

ких пределах зависимости от комплексного действия многофакторной системы. Для оболочек ягод величины находились в диапазоне от $0,007 \cdot 10^{-6}$ до $0,045 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ для интервала температуры $25-35^\circ\text{C}$ и от $0,148 \cdot 10^{-6}$ до $0,470 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ для интервала температуры $65-75^\circ\text{C}$.

Для семян величины составляли при интервале $65-75^\circ\text{C}$ от $0,0823$ до $0,3051 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Mandžukov, B.: Coefficient of Intracellular Diffusion and Its Significance for Some Compounds of Phenol Complex of Grape. Kvas. prům. 36, 1990, No. 8-9, pp. 244-246.

The group of phenol compounds reacting to vanillin was studied. The coefficients of intracellular diffusion of the skins of berries and seeds of the variety of Cabernet Sauvignon were determined. The coefficients were measured at different temperatures, times of exposure, ethanol and sulphur dioxide concentrations and pH levels.

The results for a temperature range of $25-35^\circ\text{C}$ and $65-75^\circ\text{C}$ were influenced by the complex effect of more factorial system. The values were in a range between $0,007 \cdot 10^{-6}$ and $0,045 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ for a temperature range of $25-35^\circ\text{C}$ and between $0,148 \cdot 10^{-6}$ and $0,470 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ for a temperature range of $65-75^\circ\text{C}$ with the skins of berries. For the seeds, the values were

in a range between $0,0823 \cdot 10^{-6}$ and $0,3051 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ for a temperature range of $65-75^\circ\text{C}$.

Mandžukov, B.: Koeffizient der interzellularen Diffusion und seine Bedeutung für einige Vertreter des Phenolkomplexes der Weintraube. Kvas. prům. 36, 1990, Nr. 8-9, S. 244-246.

Es wurde die Gruppe der Phenolverbindungen studiert, die auf Vanilin reagieren (VRPV), wobei die Werte der Koeffizienten der interzellularen Diffusion der Weinbeeren und Samen der Sorte Cabernet Sauvignon bestimmt wurden. Das Studium wurde nach dem Multifaktorsystem realisiert: der Temperatur, Kontaktzeit, des Alkoholgehalts, Schwefeldioxids und pH-Niveaus. Es wurde der vergleichbare Multifaktor-Versuch appliziert: 1/2 Bruch-Abdruck bei zwei Niveaus der vergleichbaren Parameter.

Die erzielten Parameter für das Temperaturintervall $25-35^\circ\text{C}$ und $65-75^\circ\text{C}$ lagen innerhalb der breiten Grenzen der Abhängigkeit von der komplexen Einwirkung des Multifaktorsystems. Für die Beeren lagen die Werte im Bereich $0,007 \cdot 10^{-6}$ bis $0,045 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ in dem Temperaturintervall $25-35^\circ\text{C}$ und $0,148 \cdot 10^{-6}$ bis $0,470 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ für das Temperaturintervall $65-75^\circ\text{C}$.

Für die Samen waren die Werte für das Intervall $65-75^\circ\text{C}$ von $0,0823$ bis $0,3051 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Analýza současného stavu řízení fermentačních procesů

663

Řízení biotechnologických procesů počítačem

Doc. Ing. ZDENĚK BURIANEC, Ing. JANA BURIANOVÁ, Ing. JAN NÁHLÍK, CSc., Vysoká škola chemickotechnologická, katedra automatizovaných systémů řízení, Praha

Klíčová slova: počítač, informační systém, řídicí systém, fermentační procesy, algoritmy řízení

1. ÚVOD

V současné době si lze těžko představit moderní výzkumné pracoviště, kde by nebyly laboratorní stanice a automatické analyzátoři napojeny na vhodný mikroprocesorový systém. V řadě výzkumných pracovišť je již používán jednoúčelový počítač, který automatizuje řadu běžných operací, osobní počítač s vhodným softwarem několikanásobně urychluje vyhodnocení experimentálních dat.

V potravinářském průmyslu se začínají objevovat počítače nejen ke zrychlení chodu administrativy, ale též k řízení výrobního procesu.

Tento článek má osvětový charakter a autoři sledují prostý cíl: seznámit nespecialisty v oboru výpočetní techniky se základními pojmy a možnostmi využívání počítačů v provozní praxi.

2. PRINCIPY SPOJENÍ ŘÍDICÍHO POČÍTAČE S PROCESEM

Objasnění základních pojmů

Spojení počítače s procesem může být provedeno několika způsoby. Počítač pracuje v otevřené smyčce. Někdy tomuto způsobu říkáme, že počítač pracuje jako rádce operátora. Operátor získává doporučení od počítače a podle svého úsudku může tato doporučení akceptovat v tom smyslu, že nastaví žádané hodnoty konvenčních zpětnovazebních regulátorů.

Výrobní proces obsahuje tedy běžné zpětnovazební regulační obvody a kromě nich je na proces

napojen počítač, který snímá všechny důležité měřené veličiny včetně vnějších řídicích veličin nadřazeného systému, tyto údaje matematicky zpracovává a vydává doporučení.

Nepřímé řízení počítačem. Počítač vykonává stejné úkony jako v předcházejícím případě, ale výstupní údaje počítače jsou transformovány do vhodné formy tak, aby již automaticky byly nastavovány žádané hodnoty regulačních obvodů. Operátor jako mezičlánek je vyřazen.

Protože vlastní regulace se uskutečňuje konvenčními regulátory, mluvíme o nepřímém řízení počítačem.

V této souvislosti se často setkáme s termínem DSC (digital supervisory control) — *dohlížecí řízení* a SPC (setpoint control) — *nastavování žádaných hodnot regulátorů*.

Přímé řízení počítačem. Jedná se o pokročilejší způsob v tom smyslu, že počítač plní nahoře uvedené funkce, ale navíc nahrazuje funkci konvenčních regulátorů. Náhrada algoritmů konvenčních regulátorů kvalitnějšími formami algoritmů řízení realizovaných počítačem vede velmi často i ke kvalitnější jakosti regulace. Tomuto systému řízení říkáme též přímé číslicové řízení (DDC — direct digital control).

Řídicí počítač

Řídicí počítač je po hardwarové stránce charakterizován tím, že vedle standardních periférií obsahuje spojení počítače s řízeným objektem, tzv.

jednotku styku s prostředím, dále je počítač vybaven zařízením, umožňujícím komunikaci operátora provozu s řídicím systémem. To se realizuje *panel operátora* s obrazovkami a klávesnicemi.

Pokud údaje z procesu prostřednictvím čidel a analyzátorů jsou uváděny přímo do počítače a stejně tak i výstupní signály z počítače jsou vedeny přímo na akční orgány v procesu, mluvíme o tom, že počítač pracuje *on-line*. Naproti tomu práce *off-line* znamená, že informace se přenášejí pomocnými médii jako jsou děrné štítky, děrné pásky a výsledky výpočtů se tisknou na tiskárně.

Pro řídicí počítač je důležité, aby přenos informace mezi procesem a počítačem, zpracování této informace v počítači a přenos informace zpět do procesu byl proveden tak rychle, aby proces mohl být řízen. Výsledky musí být získány do určitého časového limitu a říkáme potom, že počítač pracuje v *reálném čase*.

Funkce počítače při nejnižší úrovni řízení, kdy počítač pracuje jako *informační systém*.

Počítačem jsou zajišťovány tyto funkce:

- snímání vstupních veličin, např. teploty, průtoků medií, koncentrací jednotlivých složek atd.;

- kontrola správnosti měření, resp. správné funkce čidel;

- průběžné zpracování naměřených veličin spočívající ve filtraci signálu, zavedení korekcí, linearizaci a přepočtu elektrických signálů, např. v rozsahu 4–20 mA na příslušné fyzikální veličiny;

- kontrola a signalizace překročení povolených mezních hodnot měřených veličin, výpočet trendů hodnot u některých sledovaných veličin s možností grafického zobrazení na displeji včetně zobrazení dat a veličin, které překročily povolené mezní hodnoty;

- výpočet neměřitelných veličin (např. rychlost spotřeby kyslíku, rychlost tvorby oxidu uhličitého, výťažnostní koeficient atd.) nebo výpočet veličin, pro které je čidlo příliš drahé nebo neexistuje (výpočet koncentrace biomasy na základě bilance biogenních prvků apod.);

- výpisy nejrůznějších protokolů o chodu procesu, zásahů operátora, přehled čidel v poruše, překročení mezí apod.

- záznam změřených údajů do historických souborů pro další, resp. pozdější zpracování;

- záznam průběhu vážných poruch pro jejich pozdější analýzu;

- výpočet technicko-ekonomických ukazatelů, materiálových a energetických bilancí.

Z uvedeného je zřejmé, že informační systém zdokonaluje proces řízení v tom smyslu, že operátor získává v přehledné formě zhuštěné informace v pořadí podle důležitosti o řízeném procesu, především o odchylkách od normálního průběhu. To usnadňuje předcházení haváriím a nedokonalostem při vedení procesu.

Druhá vyšší úroveň řízení plní vedle funkcí informačního systému ještě *funkci řídicího systému*.

Sem patří náročné operace najíždění a odstavení výroby, především však konkrétní řízení výrobního procesu.

Ve valné většině případů a v ČSFR se téměř vždy jedná o stabilizaci vypočteného nebo projektovaného pracovního režimu. To znamená, že vhodné zvolené fyzikální veličiny, jako je teplota, průtoky medií, koncentrace jednotlivých složek, pH, koncentrace rozpuštěného kyslíku apod. jsou udržovány na konstantních hodnotách vhodnými regulačními algoritmy. V praxi existuje značná variabilita při realizaci regulačních obvodů.

Ve vyspělých průmyslových státech se stále častěji využívá počítačů při optimalizaci výroby, kde cílem řízení je maximalizace výroby kvalitního produktu s minimální spotřebou energie a surovin. Jedná se o velmi komplikovaný problém a v praxi jsou často řešeny jen dílčí úlohy, např. minimální spotřeba energie, u přetržitých výrob minimalizace doby výrobní operace, rozdělování toků a energií mezi jednotlivé výrobní linky, maximalizace produkce apod.

Algoritmus řízení v širším smyslu z hlediska automatizovaného systému řízení technologického procesu je chápán jako soubor všech programů, nutných k realizaci vlastního procesu řízení. Zahrnuje sem programy pro sběr dat, jejich zpracování, pro dohlížecí a přímé číslicové řízení, pro optimální řízení, pro komunikaci operátora s procesem atd. Je zřejmé, že jednotlivé programy mají různou důležitost. Například každou sekundu musí proběhnout sběr dat, jejich zpracování a vyslání řídicího pokynu na akční orgány, např. regulační ventily. Existence správného chodu procesu je závislá na správné funkci této regulační zpětnovazební smyčky. Na druhé straně ekonomické bilanční programy mohou probíhat v hodinových intervalech, nebo dokonce jednou za směnu. Některé programy mají absolutní prioritu a musí začít pracovat vždy, kdykoliv se vyskytnou důvody pro jejich spuštění. Jsou to např. programy, které signalizují překročení mezních podmínek, které řeší havarijní situace, mají jim zabránit apod. Z uvedeného tedy vyplývá, že posloupnost operací počítače, posloupnost zpracování jednotlivých programů není předem stanovena a je určována buď situací ve výrobním procesu nebo pokyny operátora. Toho je dosaženo v řídicím počítači na základě *multiprogramování*.

Závěrem je třeba se zmínit o dalších vlastnostech řídicích počítačů: na rozdíl od počítačů pro vědeckotechnické výpočty jsou u řídicích počítačů kladeny menší nároky na přesnost výpočtů. To souvisí s tím, že přesnost měření fyzikálních veličin je zatížena poměrně velkou relativní chybou, řada chyb je také korigována tím, že výpočty probíhají ve zpětnovazební smyčce. Na druhé straně jsou na řídicí počítač kladeny vysoké nároky na spolehlivost, protože výrobní proces musí často pracovat bez přerušení mnoho měsíců. Současně zahraniční řídicí počítače mají spolehlivost vyjádřenou v jednotkách MTBF (střední doba mezi poruchami), která se pohybuje v hodnotách až 20 let.

3. ŘÍDICÍ POČÍTAČ A FERMENTAČNÍ PROCESY

Zatímco v chemickém průmyslu byl první počítač pro řízení procesů nasazen na počátku še-

desátých let, v biotechnologiích dochází k širšímu uplatnění teprve v osmdesátých letech, a to především ve vyspělých průmyslových státech.

V podstatě můžeme rozlišit různé kategorie nasazení počítače, lišící se vzájemně úrovní kvality řízení. Je tomu tak proto, že řídicí systémy špičkové úrovně vyvinuté ve výzkumných ústavech a univerzitách v laboratorním měřítku ještě nepronikly do průmyslového měřítku.

V odborné veřejnosti se rozlišují v podstatě řídicí systémy vyvíjené pro laboratorní, případně poloprovozní měřítko, a systémy pro řízení výrobních procesů, resp. pro řízení celého závodu. V tab. 1 je porovnávána úroveň řízení v uvedených dvou kategoriích.

Tab. 1. Srovnání úrovně řízení v různých aplikačních oblastech

Funkce řídicího systému	Laboratorní měřítko a poloprovoz	Výrobní proces
Zpětnovazební regulační obvody (stabilizace hodnot stavových veličin)	běžně	běžně
Sběr dat	ano	ano
Rozvrhování výroby a sekvenční řízení	ne, nebo podle potřeby, zda se jedná o výzkum nebo testování nového procesu	ano
Výpočet neměřitelných veličin	ano	v omezeném měřítku
Pokročilé systémy řízení	ano, podle potřeby	vyjimečně, pokusně
Optimalizace	ano, ale ne běžně, spíše výzkumně	běžně ne, vyjimečně ano, např. výroba antibiotik
Modelování, stanovení parametrů	ano, výzkumně	ne

Praxe ukazuje, že největší ekonomický přínos, resp. návratnost investičních nákladů vyplývá ze zavedení sekvenčního řízení a rozvrhování, resp. plánování výroby. Tak např. automatizovaný pivo- var může mít až 500 dvouhodnotových signálů jako součást sekvenčního řízení jednotlivých operací (řízení ventilů) — sanitace, kvašení, vypouštění, filtrace ...

Tím je zajištěn dokonalý přehled o technickém stavu celého technologického procesu, který je běžně doplňován ekonomickou analýzou a dále veškerá administrativní agenda včetně styku s dodavateli a odběrateli je vedena přes počítač s minimálními nároky na personální vybavení.

Jednoduché zpětnovazební regulační obvody (regulace průtoku, hladiny, teploty, tlaku, koncentrace rozpuštěného oxidu uhličitého atd.) tvoří hlavní součást systému řízení, týkajícího se stabilizace výrobních podmínek. Například na sto až několik set regulačních zpětnovazebních obvodů postačí 5 až 10 složitějších regulačních obvodů (např. více-rozměrových, adaptivních apod.) pro řízení některých fermentačních procesů. Vývoj mikroprocesorové řídicí techniky umožňuje, aby tyto náročnější regulační obvody byly realizovány lokálními mikroprocesorovými regulátory, centrálně napojenými např. na osobní počítač nebo minipočítač. Stabili-

zace výrobních podmínek s korekcí na působení poruch, zajišťovaná systémem zpětnovazebních regulačních obvodů, je podmínkou vysoké kvality produktu a vysoké produktivity výroby.

Vzhledem k nízké ceně a velkému výkonu současné mikroprocesorové techniky se pro řízení biotechnologických procesů staly ekonomicky dostupné i tzv. distribuované hierarchické řídicí systémy. V těchto systémech jsou jednotlivé řídicí funkce realizovány samostatnými mikroprocesory, které jsou však vzájemně propojeny a předávají si data. Tím se dosahuje vysoké spolehlivosti a pružnosti řídicího systému.

Mikroprocesory na základní (nejnižší) hierarchické úrovni vykonávají funkce klasických regulátorů včetně např. kaskádní a programové regulace a některých důmyslnějších algoritmů stabilizace pracovních podmínek. Na nejbližší vyšší úrovni celé jednotky se jedná např. o sekvenční řízení sterilizace fermentoru či o výpočet naměřených a odvozených veličin a matematických modelů procesu. Počítače na nejvyšší hierarchické úrovni distribuovaného řídicího systému zajišťují spolupráci všech podřízených jednotek (fermentace, filtrace, extrakce, krystalizace, expedice aj.), okamžitý a kvalitní přehled o stavu výroby jako celku i další funkce ekonomické a administrativní povahy.

Řídicí systémy s prvky hierarchického uspořádání se nyní nasazují zcela běžně i u laboratorních nebo poloprovozních fermentorů. Jsou dvouúrovňové, přičemž podřízený počítač vykonává funkci stabilizace pracovních podmínek a nadřízený počítač provádí výpočty odvozených veličin, archivaci naměřených údajů, jejich analýzu a zobrazování a další potřebné výpočty v experimentálních aplikacích, nebo další bilanční a přehledové funkce ve výrobních aplikacích.

Zabýváme se nyní podrobněji pouze jedním výrobním úsekem, fermentorem:

Fermentory řízené mikroprocesorovou technikou pro laboratoře a poloprovoz je možno v zahraničí získat zcela běžně. Uvedme alespoň společnost MBR BIO REACTOR AG SWITZERLAND, NEW BRUNSWICK SCIENTIFIC GmbH (Spolková republika Německo), ELECTROLUX FERMENTATION (Švédsko) nebo CHEMAP AG (Švýcarsko). V ČSFR probíhá vývoj fermentorů řízených počítačem po několika paralelních liniích. JZD Slušovice vyvinuly fermentory obsahu 20 l řízené osmibitovým počítačem. ZVÚ Hradec Králové pracuje též intenzivně v této oblasti a mimo jiné ve spolupráci s VÚCHZ Brno vyvinuly dva systémy. Jeden systém s názvem „Fermentor s řízeným procesem FS 70“ je řízen 8-bitovým počítačem TNS MCW, přičemž software byl vyvíjen v ÚTZCHT ČSAV Praha. Druhý systém pro fermentor 150 l pro práci za sterilních podmínek s názvem „Aseptická fermentační jednotka AFJ 150“ je řízen také 8-bitovým počítačem CHP 3000 (výrobce Chemoprojekt Satalice) a software byl vyvinut na VŠCHT Praha.

Vlastnosti FS 70

Fermentační systém je tvořen duplikátorovým

7.1.2 Měrná hmotnost vzduchu (tab. 7-2)

Tab. 7-2 Měrná hmotnost vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

(°C)	při teplotě (°K)		při tlaku (MPa)		
	0,025	0,1	0,5	1,0	3,0
-13,15	260	1,34	6,72	13,50	41,03
-3,15	270	1,29	6,47	12,98	39,35
+6,85	280	1,24	6,23	12,50	37,81
+16,85	290	1,20	6,02	12,05	36,39
+26,85	300	1,16	5,81	11,64	35,07

Absolutní vlhkost vzduchu γ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), se rovná měrné hmotnosti par vody při dané teplotě °C.

7.1.3 Vlastnosti nasyceného vlhkého vzduchu při tlaku 0,1 (MPa) (tab. 7-3)

Tab. 7-3 Vlastnosti nasyceného vlhkého vzduchu při tlaku 0,1 MPa

Teplota vzduchu (°C)	Měrná hmotnost (kg.m ⁻³)
-10°	1,297
- 5	1,272
0	1,248
+ 5	1,224
10	1,201
20	1,155
50	1,007

7.1.4 Vlhkost vzduchu

Definice:

Relativní vlhkost vzduchu (podle SI) rozumíme poměr absolutní vlhkosti v daném vlhkém vzduchu a absolutní vlhkosti vzduchu, který by byl za stejné teploty vodními parami nasycen.

Absolutní vlhkost vzduchu (podle SI) rozumíme podíl hmotnosti (hustoty) vodních par obsažených v nějakém objemu a tohoto objemu ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Nasycený vlhký vzduch má „relativní vlhkost“ $\varphi = 100\%$. Obsahuje-li však pouze polovinu vlhkosti při stejných podmínkách, pak je jeho „relativní vlhkost“ $\varphi = 50\%$ apod.

7.1.5 Stlačený vzduch

Vliv tlaku a teploty na množství nasávaného vzduchu.

Základní stavová rovnice

$$V_2 = V_0 \frac{p_0 T_1}{p_1 T_0}$$

0.2.2 Jednotky používané pouze ve zvláštních oborech (tab. 0-11)

Tab. 0-11 Jednotky používané pouze ve zvláštních oborech

Veličiny	Jednotky		
	název	značka	poznámka, vztah k SI
rovinný úhel	grad (gon)	gon	1 g = 1 gon = $(\pi/200)$ rad (pouze geodézie)
plošný obsah	hektar	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ² (pouze výměra pozemků v zemědělství, lesnictví apod.)
objem	hektolitr	hl	1 hl = 100 l — pivovarsví
optická mohutnost	dioptrie		1 dioptrie = 1 m ⁻¹ (pouze optika)
výkon zářivý	volt ampér	V A	1 V A \triangleq 1 W (pouze elektro-)
výkon jalový	var	var	1 var \triangleq 1 W (technika)
hmotnost	atomová hmotnostní jednotka	u	1 u = 1,660 57 · 10 ⁻²⁷ kg
energie	elektronvolt	eV	1 eV = 0,160 219 aJ (atomová fyzika ap.)
délka	astronomická jednotka	UA	1 UA = 149,598 Gm
	paprsek	pc	1 pc = 30,857 Pm (pouze astro-)
	světelný rok	ly	1 ly = 9,4605 Pm (nomie)

0.2.3 Jednotky kombinované z jednotek vedlejších, popř. též z jednotek soustav SI (příklady) (tab. 0-12)

Tab. 0-12 Jednotky kombinované z jednotek vedlejších, popř. též z jednotek soustav SI (příklady)

Veličiny	Jednotky	značka	poznámka, vztah k SI
objemový tok (průtok)	litř za minutu	l.min ⁻¹	1 l.min ⁻¹ = 16,667 ml.s ⁻¹ = 1,6667 · 10 ⁻⁶ m ³ .s ⁻¹
rychlost	kilometr za hodinu	km.h ⁻¹	1 km.h ⁻¹ = 0,2778 m.s ⁻¹
konzentrace látkového množství	mol na litř	mol.l ⁻¹	1 mol.l ⁻¹ = 10 ³ mol.m ⁻³

0.2.4 Jednotky bezrozměrových veličin (příklady) tab. 0—13)

Tab. 0—13 Jednotky bezrozměrových veličin (příklady)

Veličiny	Jednotky		
	název	značka	poznámka, vztah k SI
bezrozměrové poměry veličin	poměrové jednotky		
	procento	%	$1\% = 1 \cdot 10^{-2} = 0,01$ $1 = 100\%$ $r = r \cdot 100\% = 100 r\%$
logaritmy	logaritmické jednotky*)		
bezrozměrových poměrů (logaritmické veličiny)	decibel	dB	$1 \text{ dB} = 0,1 \text{ B}$ $A = 10 \lg \frac{P}{P_1}$ (např. pro útlum výkonu)
A			

Poznámka*): Kromě jednotky neper (Np).

1. VÝBĚR VELIČIN A JEDNOTEK, KTERÉ MAJÍ VÝZNAM PRO ENERGETIKU

1.1 Odvozené jednotky SI, používané v tepelné technických výpočtech a u energetických zařízení

Veličina	Jednotka SI	Doporučené násobky
plocha	m ²	
hustota [měrná hmotnost]	kg . m ⁻³	
měrný objem	m ³ . kg ⁻¹	
hmotnostní průtok	kg . s ⁻¹	
objemový průtok	m ³ . s ⁻¹	
úhlové rychlosti	rad . s ⁻¹	
úhlové zrychlení	rad . s ⁻²	
tlak páry, vody	Pa	MPa, kPa
energie elektrická	J	kWh, MWh
výkon [el. mech. tepelný]	W	kW, MW, GW
měrná spotřeba tepla [na 1 kWh elektrické energie]	kJ . kWh ⁻¹	
měrný tepelný příkon na		
— elektrický výkon	W . W ⁻¹ [bez rozm.] kW . kW ⁻¹	
— tepelný výkon	W . W ⁻¹ [bez rozm.] kW . kW ⁻¹	
měrná entalpie	J . kg ⁻¹	kJ . kg ⁻¹
měrná entropie	J . kg ⁻¹ . K ⁻¹	kJ . kg ⁻¹ . K ⁻¹
teplo skupenské, výparné, spaliné	J . kg ⁻¹	kJ . kg ⁻¹
tepelná vodivost	W . m ⁻¹ . K ⁻¹	
součinitel přestupu tepla	W . m ⁻² . K ⁻¹	

6.4 Atmosférické chladíče vody (mikrověže)

Mikrověže jsou chladíče cirkulující chladicí vody, která se přivádí do přímého styku s atmosférickým vzduchem; přitom se odpařuje a její teplota klesá. Teplo odebrané vodě Q se přitom bude rovnat teplu Q_v přijatému vzduchem:

$$M \cdot 4,1868 \cdot \Delta t = M_v [i_{v2} - i_{v1}]$$

kde M je množství vody [kg . s⁻¹],

M_v — množství vzduchu [kg . s⁻¹],

Δt = t₁ — t₂ je ochlazení vody [°C],

i_{v1} je entalpie vzduchu vstupujícího do chladíče [kJ . kg⁻¹],

i_{v2} je entalpie vzduchu vstupujícího do chladíče [kJ . kg⁻¹],

[Tab. 6—7.]

Tab. 6—7 Mikrověže — Armabeton pro průmyslové závody

Typ	SAV 10	SAV 16	SAV 24	SAV 32
Přelévry (mm)	1010 × 1010	1670 × 1670	2420 × 3300	3840 × 4100
Výška (mm)	2720	3660	4460	4760
Hmotnost dopravní (kg)	335	730	2340	4000
Množství chlazené vody (t . h ⁻¹)	3—13	15—56	30—130	60—210
Přívod Ø potrubí pro vodu (mm)	(2,5")	100	150	2 × 150
Odvod Ø potrubí pro vodu (mm)	(3,0")	125	200	250
Průměr axiálního ventilátoru (mm)	1,1	—	1,580	2368
Poháněcí el. motor (kW)	1,1	3,0	5,5/11	11/18,5
Frekvence otáček (min ⁻¹)	940	940	288/560	288/560
Obesh nadžce (l)	170	700	960	1200
Maximální teplota vstupní vody (°C)				
Chladicí rozsah (°C)	5—20		65	5—25
Ztráta vody při provozu (%)			2	

7. ZÁSOBOVÁNÍ VZDUCHEM

7.1 Vlastnosti vzduchu

7.1.1 Složení vzduchu (do výšky 20 km) (tab. 7—1)

Tab. 7—1 Složení vzduchu (do výšky 20 km)

Prvek	Značka	(%) objemu	(%) hmotnosti
Dusík	N ₂	78,09	75,5
Kyslík	O ₂	20,95	23,20
Oxid uhlíkový	CO ₂	0,03	0,046
Argon	Ar	0,93	1,286

Zbyvek tvoří neon, helium, krypton, xeon, vodík a ozón.
Molární hmotnost suchého vzduchu: M = 28,96 [kg . kmol⁻¹].

Výlahe- Elektro- motor (kW)	Mín. Ø studny (mm)	ne budle trubky převrác ně	Informační hydraulické údaje				Počet stupňů	Typ čerpadla	Ø vrtu	*) Údaje ve sloupcích „b“ jsou střední jmenovité hodnoty. Hodnoty ve sloupcích „a“ a „c“ jsou informační a určují orientačně celkový možný rozsah použití čerpadel.
			Objemový průtok Q (l.s ⁻¹) (m ³ .s ⁻¹)							
			a	b	c	e				
14,7	230		270	475	640	800	3	CV0U-1103	9"	
18			360	640	835	1045	4	CV0U-1104		
22			450	960	1255	1465	6	CV0U-1106	12"	
30			540	1125	1465	1670	7	CV0U-1107		
37			630	1290	1670	1880	8	CV0U-1108		
45			720	1450	1880	2090	9	CV0U-1109		
55			990	1775	2300	2590	10	CV0U-1110		
			900	1610	2090	2300	11	CV0U-1111		
	250		280	450	595		3	CV0U-1203	10"	
			390	610	780	940	4	CV0U-1204	12"	
			500	760	980	1220	5	CV0U-1205		
			620	940	1220	1440	6	CV0U-1206		
			740	1120	1440		7	CV0U-1207		
14,7			130	220	310		1	CV0U-1301	12"	
30			370	500	650	800	2	CV0U-1303	13"	
45			630	800	1000		3			

plynová konstanta	J . kg ⁻¹ K ⁻¹
objemové tepelné zatížení	W . m ⁻³
tepelný tok	W . m ⁻²
koncentrace příměsí	kg . kg ⁻¹
koncentrace příměsí	kg . m ⁻³
dynamická viskozita	Pa . s
moment síly	N . m
napětí, dovolené namáhání	Pa
modul pružnosti	Pa
kinematická viskozita	m ² . s ⁻¹
roční odběr tepla	W . m ⁻³ . K ⁻¹
využití tepelného výkonu	
měrná tepelná charakt. budov	J . kg ⁻¹
měrná energie (tlaková, kine-	Pa
matická, potenciální)	m
tlakový rozdíl	S . m ⁻¹
polohová výška, rozdíl	V . A
měrná vodivost (el.)	V . Ar
výkon zdánlivý (el.)	kg . m ⁻³
výkon jalový	mol . m ⁻³
koncentrace (voda)	S . m ⁻¹
koncentrace látkového množství	
měrná elektrická vodivost (voda)	J . kg ⁻¹ , kJ . kg ⁻¹
	Pa, MPa
	m
	MV . A, kV . A
	MV . Ar, kV . Ar
	g . l ⁻¹ , mg . l ⁻¹
	m . mol . l ⁻¹
	μS . cm ⁻¹

1.2 Přepočty vybraných jednotek z oblasti energetiky

1.2.1 Tlak	
1 Pa	= 1 N . m ⁻²
	= 10 ⁻⁵ bar = 10 ⁻⁵ at
	= 0,986 923 . 10 ⁻⁵ atm. fyzikální
	= 0,750 062 . 10 ⁻² torr
	= 1,019 72 . 10 ⁻⁵ at technická
	= 0,1 mm H ₂ O
	= 0,0075 mm Hg
	= 14,7 . 10 ⁵ lb/sq. inch (psi)
1.2.2 Energie, práce, množství tepla	
1 J	= 1 W . s = 1 N . m
	= 2,778 . 10 ⁻⁷ kWh
	= 2,388 . 10 ⁻⁴ kcal = 9,48 . 10 ⁻⁴ Btu
	= 3,6 . 10 ⁶ J = 860 kcal
	= 3412,1 Btu (British thermal unit)
1 kWh	
1.2.3 Výkon	
1 kW	= 0,238 846 kcal . s ⁻¹
	= 860 kcal . h ⁻¹
	= 0,94799 Btu . s ⁻¹
1.2.4 Jednotky měrné energie, měrné entalpie, výhřevnosti	
1 kJ . kg ⁻¹ (SI)	= 0,238 846 kcal . kg ⁻¹
1 kcal . kg ⁻¹	= 4,1868 kJ . kg ⁻¹

1.2.5 Jednotky měrného tepla

1 kJ . kg⁻¹ . K⁻¹ (SI) = 0,238 846 kcal . kg⁻¹ . (°C)⁻¹
 1 kcal . kg⁻¹ . (°C)⁻¹ = 4,1868 kJ . kg⁻¹ . K⁻¹

1.2.6 Jednotky tepelné vodivosti

1 W . m⁻¹ . K⁻¹ (SI) = 0,859 845 kcal . m⁻¹ . h⁻¹ . (°C)⁻¹
 1 kcal . m⁻¹ . h⁻¹ . (°C)⁻¹ = 1,163 W . m⁻¹ . K⁻¹

1.2.7 Jednotky součinitele přestupu tepla

1 W . m² . K⁻¹ (SI) = 0,859 845 kcal . m⁻² . h⁻¹ . (°C)⁻¹
 1 kcal . m⁻² . h⁻¹ . (°C)⁻¹ = 1,163 W . m⁻² . K⁻¹

1.2.8 Pro energetické výpočty se dále v praxi používají tyto jednotky energie a práce

1 tuna měrného paliva tmp
 1 tuna měrného paliva přepočtena na prvotní zdroje tmp_{pz}
 1 GJ přepočtený na prvotní zdroj energetický GJ/PZ
 1 Gcal přepočtená na prvotní zdroj energetický GJ/PZ
 1 MWh a MWh_{pz} přepočtena na prvotní zdroj GJ/PZ

1.3 Energetické a výkonové přepočty na prvotní zdroje energie

Je nutno znát hodnoty spotřeby paliv a energie pro přípravu tepla a elektrické energie, tj. tmp_{pz} a GJ/PZ.

Jsou používány následující vztahy pro přepočty:

teplo: tmp_{pz}/tmp = GJ/PZ/GJ = 1,342
 elektrická energie: tmp_{pz}/tmp = GJ/PZ/GJ = 3,576

Tyto hodnoty představují účinnost při výrobě toho kterého druhu energie. Zohledňují nárust potřeby energie na výrobu tepla či elektrické energie, vzhledem k fyzikálnímu přepočtu.

Tab. 1-1 Přehledná převodová tabulka

Měřicí jednotky	Teplota			
	tmp	GJ	Gcal	El. energie MWh
Teplota	1 tmp	29,31	7,042	8,143
	GJ	0,341	1	0,239
	Gcal	0,143	4,186	1,163
El. energie	MWh _{pz}	0,123	3,60	0,860
	MWh _e	0,123	3,60	0,860
	1	3,60	0,860	1

Příklad:

Množství tepla 5 GJ převedeno na tmp: Q = 5 X 0,0341 = 0,1705 tmp. Množství elektrické energie 17 MWh_{pz} převedeno na GJ/PZ: Q = 17 X 12,873 = 218,84 GJ/PZ.

Jednotky tmp a tmp_{pz} jsou používány pro sledování přepočtů energetických nároků na výrobu různých druhů energie podle metodiky VJE a ČSN 01 1305.

Tab. 6-6 Ponorná čerpadla Nautila — CVOU. Technické údaje

Ø vrtu	Typ čerpadla	Počet stupňů	Informační hydraulické výkony						Min. Ø studny (mm)	Výtlačné hrdlo průměr trubky	Elektro- motor (kW)
			Objemový průtok Q (l.s ⁻¹) (*)			Měrná energie Y (J.kg ⁻¹) (*)					
			a	b	c	a	b	c			
8 ¹¹	CVOU-0702	2				240	190	140			3,7
	CVOU-0703	3				370	290	220			5,5
	CVOU-0704	4				490	390	290			7,4
	CVOU-0705	5				620	490	360			
	CVOU-0706	6	5	10	12	740	590	440	200	G 3"	9,2
	CVOU-0707	7				860	680	510			11
	CVOU-0708	8				990	780	590			
	CVOU-0709	9				1110	880	660			14,7
	CVOU-0710	10				1230	980	730			
	8"	CVOU-0802	2				230	170	130		
CVOU-0803		3				350	260	200			7,4
CVOU-0804		4	8	16	20	470	340	260	200	G 3"	9,2
CVOU-0805		5				590	430	330			11
CVOU-0806		6				700	510	400			14,7
CVOU-0807		7				820	600	460			
9"		CVOU-0903	3				590	540	430		
	CVOU-0904	4	3	6,2	8	780	720	570	230	G 3"	9,2
	CVOU-0905	5				980	900	720			14,7
	CVOU-0906	6				1170	1080	860			
9"	CVOU-1003	3				630	520	325			9,2
	CVOU-1004	4				830	660	425			14,7
	CVOU-1005	5				1025	800	510	230		
	CVOU-1006	6				1220	960	600			22
	CVOU-1007	7	5	9,5	13	1420	1150	700		G 3"	
12"	CVOU-1008	8				1625	1300	800			
	CVOU-1009	9				1850	1450	890	300		30
	CVOU-1010	10				2060	1600	980			37
	CVOU-1011	11				2260	1790	1080			

Tab. 6—5. Pokračování

Typová označení	Základní označení	Jmen. průměr oh. kola šířky výstup kanálu	Pro 2 900 min ⁻¹			
			1	2	3	4
			Dopravní množství (Q=1. S ⁻¹)	Měrná energie (Y=J. kg ⁻¹)	Dopravní výška (H= m)	ΔY krit. (J. kg ⁻¹)
15	80—125	125/30	27,8	196	20	40
16	80—160	160/26		314	32	
17	65—200	200/22		490	50	43
18	65—250	250/19		784	80	37
19	65—315	315/16		1 226	125	44
						7,27
21	80—200	200/31	44,4	490	50	54
22	80—250	250/25		784	80	51
23	80—315	315/21		1 226	125	52
24	80—400	400/18		—	—	—
26	100—200	200/40	69,4	490	50	73
						44,7

6.3.3.2 Pomocná čerpadla Nautila — CVOU

Technické údaje [tab. 6—6]

2. PALIVA

Palivová a energetická základna pro spotřebiče tuhých paliv, topných olejů, topných plynů [a elektrická energie] musí být určena pro každý nově budovaný, nebo rekonstruovaný spotřebič podle příslušné vyhlášky č. 58/1972 Sb. Především příslíb se dává pro přípravou projektovou dokumentaci jako první etapa, druhou etapou je konečné rozhodnutí o palivové nebo energetické základně. Vztahuje se na:

- tuhá paliva nebo těžký topný olej, jestliže jmenovitý výkon celkového topného zdroje činí nejméně 0,69 MW [2,5 MJ. h⁻¹],
- topné plyny při jmenovitém výkonu 0,345 MW [1,25 MJ. h⁻¹] a převyšuje-li roční odběr u svítiplynu nebo koksárenského plynu 120 000 m³ a u zemního plynu 60 000 m³,
- lehký topný olej při spotřebě 10 t ročně a více,
- elektrická energie pro přímý technologický ohřev o příkonu větším než 1 000 kVA,
- propanbutan při spalování více než 50 t za rok.

2.1 Tuhá paliva

V provozní praxi je nezbytné znát alespoň tyto základní znaky jakosti spalovaného paliva

obsah vody	(W) [%]
obsah popela	(A) [%]
výhřevnost	(Q) [MJ. kg ⁻¹]
obsah síry	S [%]

2.1.1 Druhy uhlí podle názvu a značek třídění

V energetických výrobních se tříděné druhy uhlí používají převážně jen u malých zařízení [tab. 2.1].

Tab. 2—1 Druhy uhlí podle názvu a značek třídění

Název	Značka	Velikost zrna	Černé uhlí	Hnědé uhlí
Prach	p	mm	0—6	0—8
Hrubý prach	hp	mm	0—10	0—10
Krupice	kr	mm	6—10	—
Hrášek	hr	mm	10—18	8—10
Ořech 2	o2	mm	18—30	10—22
Ořech 1	o1	mm	30—50	22—40
Kostka	ko	mm	50—80	40—100
Kostka I	kol	mm	80—120	80—120
Kusové	ku	mm	80—200	—

Základní znaky jakosti všech čs. energetických druhů uhlí jsou obsaženy v příslušných normách ČSN. Hnědouhelné brikety se neuvádějí jako energetické palivo.

Znaky briket: W = 9 %, A = 15 %, Q = 1,2 %, S = 1,2 %, Q = 22,36 MJ. kg⁻¹.

2.1.2 Uskladňování tuhých paliv (ČSN 44 1315) (tab. 2—2)

Tab. 2—2 HUSTOTA A SYPNÁ HUSTOTA UHLÍ

Druh paliva	Hustota (t.m^{-3})	Třída zrnění	Sypná hustota (t.m^{-3})
Lignit	0,9 až 1,15	těžné t	~ 0,7
Hnědá uhlí celistvá a zemlá s obsahem			
A < 20 %	1,2 až 1,3	ko	0,64 až 0,76
A ~ 20 %	1,2 až 1,3	p	0,7 až 0,8
A ~ 55 %, lehká	1,48 až 1,85	p	0,84 až 1,0
A ~ 55 %, lehká	až 1,5	p	0,80 až 0,85
Černá uhlí			
žirná a pálová	1,25 až 1,45	ko	0,67 až 0,74
	1,25 až 1,45	p	0,75 až 0,82
antracitová (T uhlí)	1,4 až 1,7	p	až 1,02

Uvedené hodnoty sypkých hmotností uhlí jsou pro volně sypané hromady. Sypná hmotnost uvalčované hromady (skládky) bývá o 10 až 20 % vyšší. Při dosažení teploty hromady 50 °C je nebezpečí samovznícení. Hašení vodou nebývá účinné. Zhratý výhřevnost činí podle různých okolností asi 2 až 3 % za rok u hnědých uhlí a 0,3 až 1,5 % za rok u černých uhlí.

Uhlý sklonů:

Pro stěny bunkrů na uhlí min. 55°
Zlaby a svodky na uhlí min. 50°
Pro pásové dopravníky na uhlí max. 18°
Pro pásové dopravníky na uhelnou dř max. 25°

2.1.3 Množství popela A

— v dobrém uhlí bývá kolem 5 až 15 %
— v méněcenném uhlí 30 až 35 %
— v uhebném lupku přes 40 %

2.1.4 Hustota a sypná hustota strusky a popílku (tab. 2—3)

Tab. 2—3 HUSTOTA A SYPNÁ HUSTOTA STRUSKY A POPÍLKU

	Hustota (t.m^{-3})	Sypná hustota (t.m^{-3})
Suchá struska	—	0,850
Struska z čerého uhlí	1,2 až 2,0	—
Struska z hnědého uhlí	2,0 až 3,0	—
Popílek z filtru, suchý	1,3 až 2,2	0,600 až 0,880
Popílek mokrý,	—	1,4
Mokrý struska	—	1,4

Pokračování tab. 6—5.

Typová označení	Základní označení	Jmen. průměr ob. kola / šířka výstup. kanálu	Pro frekvenci otáčení 1450 min ⁻¹				
			1 Dopravní množství ($Q = \text{t.s}^{-1}$)	2 Měrná energie ($Y = \text{J.kg}^{-1}$)	3 Dopravní výška ($H = \text{m}$)	4 ΔY krit. (J.kg^{-1})	5 Přiklon na hřídeli ($P = \text{kW}$)
31	125—250	250/42	55,5	196	20	30	13,8
32	125—315	315/40		314	32		22,6
33	125—400	400/30		490	50		37,2
34	150—250	250/55	87,5	196	20	35	21,4
35	150—315	315/46		314	32		34,3
36	150—400	400/38		490	50	33	56,4
37	150—500	500/32		784	80		94,0
38	200—315	315/64	139	314	32	47	56,0
39	200—400	400/46		490	50	45	85,1
40	200—500	500/45		784	80	47	145,3
41	250—400	400/66	222	490	50	64	134,3
42	250—500	500/55		784	80		217,6
Jmen. průměr ob. kola/šířka vstup. kanálu			Pro frekvenci otáčení 2900 min ⁻¹				
Typová označení	Základní označení		1	2	3	4	5
			Dopravní množství ($Q = \text{t.s}^{-1}$)	Měrná energie ($Y = \text{J.kg}^{-1}$)	Dopravní výška ($H = \text{m}$)	ΔY krit. (J.kg^{-1})	Přiklon na hřídeli ($P = \text{kW}$)
1	32—125	125/11	3,47	196	20	20	1,21
2	32—160	160/9		314	32		2,18
3	32—200	200/8		490	50		4,05
4	32—250	250/8,5		784	80	24	9,03
5	50—125	125/16	6,94	196	20	20	2,13
6	50—160	160/14		314	32		3,63
7	40—200	200/11		490	50		6,30
8	40—250	250/10		784	80	26	11,8
9	40—315	315/10		1 226	125	38	25,8
10	65—125	125/20	13,9	196	20	25	3,78
11	65—160	160/20		314	32		6,33
12	50—200	200/17,5		490	50	24	10,5
13	50—250	250/13		784	80	28	18,2
14	50—315	315/12,6		1 226	125	38	32,2

Tlak napájecího zařízení se stanoví tak, aby bylo zajištěno napájení kotlů při tlaku nutném pro plné otevření pojistovacích ventilů, při jmenovitém množství vyráběné páry.

Je-li k dispozici pro kotelnu pouze jeden zdroj elektrické energie, má být postaveno alespoň jedno napájecí zařízení s parním pohonem (tab. 6—4).

6.3.3 Čerpadla pro zásobování závodů vodou

6.3.3.1 Horizontální čerpadla normované řady Meta

Technické údaje (tab. 6—5)

Tab. 6—5. Horizontální čerpadla normované řady Meta. Technické údaje

Typová označení	Základní označení	Jmen. průměr ob. kola / šířka výstup. kanálu	Pro frekvenci otáčení 1450 min ⁻¹				
			1	2	3	4	5
			Dopravní množství (Q = L.s ⁻¹)	Měrná energie (Y = J.kg ⁻¹)	Dopravní výška (H = m)	ΔY krit. (J.kg ⁻¹)	Příkon na hřídeli (P = kW)
1	32—125	125/11	1,75	49	5	15	0,17
2	32—160	166/9		78	8		0,30
3	32—200	200/8		123	12,5		0,57
4	32—250	250/8,5		196	20		1,14
5	50—125	125/16	3,47	49	5	15	0,28
6	50—160	160/14		78	8		0,49
7	40—200	200/11		123	12,5		0,83
8	40—250	250/10		196	20		1,62
9	40—315	315/10		314	32		3,63
10	65—125	125/20	6,94	49	5	15	0,51
11	65—160	160/20		78	8		0,85
12	50—200	200/17,5		123	12,5		1,40
13	50—250	250/13		196 *	20		2,47
14	50—315	315/12,6		314	32		4,45
15	80—125	125/30	13,9	49	5	15	0,96
16	80—160	160/26		78	8		1,55
17	65—200	200/22		123	12,5		2,48
18	65—250	250/19		196	20		4,00
19	65—315	315/16		314	32		7,27
21	80—200	200/31	22,2	123	12,5	18	3,64
22	80—250	250/25		196	20		5,96
23	80—315	315/21		314	32	22	10,6
24	80—400	400/18		490	50		17,5
26	100—200	200/40	34,7	123	12,5	22	5,69
29	100—400	400/22		490	50		25,00

Jako průměrnou hodnotu je možno brát hustotu popela (struska a popílek) asi 2,0 t.m⁻³.

2.2 Kapalná paliva (topné oleje)

2.2.1 Topné oleje se dodávají ve třech druzích:

Olej topný L (lehký) je směs kapalných uhlovodíků s nízkou viskozitou a s obsahem min. 20 % podílů destilujících při teplotách do 350 °C.

Olej topný S (střední) je směs kapalných uhlovodíků s bodem tuhnutí do 25 °C.

Olej topný M (mazut) je destilační zbytek těžkých uhlovodíků ropy; obsah síry je zpravidla značně vysoký, může však být dodáván také se sníženým obsahem síry; se zřetelem k vysokému bodu tuhnutí musí být při všech manipulacích (čerpání, otáčení, dopravě) zajištěno předebrhávání.

Oleje L a S jsou hořlavé kapaliny III. třídy nebezpečnosti.

2.2.2 Vybrané znaky jakosti topných olejů (tab. 2—4)

Tab. 2—4 Vybrané znaky jakosti topných olejů

Vybrané ukazatele jakosti	Měrná jednotka	L	S	M
Hustota při 20 °C	(kg.m ⁻³)	910	930	990
Bod vzplanutí min	(°C)	66	66	140
Bod tuhnutí max	(°C)	10	25	40
	—5 °C			
Obsah síry max	(%)	2	2	3
Obsah popela a mechanických nečistot	(%)	0,12	0,13	1,0
Obsah vody	(%)	0,5	0,5	1,0
Výhřevnost — roční průměr	(MJ.kg ⁻¹)	42,3	41,9	40,3

2.3 Plyná paliva

Plyná paliva pro kotle a pece a popř. pro plynové motory, jsou rozříděna do 4 skupin, podle výhřevnosti. Hodnota výhřevnosti a spalného tepla Q se určí podle ČSN 38 5521.

Relativní hustota d je poměr hustoty plynu a vzduchu.

2.3.1 Vybrané typy plyných paliv (tab. 2—5)

Tab. 2—5 Vybrané typy plyných paliv

	Spalné teplo (MJ.m ⁻³)	Relativní hustota d ₄ (l)
Skupina 1. — Q _s < 16,8 (MJ.m ⁻³):		
Vysokopecní plyn	3,4—4,6	1,0—1,2
gener. plyn chudý	3,6—6,2	1,08—1,15
gener. plyn smíšený	4,3—7,6	0,91—0,99
gener. plyn vodní	11,3—12,0	0,54—0,55
tlak. plyn hnědouhelný	15,9—16,7	~ 0,4
Skupina 2. — Q _s = 16,8 až 20 (MJ.m ⁻³):		
Svítiplyn ze štěpících stanic	16,8—18,5	0,40—0,60
Svítiplyn koksárenský	18,9—19,7	0,38—0,44

*) d relativní hustota je poměr hustoty plynu a vzduchu

Tab. 2—5. Pokračování

	Společné teplo (MJ.m ⁻³)	Relativní hustota d _x (°)
Skupina 3. — Q _s = 20 až 50 (MJ.m ⁻³):		
Koksarenský plyn bohatý	25,6	0,71–0,73
Zemní plyn karbonský	≈ 37,5	0,56
Zemní plyn naftový	≈ 38,1	0,58–0,61
Kalový plyn „bioplyn“	≈ 23,0	—
Skupina 4. — Q _s < 80 (MJ.m ⁻³):		
Plynový propan-butan	99–115	1,62–1,87

2.4 Druhotné a netradiční zdroje energie

2.4.1 Odpadní nízkopotenciální teplo (NPT) z technologických procesů

Energetická náročnost převodu NPT mezi zdrojem a odběrem je dána nárustem spotřeby elektrické energie. Zisk a ztráta využití NPT je označována jako „topný faktor“. Topný faktor určuje množství tepla v kWh (kW), které se získá z nárustu spotřeby 1 kWh (1 kW) elektrické energie a porovnává se s tzv. „základním topným faktorem“, který je dán poměrem (G)/PZ pro výkon 1 MWe/MWhr a je v číselném vyjádření roven hodnotě asi 2,7 (kW/kW). Využívání odpadního tepla je výhodné jen tehdy, když jeho topný faktor bude výrazně vyšší, než faktor základní.

Informativní topné faktory pro:

- zpětné získávání tepla z technologických procesů 20 až 50 kW/kW
- vytápění prostorů 10 až 15 kW/kW
- nasazení tepelného čerpadla 3 až 5 kW/kW

2.4.2 Sluneční energie

Intenzita sluneční radiace na povrchu země v zeměpisných šířkách ČSFR v letech dnů je max. 900 až 1 000 (W.m⁻²). Využitelný tepelný tok je v mezích 30 až 480 (W.m⁻²).

2.5 Koefficienty přepočtu výhřevnosti paliv na prvotní zdroje (PZ) — (tab. 2—6)

Tab. 2—6 Koefficienty přepočtu výhřevnosti paliv na prvotní zdroje (PZ)

Palivo	Měr. jedn.	(imp)	(G)	(G)/PZ(G)
Černé uhlí energetické	(°)	0,819	24,00	1,040
Hnědé uhlí tříděné	(°)	0,498	14,60	1,016
Koks	(°)	0,901	26,40	1,320
Bríčky	(°)	0,762	22,36	1,124
Nafta motorová	(°)	1,450	42,50	1,121
Benzen automobil.	(°)	1,482	43,64	1,177
Benzen letecký	(°)	1,496	43,84	—
Petrolej	(°)	1,470	43,08	—
Lehký topný olej	(°)	1,443	42,30	1,059
Těžký TO 1 % S	(°)	1,270	33,22	1,056
Těžký TO nad 1 % S	(°)	1,360	39,86	—
Svítilýn	(tis. m ³)	0,493	14,45	1,625

Tab. 6—4 Příklad parametrů napájecích čerpadel z řady CTX

Výkonové parametry čerpadel pro otáčky $n = 2\,900 \text{ min}^{-1}$

Typ čerpadla	Q (l.s ⁻¹)	ΔYdov (J.kg ⁻¹)	J.kg ⁻¹ (kW)	Počet stupňů								
				2	3	4	5	6	7	8	9	10
40-CTX-125-8	2,3	18	Y P	390 1,9	585 2,8	780 3,8	975 4,7	1170 5,7	1365 6,6	1560 7,5	1755 8,5	1950 9,4
	3,5	21	Y P	358 2,3	537 3,5	716 4,6	895 5,8	1074 6,9	1253 8,1	1432 9,2	1611 10,4	1790 11,5
	4,5	43	Y P	314 2,6	471 3,9	628 5,2	785 6,5	942 7,8	1099 9,1	1256 10,4	1413 11,7	1570 13
	Hmotnost m Mom. setr. I _x	m l _x	kg kg.m ⁻²	34,6 0,003	38,1 0,004	41,6 0,006	45,1 0,007	48,6 0,008	52,7 0,009	55,7 0,011	59,4 0,012	63 0,013

$p_{\text{s max}} = 0,4 \text{ MPa}$ max. přípustný tlak v sání pro čerpadla s max. počtem stupňů

Q průtok čerpadla (l.s⁻¹)

Y měrná energie čerpadla (J.kg⁻¹)

ΔY_{dov} dovolená kavitace deprese, tj. přebytek celkové měrné energie ve vstupním průřezu čerpadla nad tlakovou měrnou energií nasycených par čerpané kapaliny nutný k zabezpečení bezkavitace provozu

I_x moment setrvačnosti rotoru k jeho ose
výtlačné hrdlo: DN 40/PN 25, sací hrdlo DM 50/PN 16

P příkon čerpadla na hřídeli v (kW)

Pro vodu s vyšší teplotou jsou informativní sací výšky (tab. 6-2), a to při barometrickém tlaku 983 hPa.

Tab. 6-2 Informativní sací výšky pro vodu s vyšší teplotou

Teplota vody (°C)	20	40	60	80	90	100
(m) — —	6,5	5,2	3,3	0	-3	-6

Napájecí čerpadla pro parní kotle se instalují asi 4 m pod napájecí nádrže. Při sníženém barometrickém tlaku, tj. v místech s větší nadmořskou výškou, se snižuje maximální praktická sací výška na tyto hodnoty: (tab. 6-3).

Tab. 6-3 Vliv nadmořské výšky a barometrického tlaku na sací výšku

nadm. výška barometrický tlak sací výška	0 1013 6,5	500 954,3 6,0	100 898,3 5,6	1500 846,3 5,3
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)

6.3 Odstředivá radiální čerpadla pro energetiku

6.3.1 Pro dopravu horké čisté vody

a jiných čistých kapalin o hodnotě pH v rozsahu 6,5 až 11 a teplotě do 130 °C se v energetických provozech a kotelním hospodářství, v soustavách přečerpávacích, cirkulačních, oběhových, napájecích apod., na čerpání horké vody a kondenzátů mimo jiné používají čerpadla typu CTX (z dodávky závodu Sigma Hranice).

Tato článeková horizontální čerpadla se vyrábějí ve velikostní řadě:

- 40 — CTX — 125 — 8
- 50 — CTX — 160 — 10
- 65 — CTX — 160 — 15

pro kotle velkých výkonů. Příklad parametrů (tab. 6-4).

6.3.2 Napájecí čerpadla středotlakých parních kotlů

Podle ČSN se stanoví výkon napájecích zařízení v kotelně:

Dopravní množství

$$Q = \frac{I + A}{\rho} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$$

I je maximální množství páry, které mohou podle místních provozních předpisů vyrobit všechny kotle, které mohou a smějí být v provozu ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$),
 A — ztráty odluhem, odkalem ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$),
 ρ — měrná hmotnost vody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Tab. 2-6. Pokračování

Palivo	Měr. jedn.	(tup)	(GJ)	(GJZ/GJ)
Zemní plyn naft. *)	(tis. m ³)	1,140	33,41	1,026
Zemní plyn kach. **)	(tis. m ³)	1,071	31,39	→
Propan-butan	(t)	1,571	46,04	1,519
Koksátenský plyn	(tis. m ³)	0,523	15,32	1,333

*) Zemní plyn naftový (z báňské těžby)

**) Zemní plyn karbonský (z povrchové těžby)

3. VÝROBA PÁRY

3.1 Parní kotle

Výkon parních kotlů se vyjadřoval množstvím vyráběné páry v $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ a u horkovodních kotlů množstvím dodávaného tepla $\text{Gcal} \cdot \text{h}^{-1}$. Toto vyjádření je u parních kotlů velmi neurčité, protože závisí na parametrech vyráběné páry a napájecí vody. V současné době se používá zcela jednoznačné vyjádření tepelného výkonu v (kW) nebo v (MW_T) tj. ($\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}$) nebo ($\text{MJ} \cdot \text{s}^{-1}$). S tím souvisí také vyjadřování množství páry v ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) při technických výpočtech, místo v ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$).

Zjednodušeně lze psát u parního kotle pro přepočty:

Tepelný užitečný výkon kotle $Q_{uz} = m(i_2 - i_1)$ [kW], kde m — je množství tekutiny (vody nebo páry) odcházející z kotle ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$), i_1 , i_2 — entalpie tekutiny vstupující, resp. vystupující z kotle v ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). Q_{uz} je výkon kotle, při němž může být kotel trvale provozován.

Nejnižší výkon kotle (technické minimum kotle bez stabilizačních hořáků) se dosahuje u roštových kotlů, popřípadě kotlů spalujících plyn či olej.

$$Q_{uz \min} = \alpha \cdot 0,4 \cdot Q_{uz}$$

Účinnost kotle η je poměr využitelného (odváděného) tepla z kotle k teplu dodanému do kotle.

Doporučené přebytky vzduchu α v ohništích:

roštové $\alpha = 1,3$ až 1,5

olejové nebo plynové $\alpha = 1,02$ až 1,05.

Ztráta sdílení tepla kotle do okolí v %

imenovitý výkon kotle

2 MW ztráta 0,030 (tj. 3 %)

10 MW ztráta 0,020

20 MW ztráta 0,013

50 MW ztráta 0,010

u malých kotlů pro vytápění až

při zmenšování výkonu kotle, ztráta zůstává stejná.

3.1.1 Parní kotle na uhlí

3.1.1.1 Roštové kotle ČKD-D

Jsou dodávány s pásovým protiběžným roštem s pohazovačem, který umožňuje spalování hnědého uhlí o zrnitosti 0 až 30 mm (podíl zrna do 2 mm max. 40 %) a s výhřevností 11 700 kJ $\cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3-1).

Tab. 3—1 Roškové kotle ČKD Dukla

Typ	Výkon (t.h ⁻¹)	Výkon (MW)	Napájecí voda (°C)	Tlak páry (MPa)	Pára (°C)	η %
R 4	4	2,8	105	1,4	220	77—79
R 8	8	5,4	105	1,4	220	
R 16	16	10,8	105	1,4	220	
R 25	25	16,0	105	1,4	220	

Kotle jsou použitelné jen do nově budovaných kotelen. Pro rekonstrukci starých kotelen, vzhledem k potřebě tzv. podkotelí nejsou vhodné.

3.1.1.2 Kotle se spalovacím zařízením „Duklafluid“ (typ D)

Jsou ekonomicky únosné pouze pro větší výkony (70 až 120 t. h⁻¹).

3.1.1.3 Kotle s ohništěm Ignifluid (typ I)

Nepřicházejí pro spalování jednoúčelového hnědého uhlí (o výhřevnosti 10 240 kJ . kg⁻¹) pro průmyslové závody v úvalu.

3.1.1.4 Kotle typu Statina

výkon 1 t. h⁻¹, 1,6 t. h⁻¹, 2,5 t. h⁻¹, (4 t. h⁻¹)
tlak 0,9 MPa
teplota páry 174,5 °C

Spalování hnědého uhlí s výhřevností pod 11 700 kJ . kg⁻¹ bez úprav kotlí nepřichází v úvahu.

Kotle mají malý vodní obsah a hodí se pro poměrně rovnoměrný odběr páry.

3.1.1.5 Kotle IBZKG-Brno

Na pevná paliva se nevyrábějí.

3.1.2 Parní kotle na kapalná a plynná paliva

3.1.2.1 Balené kotle středotlaké řady BK-ČKD-D (Kolín Tatra) (tab. 3—2)

Tab. 3—2 Balené kotle středotlaké řady BK — ČKD Dukla, Tatra Kolín

Typ	Teplotný výkon	Pára	(Gcal.h ⁻¹)	Napájecí voda (°C)	(MPa)	Pára (°C)	η (%)
BK 1,6	1,04 MW	1,6 t.h ⁻¹	0,91	105	1,45	syřá	0,86
BK 2,5	1,62 MW	2,5 t.h ⁻¹	1,41	105	1,45	syřá	0,86
BK 4	2,67 MW	4 t.h ⁻¹	2,30	105	1,45	syřá	0,88
BK 6	4,04 MW	6 t.h ⁻¹	3,40	105	1,45	syřá	0,88

Kotle mají velké akumulaci schopnosti a jsou vhodné pro proměnlivý kolísavý odběr páry. Kotle jsou vhodné pro rekonstrukce starých kotelen.

3.1.2.2 Převratitelné středotlaké kotle OKP (tab. 3—3)

Čerpadla jsou většinou poháněna třífázovými střídavými asynchronními elektromotory, které jsou v principu jednorychlostním poháněním zařízením. Změnu otáček u nich lze docílit (neuvazujeme-li mechanické převody) pouze

- změnou počtu pólů
- změnou skluzové frekvence nebo skluzu a
- změnou kmitočtu přiváděného napětí (f).

Radikální zhospodárnění elektrických pohonů a tím i provozu odsťedivých čerpadel nastává při třetím progresivním způsobu, kdy se asynchronnímu elektromotoru předřazuje „statický měnič frekvencí“, jímž se docílí je hospodárná plynulá regulace otáček čerpadla.

Pro výpočet příkonu odsťedivého čerpadla je možno uvažovat s těmito účinnostmi

- čerpadla s malým dopravním množstvím na velké tlaky η = 0,5
- čerpadla — běžný provoz η = 0,6
- čerpadla velká η = 0,7—0,8

Příkon čerpadla je možno počítat také podle rovnice:

$$N = \frac{Q \rho H}{102 \eta} \quad (\text{kW})$$

přičemž Q je [dm³ . s⁻¹], ρ [kg . dm⁻³], H (m).

V praxi se příkon N násobí bezpečnostním koeficientem k, jímž se zajišťuje elektromotor (tab. 6—1).

Tab. 6—1 Koeficient k pro elektromotory

N (kW)	1	1—2	2—5	5—50
k	1,5	1,3	1,2	1,1

Při dodávce Q = 0 je příkon odsťedivého čerpadla asi 40 % jmenovité hodnoty.

Sací výšky čerpadel

Vakuometrická sací výška obsahuje statickou (geodetickou) výšku a odpor v sacím potrubí a prakticky lze uvažovat maximální výšku pro

- pístová čerpadla 7 až 7,5 m
- odsťedivá čerpadla 6,5 m
- samonasávací čerpadla 9 m
- odsťedivá čerpadla s pomocným ejektorem až 20 m

a to pro vodu 4 °C a při barometrickém tlaku 1013,25 hPa (tab. 6—3).

6. ZASOBOVÁNÍ VODOU

6.1 Čerpadla pístová

se používají k čerpání malých množství na velké tlaky, a to pro kapaliny viskóznější než voda a dále k dávkování.

Výkon dvojčinného pístového čerpadla Q ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)

$$Q = F \cdot d \cdot n \cdot \eta \cdot 60$$

F = plocha pístu (m^2)

d = zdvih (m)

n = frekvence otáčení (min^{-1})

Účinnost čerpadel pístových $\eta = 0,8$ až $0,95$.

6.2 Čerpadla odstředivá

mají vesměs menší účinnost než čerpadla pístová a nehodí se k čerpání viskóznějších látek, ani pro účely dávkování.

Podle čerpací techniky jsou dnes hlavními parametry čerpadel

— průtok V , to jest objem dopravovaný za 1 s ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a
— Y , je měrná energie, která je potřebná k dopravě 1 kg kapaliny.

Celkově se čerpadlem čerpá $V \cdot \rho$ ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

ρ je měrná hustota dopravované kapaliny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Měrná energie je složena

a) z měrné energie statické Y_{st} ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$), určené součtem energie polohové a tlakové,

b) z energie dynamické Y_d , která je zapotřebí k překonání všech průtokových odporů na trati potrubních řadů.

Výnaložená energie na čerpání E v Joulech:

$$E = \frac{V \cdot \rho \cdot (Y_{st} + Y_d)}{\eta} \quad (\text{J} \cdot \text{s}^{-1})$$

η je celková účinnost čerpadla.

Měrná práce (mezi hrdly čerpadla) Y je vztažena na 1 kg kapaliny ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) a souvislost s dopravní výškou H v m v. sl. určuje poměr:

$$H = \frac{Y}{g} = \frac{Y}{10}$$

Změna výkonu dodávaného množství u odstředivých čerpadel je možná pouze škrcením ve výtláčném potrubí.

Výhodnější a ekonomičtější je však regulace množství změnou otáček čerpadla; platí

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

tzv. množství se mění proporcionálně, dopravní výška se pak mění kvadraticky s otáčkami:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

Tab. 3—3 Transportní středotlaké kotle OKP

Typ	Výkon ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)/MW	Napájecí voda			η %
		minimální ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	($^{\circ}\text{C}$)	Pára ($^{\circ}\text{C}$)	
OKP 4	4/2,8	1,2	105	1,45	0,87
OKP 8	8/5,4	2,4	105	1,45	0,87
OKP 16	16/10,3	4,8	105	1,45	0,86
OKP 25	25/16	7,5	105	1,45	0,86

Kotle mají velké akumulární schopnosti a jsou vhodné pro rekonstrukce.

3.1.2.3 Válcové středotlaké kotle Slatina, Brno - VSK a VSP (tab. 3—4)

Tab. 3—4 Válcové středotlaké kotle Slatina, Brno — VSK a VSP

Typ	(CJ.h $^{-1}$)	Výkon parní (MW)	Napájecí voda		η (%)
			($^{\circ}\text{C}$)	(MPa)	
1000	4,18	1,08	až 105	1,45	0,88
1600	6,69	1,6	až 105	1,45	0,88
2500	10,46	2,8	až 105	1,45	0,88

Kotle mají velké akumulární prostory a jsou vhodné pro rekonstrukce.

3.1.2.4 IBZKG-Brno kotle typu SPK 4 až SPK 18
Nedodává.

3.2 Výtopny (kotelny)

3.2.1 Za středotlakou průmyslovou výtopnu se považuje prostor

v němž je instalován alespoň jeden kotel na pevná, kapalná, nebo plynná paliva s konstrukčním tlakem vyšším než $0,15 \text{ MPa}$. Za horní hranici se považuje přetlak páry $1,6 \text{ MPa}$.

Počet kotlů se doporučuje minimálně dva a ne více než čtyři.

3.2.2 Počet kotlů

se volí tak, aby při vyřazení jednoho (největšího) kotle z provozu zajistily zbývající kotle, při max. trvalém výkonu, plnou dodávku tepla pro technologické účely průmyslového závodu, průměrnou hodinovou potřebu teple a užitkové vody a dodávku tepla pro vytápění ve výši odpovídající průměrné denní venkovní teplotě v nejménějším měsíci (ČSN 38 3350).

3.2.3 Výtopny s parními roštovými kotli ČKD — Typ R

Je uveden příklad typové velikostní řady výtopen s uvedením vybraných parametrů a technických údajů (hnědé uhlí $11,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) (tab. 3—5).

Tab. 3—5 Výtopeny (Hnědé uhlí 11,9 MJ . kg⁻¹)

Jmenovitý výkon výtopny	(MW)	5,6	13,6	16,2
Počet kotlů	(ks × t.h ⁻¹)	8	20	24
Jmenovitý tlak	(MPa)	2 × 4	2 × 8 + 1 × 4	3 × 8
Jmenovitá teplota	(°C)	1,42	1,42	1,42
Průměrná roční η	(%)	220	220	220
Instalovaný výkon zahuňování	(t.h ⁻¹)	70	70	70
Instalovaný výkon odpočívání	(t.h ⁻¹)	40	40	40
Úprava vody	(m ³ h ⁻¹)	10	10	10
Úprava kondenzátu	(m ³ h ⁻¹)	7	14	14
Komín Ø/H	(m/m)	6	11	11
		1,4/70	1,5/80	1,5/80
Roční výroba tepla	(GJ . t ⁻¹)	45 700	114 000	137 200
Roční výroba páry	(t . t ⁻¹)	16 000	40 000	48 000
Roční spotřeba uhlí	(t . t ⁻¹)	4 700	11 700	14 000
Množství apnů	(m ³ s ⁻¹)	3,8	8,1	9,3
Počet pracovníků	(osob)	15	20	20
Využití parního výkonu τ [*])	(h)	2 000	2 000	2 000
Vlastní spotřeba páry	(t . t ⁻¹)	1 600	4 000	4 800
Vlastní spotřeba elektrické energie	(kW/h)	240	600	720
Kapacita skladky	(t)	1 600	4 000	4 900
Roční produkce skřavy a popílku	(t)	1 290	3 200	3 840
Plocha pozemku výtopny	(m ²)	9 800	9 800	9 800
Plocha zastavěná	(m ²)	1 635	1 640	1 640
Plocha zastavěná budovami	(m ²)	1 100	1 100	1 100
Obestavěný prostor koteleny	(m ³)	995	995	995
Plocha skladky celková	(m ²)	15 210	15 210	15 210
Roční produktivita práce na jednotku pracovníka	(t)	900	2 200	2 700
	(GJ)	3 046	5 720	6 860

* τ = $\frac{\text{roční výroba t páry za rok}}{\text{instalovaný výkon kotelny (t.h⁻¹)}} = h \text{ za rok}$

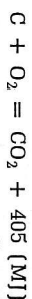
3.3 Spalování — emise-imise

3.3.1 Informační hodnoty zápalných teplot:

Palivo	Zápalná teplota (°C)
dřevo	180—280
hnědé uhlí	230—450
černé uhlí	240—480
LTO	280—450
TO	400—650
zemní plyn	540—645
propan	465—510

3.3.2 Ke spalení určitého množství hořlavé látky

je zapotřebí určité množství kyslíku. To se vypočítá z příslušných stechiometrických rovníc, např.:



Chemické symboly znamenají vždy kilomol (kmol) příslušné látky. Spalitelné látky tuhých a kapalných paliv jsou C, H a S, u plyných paliv H₂, CO a uhlovodíky C_mH_n.

5.4 Chladicí voda

Při technologických pochodech, při nichž je třeba pracovní látku, popř. strojní zařízení chladit nebo udržovat na teplotách pod 100 °C, je nejdůležitější chladicí látkou voda. Její spotřeba je však příliš velká. Pro kondenzaci páry (brydové páry) je spotřeba vody 45 až 60 násobná. Při průtokových chladicích musí být chladicí voda filtrována a její karbonátová tvrdost by neměla překročit určitou hodnotu. Nad touto hodnotou je možnost, při ohřevu chladicí vody nad 20 a více °C vylučování karbonátů na chladicích plochách.

Vhodné chladicí vody je stále méně, a proto se přechází na cirkulační chlazení v atmosférických chladicích.

5.4.1 Chladicí voda pro průtočné chlazení¹⁾

Maximální přípustný obsah HCO₃⁻ (mval . l⁻¹) v závislosti na obsahu volného CO₂ (mg . l⁻¹) a na teplotě zahřívání vody (tab. 5—3).

Tab. 5—3 Chladicí voda pro průtočné chlazení (max. obsah HCO₃⁻)

CO ₂ (mg.l ⁻¹)	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
10	3,25	2,96	2,74	2,47	2,29	2,07
20	4,1	3,71	3,39	3,11	2,86	2,61
30	4,71	4,29	3,89	3,57	3,28	2,96
40	5,18	4,71	4,29	3,93	3,61	3,25
50	5,57	5,07	4,61	4,21	3,89	3,5
60	5,93	5,31	4,89	4,50	4,14	3,75
80	6,54	5,93	5,39	4,93	4,57	4,11
100	7,04	6,39	5,82	5,32	4,93	4,43

5.4.2 Chladicí voda pro cirkulační systémy (mlkroužky)

Hodnoty podle oborové normy ČKD-Dukla²⁾

Ion HCO ₃ ⁻ (vyvážený iontem Ca ²⁺)	2 (mval . l ⁻¹)
SO ₄ ²⁻ (vyvážený iontem Ca ²⁺)	25 (mval . l ⁻¹)
pH	> 6,7
CO ₂ agresivní	max. 7 (mg . l ⁻¹)
SO ₄ ²⁻	max. 500 (mg . l ⁻¹)
Mg	max. 200 (mg . l ⁻¹)
volný Cl ₂	0,2 (mg . l ⁻¹)

Při větším obsahu HCO₃⁻, než 2 mval . l⁻¹ je možno zabránit vylučování HCO₃⁻ dávkováním přídavného hexametafosfátu sodného.

1) 2) Hodnoty jsou převzaty z publikace Technická příručka pro pracovníky oboru průmyslových vod, vydané závodem ČKD-Dukla r. 1981. Údaje jsou uváděny (mval . l⁻¹).

Tab. 5—1 Obsah O_2 ve vodě v ($mg \cdot l^{-1}$)

Tlak nad vodou	Při teplotě 0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
0,1 MPa	14	9,0	6,4	4,6	2,8	0
0,08 MPa	11	7,0	5,0	3,6	1,6	0
0,06 MPa	8,4	5,2	3,6	2,4	0,6	0
0,04 MPa	5,5	3,2	2,1	1,3	0	0

Tab. 5—2 Obsah CO_2 v $g \cdot l^{-1}$

Tlak	Při teplotě 0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0,1 MPa	3,2	2,2	1,7	1,3	1,0	0,8	0,6
0,2 MPa	6,5	4,5	3,3	2,5	1,9	1,5	1,2
0,3 MPa	9,8	6,7	5,0	3,8	2,9	2,3	1,7
0,4 MPa	11,0	8,9	6,7	5,0	3,8	3,0	2,3
0,5 MPa	14,3	10,0	7,5	5,6	4,3	3,4	2,6

5.2 Napájecí voda pro vodotrubné kotle do tlaku 2,5 (MPa) (ČSN 07 7401)

maximální tvrdost	30 ($\mu mol \cdot l^{-1}$)
obsah O_2	30 ($\mu g \cdot l^{-1}$)
veškerý CO_2	25 ($mg \cdot l^{-1}$)
obsah Fe	200 ($\mu g \cdot l^{-1}$)
CHSK	10 ($mg \cdot O_2 \cdot l^{-1}$)
olej	1 ($mg \cdot l^{-1}$)
pH	8,5 až 9,5

5.3 Kondenzát — vratný ze závodu do kotelny

Předpokládané parametry vráceného kondenzátu musí být takové, aby po smíšení s přídavnou vodou odpovídala tato parametrum napájecí vody podle ČSN 07 7401.

5.3.1 Pára

zkondenzovaný vzorek přehřáté páry k topným nebo jiným průmyslovým účelům (pro tlaky > 2,5 MPa):

Hodnoty závazné:

vodivost při 25 °C max. 3 ($\mu S \cdot cm^{-1}$)
obsah SiO_2 max. ($\mu g \cdot l^{-1}$)

Hodnoty doporučené:

obsah NH_3 max. 2 ($mg \cdot l^{-1}$)

Poznámka:

V případech přímého použití vody a páry k účelům potravinářským pro potřeby obyvatele, vyžaduje se k připustnosti předepsaných hodnot a použitých prostředků i metod úpravy jakosti vody a páry příslušný orgán zdravotní hygienické služby.

3.3.3 Spalování, resp. odcházející spaliny z kotlí

mají nepříznivý vliv na životní prostředí. Při spalování odcházejí

- popílek (nezachycený v odlučovači)
- oxid siřičitý SO_2
- oxid siřový SO_3
- oxidy dusíku NO_x (NO , NO_2).

Přípustné úlety (emise) uvedených škodlivin v ČSFR jsou podle zákona č. 35/1967 Sb. vztaženy k výškám příslušných komínů závodních kotelen.

3.3.4 Množství popílku

(udává výrobce kotlí podle paliva a účinnosti odlučovacího zařízení) (tab. 3—6).

Tab. 3—6 Orientační hodnoty popílku odcházejícího do komína

Pro topeniště roštové	Množství popílku v % z obsahu popelovin
pásový rošt — hnědé uhlí	17
pásový rošt — černé uhlí	15
přesávný rošt — hnědé uhlí	33
přesávný rošt — černé uhlí	30
vratný rošt — hnědé uhlí	35
pásový rošt s pohazovačem	30
pevný rošt	20

3.3.5 Množství exhalace SO_2 z kotelny:

Pevná paliva: (sira v palivu $kg \cdot h^{-1}$) $\cdot 2 \cdot 0,95 = kg SO_2 \cdot h^{-1}$.

Kapalná paliva: (sira v palivu $kg \cdot h^{-1}$) $\cdot 2 = kg SO_2 \cdot h^{-1}$.

Plynná paliva: (sira v palivu $kg \cdot h^{-1}$) $\cdot 2 = kg SO_2 \cdot h^{-1}$.

3.3.6 Přípustné množství úletu NO_x (není stanoveno normou)

je dáno podle zákona č. 35/1967 Sb: (koeficient vztažený na výšku komína).
 $k_{max} = NO_x \cdot kg \cdot h^{-1}$. Koeficient je udán v příloze A zákona č. 35/1967 Sb.
 $k_{max} = 0,1 \cdot mg \cdot m^{-3}$ — je to přípustná koncentrace v ovzduší (imise), podle směrnice 58. hygienických předpisů svazek 51/1981.

Vzhledem k tomu, že imise NO_x jsou velmi agresivní, v městské zástavbě je nutno z tohoto pohledu posoudit každou plynovou kotelnu od výkonu 0,5 MW.

Množství vznikajících NO_x v závislosti na výkonu plynového kotle Q se určí následovně:

$$Q \leq 3 \text{ MW}$$

$$3 < Q \leq 10$$

$$10 < Q \leq 100$$

přitom M je hmotnostní tok NO_x ($g \cdot s^{-1}$)

$$S_p \text{ — spotřeba plynu kotle (Nm}^3 \cdot s^{-1}\text{)}$$

$$M = 1,92 \cdot S_p$$

$$M = (1,16 + 0,25 \cdot Q) \cdot S_p$$

$$M = 3,7 \cdot S_p$$

3.3.7 Imise

Nejvyšší přípustné koncentrace v ovzduší ČSFR jsou:

pro prach poleťový
oxid siřičitý SO_2
oxid dusíku NO_x

$K_{\max} = 500 \text{ } [\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$
 $K_{\max} = 500 \text{ } [\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$
 $K_{\max} = 100 \text{ } [\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$

4. SYTÁ VODA A SYTÉ PÁRY V JEDNOTKÁCH SOUSTAVY SI

Symboly označení:

p tlak syté vody a syté páry
 t teplota syté vody a syté páry
 v' měrný objem syté vody
 v'' měrný objem syté páry
 i' entalpie syté vody
 i'' entalpie syté páry
 l_{v} výparné teplo
 s' entropie syté vody
 s'' entropie syté páry

4.1 Hodnoty syté vody a syté páry (podle tlaku) v soustavě SI (tab. 4–1), s. 23 a 24.

4.2 Hodnoty syté vody a syté páry (tab. 4–2) (podle teploty), s. 25 a 26.

Upozornění redakce

1. část příručky Ing. J. Loose Číslo a vzorce v pivovarském průmyslu I. Energetika byla uveřejněna v č. 7/90. Celý text bude ukončen v čísle 10–11/90.

5. VODA

5.1 Základní vlastnosti

5.1.1 Nejčistší přírodní voda je voda dešťová

obsahuje však znečištění ve formě plynu O_2 , N_2 a CO_2 ; v průmyslových oblastech však také SO_2 a SO_3 . Volný CO_2 v povrchové vodě je obsažen pod 10 mg na dm^3 . Pramenitá voda obsahuje 10 až 50 mg CO_2 na dm^3 .

Výbrané vlastnosti chemicky čisté vody:

hmotnost při 15 °C = 0,999 099 [g · cm⁻³]
25 °C = 0,997 044 [g · cm⁻³]

Elektrická vodivost

při 10 °C = 0,0285 [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$]
18 °C = 0,044 [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$]
26 °C = 0,0670 [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$]

Chemicky čistá voda má velký ohmický odpor, je proto špatný vodič pro elektrické proudy. Obsahuje-li však voda soli, zásady a kyseliny, mění se tento její stav, poněvadž molekuly těchto sloučenin se ve vodě rozpadají na elektricky nabitě ionty.

5.1.2 Tvrdost vody (koncentrace roztoků)

Pod pojmem tvrdost surové vody se rozuměl obsah CaO a MgO ve vodě, přičemž starou jednotkou byl 1 německý stupeň tvrdosti 1° n, který odpovídal 1 g CaO ve 100 l vody (= 10 mg · l⁻¹).

Tvrdost vody je tvořena bikarbonáty, sulfáty, chloridy a nitráty. Bikarbonáty tvoří tzv. karbonátní tvrdost (také přechodnou) a ostatní tvoří nekarbonátní tvrdost (také trvalou). Obě tvrdosti dohromady tvoří tzv. tvrdost celkovou, která se vyjadřuje v [mol · l⁻¹].

5.1.3 Hodnota pH (pOH) vody (roztoků)

Pro součin koncentrace vodikových iontů C_{H} a iontů C_{OH} platí při 23 °C:

$$C_{\text{H}} \cdot C_{\text{OH}} = 10^{-14} \text{ } [\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}]^2$$

Z toho platí pro neutrální vodu $C_{\text{H}} = C_{\text{OH}}$ a

$$C_{\text{H}} = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ } [\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Pro zjednodušení představy udává se místo C_{H} a C_{OH} pouze jejich negativní logaritmus. Tyto hodnoty se označují jako pH nebo pOH hodnota určitého roztoku a místo $C_{\text{H}} = 10^{-7}$ mol · kg⁻¹, uvádí se $\text{pH} = 7$, nebo místo $C_{\text{OH}} = 10^{-7}$ mol · kg⁻¹, $\text{pOH} = 7$.

Při normální teplotě je pro každý roztok

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{konst.} = 14$$

Podle velikosti hodnoty pH nazýváme roztoky:

kyselé při $\text{pH} < 7,0$
neutrální při $\text{pH} = 7,0$
alkalický při $\text{pH} > 7,0$

5.1.4 Rozpuštěnost plynů ve vodě (tab. 5–1, tab. 5–2)

Tab. 4—2. Pokračování

t	p	v	v'	i	i'	i ₃	s'	s''
(°C)	(Pa)	(m ³ .kg ⁻¹)	(m ³ .kg ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
150	476 000	0,001 090 6	0,392 6	632,2	2 746	2 114	1,841 8	6,838 5
155	543 300	0,001 096 2	0,346 6	653,9	2 753	2 099	1,892 4	6,794 0
160	618 000	0,001 102 1	0,306 8	675,5	2 758	2 082	1,942 7	6,750 8
165	700 800	0,001 108 1	0,272 5	697,3	2 763	2 066	1,992 4	6,708 1
170	792 000	0,001 114 4	0,242 6	719,2	2 769	2 050	2,041 7	6,666 6
175	892 500	0,001 120 8	0,216 6	741,1	2 773	2 032	2,090 9	6,625 6
180	1 002 700	0,001 127 5	0,193 9	763,1	2 778	2 015	2,139 5	6,585 8
185	1 123 400	0,001 134 4	0,173 9	785,2	2 782	1 997	2,187 6	6,546 5
190	1 255 300	0,001 141 5	0,156 4	807,5	2 786	1 979	2,235 7	6,507 4
195	1 398 900	0,001 148 9	0,140 9	829,9	2 790	1 960	2,283 4	6,469 4
200	1 555 100	0,001 156 5	0,127 2	852,4	2 793	1 941	2,330 8	6,431 8
210	1 908 000	0,001 172 6	0,104 3	897,7	2 798	1 900	2,424 6	6,357 7
220	2 320 100	0,001 190 0	0,086 06	943,7	2 802	1 858	2,517 9	6,284 9
230	2 797 900	0,001 208 7	0,071 47	990,4	2 803	1 813	2,610 1	6,213 3
240	3 348 000	0,001 229 1	0,059 67	1 037,5	2 803	1 766	2,702 1	6,142 5
250	3 977 600	0,001 251 2	0,050 06	1 085,7	2 801	1 715	2,793 4	6,072 1
260	4 694 000	0,001 275 5	0,042 15	1 135,1	2 796	1 661	2,885 1	6,001 3
270	5 505 000	0,001 302 3	0,035 60	1 185,3	2 790	1 605	2,976 4	5,929 7
280	6 419 000	0,001 332 1	0,030 13	1 236,9	2 780	1 542,9	3,068 1	5,857 3
290	7 445 000	0,001 365 5	0,025 54	1 290,0	2 766	1 476,3	3,161 1	5,782 7
300	8 592 000	0,001 403 6	0,021 64	1 344,9	2 749	1 404,2	3,254 8	5,704 9
310	9 870 000	0,001 447	0,018 32	1 402,1	2 727	1 325,2	3,350 8	5,623 3
320	11 290 000	0,001 499	0,015 45	1 462,1	2 700	1 237,8	3,449 5	5,535 3
330	12 865 000	0,001 562	0,012 97	1 526,1	2 666	1 139,6	3,552 2	5,441 2
340	14 608 000	0,001 639	0,010 78	1 594,7	2 622	1 027,0	3,660 5	5,336 1
374,15	22 129 000							4,430 0
0,003 26								
2 100,0								
0 000,0								

Tab. 4—1 Hodnoty syté vody a syté páry (podle tlaku) v soustavě SI

p	t	v	v'	i	i'	i ₃	s'	s''
(Pa)	(°C)	(m ³ .kg ⁻¹)	(m ³ .kg ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	(kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
1 000	6,92	0,001 000 1	129,9	29,32	2 513	2 484	0,105 4	8,975
2 000	17,514	0,001 001 4	66,97	73,52	2 533	2 459	0,260 9	8,722
3 000	24,097	0,001 002 8	45,66	101,04	2 545	2 444	0,354 6	8,576
4 000	28,979	0,001 004 1	34,81	121,42	2 554	2 433	0,422 5	8,473
5 000	32,88	0,001 005 3	28,19	137,83	2 561	2 423	0,476 1	8,393
7 500	40,32	0,001 008 0	19,23	168,8	2 574	2 405	0,576,4	8,250
10 000	45,84	0,001 010 3	14,68	191,9	2 584	2 392	0,649,2	8,149
15 000	54,00	0,001 014 0	10,02	226,1	2 599	2 373	0,755 0	8,007
20 000	60,08	0,001 017 1	7,647	251,4	2 609	2 358	0,832 1	7,907
25 000	64,99	0,001 019 9	6,202	272,0	2 618	2 346	0,893 4	7,830
30 000	69,12	0,001 022 2	5,226	289,3	2 625	2 336	0,944 1	7,769
40 000	75,88	0,001 026 4	3,994	317,7	2 636	2 318	1,026 1	7,670
50 000	81,35	0,001 029 9	3,239	340,6	2 645	2 304	1,091 0	7,593
60 000	85,95	0,001 033 0	2,732	360,0	2 653	2 293	1,145 3	7,531
70 000	89,97	0,001 035 9	2,364	376,8	2 660	2 283	1,191 8	7,479
80 000	93,52	0,001 038 5	2,087	391,8	2 665	2 273	1,233 0	7,434
90 000	96,72	0,001 040 9	1,869	405,3	2 670	2 265	1,269 6	7,394
100 000	99,64	0,001 043 2	1,694	417,4	2 675	2 258	1,302 6	7,360
150 000	111,38	0,001 052 7	1,159	467,2	2 693	2 226	1,433 6	7,223
200 000	120,23	0,001 000 5	0,885 4	504,8	2 707	2 202	1,550 2	7,127
250 000	127,43	0,001 067 2	0,718 5	535,4	2 717	2 182	1,607 1	7,053
300 000	133,54	0,001 073 3	0,605 7	561,4	2 725	2 164	1,672	6,992
350 000	138,88	0,001 078 6	0,524 1	584,5	2 732	2 148	1,738	6,941
400 000	143,62	0,001 083 6	0,462 4	604,7	2 738	2 133	1,777	6,897
450 000	147,92	0,001 088 3	0,413 9	623,4	2 744	2 121	1,821	6,857
500 000	151,84	0,001 092 7	0,374 4	640,1	2 749	2 109	1,860	6,822
600 000	158,84	0,001 100 7	0,315 6	670,5	2 757	2 086	1,931	6,761
700 000	164,96	0,001 108 1	0,272 8	697,2	2 764	2 067	1,992	6,709
800 000	170,42	0,001 114 9	0,240 3	720,9	2 769	2 048	2,046	6,663
900 000	175,35	0,001 121 3	0,214 9	742,8	2 774	2 031	2,094	6,623

Tab. 4-1. Pokračování

p (MPa)	t (°C)	v' (m³kg⁻¹)	v'' (m³kg⁻¹)	i' (kJkg⁻¹)	i'' (kJkg⁻¹)	l ₃₃ (kJkg⁻¹)	s' (kJkg⁻¹K⁻¹)	s'' (kJkg⁻¹K⁻¹)
1,0	179,88	0,001 127 3	0,194 6	762,7	2 778	2 015	2,138	6,587
1,5	198,28	0,001 153 9	0,131 7	844,6	2 792	1 947	2,314	6,445
2,0	212,37	0,001 176 6	0,099 58	908,5	2 799	1 891	2,447	6,340
2,5	223,93	0,001 197 2	0,079 93	961,8	2 802	1 840	2,554	6,256
3,0	233,83	0,001 216 3	0,066 65	1 008,3	2 804	1 796	2,646	6,186
3,5	242,54	0,001 234 5	0,057 04	1 049,3	2 803	1 753	2,725	6,125
4,0	250,33	0,001 252 0	0,049 77	1 087,5	2 801	1 713	2,796	6,070
4,5	257,41	0,001 269 0	0,044 04	1 122,1	2 798	1 676	2,862	6,020
5,0	263,91	0,001 285 7	0,039 44	1 154,4	2 794	1 640	2,921	5,973
5,5	269,94	0,001 302 1	0,035 64	1 184,9	2 790	1 604,6	2,976	5,930
6,0	275,56	0,001 318 5	0,032 43	1 213,9	2 785	1 570,8	3,027	5,890
6,5	280,83	0,001 334 7	0,029 73	1 241,3	2 779	1 537,5	3,076	5,851
7,0	285,80	0,001 351 0	0,027 37	1 267,4	2 772	1 504,9	3,122	5,814
7,5	290,50	0,001 367 3	0,025 32	1 292,7	2 766	1 472,8	3,166	5,779
8,0	294,98	0,001 383 8	0,023 52	1 317,0	2 758	1 441,1	3,208	5,745
8,5	299,24	0,001 400 5	0,021 92	1 340,8	2 751	1 409,8	3,248	5,711
9,0	303,32	0,001 417 4	0,020 48	1 363,7	2 743	1 379,3	3,287	5,678
9,5	307,22	0,001 434 5	0,019 19	1 385,5	2 734	1 348,4	3,324	5,646
10,0	310,96	0,001 452 1	0,018 03	1 407,7	2 725	1 317,0	3,360	5,615
11,0	318,04	0,001 489	0,015 98	1 450,2	2 705	1 255,4	3,430	5,553
12,0	324,63	0,001 527	0,014 26	1 491,1	2 685	1 193,5	3,496	5,492
13,0	330,81	0,001 567	0,012 77	1 531,5	2 662	1 130,8	3,561	5,432
14,0	336,63	0,001 611	0,011 49	1 570,8	2 638	1 066,9	3,623	5,372
15,0	342,11	0,001 658	0,010 35	1 610	2 611	1 001,1	3,684	5,310
16,0	347,32	0,001 710	0,009 318	1 650	2 582	932,0	3,746	5,247
17,0	352,26	0,001 768	0,008 382	1 690	2 548	858,3	3,807	5,177
18,0	356,96	0,001 837	0,007 504	1 732	2 510	778,2	3,871	5,107
19,0	361,44	0,001 921	0,006 68	1 776	2 466	690	3,938	5,027
20,0	365,71	0,002 04	0,005 85	1 827	2 410	583	4,015	4,928
21,0	369,79	0,002 21	0,004 98	1 888	2 336	448	4,108	4,803
22,0	373,70	0,002 73	0,003 67	2 016	2 168	152	4,303	4,591
22,129	374,15		0,003 26		2 100	0	4,430	

Tab. 4-2 Hodnoty syté vody a syté páry (podle teploty) v soustavě SI

t (°C)	p (Pa)	v' (m³kg⁻¹)	v'' (kJkg⁻¹)	i' (kJkg⁻¹)	i'' (kJkg⁻¹)	l ₃₃ (kJkg⁻¹K⁻¹)	s' (kJkg⁻¹K⁻¹)	s'' (kJkg⁻¹K⁻¹)
0	610,8	0,001 000 2	206,3	0	2,501	2,501	0,000 0	9,154 4
5	871,9	0,001 000 1	147,2	21,05	2,510	2,489	0,076 2	9,024 1
10	1 227,7	0,001 000 4	106,42	42,04	2,519	2,477	0,151 0	8,899 4
15	1 704,1	0,001 001 0	77,97	62,97	2,528	2,465	0,224 4	8,780 6
20	2 337	0,001 001 8	57,84	83,90	2,537	2,454	0,296 4	8,666 5
25	3 166	0,001 003 0	43,40	104,81	2,547	2,442	0,367 2	8,557 0
30	4 241	0,001 004 4	32,93	125,71	2,556	2,430	0,436 6	8,452 3
35	5 622	0,001 006 1	25,24	146,60	2,565	2,418	0,504 9	8,351 9
40	7 375	0,001 007 9	19,55	167,50	2,574	2,406	0,572 3	8,255 9
45	9 584	0,001 009 9	15,28	188,40	2,582	2,394	0,638 4	8,163 8
50	12 335	0,001 012 1	12,04	209,3	2,592	2,383	0,703 8	8,075 3
55	15 740	0,001 014 5	9,578	230,2	2,600	2,370	0,767 9	7,990 1
60	19 917	0,001 017 1	7,678	251,1	2,609	2,358	0,831 1	7,908 4
65	25 010	0,001 019 9	6,201	272,1	2,617	2,346	0,893 4	7,829 7
70	31 160	0,001 022 8	5,045	293,0	2,626	2,333	0,954 9	7,754 4
75	38 550	0,001 025 8	4,133	314,0	2,635	2,321	1,015 7	7,681 5
80	47 360	0,001 029 0	3,408	334,9	2,643	2,308	1,075 3	7,611 6
85	57 810	0,001 032 4	2,828	355,9	2,651	2,295	1,134 2	7,543 8
90	70 110	0,001 035 9	2,361	377,0	2,659	2,282	1,192 5	7,478 7
95	84 510	0,001 038 6	1,982	398,0	2,668	2,270	1,250 2	7,415 5
100	101 310	0,001 043 5	1,678	419,1	2,676	2,257	1,307 1	7,354 7
105	120 790	0,001 047 4	1,419	440,2	2,683	2,243	1,363 2	7,295 9
110	143 200	0,001 051 5	1,210	461,3	2,691	2,230	1,414 8	7,238 7
115	169 050	0,001 055 9	1,036	482,5	2,698	2,216	1,473 3	7,183 2
120	198 540	0,001 060 3	0,891 7	503,7	2,706	2,202	1,527 7	7,129 8
125	232 080	0,001 064 9	0,770 4	525,0	2,713	2,188	1,581 4	7,077 7
130	270 110	0,001 069 7	0,668 3	546,3	2,721	2,174	1,634 5	7,027 2
135	313 000	0,001 074 7	0,582 0	567,5	2,737	2,159	1,686 9	6,978 1
140	361 400	0,001 079 8	0,508 7	589,0	2,734	2,145	1,739 2	6,930 4
145	315 500	0,001 085 1	0,446 1	610,5	2,740	2,130	1,790 7	6,883 9

fermentorem s mikropočítačovou řídicí jednotkou TNS MCW a elektrickým blokem s analogovými přístroji a převodníky. V maximální verzi lze regulovat teplotu a tlak v reaktoru, průtoky vzduchu a čistých plynů O_2 a CO_2 , množství dávkovaných kapalin, otáčky míchadla, pH, koncentraci rozpuštěného kyslíku, výšku hladiny pěny a hmotnost náplně fermentoru. Počítačový řídicí systém umožňuje automatické řízení sterilizace, regulaci základních veličin, monitorování a záznam měřených údajů a kontrolu mezních stavů. Lze využívat i speciální algoritmy.

Vlastnosti AFJ 150

Aseptická fermentační jednotka je řešena jako autonomní technologický uzel pro nejnáročnější aseptické technologie. Její činnost je automatizována řídicím systémem CHP 3000, který zabezpečuje sledování a ovládání procesu, vedení fermentace prostřednictvím přímého číslicového řízení podle předem připravených receptů a sekvenční řízení sterilizace fermentační jednotky, ukončení fermentace a vypouštění produktu.

Řídicí systém na základní úrovni monitoruje stav řízeného procesu a umožňuje operátorovi proces aktivně ovládat. Jde přitom o sledování provozních veličin, ovládání všech ventilů, zapínání a vypínání všech regulačních smyček a o změny celé řady parametrů jako např. havarijních mezí. Na této úrovni je rovněž realizováno spojení se záložní řídicí jednotkou a přepínání mezi nimi při různých výjimečných situacích. Ke stabilizaci pracovních podmínek ve fermentoru bylo realizováno celkem 17 číslicových regulačních smyček. Jedná se o kaskádní regulaci teploty fermentačního média, přetlaku ve fermentoru a průtoku vzduchu do fermentoru, regulaci otáček míchadla, o regulaci sterilizační teploty fermentoru i zásobníků odpěňovacího činidla, zásady a živin, o regulaci výšky hladiny pěny, pH fermentačního média a dávkování živin během fermentace a o několik dalších smyček.

Řídicí systém lze provozovat v režimu operátora provozu nebo v režimu technologa a dovoluje velice efektivní komunikaci s obsluhou, při níž využívá tabulkové i semigrafické formy, zobrazení minulé historie veličin i seznam aktuálních poplachů. Okamžitý stav obrazovky lze kdykoli zkopírovat na tiskárnu.

Běžný současný světový komerční standard v počítačovém řízení fermentorů může být charakterizován takto:

- fermentory tvoří řadu se zvětšujícím se objemem, např. 1,5; 2,5; 5 l; 15 až 150 litrů,
- frekvence otáček řiditelná od 30 do 2000 min^{-1} ,
- regulace pH roztokem kyseliny nebo zásady v rozsahu 2 až 10 $\text{pH} \pm 0,01 \text{ pH}$,
- možnost měření rH,
- zajištění odpěňování chemicky nebo mechanicky,
- regulace koncentrace rozpuštěného kyslíku otáčkami nebo přívodem vzduchu v rozsahu 5 až 95 % nasycení,

— měření parciálního tlaku rozpuštěného CO_2 (podle přání),

- regulace tlaku výdechových plynů,
- měření hmotnosti (nepřímo zádrže) tenzometricky,
- regulace průtoku vzduchu P-regulátorem,
- měření tečného napětí při míchání,
- regulace teploty v rozsahu 20 až 60 $^{\circ}\text{C} \pm 0,1 ^{\circ}\text{C}$,
- přítok média a živin je řízen dávkovacími čerpadly s vysokou přesností.

Žádané hodnoty regulovaných veličin a měřené hodnoty všech veličin jsou průběžně zobrazovány na obrazovce. Signály jsou běžně normalizovány v rozsahu 0–20 mA nebo 4–20 mA a mohou být zapisovány.

Řídicí počítačový systém dokonale a spolehlivě ovládá stabilizaci pracovních podmínek, ale kapacita paměti počítače a i softwarové vybavení neumožňuje zavádění individuálních sekvenčních řídicích programů podle požadavků uživatele.

V tomto směru československý výrobek AFJ 150 předstihl uvedené zahraniční výrobky v tom smyslu, že je vybaven sekvenčním řízením, týkajícím se sterilizace, vedení procesu, vypouštění a čištění.

Řídicí systémy pro průmyslové závody jsou v zahraničí běžně realizovány komerčními výrobky typických světových firem jako je FOXBORO, HONEYWELL, ROSEMOUNT atd. Tyto řídicí systémy jsou univerzální a použitelné pro jakékoliv výrobní procesy.

Pro papírenský průmysl je specializovaná finská firma VALMET CORPORATION, která vyvinula „DAMATIC automatic system“. Speciálně pro řízení fermentorů nabízí další finská firma RINTEKNO OY dva typy řídicích systémů: Systém PFCS je kompaktní řídicí systém pro řízení 1–4 fermentorů. Systém MFCS je hierarchicky uspořádaný multi-počítačový systém pro průmyslové procesy až se 63 fermentory. Velmi důležité je softwarové vybavení, které obsahuje sběr dat, monitorování stavových veličin, výpočet odvozených veličin, poplachová hlášení, regulace a řízení, sekvenční řízení, ukládání datových souborů, přehledné zprávy, služební programy pro operátory, možnost provádění změn pracovních režimů.

V zavádění automatizace v potravinářském průmyslu vyniká anglická firma APV INTERNATIONAL Ltd. Vyvinula dva systémy: ACCOS 2 pro mikroprocesorové řízení až do sta výrobních jednotek, systém ACCOS 2S pro řízení až 256 jednotek. Jedná se o automatizaci těchto operací: vážení, míšení, sanitace (CIP), odpařování, UHT (ultra-high temperature processing), fermentace, odvzdušňování, syčení oxidem uhličitým, míchání průtoků nápoje, výroba nejrůznějších nápojů, mlékárenství apod.

Za zmínku stojí i řídicí systém firmy ALFA-LAVAL označený názvem ALERT. Bylo vyvinuto několik typů těchto systémů:

- ALERT 05 programovatelný regulátor se 16 vstupy a 8 výstupy
- ALERT 5 malý řídicí systém pro potravinářský průmysl. Obsahuje možnost použít až

- 512 digitálních vstupních/výstupních signálů. Speciální programovací jazyk.
- ALERT 50 analogický malý řídicí systém, umožňující používání analogových regulačních obvodů.
- ALERT 500 modifikovaná miniaturizovaná verze ALERT 500 PC. Jedná se o velký řídicí systém, umožňující decentralizované řízení v několika hierarchických hladinách a splňující podmínky pro počítačové řízení velkého podniku.

Důležité je, že uvedené systémy jsou vzájemně kompatibilní a je možno je fyzicky propojit.

4. PŘEHLEDNÉ PRÁCE O PROBLEMATICE SPOJENÍ TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ S POČÍTAČEM

Na závěr uvedeme některé příklady počítačového řízení fermentačních procesů, získané z literární rešerše posledních 5–7 let: tak např. mikroprocesorové řízení laboratorního fermentoru je popsáno v [1], řízení kaskády tří míchaných fermentorů na výrobu ethanolu v [2], řízení vsádkové aerobní fermentace v systému dvou reaktorů v [3], regulace pH v šestnácti reaktorech produkujících methan v [4], problematika optimálního řízení pro zajištění optimálních profilů pH a teploty při výrobě penicilinu ve čtyřech hierarchických hladinách řízení je diskutována v [5], řízení koncentrace rozpustného kyslíku, pH, výšky pěny a optimalizace parametrů regulátorů zpětnovazebních smyček ve velkém rozsahu pracovních podmínek v [6].

Diskusí základních problémů, tj. snímáním dat, modelováním bioreaktorů, modelováním a řízením procesu fermentace odpadních vod, optimalizací produkčních procesů, identifikací a adaptivním řízením se zabývá [7], aplikací vyšších hladin řízení a specifickými požadavky na řídicí systémy fermentačních procesů [8], statickou a dynamickou optimalizací, on-line určováním parametrů regulátorů ve zpětných vazbách [9]. Současný stav a budoucnost řídicích systémů z pohledu zemědělského sektoru sovětské ekonomiky je rozebírán v [10]. Obecnou problematiku řízení biotechnologických procesů počítači a mikroprocesory lze najít v [11–21].

Od běžných biotechnologických zařízení se odlišují velké integrované výrobní celky, tvořené kromě fermentorů vařáky, zásobními tanky, destilačními kolonami apod. Vlastnosti těchto komplikovaných celků si vyžadují speciální přístupy, používající statické optimalizace, metod dynamického programování a aplikací expertních systémů. Použití těchto posledních si všímá [22], optimalizace destilačních procesů včetně administrativních prací při produkci ethanolu [23]. Obecnou problematiku řízení velkých celků lze nalézt v [24–26].

Další konkrétní odkazy na publikace týkající se řízení produkce biomasy, primárních a sekundárních metabolitů, řízení procesu fermentace odpadních vod a dalších fermentačních procesů s aplikací jednoduchých i vyšších moderních metod budou uvedeny v následujících statích.

Literatura

- [1] TSONKOV, S. et al.: Nauchn. Appar., **1**, 1986, s. 71
- [2] MEYER, H.-D. et al.: J. Chem. Technol. Biotechnol., **40**, 1987, s. 19
- [3] VAN BREUGEL, J. et al.: IFAC Proc. Ser. 1986 (10, Modell. Control Biotechnol. Processes), s. 63
- [4] LEE, Y. H. et al.: Biotechnol. Bioeng., **30**, 1987, s. 329
- [5] FAWZY, A. S. et al.: INT. J. Syst. Sci., **14**, 1983, s. 19
- [6] MERRILL, ROY D., BAUER, K.: Biotechnol. Bioeng., **28**, 1986, s. 494
- [7] HALME, A. (ED.): Modell and Control of Biotech. Process, Proc. of the IFAC Workshop, 1ST, Helsinki, Finl., Aug 17–19, 1982 Pergamon Press, Oxford, England, New York, 1983
- [8] FAWZY, A. S., HINTON, O. R.: IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. **SMC-14**, 1984, s. 162
- [9] ROLF, M. J., LIM, H. C.: Enzyme Microb. Technol., **4**, 1982, s. 370
- [10] OPRISHKO, A. A. et al.: Prib. Sist. Upr. (USSR) No. 11, 1987, s. 40
- [11] CARLEYSMITH, S. W., FOX, R. I.: Adv. Biotechnol. Processes, **3**, Publ. by Alan R. Liss Inc., New York, 1984, s. 1
- [12] DRÁB, Z., ŘEZNIČEK, B.: Automatizace, **30**, 1987, s. 309
- [13] FRIEDLAND, P. E.: World Biotech. Rep., **2**, 1984, s. 243
- [14] GOTO, Y.: Prog. Ind. Microbiol., **24**, 1986, Biotechnol. Amino Acid Prod., s. 90
- [15] LYSENKO, L. G.: Probl. Biokhim. fiziol. mikroorg., Akad. nauk SSSR, Nauchn. Tsentr biol. issled., Pushchino, USSR, 1985, s. 92
- [16] MEINERS, M., RAPMUNDT, W.: Biotechnol. Bioeng., **25**, 1983, s. 809
- [17] MUNACK, A., THOMA, M.: IEE Proc. Part D **133**, 1986, s. 194
- [18] NIEPLOCHA, J.: Przem. ferment. owocowo-warzywny, **31**, 1987, s. 16
- [19] ROLF, M. J., LIM, H. C.: Princ. of Biotechnol.: Eng. Consid., **2**, Pergamon Press, Oxford, New York, NY, USA, 1985, s. 165
- [20] SMITH, R. J.: Meas. Control., **15**, 1982, s. 309
- [21] LUTTMANN, R. et al.: Eur. Congr. Biotechnol., Verlag Chemie, Weinheim, **3**, 1984, s. 585
- [22] VANSTEENKISTE, G. C.: Simulation of Control Systems. Selected Papers from the Ifac Symposium, Oxford, UK, Pergamon, 1987, s. 23, Vienna, Austria, 22–26 Sept. 1986
- [23] TEIXEIRA CHURRO, J. J., RAMALHO, M. A. L.: Rev. Electr. Electron. (Argentina), **75**, 1986, s. 2030, 2037
- [24] CALVET, J. L., PISSOLATO, E. M.: Large Scale Systems: Theory and Applications 1986. Selected Papers from the 4th Ifac/Ifors Symposium, Oxford, UK, Pergamon, **2**, 1987, s. 843, Zurich, Switzerland, 26.–29. Aug. 1986
- [25] HERNANDEZ, J. M.: Autom. and Instrum. (Spain), **21**, 1987, s. 175
- [26] SCHNABEL, G., AUER, W.: Energy Autom. (SRN), **10**, 1988, s. 38

Lektoroval Ing. Jan Michal, CSc.

Burianec, Z. - Burianová, J. - Náhlík, J.: Analýza současného stavu řízení fermentačních procesů. Kvas. prům., **36**, č. 8–9, 1990, s. 246–267.

V článku jsou uvedeny základní principy spojení technologického procesu s počítačem, je objasněna funkce počítače ve dvou úrovních (informační a řídicí), jsou popsány nejběžnější typy automatizovaných systémů řízení fermentorů a je uveden rešeršní přehled prací, které se zabývají problematikou řízení biotechnologických procesů počítačem.

Буриянец, З. : Буриянова, Я. - Наглик, Я.: Анализ современного состояния управления процессами ферментации. Квас. прум., 36, 1990, № 8—9, стр. 246—267.

В статье приведены основные принципы связи технологического процесса с ЭВМ, объяснена функция вычислителя в двух уровнях (информационная и управляющая), описаны находящиеся в применении типы автоматизированных систем управления ферменторами и приведен обзор по работам, занимающимся проблематикой управления биотехнологическими процессами вычислителем.

Burianec, Z. - Burianová, J. - Náhlík, J.: Analysis of the Present State of Fermentation Process Control. Kvas. prŭm., 36, 1990, No. 8—9, pp. 246—267.

Basic principles of the coupling between the technological process and a computer are described. The com-

puter function at two levels (informative and control) is elucidated. Further, common types of automated control systems of fermenters and a literature review about biotechnological process control by the computer are described.

Burianec, Z. - Burianová, J. - Náhlík, J.: Analyse des gegenwärtigen Standes der Steuerung der Fermentationsprozesse. Kvas. prŭm. 36, 1990, Nr. 8—9, S. 246—267.

In dem Artikel werden die Grundprinzipie der Verbindung des technologischen Prozesses mit dem Computer angeführt, es wird die Funktion des Computers in zwei Niveaus erörtert (Informations- und Steuerungsniveau) und es werden die geläufigen Typen der automatisierten Systeme der Steuerung von Fermentoren beschrieben. Das Artikel ist ergänzt durch eine Recherche-Übersicht der Arbeiten, die sich mit der Problematik der Steuerung der biotechnologischen Prozesse befassen.

Z výrobních závodů

Současnost i historie

Výroba nealkoholického piva na zařízení Centri-therm švédské firmy ALFA-LAVAL

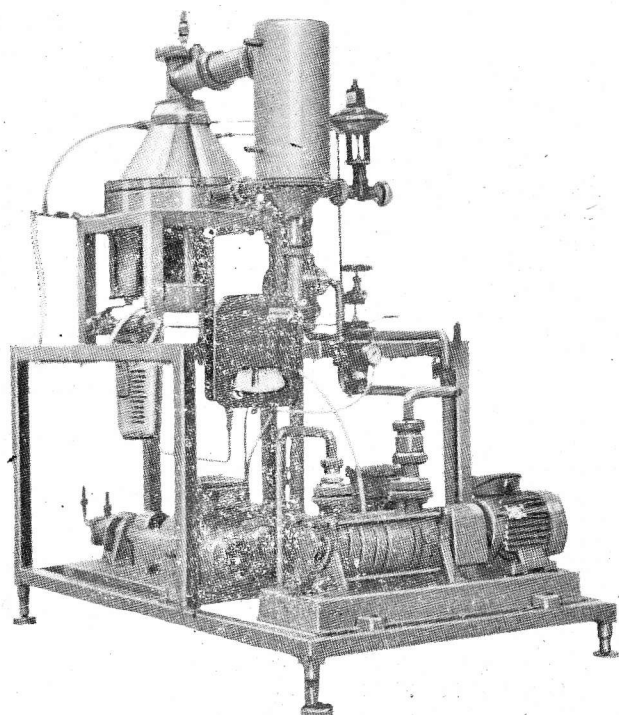
Ing. VLADIMÍR ČERNOHORSKÝ, Ing. PETR JANÍK, Pokusné a vývojové středisko pro pivo a slad Braník, Praha 4

Rozvoj nových metod a způsobů výroby nealkoholického piva se nevyhnul ani již dnes klasickým metodám destilačním. Vývoj moderních destilačních metod vedl ke konstrukci odparek pracujících s nízkou odpařovací teplotou a krátkou až ultrakrátkou dobou prodlevy. Krát-

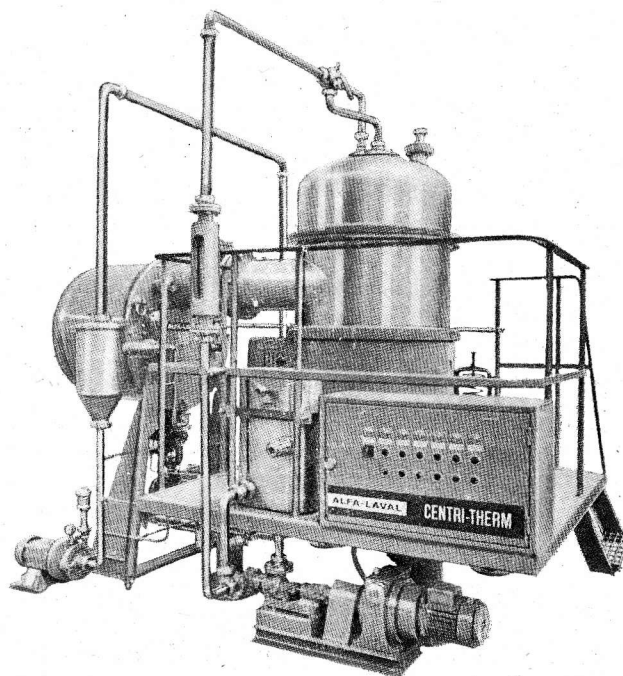
ká doba představuje čas pod 10 minut, ultrakrátká pak 1 až 10 sekund. Předpokladem je velmi tenká tloušťka filmu a dobrý přestup tepla.

Pracovníci Pokusného a vývojového střediska pro pivo a slad Praha-Braník měli možnost pracovat na špičkovém zařízení, jež splňuje potřebné parametry pro práci s tepelně labilními produkty, mezi něž lze počítat i pivo.

Jedná se o zařízení Centritherm CT-1 švédské firmy Alfa Laval (obr. 1). Funkčním principem tohoto zařízení je kombinace nepřímé výměny tepla s odstředivou silou vyvolanou rotací kuželové plochy odparky. Základem zařízení je rotující, zahříváná kuželovitá plocha, která je u větších typů CT-6 a CT-9 (obr. 2) uspořádána přes sebe, podobně jako u talířového separátoru. Pivo je vedeno dávkovacím čerpadlem a tryskami rozdělováno na



Obr. 1. Centritherm model CT 1-B



Obr. 2. Centritherm model CT 6