

FYZIKA

Jaderné elektrárny v České republice

JIŘÍ RAČEK

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT, Brno

1. Úvod

Je všeobecně známo, že základním faktorem určujícím rozvoj hmotné kultury lidí je vytvoření a využití zdrojů energie. Získávání, přeměna a zachování energie jsou základní procesy zkoumané fyzikou.

Vzrůstající spotřeba energie klade obrovské nároky na energetické zdroje a poptávka po energii mnohdy překračuje nabídku. Energetické potřeby lze pokrýt z obnovitelných i neobnovitelných zdrojů. Za klasické zdroje energie je možno v současné době považovat uhlí, ropu, zemní plyn, hořlavé břidlice, energii z přírodní cirkulace vody (vodní elektrárny), energii slunečního záření, geotermální energii a energii přílivu a odlivu. Nicméně jen uhlí, ropa a zemní plyn mají rozhodující vliv na světovou energetickou bilanci.

Zásoby klasických paliv naprosto nedávají důvod k optimistickému pohledu do budoucnosti. Využití slunečního záření ve velkém měřítku, které je na první pohled lákavé, je teprve věcí budoucnosti a ostatní klasické zdroje nebudou s to hradit narůstající spotřebu. Nízká výkonová hustota obnovitelných zdrojů způsobuje, že jejich využívání je omezeno na menší energetické jednotky a na místa s vhodnými geografickými a přírodními podmínkami, takže se předpokládá, že jejich podíl na celkové spotřebě energie ve světě bude asi 5 % až 10 %. Jedinou cestu z této komplikované situace může ukázat využití energie získané z jaderných reakcí, a to buď jaderného štěpení nebo jaderné syntézy.

2. Podstata jaderné energie

Jeden kilogram látky je při úplné anihilaci ekvivalentní energii $9,0 \cdot 10^{16}$ J. Ačkoliv jsou známy reakce elementárních částic, při nichž

dochází k úplné anihilaci hmoty, v průmyslovém měřítku takové procesy realizovat nedovedeme.

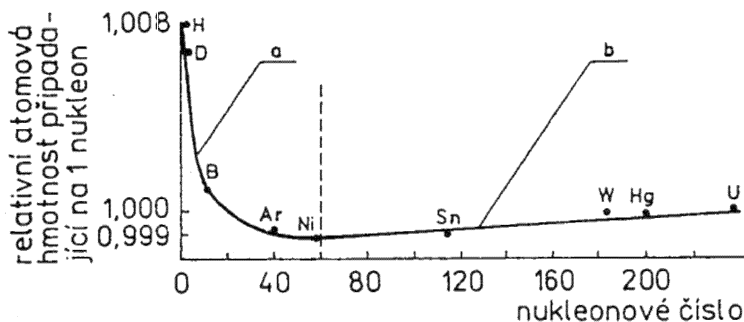
Při syntéze jader lehkých nuklidů nebo při štěpení jader nuklidů těžkých nastává částečná anihilace látky, při níž se úbytek hmotnosti uvolňuje ve formě jaderné energie. Jaderná energie je z převážné většiny kinetickou energií vzniklých nuklidů a nukleonů a v makroskopickém měřítku se projevuje jako energie vnitřní. Při jaderné syntéze jádra deuteria ${}^2\text{H}$ a jádra tritia ${}^3\text{H}$ je možno získat energii $2,82 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ (17,6 MeV), tj. $3,4 \cdot 10^{14} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Při rozštěpení jednoho jádra izotopu ${}^{235}\text{U}$ je možno získat energii $3,09 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ (193 MeV), tj. $7,9 \cdot 10^{13} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Při konvenčních způsobech získávání vnitřní energie je možno získat dokonalým spálením např. molekulárního vodíku $1,4 \cdot 10^8 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Ačkoli tedy jaderná syntéza nebo štěpení využívá asi jedné tisícinu energetického ekvivalentu hmoty, co do energetického výtěžku z jednotkové hmotnosti je asi miliónkrát efektivnější než konvenční způsoby získávání energie.

3. Způsoby uvolňování jaderné energie

Z grafu závislosti velikosti relativní atomové hmotnosti připadající na jeden nukleon na nukleonovém čísle (obr. 1) vyplývá, že jadernou energii lze uvolnit v zásadě dvěma způsoby:

- štěpením jader velmi těžkých nuklidů na jádra nuklidů lehčích (část křivky b),
- syntézou jader lehkých nuklidů na jádra nuklidů těžších (část křivky a).



Obr. 1 Závislost velikosti relativní atomové hmotnosti připadající na jeden nukleon na nukleonovém čísle

Těžký nuklid, který se má následkem ztráty vnitřní stability rozštěpit, musí být excitován v procesu jaderného štěpení na vyšší energii. To může být provedeno zachytem některého nukleonu, který přináší svou vazebnou energii a kinetickou energii. U izotopu ^{235}U je potřebná excitační energie $9,3 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ (5,8 MeV).

Aby se dvě jádra lehkých nuklidů spojila v procesu jaderné syntézy, musí překonat hradbu elektrostatických odpuzivých sil. K tomu potřebují poměrně značnou kinetickou energii, která se např. při syntéze deuteria a tritia rovná $2,2 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ (0,14 MeV).

4. Počátky rozvoje jaderné energetiky ve světě

Základem průmyslového rozvoje ve světě jsou neobnovitelné zdroje energie, přičemž dominantní postavení má uhlí. Značná část neobnovitelných zdrojů se využívá především k výrobě elektrické energie, která je ušlechtilou formou energie s dobrými možnostmi transportu a celou řadou dalších výhod. Závisí na ní dnes vývoj celé civilizace (průmyslová výroba, doprava, výroba potravin atd.).

Většina vyrobené elektrické energie pochází z elektráren spalujících fosilní paliva, jejichž negativní vlivy na životní prostředí jsou dostatečně známé (především u elektráren spalujících uhlí). Rovněž zásoby fosilních paliv jsou omezené. Tyto skutečnosti vedou k využívání nových jiných primárních energetických zdrojů.

Objev štěpení uranu neutrony *Hahnem a Stassmannem* v roce 1939 byl důležitou událostí, protože otevřel perspektivu využití úplně nového zdroje energie. Existence štěpné řetězové jaderné reakce v uranu ^{235}U umožnila využití jaderné energie k přeměně na elektrickou energii, popřípadě teplo, v jaderných elektrárnách a teplárnách.

První jaderný reaktor byl spuštěn 2. prosince 1942 na Chicagské univerzitě *E. Fermim* a jeho spolupracovníky. Jako palivo v něm sloužil čistý uran s přírodním obsahem nuklidu ^{235}U , jako moderátor (zpomalovač) neutronů grafit. Řetězová reakce byla ovládána zasouváním kadmiových tyčí, které pohlcují neutrony. Byl to odvážný průkopnický čin, neboť přes všechny výpočty si nikdo nemohl být zcela jist výsledkem tak riskantního experimentu. 2. prosinec 1942 bývá označován jako „den zrodu atomového věku“.

Elektrický proud v jaderném zařízení byl poprvé vyroben 20. prosince 1951 v reaktorové laboratoři ARCO v USA (stát Idaho). Zdrojem tepla byl experimentální heterogenní množivý reaktor s rychlými neutrony EBR I,

jehož tepelný výkon činil pouze 1 200 kW. Pára vyvíjená v parním generátoru byla využita k pohonu turbogenerátoru o elektrickém výkonu 170 kW. Elektrická energie se používala pro osvětlování budovy reaktoru a pro motory některých mechanismů. Jako jaderné palivo byl použit ^{235}U , který byl rozložen v aktivním prostoru velikosti fotbalového míče. Množivý (plodící) prostor, obklopující aktivní prostor, tvořil přírodní uran. Chladičem byla slitina Na–K s výstupní teplotou $316\text{ }^{\circ}\text{C}$, tlak páry před turbínou byl 2,69 MPa.

První průmyslová jaderná elektrárna na světě byla uvedena do provozu v bývalém SSSR 27. června 1954 v Obninsku u Moskvy. Tento den je považován za počátek rozvoje jaderné energetiky. Brzy po spuštění dosáhla tato elektrárna elektrického výkonu 5 MW při tepelném výkonu reaktoru 30 MW. Jaderným palivem v reaktoru byl 5 % obohacený uran, moderátorem byl grafit, chladičem byla obyčejná (lehká) voda pod tlakem 9,8 MPa, která se v reaktoru ohřívala ze $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $270\text{ }^{\circ}\text{C}$. V sekundárním okruhu se vyráběla pára o tlaku 1,25 MPa a teplotě $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

23. května 1956 byl spuštěn ve Velké Británii první blok jaderné elektrárny v Calder Hallu, která v té době byla největším pracujícím jaderným zařízením. Se stavbou bylo započato v květnu 1953. Jaderná elektrárna měla čtyři reaktory určené nejen k výrobě elektrické energie, ale také k výrobě plutonia. Elektrický výkon každého bloku byl 50 MW. Reaktory pracovaly s přírodním uranem a grafitovým moderátorem. Chladičem byl oxid uhličitý.

První velkou jadernou elektrárnou s tlakovodním reaktorem byla elektrárna Yankee v USA, která byla uvedena do provozu v červnu 1961. Měla elektrický výkon 134 MW při tepelném výkonu reaktoru 480 MW. Tlak chladiwa (obyčejné vody) na výstupu z reaktoru byl 13,6 MPa a výstupní teplota byla $278\text{ }^{\circ}\text{C}$. Parametry páry před vysokotlakovým dílem turbíny činily 3,1 MPa a $238\text{ }^{\circ}\text{C}$, před nízkotlakovým dílem turbíny 0,3 MPa a $124\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Některé další charakteristiky uvedených reaktorů jsou v tabulce 1.

Dnes existuje velké množství různých typů jaderných reaktorů, které se liší svým technickým uspořádáním, druhem paliva, moderátorem, chladiwa, výkonem a určením. V tabulce 2 jsou uvedeny základní koncepce včetně zkratk pro označení reaktorů používaných Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA).

Tab. 1 Charakteristiky některých jaderných reaktorů

Typ reaktoru	Název	Tepel. výkon (MW)	Palivo	Modérátor	Chladivo	Výst. teplota chlad. (°C)	Elek. výkon (MW)
FBR	EBR I (USA)	1,2	52 kg ^{235}U	–	Na-K při 0,09 MPa	316	0,17
LWGR	AM-1 Obninsk (SSSR)	30	550 kg uranu obohaceného na 5 % ^{235}U	50 t grafitu	H_2O při 9,8 MPa	270	5
GCR	Calder Hall (Velká Británie)	300	127 t přírodního uranu	650 t grafitu	C_2O při 0,7 MPa	340	50
PWR	Yankee (USA)	480	20,9 t UO_2	H_2O	H_2O při 13,6 MPa	278	134
HWGCR	A-1 (Československo)	560	22,4 t přírodního uranu	33 t D_2O	C_2O při 5,4 MPa	426	143

Kromě skupiny jaderných reaktorů založených na procesu jaderného štěpení existuje ještě druhá skupina jaderných reaktorů, které pracují na principu termojaderné syntézy [4]. Technické obtíže spojené s konstrukcí termojaderného reaktoru jsou mimořádně obtížné a k jejich vyřešení bude zapotřebí ještě řady let.

5. Plány výstavby jaderných elektráren v Československu

Historie jaderné energetiky v Československu se začala psát v roce 1955 uzavřením dohody mezi Československem a Sovětským svazem o pomoci při vývoji, rozvoji a výstavbě jaderné energetiky. Původní koncepce předpokládala samostatný československý program založený na budování těžkovodních plynem chlazených reaktorů na přírodní uran. Výzkum a vývoj v této oblasti však trval poměrně dlouho, bylo třeba vybudovat výzkumně-vývojové základny, vyrobit a vyzkoušet prototypové zařízení a vybudovat první velké jaderné-energetické dílo – první československou jadernou elektrárnu v Jaslovských Bohunicích (západní Slovensko).

Tab. 2 Základní typy jaderných energetických reaktorů

Označení podle energie neutronů	Označení podle moderátoru	Chladivo	Označení podle IAEA
Tepelné reaktory	lehkovodní (LWR)	H ₂ O	PWR tlakovodní reaktor
			BWR varný reaktor
	grafitové	CO ₂	GCR magnoxový reaktor
			AGR zdokonalený, plynem chlazený reaktor
		He	HTGR vysokoteplotní reaktor
		H ₂ O	LWGR grafitový reaktor chlazený obyčejnou vodou
			BWGR grafitový reaktor chlazený obyčejnou vodou (varný)
	těžkovodní (HWR)	D ₂ O	PHWR těžkovodní reaktor (CANDU)
		H ₂ O	HWLWR těžkovodní reaktor chlazený obyčejnou vodou
		CO ₂	HWGCR těžkovodní reaktor chlazený plynem
Rychlé reaktory	bez moderátoru	Na	FBR rychlý množivý reaktor

První řetězová štěpná reakce v Československu byla uskutečněna 25. září 1957 v Ústavu jaderného výzkumu v Řeži u Prahy v sovětském reaktoru o výkonu 2 MW.

V roce 1970 došlo k závažnému rozhodnutí změnit koncepci rozvoje jaderné energetiky v Československu a v další budoucnosti se zaměřit na výstavbu jaderných elektráren s reaktory chlazenými a moderovanými obyčejnou vodou pod vysokým tlakem. Na základě dohod se SSSR z let 1970, 1976 a 1980 měly být v Československu vybudovány tři jaderné elektrárny: v Jaslovských Bohunicích (západní Slovensko), v Dukovanech

(jižní Morava) a v Mochovcích (jižní Slovensko), každá o celkovém výkonu 1 760 MW. Každá elektrárna měla mít čtyři 440 MW bloky s tlakovodními reaktory VVER-440. Smlouva se SSSR o výstavbě Jaderné elektrárny Temelín (jižní Čechy) o celkovém výkonu 4 000 MW byla podepsána v roce 1981. Jaderná elektrárna měla mít čtyři 1 000 MW bloky s tlakovodními reaktory VVER-1000. Začátkem roku 1990 bylo rozhodnuto postavit v Temelíně pouze dva bloky o celkovém výkonu 2 000 MW. Plány z roku 1988 předpokládaly vybudování dalších dvou 2 000 MW jaderných elektráren, vždy se dvěma 1 000 MW bloky s tlakovodními reaktory VVER-1000, v Blahutovicích (severní Morava) a v Kecerovicích (východní Slovensko). S jejich výstavbou se však v nejbližší době nepočítá.

6. První československá jaderná elektrárna A-1

Jaderná elektrárna A-1 byla postavena v Jaslovských Bohunicích, 17 km severně od Trnavy (západní Slovensko). Řeka Váh sloužila jako zdroj chladicí vody a blízká vodní elektrárna v Madunicích jako záloha pro spotřebu elektrické energie v elektrárně.

V hlavním výrobním bloku byl umístěn jaderný reaktor, jeho pomocné okruhy, zařízení pro manipulaci s palivovými články a montáž palivových článků. Dále parní generátory, oběhová dmychadla, turbogenerátory a ústřední velín elektrárny.

V jaderné elektrárně A-1 byl použit heterogenní tepelný reaktor typu KS-150 na přírodní uran, s těžkovodním moderátorem a reflektorem, chlazený plyným oxidem uhličitým (tab. 1). Reaktorovou nádobou byla svařovaná tlaková nádoba válcového tvaru. V reaktorové hale bylo instalováno speciální zařízení, které umožňovalo kontinuální výměnu palivových článků i v době provozu reaktoru.

Elektrárna byla dvouokruhová. Primární okruh byl tvořen reaktorem a šesti paralelními smyčkami. Na každou smyčku byl připojen jeden parní generátor a jedno oběhové dmychadlo. Horký plyn (oxid uhličitý), vystupující potrubím z dolních hrdel reaktoru, procházel přes sekční uzavírací orgány do parních generátorů. Plyn ochlazovaný v parních generátorech se vedl do sání dmychadel, z výtlaku procházel opět uzavíracími orgány přes horní hrdla tlakové nádoby do reaktoru. Parní generátory byly sestaveny z velkého počtu článků tvaru písmene U – tzv. systém „trubka v trubce“ [2], mezi kterými proudil ochlazovaný oxid uhličitý. Ve vnitřních trubkách se ohřívala a vypařovala voda sekundárního okruhu.

Sekundární okruh tvořily tři paralelní smyčky. Každá obsahovala dva parní generátory a jednu turbogenerátorovou jednotku o jmenovitém výkonu 50 MW. Použité parní turbíny byly kondenzační dvoutělesové.

Pomocné okruhy reaktoru KS-150 zabezpečovaly funkce potřebné pro chod reaktoru. Teplota moderátoru se udržovala na 90 °C v centrální zóně reaktoru. Spalování třaskavé směsi deuteria a kyslíku, která vzniká radio-lýzou, se provádělo rekombinací platinovým katalyzátorem.

Základní údaje o jaderné elektrárně A-1 jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Základní údaje o jaderné elektrárně A-1

Typ reaktoru: heterogenní na přírodní uran, moderátor D ₂ O, chladivo CO ₂
Teplný výkon reaktoru: 560 MW
Elektrický výkon: 143 MW
Tvar a rozměry aktivní zóny: válec o průměru 3 560 mm a výšce 3 910 mm
Počet palivových článků: 148, z toho 44 centrálních a 104 periferních
Množství přírodního uranu: 22 400 kg
Flouščka radiálního reflektoru: 420 mm D ₂ O
Teplota těžké vody: maximálně 90 °C, chlazení mimo reaktor
Množství těžké vody v aktivní zóně: 33 000 kg
Teplota a tlak chladiva na vstupu do reaktoru: 112 °C, 6,4 MPa
Teplota a tlak chladiva na výstupu z reaktoru: 426 °C, 5,4 MPa
Počet řídicích tyčí: 4 regulační, 32 kompenzačních, 4 havarijní
Tlaková nádoba reaktoru: stojatý válec, průměr 4,95 m, výška 20,1 m
Maximální tloušťka stěny tlakové nádoby: 150 mm
Počet parních generátorů: 6
Počet oběhových dmychadel: 6
Počet turbogenerátorů: 3, každý o výkonu 50 MW

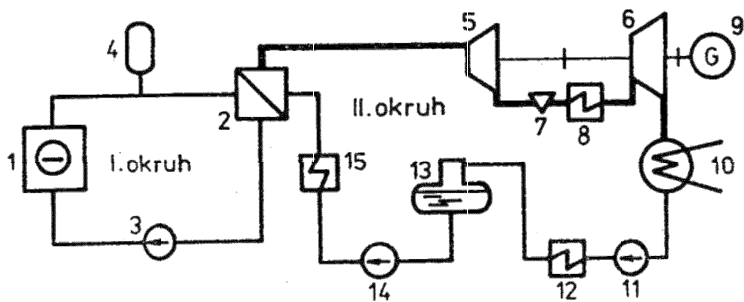
Po uvedení elektrárny A-1 do provozu se ukázaly její nedostatky. Byla nákladná, velmi komplikovaná a technicky velmi náročná na způsob provozování. V úvahu bylo potřeba vzít i skutečnost, že s uvedeným typem elektrárny zůstalo Československo ve světě osamocené.

V roce 1977 došlo v elektrárně k nehodě. Operátoři spustili při výměně palivových článků bez odstavení reaktoru do jednoho kanálu článek, který zapomněli zbavit těsnicího silikagelu. Chladicí plyn přestal protékat. Uranový článek se roztavil a protavila se i kanálová trubka, takže do primárního okruhu pronikla kontaminovaná těžká voda. Přes netěsná

místa parogenerátorů se radioaktivita dostala až do parního okruhu. Přestože se poškodila čtvrtina palivových článků, nedošlo naštěstí k většímu úniku radioaktivity ani mezi personál reaktorovny. Podle stupnice MAAE šlo o havárii stupně č. 4 (accident mainly in installation). Po další nehodě, vyvolané netěsností oběhového dmychadla primárního okruhu, byla A-1 po krátké době pokusného provozu odstavena.

7. Provozované jaderné elektrárny v České republice

Na území České republiky jsou v současné době v provozu dvě jaderné elektrárny. Obě jsou vybaveny tlakovodními reaktory (PWR), to znamená, že palivové tyče jsou chlazeny vodou za takového tlaku, při kterém nevzniká pára. Tepelná schémata těchto elektráren jsou dvouokruhová (obr. 2). Teplo předané vodě při průchodu palivovými články se přenáší v primárním okruhu do výměníku (parního generátoru), ve kterém dochází k výrobě páry, aniž dojde k průniku chladiva primárního okruhu do sekundárního okruhu, ve kterém je zařazena turbína.



Obr. 2 Tepelné schéma jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem (1 – reaktor, 2 – parní generátor, 3 – hlavní cirkulační čerpadlo, 4 – kompenzátor objemu, 5 – vysokotlaková část parní turbíny, 6 – nízkotlaková část parní turbíny, 7 – odlučovák vlhkosti, 8 – přehřívák páry, 9 – elektrický generátor, 10 – kondenzátor, 11 – kondenzátní čerpadlo, 12 – nízkotlakové regenerační ohříváky napájecí vody, 13 – odplynovák s napájecí nádrží, 14 – napájecí čerpadlo, 15 – vysokotlakové regenerační ohříváky napájecí vody)

Jaderná elektrárna Dukovany se nachází 30 km jihovýchodně od Třebíče, v trojúhelníku, který je vymezen obcemi Dukovany, Slavětice a Rouchovany. Instalovaný elektrický výkon Jaderné elektrárny Dukovany činí 1 760 MW. V elektrárně jsou ve dvou dvojblocích instalovány celkem čtyři tlakovodní reaktory typu VVER-440 (model V 213), každý o tepelném výkonu 1 375 MW. Cirkulaci chladicí vody v primárním reaktorovém okruhu

zajišťuje šest nezávislých potrubních smyček s čerpadly a parními generátory. Ke každému reaktoru patří dvě třítělesové turbíny s jedním vysokotlakovým a dvěma nízkotlakovými díly, které pracují při otáčkách $3\,000\text{ min}^{-1}$. S každou turbínou je pevně spojen 220 MW generátor elektrického proudu (dvoupólový asynchronní alternátor generující napětí 15,75 kV).

Jaderná elektrárna Dukovany je určena pro provoz v základním energetickém režimu. První blok této jaderné elektrárny byl uveden do provozu v roce 1985 a poslední čtvrtý v roce 1988.

Hlavní výrobní blok jaderných elektráren s reaktory typu VVER-440/V 213 druhé generace je koncipován jako skupina objektů, ve kterých je umístěna technologie dvou reaktorových bloků se všemi pomocnými systémy, které vytvářejí podmínky pro jejich provoz. Hlavní výrobní blok tvoří: budova reaktorů, příčné etažérky, přístavky příčných etažérek, mezistrojovna, strojovna, centrální olejové hospodářství, budova superhavarijního napájení, budova aktivních pomocných provozů, ventilační komín, provozní budova a blokové, odbočkové a rezervní transformátory. Celkové stavební řešení hlavního výrobního bloku jaderných elektráren s reaktory typu VVER-440 je provedeno jako sevřené. Tyto jaderné elektrárny nemají primární okruh uzavřen v ochranné obálce.

V areálu elektrárny se nachází úložiště nízkoaktivního a středněaktivního odpadu. V roce 1995 byla v areálu elektrárny dokončena výstavba a po zkušebním provozu zahájen trvalý provoz suchého meziskladu vyhořelého paliva s kapacitou 60 kontejnerů CASTOR 440/84. Kapacita jednoho kontejneru (10 tun vyhořelého jaderného paliva) odpovídá téměř roční produkci jednoho reaktoru VVER-440.

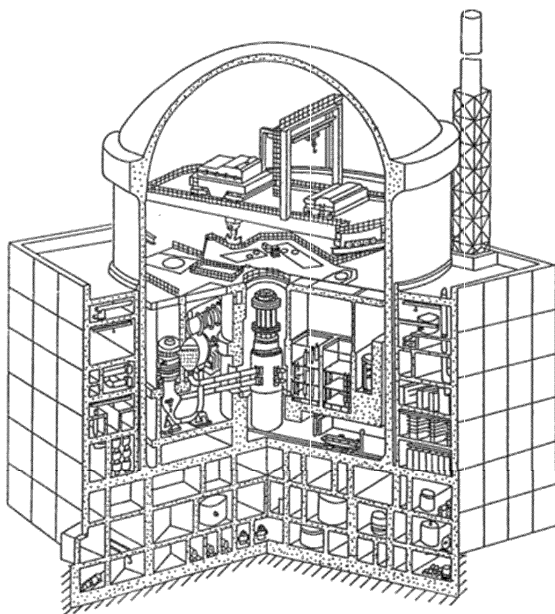
V blízkosti elektrárny bylo na řece Jihlavě vybudováno vodní dílo Dalešice s přečerpávací vodní elektrárnou o výkonu 450 MW. Vyrovnávací nádrž této vodní elektrárny slouží jaderné elektrárně jako zásobárna vody.

Jaderná elektrárna Temelín se nachází přibližně 24 km severně od Českých Budějovic a 5 km jihozápadně od Týna nad Vltavou. Instalovaný elektrický výkon Jaderné elektrárny Temelín činí 2 000 MW. Elektrárna se skládá ze dvou hlavních výrobních bloků. Výrobní blok je rozdělen na dvě části: reaktorovnu a strojovnu. Jádrem každého výrobního bloku je reaktor VVER-1000 (model V 320) o tepelném výkonu 3 000 MW, na který jsou napojeny čtyři hlavní cirkulační (chladicí) smyčky, každá s jedním parním generátorem. Pára vyrobená ve čtyřech parních generátorech je vedena do turbíny. Každému reaktoru přísluší jediná turbína s jedním vysokotlako-

vým a třemi nízkotlakovými díly, která pracuje s otáčkami $3\,000\text{ min}^{-1}$. Každá turbína je určena k pohonu jednoho $1\,000\text{ MW}$ alternátoru, který generuje elektrický proud při napětí 24 kV .

Jaderná elektrárna Temelín je určena pro provoz v základním energetickém režimu. První blok této elektrárny byl uveden do provozu v roce 2002, druhý o rok později v roce 2003.

Dispoziční uspořádání hlavního výrobního bloku jaderných elektráren s reaktory třetí generace typu VVER-1000/V 320 je odlišné od dispozičního uspořádání hlavního výrobního bloku jaderných elektráren s reaktory typu VVER-440 druhé generace. Celý primární okruh a další bezpečnostní a pomocná zařízení jsou uzavřeny v ochranné obálce (obr. 3), která má plnit dvě základní funkce: chránit okolí elektrárny před následky případné havárie a chránit reaktor a další části primárního okruhu před vnějšími vlivy.



Obr. 3 Ochranná obálka Jaderné elektrárny Temelín

Ochranná obálka použitá v Jaderné elektrárně Temelín je plnotlaková. Stav konstrukce ochranné obálky bude po celou dobu provozu elektrárny kontrolovat 250 čidel, která budou nepřetržitě sledovat teplotu, napětí ve

výztuži a deformace betonu. Pro vstup obsluhy do ochranné obálky slouží čtyři osobní hermetické průchody, z toho tři nouzové. Pro dopravu zařízení je určen materiálový hermetický průchod. Při havárii spojené se ztrátou těsnosti primárního okruhu se automaticky uskuteční úplná izolace hermetického prostoru od okolí. Automaticky se zavřou rychločinné oddělovací armatury na všech potrubích a systémech procházejících ochrannou obálkou. Neuzavírají se pouze ty systémy, které jsou určeny k likvidaci havárie.

Odběr technologické vody je zajištěn z vodního díla Hněvkovice na řece Vltavě, jehož vybudování bylo také součástí výstavby elektrárny. Využitelný objem vodního díla pro jadernou elektrárnu je 20 mil. m³, rozpětí vodní hladiny je 365 m. n. m. až 372 m. n. m. Čerpací stanice se nachází v bezprostřední blízkosti hráze přehrady na levém břehu. Voda je vedena dvěma potrubními trasami do vodojemu v areálu elektrárny. Požadovanou kvalitu vody zaručují čističky odpadních vod na horním toku Vltavy, především ve Větrní, Českém Krumlově a Českých Budějovicích.

Základní údaje o těchto elektrárnách jsou uvedeny v tabulce 4.

Další vývoj jaderné energetiky v České republice bude záviset na zvážení rostoucí potřeby a možnosti úspor energie, devastaci životního prostředí elektrárnami spalujícími hnědé uhlí a na druhé straně nutností minimalizovat rizika jaderné energetiky.

I když energetická politika každého státu závisí na jeho konkrétních podmínkách a některé země jadernou energetiku ze zásady odmítají, je zřejmé, že vzhledem k ekologickým rizikům klasické energetiky (škodlivé exhalace, skleníkový efekt), vyčerpání zásob fosilních paliv a omezeným možnostem alternativních zdrojů energie (sluneční, větrné apod.) nebude se lidstvo moci alespoň v určité etapě bez jaderné energie obejít.

Poznámka: Na území Slovenské republiky jsou v současné době v provozu tři jaderné elektrárny. Jaderné elektrárny V-1 a V-2, každá o celkovém výkonu 880 MW, vždy se dvěma 440 MW bloky, byly uvedeny do provozu v letech 1978 až 1980 a 1984 až 1985. V elektrárně V-1 jsou reaktory VVER-440 typu V 230, v elektrárně V-2 jsou reaktory VVER-440 typu V 213. Elektrárny jsou postaveny v lokalitě Jaslovské Bohunice, 17 km severně od Trnavy (západní Slovensko) v blízkosti Jaderné elektrárny A-1. Budovaná jaderná elektrárna v Mochovcích, mezi Nitrou a Levicemi (jižní Slovensko), bude mít po dokončení celkový výkon 1 760 MW. Čtyři 440 MW bloky budou vybaveny reaktory VVER-440 typu V 213. V současné době jsou v provozu dva bloky, první byl uveden do provozu v roce 1999 a druhý v roce 2000.

Tab. 4 Základní údaje o jaderných elektrárnách Dukovany a Temelín

Charakteristiky	Rozměr	Dukovany	Temelín
Typ reaktoru – tlakovodní energetický		VVER-440	VVER-1000
Počet bloků		4	2
Teplný výkon jednoho bloku	MW	1 375	3 000
Elektrický výkon jednoho bloku	MW	440	1 000
Průtok primární vody jedním reaktorem	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	8 922	17 591
Teplota primární vody na vstupu do reaktoru	$^{\circ}\text{C}$	267	289,7
Teplota primární vody na výstupu z reaktoru	$^{\circ}\text{C}$	297	320
Počet parních generátorů na jeden blok	ks	6	4
Teplný výkon parního generátoru	MW	229,3	750
Teplota primární vody na vstupu do parního generátoru	$^{\circ}\text{C}$	297	320
Teplota primární vody na výstupu z parního generátoru	$^{\circ}\text{C}$	267	289
Tlak primární vody na vstupu do parního generátoru	MPa	12,25	15,7
Výroba páry v jednom parním generátoru	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	452	1 470
Teplota napájecí vody na vstupu do parního generátoru	$^{\circ}\text{C}$	223	220
Teplota páry na výstupu z parního generátoru	$^{\circ}\text{C}$	260	278,5
Tlak sekundární syté páry	MPa	4,71	6,3

L i t e r a t u r a

- [1] *Petrov, P. A.*: Jaderné elektrárny. Praha: SNTL, 1961.
- [2] *Raček, J.*: Energetická zařízení. Stroje a zařízení jaderných elektráren. Brno: Nakladatelství Novotný, 2004.
- [3] *Raček, J.*: Jaderné elektrárny. Brno: Nakladatelství Novotný, 2005.
- [4] *Raček, J.*: Využití termojaderné syntézy. IX. mezinárodní konference Elektroenergetika 98. Stará Lesná: TU Košice, 1998, s. 63 – 66.
- [5] Prospekty jaderných elektráren Dukovany, Temelín a Mochovce.

Ako vnímajú absolventi slovenských škôl použitie poznatkov z elektriny a magnetizmu v bežnom živote?

MARIANNA CIGÁNIKOVÁ – VINCENT CIGÁNIK

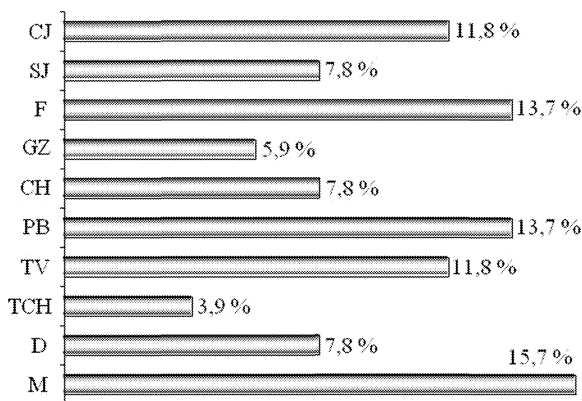
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK, Bratislava, SLOVENSKO

Na hodinách fyziky získavajú žiaci množstvo poznatkov. Ich trvácnosť a použitie v bežnom živote patria medzi hlavné ciele fyzikálneho vzdelávania. V júni 2004 sme vykonali malý prieskum medzi dospelou verejnosťou, ktorý sa týkal poznatkov z elektriny a magnetizmu získaných na vyučovaní fyziky na základnej a strednej škole a ich aplikácií v bežnom živote. Prieskumu sa formou dotazníka zúčastnilo 51 respondentov. Prevažnú časť respondentov tvorili obyvatelia Bratislavy a ostatní respondenti boli obyvatelia Oravy. V rámci našich možností sme získali vzorku, ktorá obsahovala ľudí rôzneho veku (od 20 do 62 rokov), pracovného zamerania a dosiahnutého vzdelania. Predkladáme Vám stručný prehľad niektorých výsledkov tohto prieskumu.

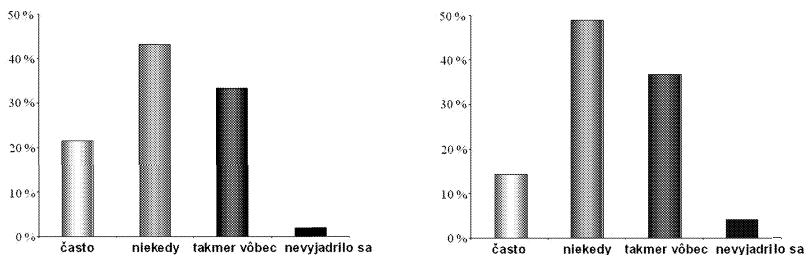
V prvej z otázok mali respondenti zvoliť vyučovaciu hodinu, ktorá sa im na škole páčila. Odpovede respondentov sme zatriedili podľa predmetov (obr. 1). Matematika (15,7 %) a prírodné vedy (fyzika 13,7 %, biológia 13,7 %) v našom prieskume dosiahli veľmi dobrý výsledok. Dokonca predbehli humanitné predmety (dejepis 7,8 %, slovenský jazyk 7,8 %) a cudzie jazyky (11,8 %).

Ďalším problémom, ktorým sme sa zaoberali, bolo využívanie znalostí a zručností (obr. 2), ktoré respondenti nadobudli na hodinách fyziky, v bežnom živote. Takmer 65 % našich respondentov si myslí, že aspoň niekedy využíva znalosti a 61 % si myslí, že aspoň niekedy využíva zručnosti v práci alebo pri svojom koníčku.

Zaujímalo nás, na ktoré poznatky z fyziky si respondenti spomenú ako prvé. Mali uviesť aspoň tri poznatky. Tieto poznatky sme zatriedili do jednotlivých oblastí fyziky (obr. 3). Poznatky, na ktoré si opýtaní spomenuli ako prvé, boli prevažne z mechaniky a z elektriny a magnetizmu. Najčastejšie spomínané poznatky boli zemská gravitácia a Archimédov zákon. Nešlo teda o v súčasnosti preferované poznatky modernej fyziky, ktoré sú z oblastí: kvantová fyzika, atómová a jadrová fyzika a podobne.



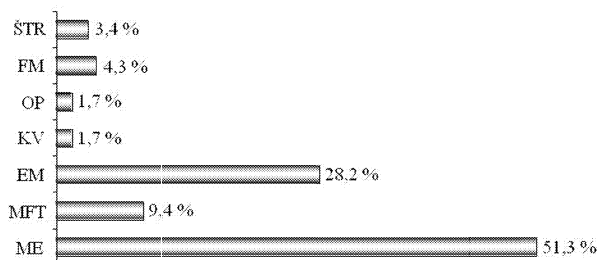
Obr. 1 Predmety, z ktorých sa opýtaným osobám páčili vyučovacie hodiny (cudzie jazyky – CJ, slovenský jazyk – SJ, fyzika – F, geografia, zemepis – GZ, chémia – CH, prírodopis, prírodoveda, biológia – PB, telesná výchova – TV, technická výchova, technológia – TCH, dejepis – D, matematika – M)



Obr. 2 Využívanie znalostí a zručností z fyziky v práci alebo pri koníčku: a – využívanie znalostí, b – využívanie zručností

Jedna z otázok sa týkala vysvetlenia aplikácií niektorých poznatkov z elektriny a magnetizmu, ktoré sme vybrali tak, aby zahŕňali podstatnú časť elektriny a magnetizmu. Okrem toho, že sme sa ich opýtali, či si myslia, že dokážu dané aplikácie vysvetliť, spýtali sme sa, či ich považujú za dôležité pre človeka a žiaci, ktorého stupňa sa majú nimi zaoberať. Odpovede na tieto otázky nás zaujímali kvôli novej redukcii učiva, pri ktorej by mal byť názor širšej verejnosti jedným z dôležitých faktorov. Samozrejme si nemyslíme, že odborníci, ktorí sa zaoberajú didaktikou fyziky, by sa mali riadiť prieskumami, ale mali by do nich pre svoju inšpiráciu aspoň trochu nazrieť. Pohľad dospeléj verejnosti na túto problematiku je totiž dôležitý,

lebo jej životné skúsenosti sú rozmanité a preverili dôležitosť niektorých poznatkov preberaných na hodinách fyziky.



Obr. 3 Poznatky z fyziky, na ktoré si ako prvé spomenuli skúmané osoby (špeciálna teória relativity – ŠTR, fyzika mikrosвета – FM, optika – OP, kmity a vlny – KV, elektrina a magnetizmus – EM, molekulová fyzika a termodynamika – MFT, mechanika – ME)

V tomto príspevku sa zaoberáme len odpoveďami respondentov na vysvetlenie aplikácie poznatkov z elektriny a magnetizmu. Pri odpovediach na otázku, do akej miery vedia vysvetliť aplikáciu jednotlivých poznatkov z elektriny a magnetizmu, si treba uvedomiť, že nám nedávajú skutočnú mieru ovládania danej aplikácie, pretože ide o vlastný názor respondentov.

Okolo 70 % opýtaných si myslí, že vie vysvetliť aplikácie poznatkov z elektrostatiky, magnetostatiky, o tepelných účinkov elektrického prúdu a o úsporách elektrickej energie. Že vedia vysvetliť prečo sa niekedy pri česaní vlasy priťahujú k hrebeňu, prečo sme počas búrky v aute pred bleskom bezpečnejší ako vonku, že magnet niektoré predmety priťahuje a niektoré nie, prečo nám niekedy „vyhodí“ poistky, na akom princípe funguje rýchlovarná kanvica a že sa oplatí kupovať úsporné elektrospotrebiče.

Takmer 45 % opýtaných si ale myslí, že nevie ani čiastočne vysvetliť princíp fungovania televíznej obrazovky, generátora v elektrárni a nabíjačky mobilu. Viac ako polovica z nich, si dokonca myslí, že ani nepotrebuje vedieť vysvetliť princíp fungovania generátora v elektrárni. A to je škoda, lebo Faradayov objav elektromagnetickej indukcie by si mohol nájst miesto v pamäti každého z nás.

Naša mobilmi preplnená spoločnosť hojne využíva tento výtobytok modernej doby. Možno aj vďaka tomu až dve tretiny z opýtaných, ktorí nepoznajú úlohu transformátora a usmerňovača v nabíjačke mobilu, by ju chceli poznať.

Poznatok o modeli atómu, s ktorým sa žiaci stretávajú na škole ako prvým vo svete elektriny a magnetizmu, si myslí, že nevie aspoň čiastočne popísať až 35 % opýtaných a viac ako polovica z nich si myslí, že to ani nepotrebuje vedieť. Pritom na tomto poznatku je založená väčšina teoretických vysvetlení javov z elektriny a magnetizmu už na základnej škole.

Paradoxom je, že 43 % opýtaných si myslí, že nevie vysvetliť, aký je vzťah medzi príkonom elektrosпотреbiča a spotrebou elektrickej energie, ale 67 % opýtaných si myslí, že vie určiť, či sa oplatí kúpiť úsporné elektrosпотреbiče triedy A, B, ktorých cena je vyššia ako menej úsporných elektrosпотреbičov C, D, E. Pritom na fyzikálne vysvetlenie otázky o úsporných spotrebičoch je potrebné poznať vzťah medzi príkonom elektrosпотреbiča a spotrebou elektrickej energie.

V závere sa pokúsime zosumarizovať tieto čiastočné výsledky prieskumu. V obľúbenosti matematika a prírodné vedy v našom prieskume predbehli humanitné predmety a cudzie jazyky. To odlišuje výsledky nášho prieskumu od výsledkov iných existujúcich prieskumov a výskumov obľúbenosti fyziky. Jeden z možných dôvodov je v tom, že dve tretiny našich respondentov ukončili stredoškolské štúdium pred rokom 1985, jedna tretina dokonca ešte pred rokom 1975 a práve v období medzi rokmi 1976 až 1985 prebehla posledná závažná reforma vo vzdelávaní. Preto z jazykov ovládajú hlavne ruský jazyk, ktorý bol postupne vytlačený anglickým jazykom. Humanitné vedy pred rokom 1989 obsahovali mnoho ideologických poznatkov, čo mohlo zmenšiť ich obľúbenosť. Ďalším podstatným dôvodom je, že väčšina prieskumov či výskumov sa zameriavala na študentov alebo čerstvých absolventov. V našom prieskume išlo však o respondentov, ktorí získali väčšie množstvo životných skúseností od skončenia štúdia a títo respondenti s časovým odstupom inak hodnotia svoje vzdelávanie.

To, že si takmer 65 % našich respondentov myslí, že využíva znalosti a 61 % zručnosti vo svojom bežnom živote, nás môže priviesť k poznatku, že odstupom času si respondenti uvedomili dôležitosť svojho fyzikálneho či prírodovedného vzdelania. Naším páčivým problémom však stále zostáva presvedčiť o tom žiakov na vyučovacích hodinách fyziky.

Ako oblasti s najtrvalejšími poznatkami u našich respondentov sa javia mechanika a elektrina a magnetizmus. Jedným z možných dôvodov je, že v týchto oblastiach je aplikácia poznatkov obsiahnutých v učive základných a stredných škôl v bežnom živote zjavnejšia ako v ostatných oblastiach (príkladmi sú brzdiaca električka, alebo otáčajúci sa bubon práčky).

Poslednou a najdôležitejšou časťou nami predkladaných výsledkov sú názory respondentov na ich schopnosť vysvetliť zvolené aplikácie poznatkov z elektriny a magnetizmu. Väčšina poznatkov, ktoré sme z elektriny a magnetizmu vybrali, je súčasťou učebníc fyziky pre základné školy a v trochu rozšírenej forme aj učebníc fyziky pre stredné školy. Preto je zaujímavý a až zarážajúci fakt, že skoro polovica respondentov si myslí, že nevie ani čiastočne vysvetliť princíp fungovania generátora v elektrárni alebo transformátora v nabíjačke mobilu. Je to pomerne vysoké číslo, keď si uvedomíme, že využívanie javu elektromagnetickej indukcie nieje v našej spoločnosti žiadnou novinkou. To už nezmeníme, ale naším hlavným cieľom musí byť, aby sme podobné alebo horšie odpovede nedostali za niekoľko rokov či desaťročí od našich študentov a preto ich musíme vhodnou výučbou presvedčiť o dôležitosti aplikácii poznatkov z fyziky v ich bežnom živote.

(Dokončení ze s. 448)

Do odborného programu byly začleněny i dvě exkurze: do Fyzikálního ústavu AV ČR a do Ústavu fyziky plazmatu AV ČR – pro profesory s aprobacemi matematika a fyzika, resp. do Ústavu experimentální botaniky AV ČR a Ústavu chemických procesů AV ČR – pro profesory s aprobacemi biologie a chemie. Pro zvlášť přihlášené účastníky – celkem dvacet profesorů specialistů – pak byly navíc připraveny laboratorní práce z genetiky v Ústavu biochemie a mikrobiologie VŠCHT v poslední den konání školy. Program prvního pracovního dne se uskutečnil v prostorách FEL ČVUT v Praze, všechny následující dny pak v Ústavu organické chemie a biologie AV ČR. V rámci doplňkového kulturně-společenského programu proběhly diskuse věnované především pojetí středoškolského přírodovědného vzdělávání v ČR, jeho srovnání se současnými mezinárodními koncepcemi, aktivitám nadaných studentů zejména ve vazbách na činnost AMAVEtu.

Všichni účastníci podzimní školy v závěrečné hodnotící besedě vyslovili zcela mimořádné poděkování jejím organizátorům: *Doc. Ing. J. Rosenkranzovi, CSc.* a *Ing. I. Krumlové*. Oba se zasloužili o to, že osmdesát středoškolských profesorů ČR s nadšením bude předkládat svým studentům odborné novinky, že bude schopno rámcově velmi pozitivně studentům představit projekty a úspěchy české vědy a nenásilně je vést k zájmu o fyziku, chemii a biologii. Obdobně výrazně pozitivně hodnotili práci obou organizátorů i všichni přednášející na Podzimní škole.

Příští jubilejní desátá škola v roce 2006 pro středoškolské profesory jistě ještě více zdůrazní důležitý osobní kontakt vědců a učitelů, učitelů a studentů. Např. i významné výročí prestižní české technické univerzity – 300. výročí vzniku Českého vysokého učení technického v Praze – k tomu dává významné podněty.

Zdeněk Kluiber
Ekogymnázium, Praha
