

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Ekonomika v energetice

**Text byl vypracován s podporou projektu CZ.1.07/1.1.00/08.0010
„Inovace odborného vzdělávání na SŠ, zaměřené na využívání
energetických zdrojů pro 21. století a na jejich dopad na ŽP**

Doc. Ing. Ladislav Kysela, CSc

Ostrava 2012



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah:

PŘEHLED POUŽITÝCH ZNAČENÍ A INDEXŮ	2
Předmluva.....	4
1 Ekonomika v energetice obecně	4
1.1 Vymezení pojmů a definicí - obsah předmětu	4
1.2 Podstata energie	6
1.3 Racionální hospodaření s energií.....	6
1.4 Energetika České republiky	8
1.5 Palivoenergetická náročnost státu	10
1.6 Struktura spotřeby prvotních energetických zdrojů.....	12
1.7 Druhotné energetické zdroje (DEZ)	14
2 Transformace, doprava a užití energie v místě spotřeby	16
2.1 Celková účinnost energetického systému	16
2.2 Palivoenergetická náročnost výroby.....	17
2.3 Transformace – zušlechťování energie.....	18
2.4 Doprava, přenos a rozvod energie.	29
2.5 Užití energie na místě spotřeby.	38
3 Vyrovnávání disparit mezi výrobou a spotřebou energie	46
3.1 Elektrická energie.	47
3.2 Dodávka tepla	48
3.3 Topné plyny	48
3.4 Stlačený vzduch	48
3.5 Potenciální energie vody	48
3.6 Akumulace energie	49
4 Způsoby využití druhotných zdrojů energie	53
4.1 Využití chemické energie	53
4.2 Zařízení na využití citelného tepla.....	57
4.3 Využití potenciální energie plyných látek	60
5 Prostředky hospodaření s energií	60
5.1 Energetický audit	61
5.2 Energetické charakteristiky	62
5.3 Energetické bilance.....	66
6 Ekonomika v energetice.....	68
6.1 Výrobní náklady a cena energie	68
6.2 Cena energie a tarifní systémy	71
6.3 Ekonomická efektivnost investic pro energetiku.....	73
7 Legislativa pro oblast energetiky.	75
7.1 Zákony ČR pro oblast energetiky	75
7.2 Usnesení vlády ČR	77
7.3 Vyhlášky ústředních úřadů	77
7.4 Technické normy ČSN, resp. ČSN EN.....	79
8 Použitá literatura a další zdroje informací	80

PŘEHLED POUŽITÝCH ZNAČENÍ A INDEXŮ

Označení základních veličin

A	J	práce
D	m	průměr
E	J	množství energie
H	m	výška
I	A	proud
L	m	délka
N	Kč	náklady
O	m ³	objem nádoby
P	W, kW	výkon, příkon
Q	J, Wh	množství energie
r	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	měrná plynová konstanta
S	m ²	plocha
T	K	absolutní teplota
U	V	napětí
V	m ³	objem
a	J.kg ⁻¹ , J.m ⁻³	měrná práce
c	m.s ⁻¹	rychlost tekutiny
e	GJ.GJ ⁻¹	měrná energie
i	J.kg ⁻¹ , J.m ⁻³	entalpie
k	J.m ⁻²	součinitel prostupu tepla
m	kg	hmotnost
n	Kč.GJ ⁻¹	měrné náklady
p	Pa	tlak
q	kWh.kWh ⁻¹	měrná spotřeba energie
r	roky	návratnost investice
t	°C	teplota
v	m ³ .kg ⁻¹	měrný objem plynu
z	kW.kW ⁻¹	využití instalovaného výkonu
α	W.m ⁻² .K ⁻¹	součinitel přestupu tepla konvekci
ε	1	kompresní (expanzní) poměr tlaků
η	1	účinnost
ν	m ² .s ⁻¹	kinematická viskozita
κ	1	adiabatický exponent
λ	1	součinitel odporu
ρ	kg.m ³	hustota (měrná hmotnost)
ζ	1	poměrná ztráta tlaku

Indexy veličin

a	ze zdroje
B	palivo
b	ke spotřebiči
c	celkový
č	čerpadlo
d	dodaný
e	vnější (teplota)
el	elektrický
ekv	ekvivalentní
g	generátor

h	hydromotor
i	výhřevnost paliva
is	vnitřní (teplota)
it	izotermický
jm	jmenovitý
k	kotel, konstantní
m	mechanický
max	maximální
n	netěsnosti
nv	napájecí voda
o	odběr páry
opt	optimální
p	povrch, pneumotor, pára z kotle
pal	palivo
pr	proměnlivý
PT	parní turbína
r	rozvod
ST	spalovací turbína
sp	spojkový
T	vodní turbína
t	tepelný
ti	ideální
td	termodynamický
u	užitečný
v	výrobní, vnitřní, ventilátor
vs	výměníková stanice, vlastní spotřeba
z	ztrátový,

Předmluva

Tato publikace byla zpracována v rámci projektu č. CZ.1.100/08.0010 „Inovace odborného vzdělávání na středních školách“. Je také určena všem, kteří v rámci svého studia a své pracovní náplně se zabývají rozborů využití energií ve všech oblastech národního hospodářství, včetně optimalizace výrobního zařízení a jeho optimálního využití. Je také věnována těm, kteří mohou svým počínáním přispět k minimalizaci nákladů a snížení spotřeby energií.

1 Ekonomika v energetice obecně

1.1 Vymezení pojmů a definicí - obsah předmětu

Obecně: Ekonomika vychází z pojmu ekonomie (z řeckého slova „hospodárnost, úspornost“). Znamená úsporné hospodaření s hmotnými a finančními prostředky.

Ekonomika:

- 1) Jedná se o souhrn konkrétních hospodářských činností lidí v jejich vnitřních vzájemných souvislostech, rozvíjejících se uvnitř státu či oblasti, ale také v mezinárodních vztazích.
- 2) Jde o vědecko-technický obor, zkoumající tuto činnost obecně (obecná ekonomika), nebo uvnitř určitého odvětví nebo ve specifické činnosti (tzv. odvětvové ekonomiky).

Obecná ekonomika - obsahuje např. národohospodářské plánování, financování, ekonomickou statistiku, účetní evidenci, zkoumá problematiku řízení atp.

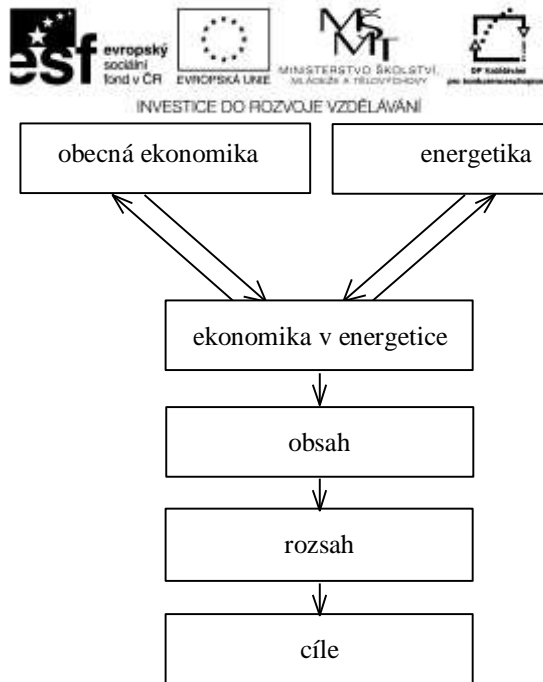
Odvětvová ekonomika - zkoumá tyto souvislosti uvnitř určitého odvětví, (např. ekonomika průmyslu, zemědělství, stavebnictví, obchodu atd.), nebo v úseku, který je společný těmto odvětvím, ale studuje i jevy a zákonitosti určité specifické činnosti která je i vlastní pro celé národní hospodářství (např. ekonomika práce, financí atp.)

Ekonomika energetiky - studuje tyto souvislosti a jevy uvnitř odvětví a zabývá se zajištěním a využíváním energie pro všechny obory lidské činnosti. Ve svém zkoumání se opírá o poznatky obecné energetiky, ale také o technické vědy, zejména v oblasti energetiky.

Naopak zase **technická věda - energetika** přejímá poznatky ekonomiky energetiky. Tyto dvě vědní disciplíny tedy na sebe vzájemně působí a doplňují se.

V současné době, kdy se uplatňuje v celém národním hospodářství tržní systém v národohospodářské činnosti je také nezbytné v činnosti techniků uplatňovat základní ekonomické zákony a souvislosti a doplňovat technické myšlení myšlením ekonomickým. Pro technika a inženýra, a platí to také pro oblast energetiky, je toto myšlení při řešení technických problémů nezbytné a často rozhodující.

Schéma vzájemného působení těchto vědních oborů je na obr. 1.



Obr. 1.1. Schéma vzájemného působení oborů

Problematika energetiky těsně souvisí s problematikou ostatních odvětví národního hospodářství, která jsou buď dodavateli, nebo odběrateli energie. Z toho plyne nutnost řešit energetické problémy komplexně v rámci celého národního hospodářství. K tomuto účelu směřují různá opatření, usměrňující činnost subjektů, působících v této oblasti, která se uskutečňují těmito způsoby:

- 1) Legislativou, tj. zákony a prováděcími předpisy, např. tzv. energetický zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích [10] a zákon 406/2006 Sb. o hospodaření energií [11],
- 2) energetickou politikou vlády, usneseními vlády např. Státní energetická koncepce ČR [12], vyhláškami ústředních orgánů apod.
- 3) podporou ekonomickými nástroji, např. úlevami na daních, dotacemi, příp. financováním z různých státních fondů, jako je např. Fond životního prostředí apod.

Problémy energetiky přesahují také rámec státu a jeví se nutnost jejich řešení v mezinárodním společenství. Tyto otázky se řeší např. na mezinárodních energetických konferencích v rámci Organizace spojených národů, resp. doporučeními např. v rámci tzv. Energetické charty Evropské Unie.

Předmět Ekonomika energetiky, jakožto užitou vědní disciplinu je možno charakterizovat třemi principy:

1. Obsah - zkoumá konkrétní projevy ekonomických zákonů v energetice.
2. Rozsah - vztahuje se na všechny fáze energetických procesů od získávání všech forem energie až po její užití, včetně dopravy a rozvodu.
3. Cíle - jde o ověřené a teoreticky zdůvodněné závěry a metody sloužící praxi ke zjišťování ekonomicky optimálního a komplexního řešení konkrétních problémů energetiky, jak při výstavbě nových energetických zařízení, tak i při jejich provozu a provozu ostatních výrobních zařízení a využití pro občanské účely s ohledem na hospodárné užití energie.

1.2 Podstata energie

Podle fyzikálních zákonů je energie nějaké soustavy její schopnost konat práci. Množství vykonané práce se rovná úbytku energie soustavy, naopak množství dodané energie soustavě zvyšuje její schopnost konat práci.

Z toho plynou známé **zákony o zachování energie** (o její nezničitelnosti), tj.:

1. zákon termodynamiky - který zkoumá kvantitativně možnost vzájemné přeměny jednotlivých forem energie mezi sebou,

2. zákon termodynamiky, který stanoví, že tyto změny samovolně probíhají jen ve směru zvyšování entropie (tj. entropie jako míra degradace, znehodnocování schopnosti konat práci).

Energie je bezprostředně vázána a spojena s hmotou, nemůže existovat bez ní. Hmota je ve stálém pohybu, říká se také, že energie je jednou z forem existence hmoty. Pohyb hmoty je nutno chápat nejen jako mechanický pohyb, tj. pouhá změna místa, je to také teplo, světlo, elektrické a magnetické napětí, chemické reakce, život a vědomí člověka.

Kvantitativní vztah mezi látkovou a energetickou formou hmoty vyjádřil Albert Einstein klasickou rovnicí

$$E = m \cdot c^2 \quad (J) \quad [1.1]$$

kde E je úhrnná energie hmoty,

m - množství látky,

c - rychlost světla.

V energetických procesech je nutno vždy souběžně uvažovat:

- 1) zákon o zachování energie
- 2) zákon o zachování hmoty.

Ekonomika energetiky ve své praktické podobě obsahuje:

- 1) základní poznatky o ekonomických souvislostech při transformaci a využívání energie v konkrétních procesech a místech,
- 2) metody pro řešení hospodárné transformace a užití energie,
- 3) metody k řízení energetiky z pohledu výrobních závodů, míst, oblastí (regionů), státu i v mezinárodním společenství.

1.3 Racionální hospodaření s energií

(tj. hospodárná transformace a užití energie) zahrnuje jednotlivé dílčí fáze energetických transformací:

- 1) Získávání energie ve všech formách,
- 2) Transformace (zušlechťování) energie všech forem,
- 3) Doprava a rozvod energie
- 4) Užití energie na místě spotřeby.
- 5) Akumulace energie.

Získávání energie ve všech formách ve státě se uskutečňuje:

1. z prvotních přírodních zdrojů (těžbou, pěstováním zemědělských produktů, z vodní, větrné a sluneční energie a dalších tzv. obnovitelných zdrojů energie),
2. z druhotných zdrojů, kde energie vzniká jako vedlejší produkt při výrobě,
3. dovozem ze zahraničí.

Energie, kterou získáváme z prvotních přírodních zdrojů na území státu, resp. dovozem, nazýváme **prvotní (primární) energetické zdroje** (značíme **PEZ**), energie z druhotných zdrojů nazýváme **druhotné (sekundární) energetické zdroje** (značíme **DEZ**).

Energii z prvotních zdrojů dělíme na:

- 1) neobnovitelné (např. fosilní paliva, tj. uhlí, přírodní kapalná paliva, zemní a degazační plyn),
- 2) obnovitelné (vodní, sluneční a větrná energie, energie biomasy, geotermální energie, energie mořského příboje a další).

Někdy také energii dělíme na:

- 3) klasické - tradiční zdroje energie.
- 4) energie využívané zejména v poslední době – obnovitelné a neobnovitelné zdroje energie (energie větrná, sluneční, energie odpadů a další.).

Podle zdrojů energie a forem užití se energetika člení do specifických oblastí:

- 1) zahrnuje oblast výroby, přenos, rozvod a užití elektrické energie, její součástí je **elektrárénství**,
- 2) **tepelná energetika** - zahrnuje veškeré oblasti, kde se energie vyskytuje ve formě tepelné energie. Důležitou oblastí je **teplárénství**, včetně soustavy centrálního zásobování teplem (**SCZT**), topenářství a chladicí technika,
- 3) **souběžná výroba elektrické energie a tepla** – (kombinovaná výroba el. energie a tepla – po staru označovaná KVET, resp. v poslední době kogenerace, případně i souběžná výroba elektrické energie, tepla a chladu, tzv. trigenerace,
- 4) **palivová energetika** - oblast hospodaření tuhými, kapalnými a plynými palivy od jejich těžby až po užití. Součástí je obor **plynárénství**, zabývající se těžbou, event. výrobou, dopravou a užitím topných plynů, resp. zajišťující jejich dodávku ze zahraničí.
- 5) **jaderná energetika**, zabývá se transformací energie atomového jádra na energii elektrickou, příp. tepelnou v jaderných elektrárnách, resp. teplárnách.
- 6) **hydroenergetika**, zahrnuje využívání potenciální energie vodních toků a její přeměnu na elektrickou energii. Komplexně se řeší ve spolupráci s hydrogeologií, vodním hospodářstvím, resp. vodním stavitelstvím.
- 7) **netradiční zdroje energie** – **nyň také obnovitelné zdroje energie** -zahrnuje využívání energie sluneční, větrné, geotermální, palivové a fotovoltaické články, slapová energie a další.

U každého druhu energie je možno rozlišovat kvantitativní hodnotu, vyjádřenou extenzivní veličinou E_e a kvalitativní úroveň energie, vyjádřenou intenzivní veličinou E_i . Množství energie je pak dáno zpravidla součinem obou veličin, tedy

$$E = E_e \cdot E_i \quad (J) \quad [1.2]$$

Energie daného nositele energie závisí jednak na jeho vnitřních, jednak na vnějších podmínkách (tj. stavu vůči okolnímu prostoru). Energie sama o sobě je veličinou kvantitativní, avšak její velikost má smysl jen při srovnávání s určitým stavem okolí. Např.

entalpii vyjadřujeme na základě dohody většinou k teplotě okolí 0°C (vyjma chladicí techniky), hodnotu potenciální energie vodního díla vzhledem ke spodní hladině atp. Všechny druhy energie pak můžeme přepočítávat na stejné fyzikální jednotky (např. GJ, kWh apod.) avšak z extenzivní povahy těchto jednotek není vystižena jejich kvalitativní stránka daného množství energie. Pod pojmem kvalitativní stránky rozumíme technickou využitelnost energie a ekonomii. Přepočet kvalitativních veličin vyjadřuje princip 1. zákona termodynamiky, technickou využitelnost vyjadřuje 2. zákon termodynamiky. Ten lze zobecnit v tom smyslu, že při každé transformaci energie, dopravě a spotřebě klesá intenzivní složka, která se snižuje (degraduje) z vyššího potenciálu na nižší a klesá tak využitelnost energie. Tak např. u parních rozvodů vlivem tlakových a tepelných ztrát klesá tlak i teplota páry a klesá využitelný tepelný spád k vykonání mechanické práce v parní turbině. Stupeň degradace intenzivní složky energie se vyjadřuje také pomocí změny entropie nositele energie, která v samovolně probíhajících procesech vede vždy ke zvýšení entropie výchozí látky. Tyto jevy a souvislosti se také dají popsat pomocí tzv. exergie a anergie.

1.4 Energetika České republiky

Primární energii získáváme jednak z vlastních přírodních zdrojů, jednak dovozem ze zahraničí (hlavně ropa a zemní plyn).

Energetická bilance státu:

Pozůstává z těchto položek:

- 1) Primární energetické zdroje - PEZ a jejich přímé užití nebo užití k další transformaci,
- 2) Ztráty v procesech transformace a zušlechťování, při dopravě, přenosu a rozvodu.
- 3) Konečné užití energie (nepřesně tzv. spotřeba energie) pro technologické procesy ve výrobě a pro potřebu obyvatelstva (nevýrobní sféra).
- 4) Dodávky energie mimo území státu (např. elektrická energie).

K PEZ podle bodu 1) je nutno také připočítat dovoz již zušlechtěné energie při vzájemné mezistátní výměně.

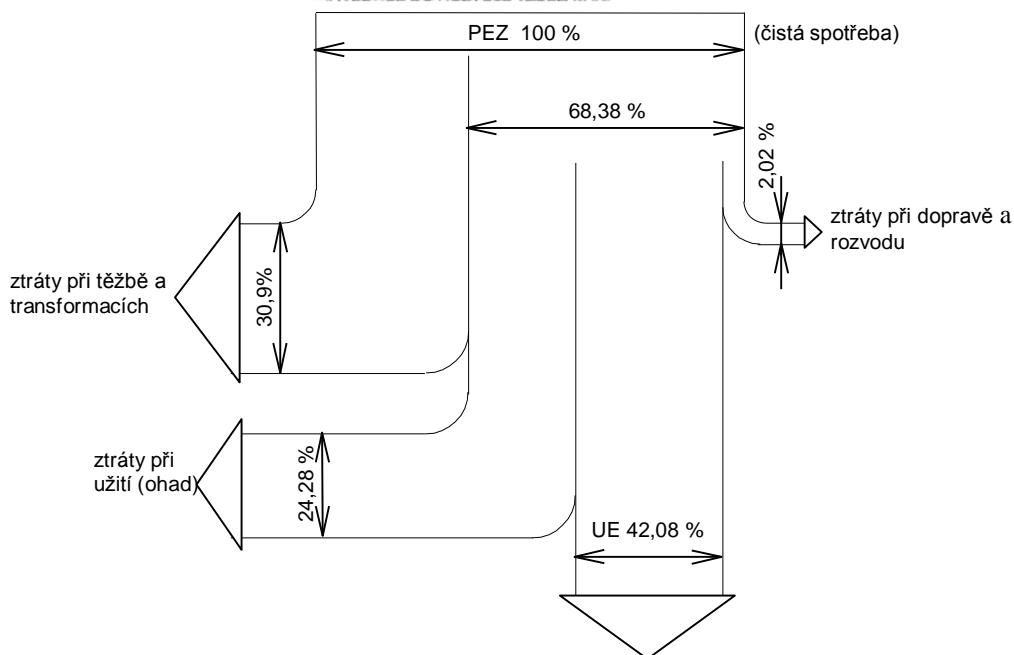
Rozdíl mezi tuzemskou spotřebou PEZ - pol. 1 a vývozem dle pol. 4 představuje tzv. palivoenergetickou náročnost České republiky (PEN).

Bilanci energie lze znázornit také graficky pomocí tzv. Sankeyova digramu (obr.1.2). (Údaje jsou z roku 1997 [1] – statistické údaje o Energetickém hospodářství ČR).[1] Zde jsou uváděny:

PEZ v tuzemsku užití – v diagramu 100%,

Konečná spotřeba paliv a energie – v diagramu po odečtení ztrát při těžbě a transformacích a při dopravě a rozvodu, tj. $100 - 30,9 - 2,02 = 67,08\%$.

UE, tj. užitá energie po odečtení ztrát při užití je 42,08%. Tato hodnota je vypočtena odhadem z předpokládané průměrné účinnosti využití konečné spotřeby energie ve spotřebních zařízeních při průměrné hodnotě ztrát při transformaci energie při užití ve výši 24,28%.



Obr. 1.2. Senkeyův diagram bilance energie

Celková účinnost $\eta_c = \frac{UE}{PEZ} = 0,4208$ (1) [1.3]

Převrácená hodnota $e = \frac{1}{\eta_c} = \frac{PEZ}{UE}$ (GJ.GJ⁻¹) [1.4]

Konečná čistá spotřeba je tzv. měrná PEN = 2,376 GJ.GJ⁻¹ UE

Vývoj energetické bilance ČR v PEZ, v konečné spotřebě před užitím celkově a podle struktury spotřeby je sledován v rámci Státní energetické koncepce České republiky, která byla usnesením vlády ČR č. 211 schválena 10 března 2004.[12]

Tato koncepce stanovuje:

- 1) cíle a prostředky ke snížení energetické náročnosti tvorby Hrubého domácího produktu (HDP),
- 2) zajištění bezpečnosti energetických zdrojů jejich větší diversifikací,
- 3) podporu využití obnovitelných zdrojů energie (OZE) a vyššího podílu kombinované výroby elektrické energie a tepla (KVET).a
- 4) snížení emisí škodlivin v energetice.

Z této státní energetické koncepce uvádím některé údaje současného stavu a vývoje do roku 2030.

Spotřeba a vývoj primárních energetických zdrojů (PEZ):

Rok	2000	2005	2030
Spotřeba celkem [PJ]	1672	1730	1797
Struktura spotřeby [%]			
Tuhá paliva celkem	52,4	42,5	30,5
Z toho: Hnědé uhlí	36,6	29,3	20,8
Černé uhlí	15,8	13,2	9,7
Plynná paliva	18,9	21,6	20,6
Kapalná paliva	18,6	15,7	11,9
Jaderné palivo	8,9	16,5	20,9
Obnovitelné zdroje	2,6	5,4	15,7

Primární energetické zdroje se z části transformují na ušlechtlejší formy energie (elektrická energie, teplo a plyn), zbytek se dopravuje ke konečné spotřebě pro průmysl, doprava, zemědělství, služby a domácnosti (uhlí, plynná a kapalná paliva). Po tomto zušlechtění, případně přímé dopravě do místa spotřeby PEZ je konečná spotřeba před užitím uvedena v následující tabulce.

Výše a vývoj konečné spotřeby energie před užitím):

Rok	2000	2005	2030
Spotřeba celkem [PJ]	1027	1079	1210
Struktura spotřeby [%]			
Hnědé uhlí	5	3,7	2,1
Černé uhlí a koks	8,1	7,9	6,4
Ostatná tuhá paliva	0,8	0,8	0,5
Plynná paliva	26,4	30,2	26,1
Kapalná paliva	24	21	17,1
Elektrina	16,8	17,2	20,9
Teplo	17,5	17,1	20,2
Obnovitelné zdroje	1,5	1,1	1,6
Úspory	0	1	5,2
Celková účinnost	61,4	62,4	67,3

V oficiálních statistických údajích se uvádí tyto dvě úrovně spotřeby. Neuvádí se konečná čistá spotřeba energie v jednotlivých konečných spotřebičích (různé technologie výroby, spotřeba pro vytápění, ohřev teplé vody, svícení a vaření apod. Je to možno pouze odhadnout z pravděpodobných rozborů účinnosti při této konečné transformaci v jednotlivých spotřebičích. Z podrobnějšího odhadu ztrát v těchto jednotlivých spotřebičích pro různé formy užití energie vyplývá, že celkově tyto ztráty činí asi 20 % z PEZ, takže čisté využití PEZ až včetně konečné spotřeby energie činí řádově okolo 42%.

Na podzim roku 2011 byla předložena aktualizace Státní energetické koncepce. Zatím však nebyla vládou schválena a v současné době čelí kritickým pohledům.

1.5 Palivoenergetická náročnost státu

Palivoenergetická náročnost státu se posuzuje ze dvou hledisek:

1. ve vztahu k tvorbě hrubého domácího produktu (HDP) např. v GJ/mil. Kč HDP,
2. ve vztahu k počtu obyvatel např. v GJ/ 1 obyvatele.

V mezinárodním srovnávání se první ukazatel přepočítává na GJ/mil. USD HDP.

Tato srovnávání jsou však značně problematická, zejména pak mezinárodní srovnávání přepočtené na mil. USD HDP. Spíše je možno těchto ukazatelů použít pro srovnávání trendu vývoje energetické náročnosti státu. Problematickost srovnávání je především z těchto důvodů:

Palivoenergetická náročnost jednotlivých zemí je různá a bezprostředně souvisí s těmito vlivy:

- 1) s úrovní výroby a využití energie při výrobě, tj. jak hospodárně se energie transformuje a využívá na místě spotřeby - vlastní ekonomika,
- 2) se strukturou výroby, tj. na podílu energeticky náročných technologií v celkové výrobě (např. těžký průmysl a chemie vysokou energetickou náročností, naopak turismus s velmi nízkou energetickou náročností),

- 3) s životní úrovní obyvatelstva a vybaveností občanské sféry, tj. domácí spotřebiče, elektrizace domácností, podíl individuální výstavby apod.,
- 4) s geografickou polohou státu, zejména z hlediska spotřeby energie pro vytápění, klimatizaci apod.

Jak je z těchto vlivů zřejmé, porovnávání PEN jednotlivých států a hodnocení úrovně využití energie je vždy velmi problematické a lze tedy srovnávat mezi sebou státy s obdobnou strukturou podle výše uvedených vlivů.

Přesto byly v mezinárodním měřítku pro porovnávání zavedeny tyto ukazatele:

- 1) Spotřeba energie, resp. PEN na milion dolarů (USD) vytvořeného hrubého domácího produktu (označení HDP). Udává se v tzv. tunách měrného paliva (1 tmp = 29,31 GJ, dříve 7 Gcal) nebo v tzv. ropných ekvivalentech – t_{oe} (přepočteno na výhřevnost 1 t ropy, cca 41,87 GJ), příp. lépe přímo v GJ./mil.USD HDP. Tento ukazatel ukazuje především na úroveň využití energie v průmyslu a obchodu.
- 2) Spotřeba energie na 1 obyvatele.

Jako doplňující ukazatel se také vyhodnocuje měrná spotřeba elektrické energie na HDP a na obyvatele. Tento ukazatel vyjadřuje kvalitativní úroveň využívání energií.

Pro porovnání uvedeme hodnocení PEN za rok 1997:(z údajů v [1 a 18])

HDP v běžných cenách byl vytvořen v hodnotě	1 650 mld.. Kč.
Spotřeba PEZ celkem	1 740 000 TJ
Počet obyvatel ČR	10,3 mil.
Celková spotřeba PEZ vyjádřena v ekvivalentních jednotkách tmp	59,365 mil.
Celková spotřeba PEZ vyjádřena v ekvivalentních jednotkách toe.	41,557 mil.
Měrná palivoenergetická náročnost na HDP činila	1055GJ./mil. Kč HDP,
měrná palivoenergetická náročnost na obyvatele	168,93 GJ/1obyvatele.

Pro mezinárodní srovnávání se používá přepočet hodnoty HDP

- 1) ve směnném kurzu – pro r. 1997 pro měnový kurz 31,71 Kč/USD byl

HDP	52,03 mld USD,
měrná palivoenergetická náročnost na HDP	798,7 toe./mil. USD,
zatímco v Evropské unii (EU)	202 toe./mil. USD,

Podle tohoto výpočtu by byla energetická náročnost ČR na tvorbu HDP téměř 4 krát vyšší než je průměr v EU.

- 2) v tzv. paritě kupní síly Kč (národní měny – označuje se USD -PPP), která byla v tomto roce vyhodnocena ve vztahu k USD hodnotou 13,346 Kč/USD, potom byl vypočtený

HDP	123,63 mld USD
měrná palivoenergetická náročnost na HDP	336,14 toe /mil USD,

tedy pouze 1,664 krát vyšší, než v EU.

Vyšší měrná palivoenergetická náročnost na HDP vůči EU je dána jednak nižší tvorbou HDP na obyvatele v ČR a jednak technickým stavem výrobních zařízení.

Naproti tomu

Měrná palivoenergetická náročnost na obyvatele v ČR	4,086
---	-------

	toe./obyvatele
Měrná palivoenergetická náročnost na obyvatele v EU	3,848
	toe./obyvatele

tedy v ČR jen 1,062 krát vyšší než v EU.

V tomto ukazateli je samozřejmě obsažena jak energetická náročnost tvorby HDP, tak i spotřeba v nevýrobní oblasti (domácnostech), takže naopak spotřeba energií v domácnostech je nižší než v EU, což souvisí s rozdíly ve vybavenosti domácností.

Měrná spotřeba elektrické energie jako nejušlechtlejšího druhu energie vztažena na tvorbu HDP byla:

v ČR	0,475 toe./mil USD PPP,
v EU	0,336 toe./mil USD,

tedy v ČR 1,414 krát větší než v EU.

Měrná spotřeba elektrické energie vztažena na obyvatele byla

v ČR	5703 kWh/.obyvatele
v EU	6399 kWh/obyvatele

tedy 89 % spotřeby v EU.

Hodnocení spotřeby energie ve vztahu k HDP na milion US dolarů má svá úskalí. Především v tom, že je nutno objektivně stanovit přepočtení domácí měny na dolary, tj. otázka správných relací měnových kurzů. Např. kurz dolaru se v letech 1997 až 2000 (listopad) zvýšil z cca 32 na více než 40 Kč./USD aniž se tak podstatně změnila spotřeba energie ČR. Při novém přepočtu kurzu, tj. cca 40 Kč./USD by vyšel ukazatel PEN na jednotku HDP pro ČR ještě nepříznivěji, ačkoliv se za tuto dobu PEN spíše snížila. Naopak v posledních letech (2005 – 2007) došlo k prudkému poklesu směnného kursu dolaru až pod 20Kč/USD.. Je proto správnější provádět hodnocení měny podle tzv. spotřebního koše (tj. podle toho, kolik je nutno zaplatit za přesně určený objem zboží a služeb za Kč v ČR a za USD v jiném státě).[15,18]

Je nutno však poznamenat, že zatím objektivnější porovnání využívání paliv a energií mezi jednotlivými státy neexistuje a současná metodika se používá v mezinárodním měřítku řadu let na celém světě. (V rámci mezinárodních organizací, např. OSN, EU a další).

1.6 Struktura spotřeby prvotních energetických zdrojů

Struktura spotřeby prvotních energetických zdrojů podle druhů energie ve světě:

Je rozdílná podle jednotlivých států. Celkově činí podíly podle jednotlivých PEZ::

ropa a kapalná paliva	43%	vodní energie	3 %
uhlí	25%	jaderná energetika	4%
zemní plyn	18%	ostatní PEZ	7%

Podle jednotlivých odvětví byla struktura užití energie v ČR v r.1997)[1]

Průmysl	542 394 TJ	45,4%,
stavebnictví	21 2216 TJ	1,8%,
zemědělství	32 660 TJ	2,7%,
doprava	170 022	14,3%
obchod a služby	164 624	13,8%
domácnosti	262 106	22,0%

Další údaje o rozdělení druhů PEZ při zušlechťování PEZ:[podle 12]

Podíl druhu paliva na výrobě elektřiny:

Rok	2000	2005	2030
Výroba el. energie celkem [TWh]	73,73	78,2	89,17
Podíl jednotlivých druhů PEZ [%]			
Tuhá paliva celkem	70,5	55,5	36,8
Z toho: Hnědé uhlí	58,4	48,9	31,9
Černé uhlí	12,1	6,6	4,9
Plynná paliva	6,4	4,7	7,2
Kapalná paliva	2,2	1,1	0,4
Jaderné palivo	18,4	33,3	38,6
Obnovitelné zdroje	2,3	5,3	16,9

Podíl druhu paliva na centralizované výrobě tepla (SCZT)

Rok	2000	2005	2030
Výroba tepla celkem [PJ]	185	184	233
Podíl jednotlivých druhů PEZ [%]			
Tuhá paliva celkem	68,7	55,1	34,8
Z toho: Hnědé uhlí	48,7	35,7	25,8
Černé uhlí a koks	19,5	19,5	9,0
Plynná paliva	21,6	22,7	17,2
Kapalná paliva	8,7	3,2	0,9
Jaderné palivo	0	0	0
Obnovitelné zdroje	0,5	17,8	46,8
Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE)			
Rok	2000	2005	2030
Výroba elektřiny z OZE celkem [TWh]	0,55	2,98	13,62
Podíl jednotlivých druhů OZE [%]			
Biomasa	1,82	53,7	80,5

Malé vodní elektrárny	94,5	26,8	7,7
Větrné elektrárny	1,82	19,1	10,6
Fotovoltaické články	0,00	0,00	0,07
Bioplyn	1,82	0,34	1,18

V další tabulce je uvedeno rozdělení energie ve stadiu užití (UE) podle odvětví národního hospodářství (přibližné údaje v roce 2010).

Rok 2010	PJ	[%]
průmysl a stavebnictví	500	45,8
domácnosti	230	19,2
obchod a služby	200	16,7
doprava	180	15,0
zemědělství	40	3,3

1.7 Druhotné energetické zdroje (DEZ)

Druhotný – sekundární zdroj energie vzniká jako vedlejší produkt technologie výroby, nebo jiné lidské činnosti. Na rozdíl od primárních energetických zdrojů (PEZ), které se získávají z přírody, určuje jeho následné, byť i částečné využití, úroveň technologie výroby a zvyšuje celkovou efektivnost. Je proto účelné tyto druhotné energetické zdroje racionálně využívat.

Důležitost využití DEZ je podpořeno těmito aspekty:

- a) jejich využití snižuje palivoenergetickou náročnost výroby a státu,
- b) nahrazuje spotřebu PEZ a pokud se jedná o paliva, u nichž dochází k využití energie spalováním, nezatěžuje využívání DEZ životní prostředí škodlivými emisemi,
- c) využití DEZ často představuje i ekonomické úspory.

Technické řešení využívání DEZ je ve většině případů v podstatě vždy možné, při praktickém řešení však jejich využití často brání ekonomická efektivnost řešení, což je zpravidla rozhodující.

Druhotné energetické zdroje využívané běžnými způsoby jsou **DEZ využité**.

Pokud v daném místě nejsou z různých důvodů využívány, hovoříme o tzv. **odpadní energii**.

Chemická energie pevných, kapalných a plyných odpadních látek z technologických procesů

Pevné odpady:

V zásadě se jedná o dva druhy pevných odpadů:

- 1) odpady minerální,
- 2) odpady organického původu.

Ad 1) Minerální odpady vznikají např. při úpravě primárních energetických zdrojů – fosilních paliv – uhlí. Jedná se o **úpravny uhlí**, jejichž cílem je dosáhnout vyšší kvality vytěženého uhlí – tj. zvýšení výhřevnosti odstraněním hlušiny a homogenizace zrnitosti uhlí – oddělení prachových částic. Děje se tak v úpravkách, resp. prádelnách uhlí na dolech. Vznikají tak odpady jako flotační kaly a vodní kaly, které se dále zhodnocují odstraněním vlhkosti v sušárnách uhelných kalů.

Svým způsobem je možno za odpadní energii považovat také koks při výrobě svítiplynu (ať již v klasických plynárnách nebo při tlakovém zplyňování uhlí).

Pozn.: Naproti tomu při výrobě koksu v koksovárnách, kde se vyrábí koks pro výrobu surového železa, je vyrobený koks možno považovat za primární produkt výroby, zatímco jako sekundární zde vzniká především koksárenský plyn a menší množství drobného koksu, který

se pro hutní výrobu nehodí a používá se pro spalování ve spalovacích zařízeních (např. kotle pro ústřední vytápění nebo lokální vytápění domácností v kamnech).

Ad 2) Odpady organického charakteru vznikají:

- při zemědělské výrobě (sláma, kejda)
- v dřevařské výrobě (dřevěné štěpky),
- na skládkách odpadů,
- v čistírnách městských odpadních vod.

Kapalné odpady

- Jedná se např. o odpadní oleje ze strojírenské výroby, použité mazací oleje, produkty chemického průmyslu. Využití spalováním v kotlích, rotačních pecích, v poslední době se zkoumá i možnost využití v kogeneračních jednotkách se spalovacími motory.
- V podstatě je možno do této kategorie zařadit odpadní topné oleje z rafinace ropy.
- V minulosti se topné oleje s ohledem na jejich nízkou cenu hojně využívaly při spalování v kotlích, průmyslových pecích (např. SM pecích) a jiných technologických zařízeních (např. jako přídavné palivo do vysokých pecí, hořáky rotačních cementářských pecí a pod).
- Topný olej lze také použít pro kombinované spalování plyn–topný olej v hořácích na dvojí palivo.
- Pro přípravu kapalného paliva je nutné poměrně složité palivové hospodářství

Plynné odpady:

Většinou se jedná o topné plyny a procesní plyny, které se zužitkují spalováním v kotlích, nebo v následných technologických procesech (např. v hutních závodech jako topné plyny).

Právě hutní průmysl produkuje značné množství těchto plynných odpadů:

Jedná se o tyto topné plyny:

- vysokopecní plyn – výhřevnost cca $3,5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3} (n)$,
- koksárenský plyn- výhřevnost cca $16 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3} (n)$,
- konvertorový plyn - výhřevnost cca $7,5 \text{ až } 8 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3} (n)$,

Citelné teplo pevných, plynných a kapalných látek

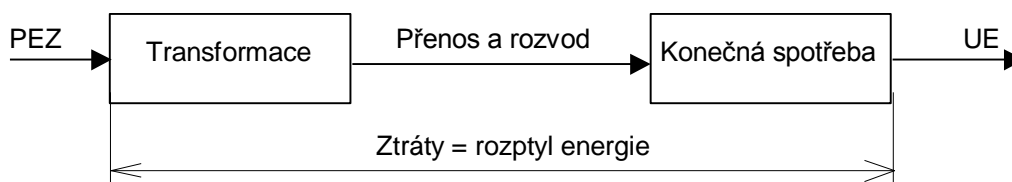
V podstatě se jedná o tepelnou energii, která je dána vyšší teplotou dané látky. Nositelem této energie je pevná látka, kapalina nebo plyn. Zatím co u využití chemického tepla odpadů se jedná o změnu chemického složení produktů, které vzniknou využitím této energie, v tomto případě se chemická struktura nositele odpadní energie využitím nemění. Tato odpadní energie se vyskytuje v celé řadě technologických procesů. Představuje však nižší intenzitu energie než v předchozím případě a také využití bude představovat větší nároky na investice do zařízení na využití odpadního tepla.

Potenciální energie kapalných a plynných látek

V technologických procesech je v některých případech nutno pracovat s kapalným nebo plynným pracovním médiem při vyšších tlacích než atmosférickém. Na stlačení plynu, nebo zvýšení tlaku kapaliny, což se uskutečňuje v kompresorech a čerpadlech, je jak známo, nutno dodat mechanickou práci. Pohon bývá převážně elektromotorem pro menší výkony, nebo parní či spalovací turbínou pro vyšší výkony. Plynu nebo kapalině se tak dodá **potenciální (tlaková) energie**. Často se v průběhu pracovního procesu nevyužije celá část této energie a na výstupu se pak jako nepotřebná maří (transformuje na energii tepelnou) škrcením, takže vystupuje z technologického procesu jako ztrátová energie.

2 Transformace, doprava a užití energie v místě spotřeby

2.1 Celková účinnost energetického systému



Obr. 2.1. Schéma transformace a užití energií:

Celkovou účinnost procesu zušlechťování, rozvodu a užití energie je možno vyjádřit takto:

$$\eta_c = \frac{UE}{PEZ} \cdot 100 \quad (\%) \quad [2.1]$$

Převrácená hodnota je tzv. měrná spotřeba energie

$$e_c = \frac{1}{\eta_c} = \frac{PEZ}{UE} \quad (\text{GJ} \cdot \text{GJ}^{-1}) \quad [2.2]$$

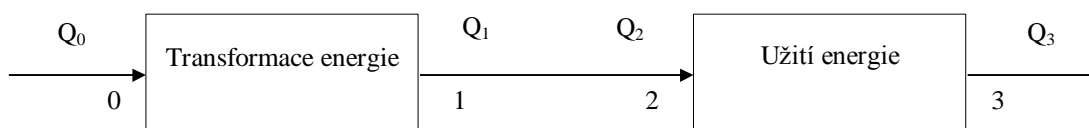
Obdobně jako pro globální energetický systém státu je možno i pro jednotlivé dílčí toky energií (jednotlivých druhů energií) stanovit tyto dílčí úseky:

- 1) transformace (zušlechťovací proces) prvotní energie do formy energie vhodnější pro dopravu a užití s vyšší účinností,
- 2) doprava, přenos, event. rozvod do místa užití,
- 3) konečné užití (transformace) na místě spotřeby, tj. pro daný technologický proces, pro občanskou spotřebu apod.

Zušlechťování podle bodu 1) se provádí z těchto důvodů:

1. technické použitelnosti daného druhu energie pro určitý účel užití (např. pevné palivo, tj. chemická energie v něm obsažená se nedá přímo použít k pohonu výrobních zařízení). Při tom také rozhodují kritéria technická i bezpečnostní.
2. ekonomické a energetické efektivity. Cílem je co nejehospodárnější užití energie, tj. minimalizace ztrát (rozptylu energie) a co nejnižší náklady a cena energie.

Schéma systému



Obr. 2.2. Schéma transformace a užití energií, výpočet účinností

Zde je možno stanovit dílčí účinnosti přeměn energie, resp. ztrát při dopravě, přenosu a rozvodu:

$$\text{účinnost zušlechtění} \quad \eta_0 = \frac{Q_1}{Q_0} \quad (1) \quad [2.3]$$

$$\text{účinnost dopravy} \quad \eta_1 = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (1) \quad [2.4]$$

$$\text{účinnost užití} \quad \eta_2 = \frac{Q_3}{Q_2} \quad (1) \quad [2.5]$$

Celková účinnost systému je potom:

$$\eta_c = \frac{Q_1}{Q_0} \cdot \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{Q_3}{Q_2} = \eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \quad (1) \quad [2.6]$$

Převrácená hodnota účinnosti je opět tzv. měrná spotřeba primární energie na jednotku transformovaného druhu energie v místě užití, tedy:

$$e_c = \frac{1}{\eta_c} = \frac{Q_0}{Q_3} \quad (\text{GJ./GJ PEZ nebo kWh/kWh PEZ}) \quad [2.7]$$

U transformace chemické energie v palivu na energii elektrickou v elektrárnách se často udává měrná spotřeba v kJ na 1 kWh elektrické práce. Přepočet se provádí dle vztahu

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$$

2.2 Palivoenergetická náročnost výroby

Při hodnocení spotřeby energie ve výrobním procesu se často používá tzv. **ukazatel palivoenergetické náročnosti výroby (PEN výroby v GJ/t, nebo na 1 mil. Kč přidané hodnoty)**.

Udává se tak spotřeba všech druhů energií, které se spotřebují ve výrobním procesu, přepočtených na prvotní zdroje energie na jednotku výroby (např. na 1 tunu), takže zahrnuje jednak přímou spotřebu energií, tak i přenesenou spotřebu energií ve zpracovávaném materiálu, včetně všech ztrát při transformaci a dopravě energií.

Tato metoda byla uplatněna např. v hutnictví, které je známo vysokou energetickou náročností. Umožňuje objektivně porovnávat např. různé způsoby výroby oceli z hlediska energetické náročnosti, např. výrobu oceli v SM pecích, v tandemových pecích, v konvertorech nebo elektrických pecích a také porovnávat jednotlivé závody mezi sebou.

V tomto případě se totiž do spotřeby energií zahrnuje nejen přímá spotřeba přepočtená na PEZ, ale také energetická náročnost vstupních surovin, jako je surové železo, šrot, legury a pod.

Pokud bychom uvažovali jen přímou spotřebu energií (např. elektrickou energii, paliva, stlačený vzduch, technické plyny), dopouštěli bychom se hrubých omylů. Podle toho by např. vycházel konvertorový proces nejehospodárnější, protože je u něj velmi nízká

spotřeba energií, avšak musí být prosazen vyšší podíl surového železa, jehož výroba ve vysokých pecích má vysokou energetickou náročnost.

Jednotlivé úseky toku energie podle schématu jsou podrobně uvedeny v učebním textu Ekonomika energetiky [20], str. 10 až 39.

2.3 Transformace – zušlechťování energie

Důležité způsoby zušlechťování energie a celková hospodárnost transformace.

těžba a úprava uhlí - spotřeba energie činí z hodnoty vytěženého uhlí

u povrchových dolů	cca 0,2 - 0,5 %
u hlubinných dolů	cca 5 - 10 %.

výroba topných plynů (koksovny, plynárny)

koksovny transformace paliva -	účinnost 80 - 88 %.
tlakové plynárny-	účinnost cca 80 %.

výroba elektrické energie

parní kondenzační elektrárny -	účinnost 25 - 35 %, špičkově 47%	
elektrárny se spalovacími turbinami malých výkonů bez regenerace	účinnost 15 - 20 %	
	střední s regenerací	20 - 25 %
	špičkové velké agregáty	až 35 %
jaderné elektrárny -	účinnost parního oběhu	cca 25 %
vodní elektrárny -	účinnost	80 - 90 %.

Výroba tepla - parní a horkovodní nebo teplovodní výtopny(kotelny)-účinnosti:

na pevná paliva	70 - 85 %
na kapalná a plynná paliva	80 - 95 %

Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie – účinnosti:

parní teplárny s protitlakovými a odběrovými kondenzačními turbinami	40 - 70 %
kogenerační jednotky se spalovací turbinou a kotlem na odpadní teplo	40 - 70 %
kogenerační jednotky se spalovacími motory a výměníky tepla	80 - 90 %
paroplynové elektrárny se spalovací turbinou, kotlem na odpadní teplo a parní turbinou s dodávkou tepla do rozvodu	60 - 80 %.

Podle druhu nositele energie, který je hlavní v transformačním procesu rozlišujeme zařízení pro výrobu tepla a elektrické energie pracující:

- v parním cyklu - nositelem energie je voda a pára nebo voda,
- v plynovém cyklu - nositelem energie jsou horké plyny nebo plyn (u potenciální energie)
- kombinované cykly - pracují jak v parním, tak i plynovém cyklu.

Podstata zušlechťovacího procesu spočívá v tom, že prvotní energie (chemická energie v palivu, jaderná energie, potenciální energie vodního toku apod.) se mění na jiný druh energie, který je vhodnější pro další dopravu a poskytuje efektivnější užití v místě spotřeby. Tento proces může být také vícenásobný, např. při výrobě elektrické energie v parních elektrárnách se nejprve chemická energie v palivu mění spalováním na energii tepelnou, která se předává vodě a páře, v parní turbině se tato energie mění na mechanickou práci turbíny a teprve tato na elektrickou energii v elektrickém generátoru. Naproti tomu může tento složitý proces probíhat pouze v jednom agregátu, např. u spalovacích motorů probíhá proces transformace chemické energie v palivu na teplo spalováním přímo ve válci spalovacího motoru, tamtéž se tato energie mění na mechanickou práci a ta v elektrickém generátoru na elektrickou energii, případně tato mechanická práce může být použita již přímo k pohonu zařízení.

Probereme stručně jednotlivé uvedené způsoby transformace energie ve zušlechťovacím procesu.

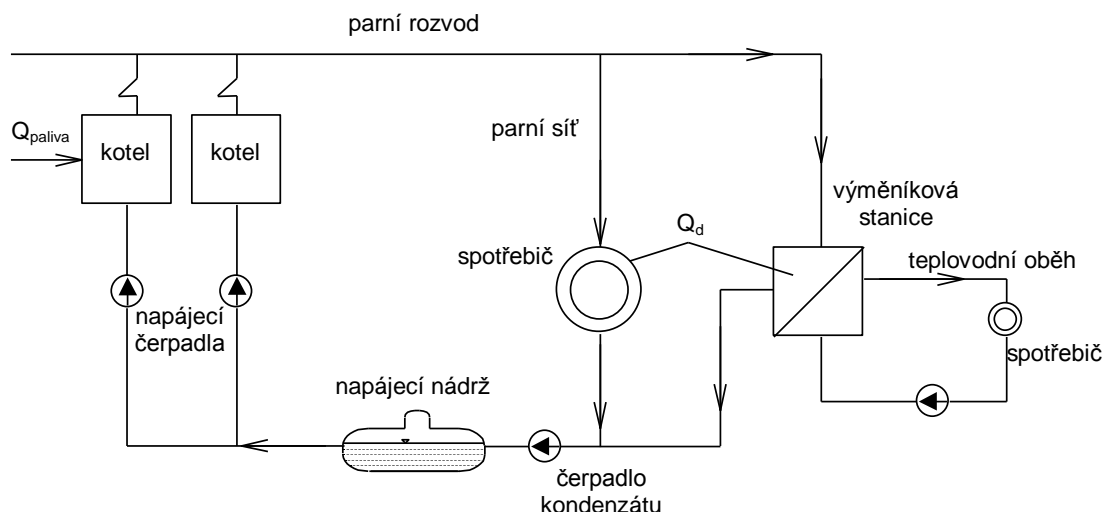
Výtopny – kotelny

Chemická energie v palivu se spalováním v kotli mění na energii tepelnou páry (kotle parní), resp. vody (kotle horkovodní nebo teplovodní).

Celková účinnost:
$$\eta_c = \frac{Q_d}{Q_{pal}} \quad (1), \text{ resp. krát } 100 (\%) \quad [2.8]$$

Q_d je teplo dodané do rozvodu tepla ve formě tepelné energie páry nebo vody GJ,
 Q_{pal} je teplo dodané do kotle v chemické energii paliva GJ.

Schéma výtopny je na obr. 9.



Obr. 2.3. Schéma výtopny – kotelny

Celkovou účinnost výtopny je možno také stanovit jako součin dílčích účinností a součinitelů:

$$\eta_c = \eta_k \cdot \eta_{vs} \cdot \eta_r \cdot \frac{1}{\varepsilon_{vs}} \quad (1) \quad [2.9]$$

η_k	je účinnost kotle, bývá	0,74 - 0,92,
η_{vs}	je účinnost výměňikové stanice	0,9 - 0,95
η_r	je účinnost rozvodu tepla (u SCZT)	0,95 - 0,98
ε_{vs}	je koeficient vyjadřující vlastní spotřebu tepla kotelny (ohřev napájecí vody, odplynění atp.), bývá	1,05 - 1,1.

Místo účinnosti se také často hospodárnost přeměny energie posuzuje podle měrné spotřeby, (tj. převrácená hodnota účinnosti), která vyjadřuje množství tepla v palivu, nutného k dodání 1 GJ v teple v místě výměňikové stanice, resp. v místě užití. Bývá $e_c = 1,2$ až $1,7 \text{ GJ.GJ}^{-1}$

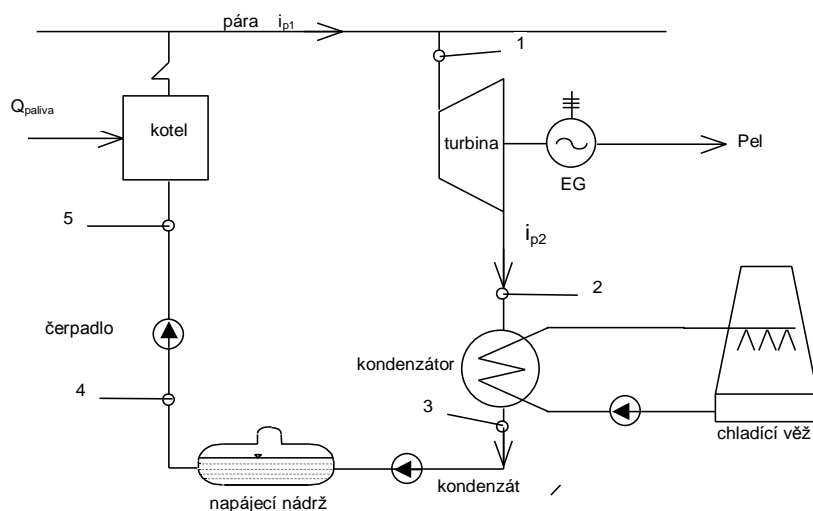
Parní kondenzační elektrárny

Schéma parní kondenzační elektrárny je na obr.2.4a, T-S diagram na obr.2.4b.

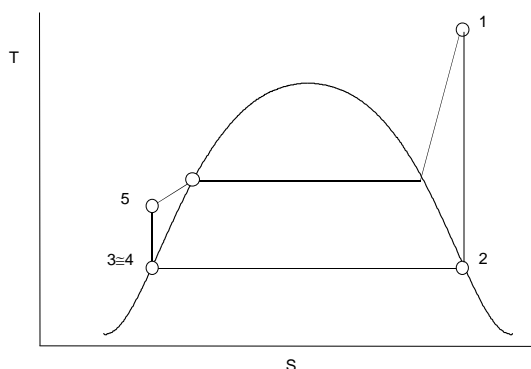
Celková účinnost výroby elektrické energie (čistá účinnost)

$$\eta_c = \frac{P_{el}}{Q_{pal}} \quad (1), \text{ resp. krát } 100 \text{ (\%)} \quad [2.10]$$

P_{el} elektrický výkon na vstupu do rozvodu (kW)
 Q_{pal} příkon v palivu (kW)



Obr. 2.4a. Schéma parní kondenzační elektrárny



Obr. 2.4b. T-S diagram ideálního parního oběhu

V kotli se chemická energie v palivu mění spalováním na teplo a předává se vodě a páře. Pára expanduje v parní turbíně a vykonává mechanickou práci k pohonu elektrického generátoru. Pára z turbíny kondenzuje v kondenzátoru, kondenzát se vrací do napájecí nádrže a zpět do kotle. Převážná část energie v páře (výparné teplo) se v kondenzátoru předává chladicí vodě a odvede se na chladicí věži do ovzduší bez užitku. Proto je také celková účinnost přeměny energie v palivu poměrně nízká. Část vyrobené elektrické energie se spotřebuje v elektrárně pro pohon různých mechanismů a zařízení, hovoříme o vlastní spotřebě elektrárny.

Celkovou účinnost je možno opět rozložit do dílčích účinností jednotlivých přeměn energie.

$$\eta_c = \eta_k \cdot \eta_{ti} \cdot \eta_{td} \cdot \eta_g \cdot \eta_r \cdot \frac{1}{\varepsilon_{VS}} \quad (1) \quad [2.10]$$

Kromě dříve uvedených účinností kotle η_k , rozvodů η_r a koeficientu vlastní spotřeby ε_{VS} je v této rovnici:

η_{ti} tepelná účinnost ideálního Clasius-Rankinova cyklu

$$\eta_{ti} = \frac{i_{p1} - i_{p2}}{i_{p1} - i_{nv}} \quad (1) \quad [2.11]$$

- kde
- i_{p1} je entalpie páry na vstupu do turbíny,
- i_{p2} je entalpie páry na výstupu z turbíny při adiabatické, tj. ideální expanzi na tlak v kondenzátoru,
- i_{nv} je entalpie napájecí vody do kotle,
- η_{td} je termodynamická účinnost parní turbíny, která vyjadřuje tepelné a mechanické ztráty v turbíně,
- η_g je účinnost elektrického generátoru.

V technické praxi se používá místo celkové tepelné účinnosti výroby elektrické energie měrná spotřeba tepla v palivu na 1kWh dodané elektrické energie do rozvodu.

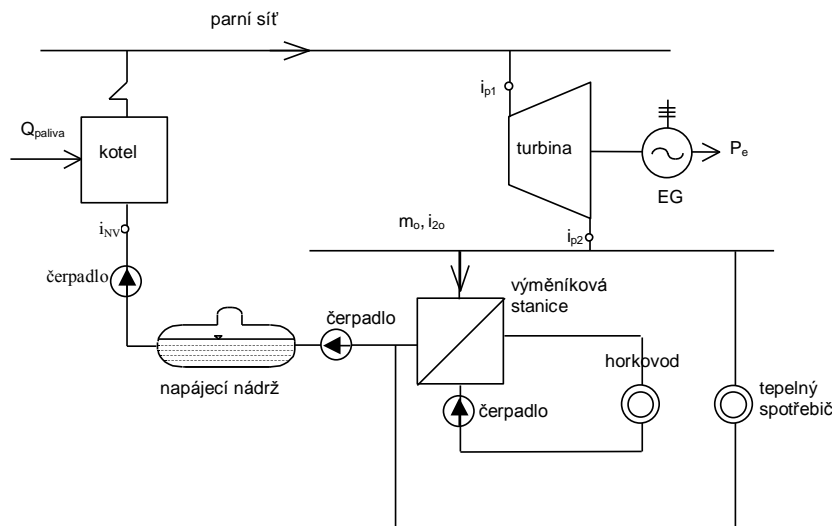
$$q_c = \frac{3600}{\eta_c} \quad (\text{kJ.kWh}^{-1}) \quad [2.12]$$

Parní teplárny

Proces transformace energie z paliva na elektrickou energii je obdobný jako u kondenzačních elektráren s tím rozdílem, že výparné teplo z páry na výstupu z turbíny se úplně (u protitlakových turbín) nebo zčásti (u odběrových kondenzačních turbín) dodává do rozvodu ve formě tepelné energie v páře nebo horké vodě k dalšímu využití pro tepelné spotřebiče. (V systémech centrálního zásobování teplem).

V tomto případě se jedná o teplárny:

- s protitlakovými turbínami,
- s odběrovými kondenzačními turbínami,
- kombinace obou způsobů, hlavně v závodních teplárnách velkých průmyslových závodů (hutí, dolů, chemických závodů apod.).



Obr. 2.5. Schéma parní teplárny s protitlakovými parními turbinami

Celková tepelná účinnost je dána rovnicí

$$\eta_c = \frac{P_{el} + P_t}{Q_{pal}} \quad (1) \quad [2.13]$$

Zde je

P_{el} elektrický výkon generátoru

P_t tepelný výkon dodaný do parního nebo horkovodního rozvodu

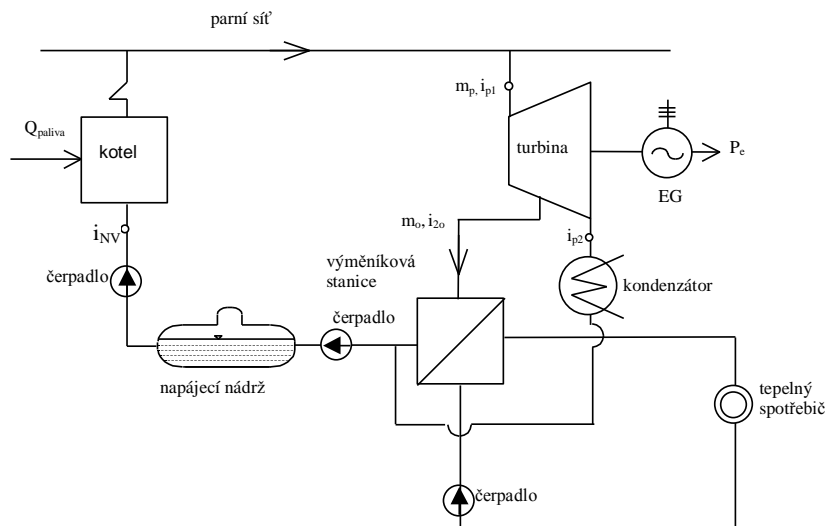
Účinnost ideálního Clausius Rankinova oběhu je v tomto případě definována výrazem

$$\eta_{ti} = \frac{i_{p1} - i_{p2} + i_{p2} - i_{nv}}{i_{p1} - i_{nv}} \quad (-) \quad [2.14]$$

Jak je zřejmé, je tedy ideální účinnost tohoto oběhu rovna jedné.

Schéma parní teplárny s odběrovou parní turbinou je na obr.2.6.

Po expanzi páry několika stupni vícestupňové parní turbíny se při určitém tlaku odebírá část páry, m_0 do parního rozvodu buď k další expanzi v nízkotlaké parní turbíně (např. pro pohon turbokompresorů) nebo pro tepelné spotřebiče spotřebiče v CSZT. Zbývající část páry ($m_p - m_0$) expanduje ve zbývající části turbíny do kondenzátoru, kde pára kondenzuje.



Obr. 2.6. Schéma parní teplárny s odběrovými parními turbinami

Celková účinnost je opět dána výrazem

$$\eta_c = \frac{P_{el} + P_t}{Q_{pal}} \quad (1) \quad [2.15]$$

Ideální účinnost oběhu je

$$\eta_{ti} = \frac{i_{p1} - i_{p2} + \frac{m_o}{m_p} \cdot (i_{p2} - i_{nv})}{i_{p1} - i_{nv}} \quad (1) \quad [2.16]$$

Účinnost je tedy silně závislá na poměru $\frac{m_o}{m_p}$, tedy podle odběru páry do tepelného rozvodu k celkové výrobě páry.

Bude-li odběr $m_o = 0$, přejdeme do oběhu čistě kondenzačního, bude-li $m_o = m_p$, je tento poměr = 1, $i_{p2} = i_{2o}$ a přejdeme do oběhu s protitlakou turbinou.

Elektrárny a teplárny se spalovací turbinou

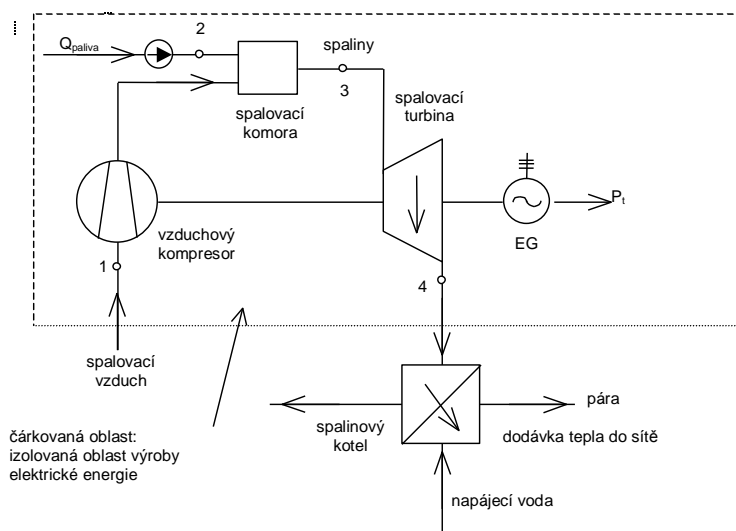
Základem je agregát v jednom bloku s těmito částmi:

- 1 vzduchový kompresor spalovacího vzduchu,
- 2 spalovací komora
- 3 spalovací turbina
- 4 elektrický generátor.

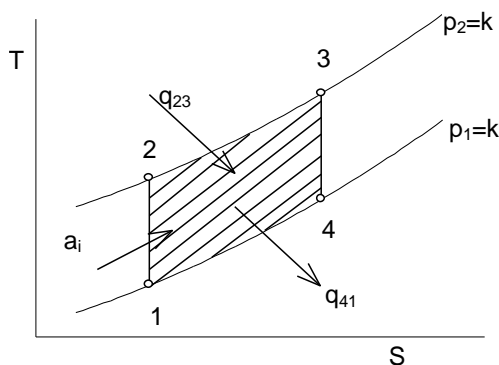
V případě, že se jako palivo používá plyn, není-li k dispozici dostatečný tlak pro spalovací komoru, musí být plyn komprimován na tlak vyšší v plynovém kompresoru. Schéma zařízení je na obr. 2.7a.

Používá se kapalné nebo plynné palivo. Vzduchový kompresor má kompresní poměr 7 až 10. Do spalovací komory se s přetlakem tlačí palivo, dochází ke spalování a spaliny s teplotou 700 až 1200 C expandují ve spalovací turbíně. Vykonaná mechanická práce se předává elektrickému generátoru, který vyrábí elektrický proud. Spaliny z turbíny mají ještě

poměrně vysokou teplotu, řádově 400 až 600 °C. Z důvodů pevnostních probíhá spalování také s poměrně vysokým přebytkem vzduchu, tím vzniká značné množství spalin a také ke stlačení vzduchu se spotřebuje značná část výkonu spalovací turbíny. Proto je účelné zařadit za turbínu kotel na odpadní teplo, který vyrábí páru nebo horkou vodu. Tím přecházíme ke kombinované výrobě tepla a elektrické energie, tedy k teplotnímu způsobu transformace energie.



Obr. 2.7a. Teplárna se spalovací turbínou



Obr. 2.7b. T-S diagram ideálního oběhu

Celková účinnost v případě izolované výroby elektrické energie je dána výrazem.

$$\eta_c = \frac{P_{el}}{Q_{pal}} = \eta_{ti} \cdot \eta_{SK} \cdot \eta_{td-k} \cdot \eta_{td-T} \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_r \cdot \frac{1}{\varepsilon_{VS}} \quad (1) \quad [2.17]$$

Zde je η_{ti} účinnost ideálního oběhu rovnotlaké spalovací turbíny

Tuto účinnost určíme jako poměr energie získané ve formě mechanické práce ideálního oběhu turbíny k teplu dodanému v palivu do oběhu. Z teorie tepelných oběhů motorů

$$\eta_{ti} = \frac{a_i}{q_{23}} = \frac{q_{23} - q_{41}}{q_{23}} = 1 - \frac{q_{41}}{q_{23}} \quad (1) \quad [2.18]$$

Po úpravách vychází vztah

$$\eta_{ti} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (1) \quad [2.19]$$

kde κ je exponent izoentropické stavové změny

ε kompresní poměr kompresoru $\frac{p_2}{p_1}$, resp. expanzní poměr turbíny ideálního oběhu $\frac{p_3}{p_4}$.

Účinnost ideálního oběhu tedy závisí jen na kompresním, resp. expanzním poměru oběhu a podle jeho velikosti je tedy účinnost ideálního oběhu 0,54 až 0,6 při $\varepsilon = 7$ až 10.

V rovnicích jsou dále tyto veličiny:

η_{td-T} vnitřní termodynamická účinnost spalovací turbíny, vyjadřuje ztráty v turbíně,

η_{td-K} vnitřní termodynamická (izoentropická) účinnost kompresoru, vyjadřuje ztráty v kompresoru,

η_{SK} účinnost spalovací komory, bývá 0,95,

η_G účinnost elektrického generátoru, bývá 0,9 až 0,95,

ε_{VS} koeficient vlastní spotřeby včetně příkonu potřebného k pohonu palivového čerpadla, resp. plynového kompresoru,

η_r účinnost rozvodů,

η_m mechanická účinnost agregátu turbína - kompresor.

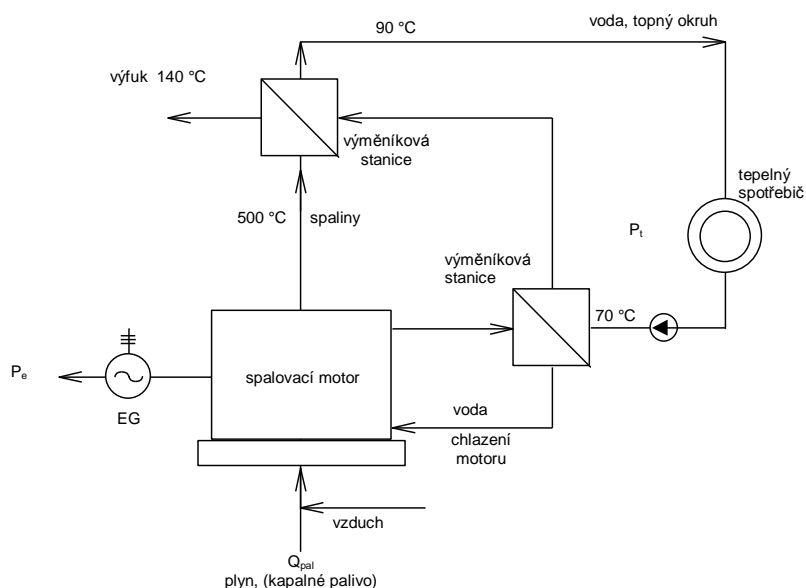
V případě kombinované výroby elektrické energie a tepla (KVET – v poslední době se také často používá termín „kogenerace“ je celková účinnost jednotky definována opět jako

$$\eta_c = \frac{P_{el} + P_t}{Q_{pal}} \quad (1) \quad [2.20]$$

v tomto případě je teplo vyrobené ve spalínovém kotli P_t nižší než teplo ve spalínách na výstupu ze spalovací turbíny o tepelné ztráty v kotli, které je možno vyjádřit účinností spalínového kotle η_k , která je podle teplot spalín na vstupu a výstupu tepla z kotle 50 až 70 %.

Elektrárny a teplárny se spalovacím motorem (kogenerační jednotky)

(Schéma je na obr. 2.8.)



Obr. 2.8. Elektrárna nebo teplárna se spalovacím motorem

V tomto případě chemická energie v palivu kapalném nebo plynném se spalováním mění na tepelnou energii v pracovním prostoru válce motoru. Při expanzi vykonávají vzniklé spaliny mechanickou práci, která se v elektrickém generátoru, který je na společném hřídeli s motorem, mění na elektrickou energii.

Při izolované výrobě elektrické energie jdou spaliny o teplotě řádově 400 až 550 °C nevyužitý do výfuku. V tomto případě se dosahuje celková účinnost cca 30 až 40%.

U blokové teplárny (v poslední době se užívá též název kogenerační jednotka) se komplexně využívá téměř veškeré odpadní teplo vzniklé při procesu. Tímto způsobem se dosahuje vysoké účinnosti využití energie z paliva, takže účinnost takové jednotky dosahuje hodnot 80 až 90 %.

Celkovou účinnost takové blokové teplárny je možno stanovit opět rovnicí

$$\eta_c = \frac{P_{el} + P_t}{Q_{pal}} \quad (1) \quad [2.21]$$

U tohoto zařízení se kromě mechanické práce motoru k výrobě elektrické energie využívá

odpadní teplo výfukových plynů,

odpadní teplo chladící vody válců motoru,

u velkých motorů i odpadní teplo z chlazení oleje,

u přeplňovaných motorů teplo z mezichladiče chlazení spalovacího vzduchu, resp. směsi paliva a vzduchu za plnicím turbodmychadlem.

Celkovou účinnost je možno rozdělit na dvě části úpravou rovnice

$$\eta_c = \frac{P_{el}}{Q_{pal}} + \frac{P_{el}}{Q_{pal}} = \eta_{el} + \eta_t \quad (1) \quad [2.22]$$

elektrická účinnost η_{el} závisí především na kompresním poměru spalovacího motoru ε (poměr objemu ve válci na konci dolní úvratě k objemu na konci horní úvratě).

$$\eta_{el} = \eta_{ti} \cdot \eta_{td-in} \cdot \eta_m \cdot \eta_G \quad (1) \quad [2.23]$$

Účinnost ideálního oběhu zážehového motoru (plynové motory) je

$$\eta_{ti} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (1) \quad [2.24]$$

η_{td-i} je termodynamická indikovaná účinnost, která vyjadřuje termodynamické ztráty v motoru,

η_m je mechanická účinnost spalovacího motoru.

η_t je tepelná účinnost kogenerační jednotky, jejíž výše je závislá na využití odpadního tepla chladicí vody, oleje a výfukových plynů.

Paroplynové elektrárny, resp. teplárny

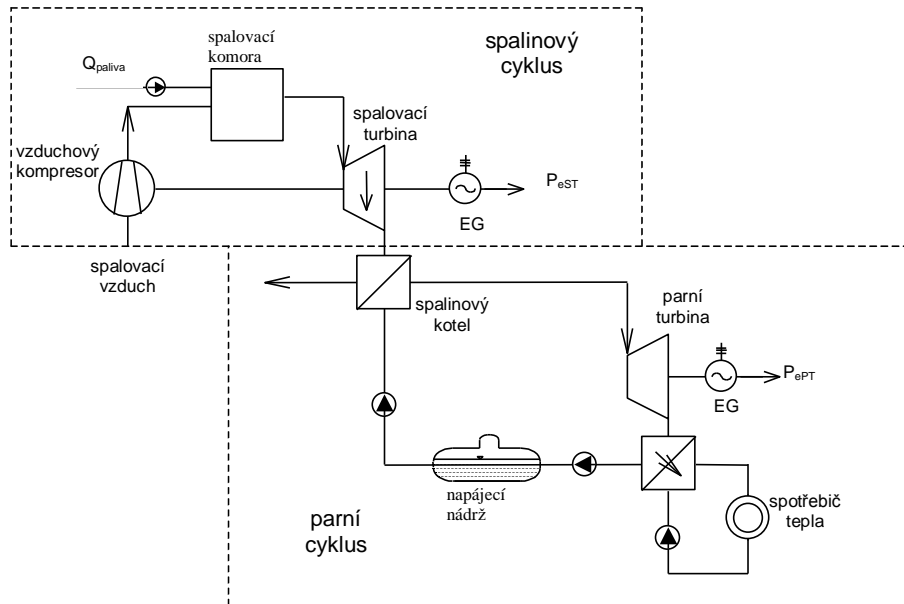
Schéma je na obr. 2.9. Tyto celky představují v podstatě kombinovaný tepelný cyklus plynový a parní. Pozůstávají ze základního agregátu, kterým je spalovací turbina na kapalné nebo plynné palivo. Spaliny procházejí spalínovým kotlem, kde se jejich tepelná energie předává páře. Existují také jednotky s přitápěním v kotli, kde je možno účelně využívat přebytečný kyslík ve spalínách ke spalování přídatného paliva a tím také zvýšit teplotu spalin, což umožní výrobu páry v kotli s vyššími parametry. Tato pára se potom využívá v parní turbíně protitlakové nebo kondenzační odběrové, příp. část páry se dodává o příslušném tlaku z kotle přímo do středotlakého rozvodu páry. Odběrová pára z protitlakové nebo odběrové turbíny pak do nízkotlakého rozvodu páry, event. k výrobě horké vody v primární předávací stanici SCZT.

Celková účinnost kombinovaného cyklu je dána vztahem

$$\eta_c = \frac{P_{el-ST} + P_{el-PT} + P_t}{Q_{pal}} \quad (1) \quad [2.25]$$

kde

P_{el-ST}	elektrický výkon spalovací turbíny,
P_{el-PT}	elektrický výkon parní turbíny,
P_t	tepelný výkon dodaný do rozvodu tepla
Q_{pal}	tepelný příkon v palivu



Obr. 2.9. Kombinované cykly (paroplynové)

U kombinované výroby tepla a elektrické energie (KVET, resp. kogenerace) je důležitý ukazatel tzv. **modul teplotné výroby**,

$$e = \frac{P_{el}}{P_t} \quad (1) \quad [2.26]$$

Tento ukazatel je důležitý z ekonomického hlediska, protože čím je jeho hodnota vyšší, tím je vyšší podíl vyrobené elektrické energie. Protože tato energie je ušlechtilejší a také dražší než energie tepelná, výnos za prodej obou energií se zvyšuje se zvyšující hodnotou modulu.

Podle druhu teplotné výroby má také tento ukazatel podstatně rozdílné hodnoty.

Teplárny s protitlakovými turbinami	$e = 0,1$ až $0,4$
Kogenerační jednotky se spalovacími turbinami	$e = 0,5$ až $0,8$
Kogenerační jednotky se spalovacími motory	$e = 0,6$ až 1
Paroplynová soustrojí	$e = 1$ až $1,2$.

Vodní elektrárny

Transformují polohovou energii vody v horní nádrži na elektrickou energii ve vodní turbíně a elektrickém generátoru.

Teoreticky využitelná polohová energie je dána výrazem

$$P_{el-t} = \frac{m_v \cdot g \cdot H}{1000} \quad (\text{kW}) \quad [2.27]$$

Zde jsou:

H využitelný geodetický spád (m),
 m_v průtok vody ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$).

Skutečně využitá energie je nižší o ztráty v potrubí, turbíně a generátoru, tedy

$$P_{el-sk} = P_{el-t} \cdot \eta_r \cdot \eta_T \cdot \eta_g \quad (\text{kW}) \quad [2.28]$$

Zde jsou:

- η_r účinnost v rozvodu (ztráty v potrubním přivaděči), (1)
- η_T účinnost vodní turbíny, (1)
- η_g účinnost elektrického generátoru. (1)

Pro velké spády a malá množství	Peltonova trubina	H = 100 až 2000m	$\eta_T=0,87$
pro střední spády a středně velká množství	Francisova turbina	H = 25 až 400 m.	$\eta_T=0,88$ až 0,91
pro velká množství a malé spády	Kaplanova turbina	H = 6 až 70 m.	η_T nad 0,91

2.4 Doprava, přenos a rozvod energie.

Způsoby dopravy energie:

Doprava v daném objemu, tj. v uzavřených nebo otevřených nádobách a prostorách lodí, automobily a po železnici. Uplatňuje se především pro dopravu pevných a kapalných paliv, příp. stlačeného nebo zkapalněného topného plynu. Ekonomická vzdálenost této dopravy je řádově stovky km po silnici a železnici a tisíce km loďmi.

Doprava potrubím, především pro kapalná a plynná paliva, na menší vzdálenosti pro dopravu tepelné energie v páře nebo horké a teplé vodě a pro dopravu stlačeného vzduchu (potenciální energie). Ve výjimečných případech, zejména v zahraničí se uplatňuje i doprava potrubím uhlí na větší vzdálenosti. Transitní plynovody a ropovody jsou na vzdálenosti tisíce km, doprava tepelné energie je omezena a počítá se na desítky km, u tepelných napáječů je ekonomická vzdálenost 40 až 50 km.

Pásová doprava – k dopravě uhlí omezeně na kratší vzdálenosti na povrchových dolech z těžebních porubů do překládacích míst, případně v elektrárnách ze skládek uhlí a bunkrů do zásobníků na kotelně. Výjimečně je možno nalézt v zahraničí i dopravu pásovou na střední vzdálenosti.

Přenos elektrické energie dálkovým vedením velmi vysokého (vvn) a vysokého napětí (vn), resp. místní rozvod nízkého napětí. Rovněž přenos elektrické energie se uskutečňuje vedením vvn na velmi velké vzdálenosti řádově tisíce km.

Doprava v uzavřeném objemu

Při dopravě energie tímto způsobem dochází jednak k určitým ztrátám na energii jejím rozptylem (např. na otevřených železničních vagónech), resp. znehodnocením např. zvětráváním, jednak je k dopravě zapotřebí určité energie k pohonu dopravních prostředků.

Označíme-li množství přepravovaného paliva m_B a jeho výhřevnost Q_i ztráty při dopravě Q_z a spotřebu energie k dopravě Q_d , je možno jako účinnost dopravy vyjádřit vztah

$$\eta_l = \frac{m_B \cdot Q_i - Q_z - Q_d}{m_B \cdot Q_i} \quad (1) \quad [2.29]$$

Spotřeba energie k dopravě je závislá na způsobu dopravy (lodí, automobilem, po železnici) což můžeme vyjádřit součinitelem k_i a na vzdálenosti dopravy, resp. konfiguraci terénu L. Potom je možno energii nutnou k dopravě vyjádřit vztahem

$$Q_d = m_B \cdot k_i \cdot L \quad (\text{kJ}) \quad [2.30]$$

Označíme-li dále jako poměrnou ztrátu energie v palivu znehodnocením

$$q_z = \frac{Q_z}{Q_i \cdot m_B} \quad (1) \quad [2.31]$$

bude účinnost dopravy vyjádřena vztahem

$$\eta_i = 1 - q_z - \frac{k_i \cdot L}{Q_i} \quad (1) \quad [2.32]$$

Účinnost dopravy bude tedy tím nižší, čím je vyšší spotřeba energie na vzdálenost

1 km (koeficient k_i [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$]) a čím je menší koncentrace energie v jednotce objemu, tj. výhřevnost Q_i . Proto není vhodné na velké vzdálenosti dopravovat tímto způsobem palivo o nízké koncentraci energie v jednotce objemu, např. stlačené topné plyny jen na menší vzdálenosti, ale naopak na velké vzdálenosti je možno dopravovat tyto plyny ve zkapalněném stavu. (t zv. zkapalněné plyny propan-butan a v podchlazeném stavu také zkapalněný zemní plyn).

Doprava potrubím

Při dopravě potrubím vznikají rovněž ztráty na energii:

Tlakové ztráty - energie nutná k překonání ztrát třením při proudění potrubím.

Objemové ztráty - vznikají netěsnostmi spojů a armatur.

Tepelné ztráty, pouze při dopravě tepla v parních horkovodních a teplovodních rozvodech. Jsou způsobeny nedokonalostí tepelné izolace přestupem tepla povrchu potrubí do okolí.

Doprava paliv potrubím se uskutečňuje na třech úrovních:

1. mezistátní,
2. uvnitř státu, oblastí a v městech
3. uvnitř průmyslových závodů.

Průměr potrubí

je možno určit trojím způsobem:

1. z rovnice kontinuity
2. na základě tzv. hospodárného (ekonomického) průměru,
3. na základě požadované maximální tlakové ztráty v určitém úseku, resp. na základě požadovaného tlaku na konci rozvodu.

Z rovnice kontinuity:

Průtočná hmotnost je

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot c \cdot \rho \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) \quad [2.33]$$

kde	\dot{V}	je objemový průtok	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	
	ρ	hustota dopravovaného media	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	
	c	rychlost media v potrubí, která se volí podle druhu látky	$(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	
	D	vnitřní průměr potrubí	(m)	

Z vypočteného průměru potrubí se podle velikosti tlaku, resp. teploty zvolí nejbližší vyšší normalizovaný průměr potrubí DN a podle tlaku normalizovaný tlak PN, kterým odpovídají příslušné rozměry potrubí podle normy.

Rychlost v potrubí se volí takto:

pro parní rozvody:	nízkotlaká pára do 0,1 MPa	10 až 20 m.s ⁻¹
	středotlaká pára 0,1 až 0,4 MPa	20 až 40 m.s ⁻¹
	vysokotlaká pára nad 0,4 MPa	30 až 60 m.s ⁻¹
pro vodu a horkou vodu		1 až 1,5 m.s ⁻¹ , vyjímečně 2 m.s ⁻¹ .
pro dopravu kapalných paliv		1,5 až 2 m.s ⁻¹ .
V rozvodech topných plynů		10 až 15 m.s ⁻¹
v rozvodech stlačeného vzduchu		25 až 50 m.s ⁻¹ .

Tento způsob výpočtu se praktikuje především pro krátké rozvody. U dálkových rozvodů se používá metody tzv. **hospodárného průměru potrubí**.

Tato metoda vychází z ročních provozních nákladů na provoz rozvodného potrubí. Tyto v podstatě pozůstávají :

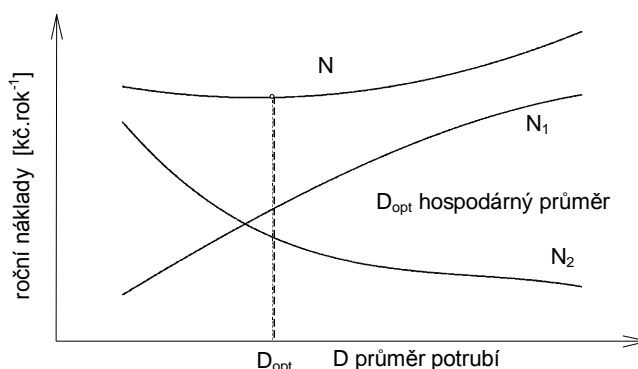
z nákladů na odpisy a běžnou údržbu - označme N_1 , rostou s rostoucím průměrem potrubí,

z nákladů na energii nutnou k dopravě, tj. především k pokrytí tlakových, event. tepelných ztrát - označme N_2 . Tyto náklady s průměrem potrubí klesají hyperbolicky.

Roční provozní náklady pak budou

$$N = N_1 + N_2 \quad (\text{Kč.r}^{-1}) \quad [2.34]$$

Grafické řešení je na obr.2.10.



Obr. 2.10. Stanovení hospodárného průměru potrubí

Na součtové závislosti celkových nákladů na průměru potrubí nalezneme průměr potrubí D_{opt} , při kterém budou provozní náklady minimální. Opět se volí nejbližší vyšší jmenovitý průměr DN.

Třetí způsob řešení optimálního průměru potrubí je na základě **požadované tlakové ztráty**. Tento způsob se uplatňuje především u nízkotlakých plynovodů, kdy tlak plynu vystupující z výrobního zařízení (např. vysokopecní plyn z vysoké pece nebo koksárenský plyn z koksovny) je řádově pod 100 kPa a kdy špatná dimenze potrubí by mohla způsobit vysoké tlakové ztráty, takže by toto potrubí na místo spotřeby nepropustilo požadované množství plynu. V tomto případě by bylo nutno postavit na začátku rozvodu nebo v místě užití kompresorovou stanici a zvýšit tlak tak, aby potrubím požadované množství protéklo. Zde se vychází z výpočtu tlakové

ztráty pro zadané maximální množství plynu a určí se požadovaný minimální průměr potrubí. (viz níže).

Nyní se budeme zabývat jednotlivými ztrátami v rozvodech potrubím.

Tlaková ztráta v potrubí vzniká třením při proudění a můžeme ji stanovit na základě znalostí z předmětu Hydromechanika.

Pro nízkotlaké rozvody plynů, kdy je tlaková ztráta $\Delta p \ll 10\,000$ Pa a pro dopravu kapalin, je možno předpokládat s dostatečnou přesností, že se v průběhu proudění hustota nemění ($\rho = \text{konst.}$) a tím také rychlost proudění zůstává konstantní po celé délce potrubí. Tlakovou ztrátu určíme z rovnice

$$\Delta p_z = p_1 - p_2 = \lambda \cdot \frac{L + \sum L_{\text{ekv}}}{D} \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \rho \quad (\text{Pa}) \quad [2.34]$$

Zde je p_1 a p_2 tlak na začátku a konci potrubí v Pa,
 λ součinitel tření, který lze určit z diagramu závislosti $\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon/D)$,

Re Reynoldsovo číslo $\text{Re} = \frac{c \cdot D}{\nu} \quad (1)$

- ν kinematická viskozita dopravovaného media $(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
- ε/D poměrná drsnost při $\varepsilon \dots$ střední nerovnost vnitřního povrchu potrubí (1)
- L rovná délka potrubí (m)
- $\sum L_{\text{ekv}}$ součet tzv. ekvivalentních délek místních odporů potrubí (tj. armatur, odboček, redukci, kolen apod.) daného průměru, které mají stejný odpor jako rovné přímé potrubí této ekvivalentní délky. Tyto hodnoty je možno určit např. ze spojnicových nomogramů (m)
- c je rychlost v potrubí $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
- m průtočné množství $(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$

Pro středo- a vysokotlaké plynovody a parovody, u nichž je většinou $\Delta p \geq 10\,000$ Pa se hustota ρ a tím také rychlost v v potrubí mění. S poklesem tlaku po délce potrubí se hustota zmenšuje, objem narůstá a rychlost se zvětšuje a tím rychleji roste tlaková ztráta než v případě konstantní hustoty. V tomto případě se pro výpočet tlakové ztráty vychází z předpokladu izotermické expanze v průběhu proudění a dojde se ke vztahům, korigující základní rovnici

je-li stanoven počáteční tlak, dosadí se do základní rovnice pro tlakovou ztrátu parametry media na začátku rozvodu a vypočtená tlaková ztráta se koriguje dle rovnice

$$\Delta p_z = p_1 - \sqrt{p_1^2 - 2 \cdot p_1 \cdot \Delta p_1} \quad (\text{Pa}) \quad [2.35]$$

je-li stanoven požadovaný tlak na konci rozvodu, dosadí se do základní rovnice parametry media z hodnot na konci potrubí a vypočtená tlaková ztráta se koriguje dle rovnice

$$\Delta p_z = \sqrt{p_2^2 - 2 \cdot p_2 \cdot \Delta p_2} - p_2 \quad (\text{Pa}) \quad [2.36]$$

Spotřeba energie k překonání tlakových ztrát.

K překonání tlakových ztrát je nutno vynaložit určité množství energie ke zvýšení tlaku na začátku rozvodu. Tato energie se třením mění v teplo, které se odvede povrchem potrubí do okolí. Při jejím stanovení u rozvodů kapalných a plyných paliv a stlačeného vzduchu vycházíme z nutné práce k pohonu čerpadla resp. kompresoru k překonání příslušné tlakové ztráty Δp_z .

Pro případ, že je možno uvažovat $\rho = \text{konst.}$, je měrná práce čerpadla nebo ventilátoru

$$a_z = \frac{\Delta p_z}{\rho} \quad (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad [2.37]$$

a potřebný výkon čerpadla nebo ventilátoru při dopravě množství kapaliny nebo plynu \dot{m} [kg.s⁻¹]

$$P_z = a_z \cdot \dot{m} = \frac{\Delta p_z \cdot \dot{m}}{\rho} \quad \text{případně dosadíme-li za } \dot{m} = V \cdot \rho$$

$$P_z = \Delta p_z \cdot V \quad (\text{W}) \quad [2.38]$$

Příkon na svorkách poháněcího elektromotoru musí být dále o ztráty v čerpadle, resp. ventilátoru a elektromotoru vyšší

$$P_{el} = \frac{P_z}{\eta_c \cdot \eta_{el}} \quad \text{pro čerpadlo u dopravy kapalného paliva,}$$

resp.
$$= P_{el} = \frac{P_z}{\eta_v \cdot \eta_{el}} \quad \text{pro ventilátor u nízkotlakých rozvodů plynu.}$$

V rovnicích jsou η_c , η_v , a η_{el} jsou účinnosti čerpadla, ventilátoru, resp. elektromotoru. U středotlakých a vysokotlakých plynovodů je nutno na překonání tlakových ztrát dodat kompresní práci dodanou kompresorem. Budeme-li vycházet z izotermické kompresní práce, pak kompresní práce na začátku rozvodu se určí pro průtok \dot{m} (kg.s⁻¹) podle rovnice

$$P_{it1} = \dot{m} \cdot r \cdot T_0 \cdot \ln \frac{p_1}{p_0}$$

a pro kompresní práci na konci rozvodu podle vztahu

$$P_{it2} = \dot{m} \cdot r \cdot T_0 \cdot \ln \frac{p_2}{p_0}$$

Rozdíl obou kompresních prací představuje energii nutnou k dopravě potrubím a tím také ztrátu energie při dopravě. Započteme-li pak ztráty energie v kompresoru a v elektromotoru, obdržíme celkovou ztrátu energie dle vztahu

$$P_{el} = \dot{m} r T_0 \cdot \left[\ln \frac{p_1}{p_1 - \Delta p_z} \right] \cdot \frac{1}{\eta_{it} \cdot \eta_{el}} \quad (\text{W}) \quad [2.39]$$

Zde je η_{it} izotermická účinnost kompresoru
 η_{el} opět účinnost elektromotoru

Objemová ztráta v potrubí

Je způsobena netěsnostmi spojů a armatur. Pro nízkotlaké rozvody plynů a kapalin je možno určit ztrátu netěsnostmi vztahem pro výtok otvorem. Hmotová ztráta je

$$\dot{m}_z = k_n \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \cdot \rho = k_n \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho} \quad (\text{kg.s}^{-1}) \quad [2.40]$$

Zde je k_n součinitel, který zahrnuje celkovou plochu netěsností ΣS_n a výtokový součinitel α , takže

$$k_n = \alpha \cdot \Sigma S_n$$

Δp je tlakový rozdíl mezi středním tlakem v potrubí a okolím v (Pa).

U středo- a vysokotlakých rozvodů plynu dochází při expanzi netěsnostmi ke změně hustoty media a podle velikosti tlakového spádu je výtok podkritický nebo nadkritický. U nadkritického výtoku je rychlost vytékajícího media rovna maximálně rychlosti, odpovídající rychlosti zvuku. Pro tento případ lze množství odcházející netěsnostmi stanovit podle rovnice

$$m_z = k_n \cdot p^{1,3}$$

Pro přírubové potrubí rozvodů stlačeného vzduchu se v literatuře uvádí empirický vztah

$$m_z = 1,557 \cdot D \cdot L_{km} \cdot p^{1,3}$$

V této rovnici je délka potrubí L_{km} [km], D průměr potrubí v metrech, p přetlak v MPa.

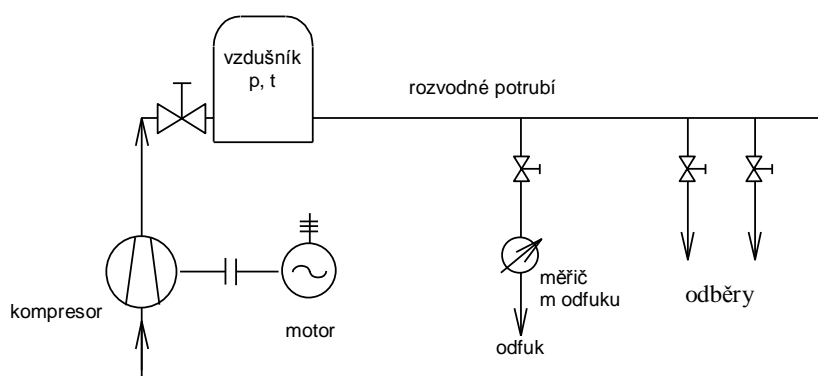
Ztráta energie pro krytí netěsností se určí z příkonu, nutného k pohonu čerpadla, ventilátoru nebo kompresoru k dosažení příslušného tlaku na začátku rozvodu.

Objemové ztráty v potrubí je možno stanovit také měřením množství na začátku a na konci rozvodu.

Pro kapalně médium se měří množství \dot{m}_1 na začátku potrubí a \dot{m}_2 na konci potrubí. Poměrná objemová ztráta se pak určí z rovnice

$$\zeta_o = \frac{\dot{m}_1 - \dot{m}_2}{\dot{m}_1} \cdot 100 \quad (-) \quad [2.41]$$

V rozvodech plynů např. stlačeného vzduchu v průmyslových závodech, kde jsou rozvody značně dlouhé a často rozvětvené do jednotlivých odběrních míst, je možno stanovit ztrátu netěsnostmi následovně, viz schéma na obr. 2.11:



Obr. 2.11. Schéma měření ztrát netěsností rozvodu stlačeného vzduchu

Postup měření:

1. Rozvod se odstaví uzavřením všech odběrních míst (lze provést jen v době pracovního klidu).
2. Na jednu odbočku se připojí měřič množství odfukovaného vzduchu.
3. Při uzavřeném odfuku, $\dot{m}_{odf} = 0$ se síť kompresorem natlačí na provozní tlak p_0 a změří se teplota po ustálení teploty t_0 .

4. Po určitou dobu se sleduje a zaznamenává pokles tlaku v síti vlivem netěsností. Na konci sledovaného období τ (podle rychlosti poklesu tlaku) se opět změří tlak p_1 a teplota t_1 .
5. Síť se znovu natlačí na tlak p_0 , otevře se odfuk a měří se množství (např. turbinovým plynoměrem), které odchází odfukem a pokles tlaku za stejnou dobu na tlak p_2 při teplotě t_2 .
6. Ze stavových rovnic pro stavy na začátku a konci jednotlivých zkoušek platí:
 stav na začátku zkoušky: $p_0 \cdot O = m_0 \cdot r \cdot T_0$
 stav po době τ první zkoušky (bod 4) $p_1 \cdot O = (m_0 - m_n) \cdot r \cdot T_1$
 stav po druhé zkoušce $p_2 \cdot O = (m_0 - m_n - m_{odf}) \cdot r \cdot T_2$

V této rovnici jsou teploty T_0 , T_1 a T_2 v K.

Dostaneme tak tři rovnice o třech neznámých, kterými jsou:

- O - objem rozvodné sítě (m^3)
- m_0 - hmotnost stlačeného vzduchu v síti na začátku zkoušky (kg),
- m - ztráta netěsnostmi na konci 1. zkoušky (kg),
- \dot{m}_n hledaná ztráta netěsnostmi [kg] za časový úsek τ [s]. ($kg \cdot s^{-1}$)
- ztráta netěsnostmi za jednotku času je pak $\dot{m}_n = \frac{m_n}{\tau}$ ($kg \cdot s^{-1}$)
- poměrná ztráta netěsností se pak určí z rovnice
-

$$\zeta_o = \frac{\dot{m}_n}{\dot{m}_1} \cdot 100 \quad (\%) \quad [2.42]$$

kde \dot{m}_1 průtočná hmotnost plynu na začátku rozvodu ($kg \cdot s^{-1}$)

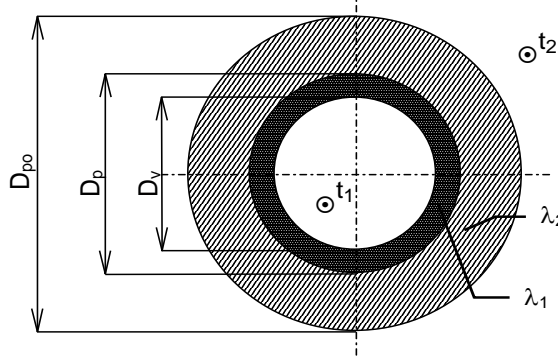
Z této rovnice je zřejmé, že měrná ztráta netěsnostmi není závislá na průtoku potrubím a proto bude tím větší, čím bude daným průměrem potrubí průtok nižší a tím také účinnost rozvodu nižší a poměrná ztráta energie vyšší.

Ztráty netěsnostmi mají být u dobře udržovaných rozvodů 3 - 5 %, podle délky.

U špatně udržovaných rozvodů však často dosahují hodnot 10 až 20 %.

Tepelné ztráty v potrubí.

Uplatňují se v parovodech, horkovodech a teplovodech, kdy je teplota media vyšší než teplota okolí. Aby ztráty přestupem tepla povrchem potrubí nebyly velké, je nutno takové potrubí opatřit tepelnou izolací. Přesto vlivem nedokonalosti tepelné izolace k těmto ztrátám dochází. Tepelnou ztrátu povrchem potrubí z media uvnitř potrubí opět se určí na základě přestupu tepla. Jedná se o přestup tepla složenou stěnou podle obr.2.12.



Obr. 2.12. Schéma výpočtu tepelných ztrát v potrubí

Příslušná základní rovnice pro stanovení tepelné ztráty pro délku potrubí L zní:

$$Q_z = k \cdot L \cdot (t_1 - t_2) = q_z \cdot (t_1 - t_2) \quad (W) \quad [2.43]$$

a součinitel prostupu tepla

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_v \cdot D_v} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{D_p}{D_v} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \cdot \ln \frac{D_{p0}}{D_p} + \frac{1}{\alpha_p \cdot D_{p0}}} \quad (W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}) \quad [2.44]$$

V rovnici jsou tyto veličiny:

- Q_z ztrátový tepelný výkon (W)
- q_z měrný ztrátový tepelný tok ($W \cdot m^{-1}$)
- $k \dots$ součinitel prostupu tepla povrchem potrubí ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
- α_v a α_p součinitelé přestupu tepla konvekcí z media do vnitřního povrchu potrubí, resp. součinitel přestupu tepla konvekcí z vnějšího povrchu potrubí do okolního vzduchu,
- λ_1 a λ_2 součinitelé tepelné vodivosti materiálu potrubí a tepelné izolace (v tomto případě v jedné vrstvě)
- D_v , D_{p1} , a D_{p0} průměry vnitřní, vnějšího povrchu trubky a vnějšího povrchu tepelné izolace.
- L délka potrubí

Výpočet je možno zjednodušit tím, že zanedbáme vliv součinitele přestupu tepla vedením materiálem stěny trubky (u ocelových trubek) na součinitel prostupu tepla k . Dále je možno brát hodnoty:

pro páru $\alpha_v = 143 \cdot \frac{c^{0,79}}{D_v^{0,16}} \quad (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$

pro vodu $\alpha_v = 3373 \cdot c^{0,5} \cdot (1 + 0,014 \cdot t_1) \quad (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$

kde t_1 je střední teplota vody v potrubí.

$$\alpha_p = [0,84 + 0,06 \cdot (t_p - t_2)] \quad (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$$

Při výpočtu je nutno postupovat iterací, tj. nejprve zvolit teplotu povrchu t_p odhadem a zpětně kontrolovat zvolenou teplotu povrchu výpočtem z tepelného toku podle rovnice

$$t_p = t_2 + q_z = t_2 + \frac{Q_z}{L \cdot \alpha_p}$$

Z poklesu tlaku vlivem tlakových ztrát a z poklesu teploty je možno stanovit entalpii páry nebo vody na konci potrubí a při vypočtené nebo odhadované ztrátě netěsnostmi

$$\dot{m}_n = \dot{m}_1 - \dot{m}_2$$

Ztráta tepelného výkonu potom bude

$$P_z = \dot{m}_1 \cdot i_1 - \dot{m}_2 \cdot i_2 \quad (\text{W}) \quad [2.45]$$

Ztracenou energii je také možno stanovit měřením tak, že změříme teploty, tlaky a množství media na začátku a konci potrubí, z i - s diagramu vodní páry, resp. tabulek vody a vodní páry stanovíme příslušné entalpie a dosadíme do výše uvedené rovnice.

Celková účinnost dopravy energie potrubím

Je to poměr mezi tepelným výkonem na konci potrubí a tepelným výkonem na začátku potrubí, tedy

$$\eta_r = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_z}{P_1} = 1 - \frac{P_z}{P_1} \quad (1) \quad [2.46]$$

P_1 je tepelný výkon na začátku potrubí = $\dot{m}_1 \cdot i_1$ (kW)

Přenos a rozvod elektrické energie

Ztráty vznikají elektrickým odporem vodičů.

Úbytek napětí odporem vodiče je podle Ohmova zákona v jednom vodiči

$$U_z = RI \quad (\text{V}) \quad [2.47]$$

kde R je odpor vodiče $[\Omega]$,

I je proud protékající vodičem $[\text{A}]$,

Ztráta výkonu v trojfázové soustavě je $P_z = 3 \cdot U_z \cdot I = 3 \cdot R \cdot I^2$ (W)

Potřebný příkon v místě spotřeby (např. pro pohon elektromotorů) je u střídavého trojfázového proudu

$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{W})$$

Po dosazení za I z této rovnice do horní rovnice pro ztrátový výkon P_z bude ztrátový výkon

$$P_z = \frac{R \cdot P_{el}^2}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (\text{W}) \quad [2.48]$$

V této rovnici je U napětí sítě $[\text{V}]$, $\cos \varphi$ účinník.

Ztrátový výkon tedy závisí na odporu vodičů, tj. na průřezu, délce a materiálu, a klesá se čtvercem napětí. Z toho důvodu se dálkový rozvod elektrické energie uskutečňuje vedením vysokého a velmi vysokého napětí.

Ztráty ve vedení také velmi rychle narůstají s poklesem účinníku, tj. jalového výkonu. Protože náklady na ztráty v rozvodech jsou zahrnuty v ceně elektrické energie a spotřeba se účtuje podle odběru na místě spotřeby, stanovuje se nejnižší hodnota účinníku ve výši $\cos \varphi = 0,95$. Pokud odběratel odebírá ze sítě proud s nižším účinníkem, účtuje dodavatel k základním tarifům cenovou přírážku (viz kapitolu „3.5 Ceny energií a tarifní systémy“).

Pro stanovení celkových ztrát v rozvodu je nutno ke ztrátám elektrických vodičů připočítat také ztráty při transformaci elektrické energie z vyššího na nižší napětí, příp. naopak.

Účinnost přenosu a rozvodu elektrické energie lze určit z rovnice

$$\eta_r = \frac{P_1 - P_z}{P_1} \cdot 100 \quad (\%) \quad [2.49]$$

kde P_1 je výkon dodávaný do rozvodu.

2.5 Užití energie na místě spotřeby.

S hlediska účelu užití energie můžeme rozdělit spotřebiče do následujících skupin:

1. zařízení pro tepelné účely
2. pro sociální potřebu, (topení, ohřev teplé vody (TV) a klimatizace, přípravu jídel)
3. pro technologické účely, (průmyslové pece, topná a sušící zařízení apod.)
4. zařízení pro pohonné účely, motory (elektrické, hydraulické a pneumatické pohony).

Zařízení pro tepelné účely

Vytápění:

Jde především o potřebu tepla pro vytápění objektů. Určuje se buď podrobným výpočtem z tepelných ztrát jednotlivými teplosměnnými plochami objektu dle dřívější ČSN 06 0210 (nahrazena normou ČSN EN 12831), nebo na základě obestavěného prostoru podle ČSN 38 3350.

Maximální potřeba tepla při nejnižší výpočtové venkovní teplotě dle ČSN 06 0210 je stanovena základní rovnicí

$$P_{\max} = \sum k_i \cdot S_i \cdot (t_{is} - t_e) \quad (W) \quad [2.50]$$

Zde je:

- k_i součinitel prostupu tepla jednotlivými teplosměnnými plochami objektu do ovzduší $(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$
- S_i velikost příslušné teplosměnné plochy (tj. oken, zdiva, dveří, stropu, podlahy apod.), (m^2)
- t_{is} požadovaná teplota uvnitř vytápěného prostoru $(^{\circ}C)$
- t_e nejnižší výpočtová venkovní teplota. $(^{\circ}C)$ Je různá pro jednotlivé oblasti ČR. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce v ČSN 383350. Na příklad pro oblast Ostravy je stanovena na $-15^{\circ}C$.
- p přírážka na zvýšení tepelných ztrát infiltrací, větráním, na světové strany, na zátop a pod.

Orientačně je možno potřebu tepla, resp. tepelnou ztrátu určit na základě obestavěného prostoru (výpočet dle ČSN 38 3350).

$$P_{\max} = q \cdot V \cdot (t_{is} - t_e) \quad (W) \quad [2.51]$$

Zde je q měrná tepelná ztráta obestavěného prostoru (tzv. tepelná charakteristika budovy) $[W \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$ a určuje se podle této normy na základě výpočtu poměrného povrchu a z grafů v této normě pro 4 kategorie budov.

V průběhu otopného období se venkovní teplota mění. Okamžitý tepelný příkon v závislosti na venkovní teplotě je pak možno stanovit z přímé úměrnosti tepelných ztrát dle rovnice

$$P = P_{\max} \cdot \frac{t_{is} - t_e'}{t_{is} - t_e} \quad (W) \quad [2.52]$$

Zde je

t_{is} průměrná teplota v otápeném objektu, ($^{\circ}C$)
 t_e aktuální průměrná denní venkovní teplota, která se určuje měřením venkovní teploty v 7 hod, 14 hod a 21 hod a posléze se vypočítá dle vzorce

$$t_{ei} = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} \quad ({}^{\circ}C)$$

Z maximální potřeby tepla P_{\max} se určuje instalovaný výkon zařízení pro dodávku tepla k vytápění (tj. výtopny, rozvody, kapacity výměníkůvých stanic apod.)

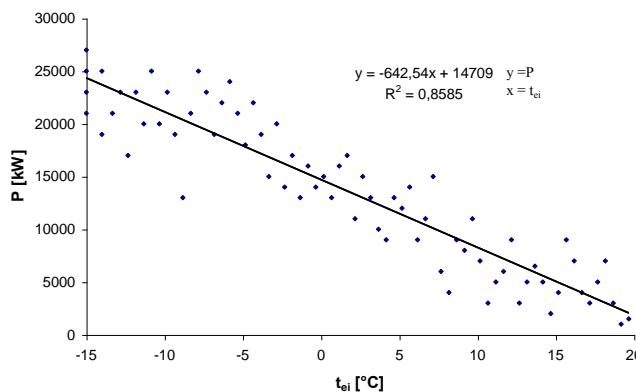
Spotřeba tepla pro vytápění za den se určí z rovnice

$$Q_d = P_{\max} \cdot \frac{t_{is} - t_e'}{t_{is} - t_e} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \quad (kJ.den^{-1}) \quad [2.53]$$

a obdobným způsobem např. při plánování potřeby tepla v libovolném období (např. měsíc, resp. rok.). V tomto případě se však za t_e dosazuje střední venkovní teplota v daném měsíci, příp. roce.

Na základě sledovaných spotřeb energie pro vytápění je možno statistickým způsobem vyhodnotit tepelnou charakteristiku objektu (způsob vyhodnocení viz kap. Energetické charakteristiky).

Příklad takové charakteristiky je na obr. 2.13.



Obr. 2.13. Charakteristika spotřeby tepla pro vytápění

Regresní funkci je možno zvolit lineární ve tvaru

$$Q = Q_0 - k \cdot t_e \quad (GJ) \quad [2.54]$$

Z takto zjištěné charakteristiky, přepočtem na průměrný tepelný příkon je možno následně stanovit dosazením do rovnice za t_{ei} výpočtovou nejnižší teplotu pro danou oblast tj. maximální potřebný tepelný příkon pro vytápění pro nejnižší výpočtovou teplotu t_e .

Podle jednotlivých způsobů vytápění rozlišujeme:

Parní systémy

rozvod páry z výtopny nebo teplárny - středotlak, tlak 0,4 až 3 MPa,
 v místě spotřeby přímé vytápění hal teplovzdušnými soupravami, sálavými panely nebo otopnými soupravami na páru,
 obytné místnosti, kanceláře, koupelny a šatny - nízkotlaký rozvod max. tlak 0,15 MPa.

Tento systém se používá především v průmyslových závodech, kde je kromě vytápění potřeba páry také pro technologické účely. Je to také možno kombinovat tak, že pro potřebu kanceláří a šaten je v těchto objektech sekundární předávací výměňiková stanice pára - teplá voda a uvnitř budovy je rozvod teplé vody k otopným tělesům.

Parní systém je jednoduchý a investičně levný, ale méně hospodárný, zejména v případech, kdy se nevrací kondenzát. Obtížná je také hospodárná regulace dodávky tepla.

Horkovodní systémy

Topným médiem je horká voda, obvykle 150/70°C z výtopny nebo teplárny (v systémech CZT). Tímto médiem se přímo vytápí výrobní haly (teplovzdušné soupravy, sálavé konektory, nebo žebrované či hladké trubky). V objektech kanceláří a šaten jsou předávací výměňikové stanice horká voda - teplá voda. V teplovodním okruhu jsou teploty vody zpravidla 90/70 (při nejnižší výpočtové teplotě t_e).

Teplovodní systémy

Rozvod ze zdroje ke spotřebičům se děje přímo teplou vodou 90/70°C.

Horkovodní a teplovodní systémy jsou v provozu hospodárnější než systém parní, i když s vyššími pořizovacími náklady (dvojice trubek ze zdroje a zpět).

Plynové vytápění

Uskutečňuje se jako lokální systém:

lokální plynová topidla uvnitř objektů, ve výrobních halách lze použít i tzv. plynové infrazářiče,

v objektech plynové kotle ústředního vytápění.

Kombinací teplovzdušného vytápění horkovodního s infrazářiči ve výrobních halách lze uspořit značné množství tepla (řádově až 50%).

Elektrické vytápění

Buď jako:

přímotopné spotřebiče
akumulační topidla.

Instalují se jen tam, kde nelze použít jiný způsob vytápění (např. řídicí velíny, kabiny jeřábů apod.) Jde o způsob provozně velmi drahý a s hlediska komplexní energetické náročnosti (přepočteno na PEZ) nehospodárný.

Ohřev teplé užitkové vody (TV)

Spotřeba tepla i instalovaný výkon jednotek se určuje podle směrných ukazatelů potřeby tepla podle počtu obyvatel v obytných budovách, resp. podle počtu zaměstnanců v závodech ("např. ČSN 06 0320).

Ohřev TV se děje ve výměňicích tepla, které mohou být:

průtokové - pro malou jednorázovou spotřebu,

akumulační - zejména v průmyslových závodech, kdy se potřeba koupací vody koncentruje po pracovní směně.

Podle druhu použité energie:

parní výměňiky k ohřevu TV,

horkovodní a teplovodní výměňiky k ohřevu TV,

průtokové plynové ohříváče vody (boilery),

elektrické průtokové nebo akumulační ohříváče TV.

Zařízení využívající teplo pro technologické účely

Převážně se jedná o různé druhy průmyslových pecí a tepelných technologických spotřebičů - sušárny, topné kolony apod.

Využití energie je možno sledovat podle podrobného rozboru toku energie v zařízení, resp. pomocí tzv. energetické, v tomto případě **tepelné bilance**.

Účinnost těchto zařízení posuzujeme podle stupně využití energie přivedené do zařízení v palivu k nutné technologické spotřebě tepla k danému účelu, hovoříme o tzv. užitečném teple. Např. u ohřívacích pecí je to potřeba tepla k ohřevu vsazeného materiálu z počáteční teploty na technologickou teplotu, tj. v tomto případě na kovací nebo lisovací teplotu, která je cca 1250 až 1300°C.

Účinnost takové pece je potom $\eta_t = \frac{Q_u}{Q_B} \cdot 100$ (%) [2.55]

zde je Q_u	užitečné teplo	$Q_u = m \cdot (i_2 - i_1)$	(kJ)
Q_B	teplo dodané v palivu	$Q_B = V_{pl} \cdot Q_i$	(kJ)
zde je	m	množství ohříváné vsázky za dobu ohřevu	(kg)
	i_1 a i_2	entalpie materiálu na začátku a konci ohřevu	(kJ.kg ⁻¹)
	V_{pl}	spotřeba plynu za dobu ohřevu	(m ³)
	Q_i	výhřevnost paliva	(kJ.m ⁻³).

Účinnosti těchto technologických zařízení se pohybují ve velmi širokých mezích podle druhu technologického procesu (např. u pecí pro tepelné zpracování podle průběhu teplotního režimu), druhu a stáří pece a využití tepla spalin rekuperací nebo regenerací tepla pro předehřev spalovacího vzduchu. Podstatný vliv na účinnost má přebytek vzduchu při spalování, teplota spalin na výstupu z pece a systém regulace technologického procesu. U ohřívacích pecí bývá účinnost 25 až 50 %, u sušících pecí a výměníků tepla 80 až 90 %.

Často se využití energie také posuzuje podle měrné spotřeby tepla v palivu na 1 t nebo kg ohříváného materiálu, v tomto případě se stanoví $q = \frac{Q_B}{m}$ (kJ.kg⁻¹)

Využití energie v palivu lze zvýšit hlavně těmito prostředky:

1. dokonalejší tepelnou izolací stěn pece snížit tepelné ztráty do okolí,
2. zpětným využitím citelného tepla spalin pro ohřev spalovacího vzduchu v rekuperátorech a regenerátorech,
3. účinnou automatickou regulací spalovacího procesu, zejména nastavením optimálního přebytku vzduchu podle obsahu kyslíku ve spalinách.

Zařízení pro pohonné účely

Elektromotory

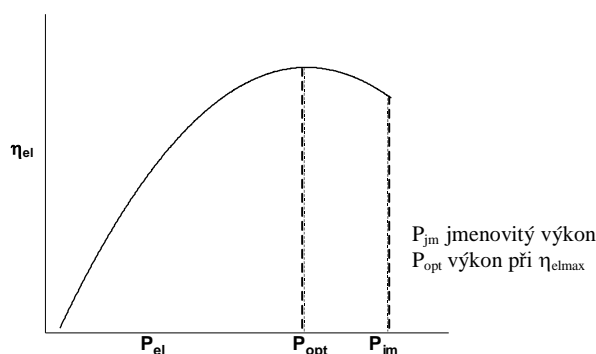
Pro trojfázový proud je příkon elektromotoru dán vztahem

$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{W}) \quad [2.56]$$

Užitečný výkon motoru na spojce je P_{sp} , takže účinnost elektromotoru je

$$\eta_{el} = \frac{P_{sp}}{P_{el}} \cdot 100 \quad (\%) \quad [2.57]$$

Účinnost se mění se zatížením motoru, při nízkém zatížení je účinnost nižší než při jmenovitém výkonu. Závislost účinnosti na výkonu P_{sp} je na obr.2.14.

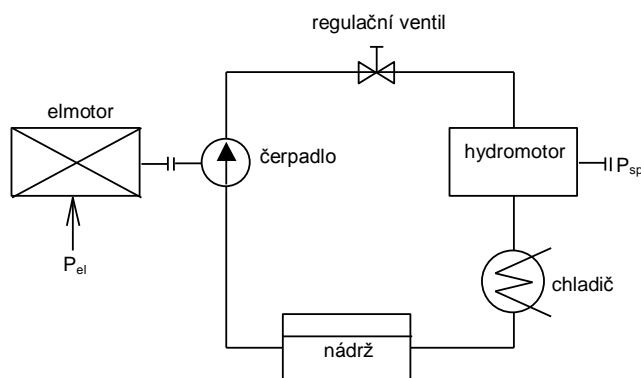


Obr. 2.14. Závislost účinnosti elektromotoru na výkonu

Průměrně bývá účinnost elektromotorů 80 až 90 %, menší u malých motorů, větší u velkých motorů. U velkých synchronních motorů je až 96 %.

Hydraulické pohony

Obvod hydraulického pohonu (viz schéma na obr. 2.15) pozůstává z elektromotoru, který pohání čerpadlo (zpravidla zubové nebo šroubové, u velkých pohonů např. lisů pístové nebo odstředivé). Tímto čerpadlem se zvyšuje tlak v obvodu a tím se transformuje mechanická práce elektromotoru na potenciální energii kapaliny. Ta se vede přes regulační ventil do hydromotoru, kde se tato energie mění opět na mechanickou práci k pohonu výrobních zařízení (např. lisy, podávací mechanismy apod.) V obvodu musí být zařazen chladič kapaliny, protože vlivem ztrát v čerpadle a hydromotoru se kapalina zahřívá a toto teplo se musí odvádět do okolí.



Obr. 2.15. Schéma hydraulického pohonu

Celkovou účinnost transformace energie z elektrické na užitečnou energii pro pohon výrobního zařízení lze stanovit dle rovnice

$$\eta_c = \frac{P_{sp}}{P_{el}} \cdot 100 = \eta_{el} \cdot \eta_c \cdot \eta_r \cdot \eta_h \cdot 100 \quad (\%) \quad [2.58]$$

V této rovnici jsou jednotlivé dílčí účinnosti:

η_{el} účinnost elektromotoru, bývá 0,85 až 0,9,

- η_c účinnost čerpadla, podle druhu bývá 0,75 až 0,8,
- η_r účinnost rozvodů, bývá 0,95,
- η_h účinnost hydromotoru, bývá 0,8 až 0,85.

Jak je zřejmé, vlivem několikanásobné transformace je účinnost nízká a proto je nutno tyto obvody používat jen tam, kde nelze použít jiný druh pohonu.

Pneumatické motory a pohony

Využívají potenciální energie stlačeného vzduchu. Výroba stlačeného vzduchu se ve velkých závodech děje v centrální kompresorové stanici a stlačený vzduch, zpravidla o tlaku 0,5 až 0,7 MPa se rozvodným potrubím rozvádí do jednotlivých odběrních míst.

Při využití potenciální energie v místě užití dochází ke značným ztrátám, podle druhu pneumatického zařízení. Tato zařízení pracují buď na objemovém principu (u pístových strojů a mechanismů), nebo na dynamickém principu (např. vzduchové turbinky a ejektory).

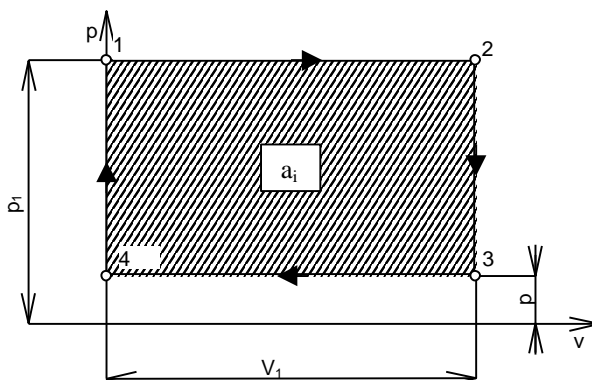
U pístových strojů s přímočarým vratným pohybem můžeme tyto stroje rozdělit na

- stroje plnotlaké, u kterých se potřebná práce vyvozuje konstantním tlakem vzduchu při pracovním zdvihu a stlačený vzduch vyfukuje se značným tlakem z válce ven,
- stroje s úplnou expanzí, u kterých se maximálně využívá schopnost stlačeného vzduchu konat práci. Expanze při pracovním zdvihu jde až na protitlak atmosférického výfuku.

Oba uvedené stroje jsou teoretické jako krajní způsoby funkce pneumatického motoru. Ve skutečnosti se používají motory s neúplnou expanzí.

Motor plnotlaký- pracovní diagram ideálního motoru (obr. 2.16) je obdélník. V bodě 1 se otevírá plnicí ventil nebo šoupátko, po celou dobu zdvihu se přivádí do válce stlačený vzduch o stejném tlaku p_1 . V bodě 2 se píst vrací, uzavírá se plnicí ventil a současně otevírá výfukový ventil. Dochází k náhlému poklesu tlaku na tlak ve výfuku (atmosférický tlak) p_2 . Výfuk se děje po celou délku zpětného zdvihu. V bodě 4 se uzavírá výfukový ventil a současně otevírá plnicí ventil. Dojde k okamžitému zvýšení tlaku v pracovním válci na tlak p_1 . Uzavřený pracovní oběh je úměrný vykonané práci stlačeného vzduchu za jeden pracovní cyklus pneumatického motoru.

Mechanická práce ideálního motoru se dá vyjádřit plochou obdélníka



Obr. 2.16. Motor plnotlaký

$$A_i = (p_1 - p_2) \cdot V_1 \quad (\text{J})$$

Měrná práce je práce vztažená na hmotnost vzduchu 1 kg, tedy

$$a_i = \frac{A_i}{m} = (p_1 - p_2)v \quad (\text{J.kg}^{-1})$$

kde v je měrný objem stlačeného vzduchu.

Spotřeba vzduchu se obvykle uvádí přepočtená na normální podmínky, tj. 0°C a tlak $101,325 \text{ kPa}$, označeno m_N^3 . Potom objem V_1 přepočítáme na normální stav pomocí stavové rovnice

$$V_N = V_1 \cdot \frac{p_1}{p_N} \cdot \frac{T_n}{T_1} \quad (\text{m}_N^3)$$

a tedy ideální práce

$$A_i = V_N \cdot \frac{p_n}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_N} (p_1 - p_2) \quad (\text{J}) \quad [2.59]$$

Měrná práce, kterou vykoná 1 m_N^3 stlačeného vzduchu po dosažení za $V_{(n)}=1$

$$a_{i-v} = p_N \cdot \frac{T_1}{T_N} \cdot \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right) \quad (\text{J.m}_N^{-3})$$

V rovnicích je nutno dosazovat tlak v (Pa), teplotu v (K).

Dále se vyjadřuje měrná práce v kWh, proto provedeme přepočet

$$a_{i-v} = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \cdot a_{i-v} \quad (\text{kWh.m}_N^{-3}) \quad [2.60]$$

převrácená hodnota je měrná spotřeba stlačeného vzduchu na 1 kWh mechanické práce, čili

$$q_i = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{a_{i-v}} \quad (\text{m}_N^3 \cdot \text{kWh}^{-1}).$$

Např. bude-li tlak stlačeného vzduchu $p_1=0,5 \text{ MPa}$ a teplota $t_1=20^\circ\text{C}$, bude u plnotlakého motoru s expanzním poměrem $\varepsilon = \frac{p_1}{p_2} = 5$ měrná práce vykonaná 1 m_N^3 $a_{i-v} = 0,0242 \text{ kWh.m}_N^{-3}$ a měrná spotřeba stlačeného vzduchu $41,38 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kWh}^{-1}$.

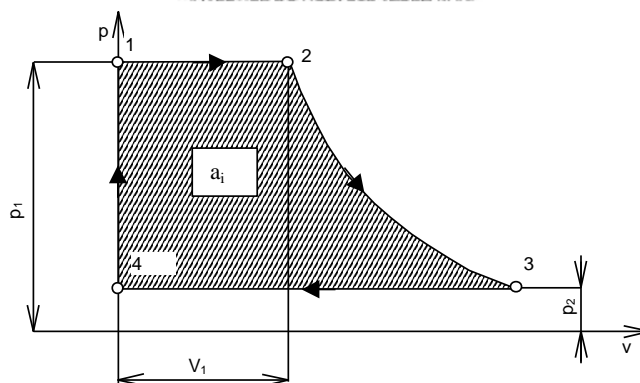
U motoru s úplnou expanzí (obr. 2.17) se děje plnění válce stlačeným vzduchem jen v intervalu 1-2. V bodě 2 se uzavírá plnicí ventil a vzduch expanduje až na tlak p_2 . U ideálního motoru s úplnou expanzí uvažujeme izoentropickou expanzi. Výfuk a další plnění se děje obdobně jako u plnotlakého motoru.

Pro měrnou práci lze odvodit rovnici

$$a_{i-v} = p_N \cdot \frac{T_1}{T_N} \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right] \quad (\text{J.m}_N^{-3}) \quad [2.61]$$

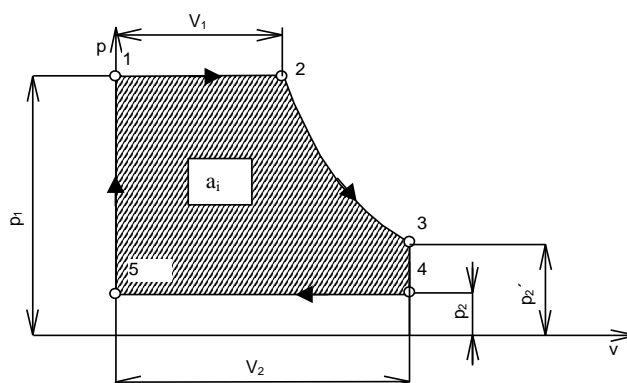
Obdobně určíme měrnou práci v kWh a měrnou spotřebu stlačeného vzduchu jako u plnotlakého motoru. Pro stejné hodnoty stlačeného vzduchu bude výpočet při exponentu adiabaty $\kappa=1,41$

$$a_{i-v} = 0,039 \text{ kWh.m}_N^{-3} \text{ a } q_{i-v} = 25,66 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kWh}^{-1}$$



Obr. 2.17. Motor s úplnou expanzí

Prakticky jsou motory s neúplnou expanzí, u kterých nedochází k úplné expanzi až na atmosférický tlak, ale na tlak vyšší. Rychlé vyrovnání tlaků je pak po otevření výfukového ventilu na konci zdvihu. Měrná práce i spotřeba vzduchu jsou pak mezi oběma krajními oběhy. Schéma motoru s neúplnou expanzí je na obr. 2.18.



Obr. 2.18. Schéma motoru s neúplnou expanzí

Měrná práce motoru je

$$a_{i-v} = p_N \cdot \frac{T_1}{T_N} \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa - 1} \cdot \frac{1}{\kappa} - \frac{p_2 \cdot V_2}{p_1 \cdot V_1} \cdot \frac{\kappa - 1}{\kappa} \right] (\text{J} \cdot \text{m}_N^{-3}) \quad [2.62]$$

Skutečná měrná práce je nižší o ztráty termodynamické a mechanické, takže

$$a_{sk-v} = a_{i-v} \cdot \eta_{td}$$

η_{td} je termodynamická účinnost motoru, je menší než 1.

Stupeň využití energie stlačeného vzduchu v pneumatickém motoru charakterizuje tedy:

1. měrná práce kWh, kterou při určitém tlaku vzduchu může vykonat 1 m_N^3 stlačeného vzduchu (tj. 1 m^3 vzduchu při normálních podmínkách, tj. přepočteno na tlak $0,101325 \text{ MPa}$ a $273,15 \text{ K}$)
2. měrná spotřeba stlačeného vzduchu je naopak spotřeba stlačeného vzduchu, přepočtená na normální podmínky k vykonání práce 1 kWh . Ve skutečnosti je nutno oproti ideálnímu motoru počítat se ztrátami energie, takže měrná práce bude nižší a měrná spotřeba stlačeného vzduchu vyšší. U pneumatických motorů je termodynamická účinnost okolo 70% , u sbíječek, sekáčů a pneumatických kladiv kolem 50% , u vrtacích kladiv pouze 40 až 45% . Měrná spotřeba stlačeného vzduchu

při běžných parametrech tlaku před spotřebičem se pohybuje okolo 50 až 70 $m_N^3 \cdot kWh^{-1}$, při zvýšeném opotřebení se zvyšuje až na 100 $m_N^3 \cdot kWh^{-1}$.

Zde je nutno se zmínit o celkové hospodárnosti stlačeného vzduchu jako nositele energie v porovnání s elektrickým pohonem.

Při použití stlačeného vzduchu dochází ke značným ztrátám energie, které vznikají z těchto důvodů.

1. Stlačený vzduch se vyrábí transformací zpravidla elektrické nebo tepelné energie poháněcího motoru v centrální kompresorové stanici. Při této transformaci dochází ke ztrátám energie jednak v poháněcím motoru (elektromotoru, parní turbíně nebo spalovacím motoru), jednak v kompresoru.
2. Při rozvodu stlačeného vzduchu do místa užití dochází k tlakovým ztrátám a ztrátám netěsnostmi.
3. Jak již bylo uvedeno, značné ztráty jsou také při využití tlakové energie stlačeného vzduchu v pneumatickém zařízení.

Spotřeba elektrické energie pro pohon kompresoru bývá při přetlaku za kompresorem 0,5 až 0,7 MPa 0,08 až 0,1 $kWh \cdot m_N^{-3}$. Tlakové ztráty v rozvodu je možno uvažovat řádově 0,1 až 0,2 MPa, ztráty netěsnostmi u dobře udržovaných rozvodů 10 až 15 %, měrná spotřeba stlačeného vzduchu 50 až 80 $m_N^3 \cdot kWh^{-1}$.

Celková účinnost tlakovzdušného systému se dá označit opět jako součin dílčích účinností, tedy:

$$\eta_c = \eta_m \cdot \eta_k \cdot \eta_r \cdot \eta_p \quad (J \cdot m_N^{-3}) \quad [2.63]$$

Zde je:

η_m	účinnost poháněcího motoru kompresoru,
η_k	izotermická účinnost kompresoru,
η_r	účinnost rozvodu,
η_p	izotermická účinnost pneumatického pohonu.

Porovnáme-li tedy tlakovzdušný systém s elektrickým pohonem o účinnosti cca 80%, t.j. spotřebě elektrické energie 1,25 $kWh \cdot kWh^{-1}$ výkonu na spojce, je spotřeba elektrické energie na svorkách poháněcího motoru kompresoru 5,5 až 10 $kWh \cdot kWh^{-1}$ mechanické práce, čili hospodárnost elektrického pohonu k pohonu tlakovzdušnému v poměru 1:4,4 až 1:8.

Nižší hodnoty jsou u dobře provozovaných a udržovaných tlakovzdušných zařízení. Z toho je zřejmé, že tyto pohony je nutno používat jen výjimečně pokud nelze zajistit hospodárněji jiný druh energie a je nutno věnovat velkou pozornost technickému stavu zařízení a vhodně volit výši tlaku, aby se provoz pneumatického motoru co nejvíce blížil systému s úplnou expanzí. Stlačený vzduch se používá zejména pro stavební práce na budovách a silnicích, pro pěstovací stroje ve slévárnách a pro pohony v dolech v místech s nebezpečím výbuchu, kde nelze použít elektrická zařízení.

3 Vyrovnávání disproporcí mezi výrobou a spotřebou energie

Okamžitá spotřeba energie není vždy v souladu s výrobou. Spotřeba kolísá podle potřeb odběratele, výroba je dána buď technologickými podmínkami (např. u sekundárních zdrojů energie jako je produkce koksárenského plynu při výrobě koksu nebo vysokopecního plynu při výrobě surového železa apod.), nebo požadavky optimalizace výroby, resp. dopravy energie.

Vyrovňovat disproporce mezi výrobou a spotřebou energie je možno řešit těmito způsoby:

1. regulace výroby podle spotřeby,
2. regulace spotřeby podle výroby,
3. akumulaci energie.

První způsob je nejrozšířenější, je však omezen možnostmi technologie výroby, instalovanými výkony výrobních agregátů, resp. požadavky optimalizace provozu.

Možnosti uplatnění tohoto způsobu regulace u jednotlivých druhů energie:

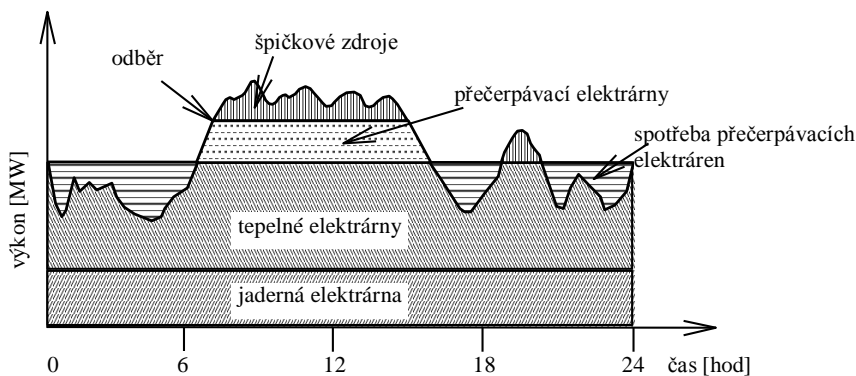
3.1 Elektrická energie.

Ve velkých výrobních:

- V jaderných elektrárnách je požadavek na konstantní zatížení.
- V parních elektrárnách je regulace možná v určitém rozmezí zatížení. Změna zatížení je vždy spojena se zhoršením účinnosti. Najíždění velkých bloků je časově náročné a představuje vždy ztrátu energie.
- Elektrárny se spalovacími turbinami a spalovacími motory mají pružnější provoz, najíždění je rychlejší, proto se uplatňují s výhodou jako špičkové zdroje.
- Vodní elektrárny umožňují rychlé najetí, mají vysokou účinnost, která se mění se zatížením méně než u ostatních zdrojů, je možná plná automatizace provozu a dálkové řízení.

Ve veřejné elektrické síti je proto účelná vhodná kombinace provozu těchto systémů: Jaderné elektrárny pokrývají základní zatížení, tepelné elektrárny střední zatížení a špičky pokrývají vodní elektrárny, resp. elektrárny se spalovacími turbinami nebo se spalovacími motory. (V ČR je instalovaný výkon těchto zdrojů nízký). Do tohoto systému mohou pracovat také přečerpávací vodní elektrárny, které fungují jako nepřímá akumulace elektrické energie. (V době poklesu odběru elektrické energie pracují jako motor-čerpadlo a čerpají vodu do horní nádrže, v době špičkového odběru pracují jako turbina-generátor. Tento způsob komplexního řízení výroby elektrické energie umožňuje optimální využití instalovaných výkonů elektráren).

Na obr.3.1 je znázorněn příklad diagramu výroby a odběru elektrické energie v průběhu jednoho dne.



Obr. 3.1. Diagram výroby a odběru elektrické energie v průběhu dne

V malých výrobních elektrické energie, např. v závodních elektrárnách a teplárnách, příp. v kogeneračních jednotkách se spalovacími motory a spalovacími turbinami je účelná kombinace vlastní výroby elektrické energie s dodávkou elektrické energie z veřejné sítě.

3.2 Dodávka tepla

Teplu v páře nebo v horké vodě z výtopen nebo tepláren s parními odběrovými turbinami se může poměrně rychle přizpůsobit odběru, přesto při velkých výkyvech v krátkém časovém intervalu (např. odběr páry pro buchary v kovárnách, vývěvy v sekundární metalurgii apod.) je účelné do parní sítě vytápění zařadit parní, příp. horkovodní akumulátor. U dlouhých tepelných napáječů lze zčásti počítat s vyrovnáváním disproporcí mezi dodávkou a spotřebou tepla akumulací tepla v rozvodu.

3.3 Topné plyny

V systému rozvodu zemního plynu jsou dodávky do ČR ze zahraničí stabilní, případné výkyvy v odběru plynu oproti dodávkám se řeší akumulací v podzemních zásobnících plynu (PZP). V systému ostatních plynů (koksárenský plyn a vysokopecní plyn) nelze výrobu přizpůsobit odběru.

3.4 Stlačený vzduch

Výrobu stlačeného vzduchu je možno v plném rozsahu přizpůsobit odběru regulací výkonu kompresorů a při větším počtu kompresorů řízením chodu jednotlivých strojů, za předpokladu dostatečného instalovaného výkonu kompresorové stanice.

3.5 Potenciální energie vody

Výkon vodních turbin se může při průtočném způsobu velmi snadno a rychle přizpůsobit odběru.

Druhý způsob (tj. regulace spotřeby podle výroby) je možno zajistit:

1. plánovitou regulací spotřeby podle výroby,
2. regulačními opatřeními. Tento způsob je v podstatě havarijní řešení v případech, kdy pohotový výkon výrobních zařízení je nižší než odebíraný výkon. V minulosti byly tyto případy časté na rozvodech elektrické energie a zemního plynu a regulace odběru byla prováděna vyhlašování příslušných odběrových stupňů, podle kterých museli velkoodběratelé snížit odběr energie na stanovené hodnoty.

U plánovité regulace zejména v elektrizační soustavě se řeší sjednáváním tzv. odběrových diagramů mezi velkoodběrateli a dodavateli. Převážně se to týká velkých odběratelů. U maloodběru je to možno řešit dálkovým vypínáním a zapínáním elektrických akumulčních topidel a boilerů na ohřev TV.

U odběratelů elektrické energie je tento způsob podpořen také ekonomickými nástroji i tarifní politikou státu (ceny elektrické energie jsou nižší v období nižšího odběru ze sítě, tzv. nízký tarif NT a naopak a poplatky za sjednaný nebo skutečně odebraný výkon. (viz kap. 4.2, Ceny energie). Odběratel tak má být zainteresován na přenesení odběru elektrické energie do období nízké spotřeby, např. nočního období. To je však značně omezeno možnostmi odběratele. (možno např. přesunem výroby oceli v elektrických pecích v ocelárnách a pod.).

U topných plynů, např. v hutích se nesoulad mezi spotřebou a výrobou řeší tzv. dvou a vícepalivovými systémy. Např. u průmyslových pecí je možno alternativně spalovat směsný nebo koksárenský plyn, příp. používání směsného plynu, který je tvořen třemi, příp. i čtyřmi

složkami jako směs vysokopecního, koksárenského, zemního a degazačního plynu. Nedostatek určitého druhu plynu (zpravidla koksárenského), se řeší změnou podílu zemního plynu a vysokopecního plynu. V případě přebytku vysokopecního plynu se tento spaluje na kotlích závodní teplárny.

3.6 Akumulace energie

V určitých případech, kdy nelze výše uvedenými způsoby disproporce mezi výrobou a spotřebou energie vyrovnat, se používá akumulace energie. Může být:

3. dlouhodobá, např. sezónní u rozvodu zemního plynu podzemními zásobníky plynu,
4. krátkodobá, vyrovnávají se disproporce řádově hodinové nebo denní.

Možnosti akumulace u jednotlivých druhů energie.

Elektrická energie

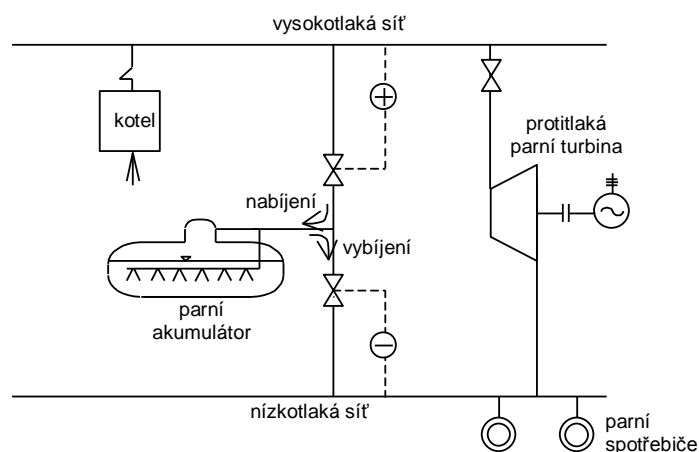
Přímo se dá akumulovat jen ve velmi malém množství v akumulátorech (bateriích). Nepřímo je možno elektrickou energii akumulovat systémem přečerpávacích hydroelektráren. Teoretická možnost (zatím neekonomická) je možnost uplatnění tzv. vodíkové technologie, tj. výroba vodíku elektrolysou vody v době nízkého odběru, akumulace vodíku v plynojemů a následné spalování vodíku v době vysokého odběru ve spalovací turbíně pro výrobu elektrického proudu.

Tepelná energie

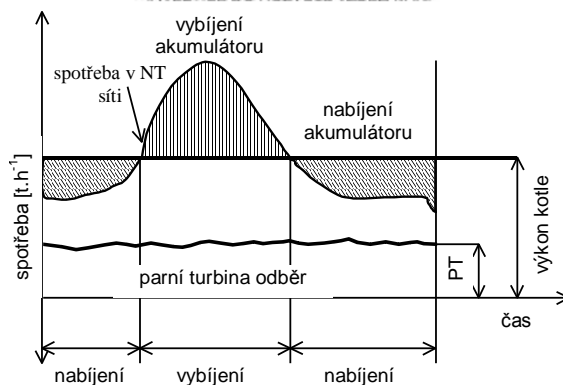
Lze ji akumulovat v omezeném rozsahu pro hodinové, resp. denní výkyvy. Děje se tak v parních a horkovodních systémech CZT. S ohledem na nízkou koncentraci energie v jednotce objemu vychází objemy akumulátoru velké a je nutno provést rozbor ekonomické efektivity.

Vodní akumulátory tepla se zařazují do horkovodních systémů zásobování teplem nebo jako akumulční ohřivače teplé užitkové vody při nárazové spotřebě TUV v průmyslových závodech při střídání směn.

Na obr.3.1a je schéma parního akumulátoru a na obr. 3.1b je průběh odběru při zapojení do rozvodné sítě závodu.



Obr. 3.1a. Schéma parního akumulátoru



Obr. 3.1b. Systém zapojení do rozvodu

Princip práce:

Je-li odběr páry nižší nežli dodávka z výroby, zvyšuje se tlak v rozvodu a akumulátoru, pára o vyšším tlaku kondenzuje v akumulátoru, protože nemůže existovat při dané teplotě páry (mez sytosti) $p_a < p_b$. Zvyšuje se tak vodní obsah akumulátoru.

Je-li naopak odběr páry vyšší než dodávka, snižuje se tlak páry v rozvodu a tím i v síti. Teplota vody v akumulátoru je vyšší než odpovídá danému tlaku, $p_a > p_b$ a voda v akumulátoru se odpařuje a dodává do parní sítě.

Maximální přetlak páry v akumulátoru je 2 MPa, minimální tlak je dán požadavky v odběrní síti. Čím je přípustné kolísání tlaku větší, tím pro pokrytí určité maximální disproporce mezi dodávkou a odběrem je nutný menší objem akumulátoru a tím vyšší ekonomická efektivnost instalace parního akumulátoru. Totéž platí i pro vodní akumulátory tepla.

Chemická energie

V pevném, kapalném i plynném palivu se dá velmi dobře akumulovat (tj. skladovat). Pevné palivo se skladuje na volných skládkách. U skládek hnědého uhlí je nutno dodržovat maximální přípustnou výšku vrstvy a kontrolovat možnost zapaření uhlí a následné samovznícení.

Kapalná paliva se skladují v podzemních i nadzemních zásobnících. Takto lze skladovat i tzv. zkapalněné topné plyny (propan-butan).

Zásoby pevného a kapalného paliva mohou vyrovnávat denní až měsíční rozdíly mezi dodávkou a spotřebou.

Plynná paliva se skladují v omezené míře v nadzemních plynojemech koksárenského plynu (disproporce řádově hodiny, resp. dny) a vysokopecního plynu (disproporce řádově hodiny)

Podzemní plynojemy mají kapacitu řádově 10^6 m^3 a mohou vyrovnávat dlouhodobé (sezónní) výkyvy mezi odběrem a dodávkou plynu.

Potenciální energie vody

Řeší se jímáním vody ve vodních přehradách a nádržích. Je to možné ve velkém rozsahu, jsou však vysoké pořizovací náklady a nutno hodnotit i vliv na životní prostředí.

Tlaková energie plynů

Např. stlačený vzduch je možno akumulovat jen v omezeném rozsahu a vzduchojemy se do sítí stlačeného vzduchu zařazují jen pro vyrovnávání kolísání tlaku vzduchu v rozvodu.

Velikost akumulátoru

Obecně se stanoví tak, že na základě diagramu dodávky energie do rozvodu a odběru energie za určitý časový úsek (např. den, týden, rok) se stanoví okamžitý rozdíl mezi výkonem zdroje P_a a příkonem spotřebiče P_b a v jednotlivých intervalech se stanoví rozdíl mezi dodanou energií a energií spotřebovanou. Rozdíl je nutno dodat z akumulátoru, nebo akumulovat.

Akumulátor se pak dimenzuje na největší kolísání obsahu energie v akumulátoru, vč. určité bezpečnostní rezervy.

Obecné matematické řešení:

$$\text{Průběh výkonu ze zdroje} \quad P_a = f(\tau) \quad (\text{kW}) \quad [3.1]$$

$$\text{Průběh příkonu spotřebičů} \quad P_b = f(\tau) \quad (\text{kW}) \quad [3.2]$$

Dále musí platit, že celková dodávka energie za sledovaný časový interval musí se rovnat celkové spotřebě energie, tedy

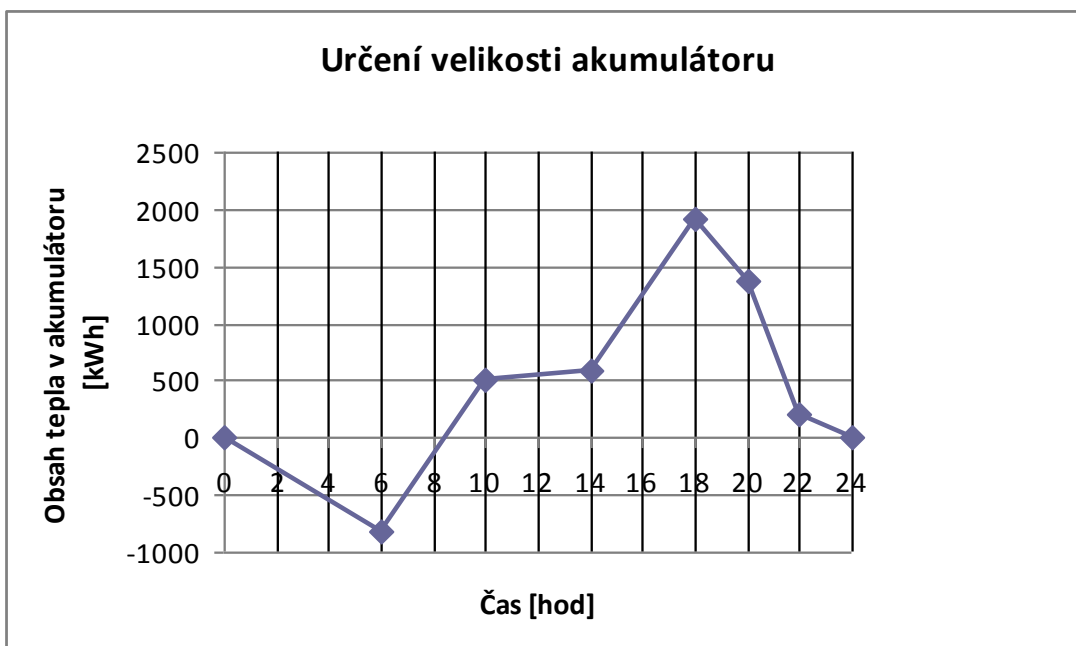
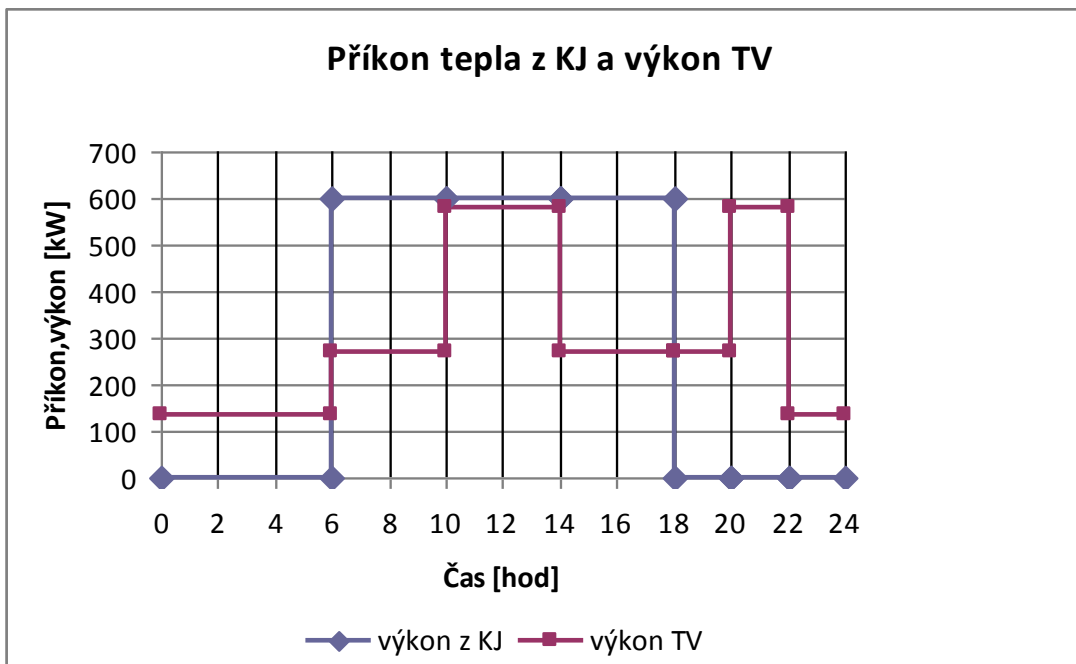
$$Q_a = \int_{\tau_1}^{\tau_2} P_a \cdot d\tau = Q_b = \int_{\tau_1}^{\tau_2} P_b \cdot d\tau \quad (\text{kWh}) \quad [3.3]$$

Rozdíl mezi dodanou a spotřebovanou energií v průběhu času představuje energii, kterou je nutno uložit (je-li $\Delta Q > 0$), nebo se dodá do rozvodu z akumulátoru (je-li $Q < 0$).

$$\text{Tento rozdíl je} \quad \Delta Q = Q_a - Q_b = f(\tau) \quad (\text{kWh}) \quad [3.4]$$

Potřebný objem akumulátoru je pak možno stanovit podle druhu energie a měrného obsahu příslušného druhu energie k zajištění stanoveného maximálního kolísání obsahu energie v akumulátoru.

Na obr.3.2 je naznačeno grafické řešení konkrétního příkladu stanovení horkovodního akumulátoru tepla v systému CZT s kogenerační jednotkou se spalovacím motorem, která dodává elektrickou energii do sítě ve špičkovém a vysokém tarifu po dobu 16 hodin (elektrický výkon 500 kW) a v této době dodává do SCZT teplo o výkonu 600 kW. Odběr tepla je pro vytápění a ohřev teplé vody (TV) v denní směně po dobu 4 hodin před koncem směny a v odpolední směně po dobu 2 hod. Spotřeba tepla pro vytápění je v denní a odpolední směně o příkonu 270 kW, v noci je útlum na 135 kW.



Obr. 3.2. Řešení velikosti akumulátoru

Z diagramu kolísání obsahu energie v akumulátoru je možno stanovit maximální kolísání, které je v daném případě

$$\Delta Q_{\max} = 2760 \text{ kWh}$$

V horní části obrázku je graficky znázorněn průběh tepelného výkonu zdroje a tepelného příkonu pro spotřebiče (vytápění a ohřev TUV) v závislosti na čase, ve spodní části je pak vyneseno rozdíly mezi energií dodanou a spotřebovanou a tím kolísání obsahu energie v akumulátoru.

Ve spodní části diagramu si lze při určitém konstantním průřezu akumulátoru (resp. baterie nádob) představit kolísání rozmezí teplé a studené vody v akumulátoru.

4 Způsoby využití druhotných zdrojů energie

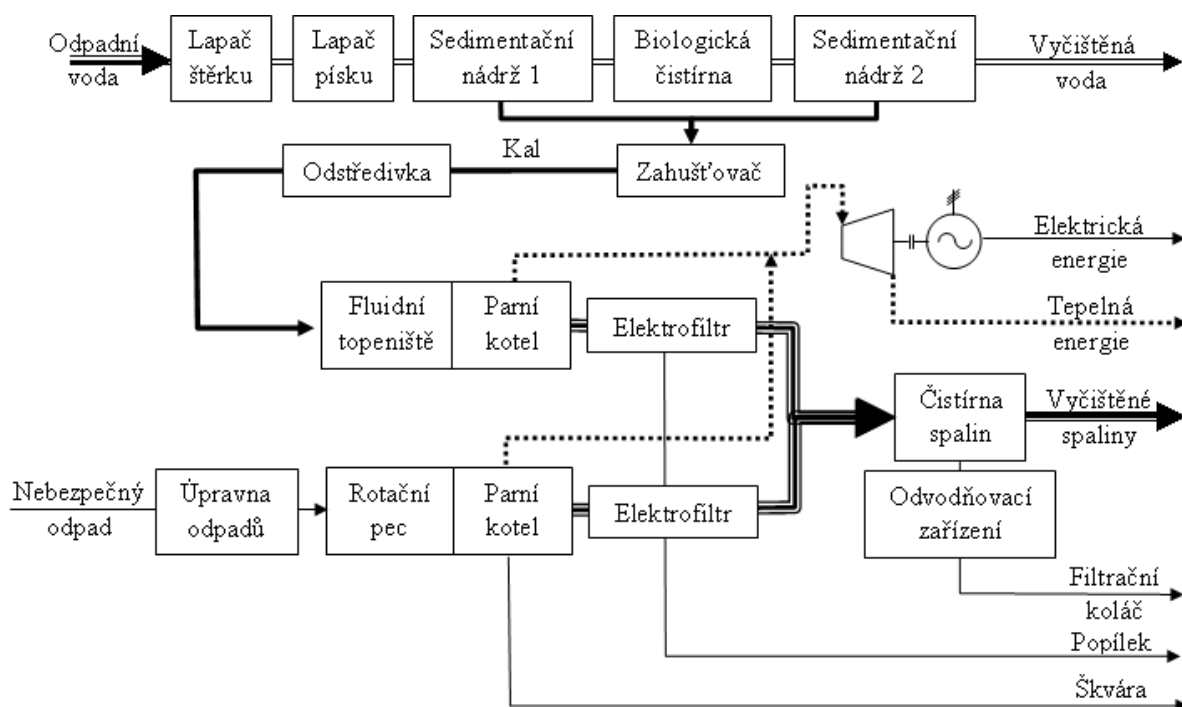
4.1 Využití chemické energie

Způsoby využití:

- 1) Spalování odpadů a následné využití tepelné energie
- 2) Biologický rozklad bez přístupu vzduchu (anaerobní digesce)
- 3) Tepelný rozklad
 - zplyňování za částečného přístupu vzduchu)
 - pyrolýza (rozklad bez přístupu vzduchu)

Ad 1) Spalování odpadů

Na obr.4.1 je naznačeno schéma likvidace městských odpadů z městské čistírny odpadních vod (ČOV) a pevných odpadů ve Vídni. spalováním odpadů z ČOV a pevných městských odpadů ze svozu.



Obr.4.1. Schéma čistírny městských odpadních vod

Zařízení má dvě části:

- čistírnu odpadních vod (ČOV)
- likvidaci pevných komunálních odpadů

V první části zařízení dochází k biologickému rozkladu organických látek a následnému oddělení vyčištěné vody od kalu ze zbytku v sedimentační nádrži. Kal se vede do spalovny s fluidním topeništěm. Vzniklé teplo se využívá v parním kotli na výrobu páry.

V druhé části zařízení se likvidují pevné komunální odpady. V rotační peci se pevné spalitelné látky z odpadů spalují a také v tomto případě se vzniklé teplo využívá k výrobě páry. Vyrobena pára z obou částí čistírny se využívá k expanzi v protitlakové parní turbíně a k výrobě elektrické energie. Výparné teplo z expandující páry v turbíně se přes výměník tepla pára – voda dodává do horkovodního systému zásobování teplem města.

Spaliny z obou spaloven se po prvním stupni vyčištění v elektrofiltrech vedou do druhého stupně čistírny, který je na principu mokrého čištění ve skrubrech a venturiho pračce. Čisté spaliny se odvádějí komínem do atmosféry. Kal z čistírny plynu po odvodnění se odváží na skládku.

Ad 2) Biologický rozklad:

Jedná se o kvasný proces, který probíhá dlouhodobě v přírodě bez přístupu vzduchu za přítomnosti bakterií.

Proces v přírodě probíhá takto např. na dně rybníka, v bažinách a také v žaludku přežvýkavců.

Při tom se nejprve složité organické látky rozkládají na jednodušší a nakonec vzniká směs metanu CH_4 a oxidu uhličitého CO_2 . Vzniklý plyn se nazývá bioplyn.

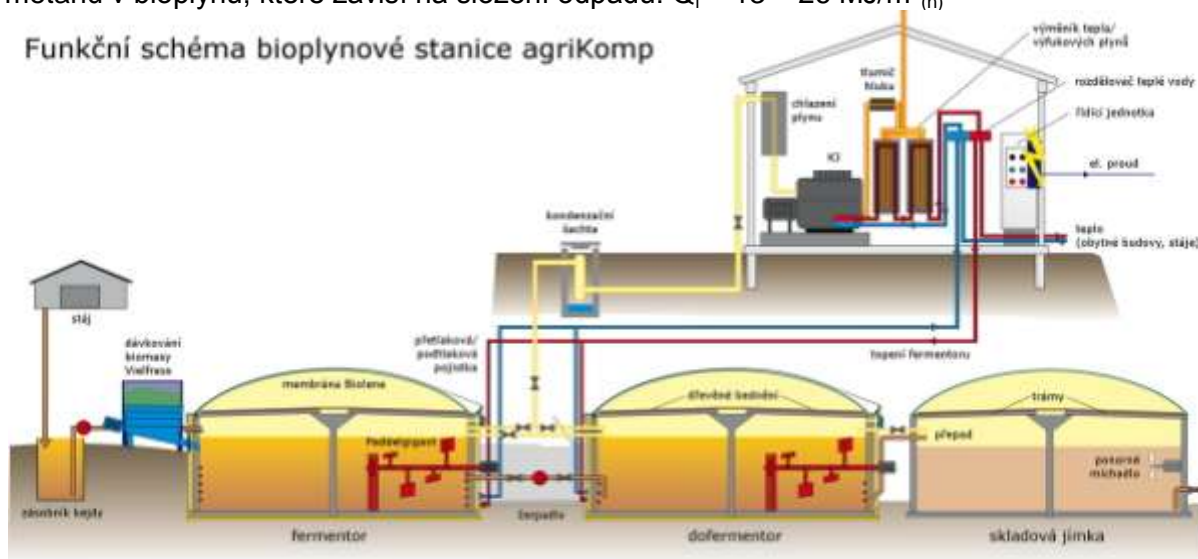
Anaerobní biologický rozklad se děje hlavně v čistírnách městských odpadních vod a na skládkách městských odpadů nebo odpadů ze živočišné výroby (keжда).

Vzniklý bioplyn z tohoto procesu je možno využít přímým spalováním v kotlích nebo v poslední době se uplatňuje využití tohoto plynu prostřednictvím kogeneračních jednotek se spalovacími motory v kombinované výrobě elektrické energie a tepla (KVET).

V poslední době se začínají využívat pro tento způsob využití bioplynu spalovací mikroturbíny. V budoucnu se uvažuje také s využitím prostřednictvím palivových článků.

Složení bioplynu z této technologie je následující: 35 – 70% CH_4 , 25 – 5% CO_2 , dále N_2 , H_2 , voda a stopové prvky. Výhřevnost se mění v širokém rozmezí podle obsahu metanu v bioplynu, které závisí na složení odpadů. $Q_i = 13 - 26 \text{ MJ/m}^3_{(n)}$

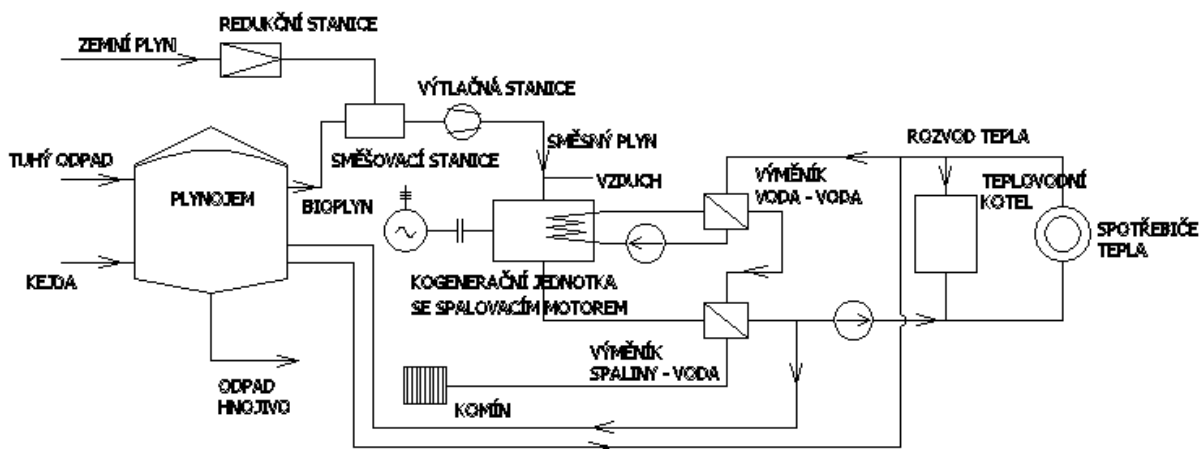
Funkční schéma bioplynové stanice agriKomp



Obr.4.2 Schéma bioplynové stanice

Na obr. 4.3 je podrobnější schéma využití vzniklého bioplynu v kogenerační jednotce se spalovacím motorem.

ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA BIOPLYNOVÉ STANICE



Obr. 4.3. Využití bioplynu kogenerací se spalovacím motorem

Odpadní suroviny se dopravují do bioreaktoru, ve kterém probíhá biologický rozklad. Vzniklý bioplyn se dopravuje do plynojemu, odkud po vyčištění je plyn dopravován do energetické stanice, kde jsou instalovány kogenerační jednotky se spalovacími motory. Vyrobené teplo z výměníků motorem se používá jednak pro vytápění reaktorů, jednak do systému zásobování teplem (SCZT, nebo DCSZT). Součástí rozkladu jsou také kaly, které se v úpravně odpadních kalů suší. Sušinu je možno použít k hnojení.

Ad 3) Tepelný rozklad biomasy:

a) zplyňování biomasy

Jedná se hlavně o odpadní dřevní hmotu, slámu a štěpky. Biomasa se zahřívá s omezeným přívodem vzduchu při teplotě asi 500 °C. Při zplyňování vzniká dehet, který je nutno z bioplynu odstranit při teplotě cca 800 až 900 °C.

Vzniká tak tzv. dřevní plyn – (enerogoplyn), který obsahuje CO a H₂.

Technologie výroby dřevoplynu je známá již z minulého století. Např. ve 2. světové válce v důsledku nedostatku ropy měly nákladní automobily generátor na dřevoplyn a motor na tento plyn.

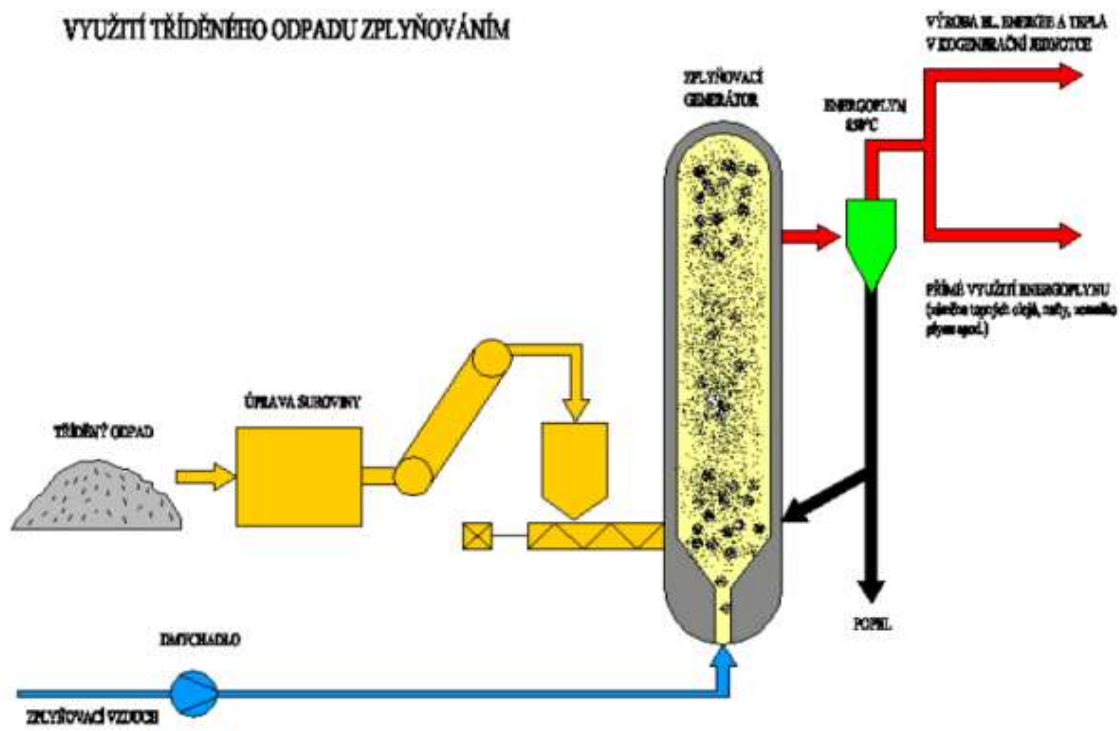
Hlavními složkami dřevního plynu je oxid uhelnatý a vodík.

A. Biomasa získaná ze zbytků

- rostlinné zbytky ze zemědělské produkce (obilná, řepková sláma),
- živočišné zbytky zemědělské výroby (chlévková mrva),
- zbytková organická hmota z potravinářského průmyslu,
- dřevo z prořezů porostů.

B. Biomasa cíleně pěstovaná

- rychle rostoucí dřeviny (topol, vrba...),
- energetické byliny (trávy, konopí, amarant...).



Obr. 4.4. Schéma výroby energoplynu z odpadů

Složení energoplynu vyrobeného z fytomasy resp. TTS (tuhá topná směs)

Palivo	Fytomasa	TTS
CO	17 %	16 %
CO ₂	16 %	15 %
H ₂	10 %	10 %
N ₂	52 %	55 %
CH ₄	5 %	4 %
dehty	1,5 - 2 g/Nm ³	8 - 10 g/Nm ³
výhřevnost	5 - 6 MJ/Nm ³	6,5 - 7 MJ/Nm ³

b) pyrolýza

Jedná se o zpracování odpadů tepelnou úpravou bez přístupu vzduchu. Také v tomto případě se jedná v podstatě o starý druh technologie, který se praktikoval v minulosti ve výrobě dřevního uhlí v milířích. Zahříváním dřevní hmoty biomasy při teplotě okolo 500°C bez přístupu vzduchu se odstraní prchavé látky a vzniká dřevní uhlí, které se následně používalo pro topení, resp. i technologické účely.

Bioplyn vyrobený pyrolýzou má vyšší výhřevnost než bioplyn vyrobený zplyňováním (vyšší obsah CO a H₂). Vzniká také méně nežádoucích škodlivých složek (NO_x, SO_x, a dioxiny). Oxidy těžkých kovů jsou vázány na pevný zbytek a nejsou obsaženy v plynu a tedy následně i ve spalínách. Pyrolýzou lze zpracovat i odpady, které se spalují jen s obtížemi.

V poslední době se z výše popsaných technologií vyvinula tzv. **rychlá pyrolýza s výrobou biooleje**.

Touto technologií je možno zpracovávat různé druhy surovin od dřevních pilin, dřevních štěpků, kůry a slámy až po speciální plodiny pěstované pro energetické účely.

Kapalné odpady

Jedná se např. o odpadní oleje ze strojírenské výroby, použité mazací oleje, produkty chemického průmyslu. Využití je možné spalováním v kotlích, rotačních pecích, v poslední době se zkoumá i možnost využití v kogeneračních jednotkách se spalovacími motory.

V podstatě je možno do této kategorie zařadit odpadní topné oleje z rafinace ropy.

V minulosti se topné oleje s ohledem na jejich nízkou cenu hojně využívaly při spalování v kotlích, průmyslových pecích (např. SM pecích) a jiných technologických zařízeních (např. jako přídavné palivo do vysokých pecí, hořáky rotačních cementářských pecí a pod).

Topný olej lze také použít pro kombinované spalování plyn – topný olej v hořácích na dvojí palivo.

Pro přípravu kapalného paliva je nutné poměrně složité palivové hospodářství.

Plynné odpady:

Většinou se jedná o topné plyny a procesní plyny, které se zužitkují spalováním v kotlích, nebo v následných technologických procesech (např. v hutních závodech jako topné plyny).

Právě hutní průmysl produkuje značné množství těchto plynných odpadů:

Jedná se o tyto topné plyny:

- vysokopecní plyn – výhřevnost cca $3,5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}_{(n)}$,
- koksárenský plyn- výhřevnost cca $16 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}_{(n)}$,
- konvertorový plyn - výhřevnost cca $7,5 \text{ až } 8 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}_{(n)}$,

Výskyt těchto plynů odpovídá výrobě a proto je nutno do sítě rozvodu těchto plynů instalovat plynojemy na vyrovnávání disproporcí mezi výrobou a spotřebou

4.2 Zařízení na využití citelného tepla

Zařízení na využití citelného tepla pevných látek

Klasickým příkladem využití citelného tepla pevných látek je hašení koksu v koksovárnách. Běžný způsob je ten, že se koks zaveze pod sprchový chladič, kde se vodou prudce zchladí. Citelné teplo koksu se tak předává vodě, která se tak v převážné míře vypaří a odpadní teplo tak odchází nevyužito do atmosféry. Je to způsob sice jednoduchý, ale nevhodný.

- V moderních koksovárnách se proto aplikuje tzv. **suché hašení koksu**.
- Další možnosti využití odpadního tepla pevných látek:
 - zařízení na využití citelného tepla vysokopecní strusky.
 - zařízení na využití citelného tepla výrobků (v tomto případě při výpalu šamotových tvárnic).
 - a další.

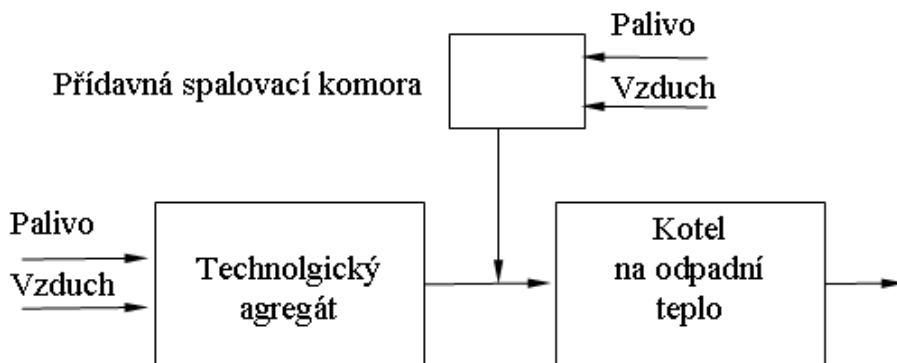
Zařízení na využití citelného tepla plynných látek

Jedná se především o spaliny z různých typů průmyslových pecí i technologických agregátů se spalovacími zařízeními (např. rotační cementářské pece, spalovny odpadů apod.)

V zásadě se toto teplo využívá dvěma způsoby:

- 1) pro ohřev spalovacího vzduchu příp. i topného plynu nebo paliva v rekuperátorech a regenerátorech (tzv. rekuperace tepla),
- 2) pro výrobu tepla k vytápění, ohřevu teplé vody (TV) příp. i pro technologické účely v dalších navazujících zařízeních za producentem DEZ (parní a horkovodní spalínové kotle, výměníky tepla apod.)

Na obr.4.5 je schéma využití citelného tepla spalin za technologickými agregáty k výrobě tepla ve spalínovém kotli.



Obr.4.5. Schéma využití odpadního tepla technologických agregátů.

Zařízení na využití citelného tepla kapalných látek

Jedná se vesměs o nízkopotenciální teplo, zejména teplo chladicí vody.

Použití chladicí vody

- 1) **k chlazení nositelů energie v energetických zařízeních – chladicí voda**
 - kondenzátorů parních turbin,
 - mezichladičů turbokompresorů,
 - chlazení válců a mezichladičů pístových kompresorů.

- 2) **k chlazení tepelně namáhaných konstrukčních částí technologických zařízení.**

Jedná se např. o chlazení vyzdívky a výfučen vysokých pecí, vyzdívky ocelářských pecí a chlazení vysoce tepelně namáhaných kovových armatur těchto pecí a některých druhů ohřívacích pecí.

Možnosti využití odpadního tepla chladicí vody.

- 1) ve výměnících tepla voda – voda,
- 2) ve výměnících tepla voda – vzduch.
- 3) pomocí tepelných čerpadel.

Ad 1) Výměníky tepla voda – voda.

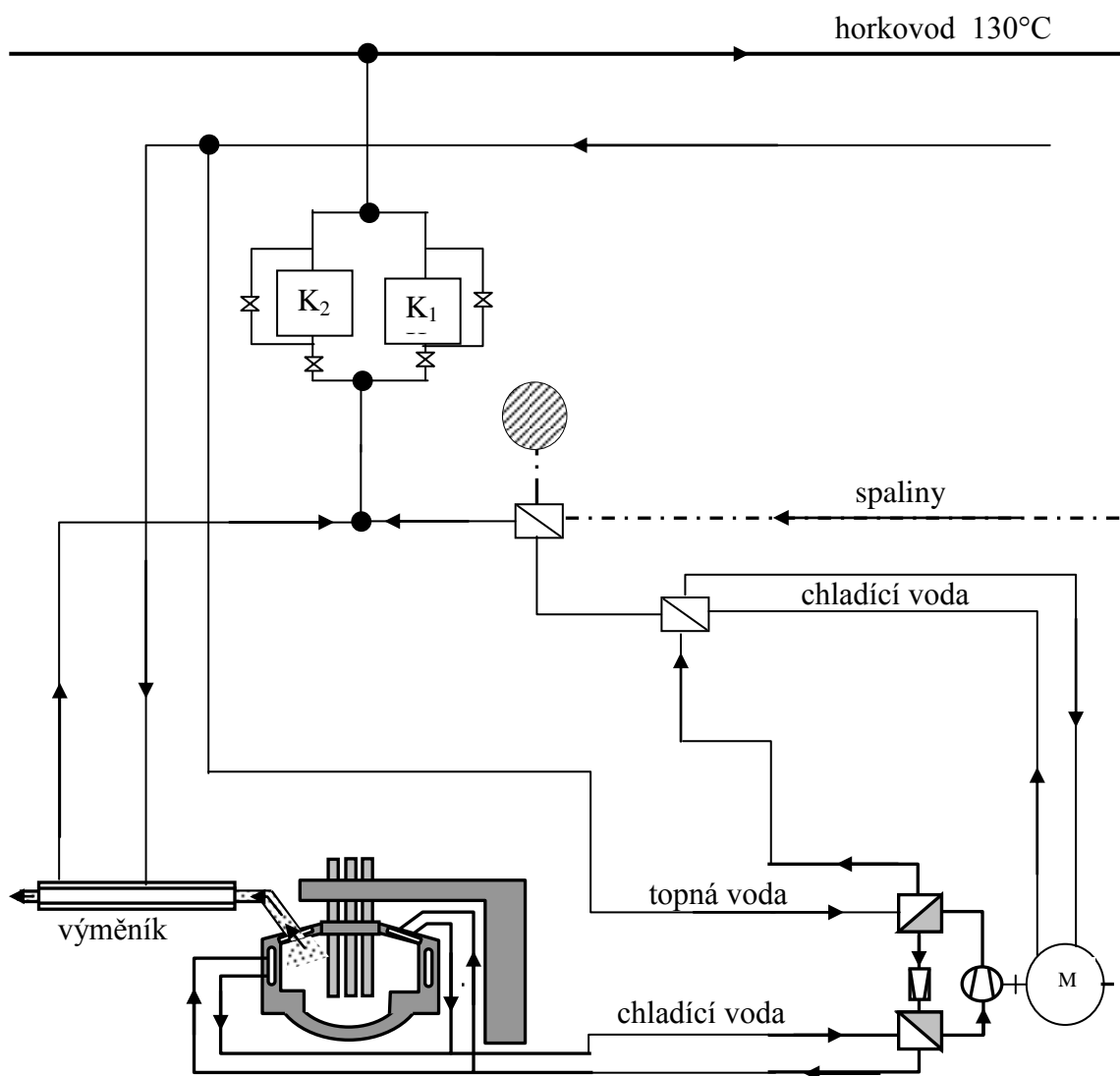
S ohledem na poměrně nízké teploty oteplené chladicí vody je teplota vody v sekundární části výměníku tepla omezena tím, že může být max. o 5 až 10°C než teplota odpadní vody vstupující na primární straně do výměníku tepla. I tak vychází rozměry výměníku značné. Tento způsob je možno uplatnit jen pro ohřev TV, příp. jako první stupeň ohřevu napájecí vody pro parní kotle (voda se ohřívá na teplotu 105 až 150°C).

Ad 2) Výměníky tepla voda – vzduch.

Možnosti využití pro tento účel jsou rovněž omezené. Hlavně se jedná o větrací a klimatizační zařízení, příp. externí částečný ohřev spalovacího vzduchu spalovacích zařízení (kotlů, průmyslových pecí apod.).

Ad 3) Využití citelného tepla chladicí vody pomocí tepelných čerpadel.

tímto způsobem je možno dosáhnout vyšších teplot v sekundárním okruhu a využít tak odpadní teplo pro systémy vytápění, ohřev TUV, větrání a klimatizaci.



M – spalovací motor (pohon tepelného čerpadla)
 K 1, K 2 – špičkové horkovodní kotle

Obr.4.6. Schéma návrhu projektu využití tepla chladící vody elektrické obloukové pece

Na obr.4.6 je schéma projektu využití odpadního tepla chladící vody elektrické obloukové pece ocelárny prostřednictvím tepelného čerpadla a zapojení do systému zásobování teplem závodu.

Efektivnost nasazení tepelných čerpadel závisí na konkrétních podmínkách a musí se vyhodnotit v každém jednotlivém případě.

4.3 Využití potenciální energie plyných látek

Potenciální energie vysokopecního plynu

Klasickým příkladem nevyužívané potenciální energie (především v našich podmínkách) je výroba surového železa ve vysokých pecích. K redukci rudy ve vysokých pecích je zapotřebí koks a dmychaný vzduch. Dmychaný vzduch na vstupu do vysoké pece má tlak řádově 0,25 až 0,3 MPa a teplota dmychaného větru je 1000 až 1200°C. Vysoký tlak je nutný jednak z důvodů překonání odporů vsázky ve vysoké peci, jednak se dosahuje snížení rychlosti oproti nižším tlakům a zvýšení intenzity redukce. Dochází také k dokonalejšímu využití energie z koksu a snížení měrné spotřeby koksu. Na sazebně vysoké pece je však při tomto druhu provozu ještě přebytečný přetlak 0,1 až 0,15 MPa, který se před napojením na plynovodní síť podniku musí redukovat na nízký tlak – přetlak 5 až 10 kPa. To se děje v redukční stanici škrcením. Škrcením se tak tato odpadní potenciální energie plynu mění bez užitku na tepelnou energii.

Využití tlakové energie zemního plynu v plynovodech.

Značné množství nevyužití energie odchází rovněž škrcením při redukcí tlaku z dálkových plynovodů z velmi vysokého tlaku na vysoký tlak (nad 4 MPa), resp. z vysokého tlaku na střední tlak (nad 0,3 MPa). Dosud se redukce prováděla pouze škrcením v redukčních stanicích plynu. V poslední době se také zde zavádí redukce tlaku v expanzních turbínách. Jedná se často o velká množství redukovaného plynu a tak je energetický přínos je značný.

Protože se při expanzi snižuje teplota plynu, v případě značného snížení tlaku i pod 0°C, by mohlo docházet k namrzání průtočných částí turbíny. Proto se v těchto případech plyn před expanzí přehřívá ve výměníku tepla parou nebo horkou vodou.

Paralelně k expanzní turbíně musí být vždy ještě redukční stanice, aby bylo možno provádět redukci i při odstavení turbíny.

Využití tlakového spádu vodní páry v parních turbínách malých výkonů

Klasické parní turbíny pracují převážně v parních elektrárnách a teplárnách velkých a středních výkonů. V poslední době se začínají uplatňovat i pro malé výkony a to především při využívání tepelného spádu v parních teplárnách, kde se dosud ke snížení tlakového spádu do systému rozvodu tepla používaly redukční stanice.

5 Prostředky hospodaření s energií

Důležitost hospodařit s energiemi vyplývá z následujících důvodů:

- 1) zdroje energií nejsou nevyčerpatelné, ceny stále rostou,
- 2) dovoz energií a paliv ze zahraničí zatěžuje platební bilanci státu, kterou je nutno pokrýt vývozem výrobků, příp. služeb,
- 3) lepším využitím energií se zlepšuje ekonomika státu, jednotlivých podnikatelů i občanů.
- 4) vyšší účinnost využití fosilních paliv, resp. odpadních zdrojů snižuje ekologickou zátěž životního prostředí.

K posouzení, jak se využívá energie, slouží tyto prostředky:

1. ekonomické nástroje
systém řízení a hodnocení ekonomiky provozu,
sledování výrobních nákladů,
studie ekonomické efektivity výroby,

2. rozbohem energetického hospodářství,
celkový rozbor využívání energií v organizaci, tzv. energetický audit,
podrobný rozbor: energetické charakteristiky a
energetické bilance.

5.1 Energetický audit

Energetický audit slouží ke zkoumání hospodaření s energiemi v organizaci a je zaměřený na racionalizaci energetického hospodářství. Audit (z latinského slova audire = slyšet, naslouchat) patří do skupiny šetření, zkoumání, kontroly a revize.

Audit zpravidla provádí nezávislá fyzická nebo právnická osoba k tomuto účelu stanovená, tzv. **auditor**. Energetický audit má být prováděn v souladu s energetickou politikou státu.

V současné době je instituce auditu právně podložena v zákoně o hospodaření energií [11] (par. 9 a 10).

Auditor musí splňovat určité požadavky, především odborné. Musí svou funkci vykonávat nezávisle podle schválených postupů v souladu se zájmy státu i vlastníka věci. Požaduje se proto autorizace této činnosti státními orgány.

Energetický audit může být stanoven v určitých případech jako povinný (např. při žádostech o státní dotaci u zpracovaných projektů), jinak si může vyžádat energetický audit sama organizace z vlastního popudu.

Dodržování pravidel auditu a auditorů podle zákona sledovat a kontrolovat Česká energetická agentura (ČEA) jako orgán Ministerstva průmyslu a obchodu.

Energetický audit je specifická činnost, která slouží k získání celkového obrazu o hospodaření s energií v dané organizaci, o její účelnosti a efektivnosti. Závěrem mají být stanoveny prostředky a opatření, kterými má být dosaženo racionálního využívání energie a docíleny úspory v technologických procesech.

Zpráva o energetickém auditu má obsahovat:

- identifikace zadavatele auditu a energetického auditora,
- rozsah energetického auditu, tj. objekt, zařízení, stavba, projekt a místo umístění,
- účel zpracování auditu a požadavky zadavatele,
- popis energetického hospodářství objektu,
- vstupní údaje, spotřeby jednotlivých druhů energie, způsoby měření spotřeby, dokumentace,
- analytická část – výpočty bilancí, stupeň hospodaření, využití sekundárních zdrojů energie a obnovitelných zdrojů,
- ocenění možných energetických úspor,
- návrhy na řešení, včetně ekonomického vyhodnocení navržených opatření, příp. výběr optimálních variant,
- závěrečné hodnocení energetického auditora.

5.2 Energetické charakteristiky

Vyjadřují závislost spotřeby energie na výrobě (produkci), event. i závislost na jiné veličině, např. pro vytápění závislost spotřeby tepla k vytápění na venkovní teplotě pro daný objekt, příp. provoz.

Teoreticky platí, že spotřeba energie vzrůstá od nulové produkce přímo úměrně s výrobou, či výkonem, tedy matematicky

$$E = a \cdot P \quad (\text{kJ, kWh}) \quad [5.1]$$

Zde je a konstanta úměrnosti a představuje měrnou spotřebu na jednotku výroby,

P je produkce (výroba) v jednotkách výroby, např. v tunách, kusech, Kč apod.

Za účelem posouzení efektivnosti vynaložení dané energie na výrobu se zavádí pojem **měrná spotřeba energie**, což je spotřeba energie na jednotku výroby. Matematický výraz je

$$e = \frac{E}{P} = \frac{a \cdot P}{P} = a \quad (\text{kJ, nebo kWh/jednotka}) \quad [5.2]$$

V teoretickém případě by měla být měrná spotřeba nezávislá na výrobě, tedy konstantní a pro výše uvedený případ = hodnotě a .

Skutečnost je však poněkud jiná. I při nulové výrobě při provozu zařízení existuje určitá spotřeba energie, říkáme jí **spotřeba energie naprázdno** a budeme ji označovat jako E_0 . Např. u periodických ohřívacích pecí při vykládání a nakládání ohřívaného materiálu je nutno teplotu v peci udržovat na teplotě a tím se spotřebovává energie, i když se materiál neohřívá. Obdobně je to u mechanismů k překonávání pasivních odporů, které jsou nezávislé na objemu výroby.

Kromě toho nemusí ve skutečnosti spotřeba energie se zvyšováním výroby narůstat přímo úměrně s výrobou jako v teoretickém případě. U některých zařízení může narůstat rychleji, u některých pomaleji. Skutečný průběh energetické charakteristiky bude tedy možno vyjádřit pomocí matematické rovnice funkční závislosti spotřeby energie na výrobě

$$E = E_0 + a \cdot P^m \quad (\text{GJ}) \quad [5.3]$$

Podle velikosti součinitele a a exponentu m mohou nastat tyto případy:

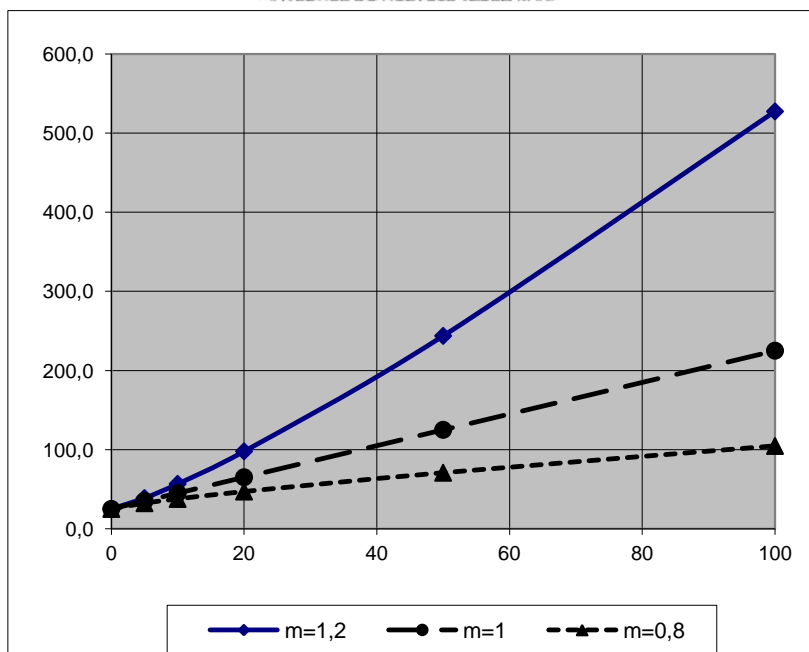
1) součinitel $a > 0$, (nejčastější případy), spotřeba energie s rostoucí výrobou roste z hodnoty E_0 .

2) součinitel $a < 0$, (jen výjimečné případy). Spotřeba energie s rostoucí výrobou klesá. To se vyskytuje na př. U axiálních turbokompresorů, kde je to způsobeno rychlým poklesem kompresního poměru s rostoucím průtokem plynu nebo u uhelných mlýnů, kde je to ovlivněno hrubším mletím paliva.

Pro případ 1. mohou nastat tyto závislosti:

- a) Exponent $m = 1$. Spotřeba energie roste lineárně.
- b) Exponent $m > 1$. Spotřeba energie roste rychleji než lineárně.
- c) Exponent $m < 1$. Spotřeba energie roste pomaleji než lineárně.

Grafické znázornění výše uvedených funkčních závislostí pro případy podle 1. a), b), a c) jsou v diagramu na obr. 5.1.

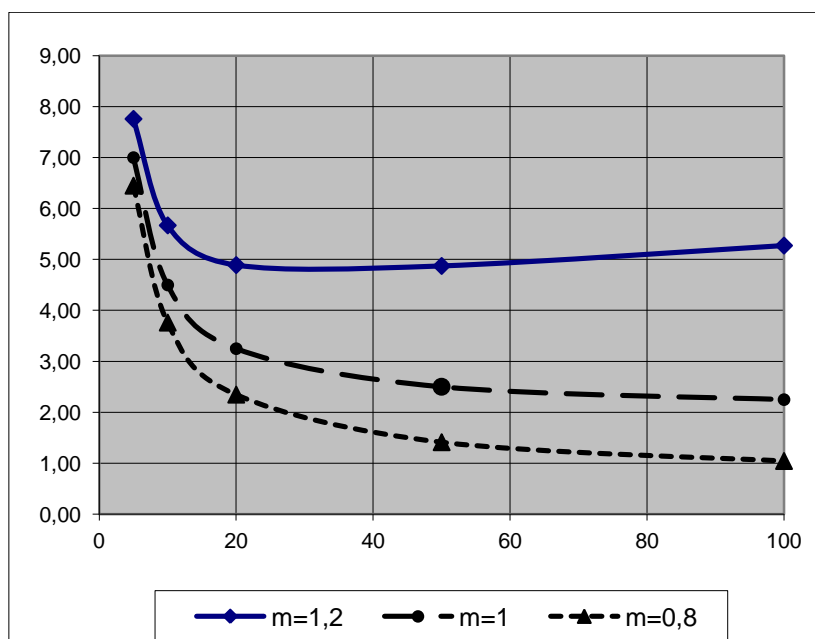


Obr. 5.1. Typy energetických charakteristik

Absolutní hodnota spotřeby energie nevypovídá dostatečně o úrovni využití energie, proto je důležité stanovit závislost měrné spotřeby

$$e = \frac{E}{P} = \frac{E_0}{P} + a \cdot P^{m-1} \quad (\text{GJ./jednotku výroby}) \quad [5.4]$$

V následujícím grafu (Obr. 5.2) je uveden průběh měrné spotřeby pro případy a), b), a c)



Obr. 5.2. Průběhy měrných spotřeb energie

Je zřejmé, že pro případy podle charakteristik typu a) a c) je nejnižší měrná spotřeba při maximálním, tj. jmenovitém výkonu zařízení. U případu podle b) existuje optimální výkon (produkce), při kterém bude měrná spotřeba nejnižší a tudíž provoz zařízení nejehospodárnější. To je velká většina případů.

Zjišťování energetických charakteristik.

- 1) přímým měřením agregátu a to tak, že při několika různých výkonech změříme spotřebu energie (např. u kotlů s plynovým topením je velmi jednoduché). Na straně spotřeby měříme průtok plynu průtokoměrem, na straně výroby množství dodaného tepla měřičem tepla).
- 2) ze statistických údajů za určité období.

Provádí se tak, že statistické údaje spotřeby energie a výroby za určité období (např. za jednotlivé měsíce v roce podle účetní dokumentace) seřadíme do souboru veličin nezávisle proměnných P a závisle proměnných E . Tím obdržíme ve funkční závislosti $E = f(P)$ řadu dvojic hodnot, které graficky představují množinu bodů. Těmito body je nutno proložit tzv. náhradní (regresní) funkci, která je vyjádřena matematicky určitou funkční závislostí. Řešení je možno provést buď:

a) přibližnou metodou,

kdy se celá oblast bodů rozdělí do dvou skupin bodů podle velikosti P (v případě, že zvolíme lineární tvar charakteristiky, nebo tvar podle polynomu 2. stupně, tj. $E = E_0 + a \cdot P^2$) nebo do tří skupin bodů, (v případě že zvolíme tvar charakteristiky mocninový $E = E_0 + a \cdot P^m$, nebo polynom 3. stupně). V těchto skupinách určíme střední hodnoty E_i a P_i v příslušných skupinách a dosadíme do obecného tvaru zvolené charakteristiky. Tím dostaneme příslušný počet rovnic pro výpočet neznámých E_0 , a , resp. m pro obecný tvar rovnice charakteristiky.

b) pomocí vyrovnávacího počtu matematické statistiky.

Tato metoda je založena na metodě minimální hodnoty součtu čtverců odchylek skutečných hodnot E a P od hodnot průměrných. Ruční výpočet je složitý a lze jej použít jen při předpokládaném lineárním tvaru energetické charakteristiky.

Rychle a pohodlně lze náhradní funkci z tohoto souboru hodnot získat při zpracování výsledků v programu EXCEL, který je dnes součástí běžného souboru programů stolních počítačů. Bohužel potřebný mocninový tvar funkce se zde nevyskytuje, proto je třeba použít řešení pomocí polynomu minimálně 3. řádu. Je také možno použít speciálních programů pro výpočet regresních funkcí. Součástí programu v Excelu je také možnost výpočtu tzv. korelačního koeficientu, který udává, jak zvolený tvar vypočtené funkce přesně odpovídá rozložení souboru bodů. Je-li např. korelační koeficient $r = 1$, pak body souboru leží přesně na vypočtené charakteristice. Je-li $r < 1$, body jsou s větší či menší přesností rozloženy kolem vypočtené funkce. Pro přijatelnou korelaci je přípustná hodnota $r > 0,7$. V tomto programu je také možno zvolit jiný tvar regresní funkce - logaritmický, mocninový, polynom vyššího jak 3. řádu až do 6. řádu a podle korelačního koeficientu (čím blíže hodnota r je jedné) volit funkci, která nejlépe vyjadřuje rozložení bodů.

Obdobným způsobem, je možno pro stanovení potřeby tepla k vytápění stanovit energetickou charakteristiku objektů v závislosti na venkovní teplotě. V tomto případě lze s dostatečnou přesností zvolit lineární závislost potřeby tepla na venkovní teplotě ve tvaru

$$E = E_0 - a \cdot t_e \quad [5.5]$$

kde t_e je aktuální venkovní teplota.

Využití energetických charakteristik:

Energetické charakteristiky je možno využít pro tyto účely:

- 1) K plánování potřeby energie pro jednotlivé agregáty, skupiny agregátů, resp. výrobní úseky (provozy), u spotřeby tepla k vytápění pro určení potřeby tepla pro objekty či provozy.
- 2) Ke stanovení optimálního (hospodárného) výkonu, resp. výroby agregátů (tj. s minimální měrnou spotřebou energie) .
- 3) K porovnávání hospodárnosti provozu agregátů, skupiny zařízení či provozů, či hospodárnosti vytápění objektů.
- 4) K optimálnímu rozdělení celkového potřebného výkonu (resp. produkce) souběžně pracující skupiny agregátů do jednoho systému (např. kompresory, turbogenerátory, elektrické pece, kotle příp. i ohřívací pece apod.), tzv. dispečerské řízení výroby.

V případě, že podle průběhu měrné spotřeby existuje minimální měrná spotřeba energie při výkonu menším než jmenovitém (maximálním) - typ charakteristiky b (exponent $m > 1$), stanoví se optimální výkon matematicky tak, že provedeme 1. derivaci příslušné funkční závislosti a a tuto položíme rovnu nule. Ze získané rovnice pak stanovíme neznámou hodnotu P_{opt} , tedy:

$$\frac{de}{dP} = 0$$

Pro charakteristiku ve tvaru $E = E_0 + a \cdot P^m$ bude

$$-\frac{E_0}{P^2} + a \cdot (m-1) \cdot P^{m-2} = 0$$

z čehož
$$P_{opt} = \left(\frac{E_0}{a \cdot (m-1)} \right)^{\frac{1}{m}} \quad [5.5]$$

Z rovnice je zřejmé, že minimální měrná spotřeba existuje jen pro případy, kdy $m > 1$. Pro $m = 1$ a $m < 1$ je měrná spotřeba nejnižší při P_{max} .

Na základě zjištěného průběhu měrné spotřeby energie je možno pro další období stanovit technicky zdůvodněnou normu spotřeby energie (TZN) a v následujícím období porovnávat, do jaké míry se skutečně dosažené hodnoty spotřeby energie odchylojí od této TZN a provést následně rozbor příčin, v případě že došlo ke značným odchylkám. Tím se poskytuje příslušným technicko-hospodářským pracovníkům podklad k rozboru výrobních vlivů na spotřebu energie.

Při stanovení dělení celkového výkonu skupiny souběžně pracujících agregátů na jednotlivé agregáty z hlediska minimální spotřeby energie na výrobu se postupuje tak, že se stanoví celková produkce jako součet produkcí jednotlivých agregátů, tedy

$$P_c = \sum_{i=1}^{i=n} P_i$$

a celková spotřeba energie

$$E_c = \sum_{i=1}^{i=n} E_i$$

Za E_i dosadíme rovnice charakteristik jednotlivých agregátů. Celková spotřeba energie musí být při všech možných kombinacích minimální.

Při větším počtu agregátů než 2 je výpočet složitý. Je však možno stanovit rozdělení výkonů z tohoto hlediska pro souběžně pracující 2 agregáty. V tomto případě obdržíme pro celkovou spotřebu energie rovnici:

$$E_c = E_{01} + a_1 \cdot P_1^{m_1} + E_{02} + a_2 \cdot P_2^{m_2}$$

Vypočteme P_2

$$P_2 = P_c - P_1$$

a dosadíme do rovnice pro celkovou spotřebu energie

$$E_c = E_{01} + E_{02} + a_1 P_1^{m_1} + a_2 (P_c - P_1)^{m_2}$$

Tím jsme obdrželi rovnici pro celkovou spotřebu při určité celkové produkci na výkonu agregátu č. 1 P_1 jako proměnnou. Provedeme-li opět 1. derivaci této funkce a položíme rovnu nule, vyjde podmínka, že

$$m_1 \cdot a_1 \cdot P_1 = m_2 \cdot a_2 \cdot P_2$$

a obdobně pro provoz více agregátů musí platit, že

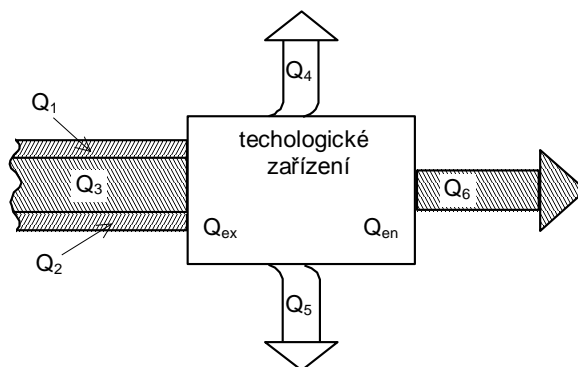
$$m_i \cdot a_i \cdot P_i = \text{konst.}$$

Říkáme také, že tzv. dílčí měrné spotřeby musí být při provozu více agregátů stejné. Tuto podmínku je pak možno v konkrétních případech řešit matematicky na počítači nebo graficky.

5.3 Energetické bilance.

Příčiny vyšší spotřeby energie než bylo plánováno podle TZN je možno provést na jednotlivých agregátech na základě podrobného rozboru využití energie, tedy metodou tzv. **tepelné nebo energetické bilance**. Tato metoda vychází ze zákona o zachování energie a stanovujeme v ní jednotlivé položky energií na vstupu do systému a jednotlivé položky energie na výstupu ze systému.

Schéma příkladu bilance (tzv. Sankeyův diagram) pro ohřívací pece je na obr.5.3.



Obr. 5.3. Sankeyův diagram energetické bilance

V tomto případě je nutno vždy správně ohraničit oblast, ve které budeme bilanci zjišťovat. V tomto schématu v příkladu tepelné bilance ohřívací pece bez rekuperátoru jsou tyto položky energie:

Vstup energie:	Q_1	citelné teplo spalovacího vzduchu,
	Q_2	citelné teplo paliva,
	Q_3	chemické teplo paliva,
	Q_{ex}	exotermické reakce při procesu, (např. opal materiálu)

Vstup energie celkem: $\Sigma(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{ex})$ [5.6]

Výstup energie:

- Q_4 ztráty stěnami do okolí, resp. chlazením,
- Q_5 užitečné teplo nutné k technologickému procesu (např. teplo k ohřevu materiálu z teploty vstupní na teplotu výstupní z pece),
- Q_6 ztráta tepla chemickým (nespálené zbytky paliva) a citelným teplem spalin,
- Q_{end} endotermické reakce při provozu,
- Q_{bil} bilanční rozdíl.

Výstup energie celkem: $\Sigma(Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{end} + Q_{bil})$

Bilanční rozdíl je dopočet do bilance tak, aby vstup energie se rovnal výstupu energie.

Z hlediska zákona o zachování energie musí samozřejmě platit

$$\sum_{i=1}^{i=n} Q_i = 0$$

Celková účinnost takového zařízení je definována jako poměr užitečného tepla Q_5 k přivedenému teple, tedy:

$$\eta_c = \frac{Q_5}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{ex}} \quad (-) \quad [5.7]$$

Účinnost zmíněné pece lze pak zlepšit snížením některých dílčích ztrát jako např.:

- dokonalejší tepelnou izolací a udržováním dobrého stavu izolace stěn,
- zpětným využitím citelného tepla spalin pro ohřev spalovacího vzduchu nebo i plynu v rekuperátoru nebo regenerátoru,
- regulací pece, zejména řízením spalovacího procesu podle optimálního přebytku vzduchu, např. podle obsahu kyslíku ve spalinách z pece.

Obdobným způsobem je možno provést rozbor jednotlivých ztrát jiných tepelných agregátů. Uvedeme příklad vyhodnocení účinnosti parního kotle metodou nepřímou, která se používá zejména pro kotle otápěné pevnými palivy, kde nelze objektivně měřit spotřebu paliva, které je dodáno do kotle v průběhu zkoušky.

V tomto případě je stanovena účinnost jako poměr tepla, které je předáno páře po odečtení všech ztrát v kotli od tepla dodaného do kotle. Vycházíme z obecné definice účinnosti kotle

$$\eta_k = \frac{m_B \cdot Q_i - \sum Q_z}{m_B \cdot Q_i} = 1 - \frac{\sum Q_z}{m_B \cdot Q_i} = 1 - \sum_{i=1}^{i=n} \zeta_i \quad (-) \quad [5.8]$$

kde ζ_i jsou tzv. poměrné ztráty, vztažené na 1 kg nebo m^3 dodaného paliva do kotle.

Tyto ztráty rozdělujeme do tří skupin:

- 1) Tepelná ztráta nedokonalým vyhořením paliva hořlavinou ve spalinách, hořlavinou v tuhých zbytcích,
- 2) Tepelná ztráta fyzickým teplem spalin (komínová ztráta), tuhých zbytků,

3) Teplo předané sdílením povrchu kotle do okolí.

Pod pojmem tuhé zbytky se rozumí popel, struska a popílek. Nedokonalé vyhoření paliva se projeví obsahem nespálených zbytků ve spalínách, v pevných spalínách je to uhlík, v plynných spalínách je to zpravidla CO, respektive nespálené uhlovodíky.

Podrobný výpočet jednotlivých složek se provádí podle ČSN 07 0302 Přejímací zkoušky parních kotlů.

6 Ekonomika v energetice

6.1 Výrobní náklady a cena energie

Při hodnocení ekonomické efektivity výroby energie sledujeme tzv. **výrobní náklady**, které představují souhrn všech finančních prostředků, vynaložených na výrobu.

Úplné výrobní náklady, tj. náklady v Kč.rok⁻¹ pozůstávají ze složky přímo souvisící s výrobou a nepřímé náklady, resp. náklady na finanční operace (splátky úvěru, leasing, úroky z úvěru apod.)

Úplné výrobní náklady dělíme na :

1. Přímé výrobní náklady:

- Náklady na nákup paliv a energií.
- Náklady na ostatní materiál. (např. mazací hmoty, chemikálie pro úpravu napájecí vody apod.)
- Technické služby (např. platby za znečišťování ovzduší, odvoz a likvidace odpadů, poplatky za odpadní vody apod.)
- mzdové náklady včetně sociálního zabezpečení, v tom:
 - hrubá mzda zaměstnanců,
 - sociální pojištění zaměstnanců jako důchodové zabezpečení, příspěvek na nezaměstnanost, nemocenské pojištění,
 - zdravotní pojištění,
 - další sociální náklady (např. podle kolektivní smlouvy příspěvky do fondu pracujících, příspěvek na stravování zaměstnanců apod.),
- náklady na běžnou údržbu zařízení
- náklady na střední opravy nebo generální opravu
- výrobní režie.

2. Nepřímé výrobní náklady:

- Správní režie.
- Nepřímé náklady na prodej energie, resp. distribuci.
- Přímé náklady na prodej, resp. distribuci.
- Odpisy technologického a stavebního zařízení, resp. nehmotných prostředků (např. software)
- Úroky z půjček.
- Leasing.

Obecně je možno úplné výrobní náklady určit jako součet nákladů

- které nejsou závislé na objemu výroby energie - konstantní náklady - N_k ,
- které přímo souvisí s objemem výroby - proměnlivé náklady - N_{pr} .

Úplné výrobní náklady pak budou

$$N_v = N_k + N_{pr} \quad (\text{Kč.rok}^{-1}) \quad [6.1]$$

Ad 1) **Konstantní náklady** můžeme dále vyjádřit v závislosti na jmenovitém (instalovaném) výkonu zařízení dle rovnice

$$N_k = a \cdot P_{jm} ,$$

kde a jsou měrné konstantní náklady $\text{Kč.kW}_i^{-1}.\text{rok}^{-1}$. (kW_i je kW instalovaného výkonu).
V této složce jsou např. mzdové náklady, odpisy, režie apod.

Struktura konstantních nákladů

mzdové náklady včetně sociálního zabezpečení, v tom:

- hrubá mzda zaměstnanců,
- sociální pojištění zaměstnanců jako důchodové zabezpečení, příspěvek na nezaměstnanost, nemocenské pojištění,
- zdravotní pojištění,
- další sociální náklady (např. podle kolektivní smlouvy příspěvky do fondu pracujících, příspěvek na stravování zaměstnanců apod.),
- náklady na běžnou údržbu zařízení
- náklady na střední opravy nebo generální opravu
- výrobní režie.
- správní režie.
- nepřímé náklady na prodej energie, resp. distribuci.
- přímé náklady na prodej, resp. distribuci.
- odpisy technologického, stavebního zařízení, resp. nehmotných prostředků (např. software)
- úroky z půjček.
- leasing.

Ad 2) **Proměnlivé náklady** jsou závislé na objemu výroby E a můžeme je vyjádřit vztahem:

$$N_{pr} = b \cdot E$$

kde b jsou měrné proměnlivé náklady v Kč.GJ^{-1} nebo Kč.kWh^{-1} . V této položce jsou např. náklady za paliva a vstupní energie, za další materiály, náklady na běžnou údržbu apod.

Struktura proměnlivých nákladů

- náklady na nákup paliv a energií.
- náklady na ostatní materiál. (např. mazací hmoty, chemikálie pro úpravu napájecí vody apod.)
- technické služby (např. platby za znečišťování ovzduší, odvoz a likvidace odpadů, poplatky za odpadní vody apod.)

Pro úplné výrobní náklady pak bude platit vztah

$$N_v = a \cdot P_{jm} + b \cdot E, \quad (\text{Kč.rok}^{-1}) \quad [6.2]$$

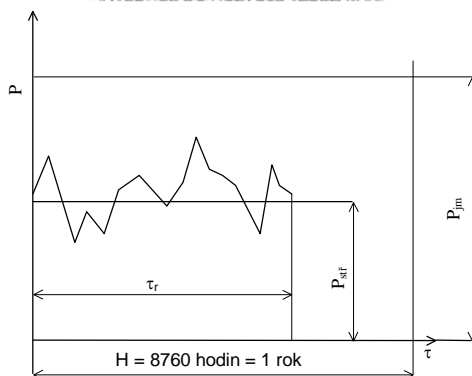
Z nich je možno opět obdobně stanovit měrné výrobní náklady na jednotku vyrobené energie.

$$n_v = \frac{N_v}{E} = \frac{a \cdot P_{jm}}{E} + b \quad (\text{Kč.GJ}^{-1} \text{ nebo } \text{Kč.kWh}^{-1}) \quad [6.3]$$

Z měrných nákladů se následně odvozuje cena energie u volných cen energie (připočtení ziskové přírážky, DPH apod.),

Z rovnice pro měrné výrobní náklady n_v vyplývá, že tyto měrné náklady budou tím nižší, čím bude při určitém instalovaném výkonu zařízení využití tohoto výkonu v průběhu roku.

Do rovnice pro měrné náklady je možno zavést další pojmy podle obrázku průběhu okamžitého výkonu zařízení, obr.6.1.



Obr. 6.1. Průběh výkonu (produkce) na čase

$P_{stř}$ je průměrný výkon zařízení $P_{stř} = \frac{E}{\tau_r}$

τ_r je doba provozu zařízení hod, rok,

Poměr $\frac{P_{stř}}{P_m} = z$ se označuje jako využití instalovaného výkonu, resp. zatěžovatel.

Po dosazení těchto formulací do rovnice pro měrné náklady obdržíme

$$n_v = \frac{a}{\tau_r \cdot z} + b$$

Označíme-li dále dobu provozu $\tau_r = 8760 \cdot \rho = H \cdot \rho$, kde ρ je poměrná doba provozu hod.rok⁻¹, bude

$$n_v = \frac{a}{z \cdot H \cdot \rho} + b$$

Měrné výrobní náklady podstatně ovlivňuje využití instalovaného výkonu zařízení a poměrná doba provozu, což je možno také charakterizovat součinem $z \cdot H \cdot \rho$ jako hodinové využití instalovaného výkonu.

U konstantních nákladů jsou položky, které jsou určeny zákonem:

Jsou to:

- 1) sociální pojištění zaměstnanců jako důchodové zabezpečení, příspěvek na nezaměstnanost, nemocenské pojištění,
- 2) zdravotní pojištění,
- 3) odpisy zařízení

V současné době existují tyto platby sociálního a zdravotního pojištění:

Zaměstnavatel:

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| a) zdravotní pojištění | 9 % z hrubé mzdy zaměstnance |
| b) sociální pojištění | 25 % z hrubé mzdy zaměstnance |
| z toho | nemocenské pojištění 2,3%, |
| | důchodové pojištění 21,5 %, |
| | příspěvek na nezaměstnanost 1,2% |

Zaměstnanec:

- | | |
|---|--------------------------------|
| a) zdravotní pojištění | 4,5 % z hrubé mzdy zaměstnance |
| b) sociální pojištění – důchodové pojištění | 6,5% |

Odpisy zařízení jsou dány zákonem o dani z příjmu fyzických a právnických osob.:

Odpisy zařízení:

Tabulka odpisových skupin a sazby odpisů rovnoměrného odpisování:

Zákon č. 22/1998Sb.

odpisová skupina	doba	roční odpisová sazba	
		v 1.roce	v dalších letech
1.	3 roky	20,00%	40,00%
1a.	4 roky	14,20%	28,60%
2.	5 let	11,00%	22,25%
3.	10 let	5,50%	10,50%
4.	20 let	2,15%	5,15%
5.	30 let	1,40%	3,40%
6.	50 let	1,02%	2,02%

V zákoně jsou v příloze uvedeny stroje a zařízení, které se do jednotlivých skupin zařazují.

6.2 Cena energie a tarifní systémy

Z měrných výrobních nákladů je možno odvodit cenu energie, která zahrnuje také přiměřený zisk dodavatele energie. Do roku 2000 existovaly tyto **kategorie cen energií**:

- 5) Regulovaná cena jako direktivně stanovená cena, kterou na návrh ministerstva průmyslu a obchodu schvalovalo ministerstvo financí. Tato cena byla stanovena pro dodávky elektrické energie z elektrizační soustavy, a pro dodávky zemního plynu. Pro dodávky tepla pro obyvatelstvo platily věcně usměrňované ceny.
- 6) Smluvní cena, která se určovala hospodářskou smlouvou mezi dodavatelem energie a odběratelem. Tato cena platila v ostatních případech.

Na základě těchto principů byly stanoveny **tarifní systémy a ceníky**, které byly rozlišeny podle druhů odběratelů s ohledem na výši odebírané energie. V těchto systémech byla zohledněna jednak konstantní složka měrných nákladů paušální platbou a cena za práci, tj. podle množství odebírané energie.

Spotřeba energie se měří u odběratele. Do nákladů jsou proto zahrnuty nejen náklady na přímou výrobu, ale také náklady na dopravu a rozvod energií. U rozvodu tedy musí být do ceny zahrnuty také ztráty při dopravě, které např. u rozvodu elektrické energie závisí nejen na kapacitě vodičů, ale i na účinnosti, resp. jalovém výkonu, odebíraném odběratelem ze sítě. Dále, jak bylo uvedeno u výrobních nákladů, cena energie musí také zohledňovat odpisy pořizovacích nákladů na výrobní zařízení a rozvod energie bez ohledu na velikost odběru energie. Ekonomickými nástroji je nutno působit na odběratele tak, aby se spotřeba nekumulovala v určitém období, protože se zvyšuje nutný pohotovostní výkon a jsou kladeny vyšší nároky na instalovaný výkon výrobních agregátů, což má opět vliv na velikost odpisů. Aby byly proto tyto vlivy zohledněny, používaly se dříve v podstatě tři druhy cenových tarifů pro dodávky energií.

- 1) **jednosložková sazba** - je určena platbou za jednotku odebrané energie, a paušál, který v podstatě zahrnuje náklady na pořízení a údržbu měřícího zařízení u odběratele. Tato sazba se uplatňuje vesměs u maloodběratelů.
- 2) **dvousložková sazba** - platí se tzv. sazba za výkon, která v podstatě pokrývá dříve zmíněnou konstantní složku měrných výrobních nákladů. Sjednává se podle tzv. technického maxima, které určuje maximální výkon, který odběratel nesmí překročit. Druhou složkou ceny je tzv. sazba za práci, resp. za dodanou energii a je stanovena jednoznačně jako cena za jednotku odebrané energie. Dvousložková sazba se uplatňuje v zásadě u středních resp. velkooodběratelů energie.
- 3) **třísložková sazba** je uplatňována u dodávek elektrické energie při odběru jalové energie odpovídající hodnotě $\cos\phi < 0,95$. Cena elektrické energie je totiž kalkulována pro průměrnou hodnotu účinníku mezi 0,95 až 1,0. Jak jsme uvedli u rozvodu elektrické energie, ztráty v rozvodu rostou se čtvercem účinníku, tyto ztráty tedy musí zaplatit odběratel v této sazbě. Třetí složku v podstatě tvoří pokuta za zhoršení účinníku.

Ceny za odběr elektrické energie, plynu a tepla se postupně od 1.1.2001 stanovují ve smyslu zákona č 458/2000 (Energetický zákon) s cílem postupně zavést v ČR trh s elektřinou, plynem a teplem. V tomto smyslu byly zavedeny dvě kategorie odběratelů elektrické energie a plynu:

- oprávněných spotřebitelů, kteří si mohou volit, od kterého dodavatele budou danou energii odebírat,
- chráněných spotřebitelů, především malí odběratelé, kteří musí být cenově chráněni, aby dodavatelé nezvyšovali pro ně ceny nad oprávněné ceny tak, aby vyrovnali diference konkurenčního prostředí.

Od r. 2001 byli do kategorie oprávněných zákazníků v oblasti elektrické energie zařazováni postupně odběratelé podle výše instalovaného elektrického výkonu. Od 1.1.2006 jsou oprávněnými odběrateli všichni koneční zákazníci.

Obdobně je řešena kategorizace odběratelů plynu.

V současné době je situace v cenových tarifech značně složitá a liší se u různých dodavatelů energií různě.

V podstatě se stanovují **ceny např. elektrické energie** takto:

- 1) cena za silovou elektřinu od výrobce, která pozůstává z těchto položek:
 - a) - pevná měsíční platba (paušál), – v podstatě podle instalovaného výkonu odběrního místa,
 - b) - cena za odebranou energii Kč/MWh.
- 2) regulovaná cena za dopravu (distribuci) elektřiny, která je regulována a její maximální výši určuje státní orgán – Energetický regulační úřad. Tato cena obsahuje
 - a) opět měsíční plat podle instalovaného příkonu ,
 - b) cenu za dopravovanou energii v Kč/MWh,
 - c) cena za služby v Kč/MWh, tj. poplatek za zúčtování Operátora trhu s elektřinou (OTE), cena za tzv. systémové služby,
 - d) příspěvek na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (OZE) a kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET) ,
- 3) Spotřební daň z elektřiny, do níž je od 1.1.2008 zahrnuta ekologická daň.

V rámci nabízených ceníků za silovou energii je celá řada různých variant, tzv. produkty, ze kterých si odběratel může podle stanovených podmínek vybrat pro něj nejvhodnější sazbu.

Obdobná je situace ve **stanovení ceny plynu**.

Zde jsou v podstatě tyto položky:

- 1) plat za dodávku plynu, - v tom stálý měsíční plat a plat za množství dodaného plynu,
- 2) plat za distribuci plynu – v tom stálý měsíční plat a plat za množství dodaného plynu,
- 3) spotřební daň.

Při stanovení **ceny tepla** se podle konkrétní situace dodavatele a rozvodu tepla vychází z výrobních nákladů a přiměřeného zisku a proto jsou tyto ceny v ČR velmi rozdílné, zejména podle toho, jaké palivo se při výrobě tepla používá, jaká je vzdálenost rozvodů tepla apod.

Celkové výnosy za dodávku energie jsou podle energetického zákona rozděleny mezi „Účastníky trhu s energiemi“.

U dodávky elektrické energie to jsou:

- výrobci,
- provozovatelé přenosové soustavy,
- provozovatelé distribučních soustav,
- operátor trhu,
- obchodníci elektřinou,
- koneční zákazníci.

U dodávky plynu:

- výrobci,
- provozovatel přepravní soustavy,
- provozovatelé distribučních soustav,
- provozovatelé podzemních zásobníků plynu,
- obchodníci s plynem,
- koneční zákazníci.

Práva a povinnosti jednotlivých účastníků trhu s elektrickou energií a plynem jsou stanoveny v energetickém zákoně.[10]

6.3 Ekonomická efektivnost investic pro energetiku

Při úvahách o modernizaci energetických zařízení nebo instalaci nových zdrojů energie i v případech, kdy bude nové nebo modernizované zařízení pracovat s vyšší účinností, je nutno si položit otázku, zda se nové zařízení vyplatí. Je však třeba poznamenat, že hlavní závažný problém pro objektivní stanovení efektivnosti investic, které se řeší s ohledem na budoucnost, je velká neznámá - vývoj cen energie. Dochází ke stálému růstu (např. v poslední době cena ropy a zemního plynu) a je to tedy veličina do budoucna předvídatelná jen se značným rizikem.

Při posuzování ekonomické efektivity porovnáváme budoucí stav se současným. Základní podmínkou je, že výrobní náklady po odečtení úroků a splátek úvěru v období po splacení úvěru musí být menší, než stávající stav.

Dříve se ekonomická efektivity posuzovala jednoduše podle tzv. **návratnosti investice**, což znamená počet roků provozu, za které se úspory na výrobních nákladech proti současnému stavu rovnají vynaloženým investičním nákladům. Tato návratnost investice se dá určit podle rovnice:

$$r = \frac{N_i}{N_{v1} - N_{v2}} \quad (\text{roků}) \quad [6.4]$$

N_i jsou pořizovací náklady v Kč,

N_{v1} a N_{v2} jsou původní a nové roční výrobní náklady Kč.rok⁻¹.

V současné době tržního hospodářství je výpočet ekonomické efektivity složitější a je nutno zkoumanou investici nebo modernizaci zařízení z různých pohledů. Často je nutno počítat s úvěrem na pořízení investice, nebo pronájmem, při čemž splátky úvěrů a úroky zatěžují výrobní náklady v prvních letech od zahájení provozu zařízení. Proto se projekt posuzuje podle různých hledisek, např. hodnotí se

- tok peněz (tzv. Cash Flow) a akumulovaný Cash Flow (CF),
- průměrný roční zisk,
- diskontovaný zisk,
- diskontovaný CF,
- vnitřní výnosové procento,
- doba návratnosti investice a další.

Uvedeme pouze dva hlavní pohledy:

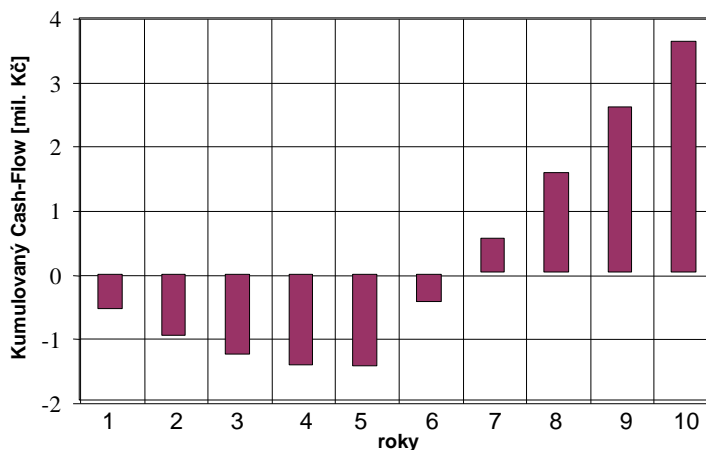
Tok peněz - Cash Flow - CF.

Při jeho stanovení se vychází z toho, že v prvních letech provozu nového zařízení je vytvořený zisk jako rozdíl mezi původními úplnými výrobními náklady a úplnými výrobními náklady nového zařízení zatížen splátkami úvěru a úroky z úvěru. Tyto splátky mohou být v jednotlivých letech i proměnlivé, úroky se platí ze zůstatkové hodnoty úvěru, takže v jednotlivých letech mají klesající hodnotu.

Cash Flow je proto vypočítán v jednotlivých letech provozu tak, že od zisku v jednotlivých letech odečítáme splátky úvěru a úroky a stanovíme také tzv. sumární tok peněz - Cumulated Cash Flow, případně až za celou dobu životnosti nového zařízení. <>

Názorné je následné grafické znázornění toku peněz, které udává v jednotlivých letech ekonomický přínos investice od uvedení zařízení do provozu až do sledovaného roku.

Grafické znázornění určitého případu (úvěr na 5 let) CF je na obr. 6.2.



Obr. 6.2. Kumulovaný tok peněz

Vnitřní výnosové procento.

Tento ukazatel udává, na jaký úrok bychom museli uložit částku, vloženou do investice, abychom každý rok mohli vybírat obnosy shodné s budoucími výnosy investice.

Vnitřní výnosové procento se také označuje IRR (Internal Rate of Return) a určí se z rovnice

$$PV = \frac{R_1}{1+p} + \frac{R_2}{(1+p)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+p)^n} \quad (\text{Kč}) \quad [6.3]$$

Zde je PV dnešní hodnota peněz = investiční náklady (PresentValue),

$R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ výnosy v jednotlivých letech 1 až n,

r výnosové procento /100.

Z této rovnice lze určit za libovolný počet let n (např. za dobu životnosti zařízení) úrokové procento, na které bychom museli uložit peníze, abychom měli stejný výnos jako uvažovaná investice. Je-li vypočtené procento úroku vyšší než nejvyšší možný úrok při úložce financí v bance, je investice výhodná, v opačném případě nikoliv. Výpočet je složitější, avšak existují programy pro počítače, kterými je možno výpočet snadno provést.

7 Legislativa pro oblast energetiky.

Podmínky pro chování právnických i fyzických osob a občanů ve všech oblastech státu vymezují určité normy, kterými jsou:

- 1) Ústava ČR,
- 2) zákony, které schvaluje parlament,
- 3) vyhlášky vlády ČR a ústředních úřadů,
- 4) státní technické normy.

7.1 Zákony ČR pro oblast energetiky

1. Zákon č.91/2005 Sb.

V oblasti energetiky je to v současné době novelizovaný **zákon č. 458/2000 Sb o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích (zkráceně také zvaný jako „Energetický zákon“).**

Zákon stanovuje podmínky:

1. pro podnikání v oblasti výroby a rozvodu elektřiny, plynu a tepla. Děje se tak na základě tzv. licence, kterou uděluje Energetický regulační úřad. Zákon určuje podmínky pro udělení licence, povinnosti a práva držitele licence. Stanovuje státní orgány a jejich působnost v energetice.
 2. V jednotlivých oblastech, tj. v elektroenergetice, plynárenství a teplárenství jsou stanoveny povinnosti a práva dodavatele i odběratele pokud se jedná o dodávky energií, budování přípojek, měření spotřeby energií a vymezují se ochranná a bezpečnostní pásma pro elektrárenská a plynárenská zařízení. Vymezují se také podmínky pro výkup elektrické energie a tepla u odběratelů, kteří mají přebytky těchto energií z vlastní kombinované výroby tepla a elektrické energie.
 3. Ustanovuje se Státní energetická inspekce jako orgán státního dozoru pro oblast energetiky. Tato instituce kontroluje dodržování ustanovení tohoto zákona a je oprávněna udělovat pokuty za nedodržení zákona a poskytuje odbornou pomoc a konzultace.
- K tomuto zákonu byla ústředními úřady vydána celá řada prováděcích vyhlášek.

2. Zákon č.61/2008 Sb.

Další důležitý zákon je novelizovaný **zákon č. 406/2000 Sb o hospodaření energií**. Také tento zákon prošel různými změnami a poslední text změn tohoto zákona je uveden jako zákon č. 312/2012 Sb. Zákon č. 406/2000 Sb s pozdějšími změnami obsahuje právní rámec pro chování státu a organizací při využívání a hospodaření s energiemi. Obsahuje v podstatě tyto části:

- Vypracování státní energetické a územních koncepcí v oblasti energetiky na dobu 15 let,
- národní program hospodárného využívání energií, včetně využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie,
- zřízení a úkoly tzv. energetického auditu a energetického auditora, včetně podmínek pro výkon funkce,
- povinnost kombinované výroby tepla a elektrické energie při nové výstavbě nebo rekonstrukci zdrojů tepla nad 5 MW_t a elektřiny nad 10 MW_e,
- požadavky na účinnosti využití energií,
- hodnocení energetické náročnosti budov a zavedení enegetických štítků objektů.

3. Zákon č. 180/2005 Sb.

o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE)

Obsah:

- předmět úpravy,
- základní pojmy,
- předmět podpory,
- právy a povinnosti subjektů na trhu s elektřinou z OZE
- podmínky podpory, výkupy a evidence výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Výše cen za elektřinu z OZE a zelených bonusů
- pravidelné vyhodnocování

7.2 Usnesení vlády ČR

1. Státní energetická koncepce České republiky

Pro dlouhodobý vývoj energetiky v ČR byla usnesením vlády ČR schválena **Státní energetická koncepce České republiky**. (usnesení vlády č. 211 ze dne 10. března 2004.

Jako vize pro dlouhodobý vývoj energetického hospodářství ČR jsou stanoveny základní priority:

- nezávislost na cizích zdrojích energie,
- bezpečnost a spolehlivost zdrojů a dodávek energie a racionalizace decentralizace energetických systémů,
- ochrana životního prostředí a ekonomický a sociální rozvoj společnosti.

Pro řešení těchto úkolů byly stanoveny cíle státní energetické politiky do roku 2030:

- maximalizace energetické efektivity při získávání a přeměnách energetických zdrojů,
- maximální využití domácích energetických zdrojů, včetně podpory výroby elektrické energie a tepla z obnovitelných zdrojů, a optimální využití jaderné energie ,
- maximální šetrnost energetiky k životnímu prostředí,
- dokončení transformace směrem k liberalizaci energetického hospodářství orientovaného na tržní model.

Podrobně jsou v usnesení vlády určeny nástroje k dosažení uvedených cílů a v závěru jsou uvedeny tabulky a grafy vývoje energetiky v jednotlivých sektorech v letech 2000 až 2030.

Pro praktické řešení a kontrolu v návaznosti na výše uvedené zákony byla v letech 2000 až 2007 vydána celá řada vyhlášek a nařízení státních orgánů.

V poslední době bylo předloženo upravené znění této energetické koncepce a probíhá oponentní řízení. Zatím nebyla nová koncepce vládou schválena.

7.3 Vyhlášky ústředních úřadů

1. Vyhláška č. 140/2009 Sb. Energetického regulačního úřadu (ERÚ) O způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen

Obsah:

- základní pojmy
- způsob regulace a postup tvorby cen v elektroenergetice jsou určeny třem subjektům a to:
 1. držitel licence pro přenos elektřiny,
 2. držitel licence na distribuci elektřiny,
 3. držitel licence na činnost operátora trhu s elektřinou.
- způsob regulace a postup tvorby cen v plynárenství
- jsou určeny dvěma subjektům a to:

1. držitelé licence za přepravu plynu,
 2. držitelé licence za distribuci plynu.
- způsoby regulace cen v teplárenství
 - dělení nákladů při kombinované výrobě elektřiny a tepla.
Vyhláška dále ve 12 přílohách velmi podrobně stanovuje pro stanovení cen jednotlivých subjektů dodavatelů elektřiny, plynu a tepla.

2. Vyhláška č. 193/2007 Sb

kteřou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu

Obsah:

- předmět úpravy,
- účinnost užití energie při rozvodu tepelné energie,
- teplotonosná látka a její parametry v tepelném rozvodu,
- vnitřní rozvod tepelné energie,
- tepelná izolace zařízení pro rozvod tepelné energie a vnitřní rozvod tepelné energie pro vytápění a technologické účely a pro rozvod teplé vody (TV),
- předávací stanice a jejich vybavení,
- regulace a řízení dodávky tepelné energie
- tepelná izolace zásobníků TV a expanzních nádob,
- rozvody chladicích látek, jejich tepelné izolace a regulace a řízení dodávky chladu
- metody zjišťování tepelných ztrát a zisku v zařízeních pro rozvod tepelné energie, chladu a teplé vody.

Vyhláška dále obsahuje 4 přílohy pro stanovení požadovaných postupů na hodnot.

3. Vyhláška č. 193/2007 Sb, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé užitkové vody a požadavky na vnitřní vybavení tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům

Obsah:

- předmět úpravy,
- pravidla pro vytápění,
- pravidla pro dodávku teplé vody,
- měrné ukazatele spotřeby tepelné energie na vytápění a na přípravu teplé vody,
- regulace ústředního vytápění a přípravy teplovody v budově,
- měření množství tepelné energie a teplé vody v zúčtovací jednotce.

Ve 3 přílohách jsou stanoveny údaje pro výpočty, respektive směrné hodnoty měrných ukazatelů.

Některé další vyhlášky

4. Vyhláška č. 12/2009 Sb o stanovení postupu zjišťování, vykazování a ověřování množství emisí skleníkových plynů a formuláře žádosti o vydání povolení k emisím skleníkových plynů.

5. Vyhláška č. 13/2009 Sb o stanovení požadavků na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší.

7.4 Technické normy ČSN, resp. ČSN EN

Existuje velmi vysoký počet technických norem pro energetické odvětví. Jejich rozbor by vyžadoval velmi mnoho času. Jednotlivé normy je možno nalézt v seznamu norem na internetu.

8 Použitá literatura a další zdroje informací

- [1] Energetické hospodářství České republiky 1994 – 1997 v číslech. KONEKO marketing, s.r.o. Praha.
- [2] Ročenka 1999. Elektroenergetika, hornictví, plynárenství, teplárenství. CONTE, s.r.o. a GAS, s.r.o. Praha 1999.
- [3] Schulz F.: Základy ekonomiky energetického odvětví. Nakladatelství ČSAV Praha 1962.
- [4] Kadrnožka J.: Tepelné elektrárny a teplárny. SNTL Praha 1984.
- [5] Vlach J. a kol.: Zásobování teplem a teplárenství. SNTL Praha 1989.
- [6] Cikhart J a kol.: Soustavy centralizovaného zásobování teplem. SNTL Praha 1989.
- [7] Hradil F. Potrubní sítě. Ediční středisko VŠB Ostrava 1993..
- [8] Kolat Pavel: Energetické centrály. (Paroplynové cykly) Ediční středisko VŠB – TU Ostrava 1995..
- [9] Krbek J., Polesný B.: Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice. PC-DIR Real, s.r.o. Brno 1999.
- [10] Zákon č. 458/2000 Sb. (Energetický zákon)
- [11] Zákon č. 406/2006 Sb. o hospodaření energií.
- [12] Státní energetická koncepce České republiky. Schváleno usnesením vlády ČR č. 211 ze dne 10. března 2004
- [13] Kořínek B.: Energetika v hornictví. SNTL Praha 1963
- [14] Kysela L.: Energetika v hutnictví. Ediční středisko VŠB Ostrava.
- [15] Freiburger F.: Cash-flow. Řízení likvidity podniku. Management Press, Praha 2. vydání 1996.
- [16] Jílek J.: Metody mezinárodního srovnávání. Skripta Vysoké školy ekonomické Praha 1996.
- [17] Netz H.: Wärmewirtschaft. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1954.
- [18] Duchoň B.: Ekonomika a ekologie průmyslové energetiky. Energetický institut Praha 1999.
- [19] Píha M., Valtr J.] Jaká je skutečná energetická náročnost tvorby HDP v ČR ve srovnání s EU? Energetika, č. 4 1999str. 107 –109.
- [20] Kysela L., Tomčala J.: Ekonomika v energetice. Ediční středisko VŠB – TU Ostrava 2000. ISBN 80 – 778 – 851 – 8.