

ZBYNĚK IBLER A KOL.

TECHNICKÝ PRŮVODCE ENERGETIKA

Praha 2002



Publikace **Technický průvodce energetika** obsahuje souhrn důležitých informací z oblasti elektrárenství a teplárenství, potřebných pro pracovníky energetiky a energetického strojírenství při řešení úkolů v předprojektové přípravě, stavbě, provozu a modernizaci energetických zařízení. Informace jsou využitelné pro úspěšné naplňování ustanovení nových zákonů ČR o hospodaření energií a energetického zákona. Průvodce je vhodný i pro studenty středních a vysokých škol.

Informace a postupy řešení jsou zpracovány z pozice základních disciplín fyziky, chemie, elektroenergetického inženýrství a současného stavu znalostí v této oblasti u nás a v zahraničí.

Vě všeobecné části jsou popsány důležité disciplíny potřebné a často užívané v energetice tj. statistika, teorie chyb, spolehlivost, termodynamika, elektrotechnika, regulace technologických procesů a metody posuzování ekonomické efektivity.

Další část se zabývá kvalitativními znaky pracovních medií elektrárenských a teplárenských oběhů, konstrukčními a provozními materiály, informacemi o vybraných technologických zařízeních (kotle, turbíny, tepelné výměníky, elektrická zařízení, dopravní zařízení, čerpadla, ventilátory, chemická úprava vody a zařízení pro omezení emisí škodlivin do životního prostředí) a jejich pracovních charakteristikách, metodami a modely pro optimální řízení provozu. Závěrečná část pojednává o provozu elektrárenských a teplárenských bloků v elektrizační soustavě (včetně mezinárodní spolupráce) a teplofikačních soustavách.

Zbyněk Ibler a kol.

TECHNICKÝ PRŮVODCE ENERGETIKA

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 2002

© 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 recenzentů: Prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., Ing. Jiří Mika, CSc.,
Ing. Ladislav Kysela, Doc. Ing. Vladislav Vilimec,
Ing. Jiří Tomčala, Prof. Ing. Jaromír Polák, CSc.

Zbyněk Ibler a kol.

TECHNICKÝ PRŮVODCE ENERGETIKA

BEN – technická literatura, Praha 2002

1. vydání

ISBN 80-7300-026-1

OBSAH

	OBSAH	5
	HISTORIE ELEKTROENERGETIKY	13
1	VŠEOBECNÁ ČÁST	21
1.1	Soustavy jednotek	22
1.1.1	Základní jednotky SI	22
1.1.2	Doplňkové jednotky SI	22
1.1.3	Druhotné jednotky	22
1.1.4	Násobky a díly jednotek	25
1.1.5	Přehled vybraných SI a dříve užívaných jednotek technické nebo fyzikální soustavy, vztahy pro přepočítání	25
1.1.6	Jednotky v anglosaských státech	27
1.1.7	Převod teplot v různých teplotních stupnicích	30
1.1.8	Převod vybraných veličin pro přepočty anglo-amerických a SI jednotek	30
1.1.9	Jednotky energie	32
1.1.10	Elektřina a magnetismus	33
1.1.11	Jednotky radioaktivity, expozice záření a dávek	34
1.1.12	Veličiny a jednotky užívané v analytické chemii	36
1.1.13	Veličiny a jednotky používané při hodnocení emisí	36
1.1.14	Důležité fyzikální konstanty	39
1.2	Matematická statistika	40
1.2.1	Základní pojmy	40
1.2.2	Výpočty, tabulky a grafy	41
1.2.3	Odhad pravděpodobnosti pomocí relativní četnosti	45
1.2.4	Testování statistických hypotéz	45
1.3	Vyrovňovací počet	46
1.3.1	Teorie chyb	47
1.3.2	Vyrovňovací měření	48
1.4	Spolehlivost	51
1.4.1	Neparametrický a parametrický odhad spolehlivostních charakteristik	53
1.4.2	Spojité rozdělení	55
1.4.3	Normální rozdělení	58
1.4.4	Nespojitá rozdělení	59
1.4.5	Spolehlivost systémů	60
1.4.6	Citlivostní analýza	62

1.4.7	Markovovy procesy	62
1.4.8	Pohotovost a využití zařízení	63
1.5	Termodynamika	63
1.5.1	Základní pojmy a vztahy	63
1.5.2	Stavové změny plynů	71
1.5.3	Tepelné oběhy	73
1.5.4	Exergie	82
1.6	Elektrotechnika	86
1.6.1	Stejnoseměrné obvody	86
1.6.2	Střídavé obvody	93
1.6.3	Jednofázové obvody	95
1.6.4	Trojfázové obvody	98
1.6.5	Vztahy pro výpočet konkrétních prvků elektrické sítě	101
1.6.6	Přepočtení parametrů	104
1.6.7	Výpočty zkratových poměrů	105
1.7	Ekonomická efektivnost	108
1.7.1	Aktualizace finančních částek	109
1.7.2	Reprodukce investičních prostředků, odepisování	109
1.7.3	Členění zisku a nákladů	111
1.7.4	Splácení úvěrů	114
1.7.5	Kritéria technicko-ekonomické efektivnosti	115
1.7.6	Faktory ovlivňující přesnost ekonomických výpočtů	118
1.8	Regulace technologických procesů	120
1.8.1	Dynamické vlastnosti soustav	120
1.8.2	Řídicí obvody	121
1.8.3	Optimální seřízení regulátoru	124
1.8.4	Stabilita lineárních soustav	124
1.8.5	Stavová teorie řízení	127
2	KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY	129
2.1	Kritéria jakosti konstrukčních materiálů	130
2.1.1	Pružnost	130
2.1.2	Plastická deformace	132
2.1.3	Pevnost	132
2.1.4	Tečení	132
2.1.5	Relaxace napětí	133
2.1.6	Únavové vlastnosti	134
2.2	Vlastnosti ocelí	137
2.3	Keramické žáruvzdorné materiály	140

3	TERMODYNAMIKA	145
3.1	Vodní pára	147
3.1.1	Diagramy vodní páry	148
3.1.2	Tabulky syté vody a syté páry	151
3.1.3	Tabulky přehřáté vodní páry	154
3.2	Elektrárenské bloky v ČR	155
4	PLYNY	157
4.1	Vzduch	158
4.2	Spaliny z ohnišť kotle	162
4.2.1	Tepelné veličiny spalin	162
4.2.2	I – t diagram spalin	164
4.2.3	Viskozita plynů	165
4.3	Rosný bod	168
5	PALIVA	171
5.1	Tuhá paliva	172
5.1.1	Černé uhlí	180
5.1.2	Hnědé uhlí	183
5.1.3	Biomasa	193
5.2	Kapalná paliva	194
5.3	Plynná paliva	196
6	SPALOVÁNÍ	201
6.1	Stechiometrické spalovací rovnice	202
6.1.1	Spalování tuhých a kapalných paliv	202
6.1.2	Spalování plyných paliv	210
6.2	Přibližný výpočet spotřeby spalovacího vzduchu a objemu vzniklých spalin při dokonalém spalování	212
6.3	Orientační hodnoty objemů vzduchu a spalin pro paliva spalovaná v ČR	213
6.4	Přepočty objemů spalovacího vzduchu a spalin	215
6.4.1	Přepočet na skutečnou teplotu a tlak spalin	215
6.4.2	Přepočty na stav spalin, definovaných zákonem o ochraně ovzduší 309/91 Sb. a vyhláškou 117 Ministerstva životního prostředí z roku 1997	215
6.5	Emise při spalování fosilních paliv	217
6.5.1	Výpočty produkce emisí	220
6.5.2	Výpočet součinitele emisí k_{ex} (emisní faktor)	221

6.6	Kategorizace vybraných zdrojů znečišťování, specifické emisní limity, přípustná tmavost kouře a technické podmínky provozu vybraných zdrojů znečišťování	222
6.7	Kontrola jakosti spalovacích režimů	227
6.7.1	Orientační údaje závislostí O_2 , CO_2 , λ ve spalinách	231
7	KOTLE	237
7.1	Základní charakteristické veličiny kotlů	238
7.1.1	Základní parametry	238
7.1.2	Technické ukazatele kotlů	240
7.2	Tepelný výpočet kotle	244
7.2.1	Výchozí hodnoty tepelného výpočtu kotle	244
7.2.2	Pomocné výpočty tepelné ztráty kotle, spotřeba paliva	248
7.2.3	Příprava paliva před spalováním	258
7.2.4	Výpočet ohniště a výparníku	261
7.2.5	Výpočet dodatkových výhřevných ploch kotle	262
7.3	Hydraulický výpočet kotle	264
7.3.1	Tlakové ztráty	264
7.3.2	Kontrola přirozeného oběhu vodotrubného kotle	267
7.4	Aerodynamický výpočet kotle	269
8	TEPELNÉ TURBÍNY	273
8.1	Typy turbín	274
8.2	Princip funkce	275
8.3	Energetická bilance parní turbíny	279
8.4	Chladicí systémy kondenzačních turbín	283
8.4.1	Typy chladicích systémů	284
8.4.2	Optimalizace chladicího systému	285
8.5	Plynové turbíny	287
8.5.1	Oběhy plynových turbín	289
8.5.2	Termodynamický rozbor plynového oběhu	290
8.5.3	Kogenerační jednotky s plynovými spalovacími jednotkami	293
8.5.4	Trigenerace	294
8.5.5	Mikroturbíny	295
9	TEPELNÉ VÝMĚNÍKY	297
9.1	Druhy tepelných výměníků	298
9.2	Sdílení tepla	298
9.2.1	Sdílení tepla vedením	299

9.2.2	Sdílení tepla konvekci	302
9.2.3	Sdílení tepla sáláním	314
9.3	Tepelný výpočet výměníků	321
10	KOROZE A EROZE	325
10.1	Koroze	326
10.1.1	Typy koroze	326
10.1.2	Mechanismy korozních procesů	327
10.2	Eroze	334
11	ELEKTRICKÁ ČÁST ELEKTRÁREN	337
11.1	Alternátory	340
11.1.1	Parametry synchronních alternátorů	340
11.1.2	Charakteristiky a fázorové diagramy alternátoru	345
11.1.3	Budicí soustavy alternátorů	350
11.1.4	Fázování alternátoru	351
11.2	Transformátory	354
11.2.1	Základní parametry transformátorů	356
11.2.2	Určení výkonu transformátorů	360
11.2.3	Vliv parametrů transformátorů na napěťové poměry při rozběhu velkých motorů	361
11.2.4	Paralelní chod transformátorů	364
11.3	Elektrické stanice	364
11.3.1	Elektrická schémata elektráren	369
11.4	Elektrická vedení v elektrické části elektrárny	370
12	DOPRAVNÍ ZAŘÍZENÍ	375
12.1	Jeřáby	376
12.1.1	Lana	379
12.2	Dopravníky	381
12.2.1	Charakteristické veličiny dopravníků	381
12.2.2	Pásové dopravníky	381
12.2.3	Článekové dopravníky	383
12.2.4	Žlabové dopravníky	383
12.2.5	Dopravníky bez tažného prvku	384
12.3	Překládací zařízení	384
12.4	Potrubní doprava tuhých materiálů	386
12.4.1	Pneumatická doprava	387
12.4.2	Hydraulická doprava	387

13	ČERPADLA	389
13.1	Energetická bilance čerpacího zařízení	390
13.1.1	Potrubí	394
13.1.2	Čerpadla	395
13.2	Hydrodynamická čerpadla	396
13.3	Charakteristika hydrodynamického čerpadla	398
13.4	Provoz hydrodynamických čerpadel	399
13.4.1	Regulace hydrodynamických čerpadel	399
13.4.2	Řazení hydrodynamických čerpadel v systému	401
13.5	Čerpadla pro elektrárny a teplárny spalující fosilní paliva	404
14	DOPRAVA VZDUCHU A SPALIN	407
14.1	Přirozený tah	409
14.2	Ventilátory	410
14.2.1	Rozdělení ventilátorů	410
14.2.2	Základní vztahy	412
14.2.3	Charakteristiky ventilátorů	414
14.2.4	Vzduchové ventilátory	418
14.2.5	Spalinové ventilátory	420
14.2.6	Regulace ventilátorů	420
15	CHEMICKÁ ÚPRAVA VODY	423
15.1	Periodický systém prvků	424
15.2	Vybrané ekvivalenty	428
15.3	Vlastnosti vody pro posouzení vhodnosti jejich užití pro tepelné elektrárny	429
15.4	Požadavky na kvalitu vod a páry tepelných elektráren, spalujících fosilní paliva	433
15.4.1	Vodní kotle a uzavřené soustavy	433
15.4.2	Tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem do 8 Mpa	434
15.4.3	Tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem vyšším než 8 MPa (ČSN 07 7403)	436
15.4.4	Jakost vod pro chladicí okruhy (ČSN 75 7171)	439
15.5	Kyslíkový vodní režim	439
15.6	Chemická kontrola provozu tepelných elektráren	440
16	ODSIŘOVACÍ ZAŘÍZENÍ	443
16.1	Metody odsiřování	444
16.1.1	Suché vápencové metody	444

16.1.2	Mokrý vápencová vypírka	447
16.1.3	Polosuchá metoda odsíření	449
16.1.4	Koncepce odsiřovacího zařízení spalin metodou mokré vápencové vypírky	450
16.2	Požadavky na sorbent	451
16.2.1	Klasifikace vápenců	453
16.2.2	Klasifikace vápen	454
16.2.3	Sorbent pro odsiřování spalin kotlů v ČR	455
16.3	Výpočet spotřeby sorbentu	457
16.4	Energetická bilance odsiřování spalin kotlů	459
16.5	Produkty odsiřování	461
17	SNIŽOVÁNÍ EMISÍ NO_x	463
17.1	Mechanismy vzniku NO _x	464
17.2	Výpočet produkce NO _x	466
17.3	Primární opatření ke snížení produkce NO _x	467
17.3.1	Primární opatření uskutečnitelná řízením spalovacího procesu	468
17.3.2	Primární opatření uskutečnitelná rekonstrukcí nebo novou konstrukcí spalovacího zařízení	468
17.4	Sekundární opatření pro snížení produkce NO _x	470
17.4.1	Selektivní nekatalytická redukce	470
17.4.2	Selektivní katalytická redukce	471
17.4.3	Simultánní metody	471
18	ODLUČOVÁNÍ TUHÝCH ZBYTKŮ	473
18.1	Třídění odlučovačů	474
18.2	Vlastnosti odlučovacích zařízení	475
18.2.1	Celková odlučivost	476
18.2.2	Tlaková ztráta odlučovačů	477
18.3	Některé provozní vlastnosti nejpoužívanějších odlučovačů v energetických výrobnách	478
18.4	Hodnocení odlučovačů	480
18.5	Využití a ukládání tuhých zbytků po spalování	482
19	PROVOZ TEPELNÝCH ELEKTRÁREN	485
19.1	Základní pojmy výkonu, práce a účinnosti energetických zařízení	486
19.1.1	Výkon	486
19.1.2	Práce	488

19.1.3	Časové ukazatele	488
19.1.4	Účinnost	490
19.2	Charakteristické diagramy	491
19.2.1	Diagramy elektrického zatížení	492
19.2.2	Diagramy tepelného zatížení	493
19.3	Spotřební a nákladové charakteristiky energetických výrobních zařízení	495
19.3.1	Charakteristiky kotlů	496
19.3.2	Charakteristiky turboalternátorů	511
19.3.3	Účinnost bloku kondenzační elektrárny	516
19.3.4	Spotřební charakteristiky elektrárenských a teplárenských bloků	517
19.3.5	Nákladové charakteristiky	524
19.3.6	Technicko-hospodářské ukazatele elektráren a tepláren	529
19.3.7	Úplná kontrola tepelné ekonomie	536
19.3.8	Orientační kontrola hospodárnosti provozu bloku	537
19.4	Optimalizace provozu elektrárenských a teplárenských bloků v elektrizační soustavě (ES)	540
19.4.1	Hospodárné rozdělení výkonů paralelně pracujících bloků v elektrizační soustavě	544
19.4.2	Hospodárné řazení bloků (jednotek)	547
19.4.3	Provoz bloků v regulaci	548
19.5	Optimalizace provozu výrobních jednotek v teplofikační soustavě	555
19.5.1	Optimalizace provozu teplárenské soustavy	556
19.5.2	Řízení provozu teplárenských soustav	558
19.6	Trh s elektřinou	559
20	POKRAČOVÁNÍ TECHNICKÉHO PRŮVODCE ENERGETIKA	561
21	LITERATURA	563
	PŘÍLOHA 1	569
	PŘÍLOHA 2	575
	SEZNAM TABULEK	579
	REJSTŘÍK	589
	PŘEHLED PREZENTACÍ VÝZNAMNÝCH FIREM ČESKÉ ENERGETIKY	597

HISTORIE ELEKTROENERGETIKY

Hlavními prvotními zdroji pro výrobu elektrické energie a tepelné energie v České republice byly, jsou a budou uhlí a jaderné palivo. Pro využití vodní energie nemá Česká republika, která leží v oblasti pramenů a horního povodí velkých řek, zvláště příznivé podmínky. Vodní elektrárny, vybudované na řekách s velmi kolísavými průtoky vody a malými spády, vykazují nízké roční využití. Rovněž přehradní elektrárny s akumulací vodními nádržemi a přečerpávací vodní elektrárny zajišťují výrobu elektrické energie jen v krátkých špičkových obdobích. Část dosud technicky využitelného hydroenergetického potenciálu je rozdrobena ve velkém počtu malých vodních elektráren, jejichž výstavba v určité míře dále pokračuje, nemůže však výrazně ovlivnit energetickou situaci státu.

Česká republika nemá větší zásoby ropy a zemního plynu, nutno počítat v omezené míře s importem ropy, zemního plynu a perspektivně i jaderného paliva. Z ostatních primárních energetických zdrojů přichází v úvahu zejména využití sluneční energie, spalování biomasy, větrné elektrárny, využití geotermální energie a palivových článků. I při jejich největším rozšíření lze však v nejbližší budoucnosti počítat s pokrytím nejvýše několika procent celkové spotřeby prvotních zdrojů v České republice.

Energetické zdroje v budoucnosti budou v první řadě ovlivněny dostupnými primárními zdroji, přístupností k nim a dodržení potřebné diverzifikace zdrojů. Pro první polovinu 21. století zůstává v České republice uhlí majoritním zdrojem energie.

Vývoj elektroenergetiky byl vždy svázán s politicko-hospodářskou situací v českých zemích a s možnostmi získání primárních zdrojů a jejich potřebnou diverzifikací. Při vzniku Československé republiky v říjnu 1918 zůstalo v republice po Rakousko-Uhersku asi 60 % jeho průmyslového potenciálu, včetně kvalifikovaných pracovníků. Pro rozvoj výroby a rozvodu elektrické energie byl rozhodující zákon č. 438/1919, který podporoval soustavnou elektrizaci státu. Byly vytvořeny tzv. všeužitečné elektrárenské společnosti za účasti soukromého a veřejného kapitálu. Tyto společnosti měly přiděleny určité oblasti, které zásobovaly elektrickou energií, většinou z vlastních zdrojů, dostávaly přitom státní subvence, úlevy na daních a měly právo vyvlastňovat pozemky pro účely elektrizace obcí. Zákon na svou dobu měl progresivní cíle, spočívající ve snaze soustředit výrobu do velkých jednotek energetických zdrojů a zajistit optimální vývoj rozvodných sítí. Zejména u všeužitečných elektráren byl zajišťován vývoj ke koncentraci výroby, k orientaci na místní paliva a ke zvyšování účinnosti výroby elektrické energie. V těchto elektrárnách se zaváděly vysoké tlaky, teploty páry, prášková topeniště a v některých elektrárnách kombinovaná výroba elektřiny a tepla. Zavádění

vysokých tlaků a teplot páry bylo možné hlavně proto, že naše metalurgie meziválečného období byla zejména v oblasti žárupevných ocelí na vysoké úrovni a taktéž teoretické práce v oblasti parních oběhů a termodynamických vlastností vodní páry byly v Československu na světové úrovni. Přesto však hlavní těžiště výroby elektrické energie v předválečné době a ještě v prvních letech po znárodnění bylo v závodních elektrárnách, které patřily průmyslovým závodům nebo dolům.

V první etapě meziválečného období se tvořily lokální elektrizační soustavy, v nichž sítě 22 kV a 35 kV plnily funkci přenosového i rozvodného systému. Dvojité linky 100 kV byla uvedena do provozu v roce 1927. V letech 1918–1938 se výroba elektřiny v Československu zečtyřnásobila.

Na podzim roku 1938 začala tragická, téměř sedmiletá etapa československých dějin, nacistická nadvláda Německa. Na konferenci v Mnichově dne 29. září 1938 byl dán hitlerovskému Německu souhlas s uplatněním jeho územních požadavků vůči Československu. Vážným problémem pomnichovské republiky byli uprchlíci, kteří byli vyhnáni z pohraničí bez prostředků do vnitrozemí (cca 0,5 milionu osob, kde byl i významný počet pracovníků elektráren a elektrického rozvodu). Mnichovským diktátem byl vážně porušen vývoj československé elektroenergetiky. Energetika byla těžce ochromena a stala se závislou na dodávkách elektřiny i primárních zdrojů z okupovaného území. Okupováno bylo území o rozloze cca 41 098 km² a žilo na něm téměř 5 milionů obyvatel. Okupanti zabrali na tomto území 90 elektráren (což bylo 45 % celého tehdejšího energetického potenciálu státu).

Rozbití Československa bylo dovršeno 14. března 1939 vyhlášením samostatného slovenského státu a o den později nacistickou okupací českých zemí, z nichž byl zřízen Protektorát Čechy a Morava. Okupací byla v českých zemích nastolena nacistická diktatura, používající brutálních metod k útlaku českého lidu. Nacisté zavedli válečné řízené hospodářství, uzavřeli vysoké školy s cílem přerušeni generační obměny inteligence. Po šestileté okupaci byla energetika silně narušena. Mimo zastavení vývoje elektrizace a teplárenství vznikly velké materiální škody (např. Němci realizovaná výměna měděných vodičů v sítích nízkého napětí za železné vodiče a další) způsobené válkou na energetickém zařízení, vznikly značné škody fyzickým opotřebením a řada energetických zařízení nebyla vůbec schopna provozu. Situaci zhoršovala i skutečnost, že válkou byly silně poškozeny i velké průmyslové podniky, vyrábějící a dodávající elektroenergetická zařízení.

Za této situace se po válce provádělo znárodnění podle znárodnovacího dekretu z října 1945. Celkem bylo v energetice znárodněno cca 1350 různých závodů o celkovém výkonu 1480 MW. Skluz ve výstavbě nových elektráren se v době znárodnění odhadoval na deset let. Po znárodnění byla značná část velkých průmyslových a důlních elektráren převedena do sektoru energetiky a bylo započato s výstavbou velkých parních a vodních elektráren pro zásobování elektrickou energií pro postupně vytvářenou

jednotnou elektrizační soustavu Československa. Začalo se i s výstavbou tepláren pro kombinovanou výrobu tepelné a elektrické energie.

Nadšený nástup obyvatel státu na obnovu válkou zničeného energetického zařízení a novou výstavbu energetiky byl narušen převzetím moci komunistickou stranou v Československu v únoru 1948, která prosadila svou koncepci rozvoje republiky a zaujala vedoucí postavení v hospodářských orgánech na všech stupních a tím převzala odpovědnost za tvorbu a realizaci dlouhodobých cílů a běžných úkolů hospodářské politiky. Řízení znárodnění klíčového průmyslu a organizací průmyslu zajišťovalo v první etapě třináct generálních ředitelů v jednotlivých odvětvích, kteří byli po únorovém převratu většinou označeni za špióny a velezrádce a v neuvěřitelných inscenovaných procesech odsouzeni komunistickým režimem k dlouholetým vězením. V energetice nebyla přijata koncepce rozvoje odvětví zpracovaná předními odborníky; plánovací úřad (řízený skupinou komunistických národohospodářů) prosadil jinou koncepci, která vedla k vážnému narušení v zásobování elektřinou v letech 1953–1954, kdy byl vypínán proud domácnostem, nemocnicím a řada továren nemohla být provozována. Odstranění těchto disproporcí v národním hospodářství trvalo dost dlouho a vyžádalo si značné finanční náklady.

V oblasti parních uhelných elektráren se v české energetice po druhé světové válce přešlo se značným zpožděním, zaviněným německou okupací, od výstavby výrobních jednotek 32 MW k elektrárenským blokům 50 až 55 MW (1. blok 1952), blokům 100 až 110 MW (1. blok 1960), blokům 200 MW (1. blok 1967) až k realizaci jednoho bloku 500 MW (monoblok 1981). Tomuto vývoji se přizpůsobila i volba vyšších parametrů páry a schéma zapojení, vše s cílem dosažení nízké měrné spotřeby paliva na dodávku elektřiny. U prvních elektráren s turbinami o výkonu 50 MW bylo řazení kotlů a turbín sběrníkové. V dalším vývoji došlo ke zvýšení výkonu na 55 MW, užití jednoho kotle na turbínu. Dalším vývojovým krokem byly bloky 100 MW, později 110 MW v blokovém zapojení. Tyto bloky byly řešeny s kotli bubnovými i průtočnými. Výraznou charakteristikou těchto bloků, kromě zvýšení parametrů admisní páry, je použití nového prvku v tepelném oběhu, přehřívání páry spaliny v kotli na 540 °C. Byly použity dvoustupňové přepouštěcí stanice. Pro spouštění bloků s průtočnými kotli byl zvolen způsob se suchým přehřívákem s vnější cirkulací vody do napájecí nádrže a odváděním přebytků uvolněné páry do kondenzátoru. Dalším novým prvkem v tepelném schématu bylo užití otáčkové regulace napáječek pomocí hydraulické spojky. Úprava přídavné vody byla v konečném řešení realizována demineralizací.

Dalším výkonovým stupněm byly elektrárenské bloky 200 MW s vyšším provozním tlakem a teplotou páry, zásadním užitím průtočných kotlů, najždění se suchým přehřívákem, 8° regenerace, 100% úprava kondenzátu, turbonapáječka na plný výkon a dvě záložní elektronapáječky na poloviční výkon s regulací otáček. Bloky již byly postupně vybavovány progresivní řídicí technikou, informační a řídicí systémy realizované počítači.

Jako poslední vývojový typ klasických tepelných elektráren byl realizován blok 500 MW s průtočným kotlem s povzbuzenou cirkulací oběhovými čerpadly. Použité parametry páry a koncepční řešení prakticky v době realizace odpovídaly úrovni vyspělých států. Základním nedostatkem v řešení a provozu těchto bloků však zůstala skutečnost, že nebyl včas zachycen trend zaváděný ve vyspělých státech v 70. a 80. letech, kdy byly legislativně zavedeny limity nejvyšších přípustných emisí škodlivin a pro dodržení těchto přísných emisních limitů byla v zahraničí realizována příslušná ekologická zařízení, zejména účinné zachycování tuhých částic, odsíření spalin a potlačení produkce NO_x .

Po změně politické situace u nás v roce 1989 (listopadové události), byl v roce 1991 vydán zákon o ochraně ovzduší (zákon č. 309/91 Sb.), kde byly stanoveny emisní limity pro tuhé znečišťující látky, oxid siřičitý, oxidy dusíku a oxid uhelnatý. Jako nejzažší termín pro jejich dosažení byl určen termín 31. 12. 1998, který byl úspěšně splněn.

Ve velké energetice České republiky pro splnění zákonných energetických limitů byl úspěšně realizován rozsáhlý ekologický program, který vyřešil dodržení emisních limitů tuhých částic, NO_x , CO a v požadovaných termínech zajistil odsíření spalin u uhelných bloků (odsířeny spaliny pro instalovaný výkon větší jak 6000 MW na 32 blocích). Pro většinu bloků byla pro odsiřovací zařízení použita technologie mokré vápencové vypírky. Výhodou této metody je vysoká účinnost odsíření spalin, ale i snížení dalších škodlivin, zejména popílku, HF, HCl, NO_x a stopových sloučenin těžkých kovů i dalších toxických sloučenin. Produktem tohoto odsiřovacího zařízení je komerčně použitelný energosádrovec. Kde nebyla rentabilní obnova původního kotelního zařízení, bylo vystavěno několik fluidních kotlů s cirkulující vířivou vrstvou. U většiny elektrárenských bloků byly zajištěny nižší koncentrace škodlivin v čistých spalinách než ukládá zákon č. 309/91 Sb. V průběhu realizace ekologických zařízení uhelných bloků (modernizace odlučovačů, DENOX, odsiřovací zařízení) byly realizovány rozsáhlé generální opravy bloků, které mají zajistit jejich spolehlivý provoz do roku 2015 až 2020, kdy skončí fyzická životnost dnes nejmodernějších odsiřovacích zařízení. Z výše uvedeného vyplývá, že uhelné elektrárny s technickou úrovní 70. let i po současné modernizaci skončí svůj provoz v první třetině 21. století a musí být nahrazeny moderními zdroji.

V České republice je v provozu jaderná elektrárna se čtyřmi tlakovodními reaktory typu VVER 440 druhé generace (model V213). Každému reaktoru přísluší dva turboalternátory o elektrickém výkonu po 220 MW (vedení do provozu 1985 až 1988). Ve výstavbě je jaderná elektrárna se dvěma bloky s reaktory VVER 1000 po 981 MW s kontejmentem (ke každému reaktoru přísluší jeden turboalternátor). Systém kontroly a řízení a další části zařízení této elektrárny jsou upraveny na anglosaské předpisy.

V omezené míře se pro výrobu elektřiny spaluje plyn, zejména v nově vybudovaných paroplynových blocích (z tlakové plynárny a částečně importovaný zemní plyn).

Vybudována byla i řada vodních elektráren, v českých zemích především vltavské elektrárny, přečerpávací vodní elektrárny a řada malých vodních elektráren.

Vedení o napětí 100/110 kV byla v roce 1950 využívána ještě jako přenosová. Později se toto napětí (až na výjimky) stalo také napětím rozvodných sítí. Od roku 1952 přebíraly úlohu přenosových sítí vedení 220 kV a od roku 1961 vedení 400 kV.

Po druhé světové válce, vytvořením jednotné celostátní elektrizační soustavy se čs. energetika zapojila do celosvětového vývoje, k propojování soustav do větších celků (získání řady provozních a ekonomických výhod) a vytvoření mezistátně propojených elektrizačních soustav. První mezinárodní spolupráce elektrizačních soustav členských zemí RVHP (hospodářské seskupení bývalých socialistických zemí) se uskutečnila v roce 1953 po vedeních 100 kV.

Elektrizační soustava čs. republiky byla provozována v synchronně propojeném energetickém systému PES CDO-MIR (Propojené elektrizační soustavy evropských zemí RVHP, řízené Centrální dispečerskou organizací), který vznikl v roce 1962 a tvořily jej paralelně spolupracující elektrizační soustavy Bulharska, Československa, Maďarska, NDR, Polska, Rumunska a jihozápadní části SSSR Lvovenergo. Paralelní synchronní spolupráce soustav střední a východní Evropy se soustavami západní Evropy nebyla dříve technicky možná z důvodů zhoršené kvality regulace kmitočtu; tranzitní přenosy přes síť Československa nebo spolupráce sousedních elektrizačních soustav byly realizovány prostřednictvím stejnosměrných spojek velmi vysokého napětí s Rakouskem a SRN.

Se změnou politických poměrů v Evropě, rozpadu RVHP vznikly nové podmínky pro rozšiřování spolupráce v energetice jednotlivých států. Synchronní spolupráce s východoevropskými státy se vzhledem k politické a hospodářské nestabilitě, nevyhovujícím stavům elektráren v některých státech a jejich zásobování palivem a značné závislosti na dominantním partneru, regulujícím kmitočty, byla stále problematičtější. Proto byla v elektrizační soustavě České republiky zahájena realizace opatření, orientovaná na propojení naší soustavy do synchronního provozu se systémem propojených elektrizačních soustav západoevropských států UCPTÉ (Union for the coordination of production and transmission of electricity, založená v roce 1951, členy jsou Belgie, SRN, Španělsko, Francie, Řecko, Itálie, Jugoslávie, Luxemburg, Holandsko, Rakousko, Portugalsko a Švýcarsko).

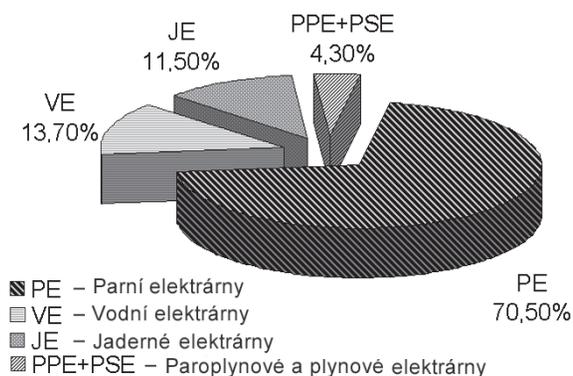
Pro vývoj a realizaci opatření na zkvalitnění technologických a provozních ukazatelů elektrizační soustavy na úroveň standardů platných v UCPTÉ pro synchronní provoz byla v roce 1992 založena regionální skupina CENTREL (Polsko, Maďarsko, Slovensko, Česká republika). Po provedených opatřeních byl zahájen zkušební synchronní provoz a po jeho vyhodnocení byla soustava CENTREL spojena se systémem UCPTÉ 18. 10. 1995. Po více než dvouletém úspěšném zkušebním provozu bylo 15. dubna 1998 zkušební propojení s UCPTÉ změněno na trvalé. Elektrizační soustava České republiky se tak stala členem Evropy před vlastním vstupem ČR do Evropské unie.

Výchozí situace stávajících výrobních zdrojů elektrické energie v České republice pro třetí tisíciletí a bilance elektrické energie ČR vyplývá z následujících grafů.

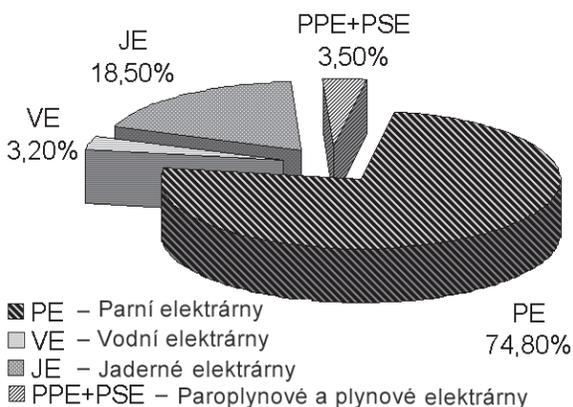
Instalovaný výkon zdrojů České republiky byl k 31. 12. 2000 15 323,78 MW. Zdroje a. s. ČEZ obsáhly 66,2 % instalovaného výkonu, nezávislí výrobci 33,8 %.

Ze srovnání vývoje ekonomiky a spotřeby elektřiny v západoevropských zemích lze odvodit, že s růstem hrubého domácího produktu a ostatních makroekonomických ukazatelů poroste v České republice v příštím století i spotřeba elektřiny. Úsporná opatření na straně spotřeby potom budou mít za následek snižování temp a přírůstků spotřeby elektřiny. Již v prvé třetině 21. století bude nutné připravovat řešení pro náhradu dožívajících elektráren a krytí zvýšené spotřeby elektřiny pro zajištění dostatku výroby elektřiny v další perspektivě.

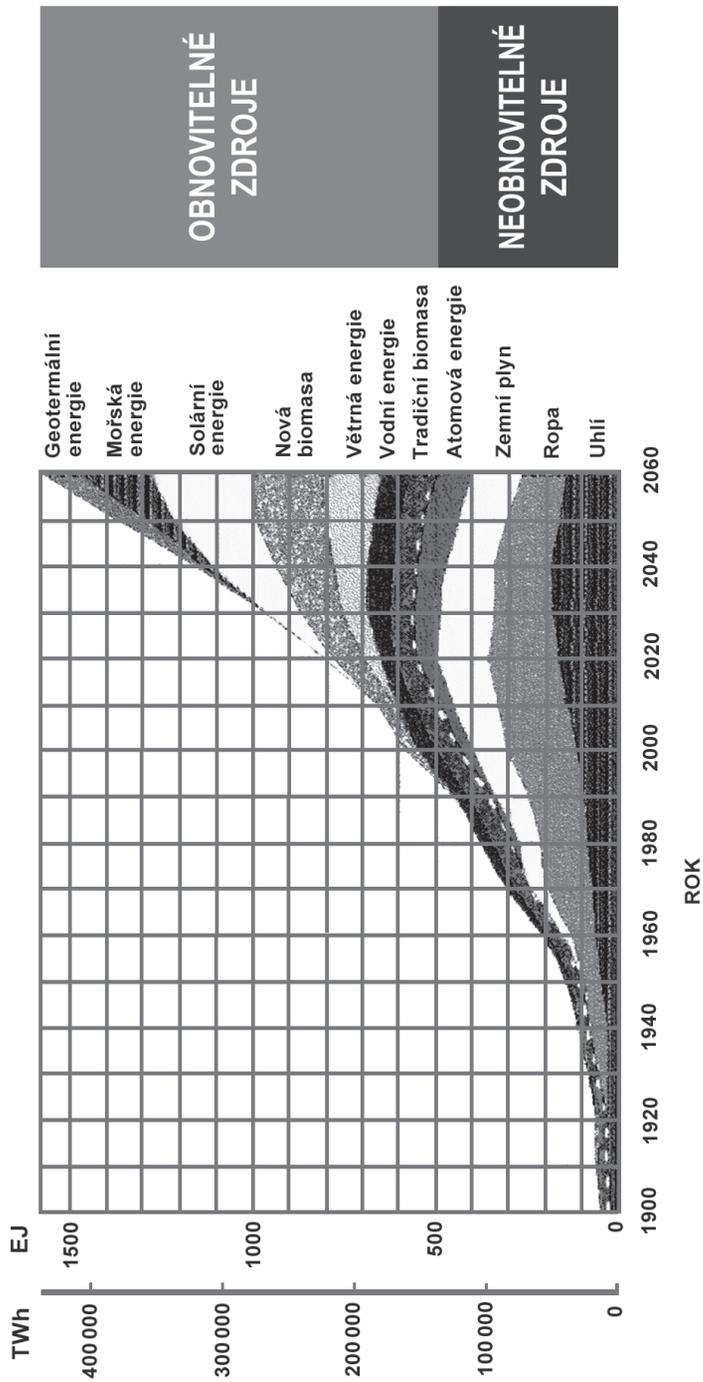
*Struktura instalovaného výkonu (%)
(stav k 31.12.2000)*



*Bilance elektrické energie ČR (GWh)
(rok 2000)*



Vývoj a výroba energetických zařízení budou v budoucnu ovlivněny v prvé řadě dostupnými primárními zdroji, dodržáním potřebné diverzifikace zdrojů a zřejmě povedou k výstavbě několika velkých moderních bloků s ověřenými technologiemi, s vysokou účinností a přijatelnými pořizovacími i provozními náklady [80]. Podíl velkých elektrárenských bloků na výrobě elektřiny bude mírně klesat ve prospěch kogeneračních jednotek s menšími výkony. Je třeba zintenzivnit využití obnovitelných zdrojů reálně aplikovatelných v ČR (využití sluneční energie – zejména fotovoltaiky, vodní energie, tradiční a nové biomasy, energie větru, geotermální energie) a zvýšit podíl těchto zdrojů v celkové bilanci energie státu. Lze předpokládat, že ČR bude v této problematice dodržovat světový trend, který lze odvozovat z následujícího grafu, kde jsou uvedeny orientační hodnoty celosvětové potřeby a podíly jednotlivých druhů primární energie.



ODHAD RŮSTU CELOSVĚTOVÉ SPOTŘEBY ENERGIE

Perspektivně je pravděpodobný i předpoklad dalšího pokroku a rozšiřování určité decentralizace výroby elektřiny pro vysoké náklady na přenos, distribuci a další služby potřebné pro dodávku elektřiny konečnému spotřebiteli. Do těchto malých zdrojů lze zařadit i použití mikroturbín a další rozvoj a použití palivových článků.

Tento rozvoj vyžaduje vysokou kvalifikaci pracovníků, pracovní zodpovědnost a obětavost pro zajištění dostatku levné elektrické energie pro občany České republiky. Je potřebné, aby bylo využito odborné úrovně českých pracovníků v energetice a energetickém strojírenství, tradičně odpovídající úrovni vyspělých států a dosahujících velmi dobrých výsledků v zajišťování výroby i rozvodu elektrické energie a tepla.

Snahou autorů bylo předat do průvodce srozumitelný výklad základních disciplin fyziky a elektroenergetiky, nejmodernější poznatky z elektrárénství, teplárénství a hlavně více jak desetileté vlastní zkušenosti z přímého řízení provozu a rozvoje.

Je přáním autorů této publikace přispět k úspěšným řešením optimalizace provozu a údržby, modernizace energetických zařízení, dalšímu rozvoji v elektroenergetice a uplatnění trhu s elektřinou na základě regulovaného přístupu k přenosové soustavě a k distribučním soustavám a možnosti výstavby výroben elektřiny a vedení podle podmínek stanovených zákonem č. 458 ze dne 28. listopadu 2000 (energetický zákon) a č. 406 ze dne 25. října 2000 o hospodaření energií, včetně vyhlášek související s těmito zákony (přehled těchto vyhlášek je uveden v Příloze 2).

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 za kladný přístup k redakčnímu zpracování knihy a to zejména řediteli Liborovi Kubicovi, panu Martinovi Havlákovu a slečně Kateřině Hrubé.

V Praze v prosinci 2001

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