

INIS-mf-999

DEN JADERNÉ ENERGETIKY 1984



Krajská rada ČSVTS Středočeského kraje
Závodní pobočka ČSVTS ÚJV, Řež
Ústav jaderného výzkumu, Řež

DEN JADERNÉ ENERGETIKY '84

Sborník přednášek

13. listopadu 1984

České energetické závody, GŘ
Praha 1, Jungmannova 29

Výstavba jaderných elektráren a tepláren, případně i jaderných výtopen, k zajištění palivoenergetické bilance naší republiky v současné době i v budoucnosti je nevyhnutelným úkolem, který musí společnost zajistit. To je spojeno s nemalými investičními náklady, se značnými nároky na předvýrobní a výzkumné složky, se změnou struktury výroby i se vznikem nových oborů. Využití poznatků přináší současně i nové průmyslové aplikace jaderného inženýrství v národním hospodářství.

Zajištění rozvoje jaderné energetiky se stalo součástí státní technické politiky zformulováním a vyhlášením státního cílového programu SCP 01 "Rozvoj jaderně-energetického komplexu". V souladu s usnesením státních a stranických orgánů by měl být tento cílový program v připravovaném 8. FLP součástí plánů všech resortů a orgánů. Záměrem "Dne jaderné energetiky '84" je ukázat technické veřejnosti základní problémy vyplývající z rozvoje jaderného komplexu, význam realizace tohoto programu pro národní hospodářství i jeho odraz v jednotlivých odvětvích.

Uspořádání DJE '84 zajistila ZP ČSVTS ÚJV ve spolupráci s KR ČSVTS Středočeského kraje a s vedením Ústavu jaderného výzkumu v Řeži, vedoucího pracoviště vědeckotechnického rozvoje v oblasti jaderné energetiky a techniky, jehož náplň činnosti se prolíná prakticky celým programem SCP 01, a to ve sféře:

- prognostické, koncepční, koordinační i informační,
- výzkumné, zahrnující problémy jaderné bezpečnosti a provozní diagnostiky, výzkum fyzikálních, teplotních, hydrodynamických a materiálových vlastností materiálů a uzlů aktivní zóny,
- využití ionizujícího záření,
- aplikací v nejaderné oblasti.

Pracovníci zabývající se těmito úkoly připravili na DJE '84 referáty k užším otázkám. V zájmu rozšíření znalostí o problémech spojených

s výstavbou jaderně-energetického komplexu byly tyto příspěvky shrnuty do formy sborníku.

Závodní pobočka ČSVTS chce uspořádáním DJE '84 i vydáním sborníku přispět v rámci svých možností k-zajištění realizace programu "Rozvoj jaderně-energetického komplexu".

Výbor ZP ČSVTS ÚJV, Řež

O B S A H

Ing. Vladimír <u>Novotný</u> , ČEZ Příspěvek ČSVTS k podpoře cílového programu 01	5
Ing. Miroslav <u>Cibula</u> , CSc., SPK Postavení jaderné energetiky v národním hospodářství ČSSR	9
Ing. Miloslav <u>Hron</u> , CSc., Ing. Stanislav <u>Havelka</u> , CSc., ÚJV Úloha vědeckovýzkumné základny v rozvoji jaderně-energetického komplexu	13
Ing. Karel <u>Dach</u> , CSc., ÚJV Základní technické problémy bezpečnosti jaderných elektráren a perspektivy dalšího rozvoje	19
Prof. ing. Jaroslav <u>Koutský</u> , DrSc., člen koresp. ČSAV, ÚJV Materiálové problémy v jaderné energetice	29
RNDr. Zdeněk <u>Dlouhý</u> , CSc., ÚJV Jaderná energetika a životní prostředí	36
Doc. ing. Leo <u>Neumann</u> , CSc., ÚJV Radioaktivní odpady a jejich zneškodňování	44
Ing. Václav <u>Škába</u> , ÚJV Mobilní jednotka na zpracování kapalných radioaktivních odpadů	50
Ing. František <u>Melichar</u> , CSc., ÚJV Aplikace radiačních technologií radiofarmak a radioanalytických metod v národním hospodářství	59

PŘÍSPĚVEK ČSVTS K PODPOŘE CÍLOVÉHO PROGRAMU 01

Vladimír Novotný, Středočeská krajská rada ČSVTS

V minulých letech se uskutečnily dvě epochální přeměny naší ekonomicko-sociální struktury: socialistická industrializace a kolektivizace zemědělství. Dnes stojíme před stejně významnou politicko-historickou úlohou uskutečnit spojení předností socialismu s vědeckotechnickou revolucí v zájmu dynamického rozvoje ekonomiky jako předpokladu růstu životní úrovně. Pro-sazování těchto záměrů je odvislé nejen od toho, jak se vytyčené úkoly zvládnou v základním či aplikovaném výzkumu, ale zejména od toho, jak rychle se budou jejich výsledky realizovat v praxi. Na zrychlování cyklu výzkum-věda-užití máme sice plánovací a řídicí nástroje, ale velkou a rozhodující úlohu tu hraje kvalifikovaný a angažovaný přístup všech, kteří se tohoto procesu účastní.

Základní podmínkou pro udržení a zvyšování životní úrovně za stále obtížnějších podmínek v opatrování zdrojů energie je efektivnější využívání energie, surovin i lidské práce a vyšší využívání základních fondů při zachování plné pozornosti ochraně životního prostředí.

Energetické hospodářství socialistických zemí neprodělalo tak dramatický vývoj jako kapitalistická energetika v letech 1973 a 1974, kdy náhle nastala energetická krize. Disproporce ve struktuře i rozměrech výroby a spotřeby energetických surovin signalizovaly již počátkem sedmdesátých let nevyhnutelnost vzniku vážných potíží, na které dlouhodobě plánované hospodářství bylo schopno reagovat podstatně promyšleněji a tedy i s menšími bezprostředními dopady. Problémy s opatrováním surovin se však dotýkají i ČSSR a ostatních socialistických států a rozvoj palivoenergetického komplexu je velmi náročný a významně ovlivňuje ekonomiku celé ČSSR. Potvrzuje to i skutečnost, že v letech 1981-1983 představoval rozsah investic v energetice 30 % všech investic průmyslu a rozsah zahajovaných staveb téměř polovinu. Byla by proto zcela nereálné zvyšovat prostředky vkládané do rozvoje výrobních zdrojů, spíše jde o efektivnější využití těchto prostředků i stávajících zdrojů.

Pro zabezpečení vyrovnané palivoenergetické bilance jsou v podmínkách ČSSR v podstatě jen tři možnosti:

1. Orientace na maximální využívání naší vlastní palivové základny

Ta je však založena takřka výhradně na pevných palivech, a to ze 4/5 na hnědém a 1/5 na černém uhlí. Těžba uhlí kryje dnes asi 60 % z celkové spotřeby energií v ČSSR, 40 % musíme krýt dovozem, a to především dovozem ropy a zemního plynu. Již současná úroveň těžby odčerpává ročně 3 % našich uhelných zásob při zhoršování těžebních podmínek, růstu nákladů i energetické náročnosti těžby a klesající kvalitě uhlí - snižuje se výhřevnost, stoupá obsah popelovin a síry. To představuje i větší ekologické zatížení, zejména pokud jde o nároky na prostory pro ukládání popelovin a řešení problémů emisí CO_2 . K tomu přistupuje dále to, že starší parní elektrárny dožívají a udržení jejich provozu by nadále vyžadovalo velké náklady na nutné rekonstrukce, a to nejen pro udržení provozu, ale i pro spalování horšího paliva. Jejich postupné odstavování, kromě těch, které budou využity pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, je proto nevyhnutelné jak z hlediska nákladů, tak i ekologie. Na druhé straně se však za perspektivní považuje spalování méněhodnotného uhlí ve fluidní vrstvě, ale tato technologie není ještě rozvinuta. Historicky nejvyšší těžbu uhlí u nás lze klást do let 8. FLP, později již bude mít klesající tendenci. Z toho plyne, že uhlí nemůže být nadále rozvojevou surovinou pro československou energetiku, i když ještě v roce 2000 bude naší nejdůležitější energetickou surovinou a na rozdíl od dřívějších předpokladů v té době ještě stále více než 50 % elektřiny bude vyráběno z uhlí.

2. Orientace na využití jaderné energie

V této oblasti je situace, pokud jde o paliva, příznivější s ohledem na naše zásoby uranové rudy. Ale i zde rostou náklady na jejich těžbu. Z dlouhodobého hlediska nelze pustit ze zřetel nízké využití jaderného paliva v reaktorech s pomalými neutrony, a proto spolupráce na vývoji rychlých reaktorů v rámci zemí RVHP má klíčový význam.

Druhým problémovým okruhem při využívání jaderné energie jsou vysoké investiční náklady a jejich růst. Důvodem je jistě vedle nárůstu cen surovin i obtížnější výběr stavenišť, kterých na našem území není nadbytek, ale také zvyšující se nároky na jadernou bezpečnost.

Tím se ve svém komplexu podstatně redukuje velmi optimistická prognóza rozvoje jaderné energetiky z 60. a 70. let. Je to konečně charakterizováno i tím, že v období 8. FLP přibližně 1/4 přírůstku energetických zdrojů bude kryta zásluhou jádra a 3/4 třetí cestou.

3. Racionalizace ve spotřebě všech druhů paliv a energie

Tato racionalizace se stává významným zdrojem ekonomické a finanční rovnováhy národního hospodářství. Rozústatkem z doby laciné energie je, že tato skutečnost dochází jen pomalu do obecného povědomí. Ještě stále, kdykoliv se objeví dočasný přebytek některé formy energie, nastává plýtvání. Například zvýšení průmyslové výroby o 1 % v prvním čtvrtletí tohoto roku bylo doprovázeno zvýšením energetické náročnosti také o 1 % - ke konci pololetí se podařilo různými opatřeními snížit toto pod 0,5 %. Vlastní náklady na spotřebovanou 1 tnp prvotních energetických zdrojů v ČSSR za období 6. FLP vzrostly o 42 % na Kčs 320,50 a to znamená, že dnešních přibližně 100 milionů tnp roční spotřeby přijde asi o Kčs 10 miliard více než v roce 1975. Zvládnutí této situace je možné jen dosahováním úspor ve spotřebě paliv a energie.

Tyto uvedené tři cesty nemohou fungovat odděleně, žádné z nich nelze dát přednost a ostatní dvě opomenout nebo potlačit. To nejsou totiž tři alternativy řešení, to je pouze jedna komplexní alternativa. Jejímu uskutečnění se věnuje proto nejvyšší úsilí vyjádřené na XVI. sjezdu KSČ podporou všem progresivním snahám podporujícím vzestup výkonnosti československé ekonomiky.

Na VI. sjezdu ČSVTS v roce 1983 byl přijat dokument "Hlavní směry činnosti ČSVTS na leta 1983-1988", který vychází z výše uvedených faktů a tendencí a zaměřuje se mimo jiné ve svých cílových programech s plnou podporou FMPE na podporu SČF 01 u vědomí toho, že nezastupitelnou úlohou a podstatným rysem práce ČSVTS je odstranění resortních, územních i jiných bariér a jednostranného pohledu na řešení úkolů národního hospodářství při soustředění sil

a prostředků na komplexní řešení technických a technickoekonomických problémů. Do toho spadá zajišťování komplexních úkolů ustavováním interdisciplinárních týmů (například bylo ustaveno 31 týmů k řešení problematiky životního prostředí). Jednotlivé společnosti přijaly do svých programů konkrétní opatření k zajišťování SCP 01. Tak ve Středočeském kraji energetická společnost má ve svém programu dvě opatření, týkající se SCP 01, z celkového počtu sedmi, hutnická společnost jedno z celkových tří atd. Nezastupitelné místo má organizátorská a výchovná práce ČSVTS při inovaci znalostí technické inteligence i širších vrstev pracujících, pokud jde o organizaci školení, seminářů, poradenské činnosti, činnosti Domů techniky a výměnu zkušeností. Součástí této činnosti je i dnešní naše setkání.

POČTAVENÍ JADERNÉ ENERGETIKY V NÁRODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ ČSSR

Miroslav Cibula, Státní plánovací komise

Pro současnou a výhledovou energetickou situaci ČSSR je charakteristické podstatné zpomalení růstu zdrojů a spotřeby energie ve srovnání s obdobím před rokem 1980, a to z průměrných ročních přírůstků ve výši přibližně 3 % až na zhruba 0,5 %. Zhoršuje se zároveň struktura používaných fosilních paliv, zejména v důsledku zhoršování kvality těženého uhlí a snižování dovozu ropy. Paralelně s tím dochází až ke čtyřletému zpoždění realizace programu výstavby jaderných elektráren koncipovaného počátkem sedmdesátých let. To je možno považovat za jeden z rozhodujících negativních faktorů nepříznivě ovlivňujících náklady na opatřování energetických zdrojů, protože výrobní náklady na 1 kWh vyrobenou v jaderných elektrárnách budou dlouhodobě nejméně o 30 % nižší než v uhelných parních elektrárnách.

Závažným problémem se stává nepříznivý vývoj relací mezi vývojem průměrných nákladů na pořízení jednotky primární energie, energetickou náročností hospodářství a výsledky dosahovanými při zhodnocování použitých energetických zdrojů v reprodukčním procesu ekonomiky. V období od roku 1980 do roku 1985 i při očekávaném snížení energetické náročnosti tvorby národního důchodu o 10 % náklady na energetické zdroje spotřebované na jednotku národního důchodu vzrostou až o 55 %. Příčinou je to, že průměrné náklady na jednotku primární energie dále rychle rostou a zvýší se z 20,5 Kčs/GJ dosažených v roce 1980 na přibližně 70 Kčs/GJ do roku 2000.

Řešení důsledků uvedeného vývoje je nutno hledat v ještě výraznějším prosazení intenzifikačních a racionalizačních prvků na všech úsecích výroby a spotřeby energie, z čehož pak jednoznačně z technických, ekonomických i ekologických hledisek vyplývá požadavek na další intenzifikaci rozvoje jaderné energetiky.

Rozvoj jaderné energetiky přináší významné hospodářské efekty, a to zejména v těchto oblastech:

- v možnostech počítat s omezováním dovozu nejdražších fosilních paliv, zejména ropy a snížit tak dovozní náročnost vyrovnávání energetické bilance, ve které je kolem 40 % použitých prvotních energetických zdrojů kryto dovozem;

- vytvoření předpokladů pro další výstavbu elektráren na československém území, protože vzhledem k očekávanému snižování těžby domácího uhlí nebyla v probíhající pětiletce poprvé zahájena výstavba žádné parní uhelné kondenzační elektrárny;

- ve vytvoření předpokladů pro modernizaci zdrojové a spotřební části energetické bilance, založené na zvyšování podílu elektrické energie, což odpovídá požadavkům vědeckotechnického rozvoje, inovačním trendům všech odvětví ekonomiky a požadavkům na zvýšení podílu elektrotechnologií ve výrobních procesech;

- ve snížení investičních a provozních nákladů spojených se zajišťováním mezinárodních a vnitřních přeprav paliv a energie přechodem na vysoce koncentrované jaderné palivo, jehož přeprava není spojena s investováním do dopravní sítě a může být využíváno v jaderně energetických výrobních lokalizovaných poblíž center spotřeby energie;

- ve zmírnění dopadu provozu energetických zařízení na životní prostředí, protože jaderné elektrárny, které představují ekologicky nezávadný energetický zdroj, umožní snížit spotřebu uhlí v československých elektrárnách ve srovnání se současnou úrovní do roku 2000 až o 40 % a tím snížit i odpovídající množství exhalací, produkovanych uhelnými elektrárnami, kromě toho se zpomalí i tempo růstu spotřeby fosilních paliv na jiných úsecích energetického hospodářství.

Podle stavu prací na dlouhodobém výhledu rozvoje československé energetiky by se měla jaderná energetika podílet na tuzemské spotřebě energetických zdrojů, výrobě elektrické energie a výrobě tepla takto:

Podíl jaderné energetiky v %:	1980	1990	2000	2010
- na spotřebě prvotních energetických zdrojů	1,5	7,5	15,4	28,5
- na výrobě elektrické energie	6,1	30,2	53,3	64,8
- na výrobě tepelné ^{x/} energie	-	0,3	3,3	6,2

^{x/} bez elektrotepla

V příští pětiletce bude výstavba výrobních kapacit jaderné energetiky odčerpávat až kolem 40 % investic vynakládaných na rozvoj odvětví paliv a energetiky. Přitom postupem realizace investic jaderné energetiky v příští pětiletce se v podstatě rozhodne o tom, jakou výrobní kapacitou bude československá jaderná energetika disponovat ke konci století. V československých jaderných elektrárnách by mělo být v roce 2000 v provozu 12 bloků s reaktory VVER 440 a 5 bloků s reaktory VVER 1000, ze kterých jeden bude pouze v osvojovacím provozu:

	1985	1990	1995	2000
Instalovaný výkon československých jaderných elektráren (/MW el/)	2 200	4 400	7 280	10 280
v tom:				
- bloky VVER 440 /MW/	2 200	4 400	5 280	5 280
/ks/	5	10	12	12
- bloky VVER 1000 /MW/	-	-	2 000	5 000
/ks/	-	-	2	5
Podíl jaderných elektráren na instalovaném výkonu československých elektráren	11,4	20,5	29,2	37,2
/ % /				

Výstavba československé jaderné energetiky do roku 2000

bude předmětem státního cílového programu č. 01, který má být v prvním znění připraven do konce roku 1984 a definitivně schválen s 8. pětiletým plánem rozvoje národního hospodářství. Program výstavby jaderné energetiky v ČSSR bude součástí mezinárodně koordinovaného Programu výstavby jaderných elektráren a jaderných výtopen v členských státech RVHP do roku 2000, který se již intenzívně připravuje a bude představovat základnu pro mnohostrannou kooperaci a specializaci ve výrobě a dodávkách jaderné techniky.

ÚLOHA VĚDECKOVÝZKUMNÉ ZÁKLADNY V ROZVOJI JADERNĚENERGETICKÉHO KOMPLEXU

M. Hron, S. Havelka, Ústav jaderného výzkumu, Řež

V současné době je již jednoznačně prokázáno, že jediným dynamicky se rozvíjejícím zdrojem energie v ČSSR je a nejméně do poloviny příštího století zůstane jaderná energie, která musí nejenom zajistit prakticky veškerý přírůstek potřeby energie pro naše národní hospodářství, ale kompenzovat také snižování energetického využití ropy a postupně i uhlí. Do r. 2000 může jaderná energie v této úloze do značné míry přispět i zvýšené využívání zemního plynu, po r. 2000 začne však i jeho využití stagnovat. Tlak na urychlený rozvoj jaderné energetiky vyvolávají i neustále rostoucí ekologické problémy, spojené s těžbou a spalováním hnědého uhlí.

V této situaci nabývá neustále na významu potřeba zajistit ekonomicky i ekologicky co nejvýhodnější implantaci progresivních jaderných reaktorů do elektrizační soustavy ČSSR a do čs. soustav centralizovaného zásobování teplem. To přirozeně není možné bez intenzivního a vysoce efektivního využití výsledků vědeckotechnického rozvoje. Pro jaderněenergetický komplex platí v plné míře slova s. J. Keše, který na 6. zasedání ÚV KSČ řekl: "je nezbytné... .. důsledněji využívat vědu a technický pokrok jako rozhodujícího činitele intenzifikace a základní zdroj růstu společenské produktivity práce". Bohužel je nutno konstatovat, že průmyslový rozvoj jaderněenergetického komplexu má v ČSSR v současné době do značné míry extenzivní charakter, více než odpovídá progresivnímu charakteru jaderné technologie a ekonomické potřebě národního hospodářství. To se například projevuje v neustále rostoucích investičních nákladech na instalovaný kilowatt, ve zvyšování počtu pracovníků na staveništi a v prodlužování doby výstavby. Připomeňme si při této příležitosti, že každé zvýšení investičních nákladů na výstavbu jaderných elektráren o 1 % připraví naše národní hospodářství ročně přibližně o 100 milionů Kčs a prodloužení doby výstavby JE Temelín o jediný měsíc by znamenalo ztrátu

3/4 miliónu tun hnědého uhlí.

Zpráva předsednictva ÚV KSČ, přednesená na 8. zasedání ÚV KSČ
 a. M. Jakešem, ukázala rovněž na základní podmínky, které je nutno dodržet,
 aby inovační proces v národním hospodářství probíhal s požadovanou dynamikou
 a efektivností:

- těsné sepětí výzkumu s výrobní sférou;
- účelné rozvržení sil a prostředků výzkumné základny na řešení krátko-
 doboých, aktuálních, bezprostředně realizovatelných úkolů a na úkoly dlouho-
 doboé, vyžadující etapovité řešení, a realizovatelné proto až po delší době;
- prohloubení ekonomické integrace a vědeckotechnické spolupráce s člen-
 skými zeměmi RVHP, zvláště se SSSR;
- rozvoj tvořivé iniciativy pracujících.

Z těchto hledisek je možno vytyčit před čs. výzkumně-vývojovou základnu,
 pracující v oblasti JEK, následující národohospodářské cíle:

1. Zpomalit či zastavit růst nákladů na výstavbu jaderných elektráren
 s reaktory typu VVER. Dosavadní rozbory ukazují, že hlavní rezervy jsou
 v kvalitě projekčních prací, zvláště pak v jejich předprojektové fázi a v orga-
 nizaci stavebních i montážních prací na staveništi. Intenzifikaci dosud nedosta-
 tečně rozvinutých výzkumně-vývojových prací v této oblasti a jejich koncentra-
 ci na nejzávažnější národohospodářské cíle bude proto nutno věnovat neustálou
 pozornost. Nemalé rezervy by bylo možno mobilizovat i racionalizací výroby
 technologických zařízení a přístrojů a zaváděním progresivních stavebních
 technologií. Je přirozené, že hlavní tíha výzkumně-vývojových prací v této
 oblasti bude spočívat na výzkumně-vývojové základně resortů investora,
 tj. FMPE a resortů generálních dodavatelů, tj. MOv ČSR i SSSR, FMHTC
 a FMFE. K úspěchu těchto prací však přispívá i ÚJV Řež, ať již zpracováním
 matematických modelů a jejich ověřením na experimentálním reaktoru LR-0,
 což umožnilo zkrátit na minimum období fyzikálního spouštění jednotlivých

elektrárenských bloků, či přímou účastí svých odborníků na tomto spouštění. Výsledky svých prací v oblasti fyzikální metalurgie, reaktorové techniky a jaderné bezpečnosti již ústav přispěl a bude i nadále přispívat jak k racionalizaci zpracování a hodnocení bezpečnostních zpráv, tak i k osvojení a racionalizaci výroby komponent aktivní zóny reaktorů VVER-440 a VVER-1000.

2. Racionalizace provozu jaderných elektráren a reaktory typu VVER-440 (a později i s reaktory typu VVER-1000) zvýšením jejich časového využití a jejich využitím pro teplotářské účely.

Lze odhadnout, že zkrácení odstávek elektráren V1 a V2 v Jaslovských Bohunicích plánovaných pro výměnu paliva, pro revizi a pro údržbu pouze o jediny den by národnímu hospodářství přineslo úsporu 40 tis. tun hnědého uhlí. I když vývoj vlastních nových údržbářských metod a zařízení zajišťuje především VÚJE Jaslovské Bohunice, věnuje ÚJV v současných i připravovaných státních úkolech RVT značnou část své kapacity vývoji nových diagnostických metod, které by umožnily přesnější zjištění stavu reaktoru a predikci jeho chování i životnosti jeho komponent, a tím umožnily zkrátit dobu průběžných revizí, případně snížit jejich počet. Nemalou pozornost věnuje ústav v této souvislosti modernizaci své experimentální základny. Zde je nutno se zmínit např. o probíhající přestavbě aktivních metalurgických linek, které umožní zvládnout rozsáhlý atestační program i vyhodnocení svědečných vzorků, zvláště však o dokončení rekonstrukce experimentálního reaktoru LR-0, který je dnes v rámci zemí RVHP unikátním zařízením pro experimentální ověřování neutronického chování aktivních zón reaktorů typu VVER. O možnost jeho využívání projevuje proto intenzivní zájem i SSSR. V rámci státního úkolu RVT "Výzkumná reaktorová základna", koordinovaného ÚJV, věnuje ústav i nadále značné úsilí systematickému rozvoji experimentálních a výzkumných reaktorů v ČSSR v souladu s budoucími potřebami jaderné energetiky.

Použilo-li by se jaderných elektráren současně pro teplotářské účely, dosáhlo by se dvou až dvouapůlnásobné zvýšení využití tepla vyrobeného jaderným reaktorem a tím tedy i odpovídající snížení tepelného odpadu.

Těžiště problému je dnes jednak ve vyřešení ekonomicky přijatelného a ekologicky nezávadného přenosu tepla na vzdálenosti 30-50 km, jednak ve vývoji technologií využití odpadního nízkopotenciálového tepla pro zemědělské účely, tedy v oblastech značně vzdálených odbornému profilu ústavu. Ústav by mohl přispět pouze nepřímo výsledky svých prací v oblasti bezpečnosti, které by mohly v budoucnu umožnit umísťovat jaderné elektrárny do větší blízkosti průmyslových center a tím usnadnit jejich teplotenské využití.

3. Dalším závažným a vysoce aktuálním národohospodářským cílem RVT je zajištění bezpečnosti a ekologické nezávadnosti provozu jaderných elektráren. Nedůsledné řešení této problematiky mělo v řadě zemí negativní vliv na rozvoj jaderné energetiky a mohlo by i u nás mít nepříznivý dopad na ekonomiku jaderných elektráren. Proto ústav věnuje mimořádnou pozornost koordinaci i vlastnímu řešení státního úkolu RVT "Bezpečnost jaderných zařízení", jehož výstupy mají značný význam nejen pro státní dozor, ale i pro výrobce a provozovatele jaderné energetických zařízení.

Významnou roli může v této souvislosti sehrát i racionalizace hospodaření s vyhořelým jaderným palivem a zavedení progresivních technologií zpracování radioaktivních odpadů do formy, umožňující jejich bezpečné trvalé uložení. V této oblasti ústav koordinuje a řeší dva státní úkoly RVT - "Fluoridové přepracování uran-plutoniového paliva" a rozsáhlý úkol "Zneškodňování radioaktivních odpadů z provozu jaderné energetických zařízení s lehkovodními reaktory". Při řešení tohoto úkolu dosáhl ústav v poslední době značného úspěchu výrobou a odzkoušením mobilní provozní cementační linky na fixaci radioaktivních odpadů vznikajících při provozu elektráren s reaktory typu VVER. Technicko-ekonomické parametry linky jsou opravdu na světové špičce a zřetelně převyšují parametry obdobných zahraničních výrobků.

V oblasti palivového cyklu bude zřejmě nutno zvažovat i možnosti účelného rozšíření podílu ČSSR na výrobě jaderného paliva s cílem snížit nároky na platební bilanci ČSSR. Bylo by pak možno využít i značných zkušeností, které ÚJV v minulých letech získal v oblasti výroby jaderných palivových materiálů.

4. Hlavním dlouhodobým cílem jaderné energetiky strategického charakteru, a to nejen v ČSSR, ale ve všech zemích, které rozvíjejí jadernou energetiku, je v současné době zavedení nové generace reaktorů, tzv. rychlých, k jejichž průmyslovému nasazení dojde zřejmě již v devadesátých letech v SSSR a ve Francii. Důvodem intenzivních vývojových prací v této oblasti ve všech **státech** rozvíjejících jadernou energetiku je obava, že malé využití jaderného paliva v současných typech jaderných reaktorů (okolo 1 %) by v poměrně brzké budoucnosti 30-50 let mohlo vést k vyčerpání ekonomicky těžitelných zásob uranové suroviny a tak k neúnosnému zdražení výroby elektrické energie, z jaderných zdrojů. Na vývoji průmyslového rychlého reaktoru pracuje ČSSR v těsné spolupráci s SSSR v rámci státního úkolu "Vybrané komponenty a problémy osvojení rychlých reaktorů", koordinovaného ÚJV Řež. Cílem našich prací v tomto úkolu je včasná příprava čs. strojírenského a elektrotechnického průmyslu na inovaci výrobního programu v oblasti jaderné techniky. Výrazný bude i ekologický dopad zavedení rychlých reaktorů - vyžadují téměř stokrát menší těžbu uranu, produkují o třetinu méně odpadního tepla a spalují jeden z nejobtížnějších radioaktivních odpadů - plutonium. Na tomto příkladu je také patrné, že intenzivní využívání vědy a techniky je opravdu schopno zajistit pro ČSSR dlouhodobě levnou a ekologicky nezávadnou výrobu energie.

Ve světě se v poslední době začínají zintenzivňovat práce na vývoji další generace reaktorů, tzv. vysokoteplotních, které by umožnily použít jadernou energii i pro výrobu sekundárního paliva, vhodného i pro nestacionární použití, necentralizované zásobování teplem a pohotovostní elektrárenské rezervy, případně pro decentralizované záložní zdroje. Teprve pak bude totiž možno počítat s jadernou energií jako s opravdu universálním zdrojem, plně schopným nahradit klasická chemická paliva. Práce na vývoji těchto reaktorů nabývají na značné intenzitě i v SSSR a počítá se s jejich rozvinutím i v rámci programu společných vědeckovýzkumných prací zemí RVHF v oblasti jaderné energetiky. S jejich rozvinutím v ČSSR bude však účelné počítat až v 90. letech. ÚJV bude však zřejmě muset v rámci plnění funkce VF VTR tuto problematiku v 8. PLP

studijně sledovat. Na druhé straně problematika fúzních reaktorů zůstane minimálně do konce století doménou základního výzkumu.

Shrneme-li uvedená fakta, můžeme konstatovat, že ÚJV Řež přináší nemalý vklad do řešení problémů technického rozvoje jaderné energetiky. Zvláště významná je v této souvislosti koordinační činnost ústavu - není totiž právě obvyklé, aby jediný ústav koordinoval pět státních úkolů RVT v tak závažném programu, jakým bezesporu A 01 je. A zde je třeba připomenout, že ústav koordinuje ještě další tři státní úkoly z programu P 09, zaměřeného na rozvoj jaderné energetiky, čtyři úkoly státní standardizace a tři resortní úkoly. Projevuje se tak jednak praktické naplňování funkce vedoucího pracoviště vědeckotechnického rozvoje v oblasti jaderné energie a techniky, jednak vědecké autorita, kterou naši pracovníci na základě třicetiletých výsledků své práce získali.

ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PROBLÉMY BEZPEČNOSTI JADERNÝCH ELEKTRÁREN A PERSPEKTIVY DALŠÍHO ROZVOJE

Karel Dach, Ústav jaderného výzkumu, Řež

I když je fyzikálně nemožné, aby atomová elektrárna explodovala jako atomová bomba, je myslitelné, že by mohl být do okolí náhodně rozšířen radioaktivní materiál. Existují však tři faktory, které snižují pravděpodobnost nebezpečného rozšíření na mimořádně nízkou hladinu. Předně jsou to četná bezpečnostní zařízení, která jsou součástí elektrárny včetně hermeticky těsné ochranné budovy, která zabraňuje úniku radioaktivity. Za druhé kvalita techniky a norem, používaných pro výrobu komponent jaderné elektrárny, splňují mnohem vyšší požadavky než v konvenčním energetickém inženýrství. Za třetí jsou ve všech fázích konstrukce, výstavby a provozu uplatňovány nařízené kontroly, specializované normy, požadavky a návody ČSKAE pro bezpečnost jaderně energetických zařízení. Významným krokem pro zajištění bezpečnosti československých jaderných elektráren bylo na jaře letošního roku schválení zákona o státním dozoru nad jadernou bezpečností. Funkcí státního dozoru byla pověřena Československá komise pro atomovou energii.

Konstrukce jaderných elektráren zahrnují mnohá bezpečnostní zařízení, zabráňující úniku radioaktivity. Především existují tři hmotné bariéry, které by všechny musely selhat, aby mohlo dojít k výraznému úniku štěpných produktů do okolí: kovové pokrytí paliva, tlakový okruh z vysoce jakostní oceli, obsahující chladivo reaktoru a konečně hermeticky těsná ochranná budova. Konstrukce dále zahrnuje několik havarijních systémů nezávislých na základním zařízení elektrárny, s vysokým stupněm zálohování a nezávislosti. Tyto systémy zabráňují přehřátí paliva při výpadku chlazení a automaticky zastavují reaktor v případě výskytu havarijních situací. Jsou schopny zvládnout každý přechodový jev i případnou chybu operátora.

Ve většině stávajících a budovaných jaderných elektrárnách je palivem keramický kysličník uranu ve tvaru válcových tabletek, naskládaných do tyčí a utěsněných v kovovém obalu, obvykle ze slitiny zirkonia. Aktivní zóna reaktoru je sestavena z velkého počtu těchto tyčí. Teplo generované štěpným procesem se odnímá tím, že aktivní zónou reaktoru cirkuluje pod vysokým tlakem chladivo, jímž může být buď voda nebo plyn v závislosti na typu reaktoru. Většina štěpných produktů je zadržována krystalickou strukturou palivového materiálu, ale vysoce prchavé a plynné částice mohou velmi pomalu difundovat k povrchu. Jejich únik brání kovové pokrytí.

Při nehodě, která by mohla způsobit vážné ohrožení vnějšího okolí, by muselo dojít současně k poškození palivového materiálu s uvolněním dostatečného množství štěpných produktů a k současnému porušení všech dalších bariér, aby byla vytvořena cesta pro jejich únik do okolí.

Na reaktorech, chlazených vodou, by mohla tento sled událostí způsobit např. velká trhлина v chladicím okruhu, která by vedla k rychlé ztrátě chladiva. V takovém případě by následovalo automatické zastavení činnosti reaktoru, ale radioaktivita paliva by způsobila další vývin tepla, čímž by mohlo dojít, kdyby nebylo odváděno, k roztavení paliva a jeho pokrytí. Tím by se mohlo uvolnit velké množství štěpných produktů, které by unikly do kontejnmentové budovy. Existují i další mechanismy, jako úlomky, vzniklé při havárii, které by mohly případně poškodit vlastní kontejnment.

Jaderné elektrárny zahrnují ve své konstrukci mnohá opatření, která zabráňují tomu, aby došlo k uvedenému sledu událostí. Potrubí a tlaková nádoba, které tvoří hranici reaktorového chladiva, jsou vyráběny podle velmi přísných předpisů, jež podstatně snižují pravděpodobnost takovéto havárie.

Navíc jsou všechny elektrárny vybaveny četnými systémy, schopnými odvádět teplo z aktivní zóny a hermetických prostor při ztrátě chladiva v primárním okruhu. Jedním z těchto systémů, který má zabránit následkům ze ztráty chladiva, je systém havarijního dochlazování aktivní zóny.

Popsaný sled událostí by tedy mohl nastat jen v takovém případě, kdy by po nehodě, způsobující trhlinu, selhaly všechny ochranné systémy. Dalším možným mechanismem, který by mohl způsobit uvolnění štěpných produktů, by mohlo být rychlé nekontrolované zvýšení výkonu. To by mohlo způsobit roztavení paliva, růst tlaku a přehřátí, což by mohlo vést k porušení těsnosti primárního okruhu. Reaktory jsou proto opatřeny vysoce spolehlivými ochrannými systémy, které detekují jakýkoliv chybný stav a provádějí jeho automatickou korekci. Navíc má každý moderně konstruovaný reaktor samoregulační jadernou charakteristiku, která spolu s ochrannými systémy snižuje pravděpodobnost podobné havárie na zanedbatelnou úroveň.

Všechny dobře informované a objektivní studie, které dosud byly provedeny, vedou k závěru, že jaderná energie je skutečně velmi bezpečná. Až do nedávných let se tyto studie všeobecně soustředily na oblast hypotetických havárií, nazývaných základní projekční havárie, z nichž nejhroší se někdy nazývá maximální pravděpodobná havárie. Při použití tohoto přístupu pro analýzu nebezpečí existuje mnoho nedostatků, a to:

- odvádí pozornost od jiných havárií, které mohou mít větší dosah buď pro jejich větší četnost (s menšími vážnými důsledky), nebo větší následky (ale velmi malou pravděpodobnost);
- mohou vést laika k závěrům, že k těmto specifikovaným haváriím skutečně dojde, bez ohledu na pravděpodobnost;
- definice hlavní projekční havárie a maximální pravděpodobné havárie je spekulativní a subjektivní.

V posledních letech se používá nový přístup pro analýzu nebezpečí, v němž jsou zahrnuty následky a pravděpodobnosti všech myslitelných havárií. Tyto dva faktory lze uvažovat společně, abychom získali míru nebezpečí z hypotetické havárie.

Nejobektivnější perspektivním přístupem k hodnocení bezpečnosti jaderných elektráren je kvantitativní pravděpodobnostní metoda stanovení rizika z provozu jaderné elektrárny. Kvantitativní přístup k hodnocení rizika vychází ze základních iniciačních havarijních událostí. Správnou, či chybnou funkcí bezpečnostních systémů elektrárny a činností obsluhy jsou určeny havarijní řetězce tvořící tzv. "stromy událostí". Pravděpodobnost správné či chybné funkce bezpečnostních systémů v havarijních řetězcích stromů událostí se určuje pomocí tzv. "stromu poruch". Každému řetězci z úplného spektra všech stromů událostí tak přísluší pravděpodobnost jeho výskytu a současně míra vlivu na obyvatelstvo vyjádřená poškozením zdraví od účinků radioaktivních látek uvolněných při eventuální havárii jaderné elektrárny.

Riziko je tedy dané součinem pravděpodobnosti výskytu a míry následků. Sumární riziko všech možných havárií jaderných elektráren ze stromu událostí je potom možné posuzovat ze společenských hledisek v porovnání s jinými riziky civilizace.

Nejrozsáhlejším uplatněním tohoto přístupu je Rasmussenova studie bezpečnosti reaktorů WASH-1400 vydaná v r. 1975, která posuzovala riziko z provozu 100 jaderných elektráren v USA do roku 1990.

Výsledky ukazují, že pro jaderné reaktory nejsou následky možné havárie větší a v mnohých případech jsou mnohem menší, než pro havárie nejaderné. Ani největší myslitelná havárie jaderné elektrárny by nebyla tak katastrofická, jak se mnozí lidé domnívají a byla by mnohem méně ničivá než případná havárie přehrady, hydroelektrárny nebo jiné nebezpečí, kterému jsou dnes někteří příslušníci veřejnosti vystavováni.

Rasmussen dokázal, že nebezpečí pro jednotlivce, plynoucí z havárie energetického reaktoru, je zanedbatelné ve srovnání s nebezpečím jiných havárií, jejichž možnost společnost běžně přijímá. Na 1000 energetických reaktorů v USA není průměrná pravděpodobnost pro amerického občana,

že by zemřel na rakovinu, které by byla následkem havárie reaktoru, větší než jedna ku stu milionům za rok a pravděpodobně ještě menší. Pro srovnání je průměrná pravděpodobnost, že bude jednotlivec zabit při letecké havárii v USA, jedna ku sto tisícům za rok.

Za předpokladu, že jsou při výstavbě a provozu energetických reaktorů prováděny přísné kontroly, jsou mnohé existující obavy z následků pravděpodobné havárie na těchto elektrárnách neopodstatněné. Nebezpečí nepochybně existuje stejně jako ve všech podobných činnostech, ale odhady ukazují, že toto nebezpečí je mnohem menší než z jiných činností lidské společnosti.

Jaderná energetika se stala nepostradatelnou součástí světové ekonomiky. Více než 2 500 roků provozu reaktorů prokázalo, že se jedná o levný a bezpečný prostředek výroby energie. Technické, ekonomické a ekologické vlastnosti jaderných elektráren představují pro elektrárny vytápěné fosilními palivy nejen konkurenci, ale ve většině případů je dokonce předčí.

Růst kapacit jaderných elektráren je zatím dostačující. Avšak prognózy rozvoje jaderné energetiky na dobu po roce 1990 a zejména pro příští století jsou velmi protichůdné a nejisté. V posledních 5 až 7 letech jsme byli u mnoha zemí svědky téměř neustálých změn programů rozvoje jaderné energetiky, po nejvíce ve směru určité redukce. Pochopitelně existují některé země a oblasti, kde rozvoj jaderné energetiky velmi plynule pokračuje.

Lze uvést celou řadu důvodů, proč se tempo výstavby jaderných elektráren zpomaluje a proč jsou vyhlídky rozvoje jaderné energetiky na celém světě poněkud nejisté. Nejvýznamnější z těchto důvodů jsou všeobecná recese, stagnace a krizový vývoj ekonomiky ve většině kapitalistických zemí, které vedly k podstatnému snížení jejich energetických potřeb. Ke zpomalování tempa výstavby jaderných elektráren dále přispělo opožďující se řešení jednotlivých, výše zmíněných základních otázek (přepracování paliva a trvalé uložení odpadů), a také obtíže, na které naráží hospodářský růst rozvojových zemí. Konečně to byly politické a právní faktory, způsobené zejména vznikem hnutí odpůrců

jaderné energie v některých západních zemích, které nanejvýš nepříznivě ovlivnily rozvoj jaderné energetiky a do jisté míry působí i nadále.

V oblasti praktického využití jaderné energie, kterou jsme zatím obsáhli, tj. při výrobě elektrické energie, lze pochopitelně počítat s růstem kapacit jaderných elektráren, s rozšiřováním sféry uplatnění a se zvyšováním počtu lokalit, kde budou tyto elektrárny umístěny (provoz jaderných elektráren s přizpůsobováním velikosti zatížení a v základním zatížení, aplikace na odsolování vody atd.). Růst rozsahu výroby energie v jaderných elektrárnách nebude záviset na omezeních technické nebo ekonomické povahy. Vedle elektrárenské výroby lze počínaje devadesátými lety očekávat i určitý růst podílu jaderné energie na celkové energetické výrobě, a to v důsledku nahrazování fosilního paliva jaderným, zejména při výrobě tepelné energie.

V průmyslových zemích dosahuje podíl elektrické energie na celkové energetické spotřebě 15 až 20 %, zatímco podstatná část fosilních paliv, především ropy a topného oleje, se používá k výrobě tepla v domácnostech a k vysokoteplotním aplikacím v průmyslu. Například v Sovětském svazu připadá na tyto účely více než polovina všech energetických zdrojů. Náhraza fosilních paliv jaderným při výrobě tepla je ještě významnější než v případě výroby elektrické energie. Určité zkušenosti s využitím tepla z jaderných elektráren k dodávkám tepla pro dálkové vytápění má zatím Švýcarsko, ČSSR, Švédsko a Kanada. V Sovětském svazu se již delší dobu pro tyto účely používá pára z řady jaderných elektráren. Jaderná elektrárna Bilibino, která je v provozu na Čukotce, může být uvedena jako příklad řešení problému zásobování teplem a energií v odlehlých oblastech.

Problém velkopřemyslového uplatnění jaderného paliva ke sdružené výrobě tepla a elektrické energie se v současné době zkoumá v řadě zemí a velmi brzy zřejmě vznikne nový obor - technika jaderného teplárenství. V Sovětském svazu se vyvíjejí a projektují jednak jaderné teplárny, v nichž jsou vytápěny, které slouží výlučně k dálkovému vytápění bytů. U obou těchto typů bude

třeba získat do konce osmdesátých let dostatek zkušeností, abychom mohli přednosti tohoto nového zdroje tepla spolehlivě posoudit. Je však třeba poukázat na některé vlastnosti jaderné energie, na jejichž základě můžeme již dnes s jistotou tvrdit, že se jedná o slibný obor. Jsou to tyto vlastnosti:

- Vyšší hospodárnost zejména v zemích, kde podstatná část obyvatelstva žije ve velkoměstech s rozvinutou sítí dálkového vytápění, kde není tedy potřeba budovat další rozvodné sítě.
- Náklady na výrobu tepla jsou velmi málo závislé na růstu ceny paliva.
- Zmenšení rozsahu přepravy paliva na velké vzdálenosti v těch případech, kde zásoby fosilních paliv jsou od spotřebitelů velmi vzdáleny, anebo kde se tato paliva exportují.
- Podstatné zvýšení čistoty ovzduší ve velkých městech a jejich okolí.

Dalším oborem uplatnění jaderné výroby tepla a elektrické energie je zřejmě vysokokapacitní teplo pro průmyslové účely. Jeho rozvoj, jak je známo, závisí na vysokoteplotním reaktoru, chlazeném héliem a moderovaném grafitem. Tyto reaktory mají dobrou neutronovou ekonomii - díky nízkým ztrátám neutronů v materiálech aktivní zóny - a mohou pracovat v různých palivových cyklech. Vysoká teplota chladiva na výstupu z reaktoru (až 1100 °C) umožňuje realizaci termodynamických cyklů s vysokou účinností při výrobě elektrické energie, jakož i rozsáhlejší přímé upotřebení jaderných paliv v metalurgii a v chemické výrobě, např. při zplyňování uhlí. Tepelné systémy založené na vysokoteplotních reaktorech se již delší dobu zkoumají v řadě zemí, zejména SSSR, USA a NSR.

Jaderná paliva mají navíc unikátní schopnost vyrábět velká množství nových jaderných štěpných látek. Teoreticky vyrábí štěpné látky každý jaderný reaktor, ovšem v průmyslovém měřítku je možné vyrábět jaderná paliva s velkým množstvím poměrem pouze v uzavřeném palivovém cyklu s rychlými množivými reaktory. A právě tato vlastnost jaderných paliv je rozhodující při hodnocení jaderné energie jako spolehlivého zdroje dlouhodobého krytí světové potřeby energie.

Rychlé množivé reaktory jako zdroje energie se od ostatních reaktorových typů liší hlavně svou schopností množit v přebytku štěpný materiál. Zájem o rychlé množivé reaktory se projevuje od prvních počátků výzkumů v oblasti jaderné energie. V Sovětském svazu byly práce na rychlých reaktorech zahájeny ve čtyřicátých letech. Současně a nezávisle na tom byly podobné práce rozvinuty ve Spojených státech amerických a Velké Británii a v poněkud pozdějším stadiu i ve Francii, NDR a v dalších zemích. Výzkum teoretických základů pro stavbu těchto systémů byl již uzavřen, technologie je vyvinuta a jsou k dispozici provozní zkušenosti s rychlými množivými reaktory, chlazenými tekutým kovem a pracujícími s kysličnickovým palivem. Rychlé reaktory prototypového provedení úspěšně pracují v Sovětském svazu (BN-350, BN-600, BOR-60), ve Francii (Rapsodie, Phénix) a ve Velké Británii (PFR). Pokusné reaktory a prototypy elektráren s rychlými množivými reaktory se staví v Německé spolkové republice (SNR-300), Japonsko (Monju), ve Spojených státech amerických (Clinch River), Itálii (FEC) a v Indii (FBTR Kalpakam). Je třeba zvlášť podtrhnout zásadní význam, který tato cesta má. Jenom využitím rychlých reaktorů budou v podstatě všechny země s to rozvinout své energetické hospodářství na bázi sekundárních paliv a svých domácích zásob paliva, neboť v takovém případě přestane být cena uranu rozhodujícím činitelem.

Dosažená technická úroveň vývoje a realizace rychlých množivých reaktorů dovoluje již dnes stavět velké centrály. Ovšem praktické časové měřítko pro jejich průmyslové zavedení závisí na mnoha činitelích. Podle neoptimističtějších odhadů se začne v devadesátých letech. V poslední době se objevují názory, že zavádění rychlých reaktorů může být zahájeno až v roce 2030, protože teprve tehdy vzniknou předpoklady, aby byly tyto reaktory schopné konkurovat současným typům reaktorů.

Různé názory na rychlé množivé reaktory a na dobu jejich nasazení do jisté míry odrážejí historické představy o úloze a postavení rychlých množivých reaktorů ve výrobě energie, vzniklé v raném stadiu těchto prací.

V USA a částečně i v jiných západních zemích se na rychlé reaktory pohlíželo pouze z hlediska účinnějšího využití uranu, a málo se přihlíželo k otázce tempa produkce nových štěpných látek, tj. doby zdvojení. Sovětští odborníci naopak pokládají dobu zdvojení za otázku základní důležitosti. Rozvoj programu rychlých množivých reaktorů a jaderné energetiky jako celku bude jen tehdy skutečně významný, jestliže rychlé reaktory svou produkcí plutonia v přiměřeném rozsahu zabezpečí rozšiřování výroby energie v potřebném růstovém tempu, přičemž budou používat pouze obohacený uran a část plutonia, které samy vyrobí.

Zavedení rychlých množivých reaktorů do jaderného energetického systému by umožnilo podstatně snížit potřebu přírodního uranu. Přesto by nemohl být plně zaručen soustavný rozvoj jaderné energetiky, pokud by byly k dispozici jen omezené zásoby uranu. Výzkumné a vývojové práce na rychlých množivých reaktorech, rozvinuté na širokém základě v řadě zemí, ukazují reálné možnosti zvýšení stupně využití především tím, že se zlepší fyzikální vlastnosti, například výtěžek množení. Všímněme si nyní některých možností ke zvýšení těchto parametrů:

1. Proces množení lze zdokonalit optimalizací kysličnickového paliva. Jak ukazují výzkumy, ke zvýšení konverzního poměru a produkce nadbytečného plutonia vedou nekonvenční způsoby řešení aktivní zóny, jako například "heterogenní uspořádání", ve spojení s kompaktnějšími množivými zónami. ÚJV ve spolupráci s SSSR např. zkoumají heterogenní kombinace kysličnickového a kovového paliva, u nichž hlavní podíl tepelného výkonu a nejvyšší vyhoření připadá na palivové články ze směsi kysličníků uranu a plutonia, kdežto akumulaci plutonia obstarávají za "mírných" podmínek (vyhoření 1-2 % atomů těžkých prvků) hlavně články z přírodního nebo obohaceného kovového uranu.
2. Zajímavých a perspektivních výsledků bylo dosaženo při výzkumu kompaktních paliv s vyšší tepelnou vodivostí: karbidu, nitridu a kovového uranu.

Při použití kompaktních paliv a optimální konstrukci aktivní zóny lze podle výpočtů očekávat zvýšení výtěžku množení na 0,6-0,7 a zkrácení doby zdvojení na 7-10 let.

3. Ekonomické přednosti rychlých množivých reaktorů oproti tepelným reaktorům spočívají v jejich inherentně nízké palivové složce nákladů, vyplývající z nezávislosti na ceně přírodního uranu. Zároveň však je investiční složka nákladů u rychlých reaktorů 1,5 - 2krát větší než u lehkovodních reaktorů. Tuto situaci by mohl změnit jedině podstatný vzrůst ceny přírodního uranu nebo vliv faktoru velikosti zařízení (pokles nákladů). To lze očekávat jen při velmi rychle rostoucí potřebě energie anebo při mimořádném "tlaku", který by vyvozovalo poškozování životního prostředí konvenčními fosilními palivy.

V současné době panující mírné tempo rozvoje světové ekonomiky a potřeby energie a reálně existující možnost podstatného zvýšení faktoru využití paliva v tepelných reaktorech již v příštím desetiletí dovolují optimálně plánovat rozvoj jaderné energetiky bez ohledu na omezené zásoby uranu. Předpokládají se smíšené systémy, složené z rychlých i tepelných reaktorů, přičemž každý reaktorový typ má být využit způsobem co nejvíce odpovídajícím jeho schopnostem. Za těchto okolností se odhaduje, že by bylo možné dosáhnout nezávislosti v zásobování palivem do čtyřicátých až padesátých let příštího století. Zároveň bychom též měli počítat s možností, že poptávka po energii bude v 21. století - v podmínkách mimořádného vzrůstu nákladů na fosilní paliva - prudce stoupat, například pro účely ochrany životního prostředí a pro zajištění rychle rostoucích potřeb rozvojových zemí. Za uvedených podmínek by mohlo být nezbytné rozšiřovat výrobu štěpných látek minimálně o 10 % ročně. Pak by nestačily ani rychlé množivé reaktory, a k řešení problému energie by byly třeba další nové technologie.

MATERIÁLOVÉ PROBLÉMY V JADERNÉ ENERGETICE

Jaroslav Koutský, Ústav jaderného výzkumu, Řež

1. Úvod

Výzkumněvývojové a osvojovací práce pro jaderné elektrárny s lehkovodními reaktory typu VVER jsou v ČSSR řešeny již od r. 1970. Vzhledem k zájmu čs. průmyslu stát se dodavatelem jednotlivých komponent těchto jaderných elektráren, byla již od počátku věnována problematice materiálu značná pozornost. I když sovětský projektant reaktoru vychází z požadavku omezeného počtu materiálů, jejichž vlastnosti jsou známé a jejichž technologie je zvládnuta do určitého přijatelného standardu, jsou nároky na materiálový výzkum a jeho výzkumněvývojové pracoviště mimořádně vysoké.

Výzkum materiálů musí být proveděn v každém případě, neboť tyto materiály jsou vyráběny v čs. podmínkách, na čs. zařízeních a musí být proto prozkoumán vliv těchto specifík na finální vlastnosti materiálů. Předávané vlastnosti materiálů nejsou identické s funkčními vlastnostmi - v řadě vlastností chování jednotlivých materiálů v provozních podmínkách není zakotven v žádné normě ani předpisu a dobrá znalost u nás vyráběných materiálů, i když podle sovětských předpisů, je nutná nejen pro zajištění další výroby, při které se vyskytne řada odchylek, jež je nutné operativně řešit, ale i pro realizaci dodávky jaderného reaktoru.

Materiálový výzkum podmiňuje vyřešení základního úkolu výrobců: osvojit metalurgii a technologii sovětských materiálů a zvládnout je tak, aby byly ekonomicky přijatelné pro naše výrobce.

O mimořádně rozsáhlém objemu prací, týkajících se komponent primárního okruhu, které prakticky zajistily sériovou výrobu kompletu jaderných reaktorů typu VVER-440 v ČSSR, lze si učinit představu z následujícího přehledu.

2. Fřehled a výsledky vědeckovýzkumných a osvojovacích prací

2.1. Reaktorová tlaková nádoba (RTN)

Metalurgie výroby oceli RTN VVER-440 byla vyvíjena v k.p. Škoda, Plzeň, kování ingotů v hmotnostech nad 70 t, válcování a lisování v zá-
pustkách ve VŽSKG, Ostrava. Vývoj a osvojení výroby speciálních ocelí
a slitin pro vnitřní části reaktoru a pohony regulačních mechanismů zaji-
šťovalo SONP, Kladno. Ověřování výroby trubek a pružinových drátů ze
speciálních ocelí probíhalo ve VTŽ, Chomutov. Problematiku svařování,
navarování a tepelného opracování svařenců tlakové nádoby víka, vnitřních
částí horního bloku a pohonů regulačních mechanismů reaktoru VVER-440
řešil k.p. Škoda ve spolupráci s VÚZ, Bratislava a ŽAZ, Vamberk, kde
byla zavedena výroba více než 20 přídavných svařovacích materiálů sovět-
ských značek.

Podobné rozdělení výrobních a výzkumněvývojových prací a organi-
zací zůstává v podstatě zachováno i při výrobě reaktoru VVER-1000.

Při řešení materiálové problematiky RTN obou reaktorů byla věno-
vána patřičná pozornost také studiu odolnosti oceli 15Ch2NMFA proti po-
rušení. Hlavní pozornost byla a je věnována i odolnosti proti křehkému
porušení, odolnosti proti cyklickému zatěžování, odolnosti proti radiač-
nímu a vodíkovému zkřehnutí, odolnosti proti koroznímu porušení. Na ře-
šení těchto úkolů se podílela a podílí vedle odborných pracovišť k.p.
Škoda řada externích spoluřešitelů: ÚJV, Řež, SVÚM, Praha, SVÚSS,
Běchovice, VÚZ, Bratislava a SVÚOM, Praha.

Z dosud dosažených nejvýznamnějších výsledků lze uvést:

- byla zvládnuta a zavedena náročná technologie výroby oceli 15Ch2MFA
včetně výroby všech polotovarů pro RTN VVER-440 s využitím několika
čs. patentů,
- byla zvládnuta technologie výroby rozměrných cel okovaných i svařova-
ných dílů vnitřní vestavy reaktoru VVER-440 z nerezavějící austeni-
tické oceli,

- byla vyřešena technická problematika svařování a navařování základních komponent reaktoru,
- byl realizován doplňkový program zkoušek oceli 15Ch2MFA včetně hodnocení vybraných svarových spojů, který prokázal, že ocel vyráběná v čs. podmínkách splňuje požadavky kladené na bezpečnost a životnost RTN VVER-440 z hlediska odolnosti proti křehkému porušení a radiačnímu zkřehnutí,
- v podmínkách k.p. Škoda byla propracována technologie a ověřena možnost výroby ocelí 15Ch2NMFA a A443 pro RTN VVER-1000 včetně výroby vakuovaných kovářských ingotů I45 a I110,
- bylo zjištěno, že po optimálním tepelném zpracování vykazuje ocel 15Ch2NMFA vysoké mechanickometalurgické charakteristiky, srovnatelné nebo vyšší než porovnávaná ocel ASTM a A543, a to jak v lomové houževnatosti, tak zejména v odolnosti proti zkřehnutí po dlouhodobé expozici za vyšších teplot a v odolnosti radiační.

2.2. Parogenerátor

2.2.1. Materiálová problematika JE VVER-440

Výzkum ocelářenské technologie ve VŽSKG byl zaměřen především na vývoj těžkých ingotů z elektrooceli, a to u oceli 22K do hmotnosti 140 t, u oceli 08Ch18N10T do 50 t a u oceli 08Ch18N12T do hmotnosti 17 t.

V SONP, Kladno byla řešena problematika výroby oceli 08Ch18N10T pro výrobu teplosměnných trub parogenerátorů.

Výzkum tváření byl zaměřen na vývoj technologie tvářených ingotů, zejména z nerez ocelí, přičemž byly vyvinuty řízené podmínky tváření, umožňující dosažení požadovaných vysokých mezí kluzu těžkých výkovků a tlustých plechů. Pro potřeby RTN a parogenerátoru byly vyvinuty speciální technologie výroby hrdlových prstenců a kovaných kruhovek se zaručenou UZ čistotou, určených pro výlisky den těchto nádob.

Výzkum tepelného zpracování a vlastností materiálů byl zaměřen na dosažení vysokých hodnot meze kluzu a plastických vlastností u nerez ocelí, u oceli 22K byl zaměřen na dosažení kritické hodnoty křehkosti a předepsaných hodnot meze kluzu.

2.2.2. Materiálové problematika JE VVER-1000

Výzkum ocelářské technologie byl zaměřen na technologii výroby nového typu oceli 10GN2MFA a zavedení výroby ingotu o hmotnosti 160 t (střední kroužek PG VVER-1000). V rámci tohoto výzkumu byla rovněž provedena atestace oceli 10GN2MFA.

Dále byla vyvinuta ocel Cr 3Ni6Mo na odlitky speciálních armatur.

Výzkum tváření a tepelného zpracování byl zaměřen na vývoj speciálních technologií, zejména výrobu bezešvých kolen pro příčrní potrubí a kuželový kroužek vnitřní vestavby reaktoru z 50 t ingotů z materiálu 08Cr18Ni10T.

2.3. Potrubí a armatury

2.3.1. Potrubí

Vývojové a osvojovací práce na potrubí JS 500 v koncernu SIGMA a spolupracující organizaci VŽSKG zpočátku umožnily získat nezbytné provozní zkušenosti s odléváním, ohýbáním a svařováním trubek z vytypované oceli 0Cr18Ni12T. Postupně byly pak prováděny práce na vývoji trubek hlavního cirkulačního okruhu JS 500 a JS 850 pro VVER-1000 na oceli 10GN2MFA.

Samostatnou etapu tvořil výzkum vlastností materiálu 0Cr18Ni12T, výzkum chování a porušování v oblasti malých plastických deformací; výzkum chování a porušování při vyšších opakovaných zatíženích; výzkum chování a porušování při nízkocyklové únavě.

2.3.2. Armatury

Foužitá čs. materiály pro výrobu speciálních armatur byly atestovány dle závazných pravidel vydaných MHS Interatomenergo "Základní materiály zařízení a potrubí AES; směrnice pro použití a atestaci nových materiálů". Této rozsáhlé práci se zúčastnily vedle VÚ SIGMA též SONP, Kladno, ŠKODA Plzeň a VÚHŽ.

2.3.3. Technologie svařování a navařování

Úkoly svařování ve výrobě, při montáži a navařování řešil výrobní závod SIGMA, Modřany samostatně nebo ve spolupráci s VÚZ, Bratislava, SVÚM, Praha, ŽAZ, Vamberk, aj. Mezi hlavními výsledky lze uvést:

- bylo vyřešeno navařování austenitu na uhlíkové oceli; výsledky byly použity při plátování trub JS 850 ve VŽSKG,
- byl vypracován technologický postup automatického svařování potrubí JS 50 - JS 1000 z uhlíkové, nízkolegované a austenitické oceli,
- byla vypracována technologie navařování sedel a klínů šoupátek elektrodou pod tavidlem včetně vývoje materiálu,
- byl proveden vývoj svařování kolen z plátovaných materiálů - přechod k podélně svařovaným kolenům s austenitickým návarem,
- byl proveden vývoj svařování dvousložkových svarů potrubí JS 850 s materiály československé výroby atd.

3: Perspektivy a úkoly materiálového výzkumu

Nedávná konference o lehkovodních reaktorech VVER-1000 stejně jako dřívější konference potvrdila, že přes značnou kapacitu a úsilí, které je věnováno materiálově-metalurgickému výzkumu lehkovodních reaktorů v ČSSR, zůstávají některé nedořešené problémy a dominující se stávají problémy vyvolávané degradací vlastností materiálů za provozu.

1. V rámci úkolů plánu vědy a techniky se ukazuje nutné vytvořit podmínky pro centralizaci řízení výzkumu spolehlivosti, bezpečnosti a stanovení zbytkové životnosti jaderných zařízení včetně centralizace účelného budování experimentálního zařízení.
2. Vývoj metodik a výstavbu experimentálních zařízení je potřebné soustředit na komplexní charakteristiku vlivu provozních podmínek, zejména na vliv korozního prostředí.
3. Je třeba dále rozvíjet program přípustnosti vad jak v oblasti teorie, tak v oblasti praktických aplikací; vývojové a výzkumné práce k zlepšení a přesnější identifikaci významu čistoty a k zlepšení rovnoměrnosti vlastností velkých výkovek a vývalků z nízkolegovaných i austenitických ocelí.
4. Údaje o radiační stabilitě svarových kovů a jeho odolnosti vůči korozně-mechanickému působení nejsou souměřitelné se základním materiálem, a proto je třeba zintenzivnit výzkumně-vývojové práce v této oblasti.
5. S postupným uváděním jaderných elektráren do provozu stávají se velmi vážným problémem jejich opravy zavařováním. Specifikou tohoto problému je skutečnost, že se ve velké míře bude jednat o opravy vad kontaminovaných dílů jaderných zařízení.
6. Je potřebné věnovat se intenzivně otázkám lomové mechaniky a prohloubovat znalosti o chování trhlin v reaktorovém materiálu v podmínkách provozu.

Zvláštní pozornosti si zasluhuje korozní problematika. Světové zkušenosti s provozem jaderných elektráren s lehkovodními reaktory prokazují, že jedním z rozhodujících parametrů při zajišťování spolehlivosti a životnosti komponent je korozní odolnost konstrukčních materiálů za provozních podmínek. V ČSSR se tato problematika dosud řeší s ohledem na jednotlivé komponenty v dílčích úkolech státního plánu RVT a podle tématického zaměření v SPZV. Není dosud vytvořen samostatný komplexní úkol, který by zahrnoval celou šíři problémů koroze v jaderné energetice.

Z hodnocení předpokládaných požadavků a z rozboru současného stavu vědeckotechnické výzkumné základny na jednotlivých pracovištích v ČSSR se ukazuje potřebné zaměřit řešení koroze konstrukčních materiálů JE typu VVER na tyto problémy:

1. Strukturní koroze, především korozní praskání, bodové koroze a mezikrystalová koroze jak za statických, tak dynamických podmínek ve vodném prostředí.
2. Koroze za cyklického namáhání (korozní únava) je v současné době považována za neobyčejně významný typ korozního poškození, zejména nízkocyklovou únavou. Rozhodující pro korozněmechanické poškozování ocelí je iniciace a růst podkritických trhlin při statickém a cyklickém namáhání za účasti korozního prostředí a v případě reaktorových tlakových nádob za účasti radiace.
3. Výzkum spojených účinků provozního prostředí na konstrukční materiály primárního a sekundárního okruhu. Tato problematika by měla zahrnovat výsledné účinky mechanického, tepelného, event. radiačního namáhání za dynamických podmínek a proměnlivého složení korozního prostředí.

Specifickou otázkou zajištění výzkumu koroze v jaderné energetice je přístrojové vybavení našich pracovišť. Zařízení našich pracovišť umožňuje sice provádět klasické korozní zkoušky, ale je nedostatečné pro výzkum koroze ve vysokotlaké vodě a páře za dynamických podmínek.

JADERNÁ ENERGETIKA A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Z. Dlouhý, Ústav jaderného výzkumu Řež

V souvislosti s dnes již samozřejmou skutečností, že nejen průmyslově vyspělé státy, ale i rozvojové země vidí jedinou perspektivu pro nejbližší období v rozvoji jaderné energetiky, vyvstává nyní v mnoha zemích stále naléhavěji otázka vlivu jaderných zařízení na životní prostředí, zvláště s ohledem na radioaktivní látky, vypouštěné do biosféry člověka.

Problémům účinků jaderných zařízení na životní prostředí byly v poslední době věnována značná pozornost ve světovém měřítku. Výsledky prací celé řady autorů zabývajících se lokálními a regionálními aspekty provozu jaderných zařízení byly publikovány v řadě zpráv, z nichž velká většina byla přednesena na mezinárodních konferencích, pořádaných k této problematice. Tím byl získán dostatečný materiál k tvorbě zevšeobecnujících závěrů, tak tak je zveřejnily ve svých publikacích např. MAAB, UNEP, WHO, UNOCEAR, apod. /1-4/.

Cílem těchto podkladů bylo získat soubor hodnot, který by byl dostatečně reprezentativní a mohl sloužit provozovatelům jaderných zařízení a schvalováním, resp. dozorcím orgánům, popřípadě i laické veřejnosti při posuzování výhledů dalšího rozvoje jaderné energetiky. K snadnější orientaci v uvedené problematice slouží nejlépe normalizovaná data vztažená na jeden určitý typ jaderného zařízení o daném výkonu. Pro palivový cyklus jaderných elektráren s lehkovodními reaktory jsou tato data vztažená na 1000 MW_e/rok znázorněna na obr. 1. a 2. /5, 6/.

Radioaktivní látky, vypouštěné z jaderných zařízení do okolní biosféry, jsou zdrojem expozic obsluhujícího personálu na jedné straně a obyvatelstva na straně druhé. Pokud jde o obyvatelstvo, radionuklidy mohou být příčinou jak vnějšího, tak vnitřního ozáření člověka, přičemž cesty, kterými se tyto látky mohou k člověku dostat, jsou rozmanité a zahrnují prakticky všechny formy

transferu mezi jednotlivými komponentami životního prostředí. Přitom expozice z různých druhů jaderných zařízení se od sebe podstatně liší a také příspěvek různých radionuklidů je rozdílný. Zatímco většina radioaktivních látek vypouštěných do životního prostředí ovlivňuje biosféru pouze v lokálním nebo regionálním měřítku, existuje skupina dlouhodobých radionuklidů, které mají globální účinek na světovou populaci a jejichž význam při plánování dalšího rozvoje jaderné energetiky rozhodně nelze zanedbávat.

Výsledné expozice z různých fází palivového cyklu a podíl jednotlivých radionuklidů na lokálních a regionálních, resp. globálních kolektivních dávkových ekvivalentech jsou shrnuty v tabulkách 1 a 2.

Z uvedených přehledů vyplývá, že po dobu životnosti jaderných zařízení, která se většinou provozují po dobu 30 - 40 let, dochází sice k vypouštění radioaktivních látek do životního prostředí, ale pouze v omezené míře, přičemž příspěvky k radiační zátěži obyvatelstva připadající na vrub těchto zařízení nepřevyšují obvykle 1 % expozic z přirozeného pozadí. Přitom je třeba mít na zřeteli, že se skončením provozu tato praxe dále nepokračuje. Na druhé straně dlouhodobé skladování radioaktivních odpadů představuje opačný případ: uložené odpady během provozního stádia úložiště 30 - 40 let prakticky nikoho neohrožují, neboť to nedovoluje provedení úložného systému a vysoká integrita ochranných bariér.

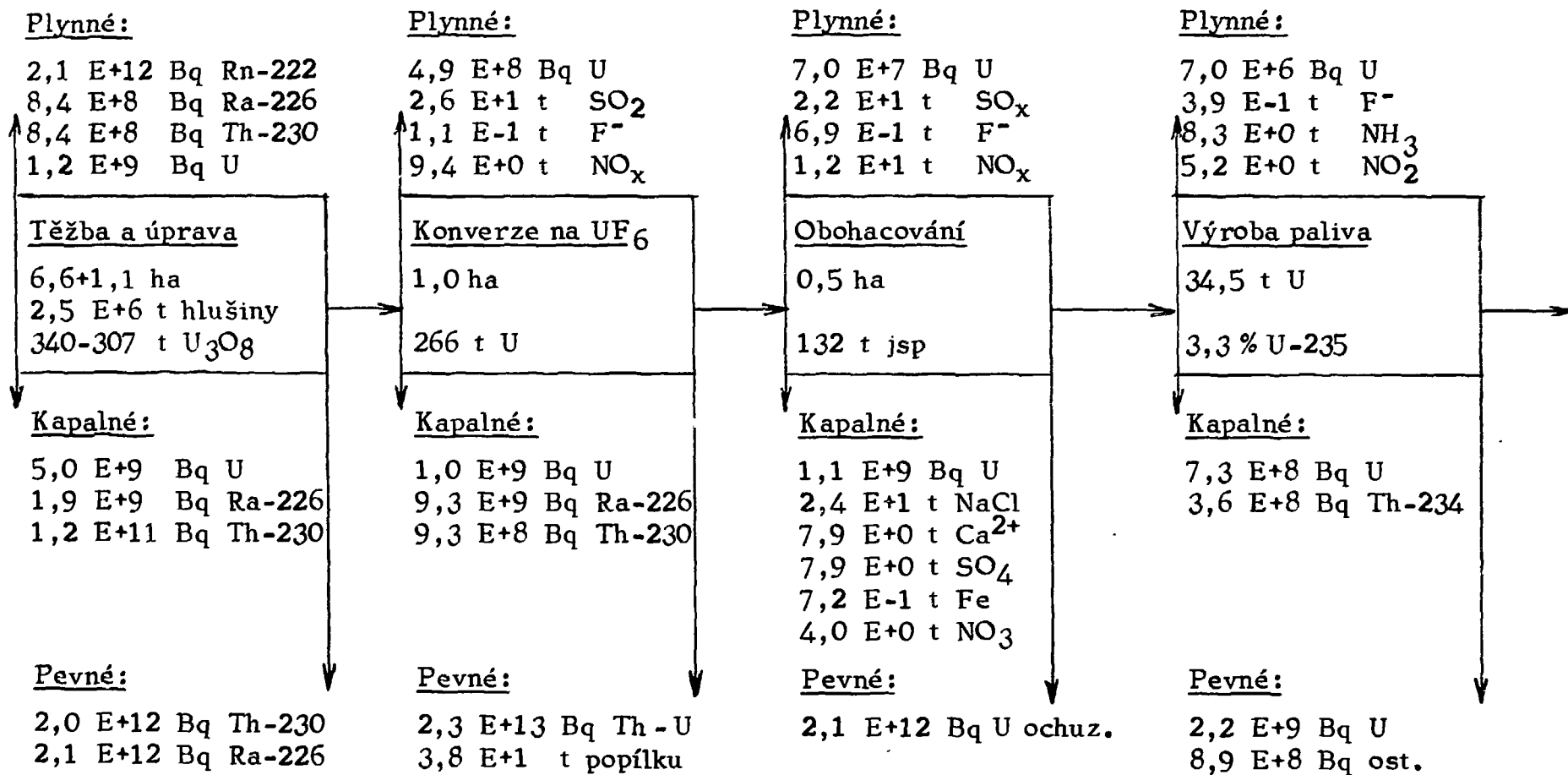
S postupem času však dochází obvykle ke ztrátě celistvosti ochranného systému a po uplynutí určitého období (100 - 300 let) je nutno počítat s tím, že většina radioaktivních látek uložených na povrchových úložištích se dostane do okolní biosféry a může tak přispívat ke zvýšení expozic obyvatelstva v inkriminované oblasti. Průběh celého procesu desintegrace ochranného systému úložišť závisí na celé řadě faktorů, z nichž provedení úložných prostor, vlastnosti lokality a charakter uložených odpadů hrají nejdůležitější roli. Důležité je mít přitom na zřeteli, že celý úložný systém je nutno posuzovat vždy jako celek, v němž případné nedostatky v jednom ohledu musí být vyváženy přísnějšími požadavky ve směru druhém. Například méně vhodné geologické

a hydrogeologické podmínky na lokalitě musí být kompenzovány dokonalejší izolací úložných prostor, anebo omezením množství, resp. měrných aktivit radionuklidů v ukládaných odpadech. Podobně jednodušší provedení úložiště musí být vyváženo požadavky na vysokou kvalitu ukládaných odpadů, a naopak.

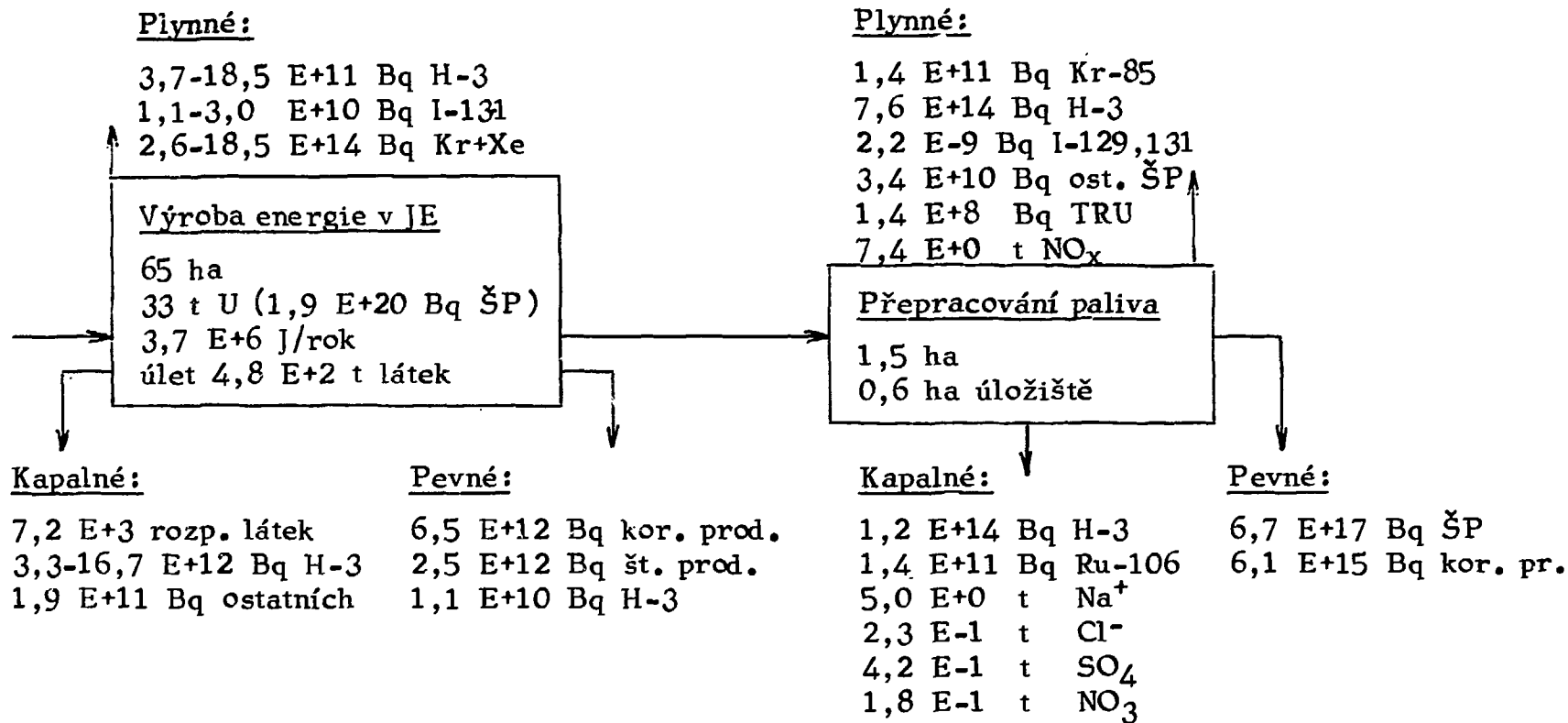
S cílem odhadnout, zdali po uplynutí institucionální kontroly úložiště nebude docházet k takovému zvyšování expozic obyvatelstva v nejbližším okolí, které by bylo z hlediska radiační bezpečnosti nepřijatelné, zaměřili jsme se na provedení série bezpečnostních rozborů povrchových úložišť, které by daly realistickou odpověď na kladenou otázku. Scénáře, jejichž přehled je uveden v tabulce 3, jsme analyzovali s ohledem na pravděpodobnost jejich výskytu a na inventář radioaktivních látek, nalézajících se v době výskytu situace na úložišti /viz tabulka 4/. /7/.

Z výsledků, které jsou shrnuty v tabulce 5, bylo možno učinit závěr, že jak v případě běžných poruch, jako je pád a rozbití kontejneru s odpady, tak i při méně běžných situacích nedochází k radiačním zátěžím, které by byly vyšší než je tomu u ostatních jaderných zařízení a které by převyšovaly již zmíněné 1 % z expozic, připadajících na vrub přirozeného pozadí.

1. IAEA /WHO: Nuclear Power, the Environment and Man; IAEA Vienna 1982
2. UNEP: The environmental Impacts of Nuclear Energy; Nairobi, February 1982
3. UNSCEAR: Ionizing Radiation - Sources and Biological Effects, UN 1982
4. IAEA: Application of Environmental Impact Analysis to the Nuclear Power Industry, Vienna 1978
5. Z. Dlouhý, S.D. Coman: Methodology for Environmental Impact Assessment of Nuclear Fuel Cycle Facilities; IAEA Vienna, April 1983
6. IAEA: Safety Analysis Methodologies for Radioactive Waste Repositories in Shallow Ground, IAEA Saf. Ser. No. 64, 1984
7. Z. Dlouhý: Bezpečnostní aspekty ukládání radioaktivních odpadů, ref. na konf. VTS o rad. odpadech, Podbánské, duben 1984



Obr. 1 Množství odpadů vypouštěných do životního prostředí z prvních fází palivového cyklu (vztaženo na 1000 MWe LVR)



Obr. 2 Množství odpadů vypouštěných do životního prostředí z jaderných elektráren a přepracovacích závodů (vztaženo na 1000 MWe LVR)

Tabulka 1.

Normalizované kolektivní dávkové ekvivalenty z jednotlivých fází palivového cyklu (KDE v manSv/1000 MW.rok)

Operace	Výpustě	Nuklid	KDE	KDE
těžba U rudy	plynné	Rn	0,5	0,5
úprava rudy	pevné, kap.	U, Th, Ra	0,015	
	plynné	Rn	0,02	0,035
výroba paliva		U	0,002	0,002
výroba energie v JE	plynné	Kr+Xe	0,6	
		H-3	0,5	
		C-14	2,8	
		I	0,06	
		Cs, Ru, Co	0,1	4,1
	kapalně	H-3	0,04	
		ostatní	0,02	0,06
přepřacování paliva	plynné	H-3	0,1	
		Kr-85	0,03	
		C-14	0,2	
		TRU	0,002	0,3
	kapalně	Cs-134, 137	0,4	
		Ru-106	0,3	
		Sr-90	0,02	
		TRU	0,0006	
		I-129	0,008	0,7
přeprava			0,003	0,003
ukládání odpadů	pevné	ŠP	0,0001	
		kor.prol.	0,00014	0,0002
likvidace JZ				
- okamžitá			0,1	0,1
- po 10 letech			0,08	
- po 30 letech			0,05	

Tabulka 2.

Vliv některých radionuklidů na kolektivní dávkové ekvivalenty z palivového cyklu v globálním měřítku (manSv/1000 MWe.rok)

nuklid	integrální dávka za období			
	3 let	10 let	30 let	100 let
H-3	0,011	0,015	0,017	0,02
Kr-85	0,5	0,9	1,3	1,9
C-14	1,2	3	5,6	10
I-129	-	-	0,005	0,02

Tabulka 3.

Přehled scénářů uvažovaných při bezpečnostních rozborech povrchových úložišť radioaktivních odpadů

- 1A Postupná ztráta integrity všech umělých bariér, rozpad produktu, vnikání podzemní nebo dešťové vody do úložiště, únik radionuklidů a kontaminace podzemních vod, migrace vodonosnými formacemi, ingesce kontaminantu obyvatelstvem
- 1B Rozrušení bariér v důsledku činnosti živočichů anebo vegetace, kontaminace půdy a transfer radionuklidů potravinovými řetězci, konzumace produktů obyvatelstvem
- 1C Poškození svrchní části úložiště povrchovou erozí vodou nebo větrem, rozptýlení radionuklidů do okolního prostředí, kontaminace půdy, rostlin a konzumace těchto rostlin obyvatelstvem
- 2A Požár v jedné ze skladovacích jímek iniciovaný pádem letadla, s následným rozptylem radioaktivních látek do ovzduší, inhalace kontaminovaného vzduchu pracovníky
- 2B Pád sudu s odpady z jeřábu, rozbití obalu, mechanické poškození produktu, expozice a inhalace radioaktivního prachu pracovníky
- 2C Hloubení studny na lokalitě po ukončení institucionální kontroly na úložišti, a konzumace kontaminované pitné vody
- 2D Výstavba obytné budovy na úložišti, expozice radionuklidy při hloubení základů, stavbě a obývání objektu
- 2E Pěstování zemědělských plodin na úložišti a konzumace kontaminovaných produktů obyvatelstvem.

Tabulka 4.

Normalizovaná množství radionuklidů vztažená k nejvyšším kumulovaným radioaktivitám na úložišti v roce 2020

Rok	H-3	C-14	Fe-55	Ni-59	Co-60	Ni-63	Sr-90
1990	6,76-3	2,90-4	2,66-2	6,96-5	6,77-2	1,77-2	5,42-4
2000	2,12-2	1,04-3	5,8-2	2,40-4	1,76-1	6,18-2	1,79-3
2010	3,63-2	2,15-3	7,81,2	4,93-4	2,64-1	1,24-1	3,39-3
2020	3,86-2	3,03-3	5,79-2	6,88-4	2,31-1	1,68-1	4,20-3
2030	2,93-2	3,45-3	3,08-2	7,83-4	1,34-1	1,80-1	4,01-3
2050	9,49-3	3,43-3	1,49-4	7,83-4	9,61-3	1,55-1	2,45-3
2100	5,62-4	3,41-3	-	7,83-4	1,33-5	1,06-1	7,14-4
2200	2,02-6	3,37-3	-	7,83-4	-	5,01-2	6,06-5
2300	-	3,34-3	-	7,83-4	-	2,36-2	5,05-6
2400	-	3,30-3	-	7,83,4	-	1,11-2	-
2600	-	3,22-3	-	7,83-4	-	2,46-3	-

Rok	Cs-137	P-238	Pu-239	Pu-241	Am-241	Cm-244	celkem
1990	6,17-2	1,07-4	6,95-5	2,83-3	6,63-5	3,92-5	1,84-1
2000	2,03-1	3,85-4	2,40-4	8,55-3	2,34-4	1,23-4	5,31-1
2010	3,85-1	7,77-4	4,93-4	1,52-2	1,52-2	4,82-4	9,11-1
2020	4,77-1	1,04-3	6,88-4	1,67-2	6,72-4	2,59-4	1,00-0
2030	4,56-1	1,12-3	7,83-4	1,35-2	7,56-4	2,26-4	8,56-1
2050	2,79-1	9,48-4	7,83-4	4,71-3	7,34-4	1,03-4	4,67-1
2100	8,12-2	6,38-4	7,83-4	3,41,4	6,80-4	1,45-5	1,95,1
2200	6,88-3	2,84-4	7,77-4	1,77-6	5,84-4	-	6,29-2
2300	5,81-4	1,26-4	7,7-4	-	5,03-4	-	2,97-2
2400	4,92-5	5,68-5	7,77-4	-	4,32-4	-	1,65-2
2600	-	1,14-5	7,70-4	-	3,19-4	-	7,56-3

Tabulka 5.

Přehled expozic vyplývajících z možných poruch na úložišti

Scénář	Období výskytu x/	Exponované osoby	Maximální expozice	
			IDE μSv/rok	KDE mSv/rok
1A	II, III	kritická skupina	3000	-
1B	II, III	obyvatelstvo	10-15	60
1C	II, III	obyvatelstvo	1-2	0,1
2A	I	obsluha	10 000 ^{xx/}	
2B	I	obsluha	2 000 ^{xx/}	
2C	III	jednotlivec	6 800	
2B	III	jednotlivec	900	
2E	III	obyvatelstvo	40	240

x/ Období výskytu je rozčleněno na 3 etapy: I - během provozu úložiště (30-50 let), II - po ukončení provozu úložiště po dobu trvání institucionální kontroly (50-300 let), III - po zrušení úložiště a předání lokality k veřejnému užívání

xx/ Jednorázové expozice

RADIOAKTIVNÍ ODPADY A JEJICH ZNEŠKODŇOVÁNÍ

Leo Neumann, Ústav jaderného výzkumu, Řež

Přestože nástup jaderné energetiky přináší proti éře, založené na spalování fosilních paliv, výrazné celkové snížení negativních vlivů na životní prostředí, je doprovázen také vznikem nových rizik. Jedno z nich vyplývá z toho, že štěpný proces, který je základem jaderné energetiky, produkuje značné množství radioaktivních látek; ty by se mohly při nedokonalých technických řešeních dostávat do životního prostředí.

Během provozu jaderných elektráren nelze zabránit úniku zlomku procenta vzniklých radionuklidů mimo aktivní zónu reaktoru. Tento pohyb radioaktivních látek však není ani při případných haváriích bez kontroly a bez dokonalého omezení. Prakticky beze zbytku se nakonec dostanou do různých nosných médií, která je pak nutno zpracovat jako tzv. radioaktivní odpad. V daném případě toto označení vlastně není zcela přesné, správnější by bylo hovořit o odpadech, kontaminovaných radioaktivními látkami. Jde totiž o relativně velké kvanta neaktivních látek (vodných roztoků solí, běžných pevných odpadů, vzduchu), obsahujících v uvažovaném případě řádově miliontiny až miliardtiny procenta látek radioaktivních.

Uvedený typ radioaktivních odpadů (RAO), pocházející z provozu jaderných elektráren, není typem jediným. V ČSSR je však v současné době typem nejaktuálnějším.

Pro případ málo pravděpodobné havárie je v jaderných elektrárnách systémem několikanásobného jištění prakticky vyloučena možnost úniku významnějšího množství radioaktivních látek do životního prostředí. Bylo by však nutné počítat s jednorázovou produkcí RAO s úrovní aktivity případně o několik řádů vyšší, než při běžném provozu jaderné elektrárny, a samozřejmě s nutností tyto odpady bezpečně zneškodnit.

Z hlediska úrovně aktivity leží zhruba mezi uvedenými typy RAO odpady, vznikající při uvádění jaderných elektráren do klidu. Tento typ RAO je v ČSSR rovněž aktuální.

Převážná část radioaktivních produktů štěpení zůstává během provozu jaderného reaktoru v jaderném palivu. Od nevyužitého štěpného materiálu jsou pak oddělovány v regeneračním procesu. Ten je proto zdrojem vysoce radioaktivních odpadů (VAO), obsahujících již řádově procenta radioaktivních látek. Zneškodňování VAO je proto technicky nejobtížnější, pro ČSSR však prozatím aktuální není. Vyhořelé palivové články z našich jaderných elektráren budou zřejmě ještě mnoho let převáženy ke zpracování do SSSR. Přesto má výzkum procesů zneškodňování VAO v ČSSR dlouholetou tradici a úroveň dosažených výsledků je uznávána v mezinárodním měřítku.

Kromě uvedených typů RAO existují ještě typy další. Z nich je třeba uvést především radioaktivní odpady z těžby a zpracování uranových rud a odpady z nejrůznějších aplikací radionuklidů. Se zneškodňováním radioaktivních odpadů z těžby a zpracování radioaktivních surovin jsou v ČSSR mnohaleté zkušenosti. Ačkoliv je bezpečně vyřešeno, hledá čs. uranový průmysl stále další možnosti zdokonalení. Také se zneškodňováním odpadů z aplikací radioizotopů nejsou vážnější problémy. Buď se jedná o zanedbatelná množství, která lze po zředění bez obav vypouštět s ostatními odpadními vodami, nebo jsou tyto odpady Ústavem pro výzkum, výrobu a využití radioizotopů shromažďovány a po případném zpracování (u kapalných odpadů v ÚJV, Řež procesem, o kterém bude ještě zmínka) ukládány v centrálním úložišti.

Jak, již bylo řečeno, jsou tedy v ČSSR nejaktuálnější RAO z provozu jaderných elektráren. Jejich bezpečnému zneškodňování je věnována velká pozornost na všech úrovních. Několikrát se touto otázkou zabývala vláda ČSSR, která k ní vydala řadu usnesení s příslušnými soubory opatření. Mimo jiné byl (na základě 1. bodu Souboru opatření Usnesení vlády ČSSR č. 22/81 z ledna 1981) zřízen výzkumný úkol A. 01-159-i04 "Zneškodňování radioaktivních odpadů z provozu jaderněenergetických zařízení s lehkovodními reaktory", jehož koordinací byl pověřen ÚJV, Řež.

Ve výzkumu se jedná už o tradiční problematiku, kde je úroveň československých prací v mezinárodním měřítku vysoce hodnocena. Také v realizaci systému zneškodňování RAO z provozu jaderných elektráren se ČSSR propracovává na světovou úroveň.

RAO z provozu jaderných elektráren lze rozdělit podle skupenství na plynné, kapalné a pevné.

Ač to může připadat, zejména neoborníkovi, zvyklému na drastický vliv exhalací z uhelných elektráren na životní prostředí, nelogické, jsou ze současného pohledu nejmenším zdrojem problémů právě plynné RAO. Je to dáno jak jejich složením, tak i systémem jejich zneškodňování. Nebezpečnost radioaktivních odpadů je totiž závislá na řadě jejich vlastností, a lze říci, že právě z tohoto hlediska je složení plyných odpadů příznivé. Zavedené a spolehlivě fungující systémy zachytu radionuklidů z plyných odpadů dovolují udržovat koncentrace i celková množství radionuklidů v plyných výpustech hluboko pod hranicí, povolenou normou. Často se uvádí, že radioaktivní látky, obsažené v exhalacích z uhelných elektráren (jen ony samotné), jsou zdrojem většího rizika, než plynné výpustě z jaderných elektráren.

Relativně největším potenciálním zdrojem ohrožení životního prostředí jsou kapalné RAO. I ve světě častá a v ČSSR dosud používaná praxe jejich dlouhodobého skladování v nádržích z nerezavějící oceli přímo na jaderných elektrárnách není z dlouhodobého hlediska ani dostatečně bezpečná, ani ekonomická. Proto bylo již v roce 1979 stanoveno usnesením vlády ČSSR, že bezpečné zneškodňování kapalných odpadů z provozu jaderných elektráren má být založeno na jejich převedení do pevné formy. Tím se podstatně sníží riziko možnosti průniku radionuklidů do životního prostředí. Zpevněné RAO pak mají být uloženy ve speciálně vybavených regionálních úložištích. Způsob realizace tohoto vládního usnesení a také její časový postup byl pak stanoven již zmíněným vládním usnesením z ledna 1981.

Ukázalo se, že některé představy navrhovatelů znění tohoto vládního usnesení nebyly zcela přesné; šlo především o představy o možnosti využití standardně vyráběných zařízení a o možnosti zavedení výroby zařízení speciálních. Proto dojde k posunu některých termínů a v tomto smyslu je již připraven návrh nového usnesení vlády, tentokrát již podložený detailními meziresortními jednáními.

Přes řadu potíží však již bylo dosaženo významných úspěchů jak v potřebném aplikovaném výzkumu a vývoji, tak i v přípravě výroby potřebných zařízení. Místo experimentální průmyslově vyrobené provozní jednotky pro zpevňování RAO (PS 44 JE V-2), která sice měla již sloužit provozním účelům, ale především měla již od roku 1984 shromažďovat provozní zkušenosti pro výrobu dalších provozních linek, a jejíž výroba je zpožděna, byla z iniciativy pracovníků výzkumu instalována v EEO experimentální poloprovodní linka, kterou pracovníci VÚCHZ, Erno a VÚJE, Jaslovské Bohunice uvedou ještě letos do aktivního provozu. Tato linka má prakticky stejný výkon, jako zpožděná jednotka v PS 44 JE V-2. I když na ní nebude možné ověřit všechna zařízení budoucích provozních jednotek, poslouží v postačujícím rozsahu k ověření základních uzlů aparátů a technologie. Jde o původní československou technologii (v poněkud jiném uspořádání již po léta provozovanou v ÚJV, Řež pro zpevňování vlastních RAO a také kapalných RAO, dovážených do ústavu Ústavem pro výzkum, výrobu a využití radioizotopů) s původním aparátovým osazením.

Technologie je variantou tzv. bitumenačního procesu, jehož podstatou je - stručně řečeno - náhrada vody v kapalných koncentrátech RAO bitumenem. Získaný produkt, navíc ještě chráněný kovovými sudy, velmi pevně váže radionuklidy. Tento způsob tzv. fixace radionuklidů spolu s dalšími bariérami, danými konstrukcí a umístěním úložiště, představuje tak dokonalý systém, že ani při maximální projektové havárii úložiště nemůže dojít k významnějšímu průniku radioaktivity mimo areál úložiště.

Příprava výroby provozních zařízení dospěla již tak daleko, že ČSSR mohla nabídnout dodávky těchto zařízení i ostatním státům RVNP.

Na jiném principu je založena tzv. cementační metoda. Rovněž z iniciativy pracovníků výzkumu byl urychlen její vývoj natolik, že v ÚJV, Řež již byl vyroben prototyp mobilní automatizované cementační jednotky s vysokým výkonem, schopné pohotového nasazení v kterékoliv lokalitě. Jednotka již byla ověřena s roztoky, modelujícími složení koncentrátů RAO z EBO a také s reálnými RAO z ÚJV, Řež. Po doplnění tzv. kalcinačním modulem koncepfoku 1984 bude toto zařízení a příslušná technologie na úrovni světové špičky. V roce 1985 bude jednotka ověřena v EBO i v JE Dukovany.

Podrobněji pojednává o tomto významném úspěchu samostatný referát.

U pevných odpadů je cílem jejich zpracování především zmenšení jejich objemu. Pracovníky VÚJE, Jaslovské Bohunice byl vyvinut a vyroben prototyp lihu, který již dobře slouží v EBO. V příštím roce dokončí VÚJE ve spolupráci s EBO i původně neplánovanou a z vlastní iniciativy do plánu dodatečně zařazenou výstavbu experimentální spalovny, jejíž kapacita odpovídá produkci spalitelných RAO na JE V-2.

Je tedy zřejmé, že bezpečné zneškodňování RAO z provozu jaderných elektráren je již dnes dobře zajištěno; jsou vytvořeny všechny předpoklady pro to, aby se během několika málo let dostala v tomto směru i praxe na čs. jaderných elektrárnách na úroveň světové špičky.

Podobná péče je věnována zneškodňování RAO z uvádění jaderných elektráren do klidu. V této oblasti bylo možno např. využít dlouholeté tradice a zkušeností ve vývoji procesů zpevnění vysoce radioaktivních odpadů; takto se pracovníkům ÚJV podařilo v mimořádně krátké době vypracovat postup zpevnění zcela atypických odpadů z dlouhodobého skladu vyhořelých palivových článků. Produktem zpevnění bude v tomto případě speciální sklo.

Podrobnější charakteristika současného stavu by si však vyžádala samostatný referát. Lze proto jen konstatovat, že i když jsou technické problémy složitější, než u odpadů z provozu jaderných elektráren, jsou veškeré potřebné práce tak daleko, že umožňují seriózně předpokládat možnost bezpečného zneškodnění RAO z uvádění JE A-1 do klidu v potřebné době, tj. zhruba do pěti let.

V relativně krátkém referátě nelze problematiku RAO ani zdaleka vyčerpat. Je tedy namístě zmínit se alespoň v závěru o tom, že v ČSSR byla a je věnována značná pozornost i dalším otázkám. Je to např. volba podmínek, vedoucích k omezení objemu vznikajících RAO nebo alespoň k omezení obsahu některých jejich nepříjemných složek (dekontaminační postupy a zařízení, zdokonalení postupů zamořených oděvů atd.), otázky selektivního zpracování některých odpadů (např. prádelenských vod), technicko-ekonomické a systémové rozbory, výhledávací výzkum v různých oblastech problematiky RAO atd.

S potěšením lze také konstatovat, že "rodina odpadářů", ještě před několika málo lety sestávající prakticky jen z pracovníků výzkumu (a o málo dříve výhradně z ÚJV, Řež), se již účelně rozrostla a zahrnuje široké spektrum profesí, dobře navzájem spolupracujících.

MOBILNÍ JEDNOTKA NA ZPEVŇOVÁNÍ KAPALNÝCH RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ

Václav Škába, Ústav jaderného výzkumu, Řež

Když byl v roce 1983 zadán Ústavu jaderného výzkumu úkol navrhnout a vyrobit mobilní kalcinační a cementační jednotku pro zpracování kapalných nízkoaktivních odpadů z jaderných elektráren typu VVER, bylo zřejmé, že toto rozhodnutí je na jedné straně motivováno naléhavou potřebou jaderné energetiky, na druhé straně však také podloženo až dosud dobrými výsledky, dosahovanými zde v tomto oboru v laboratorních a poloprovozních podmínkách. Až do té doby se uvažovalo o fixování kapalných odpadů z provozu budovaných elektráren do bitumenu, což je způsob s dosavadními zkušenostmi dobře zvládnutelný, avšak spojený s problémy při dlouhodobém skladování velkých objemů výsledného produktu, který i při normálních teplotách vlastně pomalu teče a je hořlavý. Stále důrazněji také vystupuje do popředí okolnost, že bitumen je cenou surovinou pro chemický průmysl. Proto se děje v poslední době přednost fixaci do cementové hmoty. Řada zahraničních firem nabízí za monopolní ceny technologicky jednoduchá zařízení na tomto principu. Výsledný produkt je svého druhu beton s vysokou mechanickou pevností a nízkou hodnotou loužitelnosti. Ve srovnání s bitumenací obsahuje ovšem méně RA odpadu na jednotku objemu, testliže, tak se dosud převážně děje, se mísí RA koncentrát přímo s cementem a voda v něm obsažená se využije k hydrataci. Existují, zatím převážně ve stadiu návrhů a experimentů, i postupy využívající vysušení odpadu před vpravením do cementové záměsi. To by mělo umožnit dosáhnout při zpracování až 10násobnou objemovou redukcí RA odpadů.

V ÚJV je již od roku 1975 v provozu cementační jednotka československé výroby, která zpracovává ústavem produkované, předtím

v odparce zahuštěné kapalné RA odpady. Jsou k dispozici výsledky výzkumu úpravy chemického složení koncentrátu k omezení retardačního vlivu kyseliny borité v něm obsažené na tuhnutí cementové hmoty. V ústavu se vždy sledovala filosofie dvoustupňového procesu, tj. spojení kalcinace s dalším typem zpracování, ať už bitumenací nebo cementací. Proto jsou též k dispozici konstrukční a provozní zkušenosti s vodorovným rotačním kalcinátorem poloprovozního charakteru. Tento přístroj obsahuje nerezový trubkový, zvenci vytápěný plášť, v němž se otáčí rotor, opatřený řadou šikmých lopatek. Koncentrát vstupuje dovnitř na jednom konci, přichází do styku s vytápěnou stěnou, přičemž se z něj odpařuje voda, lopatkami je rozestírán na další úseky vytápěné stěny k pokračujícímu sušení a je tímto dopravován i ve směru osovém do oblasti, kde již vysušený je vystaven dalšímu ohřevu na teplotu například 300°C , za níž probíhá jeho kalcinace nebo jiná chemická reakce, například rozklad tepelně méně stabilních látek nebo konverze. Bylo by proto asi výstižnější používat pro přístroj název míchaný reaktor. Vystupující produkt má podle volby podmínek charakter prášku nebo drobných až hrubých granulí. Díky chemickému zpracování za odpovídajících teplot lze dosáhnout nízkých hodnot loužitelnosti granulátu z reálných odpadních vod JĚ. Poloprovozní kalcinátor má prosazení $10\text{ dm}^3/\text{hod}$ zpracovávaného koncentrátu. V době zadání úkolu byla v rámci dalšího vývoje již rozpracována konstrukce kalcinátoru s 10krát větším prosazením a probíhalo jednání o jeho výrobě v Královopolské strojírně, n.p., Brno.

Požadované zařízení má zahrnovat kalcinaci i cementaci. Má mít experimentální charakter, ale parametry zařízení provozního s možností práce v podmínkách JĚ. Požaduje se, aby bylo pokud možno mobilní, a proto schopné v případě potřeby likvidovat nahromaděné zásoby odpadu na různých místech, uskutečňovat tedy ve svém oboru jakýsi servis. K takovému víceméně havarijnímu využití má být schopno zpracovávat

směrně $0,5 \text{ m}^3/\text{hod}$ oápađu v režimu přímé cementace. V kompletním vybavení, v režimu s kalcinací i cementací, má v provozním měřítku prověřit nový technologický postup, který se jeví perspektivní pro stabilní zařízení v JE a posloužit tedy jako prototyp dalších, průmyslově vyráběných zařízení. Aby vynaložená práce přinesla potřebný efekt, musí být vykonána v relativně neobvykle krátké době. Termín realizace byl stanoven ve 2 etapách: 1. etapa - cementační část od započetí konstrukčních prací do skončení funkčních zkoušek do 14 měsíců, 2. etapa - doplnění zařízení kalcinační částí během dalších 9 měsíců. U druhého termínu je limitujícím faktorem dlouhá, v našem průmyslu však bohužel běžná, dodací lhůta subdávky.

Celkové uspořádání jednotky zachycuje technologické schéma na obrázku v příloze. Zpracovávaný koncentrát se plní do nerezové nádrže na koncentrát obsahu 2 m^3 s míchadlem. K úpravě chemického složení koncentrátu se přidávají aditiva, která se připravují ve 4 rozpouštěcích nádržích po $0,2 \text{ m}^3$ obsahu, opatřených míchadly. Každá rozpouštěcí nádrž je vybavena vlastním dávkovacím čerpadlem k dopravě aditiv do nádrže na koncentrát. Upravený koncentrát se dopravuje čerpadlem přes příslušný elektromagnetický ventil buď do váhy na kapalinu nebo do kalcinátoru. Váha na kapalinu byla upravena z původní sériově vyráběné automatické váhy na cement s váživostí 200 kg náhradou původního odvažovacího zásobníku nerezovým zásobníkem s kulovým, pneumaticky otvíraným kohoutem na výstupu. Odvážená dávka koncentrátu se vypouští do homogenizátoru. Váhou na kapalinu je možno přes příslušný elektromagnetický ventil dávkovat do homogenizátoru i vodu.

Kalcinátor se svým uspořádáním a funkcí příliš neliší od dříve popsaného poloprovozního přístroje. Jeho trubka má světlost 350 mm, délka vytápěného úseku je 1700 mm. Topení zajišťuje řada elektrických odporových topných přetenců, z nichž každý je složen ze 2 k sobě

přitažených segmentů. Prstence jsou rozděleny do 3 topných sekcí, z nichž každá je samostatně napojena a regulována na předvolenou teplotu. Topení je dimenzováno na maximální výkon 80 kW. Měření teploty je uskutečněno pomocí 7 termočlánků Fe-Ko, z toho 3 slouží jak zmíněno pro regulaci, 3 k hlídání povrchové teploty prstenců a jeden ke kontrole průběhu kalcinace. Do trubky ústí radiálně na jednom konci vstup koncentrátu a výstup brýdových par, na druhém konci výstup kalcinátu. Na přírubách trubky jsou namontována ucpávková a ložisková tělesa, v nichž je uložen rotor. Ucpávky jsou chlazeny tlakovým vzduchem, ložiska vodou. Rotor tvaru trubky opatřené šikmými lopatkami je na jednom konci spojen s pohonnou jednotkou, sestávající z asynchronního elektromotoru a variátoru. Otáčky rotoru jsou nestabilní v rozmezí 150 až 450 ot/min. Vytápěná trubka je obklopena tepelnou izolací z minerálních vláken Cibral. Celková délka kalcinátoru je 4,6 m, hmotnost 1700 kg. Konstrukce podle podkladů ÚJV a výroba probíhá v n.p. Přelovopolské strojírna, Brno.

Kalcinát, vystupující z kalcinátoru přes malý mezizásobník, plní vodorovný šnekový dopravník a ten vyústí nad automatickou váhou sypkých hmot, jejíž funkci zastává komerční jednotka stejná jako v případě váhy na kapalinu, ale neupravená. Její odvažovací zásobník je opatřen 2 vstupy, z nichž druhý slouží pro plnění cementem. Dále je opatřen odvzdušněním, pneumaticky otvíranou klapkou na výstupu a pneumatickým vibrátorem, usnadňujícím vyprazdňování. Výstup brýdových par z kalcinátoru je spojen potrubím se 2 filtry aerosolů zapojenými za sebou a dále s nerezovým kondenzátorem chlazeným vodou. Kondenzát stéká do nádrže na koncentrát o obsahu 1 m^3 . K výstupu kondenzátoru a nádrže na kondenzát je připojena vodokružní vývěva s uzavřeným vodním oběhem, která zajišťuje tlakový spád na filtrech a usměrňuje tok brýdových par.

Nádrž na kondenzát je vybavena na výstupu čerpadlem, kterým je možno kondenzát dopravovat buď do kanalizace nebo zpět do procesu, například do rozpouštěcích nádrží. K výstupu nádrže na koncentrát je připojena nádrž na oplachové vody o obsahu $0,2 \text{ m}^3$, která je rovněž opatřena čerpadlem.

Součástí zařízení je komerční zásobník na cement, určený pro maximální náplň 16 tun. Plní se z automobilní cisterny pomocí stlačeného vzduchu. Zásobník se montuje na nízký stojan, který je možno naplnit ke zlepšení stability stěrskem. Na výstupní hrdlo zásobníku na cement, opatřené ručním kulovým uzávěrem, je napojen vstup komerčního šikmého šnekového dopravníku, který dodává cement přes pneumaticky otvíranou klapku do druhého vstupu váhy na sypké materiály.

Zvláštní pozornost byla věnována návrhu homogenizátoru. Je tvořen nerezovou nádobou tvaru obráceného komolého kužele se svislou osou a mírně šikným dnem, v horní části přecházejícího do válce, s oddělitelným víkem, o obsahu $0,1 \text{ m}^3$. V nejnižším místě dna je výstupní hrdlo s navařeným kulovým kohoutem, pneumaticky otvíraným. Ve víku jsou zabudovány vstupy sypkých hmot a kapaliny a 2 oplachové trysky, připojené na rozvod vody. Dále je ve víku zastavěno míchadlo s pohonem. Jeho rotor má tvar, který se osvědčil v podobných podmínkách. Je umístěn těsně nade dnem a proti němu je v ose přivařen ke dnu malý kužel k usměrnění proudění. Dále jsou uvnitř nádoby přivařeny 4 pevné radiální lopatky. Optimální otáčky míchadla byly stanoveny pokusně, přičemž jako pohonná jednotka s proměnnými otáčkami posloužila velká radiální vrtačka. Pohon s asynchronním motorem a převodem s klínovými řemeny byl navržen pro takto stanovených 250 ot/min. I když tato konstrukce homogenizátoru dává záruku minimální tvorby usazenin a ztvrdlých hrud cementové hmoty, je přesto nutné obsluze maximálně usnadnit práci při čištění vnitřku nádoby homogenizátoru. K tomu bylo použito nového uspořádání charakterizovaného

tím, že při rozebírání homogenizátoru zůstává víko na místě, zatímco nádoba se spouští dolů na dvou ramenech proti odporu vyvíjenému hydraulickým válcem se škrcceným výtokem. Při opětné montáži slouží tentýž hydraulický válec, jímž není nic jiného než upravený hydraulický autozvedák, ke zvedání nádoby. Při přístění možno nádobu naklopit kolem vodorovné osy.

Cementová hmota se vypouští z homogenizátoru do běžných plechových sudů o obsahu $0,2 \text{ m}^3$. K usnadnění manipulace slouží točna sudů se 2 místy pro sud. Zatímco se jeden sud plní, na druhém místě, které je též lépe přístupné, se může zavíčkovat předtím naplněný sud, odebrat vysoko zdvižným vozíkem, odvézt a na jeho místo usadit další, prázdný sud.

Požadavku na mobilnost bylo vyhověno rozdělením zařízení na řadu samostatně transportovatelných celků - modulů. Základ tvoří 3 moduly umístěné nad sebou. Nejnižší je modul homogenizátoru, nad ním modul vah a nejvyš modul kalcinátoru. Celková výška 3 sestavených modulů je 5,5 m. Mimo základní moduly se nachází zásobník na cement a šikmý dopravník cementu. Půdorysné rozměry modulů $2,35 \times 5,6 \text{ m}$, resp. $4,5 \text{ m}$ modulu kalcinátoru, i jejich výškové rozměry nepřesahující 2 m, umožňují normální dopravu na ložné ploše nákladního automobilu Škoda Trambus. Elektrická i hydraulická propojení mezi moduly jsou snadno rozebíratelná. Napojení na vnější přípoje pracovních látek, odpady a pod. jsou snadno přístupná z jedné strany sestavených modulů.

Elektrická část zařízení je poměrně rozsáhlá. Silnoproudé prvky zaplňují několik rozvaděčových skříní rozmístěných v modulech. Ovládací skříň s elektronikou, která se umísťuje na místě vhodném pro obsluhu mimo moduly a je s nimi spojena jen kabely, obsahuje všechny řídicí prvky pro ruční obsluhu, signální a kontrolní prvky jednotlivých funkcí, nastavovací prvky potřebných časových prodlev, velikosti dávek a reléovou automatiku cyklu a řady cyklů včetně předvolby počtu cyklů, po jejichž uplynutí se automatický průběh zastaví.

Typický automatický cyklus při přímé cementaci probíhá takto: Na stisknutí tlačítka START se současně uvede do chodu dopravník cementu, otevře se klapka mezi ním a váhou na sypké materiály, spustí se čerpadlo a otevře se elektromagnetický ventil v potrubí mezi nádrží na koncentrát a váhou na kapalinu. Při dosažení předvolených dávek na váhách se transportní cesty opět uzavřou. Nato se automaticky vyprázdní váha na kapalinu a spustí se míchačlo homogenizátoru. Potom se vyprázdní váha na sypké materiály. Po uplynutí nastavené doby míchání, během níž se však již naplnily obě váhy pro další cyklus, se otevře kulový kohout výstupu homogenizátoru a jeho obsah se vypustí do sudu. Navazuje automaticky další cyklus. Po 3 cyklech je sud naplněn a automatický průběh se zastaví.

Při provozních zkouškách přímé cementace s automatickým průběhem cyklu bylo dosahováno prosazení $0,6 \text{ m}^3/\text{hod}$, to znamená naplnění jednoho sudu za 15 minut a spotřeba cementu 1,0 až 1,2 t/hod. Po 3 hodinách provozu nutno znovu naplnit nádrž na koncentrát a nadávkovat do ní aditiva. Po cca 10 hodinách provozu je třeba doplnit zásobník na cement.

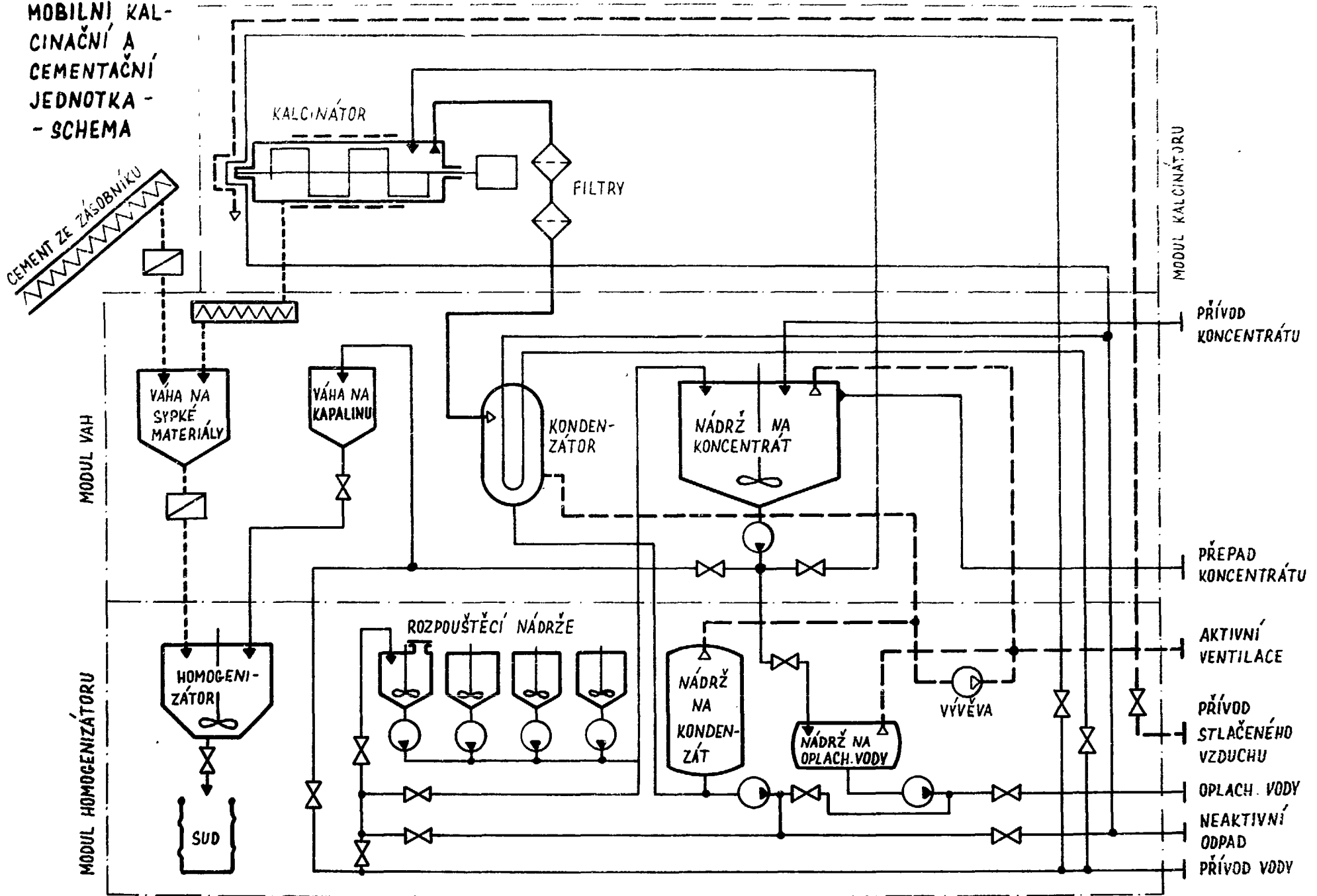
Při režimu s kalcinací a cementací je prosazení $0,1 \text{ m}^3/\text{hod}$ a přitom na jednotkové množství zpracovávaného koncentrátu připadá několikrát menší množství výsledného produktu, takže se počítá s dobou jednoho cyklu asi 6 hodin. Během této doby se dodává vodorovným dopravníkem kalcinát do váhy na sypké hmoty. Při dosažení předvolené dávky kalcinátu se zastaví vodorovný dopravník a současně se začne doplňovat váha na sypké hmoty cementem, váhou na kapalinu se nadávkuje do homogenizátoru koncentrát a spustí se míchačlo homogenizátoru. Potom se vyprázdní váha na sypké materiály. Po uplynutí nastavené doby míchání se vyprázdní homogenizátor, spustí vodorovný dopravník a probíhá další cyklus.

K obsluze jednotky je třeba 3 pracovníků.

V současné době, po splnění úkolů 1. etapy realizace jednotky v termínu, se připravuje její převezení na elektrárnu V-1 v Jaslovských Bohunicích ke zkušebnímu provozu s reálnými odpady a ke srovnání s linkou fy Kraftwerk Union, na téže místě shodou okolností také uváděnou do provozu. Mezitím probíhají práce na druhé etapě.

Na úspěšné realizaci se podílejí autor technologie J. Nápravník se svými spolupracovníky, skupina konstruktérů strojní části, kolektiv mechanických dílen, skupina konstruktérů elektročásti a řada dalších pracovníků ÚJV i subdodavatelů, kteří všichni pochopili důležitost úkolu a vyvinuli mimořádné úsilí k jeho splnění. Nyní ovšem očekávají, že na základě úspěšných zkoušek provozu v podmínkách JE bude následovat právě tak mimořádně rychlé zavedení výsledků, dosahovaných tímto experimentálním zařízením, do průmyslové výroby obdobných zařízení, o něž by byl zájem nejen v ČSSR.

MOBILNÍ KALCINAČNÍ A CEMENTAČNÍ JEDNOTKA - SCHEMA



CEMENT ZE ZÁSOBNÍKU

KALCINÁTOR

FILTRY

MODUL KALCINÁTORU

PŘÍVOD KONCENTRÁTU

MODUL VAH

VAHA NA SYPKÉ MATERIÁLY

YÁHA NA KAPALINU

KONDENZÁTOR

NÁDRŽ NA KONCENTRÁT

PŘEPAD KONCENTRÁTU

MODUL HOMOGENIZÁTORU

HOMOGENIZÁTOR

ROZPOUŠŤECÍ NÁDRŽE

NÁDRŽ NA KONDENZÁT

NÁDRŽ NA OPLACH. VODY

VÝVĚVA

AKTIVNÍ VENTILACE

PŘÍVOD STLAČENÉHO VZDUCHU

OPLACH. VODY

NEAKTIVNÍ ODPAD

PŘÍVOD VODY

APLIKACE RADIAČNÍCH TECHNOLOGIÍ, RADIOFARMAK A RADIO-ANALYTICKÝCH METOD V NÁRODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ

František Melichar, Ústav jaderného výzkumu, Řež

Úvod

Neenergetické využití jaderné energie zahrnuje velmi pestrá škálu aplikací výsledků výzkumu vědních oborů, jako je radiační chemie, radiochemie, dozimetrie, řada biologických vědních disciplín, oborů moderní medicíny a dalších.

V Ústavu jaderného výzkumu, tak jako ve většině podobných ústavů, byly a jsou rozvíjeny především neenergetické aplikace spojené s chemickými vědními obory. To také vysvětluje poměrně velké zastoupení chemiků v Ústavu jaderného výzkumu.

Tyto vědní obory byly rozvíjeny v Ústavu jaderného výzkumu od jeho založení v rámci Československé akademie věd a představovaly základní směry vědního zaměření v chemických disciplínách pěstovaných v ÚJV.

Po delimitaci ústavu z působnosti ČSAV a jeho začlenění do resortu ČSKAE bylo zde výzkumné zaměření orientováno postupně na technologický výzkum a na chemicko-inženýrské problémy spojené s vývojem radiačních technologií a technologií přípravy radionuklidů především pro aplikace v humánní medicíně.

Výsledky aplikovaného výzkumu v těchto vědních oborech představují široké spektrum cenných vědních poznatků a také přínosů pro národní hospodářství.

Výsledky radiačně chemického výzkumu

Výzkumné práce zde směřovaly k zavedení radiačních technologií v chemickém, kabelářském, dřevozpracujícím průmyslu, v zemědělství a potravinářském průmyslu.

Výzkumně byly vyřešeny "Radiální syntézy nových sloučenin na bázi nižších olefinů". Na základě úspěšně provedených experimentálních prací bylo navrženo ozařovací zařízení pro radiální syntézu 50 t fluorovaných alkoholů ročně.

V rámci aplikací radiálních technologií v zemědělství byla vypracována ekonomická studie o možnosti využití mobilního urychlovače elektronů pro radiální dezinfekci obilí.

Za nejúspěšnější zatím aplikaci radiálních technologií lze považovat "Radiální vulkanizace elastomerů a síťování plastů", kdy se podařilo zavést v závodě Kablo, Vrchlabí ve světě ojedinělou realizovancou radiální technologii výroby vodičů s izolací ze silikonové pryže. Vedle vypracování této technologie byla postavena budova s ozařovací kobkou a instalováno strojní zařízení výrobní linky, byl vyškolen personál k obsluze a údržbě urychlovače elektronů sovětské výroby ELV-1, ověřena funkce jednotlivých uzlů, včetně bezpečnostních zařízení a vypracovány bezpečnostní předpisy pracoviště na základě dozimetrických měření. Do poloviny roku 1984 bylo radiálně vyrobeno kolem 30 000 km vodiče v ceně přes Kčs. 50 mil.

Samostatnou část v oboru radiální chemie představuje ve výzkumné činnosti radiálně chemická problematika provozu jaderných elektráren. Pozornost byla zaměřena na sledování radiální stability iontoměníčů, užívaných k čištění chladiva reaktorů typu VVER. Používané iontoměníče sovětské a československé, jakož i analogické iontoměníče vyráběné v NDR byly ozařovány i s roztokem modelujícím chladivo zářením gama. Byly sledovány změny výměnné kapacity a tvorba plyných a kapalných produktů radiolýzy. Výsledky slouží k posouzení celkové dávky, při které bude ještě zachována výměnná kapacita a částečně též k odhadu, jaké produkty budou vznikat při skladování odpadů obsahujících ionexy z jaderných elektráren.

Pro komplexní studium problematiky skladování radioaktivních odpadů má význam studium vlivu záření gama na různé typy bitumentů a jejich směsí s ionexy a solemi.

Poradenská a ozařovací služba

Zajišťování konzultací a expertýz, vývoj moderních pracovních metodik, ozařovací servis na unikátních ozařovacích zdrojích a vyhledávací výzkum v perspektivních radiačních technologiích probíhá v konzultačním středisku pro aplikace ionizujícího záření.

Řadě podniků byla poskytována ozařovací služba, spojená s konzultacemi a poradenskými službami. Tak např. pro Výzkumný ústav bramborářský v Jihlavě byly ozařovány brambory za účelem snížení jejich klíčivosti; s Hydroprojektem a Vysokou školou zemědělskou v Praze byla sledována možnost použití kalů jako hnojiva a pro krmi-
vářské použití; pro Výzkumný ústav textilního zušlechťování ve Dvoře Králové n. L. bylo sledováno radiační roubování polyesterových nití za účelem zlepšení jejich užitečných vlastností; pro Výzkumný ústav textilní, pracoviště ve Veverské Bítýšce byly provedeny rozsáhlé ozařovací experimenty radiačních modifikací polyamidových úpletů za účelem zvýšení jejich nasákavosti a snížení statické elektřiny; pro Stavební izolace v Praze bylo ozářeno větší množství nátěrových hmot s cílem zjištění jejich použitelnosti v jaderných elektrárnách; pro ČKD Polovodiče jsou trvale ozařovány diody a tyristory a byla poskytnuta expertýza pro výstavbu jejich ozařovací linky s urychlovačem elektronů. Ve spolupráci s Výzkumným ústavem zpracování plastických látek v Nitře se řešilo radiační síťování rour z polyethylenem pro rozvod horké vody.

Pro Středočeské muzeum v Roztokách bylo v rámci činnosti KRB vybudováno konzervační pracoviště, jako prvé pracoviště svého druhu

na světě, které umožňuje moderní metodou ošetřovat cenné památkové a muzejní předměty proti dřevokaznému hmyzu. Pro n.p. Vodní zdroje byla poskytnuta expertýza o využití kobaltových zářičů při provozu studní za účelem odstranění jejich zaokrování. Projekt byl realizován ve Veselí nad Lužnicí a nyní se realizuje v Břeclavi. Se Státním veterinárním ústavem v Terezíně byla vypracována experimentální studie radiačního zneškodňování Salmonelu v dovážené rybí moučce. Studie vyústila v návrh projektu výstavby ozařovací stanice s urychlovačem elektronů. S Výzkumným ústavem textilního zušlechťování ve Dvoře Králové nad Labem byla vypracována technologie radiačního odbourávání škrobu pro potřeby bavlnářského průmyslu.

Výzkum a výroba radionuklidů pro zdravotnictví

Hlavním úkolem v oblasti výzkumu a výroby radionuklidů je spolupráce s pracovišti nukleární medicíny při vývoji nových preparátů vhodných pro lékařské použití. U vybraných preparátů je prováděn vývoj technologie přípravy a zajišťována jejich rutinní výroba. Tento úkol vyplývá vcelku logicky ze skutečnosti, že v areálu ÚJV jsou umístěna unikátní zařízení, umožňující přípravu umělých radionuklidů - jaderný reaktor a cyklotron - a dále, že zde existují investičně značně nákladné stíněné prostory pro zpracování vysokých množství radioaktivity.

Výroba prvního radiofarmaceutického preparátu byla zahájena v roce 1974. Od té doby byla vyvinuta a zavedena do výroby celá řada dalších preparátů. Tyto preparáty jsou postupně zařazovány do výzkumu, vývoje a výroby na základě studií celosvětových trendů nukleární medicíny s přihlédnutím k podmínkám našich lékařských pracovišť. Tak byl do úkolů státního plánu zařazen vývoj nejdůležitějších běžně používaných radiofarmak s cílem dosáhnout co největšího omezení dovozu těchto preparátů, zejména z KS (viz tab. č. 1). Byly postupně vyvinuty a uvedeny

do výroby dva nové preparáty - technecistan ^{99m}Tc a o-jodhippuran- ^{125}I , byly vypracovány postupy pro výrobu 6 souprav pro přípravu radiofarmak značených ^{99m}Tc /glukonát, HEDSFA, pyrofosfát, sirný koloid, DTPA, bleomydin, HSA/, vypracovány kontrolní analytické postupy a provedeno jejich biologické a klinické zkoušení.

Vzhledem k našim specifickým podmínkám byl technologický postup výroby technecistanu- ^{99m}Tc vypracován odlišně od jiných hromadných výrobků na principu extrakce technecia od molybdenu methylethylketonem. Pro přípravu o-jodhippuranu- ^{125}I byla podobně sledována výměnná reakce, nalezena možnost její katalýzy a získané výsledky dovolily nejen vypracovat novou "kitovou" formu jeho přípravy, ale i zlepšit technologii již vyráběného o-jodhippuranu- ^{131}I .

Byl vyvinut miniaturizovaný extrakční generátor technecia- ^{99m}Tc , vhodný pro získávání tohoto radionuklidu přímo na klinikách a umožňující izolovat technecium (poločas rozpadu 6 hod) z ozářeného molybdenu- ^{99}Mo i na vzdálenějších ^{pracovištích} vypracována byla technologie výroby citrátu galia- ^{67}Ga - preparátu používaného pro nádorovou diagnostiku a jodidu sodného- ^{125}I pro značení organických sloučenin. Vývoj technologie výroby citrátu galia- ^{67}Ga , jako prvního radiofarmaka z cyklotronové produkce, si vyžádal zvláště těsnou spolupráci s Ústavem jaderné fyziky a kladl mimořádně velké nároky na zhotovení celé řady unikátních zařízení.

Nejbližší perspektivy výroby radiofarmak v ÚJV jsou:

- zavést výrobu preparátů "Injekce chloridu thalného- ^{201}Tl ",
- zavést výrobu základních substancí diagnostika hepatobiliárních cest typu HIDA,
- zavést výrobu extrakčního generátoru technecia nového typu (EG 30),
- zavést výrobu bronsulfaleinu značeného radiojodem pro diagnostiku jater.

Uvedený program se snaží čs. pracovištěm nukleární medicíny z dostupnit preparáty, které byly na špičce vývoje RF ve světě v posledních letech.

V současné době dosahuje výroba radiofarmak v ÚJV již 10 mil. Kčs ročně a preparáty jsou dodávány do 65 nemocnic v celé ČSSR.

Vzhledem k tomu, že technologické postupy výroby radiofarmak byly v převážné většině vyvíjeny s přihlédnutím k našim podmínkám (nižší neutronové toky, nutnost jednoduchého zpracování apod.), jeví v současné době zájem o prodej licencí našich technologií a dodávky aparaturního zařízení některé další země (Bangladéš, Venezuela, SSSR, Kuba).

Ústřední kontrolní laboratoř a její přínos k rozvoji moderních metod instrumentální analýzy

Činnost v Ústřední kontrolní laboratoři se zaměřila na několik oblastí. Problematika analytické kontroly pro účely zárukového systému představovala především rozvoj instrumentálních metod analýzy U a Pu.

Oddělení se zabývalo analytikou odpadních roztoků z technologického zpracování pracích vod a vyvíjely se nové analytické metody kontroly radiofarmak.

V rámci zakázek pro jiné organizace se rozvíjely především metody geochronologické a elektrochemické.

Experimentální a technické činnosti prováděné v rámci kontroly jaderných paliv pro účely záruk byla zaměřena na zpracování přesných a spolehlivých destruktivních i nedestruktivních metod pro provádění analýz.

Práce prováděné v rámci analytické kontroly procesu zpracování radioaktivních odpadů se týkaly vývoje analytických metod pro stanovení složek odpadních roztoků pro potřeby technologického výzkumu.

V rámci analytického servisu pro různé závody a ústavy byly vypracovány postupy pro určování stáří vzorků hornin a minerálů, které jsou založeny na známé radioaktivní přeměně izotopů uranu, ^{87}Sr a ^{147}Sm .

Neutronová aktivační analýza a její uplatnění

Samostatnou část vývoje a aplikace radioanalytických metod v ÚJV představují metody neutronové aktivační analýzy (NAA). Největší rozsah prací byl věnován použití NAA v biochemii, hygienické kontrole a lékařství, vývoj metod byl dále zaměřen na kontrolu znečišťování životního prostředí a dále na přípravu a certifikaci referenčních materiálů, problémy technologického zpracování vzácných zemin aj. Cílem tohoto výzkumu bylo vypracování a ověření metodik NAA tak, aby je bylo možno používat k rutinním, servisním analýzám.

Byla vypracována řada postupů pro stanovení esenciálních a toxických stopových prvků v biologických materiálech metodou NAA s radiochemickou separací (RNAA).

Pro výzkum účinků, distribuce a klinické zkoušky cytostatických preparátů obsahujících platinu byly vypracovány postupy vysoce citlivého stanovení platiny v biologických vzorcích metodou RNAA i rychlého, nedestrukčního stanovení metodou tzv. instrumentální neutronové aktivační analýzy (INAA) s krátkodobým ozařováním. Aplikace NAA zde přispěla k tomu, že Ft-cytostatika československé výroby (Platidiam) již patří k standardnímu vybavení pro léčení některých zhoubných nádorů.

V oblasti kontroly znečišťování životního prostředí byly s použitím NAA sledovány emise z tepelných elektráren a studováno prvkové složení aerosolů. Odzkoušené postupy INAA umožňují stanovení velkého počtu prvků s dobrou přesností a správností v emisích různého druhu (úlety, zachycené emise), ale též v uhlí,

Ve všech případech byly využívány přednosti NAA - velmi nízké meze stanovitelnosti prvků, možnost stanovení velkého počtu prvků v jednom vzorku, dobrá přesnost a správnost výsledků a mnohdy i nedestrukční charakter metody pro efektivní řešení celé řady problémů výzkumného i technologického charakteru, které jsou významné pro národní hospodářství.

Závěr

Výzkumné programy v oblasti rozvoje radiačních technologií i přípravy radiofarmaceutických preparátů přinesly řadu nových výzkumných poznatků a především umožnily přenést tyto výsledky do konkrétních realizací v národním hospodářství.

Stejně tak je možno zhodnotit dobrou úroveň služeb ústřední kontrolní laboratoře a laboratoře neutronové aktivační analýzy. Unikátní přístrojová technika, kterou jsou tato pracoviště vybavena, slouží úspěšně mnoha československým závodům a ústavům, kterým poskytujeme specializované analytické služby.

Tabulka 1 Přehled počtu ročních vyšetření a spotřeby RF v ČSSR

Text / Rok	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Počet vyšetření za rok v tisících	44,0	68,8	95,0	112,1	142,7	213,4	243,7	265,8	311,2				
Mezinárodní nárůst	-	56	38	18	27	49	14	9	17				
% roku 1971	100	156,4	215,9	254,8	324,3	485	553	603	707				
Počty NM pracovišť	25	30	32	35	38	40	45	45	46	49			
Spotřeba celkem RF (v mil. Kčs)						12,74	10,13	12,63	13,49		19,16	21,35	
Celkem dovoz						9,25	6,79	8,83	9,48		11,89		
Z toho dovoz z KS						2,96	2,29	2,37				2,06	
Z toho dovoz z ZSR						6,29	4,50	6,52				10,88	
Výroba ÚJV				1,62	3,03	3,50	3,34	3,74	4,01	5,84	7,27	8,41	
% z celkové spotřeby						27,5	33,0	29,6	29,7		37,9	39,4	