

ENERGETIKA

V PŘÍKLADECH

ZBYNĚK IBLER A KOL.

ENERGETIKA

V PŘÍKLADECH

Praha 2003



Zbyněk Ibler a kol.

ENERGETIKA V PŘÍKLADECH

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky. Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny. Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© Zbyněk Ibler a kol., Praha 2003

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Autorský kolektiv: Prof. Ing. Zbyněk Ibler DrSc, Prof. Ing. Jan Karták DrSc,
Doc. Ing. Jiřina Mertlová CSc, Ing. Zbyněk Ibler:

Kolektiv lektorů:

Zbyněk Ibler a kol.

ENERGETIKA V PŘÍKLADECH

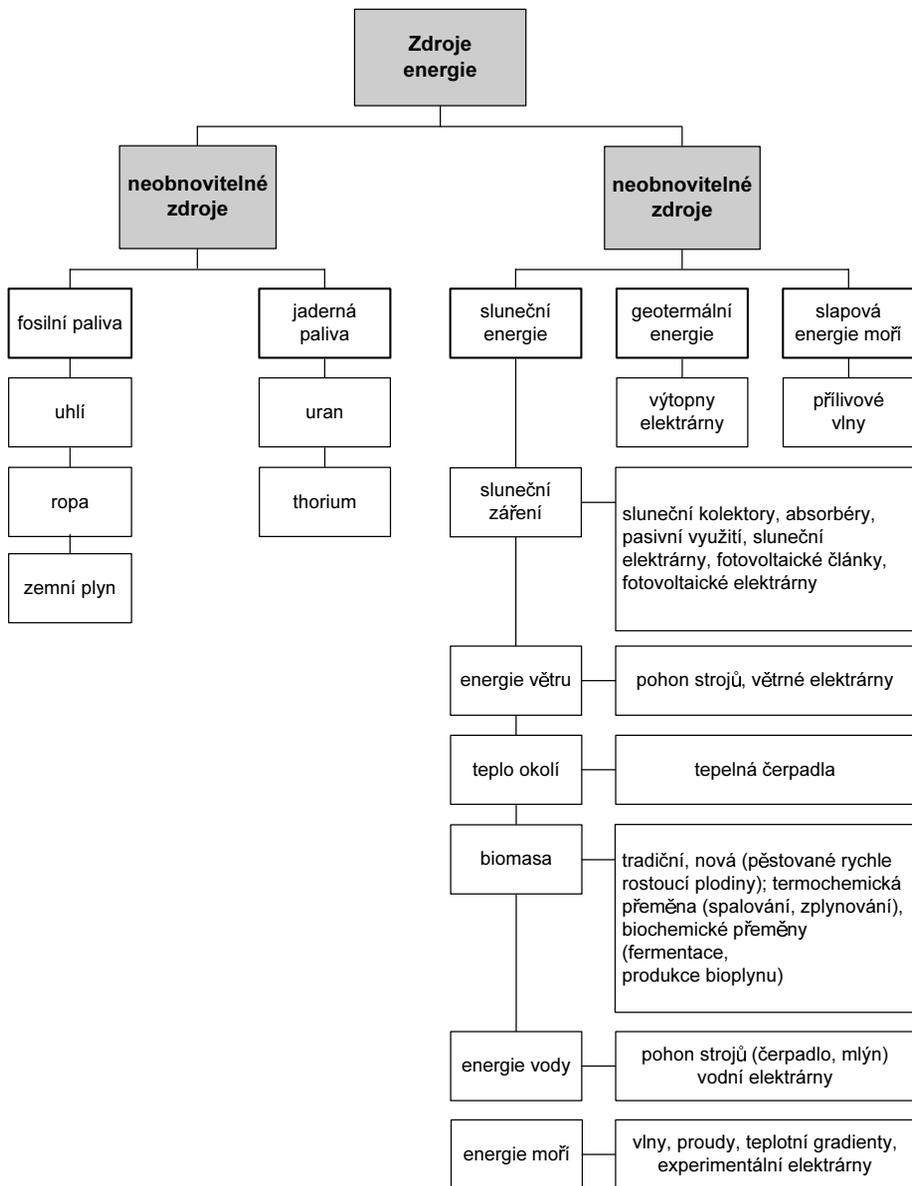
BEN – technická literatura, Praha 2003

1. vydání

ISBN

ENERGETIKA V PŘÍKLADECH

1	Soustavy jednotek – přepočty	23
2	Matematická statistika	41
3	Spolehlivost	55
4	Termodynamika	91
5	Elektrotechnika	121
6	Ekonomická efektivnost	149
7	Paliva a spalování	183
8	Kotle	221
9	Tepelné Turbíny	251
10	Tepelné Výměníky	275
11	Čerpadla, ventilátory	289
12	Technicko-hospodářské ukazatele parních výroben	299
13	Literatura	335



OBSAH

ENERGETICKÉ ZDROJE ČESKÉ REPUBLIKY V 21. STOLETÍ 17

1 SOUSTAVY JEDNOTEK – PŘEPOČTY 23

- 1.1 Metodika přepočtu hodnot
veličin na jednotky jiné měrové soustavy 25
- 1.2 Přepočet jednotek entalpie 26
- 1.3 Přepočty jednotek měrné tepelné kapacity 26
- 1.4 Přepočet libovolné veličiny spalín,
vztažené na hmotnost nebo objem 27
- 1.5 Měření tlaku páry v kotli a vakua v kondenzátoru 29
- 1.6 Určení absolutního tlaku páry v kotli a v kondenzátoru 30
- 1.7 Výpočet teploty směsi a objemový průtok spalín komínem 31
- 1.8 Měření teploty páry 32
- 1.9 Výpočet prodloužení ocelové tyče 33
- 1.10 Určení hustoty a měrného objemu oxidu uhličitého 33
- 1.11 Určení molekulové hmotnosti vzduchu
a parciální tlaky zadaných objemových podílů složek 34
- 1.12 Přepočet jednotek koncentrace emisí spalín
elektrárenského bloku 35
- 1.13 Přepočty vzájemných závislostí relativní
a absolutní vlhkosti vzduchu 38

2 MATEMATICKÁ STATISTIKA 41

- 2.1 Určení střední hodnoty
a směrodatné odchylky naměřených hodnot 42

2.2	Určení aritmetického průměru a směrodatné odchylky ze sledovaných dob života výrobků	43
2.3	Výpočet statistických charakteristik vzorků uhlí.....	45
2.4	Výpočet lineární regrese obsahu popela v uhlí na vodu, na výhřevnost, popela a vody na výhřevnost	51
3	SPOLEHLIVOST	55
3.1	Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu jednotek s aktivní zálohou	57
3.2	Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu a střední doby provozu	58
3.3	Výpočet spolehlivostních ukazatelů pro jednotky s pasivní zálohou	59
3.4	Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu systému s přepínačem	61
3.5	Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu číslicového řídicího systému	62
3.6	Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu napáječek	64
3.7	Výpočet součinitele pohotovosti a bezporuchovosti provozu napájecí stanice	65
3.8	Výpočet spolehlivostních charakteristik kotle při provozu různého počtu mlecích okruhů.....	66
3.9	Určení pravděpodobnosti, že uhelné mlýny zajistí požadovaný provoz elektrárenského bloku	76
3.10	Výpočet pravděpodobnosti provozu pro blokový transformátor a vedení	77
3.11	Pravděpodobnost bezporuchového provozu dvou elektrárenských bloků	78

3.12	Pravděpodobnost přechodu elektrárenského bloku ze stavu opravy do provozuschopného stavu	80
3.13	Výpočet součinitele pohotovosti systému dvou bloků	81
3.14	Vytvoření spolehlivostního schéma elektrárenského bloku	82
3.15	Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu systému, složeného z neobnovovaných prvků	84
3.16	Výpočet činitele zabezpečení provozu elektrizační soustavy ..	85
3.17	Ze zadaných spolehlivostních ukazatelů vypočítejte pravděpodobnost bezporuchového provozu	89
4	TERMODYNAMIKA	91
4.1	Výpočet výsledné teploty směřováním dvou proudů vody	93
4.2	Výpočet změny objemu spalin při ochlazení	93
4.3	Výpočet vzniklého tepla v ložisku a potřebný průtok oleje pro chlazení.....	94
4.4	Výpočet tepelného výkonu parního kotle	95
4.5	Určení entalpie a objemu páry	96
4.6	Určení entalpie mokré páry	97
4.7	Určení stavu vodní páry	97
4.8	Stanovit entalpii, objem, suchost páry a teplotu po expanzi	98
4.9	Výpočet výrobního tepla vodní páry	99
4.10	Určení stavu páry po adiabatické expanzi	99
4.11	Výpočet množství páry získané škrcením	100
4.12	Výpočet hmotnostního průtoku vody pro regulaci teploty páry vstříkem	100
4.13	Určení hmotnostního průtoku vstříkované vody pro získání redukované páry s požadovanými parametry	101

4.14	Výpočet teoretické tepelné účinnosti parního zařízení	102
4.15	Tepelná účinnost ideálního pochodu při změnách vstupního tlaku	103
4.16	Výpočet tepelné účinnosti ideálního pochodu	104
4.17	Výpočet provozních ukazatelů protitlakého turbosoustrojí....	105
4.18	Omezení nevhodného škrcení páry v redukčních stanicích (točivá redukce páry)	107
4.19	Energetická a exergická bilance NTO	110
4.20	Korekce změřeného průtoku průtokoměrem	112
4.21	Porovnání energetické a exergické bilance a účinnosti elektrárenského bloku	113
5	ELEKTROTECHNIKA	121
5.1	Operátor natočení fází	123
5.2	Výpočet maximálních a efektivních hodnot proudu a napětí.....	124
5.3	Výpočet zdánlivého výkonu v jednotlivých fázích trojfázového obvodu	125
5.4	Výpočet rezistancí v elektrickém obvodu	127
5.5	Výpočet admitance a impedance v elektrickém obvodu s rezistancemi a indukčnostmi.....	127
5.6	Výpočet admitance a impedance v elektrickém obvodu s kapacitami	128
5.7	Výpočet výkonu a proudu jednofázového spotřebiče	129
5.8	Výpočet proudu trojfázového motoru	129
5.9	Výpočet příkonu elektrického ohříváče vody	130
5.10	Výpočet úbytku napětí na vodiči v rozvodu nn	131
5.11	Napětí na rozvaděči vn	132

5.12	Výpočet napětí na přípojnících rozvaděče	133
5.13	Přepočítání impedance s ohledem na převod transformátoru	134
5.14	Náhradní schéma trojfázového dvojitě vinutého transformátoru	136
5.15	Náhradní schéma trojnásobně vinutého transformátoru	137
5.16	Řešení zkratových poměrů, návrh vypínačů a napěťové poměry při rozběhu asynchronního motoru	139
5.17	Samonajíždění skupiny elektromotorů	145
6	EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST	149
6.1	Porovnání dvou variant organizace výstavby energetického zdroje	151
6.2	Ekonomické posouzení instalace nového řídícího systému pro technologické zařízení	152
6.3	Posouzení reálnosti financování výstavby paroplynového bloku	153
6.4	Volba typu plynové turbíny	155
6.5	Určení teplotního součinitele paroplynové teplárny	157
6.6	Posouzení podmínek vhodnosti použití paroplynového zařízení nebo klasického parního oběhu s fluidním kotlem	161
6.7	Posouzení vlivu dvousložkové ceny elektřiny na zisk za dodávku elektřiny	165
6.8	Ekonomické posouzení varianty obnovy kondenzačního uhelného bloku s novým uhelným a paroplynovým blokem ...	166
6.9	Optimální návrh teplárny s motorovou kogenerací	172
6.10	Vypočítejte hlavní ekonomické charakteristiky kondenzačního bloku s fluidním kotlem na hnědé uhlí. Rozbor proveďte z hlediska projektanta	177

7	PALIVA A SPALOVÁNÍ	183
7.1	Výpočet výhřevnosti z prvkového rozboru paliva	185
7.2	Výpočet spalného tepla a výhřevnosti hnědého uhlí	186
7.3	Výpočet výhřevnosti paliva pro zadané Q_v , W^r , H^r	186
7.4	Výpočet výhřevnosti a obsahu popela pro vysušení uhlí	187
7.5	Změna hmotnosti uhlí na skládce vlivem povětrnostních změn ..	188
7.6	Změna kvalitativních znaků uhlí vlivem atmosférických srážek při jeho dopravě	189
7.7	Posouzení kvalitativních ukazatelů dvou druhů uhlí	190
7.8	Určení výhřevnosti a spalného tepla mazutu	193
7.9	Výpočet výhřevnosti zemního plynu pro zadané složení	194
7.10	Výpočet kvalitativních charakteristik uhlí z jeho prvkového složení	194
7.11	Určení teoretické teploty nechlazeného plamene	200
7.12	Výpočet výhřevnosti směsi paliva	203
7.13	Výpočet hospodárneho provozu granulačního práškového kotle s přehříváním páry	204
7.14	Výpočet hospodárneho provozu fluidního kotle s cirkulující vířivou vrstvou a přímým odsířením	212
7.15	Výpočet spalování zemního plynu a účinnost kotle	218
8	KOTLE	221
8.1	Výpočet granulačního ohniště	222
8.2	Bilance tlakových výhřevných ploch	224
8.3	Výpočet ohříváku vzduchu	228
8.4	Výpočet ohříváku vody	231
8.5	Návrh svazkového přehříváku páry	234

8.6	Účinnost kotle	238
8.7	Vliv technologických proměnných na komínovou ztrátu a spotřebu elektřiny ventilátorů	239
8.8	Využití odluhu z bubnového kotle	242
8.9	Těsnost spalinového traktu kotle	247
9	TEPELNÉ TURBÍNY	251
9.1	Tepelný oběh turbíny s regulovaným odběrem páry	252
9.2	Výpočet hmotnostního průtoku chladicí vody a chladicí poměr kondenzátoru turbíny	254
9.3	Hmotnostní průtok páry kondenzační turbíny s neregulovanými odběry	255
9.4	Parní kondenzační oběh s nízkotlakými regeneračními ohříváky	256
9.5	Kondenzační turbína s regulací škrcením a skupinovou	262
9.6	Nastavení součinitele nerovnoměrnosti regulátorů otáček turbíny	265
9.7	Určení statické charakteristiky výrobního systému paralelně pracujících jednotek	267
9.8	Otevřený oběh plynové turbíny	268
9.9	Tepelná bilance plynové turbíny	271
10	TEPELNÉ VÝMĚNÍKY	275
10.1	Ztráty tepla a určení teploty vnějšího povrchu izolované trubky	277
10.2	Měrný tepelný tok rovinnou stěnou	278
10.3	Závislost ztráty exergie na teplotách látek, protékajících výměníkem	279
10.4	Průchod tepla rovinnou cihlovou stěnou	281

10.5	Tepelné ztráty potrubí v závislosti na materiálu izolačních vrstev	281
10.6	Snížení tepelného toku trubky vnějšími nánosy	283
10.7	Ztráty neizolovaného a izolovaného potrubí	283
10.8	Ohřev napájecí vody v NTO	284
10.9	Hmotnostní průtok napájecí vody, topné páry a ohřátí napájecí vody v odplyňovači.....	285
10.10	Určení velikosti výhřevné plochy ohříváku vody pro různé varianty	287
11	ČERPADLA, VENTILÁTORY	289
11.1	Výpočet charakteristik potrubí a čerpadla	290
11.2	Výpočet příkonu napájecího čerpadla elektrárenského bloku	292
11.3	Výpočet příkonu vzduchových ventilátorů kotle elektrárenského bloku	293
11.4	Výpočet příkonu spalinových ventilátorů kotle elektrárenského bloku	294
11.5	Porovnání pohonu napájecího čerpadla elektrárenského bloku parní turbínou a elektromotorem	296
12	TECHNICKO-HOSPODÁŘSKÉ UKAZATELE PARNÍCH VÝROBEN	299
12.1	Spotřební charakteristika horkovodního kotle	301
12.2	Charakteristika parního kotle 1600 [t/h]	303
12.3	Sestrojení spotřební charakteristiky ze čtyř měřených dvojic P, Q	306
12.4	Spotřební charakteristika vyrovnaná třemi přímkovými úseky	307

12.5	Přibližné řešení spotřební charakteristiky elektrárenského bloku	309
12.6	Výpočet spotřeby tepla bloku 200 MW, spotřební charakteristiky a poměrného přírůstku spotřeby	311
12.7	Výpočet měrné spotřeby páry elektrárenského bloku s přehříváním páry	314
12.8	Výpočet celkové a dílčích účinností elektrárenského bloku, měrné spotřeby energie na vyrobenou a dodanou elektřinu ...	315
12.9	Vliv dominantních ukazatelů na celkovou ekonomickou efektivnost kondenzačního elektrárenského bloku	318
12.10	Výpočet technicko-hospodářských ukazatelů elektrárenského bloku	322
12.11	Výpočet spotřeby paliva a měrné spotřeby energie na výrobu a dodávku elektřiny	323
12.12	Optimální rozdělení výkonu dvou spolupracujících elektrárenských bloků (řešení nevybočuje z regulačního rozsahu bloků)	324
12.13	Optimální rozdělení činných výkonů při paralelní spolupráci jednotek pro požadované zatížení (vytvoření výkonu bloku mimo regulační rozsah)	326
12.14	Rozdělení výkonu tří paralelně pracujících jednotek	327
12.15	Instalace mikroturbíny v blokové plynové výtopně	330
13	LITERATURA	335
	PŘÍLOHA 1 – (TABULKY)	341
	PŘÍLOHA 2 – (TABULKY)	349
	PŘÍLOHA 3 – (TABULKY)	355

Publikace **Energetika v příkladech** je 2. dílem **Technického průvodce energetika** – 1. díl (Praha, BEN – technická literatura, 2002). V TPE byl proveden výběr nejdůležitějších technických a ekonomických informací pro řešení úloh optimalizace v elektroenergetice. Elektrárénství, teplárenství, přenos a rozvod energií zasahuje do několika oborů (elektroenergetika, strojírenství, chemie, automatizace a řízení, ekologie, ekonomie a další), při aplikaci základních disciplín matematiky, fyziky, chemie, ekonomie a využití praktických zkušeností. TPE umožňuje pracovníkům v elektroenergetice rychlé a přehledné získání základních informací o důležitých parametrech pracovních medií, oběhů, exaktních a regresních vztazích, charakteristikách, doporučených provozních metodách a hodnotách vybraných veličin, potřebných pro optimální řízení provozu, při rozhodování a údržbě a modernizaci zařízení elektráren.

V nyní předkládané publikaci **Energetika v příkladech** jsou uvedeny konkrétní numerické výpočty důležitých úloh a vztahů, od jednoduchých ke složitějším výpočtům, optimalizační výpočty, které jsou potřebné k rozhodování v řídicí činnosti v energetice. Autoři se snažili, pokud bylo možné, zařadit jednotlivé tématické okruhy a příklady v souladu s TPE (Technickým průvodcem energetika – 1. díl). V každé tématicky zaměřené kapitole příkladů je odvolání na teoretickou část zpracovanou v TPE, která potom není již při řešení konkrétních příkladů opakována a je použito jen příslušných teoretických vztahů.

Cílem publikace je umožnit uživatelům získat teoretické a praktické prostředky k některým samostatným početním řešením technicko-ekonomických aplikací, využití teoretických vztahů v praxi, což přispěje lépe k tvůrčí práci, technicko-obchodním jednáním a rozhodování v energetice.

V současné době při využívání vyspělé výpočetní techniky a uplatňování progresivních informačních a řídicích systémů se částečně obracíme i k použití ručních numerických výpočtů. Důvodem jsou logické a praktické poznatky, že pro vytváření programů pro PC v oblasti informatiky, automatizace různých agend, řídicí techniky je potřebná velmi dobrá znalost technologického zařízení, jeho chování v různých provozních stavech a zkoumání možností optimalizace provozu. V elektroenergetice jde zejména o automatické systémy řízení technologických procesů a správné řízení, automatizace různých agend (spolehlivost, diagnostika, údržba, ekonomie a další). Vytváření aplikačního software pro různé oblasti je možné jen při dobrých znalostech technologického zařízení, které umožní identifikaci a formulaci modelu řízení, algoritmu a vytvoření programu.

Existují programy kategorie freeware (shareware), které lze výhodně použít pro zrychlení a zpřesnění výpočtů dílčích úloh v energetice (např. pro přepočet jednotek, statistiku, spolehlivost systémů, výpočty oběhů, výpočty zkratových poměrů, výpočet technicko-ekonomické efektivity, diagramy a tabulky vodní páry, spalování a další). Samozřejmě existuje v elektroenergetice další řada speciálních programů, nové se tvoří a jsou předmětem obchodních jednání.

S výhodou lze využívat např. tabulkový procesor Excel, který dává do ruky uživatelům účinný nástroj, který umožní vlastními silami vytvořit a řešit požadovanou početní úlohu.

Přáním autorů je, aby předložená publikace se stala jednou z používaných pomůcek při jejich práci, řízení a posílila tradiční velmi dobré adaptivní schopnosti českých elektroenergetiků k tvůrčí práci.

V prvním dílu **Technický průvodce energetika** byla popsána historie energetiky v ČR, ve druhém dílu je v úvodu zařazena stručná část o předpokládaném perspektivním rozvoji energetiky v 21. století, zejména z hlediska použití neobnovitelných a obnovitelných zdrojů primární energie.

ENERGETICKÉ ZDROJE ČESKÉ REPUBLIKY V 21. STOLETÍ

Energetika v současné době prochází obdobím velkých změn. Zavádění trhu s energií ve většině průmyslových států vyžaduje zajištění dostatku energie pro udržení požadovaného růstu a pokroku. Technická a ekonomická kritéria jsou prvořadá, uplatňují se ve volbě technologie zdroje s cílem zvýšení technické úrovně zařízení a z ekonomických kritérií trh rozhoduje, který zdroj a jak se v dodávkách elektřiny uplatní. Zvyšují se nároky na ochranu životního prostředí. Většina problémů se znečišťováním životního prostředí toxickými látkami z energetických výroben byla zčásti vyřešena, do popředí se dostává hrozba skleníkového efektu, k čemuž hlavní měrou přispívá CO₂ a další skleníkové plyny produkované energetickými zařízeními.

Vývoj energetiky je výrazně ovlivňován technickými, politickými, ekonomickými a jinými faktory. Nejpravděpodobnější odhad budoucího vývoje spotřeby energie lze určit pouze po zhrubné analýze dosavadního vývoje a všech relevantních faktorů. Z poklesu požadavků na spotřebu elektřiny v průběhu transformačního procesu, ani z jiných dnes provozovaných hospodářských a sociálních jevů v České republice nelze vyvozovat závěr stagnace rozvíjení zdrojů. Ze srovnání vývoje ekonomiky a spotřeby elektřiny v západoevropských zemích lze odvodit závěr, že s růstem hrubého domácího produktu, požadovaného dosažení úrovně EU a ostatních makroekonomických ukazatelů spotřeba v České republice v 21. století poroste. Jedním z vážných problémů ekonomiky je její vysoká energetická náročnost. Zaostávání České republiky i za méně rozvinutými zeměmi EU musí být odstraněno, úsporná opatření na straně spotřeby potom budou mít za následek snižování temp přírůstků spotřeby elektřiny. Snižováním energetické náročnosti se sníží náklady na elektřinu a teplo. Takto uvolněné prostředky budou moci být využity na nákup jiného zboží a služeb a na jiné investice. Proto je snížení energetické náročnosti jednou ze základních podmínek rozvoje české ekonomiky směrem k vyspělým státům EU.

Dosáhnout úrovně energetické náročnosti zemí EU není možné bez dalšího rozvoje kombinované výroby elektřiny a tepla, která je významným prostředkem pro snížení energetické náročnosti české ekonomiky i snižování dopadů energetiky na životní prostředí. Bude potřebné výrazně zvýšit jak podíl kombinované výroby elektřiny a tepla, tak i obnovitelných zdrojů energie. Pokud by např. byly doplněny velké a střední plynové výtopny kogeneračními jednotkami, bylo by možné získat významný výkon až asi 1500 MW, snížit náklady, snížit potřebu primární energie, snížit emise škodlivin a emise skleníkových plynů.

Perspektivní krytí zvýšené poptávky na dodávky elektřiny a náhradu výkonu dožívajících elektráren lze zajistit:

- dovozem elektřiny,
- výstavbou nových zdrojů elektřiny v České republice.

První variantu je třeba odmítnout, vedla by ke značnému růstu negativního salda zahraničně obchodní bilance České republiky a degradovala by vysokou odbornou úroveň českých pracovníků v energetice a energetickém strojírenství, tradičně dosahující úroveň vyspělých

světových států a dosahující velmi dobrých výsledků v zajišťování výroby a rozvodu elektrické energie a tepla.

Při prognózách dalšího vývoje energetiky je nutno přihlídnout ke specifickému stavu v jednotlivých regionech. V České republice bude mít v první polovině 21. století vliv skutečnost, že zásoby hlavního energetického paliva – hnědé uhlí budou vyčerpány v letech 2030–2050. Kdy se tak skutečně stane závisí na tom, zda bude zvolena útlumová varianta těžby hnědého uhlí (ta by prakticky skončila kolem roku 2035) nebo optimalizovaná varianta (konec těžby kolem roku 2060). Realizace optimalizované varianty je však podmíněna zrušením ekologických limitů pro lomové provozy některých dolů a závisí tedy na politickém rozhodnutí. Při realizaci optimalizované varianty byla by možná výstavba několika nových výrobních zdrojů

V první řadě jde o možnost jak získat primární zdroje (přístup k nim), v druhé řadě o potřebnou diverzifikaci těchto zdrojů. Ze základních nových zdrojů lze prioritně uvažovat o nové typové řadě moderních kondenzačních elektrárenských monobloků, spalujících tuzemské, případně i omezeně importované uhlí. V úvahu připadají bloky většího výkonu. Podle provedených optimalizačních studií lze realizovat takový blok, s výrazně zvýšenou účinností. Fluidní kotle nespĺnily zatím v některých směrech očekávání (vyšší měrné investiční náklady, vyšší vlastní spotřeba elektrické energie, horší komerční uplatnění tuhých zbytků po spalování), jsou pro bloky velkých výkonů uvažovány klasické práškové kotle s odsířením metodou mokré vápencové vypírky. Vyšší využití fluidních kotlů lze očekávat spíše pro malé a střední výkony elektrárenských a teplárenských bloků, pro spalování méněhodnotných paliv, směsí různých odpadních paliv a biomasy.

Jednoduchý parní oběh s práškovým kotlem prošel rychlým vývojem. Zatímco tyto oběhy ze 70. let pracovaly s celkovou účinností kolem 35 %, současný stav již dovoluje dosáhnout účinnosti až 45 %. Vývoj nových ocelí ukazuje, že v nejbližší budoucnosti (po roce 2015) bude možno zvýšit parametry páry až do oblasti 35,0 MPa, 700/720 °C. Je pravděpodobné, že zvýšení parametrů páry spolu s dalšími technickými opatřeními např.:

- použití průtočného výparníku s vnitřně žebrovanými trubkami,
- využití citelného tepla spalin odcházející z kotle (pod 100 °C) pro ohřev kondenzátu nebo spalovacího vzduchu, součinitel přebytku vzduchu 1,15,
- dvojí přihřívání páry, regenerativní ohřev napájení až na teplotu 300 °C před vstupem do kotle,
- zlepšení termodynamické účinnosti turbíny z dnešních 90 % na cca 95 %,
- zdokonalování a zjednodušení odsířovacího zařízení (přívod spalin do chladicí věže, nepoužívání výměníků spaliny/spaliny, použití jednoho spalinového ventilátoru),

Umožní v polovině 21. století dosáhnout celkovou účinnost bloku přes 50 %.

Hlavními důvody vývoje technologie paroplynového oběhu se zplyňováním tuhého paliva (IGCC) byla vysoká cena zemního plynu a dřívější nižší odhady jeho zásob.

Tyto důvody ztrácejí v poslední době na významu (dnešní odhady zásob zemního plynu se pohybují kolem 80 až 100 let při dnešní spotřebě). Technologie IGCC má vzhledem k jednoduchému parnímu oběhu spalujícímu uhlí řadu nevýhod: je složitější, investiční náklady jsou vyšší, účinnost nižší nebo nanejvýše stejná, složitější provoz. Proto je malá naděje, že tato technologie výrazněji prorazí na volném trhu. Obdobné závěry lze učinit i pro vývoj tlakového spalování uhlí a paroplynový cyklus.

Nové uhelné bloky by měly být součástí stávajících elektráren, kde by bylo využito již zabudovaných zařízení společných provozů, správních a sociálních objektů. Za těchto předpokladů bude možné v první třetině 21. století u nás uvažovat o výstavbě několika takových bloků o výkonu á 350 MW, případně á 600 MW pro spalování černého i hnědého uhlí. Optimalizovaná varianta těžby hnědého uhlí by tedy umožnila ekonomické dožití stávajících uhelných elektráren a výstavbu několika moderních uhelných bloků pro životnost 35 až 40 let.

O využití zemního plynu pro výrobu elektřiny budou rozhodovat především ekonomické faktory, hlavně cena. Cena zemního plynu v České republice je proti uhlí vysoká, vzhledem k importu je značně závislá na vnějších vlivech. Z těchto důvodů nelze doporučit instalaci větších výkonů zdrojů na spalování zemního plynu. Vzhledem k vysoké účinnosti paroplynových cyklů a dobrým dynamickým vlastnostem pro služby v elektrizační soustavě by bylo možné uvažovat na počátku 21. století o výstavbě jen asi dvou až tří paroplynových bloků bez přitápění s moderními spalovacími turbínami a parní turbínou. Při úvahách o využití zemního plynu pro začátek 21. století bude vhodné zvážit i aplikaci paroplynových oběhů při obnově a modernizaci stávajících vybraných uhelných elektráren. Přehled hlavních typů paroplynových oběhů je v TPE *obr. 1.19*. Touto modernizací lze získat nový pružný výkon pro elektrizační soustavu a zvýšit účinnost na dodávku elektřiny.

Na počátku 21. století, jak již uvedeno, bude potřebné podle místních podmínek intenzivně rozvíjet kogeneraci, sdruženou výrobu elektrické a tepelné energie. Pro teplárny při použití zemního plynu rozšířit instalaci kogeneračních jednotek středního výkonu (elektrický výkon až 20 MW) a kogenerační zařízení (parní a plynové) turbíny, spalovací motory.

Pro dožití stávajících modernizovaných uhelných elektráren a nových moderních tepelných bloků (předpoklad jejich vybudování v první třetině 21. století) bude výstavba jaderných bloků jednou z důležitých variant pro řešení výroby dostatku elektrické energie v České republice. Z důvodů ukončení těžby uhlí i diverzifikaci primárních zdrojů je potřebné v první třetině 21. století připravovat řešení pro výstavbu jaderných bloků (z hlediska paliva, ekologie, zejména redukce tvorby CO₂), založenou na vývojových tendencích zaměřených na zdokonalování tlakovodních reaktorů. Po několik desetiletí musí náhradu fosilních paliv a potřeby rozvoje elektrizace pokrývat jaderná energetika. Ta sníží dosavadní úroveň znečišťování ovzduší a hrozbu změn světového klimatu emisemi skleníkových plynů, zejména zajistí redukci tvorby CO₂. Dosažená technická a bezpečnostní úroveň jaderných elektráren a zajišťování dalších inovací jsou již pro civilizaci bezpečnější než některé alternativní systémy.

Pro výstavbu v úvahu přichází např. reaktor EPR (European Pressurized Water Reactor) vyvíjený firmou Siemens a Framatom s novými bezpečnostními systémy. Pro tento reaktor je typické dvousmyčkové uspořádání s integrálním uspořádáním parního generátoru a hlavních cirkulačních čerpadel. Pasivní bezpečnostní systémy připojené na primární okruh zajišťují odvod zbytkového tepla, doplňování vody primárního okruhu a vysokotlaké i nízkotlaké havarijní chlazení aktivní zóny při LOCA haváriích (čtyřnásobná redundance). Odvod tepla z kontejmentu je zajišťován pasivním systémem využívajícím přirozeného komínového tahu vzduchu po vnějším plášti ochranné obálky.

Další evoluční skupinu reaktorů s pasivní bezpečností představuje systém AP-600 firmy Westinghouse. Jde rovněž o dvousmyčkové uspořádání s integrálním uspořádáním parních generátorů, hlavních cirkulačních čerpadel a pasivní bezpečnostní systémy. Rovněž odvod tepla z kontejmentu bude zajišťován pasivním systémem.

Pro další budoucnost třeba dokázat, zda bude možné využít termonukleární fúze v energetice, nebo konstatovat její využitelnost za neuvěřitelnou a urychleně hledat jiné perspektivní cesty.

Z ostatních primárních energetických zdrojů je třeba zintenzívnit využití obnovitelných zdrojů energie (OZE), reálně aplikovatelných v České republice a zvýšit podíl těchto zdrojů v celkové bilanci. Většina alternativních zdrojů jsou zdroje poměrně nízké hustoty a v některých případech vyžadují koncentrování a uchování energie. Výstavba a provoz obnovitelných zdrojů vyžaduje vysoké pořizovací a výrobní náklady. Tyto zdroje zatím většinou nejsou schopny volné soutěže s ověřenými zařízeními velké energetiky. Pokud bude budoucnost obnovitelných zdrojů ponechána jako doposud pouze na energetickém trhu, nemohou být jejich výhody, zejména z titulu spotřeby a ekologie, dostatečně rychle a plně využity.

Při úvahách o využití, dalším rozvoji OZE a hodnocení podílu jejich využívání k celkové spotřebě primární energie státu je třeba rozlišovat, jak se které zdroje do bilance zahrnují. V České republice pro výrobu elektřiny z vodní energie v zařízeních do 10 MW_e, sluneční energie, větrné energie, biomasy v zařízeních do 5 MW_e a pro výrobu tepla ze sluneční energie, geotermální energie, biomasy v zařízeních do 20 MW_t, bioplynu z palivových článků. OZE umožňují podstatně méně devastovat přírodu spalováním fosilních paliv. Rozšíření jejich používání přispívá ke kombinaci centrálního systému s decentralizovanými místními zdroji. V současné době se celková výroba elektřiny z OZE v České republice odhaduje na cca 2 % tuzemské spotřeby primárních energetických zdrojů.

Dle programu EU má vzrůst podíl OZE v zemích EU do roku 2010 na 12 % z celkových energetických zdrojů. Zdroje obnovitelné energie jsou v České republice charakterizovány relativně vysokou mírou využívání hydrologického potenciálu ve vodních elektrárnách. Ze statistických údajů o technické využitelnosti vyplývá, že dosud je využíváno zhruba 75 % vodní energie. To představuje do budoucna potenciální rezervu pro doplňkovou výrobu elektrické energie v malých vodních elektrárnách. Značný počet míst pro stavbu malých vodních elektráren leží v chráněných krajinných oblastech. Nejčtenějším typem jsou i pro budoucnost malé vodní elektrárny průtočné, derivační. Oblast návrhových parametrů je pokryta základními typy turbín, obvykle používanými v malých vodních elektrárnách (Pelton, Francis, Kaplan, Bánki, aplikace čerpadel ve funkci vodních turbín) v různých modifikacích. Odhaduje se, že je možné ještě vybudovat několik set malých vodních elektráren.

Podmínky pro využívání větru nejsou v České republice zvláště příznivé. Na většině území České republiky je průměrná rychlost větru nižší než 4 m/s, což je nejnižší hranice pro hospodárné užití ve větrných elektrárnách. Ze zahraničních poznatků vyplývá, že lze ekonomicky využívat větrnou energii tam, kde bude roční produkce alespoň 800 kWh/m², což znamená, že střední rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí musí být vyšší než 4,5 m/s, ve výšce 30 m přibližně 5,7 m/s. S respektováním zákona o ochraně přírody a místním povolovacím řízením se odhaduje, že by bylo možné v ČR postavit 1200 až 1600 větrných elektráren s malými instalovanými výkony. Do obnovitelných zdrojů se zařazuje biomasa, kterou lze použít přímo jako palivo pro výrobu tepla, pro výrobu bioplynu a dřevoplynu, pro výrobu kapalných paliv. Současně jsou u nás odpady ukládány na skládky, část recyklována, část spalována. Skládkového plynu lze využívat pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Z výzkumu u nás provedeného a zahraničních poznatků byla prokázána možnost pěstování energetických rostlin na složištích popela a důlních výsypkách, včetně rychle rostoucích dřevin. Kromě energetického zisku je

důležité ozelenění devastované půdy, což umožňuje přispět ke zlepšení bilance CO₂ v ovzduší. Vhodné je pro tento účel využívat i přebytek zemědělské půdy. Takto získanou biomasu lze účelně využít pro energetické jednotky.

Energii vyzařovanou sluncem lze využívat pasivně i aktivně. Použití fotovoltaických článků patří k aktivnímu využití slunce a patří k velmi perspektivním alternativním zdrojům energie. Účinnost přeměny sluneční energie na elektrickou je zatím malá (10 až 20 %), vývojem se očekává výrazné zvýšení účinnosti solárních fotovoltaických systémů až na 40 %. Rychlé rozšíření ovlivňuje omezený sluneční svit (využitelná sluneční energie má opačný průběh, než je spotřeba). Dalším omezujícím faktorem je nízké výstupní napětí jednotlivých článků a generace stejnosměrného napětí. Pro výše uvedené parametry článků je potřeba instalace přídatných zařízení, která přeměňují stejnosměrné napětí na střídavé a zajišťují transformaci napětí. Využití solární elektrické energie se v současné době zajišťuje dvěma směry:

- Výroba autonomních elektrických spotřebičů využívajících jak přímou solární energii, tak i energii akumulovanou v lokálních akumulátorech (např. autonomní elektrická svítidla, zabezpečovací zařízení apod.), není třeba připojení na elektrickou síť.
- Spojení solárního systému jako doplňku k současné distribuční elektrické síti, kde může zabezpečit náhradní napájení v případě výpadku standardní dodávky.

Fotovoltaické články nemění v čase své vlastnosti a jejich životnost se odhaduje na minimálně 20 let. Do této oblasti OZE patří sluneční kolektory, které mohou mít různou formu (teplovzdušné, kapalinové, kolektory s Fresnelovými čočkami, vakuové kolektory). Tyto zdroje mají významné regionální a lokální uplatnění.

Do pojednání o systémech OZE jsou zde zařazeny z alternativních zdrojů i mikrokogenerace (plynové mikroturbíny) a palivové články, tedy technologie, které stály dříve na okraji zájmu. Příkladem může být rychlý vývoj plynových turbín a stacionárních motorů pro kogenerační jednotky a další malé zdroje. Provizorním nasazením těchto moderních jednotek se vývoj energetiky vrací od centralizace zdrojů k jejich decentralizaci (umístění zdroje co nejbližší místu spotřeby). Realizace perspektivní decentralizace může být i významným opatřením pro snížení rizika destabilizujících útoků na zařízení energetiky ze strany globálního terorismu. Zajišťování vyššího uplatnění OZE a malých zdrojů vytváří další příznivé faktory

- snížení závislosti na dovozu ušlechtilých paliv, snížení ztrát přenosu a rozvodu,
- snížení emisí,
- vytváření nových pracovních míst,
- rozvoj regionů vedoucí k větší sociální a ekonomické soudržnosti.

Dalším faktorem podporujícím decentralizaci výroby elektřiny v tomto století jsou snižující se zásoby fosilních paliv.

Cílem pro nejbližší perspektivu v České republice je zvýšení podílu OZE na celkové spotřebě primárních energetických zdrojů na 4 až 6 % v roce 2010. Závěrem lze konstatovat, že vývoj a výroba energetických zdrojů budou v budoucnu ovlivněny v prvé řadě dostupnými primárními zdroji, přístupností k nim a dodržením potřebné diverzifikace zdrojů. Pro první polovinu 21. století zůstává v České republice uhlí majoritním zdrojem energie. Předpokládá se, že základní zatížení bude pokrýváno novými uhelnými bloky s účinností okolo 45 %, modernizovanými uhelnými bloky a jadernými elektrárnami. Pološpičkové a špičkové zařízení bude pokrýváno vodními elek-

trárnami (akumulačními, přečerpávacími), paroplynovými oběhy na zemní plyn, případně na kombinaci paliv zemní plyn/tuhá paliva či zplyňování tuhého paliva/paroplynový cyklus. Podíl velkých elektrárenských bloků na výrobě elektřiny by měl klesat ve prospěch kogeneračních jednotek s menšími výkony. Podíl alternativních zdrojů by měl výrazně stoupat.

Děkujeme našim spolupracovníkům v energetice a vysokých školách za jejich pomoc při zpracování této publikace, která shrnuje v této oblasti výsledky mnohaleté práce ve výzkumu, provozu a přípravě nových odborníků pro energetiku. Děkujeme recenzentovi panu Prof. Ing. Karlovi Sokanskému, CSc a jeho kolektivu z VŠB TU Ostrava za cenné připomínky k rukopisu díla.

V závěru předmluvy děkujeme nakladatelství BEN – technická literatura za kladný přístup k redakčnímu zpracování knihy a to zejména řediteli Liborovi Kubicovi, panu Martinovi Havlákovovi a slečně Kateřině Hrubé.

V Praze, leden 2003

Prof. Ing. Zbyněk Ibler, DrSc
Prof. Ing. Jan Karták, DrSc
Doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc
Ing. Zbyněk Ibler