonská firma se z tendru omluvila, takže další komunikaci vedl ČEZ s těmito firmami: ELEMAS (dnes MSZ – Машиностроительный завод, ve městě Elektrostal nedaleko Moskvy, součást TVEL – Rusko), BNFL (Británie), Westinghouse (USA), ABB (Švýcarsko), Framatom (Francie) a Siemens (Německo). Formou soutěže jsme vybrali jako poradenskou firmu STOLLER Corporation z USA (dnes součást NAC International). Poměrně brzy se ukázalo, že BNFL a ABB nebudou schopny předložit fundovanou nabídku, takže byly ze soutěže vyřazeny. Dále došlo k dohodě firem Siemens a Framatom o vytvoření společného podniku EVF (European VVER Fuels). Na základě toho byl sestaven užší výběr a na shortlistu zůstaly jen tři zájemci: ELEMAS, Westinghouse a EVF.

V této fázi jsme se již museli oddělit od SEP a každá společnost jednala samostatně. Mezitím jsme se v ČEZ dostali na úroveň, která nám umožňovala samostatně nebo za pomoci českých organizací technicky hodnotit nabídky firem zejména v oblasti fyziky aktivní zóny a bezpečnostních analýz. Významnou pomoc nám poskytovaly Škoda Plzeň, ÚJV Řež a Energoprojekt Praha. V oblasti jakosti a v komerčních otázkách kontraktu hrála rozhodující roli americká konzultační firma STOLLER. Z iniciativy EVF došlo k ukončení její další účasti v tendru, takže nakonec jsme závěrečná kontraktační jednání vedli pouze s americkou a ruskou firmou. Z technického hlediska jsme požadovali přechod na čtyřletý palivový cyklus a zejména co nejširší přístup k informacím o metodách vývoje a testování paliva a systému zajištění jakosti hardware i software. Očekávali jsme určitou ostrážitost SÚJB ohledně licencování paliva a nové strategie palivového cyklu, proto jsme věnovali velkou pozornost také problematice bezpečnostních analýz a přípravě Bezpečnostní zprávy. SÚJB zastával názor, že mu nebude stačit licence paliva v zemi jeho původu, ale bude vyžadovat předložení a zdůvodnění kompletní Bezpečnostní zprávy.

Z technického hlediska se nabídky nijak zásadně nelišily, rozdílné přístupy jsme registrovali v oblasti služeb a v rozsahu a způsobu poskytování informací. Jednání se protahovala, protože jsme se snažili získat maximum. Americká strana začínala být z tohoto průběhu poněkud nervózní, ale my jsme neměli důvod ustupovat v technických ani komerčních záležitostech, protože jsme nebyli v tísní z hlediska dodávek paliva. Postupně se ukázalo, že dohoda s Westinghouse bude obtížná a ruský dodavatel přišel s velmi významným zlepšením nejen paliva, ale i komerční stránky kontraktu. V tomto okamžiku jsme mohli výběrové řízení ukončit a zafixovat jako vítězný ruský kontrakt i jeho přílohy, a to včetně seznamu doprovodné bezpečnostní a technické dokumentace. Dohodli jsme se také na účasti ruských specialistů při spuštění bloku a způsobu stanovení výkonu bloku pro průkaz dosažení 100% (což byla jedna z podmínek záruky). Účast americké konzultační firmy zásadně přispěla k tomu, že náš nový kontrakt odpovídal běžnému standardu, což byl jeden ze zásadních cílů, o které jsme usilovali. K nabídce ruské strany patřila i její účast při licencování paliva na SÚJB, a to nejen dodáním dokumentů zdůvodňujícím zejména bezpečnostní analýzy, ale i přímá účast ruských specialistů na jednáních.“

věří, že před sebou mají díky svým vysokým spolehlivostním a bezpečnostním parametrům z technologického hlediska ještě dlouhou perspektivu. Veškeré tyto kroky významně přispěly ke zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti provozu a v neposlední řadě přinesly výrazný ekonomický efekt pro celou elektrárnu.

Bez soustavné inženýrské podpory a lokalizace know-how to nejde

Vývojový proces a modernizace paliva by nebyly možné bez současného zlepšování úrovně poznání a paralelního rozvoje prostředků pro projektování samotného paliva, jeho překládek v reaktoru a sledování jeho chování za provozu.

Pro návrhy překládek paliva, tedy projektování aktivní zóny (AZ) byl od konce 70. let minulého století využíván ruský výpočetní program s označením BIPR-5, se specifickou přípravou vstupních dat. Jeho zjednodušený model pak byl použit i pro systém kontroly aktivní zóny za provozu (SVRK). Tomuto poměrně hrubému přiblížení



Z původního tříletého palivového cyklu přešla elektrárna na nynější pětiletý, uvažuje se o prodloužení až na šestiletou kampaň - ilustrační foto

odpovídaly i provozní a bezpečnostní limity, nastavené silně konzervativně, to je s vysokou zásobou bezpečnosti. Podobným způsobem byly provozovány i tlakovodní reaktorové bloky na západních elektrárnách, což korespondovalo s tehdejší přístupem státního dozoru Československé komise pro atomovou energii (ČSKAE) - předchůdce dnešního Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

Logickou snahou českých odborníků v čele s inženýry z ČEZ proto bylo získat reálnější fyzikální model aktivní zóny a prostředky pro pružnější metodu projektování překládek paliva a stanovení limitních podmínek provozu. Čeští inženýři se v 80. letech podíleli na činnosti několika mezinárodních odborných uskupení, která se zabývala právě problematikou provozování reaktorů VVER-440. Namátkou lze jmenovat např. Česko-slovenskou palivovou komisi (hodnotila provoz reaktorů v Bohunicích a v Dukovanech), či Maďarskem iniciovaný Mezinárodní dočasný kolektiv pro fyziku VVER. Maďari ve svém Fyzikálním ústavu v Budapešti provozovali reaktor ZR-6. Kolem reaktoru se vytvořila skupina specialistů ze SSSR, ČSSR, Maďarska, Bulharska a Finska. Jejich snahou bylo teoreticky i experimentálně studovat fyziku aktivní zóny VVER. V podniku Škoda Plzeň byl spuštěn reaktor nulového výkonu ŠR-0. Zpočátku byl využíván spíše pro osvojování metod vnitro reaktorové dozimetrie a výzkum stínění, později i pro výuku operátorů reaktorů VVER 440.

Podporu provozovatelům jaderných elektráren v 70. a 80. letech poskytovaly zejména VÚJE Jaslovské Bohunice (dnes VÚJE Tmava) a Škoda Plzeň (dnes Škoda JS). Jednalo se především o vývoj programů pro návrhy překládek paliva. Ve druhé polovině 80. let byl ve Škodě v Plzni vyvinut soubor výpočetních programů MOBYDICK, skutečný neutronově fyzikální model pro výpočty aktivní zóny, který byl strukturou podobný v tehdejší SSSR vyvíjenému a testovanému kódu BIPR-7. Jeho nasazení znamenalo zásadní zlom v projektování překládek paliva a postupně z něho byly odvozeny i další aplikace např. pro výpočet termo-hydraulických charakteristik a kontrolu základních teplotních parametrů aktivní zóny, dále pak program OPTIMAL pro optimalizaci návrhů palivových vsázek a další. Po roce 1989 došlo k rozpadu systému financování těchto prací



Od začátku provozu Dukovan jsme měli značně omezený přístup k informacím týkajícím se projektování a testování paliva v SSSR a zdůvodnění jeho provozních i bezpečnostních limitů - ilustrační foto

ze státního rozpočtu formou tzv. úkolů RVT (rozvoje vědy a techniky) a nějakou dobu trvalo, než na následující dvě dekády převzal tuto úlohu primárně ČEZ. Významná byla v té době nastartovaná systematická podpora českých institucí, zejména Škody Plzeň, ÚJV Řež a ÚJP Zbraslav (dnes ÚJP Praha) zaměřená na fyziku aktivní zóny, bezpečnostní analýzy a termomechaniku paliva. Domácí software MOBYDICK umožnil elektrárně provádět veškeré výpočty na vlastním pracovišti, nezávisle na dodavateli paliva. To výrazně vylepšilo pozici provozovatele Dukovan při vyjednávání o dodávkách paliva a licencování jeho nových typů.

Výrazné zvýšení vlastních kompetencí v oblasti střední části palivového cyklu vedly k dalšímu významnému kroku. Jak již bylo řečeno, zavádění nových typů paliva a využití jeho potenciálu by nebylo možné bez modernizace prostředků jeho sledování za provozu. V rámci doprovodných služeb k dodávce paliva nabídla v tendru ruská strana i nový systém vnitro reaktorové kontroly. V této záležitosti však specialisté z Dukovan dali přednost nabídce firmy IFE Halden z Norska a jejímu monitorovacímu systému SCORPIO VVER. Ten totiž díky své modulární povaze umožnil integrovat do sebe domácí výpočetní nástroje na bázi programového komplexu MOBYDICK který byl v té době licencován a v Dukovanech osvojen. Tím byla rovněž zajištěna i účast českých firem na jeho vývoji. Kromě IFE Halden se na jeho vzniku a implementaci podíleli rovněž ÚJV Řež, Škoda JS a Chemcomex Praha. První verze systému SCORPIO VVER byla poprvé instalována na 1. bloku v Dukovanech v březnu

1998. Provozní licence byla vydána SÚJB v srpnu 1999. V následujících letech pak byl systém SCORPIO-VVER rozšířen na zbývající bloky JE Dukovany a od roku 2002 je používán i na obou blocích JE Jaslovské Bohunice, které jsou v současnosti v provozu.

K vlastnímu projektování překládek paliva pro Dukovany jsou v současnosti k dispozici celkem tři nezávislé systémy. Kromě ruského komplexu KASKAD (zahrnuje v sobě již zmiňovaný BIPR-7) jsou to ještě MOBYDICK rozvíjený Škodou JS a systémem ANDREA vyvinutý a používaný v ÚJV Řež. Standardně jsou prováděny optimalizace návrhu překládek paliva a bezpečnostní průkaz projektu aktivní zóny formou analýz potvrzujících tzv. RSAC (Reload Safety Analysis Checklist), tedy klíčových parametrů z hlediska zajištění jaderné bezpečnosti provozu jaderné elektrárny.

Vysoká míra kompetence v oblasti projektování a hodnocení bezpečnosti překládek paliva je posilována intenzivní spoluprací s dodavatelem paliva a jeho podpůrnými výzkumnými a vývojovými organizacemi, mezi které kromě nejznámějších (OKB Gidroperss, RNC Institut Kurčatova a VNI-INM Bočvara) patří i společnost ALVEL se sídlem v Brně, která vznikla jako společný podnik české firmy ALTA a dodavatele paliva TVEL s cílem posílit spolupráci nejen s českými, ale i ostatními evropskými organizacemi.

Provozní bezpečnost a spolehlivost

Výsledky dlouhodobé spolupráce a kvalita dodávaného paliva jsou podtrženy nejen zachováním vysoké úrovně jaderné a provozní bezpečnosti JE Dukovany, ale i dosavadní špičkovou provozní spolehlivostí. Za uplynulých 29 let historie provozu bylo identifikováno jen osm případů výskytu netěsnosti v palivovém článku. To je výsledek, o kterém si drtivá většina provozovaných elektráren na světě může nechat jen zdát. Současně je to důkazem, nejen kvality samotného paliva, ale i vysoké kultury jeho provozu v jaderné elektrárně. I díky tomu patří energetický zdroj v Dukovanech k elektrárnám s vůbec nejnižším radiačním zatížením pracovníků na světě, což je výsledek hodnocení v rámci WANO – světové asociace provozovatelů jaderných elektráren.

**Josef Běláč,
ALTA, a.s.**

Dukovany Nuclear Power Plant fuel cycle. Unique description of the tender for delivery of nuclear fuel

Among the users of nuclear fuel for VVER-440, the Dukovany Nuclear Power Plant belongs to the pioneers of most of its modernisation. The Czech experience of operating with the fuel is therefore also closely followed by international experts. The Czech "nuclear plant" is traditionally the first foreign power plant to which the fuel producer TVEL supplies new fuel products, i.e. after proper testing and licensing in Russia.

Топливный цикл атомной электростанции Дукованы. Уникальное описание тендера на поставку ядерного топлива

Атомная Электростанция Дукованы с реакторами VVER-440 использует ядерное топливо российской компании TVEL и является первооткрывателем и инициатором модернизации этого топлива. За чешским опытом в эксплуатации этого топлива пристально следят и международные специалисты. Чешская "ядерка" таким образом традиционно является первой заграничной атомной станцией, на которую фирма-производитель TVEL поставляет топливные новинки, после их тщательного тестирования и лицензирования в России