

Sborník technických řešení

Měření, řízení a optimalizace spotřeby energie

Autor: Ing. Vít Klein a kol., MARTIA a.s., Mezní 2854/4, 400 11 Ústí nad Labem

Anotace: Publikace obsahuje základní zásady pro měření, řízení a optimalizaci spotřeby energie

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2004 – část A.

Publikace je určena pracovníkům energetických hospodářství, energetikům a technikům, zajišťujících užití všech forem energie.

Rok vydání: 2004

Obsah:

Úvod do problematiky

Cíl publikace

Názvosloví a jednotky

Legislativa

Přehled měření jednotlivých forem energie

Registrace a vyhodnocování naměřených údajů

Zásady pro monitorování

Soubor registrovaných údajů

Optimalizační kritéria

Identifikace systému

Energetická bilance

Spotřební charakteristika

Normování spotřeby energie

Optimalizační kritéria

Příklady technických řešení použití řídicích systémů pro úspory energie

Příklad osazení předávací stanice tepla měřicími a ovládacími prvky

Regulace a řízení teplotních soustav

Energetický management energetických systémů

Objektový energetický management

Systémový energetický management

Závěr

Přílohy

- 1) Vyhláška MPO č. 264/2000 Sb. o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování.

- 2) Měření odběru elektrické energie – příklad zapojení dvousazbového měřicího zařízení s jednopovelovým přijímačem HDO.
- 3) Příklad zapojení měřicí soupravy pro odběr a dodávku z asynchronního generátoru s výkonem nad 25 kW.
- 4) Příklady zapojení měření dodávky tepelné energie v páře a kondenzátu
- 5) Měření dodávky zemního plynu – přepočty hodnot atmosférického tlaku
- 6) Příklady zásobování sítě z jednoho nebo dvou míst s kolísavým spalným teplem objemovým.
- 7) Výpočet váženého průměru spalného tepla objemového za odečtové období při dodávce plynu ze zdroje A_1 .
- 8) Příklad výpočtu dodané energie v zemním plynu.
- 9) Doporučené konstanty pro výpočet spalného tepla objemového převzaté z ISO 6976 při vztažné teplotě 15 °C a referenční teplotě spalování 15 °C.
- 10) Příklady dodávek zemního plynu s různou kvalitou.

Úvod do problematiky

Cíl publikace

Cílem publikace je poskytnout pracovníkům v oblasti energetiky informace o současných trendech v oblasti měření, řízení a optimalizace spotřeby energie ve všech jejích formách a zároveň odkázat na platnou legislativu v této oblasti.

Názvosloví a jednotky

Názvosloví a jednotky v energetice jsou určeny jednak zákony, vyhláškami a platnými českými technickými normami (ČSN).

V oblasti zákonných měrových jednotek soustavy ISO je základní českou technickou normou **ČSN ISO 31-0** a na ní navazující další ČSN ISO řady 31.

Zákonné měrové jednotky jsou na základě **zákona o metrologii č. 505/1990 Sb.**, v platném znění, stanoveny vyhláškou MPO č. 264/2000 Sb., která je součástí přílohy této publikace.

Základní názvosloví v elektrotechnice je upraveno platnou **ČSN 34 5001**.

Normalizovaná napětí v elektrotechnice jsou uvedeny v **ČSN IEC 38 (33 0120)** - Normalizovaná napětí IEC.

Názvosloví v oblasti vody a páry pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa je uvedeno v platné **ČSN 07 7401**.

Základní názvy v oblasti elektráren a tepláren jsou uvedeny v **ČSN 33 3100**, která dnes již není platná, přesto v energetice jsou pojmy, které jsou v ní definovány, běžně užívány v provozní praxi.

Názvosloví v elektrotechnice je obsaženo v Mezinárodním elektrotechnickém slovníku v jednotlivých normách řady **ČSN IEC 50**.

Termíny a veličiny z oboru vodních turbín a akumulčních čerpadel a specifikace metody zkoušek a způsoby měření potřebných veličin jsou uvedeny v **ČSN EN 60041** - Přejímací zkoušky na díle pro určení hydraulických charakteristik vodních turbín, akumulčních čerpadel a čerpadlových turbín.

Měření elektrických veličin v dozornách výroben a rozvodů elektřiny je uvedeno v **ČSN 33 3265** - Elektrotechnické předpisy. Měření elektrických veličin v dozornách výroben a rozvodů elektřiny

Aktuální údaje o platných českých technických normách je možno nalézt na serveru Českého normalizačního institutu na adrese www.csni.cz.

Legislativa

Základním předpisem v oblasti metrologie ze zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii; ve znění sebe sama, dále zákona č. 137/2002 Sb., zákona č. 13/2002 Sb. a znovu sebe sama - zákona č. 119/2000 Sb. (III. část) a zákona č. 226/2003 Sb. (2. část) - obé k datu vstupu do EU.

Základním právním předpisem v oblasti energetiky je zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon); ve znění zákona č. 262/2002 Sb.; zákona č. 151/2002 Sb.; zákona č. 278/2003 Sb.; zákona č. 309/2002 Sb.; zákona č. 356/2003 Sb. s účinností ke dni vstupu do EU - 1. května 2004

Základním právním předpisem v oblasti užití energie ze zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií; ve znění zákona č. 359/2003 Sb.

Ke všem výše uvedeným zákonům byla vydána celá řada vyhlášek k jejich provedení. Jejich úplný výčet není předmětem této publikace, je možno je nalézt např. na serveru ministerstva vnitra ČR na adrese www.mvcr.cz.

Seznam závazných právních předpisů z oblasti energetiky je také uveden na webové stránce ministerstva průmyslu a obchodu www.mpo.cz a bývá vydáván ve Věstníku MPO (viz např. částka 1-2 Věstníku MPO z 09. 05. 2003).

Na tomto místě je zapotřebí připomenout, že v tzv. obchodním styku – ve vztahu prodávající – kupující, kdy dochází k úplatnému převodu vlastnictví ke konkrétní formě energie nebo média, musí být dodávka měřena tzv. stanoveným měřidlem dle zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, v platném znění. Podmínky instalace měřidel a účtování v případě poruchy těchto měřidel jsou upraveny energetickým zákonem č. 458/2000 Sb., v platném znění a jeho prováděcími předpisy.

Energetický zákon má být v závěru roku 2004 zásadně novelizován, proto doporučujeme čtenáři pracovat s jeho aktuální platnou verzí.

Přehled měření jednotlivých forem energie

Zásadní otázka, která musí být při měření jednotlivých forem energie vyjasněna je ta, zda měřidlo má sloužit k úplatnému předání měření příslušné formy energie, nebo zda slouží k vnitropodnikovému nebo vnitroorganizačnímu rozúčtování.

V prvním případě je zapotřebí instalovat měřidlo stanovené dle zákona č. 505/1990 Sb. o metrologii, ve druhém případě se bude jednat o měřidlo, které nazýváme pracovním nebo technickým.

Stanovená měřidla bývají obvykle dražší, než měřidla nestanovená, musí u nich být prováděno pravidelné navazování na etalony ve lhůtách, stanovenými prováděcími předpisy k zákonu o metrologii.

Registrace a vyhodnocování naměřených údajů

Z technického hlediska je registrace a vyhodnocování naměřených údajů řešena obvykle integrovanými systémy. Jednotlivé složky vzájemné vazby mezi nimi jsou optimalizovány a tím je dosaženo nákladově efektivního prostředí.

Vazba mezi jednotlivými systémy je řešena u jednotlivých zařízení buď společným protokolem nebo integrátorem. Řídící algoritmy pro jednotlivé energetické subsystémy jsou řešeny v decentralizovaném řídicím systému s inteligencí rozloženou obvykle do tří úrovní:

a) procesní úroveň – lokální řízení

Tato úroveň je tvořena mikroprocesorovými regulátory, k jejichž vstupům jsou připojeny jednotlivé snímače a čidla regulovaných a měřených veličin spolu se signály provozních a poruchových stavů. Regulátory jsou vybaveny příslušnými algoritmy řízení daného zařízení a musí být schopny autonomní funkce, aby v případě přerušení komunikace s řídicími moduly bylo zachováno řízení lokálního systému na základě definovaného lokálního algoritmu.

b) nadřazená automatizační úroveň

Tato úroveň je tvořena síťovými řídicími jednotkami využívajícími operační systém pracující v reálném čase. Koordinují tak činnost všech komunikujících komponentů a zabezpečují vzájemnou komunikaci procesních regulátorů a realizují řídicí algoritmy vyšší úrovně.

Síťové řídicí jednotky zajišťují zejména:

- realizaci komplexních časových programů,
- sběr historických dat, tj. historii bodů a trendy,
- definici databází,
- komunikaci v rámci automatizační úrovně.

c) Úroveň správy informací – operátorská stanice

Jednotlivé pracovní stanice jsou připojeny k systémové síti, kterou předávají obsluze zpracované informace o řízených technologiích a objektech. Základními funkcemi těchto pracovních stanic je:

- zobrazení jednotlivých oblastí řízených objektů grafickou formou,
- zobrazení textových informací o stavu řízených systémů,
- automatická alarmová hlášení s rozlišeným stupněm priority.

Význam kontroly analýzy účinnosti energetického managementu

Zásady pro monitorování

Aby bylo možné vyhodnocovat chování řízených energetických systémů je nutné monitorovat průběh relevantních údajů.

Vzhledem k vysoké míře složitosti energetického systému je nutno vždy definovat cíl monitorování a následně rozhodnout o specifikaci potřebných monitorovacích míst a údajů.

V zásadě lze rozlišovat tyto cíle pro měření a monitorování chodu:

- **zajištění bezpečnosti při provozu systému**
- **zajištění technické provozuschopnosti systému,**
- **zajištění optimálního provozu systému.**

Je zřejmé, že pro každý cíl je nutno vytvořit samostatný soubor relevantních údajů potřebných pro monitorování, rozhodnout o způsobu jejich vyhodnocování a způsobu evidence případně archivace.

Rovněž je zřejmé, že základním cílem pro monitorování navrhovaného systému řízení energetického hospodářství je zajištění optimálního provozu systému.

Lze konstatovat, že v případě monitorování údajů o energetických systémech se téměř vždy jedná o měření fyzikálních veličin.

Měření fyzikálních veličin je specifická odborná disciplína která vychází z platnosti fyzikálních vztahů a je proto nutné při aplikaci systému monitorování respektovat základní pravidla podmiňující korektnost vyhodnocování monitorovaných údajů.

Je nutné si uvědomit, že metrologie jako samostatný vědní a technický obor se mj. zabývá:

- měřicími metodami (včetně zpracování výsledků měření),
- technikou měření (metodikou měření),
- měřidly,
- stanovením fyzikálních a materiálových konstant,
- vlastnostmi osob provádějících měření.

Při praktické aplikaci metrologie je nezbytné vycházet z těchto zásad:

- specifikovat relevantní a kvantitativně každou veličinu,
- rozlišovat jednotlivé typy veličin, tj.:
 - veličiny množství (extenzivní),
 - veličiny stavu (intenzivní),
 - veličiny protenzivní,
- používat soustavu jednotek SI,
- instalovat vždy měřidla odpovídající kvalitativním a kvantitativním parametrům měřené veličiny a potřebné přesnosti měření,
- určit úroveň pořizování dat respektující hierarchii prvků systému,

- zajistit zpracování plánu monitorovacích míst a plánu odečtů pro jednotlivá dílčí střediska pro účtování energie,
- provést rozdělení monitorovacích míst podle způsobu odečtů na:
 - místa odečítaná automatizovaně,
 - místa odečítaná obsluhou zařízení,
- zajistit odpovídající odbornou úroveň osob provádějících měření,
- zajistit pravidelné ověřování instalovaných měřidel.

Řízení energetických systémů

Pro efektivní řízení energetických systémů je zapotřebí v první řadě zajistit sběr a archivaci relevantních údajů o chodu energetického hospodářství a jednotlivých měřených formách energie a médií.

Soubor registrovaných údajů

Aby bylo možné správně a korektně hodnotit hospodárnost užití jednotlivých forem energie je nezbytné disponovat relevantním souborem registrovaných údajů v daném čase. Pro jednotlivé, nejčastěji se vyskytující energetické systémy a subsystémy, lze obecně formulovat následující soubor potřebných údajů.

a) Organizační jednotka průmyslové energetiky

Registrované údaje:

- spotřeba el. energie,
- technické maximum výkonu el. energie,
- dosažené maximum výkonu el. energie,
- spotřeba zemního plynu,
- spotřeba kapalných paliv,
- spotřeba pevných paliv,
- spotřeba pitné vody,
- spotřeba povrchových vod,
- množství vyrobené páry,
- množství vyrobené horké vody,
- množství vyrobené el. energie,
- množství vyrobeného stlačeného vzduchu,
- množství vyrobených technických plynů,
- množství dodaného zemního plynu,
- množství dodané pitné vody,
- množství povrchové vody,
- množství dodaného tlačného vzduchu,
- množství prodané energie jednotlivým autonomním nákladovým střediskům,
- množství prodané energie ostatním odběratelům (v členění podle druhu energie a odběratelů).

b) Distribuce elektrické energie

Registrované údaje

- spotřeba el. energie celkem,
- technické maximum výkonu el. energie,
- dosažené maximum výkonu el. energie,
- množství dodané el. energie v systému VN (VN),
- dosažené maximum výkonu el. energie v systému VN (VVN),
- množství dodané el. energie v systému NN,
- dosažené maximum výkonu el. energie v systému NN,
- množství prodané el. energie a dosažené maximum autonomních nákladových středisek,
- množství prodané el. energie ostatním odběratelům.

c) Výroba tepla

Registrované údaje:

- spotřeba zemního plynu,
- spotřeba kapalných paliv,
- spotřeba pevných paliv,
- spotřeba el. energie,
- spotřeba vody,
- spotřeba napájecí vody,
- spotřeba doplňovací vody do horkovodního systému,
- množství vráceného kondenzát,
- množství vyrobeného tepla na jednotlivých kotlích,
- množství vyrobeného tepla z paliva zemní plyn,
- množství vyrobeného tepla z pevných paliv,
- množství vyrobeného tepla z kapalných paliv,
- množství vyrobeného tepla celkem,
- množství dodaného tepla v horké vodě (teplé vodě),
- počet provozních hodin jednotlivých kotlů,
- průběh venkovních teplot vzduchu.

d) Distribuce horké vody (teplé vody)

Registrované údaje:

- množství dodané horké vody (na prahu kotelny)
- množství prodané horké vody měřené (v členění podle odběrových míst),
- množství prodané horké vody neměřené (v členění podle odběrových míst),
- množství prodané horké vody jednotlivým nákladovým střediskům,
- množství prodané horké vody ostatním odběratelům (v členění podle odběratelů).

a) Distribuce tepla parou

Registrované údaje:

- množství dodané páry (na prahu kotelny),
- množství prodané páry měřené (v členění podle odběrných míst),
- množství prodané páry neměřené (v členění podle odběrných míst),)
- množství prodané páry jednotlivým nákladovým střediskům,
- množství prodané páry externím odběratelům (v členění podle odběratelů),
- množství prodané páry ostatním odběratelům (v členění podle odběratelů).

f) Distribuce zemního plynu

Registrované údaje:

- spotřeba zemního plynu celkem,
- spotřeba zemního plynu pro otopné účely,
- spotřeba zemního plynu pro technologické účely (v členění podle odběrných míst),
- množství prodaného zemního plynu ostatním odběratelům (v členění podle odběratelů).

g) Výroba a distribuce stlačeného vzduchu

Registrované údaje:

- množství vyrobeného stlačeného vzduchu,
- množství prodaného stlačeného vzduchu měřené (v členění podle odběrných míst),
- množství prodaného stlačeného vzduchu neměřené (v členění podle odběrných míst),
- množství prodaného stlačeného vzduchu jednotlivým nákladovým střediskům,
- množství prodaného stlačeného vzduchu ostatním odběratelům (v členění podle odběratelů).

h) Distribuce pitné vody

Registrované údaje:

- množství dodané pitné vody
- množství prodané pitné vody celkem,
- množství prodané pitné vody ostatním odběratelům (v členění podle odběratelů).

i) Úprava a distribuce provozních vod

Registrované údaje:

- množství odebrané vody u jednotlivých zdrojů provozních vod,
- spotřeba el. energie,
- spotřeba stlačeného vzduchu,
- množství prodané vody jednotlivým nákladovým střediskům,
- množství prodané vody ostatním odběratelům.

Optimalizační kritéria

Aby bylo možno zvolit správně optimalizační kritéria, je zapotřebí nejprve správně a úplně identifikovat systém, který má být optimalizován.

Identifikaci systému můžeme provádět:

- a) modelováním na bázi teoretických předpokladů
- b) modelováním s využitím naměřených hodnot existujícího systému, který má být optimalizován.

Aby bylo možné vyhodnocovat a následně optimalizovat chování řízených energetických systémů je nutné monitorovat průběh relevantních údajů.

Vzhledem k vysoké míře složitosti energetického systému je nutno vždy definovat cíl monitorování a následně rozhodnout o specifikaci potřebných monitorovacích míst a údajů.

V zásadě lze rozlišovat tyto cíle pro monitorování:

- **zajištění bezpečnosti při provozu systému**
- **zajištění technické provozuschopnosti systému,**
- **zajištění optimálního provozu systému.**

Je zřejmé, že pro každý cíl je nutno vytvořit samostatný soubor relevantních údajů potřebných pro monitorování, rozhodnout o způsobu jejich vyhodnocování a způsobu evidence případně archivace.

Rovněž je zřejmé, že základním cílem pro monitorování navrhovaného systému řízení energetického hospodářství je zajištění optimálního provozu systému.

Lze konstatovat, že v případě monitorování údajů o energetických systémech se téměř vždy jedná o měření fyzikálních veličin.

Měření fyzikálních veličin je specifická odborná disciplína která vychází z platnosti fyzikálních vztahů a je proto nutné při aplikaci systému monitorování respektovat základní pravidla podmiňující korektnost vyhodnocování monitorovaných údajů.

Je nutné si uvědomit, že metrologie jako samostatný vědní a technický obor se mj. zabývá:

- měřicími metodami (včetně zpracování výsledků měření),
- technikou měření (metodikou měření),
- měřidly,
- stanovením fyzikálních a materiálových konstant,
- vlastnostmi osob provádějících měření.

Při praktické aplikaci metrologie je nezbytné vycházet z těchto zásad:

- specifikovat relevantní a kvantitativně každou veličinu,
- rozlišovat jednotlivé typy veličin, tj.:
 - veličiny množství (extenzivní),
 - veličiny stavu (intenzivní),
 - veličiny protenzivní,
- používat soustavu jednotek SI,
- instalovat vždy měřidla odpovídající kvalitativním a kvantitativním parametrům měřené veličiny a potřebné přesnosti měření,
- určit úroveň pořizování dat respektující hierarchii prvků systému,
- zajistit zpracování plánu monitorovacích míst a plánu odečtů pro jednotlivá dílčí střediska pro účtování energie,
- provést rozdělení monitorovacích míst podle způsobu odečtů na:
 - místa odečítaná automatizovaně,
 - místa odečítaná obsluhou zařízení,
- zajistit odpovídající odbornou úroveň osob provádějících měření,
- zajistit pravidelné ověřování instalovaných měřidel.

Energetická bilance – kritérium hodnocení hospodaření s energií

Energetickou bilanci lze bezesporu považovat za základní informační kámen pro identifikaci stavu hospodaření s energií všech forem ve sledovaném systému a pro následnou optimalizaci posuzovaného systému.

Energetická bilance má komplexní vypovídací schopnost o stupni efektivnosti využívání všech forem energie ve sledovaném systému. Z těchto důvodů je nezbytné, aby při realizaci energetického managementu byla energetická bilance jedním z hlavních nástrojů.

Důvod je zřejmý, neboť energetická bilance umožňuje zjistit strukturu použitých energetických zdrojů, energetické ztráty a efektivnost konečné spotřeby energie. Zároveň je podkladem pro analýzu stávajícího stavu a stanovení opatření vedoucích efektivnějšímu využití jednotlivých forem energie ve sledovaném systému.

Energetickou bilanci lze obecně definovat jako proces identifikace množiny energetických vstupů a množiny energetických výstupů zkoumaného systému.

Z matematického hlediska lze energetickou bilanci chápat jako rovnici, kde platí, že suma vstupní energie se rovná sumě jednotlivých složek výstupní energie. Tato definice vychází ze zákona o zachování energie.

S pojmem „**energetická bilance**“ úzce souvisí pojem „**hmotnostní energetická bilance**“. V čem se tyto dva pojmy liší? Rozdíl spočívá ve způsobu kvantifikace vstupů a výstupů energie.

Zatím co energetická bilance se vyjadřuje ve shodných jednotkách, tj. joulech resp. jejich násobcích, hmotnostní energetická bilance pracuje s různými jednotkami vyjadřujícími množství vstupních a výstupních komponentů energie (např. t, m³, kWh apod.).

Energetické bilance se obvykle vyjadřují v tabulkové podobě a graficky pomocí Sankeyova diagramu. Oba způsoby vyjádření energetické bilance slouží k zobrazení toku energie od vstupu do systému před probíhající energetické procesy uvnitř tohoto systému až po konečnou spotřebu energie systémem. Tok energie je vždy vztažen k určitému časovému intervalu. nejčastěji tímto intervalem je rok, měsíc a den.

Nejjednodušší matematický zápis energetické bilance systému je tento:

$$W_{\text{dod}} = W_{\text{sp}} + W_{\text{ztr}}$$

kde:

W_{dod} je množství energie dodaná do systému za sledované období

W_{sp} je množství užitečné spotřebované energie v systému za sledované období

W_{ztr} je množství energie ztracené v systému vlivem energetických procesů

Levá strana rovnice reprezentující množství dodané energie za sledované období je nazývána **stranou energetických zdrojů**.

Pravá strana rovnice je označována **stranou spotřeby energie**.

Energetické bilance mají různé členění. Nejčastěji je prováděno členění podle *účelu* a *předmětu* bilancování.

Podle účelu je možné členit energetické bilance na dvě základní skupiny a to:

- a) *statistické*
- b) *plánovací*

Statistická energetická bilance má za účel vybilancování energetických toků v systému za uplynulé období. Slouží ke zjišťování stávajícího stavu a k odhalení nedostatků v užití jednotlivých forem energie ve zkoumaném systému.

Plánovací energetická bilance slouží především ke kvantifikaci budoucích potřeb energetických zdrojů v systému z hlediska cílů systémů.

Členění energetických bilancí v průmyslové energetice je obvykle následující:

1. **hospodářsko-organizační** (střediska, závodu, podniku),
2. **agregátové** (energetických zařízení a jejich částí, technologických celků apod.),
3. **objektové** (výrobních hal, administrativních budov apod.).

Hospodářsko-organizační energetické bilance jsou velice rozmanité vlivem rozsahu a cílů zkoumaných systémů. S rostoucí velikostí zkoumaného systému je většinou nutné používat nižší rozlišovací úroveň a tudíž agregaci toků energie.

Agregátová energetická bilance je základem energetických bilancí výše popsaných, neboť jejich úkolem je stanovení energetických toků energetických zařízení a technologických celků.

V této souvislosti je na místě připomenout v teorii velmi často používané funkční závislosti dvojic veličin výkonové bilance, nazývané **energetickými charakteristikami**.

Nejpoužívanější z nich jsou:

- spotřební charakteristiky,
- charakteristiky ztrát,
- charakteristiky vlastní spotřeby.

Spotřební charakteristika vyjadřuje funkční závislost příkonu agregátu (energetického zařízení, technologického zařízení) na jeho výkonu.

V této souvislosti se agregáty často rozdělují na tzv. agregáty 1. typu a agregáty 2. typu. Rozdíl mezi těmito dvěma skupinami spočívá v rychlosti funkční závislosti. zatímco u agregátů 1. typu dochází k okamžitým změnám příkonu při změnách výkonu, u agregátů 2. typu je změna příkonu výsledkem dlouhodobějšího působení změny výkonu.

Hlavními představiteli 1. typu agregátů jsou motory, generátory, kotel, transformátory, kompresory, turbíny apod. Jedná se tedy vesměs o zdrojová energetická zařízení ale nejen, neboť do této skupiny patří i celá řada technologických zařízení produkující výrobky.

Typickým představitelem agregátů 2. typu jsou pece. U pecí je možné měření okamžitých hodnot příkonů v závislosti na čase, ale okamžité hodnoty výkonů pecí naměřit nelze. Může se pouze stanovit průměrná hodnota výkonu, jako podíl velikosti vsázky a doby pracovního cyklu pece.

Analytické vyjádření těchto charakteristik je buď lineární nebo nelineární.

Lineární charakteristika je pro svoji jednoduchost nejčastěji využívána a má tento matematický tvar:

$$P_p = P_{p0} + b \cdot P$$

kde:

- P_p je příkon zařízení
- P_{p0} je příkon chodu naprázdno
- b je poměrný přírůstek spotřeby energie
- P je výkon zařízení

Nelineární charakteristika má obecný zápis funkční závislosti ve tvaru:

$$P_p = P_{p0} + bP^c$$

V praxi se pak nejčastěji používají funkční závislosti s exponentem $c = 2$.

Spotřební charakteristika agregátu je jeho základní pracovní charakteristikou na základě níž lze bez velkých problémů stanovit ukazatele energetické efektivity, jež mají tvar měrných ukazatelů. Mezi základní ukazatele patří energetická náročnost, měrná spotřeba, měrné ztráty vztažené k příkonu resp. výkonu, měrná vlastní spotřeba apod.,.

Důležitou charakteristikou odvozenou od spotřební charakteristiky je tzv. **pracovní charakteristika agregátu**.

Tato charakteristika je především používána v technologických zařízeních produkující výroby.

Dříve než zformulujeme definici pracovní charakteristiky, zmíníme se ještě o jednom pojmu, kterým je tzv. „*cyklový diagram*“.

Jedná se o diagram zatížení technologického agregátu v závislosti na době trvání technologického procesu. Určujícím parametrem je tedy technologický proces a jeho režim.

Pracovní charakteristika technologického zařízení právě spojuje energetické vlastnosti agregátu s pracovním režimem a vyjadřuje závislost průměrných hodnot příkonů na průměrných hodnotách výkonů. Průměrné hodnoty jsou vztaženy k době technologického cyklu.

Posledním typem energetické bilance členěné dle předmětu bilancování je tzv. **objektová energetická bilance**. Již z názvu vyplývá, že se jedná o bilancování zdrojů energie a spotřeby energie v rámci stavebního objektu resp. budovy.

Účelem tohoto typu energetické bilance je jednak zjištění stávajícího stavu energetických nároků předmětného objektu z hlediska tepelných vlastností objektů na zajištění tepelné pohody lidí a dále pak nároků na energii potřebnou pro zajištění provozu nainstalovaných technologických zařízení a spotřebičů.

Sestavení objektové energetické bilance je vhodné rozdělit do několika fází.

První fáze je kvantifikace tepelných ztrát objektu stanovených na základě tepelně technických vlastností objektu.

Druhá fáze by měla být zaměřena na energetické toky vyvolané nainstalovanými technologickými zařízeními a spotřebiči a jejich provozem.

Třetí fáze spočívá v syntéze předchozích fází. Stanovení nároků na energetické zdroje, tj. vstupy jednotlivých požadovaných forem energie pak jsou výsledkem této fáze. Nároky neenergetické vstupy by neměly být prostým součtem tepelných ztrát budovy a ostatní spotřeby vyvolané technologickými zařízeními a spotřebiči. Je třeba počítat s druhotnými energetickými zdroji energie vznikajícími při technologických procesech a užití energie ve spotřebičích. platí totiž zákon zachování energie, při kterém se všechny formy energie transformují na tepelnou energii, což ve svém důsledku vede ke snížení potřeb energie

pro vytápění. Rovněž je třeba respektovat energetické zisky, resp. ztráty vlivem vnějších vlivů jako např. sluneční osvit, proudění vzduchu apod.

Stanovení energetické bilance doporučujeme provádět podle těchto postupových fází:

- 1/ Identifikace energetických zařízení a spotřebičů**
- 2/ Stanovení bilančních okruhů objektu**
- 3/ Vytvoření matice bilančních vztahů**
- 4/ Kvantifikace strany energetických zdrojů**
- 5/ Kvantifikace strany spotřeby energie**
- 6/ Sestavení výsledné energetické bilance a její vyhodnocení**

Závěrem lze konstatovat, že energetická bilance je jedním z hlavních nástrojů analýzy stávajícího stavu energetického hospodářství. Slouží rovněž k plánování budoucích potřeb energetických zdrojů. K tomuto účelu se ponejvíce využívá hmotových energetických bilancí. Z hlediska energetického managementu je pak především informační základnou pro analýzu energetické účinnosti probíhajících procesů zároveň umožňuje nákladovou analýzu a přijímání krátkodobých i dlouhodobých rozhodnutí.

Normování spotřeby energie

Korektně zpracovaná energetická bilance budovy či jiného energetického systému je základní kritériální funkcí pro hodnocení hospodárného užití energie.

Pro stanovení korektních pravidel systému řízení je třeba vždy znát s maximální mírou přesnosti chování předmětného energetického systému (budovy, agregátu, subsystému zásobování energií apod.) z hlediska spotřeby energie ve vztahu k výkonům.

Spotřeba energie se mění v závislosti na řadě faktorů. Tyto proměnné lze v zásadě rozdělit podle závislosti na spotřebě do dvou základních skupin na:

- specifické proměnné - tj. faktory které určují spotřebu energie a jsou určovány požadavky výroby. Obsahují prvky výrobních úkonů, resp. doby provozu zařízení.
- říditelné proměnné – tj. faktory, které mohou být ovlivněny řízením. Zahrnují především provozní postupy, systémové řízení, plánování, řízení údržby apod.

Je zřejmé, že faktory specifické jsou limitovány druhem používaného výrobního zařízení, teplem užívaných prostorů a dobou provozu. Významného snížení spotřeby energie lze tedy dosáhnout zpravidla pouze provedením zásadní změny – reprodukce, inovace nebo rekonstrukce užívaných systémů.

Naproti tomu říditelné proměnné jsou právě ty aspekty, které mohou přinést případné úspory energie.

Ve stadiu přípravy monitoringu, je třeba rozhodnout, které jsou vhodné parametry jako specifické proměnné. Pro většinu procesů se shodnou výrobou nebo činností je volba těchto parametrů zřejmá.

V případě procesů s různými provozními podmínkami, nebo s různým výrobním programem je třeba nejdříve získat podrobnější znalosti o prováděných procesech.

Zásadně je nutno rozlišovat podle typu činnosti:

- kusová výroba,
- směs výrobků,
- hromadná výroba,
- dávkové procesy,
- exotermické procesy (tepelné zpracování),
- výroba tepla,
- větrání,
- větrání, event. chlazení,
- výroba a spotřeba stlačeného vzduchu.

Dále je třeba provést rozhodnutí, které subsystémy energetického hospodářství je vhodné a účelné z hlediska relevance spotřeby energie podrobit procesu normování spotřeby energie. Je zřejmé, že toto rozhodnutí je třeba podmínit kladnému ekonomickému vyhodnocení z hlediska očekávaných efektů.

Dále je zřejmé, že smysl případného normování spotřeby lze očekávat pouze v těch případech, kdy lze delegovat personální odpovědnost za hospodárné užití energie a to na bázi prokazatelně naměřených hodnot a periodických vyhodnocování dosažených výsledků.

Pro každý takto zvolený subsystém spotřeby energie je třeba zvolit vhodné specifické proměnné. Normy spotřeby energie je vhodné vždy odvodit na základě statistického vyhodnocení vhodného souboru skutečného chování každého subsystému.

Norma spotřeby energie není konstantní hodnota, ale je to rovnice respektující skutečnost, že spotřeba energie je závislá na specifických proměnných, (tj. výrobě, topných dnech apod.).

Typ rovnice závisí na počtu specifických proměnných a na průběhu závislosti mezi spotřebou energie a těmito specifickými proměnnými.

Závislost stanovené normy spotřeby energie má nejčastěji tvar přímky typu $E = a + bP$, kde:

a je spotřeba energie naprázdno

b je konstanta zvýšení spotřeby energie na jednotku produkce

P je produkované množství*)

*) produkované množství může být při normování spotřeby tepla na vytápěné interpretováno jako hodnota venkovní teploty.

Výpočet normy spotřeby je vhodné zpracovat ve formě protokolu a prokazatelně ho předat příslušnému odpovědnému pracovníkovi.

V protokolu je uvedena hodnota normy spotřeby a tzv. cílová hodnota normy spotřeby, pro vytvoření motivace ke zlepšení účinnosti předmětného subsystému.

Stanovení cílové hodnoty je vhodné provést jedním z těchto způsobů:

- podle nejlepšího předchozího výkonu,
- podle plánovaného (očekávaného) výkonu.

Při implementaci normování spotřeby energie je tedy pro každý předmětný subsystém určit:

- nezávislé specifické proměnné,
- velikost statického souboru,
- výchozí normy spotřeby energie,
- hodnotu cílových norem spotřeby.

Aby proces řízení spotřeby energie na bázi norem spotřeby byl správně implementován, je nutné ještě formulovat další řídicí, kontrolní a motivační pravidla, konkrétně:

- operativní řízení
- řešení odchylek,
- kontrola,
- systém motivace.

Operativní řízení

Operativní řízení zajišťují příslušní odpovědní pracovníci a jeho předmětem je:

- monitorování a evidence údajů o spotřebě energie a produkci,
- monitorování technického stavu energetického subsystému,
- vyhodnocování dosažených údajů jejich porovnáním s normovanými,
- identifikace a kvalifikace odchylek od normových hodnot,
- odstraňování odchylek.

Řešení odchylek

V případě zjištění odchylek je nezbytné z strany příslušného odpovědného pracovníka zajistit identifikaci příčin a přijmout příslušná nápravná opatření. Pokud jsou příčiny zásadního charakteru ovlivňující stanovení normy spotřeby je třeba rozhodovat o dalším postupu na vyšší úrovni managementu.

Kontrola

Funkci ,kontroly systému řízení spotřeby energie zajišťuje obvykle top manager předmětného energetického hospodářství.

Kontrolu je třeba provádět pravidelně (např. ve frekvenci 2x do roka) přičemž jsou pro-
věřovány tyto aspekty:

- funkčnost systém a informačního toku,
- aktuálnost stanovených norem spotřeby,
- funkci měřidel,
- ekonomické efekty aplikovaného systému řízení.

Motivace

V rámci implementace norem spotřeby energie je účelné rovněž konkretizovat systém
motivace zainteresovaných pracovníků, přičemž je vhodné využít tyto nástroje:

- odměny v případě dosažení nižších hodnot spotřeby než normovaných,
- odměny v případě dosažených cílových norem spotřeby,
- sankce za překročení stanovených norem spotřeby.

Princip odměn by měl mít progresivní charakter s tím, že základem je vždy hodnotové
vyjádření dosažená úspora a tato částka je dělena na zisk pro organizaci a odměnu pro
personál v dohodnutém poměru k hodnotovému vyjádření případné ztráty

Optimalizační kritéria

Význam a východiska optimalizace

Teorie optimalizace je matematickou disciplínou, která se zabývá určováním minimál-
ních a maximálních hodnot funkcí (funkcionálů) při určitých omezujících podmínkách, tj.
řešením optimalizačních úloh.

S optimalizačními úlohami nejrůznějšího druhu se v praxi setkáváme velmi často. Větši-
nou jsou formulovány slovně a řeší se na základě zkušeností a intuice. Takový přístup při
současné úrovni rozvoje vědy a techniky již zcela nestačí. Neposkytuje objektivní a vě-
decké podklady pro řízení a rozhodování a dokonce dovoluje vzniknout spekulativním
závěrům.

Převedeme-li optimalizační úlohu na matematický tvar, pak její vyřešení je otázkou ma-
tematické rutiny a výpočetní techniky. Použitím samočinných počítačů a programovatelných
kalkulátorů lze značně zkrátit časy řešení optimalizačních úloh, a tím velmi pod-
statně zvýšit efektivnost rozhodování a řízení.

Velmi obvyklou optimalizační podmínkou je minimalizace nákladů na chod energetické-
ho systému, z obecného hlediska se jedná o nalezení minima funkce nákladů na spotřebu
(výrobu) energie a médií.

V dalším textu je nastíněn obecný postup optimalizace.

Minimalizace funkce

Množinu X budeme nazývat množinou přípustných řešení (bodů, vektorů) a funkci $f(\mathbf{x})$ – **účelovou funkcí** nebo kritériem optimality.

Nyní si můžeme formulovat **obecný problém statické optimalizace** ve tvaru úlohy minimalizace účelové funkce $f(\mathbf{x})$ na množině přípustných řešení $X \subset \mathbb{R}^n$

$$\mathbf{x}^* = \arg \min_{\mathbf{x} \in X} f(\mathbf{x}), \quad (1.1)$$

resp.

$$f^* = \min_{\mathbf{x} \in X} f(\mathbf{x}), \quad (1.2)$$

kde

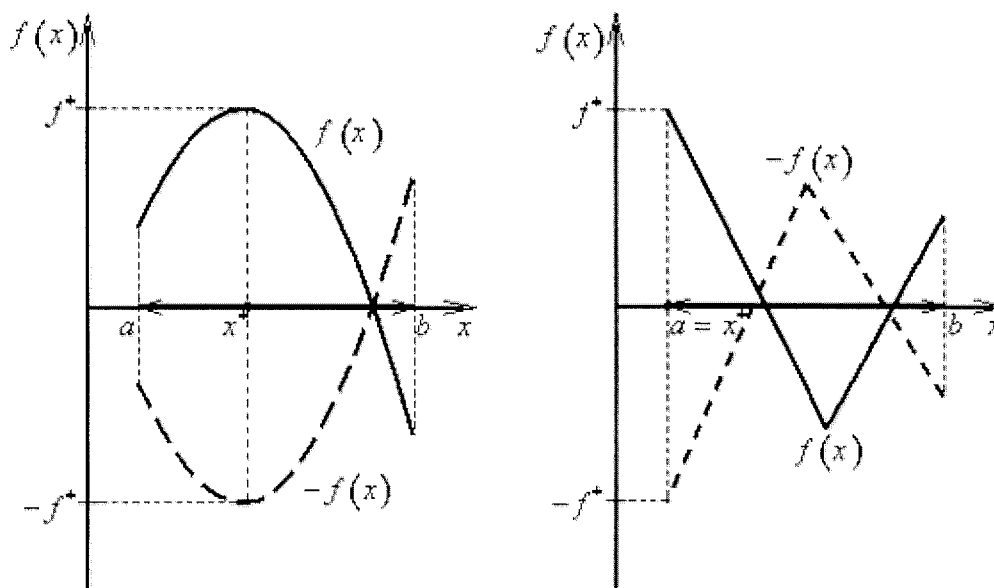
$$f^* = f(\mathbf{x}^*). \quad (1.3)$$

Úlohu maximalizace účelové funkce $f(\mathbf{x})$ na množině přípustných řešení X lze rovněž zastoupit úlohou minimalizace (1.1), resp. (1.2), protože platí:

$$\mathbf{x}^* = \arg \max_{\mathbf{x} \in X} f(\mathbf{x}) = \arg \min_{\mathbf{x} \in X} [-f(\mathbf{x})], \quad (1.4)$$

resp.

$$\max_{\mathbf{x} \in X} f(\mathbf{x}) = -\min_{\mathbf{x} \in X} [-f(\mathbf{x})]. \quad (1.5)$$



Obr.: Úlohy minimalizace a maximalizace

Platí dokonce obecnější vztahy

$$\mathbf{x}^* = \arg \max_{\mathbf{x} \in X} f(\mathbf{x}) = \arg \max_{\mathbf{x} \in X} [a + b f(\mathbf{x})] = \arg \min_{\mathbf{x} \in X} [a - b f(\mathbf{x})], \quad (1.6)$$

resp.

$$\max_{\mathbf{x} \in X} f(\mathbf{x}) = \frac{1}{b} \left\{ \max_{\mathbf{x} \in X} [a + b f(\mathbf{x})] - a \right\} = -\frac{1}{b} \left\{ \min_{\mathbf{x} \in X} [a - b f(\mathbf{x})] - a \right\}, \quad (1.7)$$

kde a je libovolné číslo, b je libovolné kladné číslo.

Proto se dále budeme zabývat především minimalizací.

V úloze minimalizace (1.1), resp. (1.2) je třeba určit vždy globální minimum účelové funkce $f(\mathbf{x})$ na množině přípustných řešení X . Protože všechny doposud známé metody řešení těchto úloh dovolují určit pouze lokální minima (extrémy), k vyznačení globálního minima je třeba disponovat dodatečnou informací o vlastnostech účelové funkce $f(\mathbf{x})$ a množiny přípustných řešení X .

Věty o extrémech

Pro statickou optimalizaci má základní význam **Weierstrassova věta**:

„Nechť neprázdná množina přípustných řešení X je kompaktní [tj. omezená (ohraničená) a uzavřená], pak spojitá účelová funkce $f(\mathbf{x})$ definovaná na této množině nabývá na ní globálního minima i maxima“.

Předpoklady o vlastnostech účelové funkce $f(\mathbf{x})$ mohou být oslabeny a nahrazeny podmínkou:

- a) globální minimum – účelová funkce $f(\mathbf{x})$ musí být zdola omezená na množině X ;
- b) globální maximum – účelová funkce $f(\mathbf{x})$ musí být shora omezená na množině X .

Podmínky Weierstrassovy věty jsou postačující.

Další důležitou větou statické optimalizace je věta vyjadřující **postačující podmínky pro globální extrémy**:

„Nechť neprázdná množina přípustných řešení X je kompaktní a konvexní, účelová funkce $f(\mathbf{x})$ je spojitá a konvexní (resp. konkávní) na X , pak platí:

- a) lokální minimum (resp. maximum) je globálním minimem (resp. maximem);
- b) množina bodů, na které účelová funkce $f(\mathbf{x})$ dosahuje minima (resp. maxima) je konvexní;

c) pro ryze konvexní (resp. konkávní) účelovou funkci $f(\mathbf{x})$ lokální minimum (resp. maximum) je jednoznačným ostrým globálním minimem (resp. maximem)“.

Dosud jsme uvažovali kritérium optimality ve tvaru účelové funkce, tj. reálné funkce reálných proměnných. V tomto případě **optimalizace** se nazývá **statická** a spočívá v minimalizaci (maximalizaci) funkce. Pro statickou optimalizaci se rovněž používá ekvivalentní pojem matematické programování.

V některých případech kritérium optimality může mít tvar účelového funkcionálu, tj. reálného funkcionálu, u kterého nezávisle proměnné jsou reálné funkce reálné proměnné (nejčastěji času). Řešením těchto problémů se zabývá **dynamická optimalizace** a spočívá v minimalizaci (maximalizaci) daného funkcionálu.

Klasifikace matematických metod řešení úloh optimalizace

Klasifikace metod řešení úloh statické a dynamické optimalizace je velmi složitým problémem a má vždy charakter určité domluvy. Proto také každá klasifikace má své nedostatky.

Základní rozdělení metod statické a dynamické optimalizace:

a) **Analytické metody** – využívají výsledků klasických i neklasických metod diferenciálního a variačního počtu.

b) **Numerické (algoritmické) metody** – využívají každou předcházející informaci v iteračním procesu ke zlepšení řešení, přičemž se pracuje s konkrétními numerickými hodnotami.

c) **Grafické metody** – jsou založeny na grafickém zobrazení dané optimalizační úlohy a na její grafické analýze.

d) **Experimentální metody** – experimentuje se přímo s reálnými objekty (veličinami), přičemž výsledky předcházejícího experimentu jsou využívány k plánování následujícího experimentu, což umožňuje dosáhnout zlepšení řešení.

V úlohách statické optimalizace (matematického programování) množina přípustných řešení $X \subset \mathbb{R}^n$ je nejčastěji tvořena omezujícími (vazebními) funkcemi $\{g_i(\mathbf{x})\}$, omezujícími (vazebními) konstantami $\{b_i\}$ a podmínkami nezápornosti proměnných $\{x_j\}$, tj.

$$X = \left\{ \mathbf{x} : g_i(\mathbf{x}) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \right\}. \quad (1.8)$$

Jsou-li omezující funkce ve vztahu (1.7) a účelová funkce lineární, tj.

$$g_i(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1.9)$$

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j, \quad (1.10)$$

přičemž koeficienty a_{ij} , b_i a c_j , a jsou známé konstanty, pak jde o úlohu **lineárního programování**. Ve všech zbývajících případech jde o úlohy **nelineárního programování**.

Pro řešení úloh lineárního programování existuje celá řada metod. Nejznámější a nejuni-verzálnější je simplexová metoda.

Pro řešení úloh nelineárního programování neexistuje podobná univerzální metoda. Ke každému nelineárnímu problému je třeba přistupovat zvlášť a při jejich řešení je nutno uvažovat všechny vlastnosti účelové funkce $f(\mathbf{x})$ a množiny přípustných řešení X . Proto úlohy nelineárního programování se dělí z hlediska možných metod řešení.

Speciální, velmi důležitou, třídu úloh nelineárního programování tvoří případy, kdy množina přípustných řešení je celý n -rozměrný euklidovský prostor, tj.

$$X = \mathbb{R}^n. \quad (1.11)$$

V tomto případě hovoříme o úlohách na volný extrém nebo **optimalizačních úlohách bez omezení**.

Je-li množina přípustných řešení X tvořena rovnostmi

$$g_i(\mathbf{x}) = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1.12)$$

pak jde o klasickou úlohu na vázaný extrém nebo optimalizační úlohu s omezeními ve tvaru **rovností**.

Úlohy nelineárního programování s množinou přípustných řešení X v obecném tvaru (1.8) se nazývají úlohy na vázaný extrém nebo **optimalizační úlohy s omezeními ve tvaru rovností a nerovností**.

Je-li účelová funkce $f(\mathbf{x})$ a množina přípustných řešení X konvexní, pak hovoříme o **konvexním programování**, v opačném případě – o **nekonvexním programování**.

Úlohami dynamické optimalizace se v těchto textech zabývat nebudeme. K jejich řešení slouží v podstatě tři metody ve verzi jak spojité, tak i diskrétní: variační počet, princip maxima (minima) a dynamické programování. V poslední době i k úlohám dynamické optimalizace se stále častěji používají metody nelineárního programování.

Příklady technických řešení použití řídicích systémů pro úspory energie

Příklad osazení předávací stanice tepla měřicími a ovládacími prvky

Předávací stanice projektované v současné době jsou vybavovány poměrně bohatým zařízením měření, regulace a signalizace, které zajišťuje autonomní provoz těchto stanic. Všechna tato zařízení je možno v podstatě rozdělit na tyto okruhy:

- a) místní poruchové automatiky
- b) automatiky hospodárné dodávky tepla
- c) automatiky zajišťující hydraulickou stabilitu tepelné sítě a omezení maximálního odběru teplotnosné látky z tepelné sítě
- d) automatiky zajišťující chod stanice a otopné soustavy
- e) místního měření
- f) místní signalizace poruchových stavů
- g) vysílačů poruchových stavů
- h) dálkového ovládání

a) Okruhy místní poruchové automatiky

- Jištění proti stoupanutí teploty vzduchu v předávací stanici nad zvolenou mezní hodnotu (obvykle 45 °C)
- Jištění proti zaplavení podlahy předávací stanice.
- Jištění proti stoupanutí teploty v sekundární soustavě vytápění nad zvolenou mezní hodnotu (100 až 110 °C)
- Jištění proti stoupanutí teploty ohřáté užitkové vody nad zvolenou mezní hodnotu (65 až 70 °C)
- Okruh tlakového izolování stanice pro případ přestoupení normálních tlakových hodnot
- Okruh odstavení předávací stanice při výpadku elektrické energie

b) Okruhy automatiky hospodárné dodávky tepla

- Okruh automatické regulace teploty topné vody (střední nebo přívodní) v závislosti na počasí (venkovní teplotě, směru a síle větru a slunečním svitu) nebo podle předem zadaného programu (noční útlum, víkendový program atd.)
- Okruh regulace teploty teplé užitkové vody
- Okruh regulace teploty vratné primární vody při její zadané maximální hodnotě

c) Okruhy automatiky zajišťující hydraulickou stabilitu tepelné sítě a omezení maximálního odběru teplotnosné látky z tepelné sítě

- Regulace tlakové difference u předávacích stanic ve vodních tepelných sítích
- Omezení maximálního průtoku teplotnosné látky předávací stanicí v parní i vodní tepelné síti

d) Okruhy automatiky zabezpečující chod předávací stanice a otopné soustavy

- Okruh doplňování sekundární otopné soustavy
- Okruh zabezpečující otopnou soustavu před poklesem hladiny vody za provozu
- Okruhy zabezpečující automatický a volitelný provoz čerpadel s možností volby hlavního čerpadla a s automatickým záskokem záložního čerpadla:
 - oběhových čerpadel ústředního vytápění
 - oběhových čerpadel teplé užitkové vody
 - čerpadel na přečerpávání kondenzátu
 - kalových čerpadel

e) *Okruhy místního měření*

- Měření množství dodávaného tepla z tepelné sítě
- Měření průtočného množství primární teplotonosné látky
- Měření množství vráceného kondenzátu
- Měření množství doplňkové vody
- Měření množství studené užitkové vody
- Měření zvolených provozních veličin (tlaků a teplot v primární i sekundární části předávací stanice)

f) *Okruhy místní signalizace provozních stavů*

V každé předávací stanici půjde o signalizaci poruchových a havarijních stavů.

- Poruchový stav je definován tím, že při něm bylo uvedeno do provozu záložní zařízení (např. oběhové čerpadlo)
- Havarijní stav je definován tím, že při něm došlo k přerušení dodávky tepla

I. Poruchové stavy:

- výpadek jednoho oběhového čerpadla otopné soustavy
- výpadek hlavního cirkulačního čerpadla TUV
- stoupnutí tlaku v sekundární otopné soustavě
- pokles hladiny vody v otopné soustavě

II. Havarijní stavy:

- výpadek obou oběhových čerpadel otopné soustavy
- odstavení předávací stanice při přestoupení povolené teploty vzduchu v předávací stanici
- odstavení předávací stanice při jejím zaplavení vodou
- odstavení předávací stanice při přehřátí otopné soustavy
- odstavení předávací stanice při přehřátí TUV
- odstavení předávací stanice bezpečnostním uzávěrem při výpadku elektřiny nebo v jiných případech
- nedodání tepla pro vytápění mimo případ dálkového odstavení
- nedodání tepla pro ohřev TUV mimo případ dálkového odstavení

g) *Vysílače provozních stavů*

Do dispečerského centra musí být zajištěn přenos výsledných provozních stavů předávací stanice, a to:

- normální stav
- poruchový stav
- havarijní stav

h) *Okruhy dálkového ovládání*

V tomto případě jde o zajištění příjmu signálu pro uskutečnění omezovacích nebo jiných regulačních opatření:

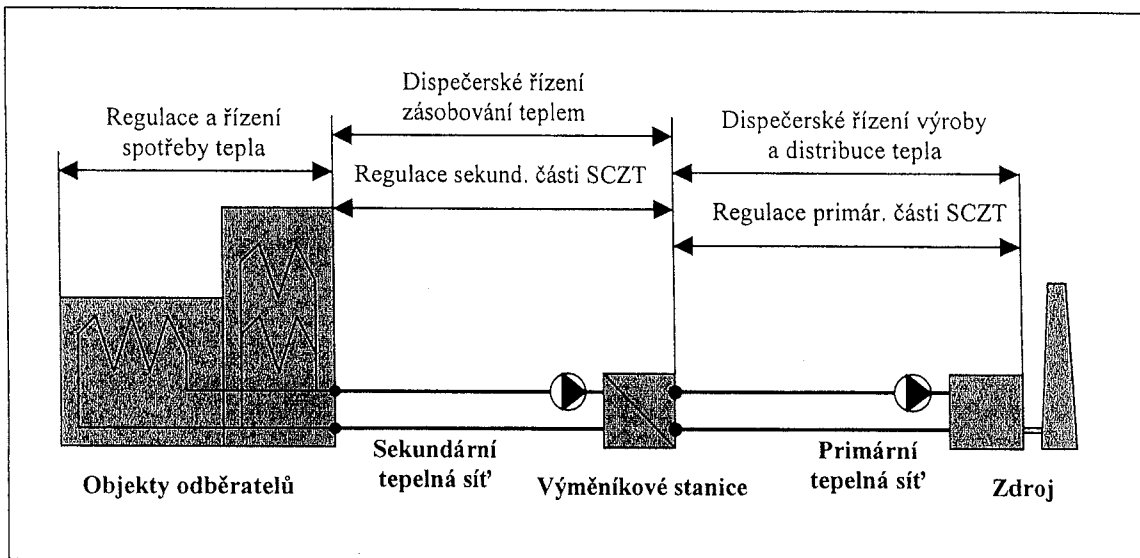
- Omezení ohřevu užitkové vody
- Změna dodávky tepla pro vytápění (např. nastavení nočního útlumu nebo změna charakteristiky na regulátoru)
- Celkové omezení dodávky tepla do předávací stanice

Regulace a řízení teplotních soustav

Regulaci teplotních soustav lze v principu rozdělit do tří řídicích úrovní. Jsou to :

- Regulace a řízení spotřeby tepla v objektech
- Regulace a řízení sekundárních částí SCZT
- Regulace a řízení primárních částí SCZT

Šchematické znázornění celého systému řízení a regulace v rozsáhlých SCZT je provedeno na obrázku:



Obrázek: Schématické znázornění celého systému řízení a regulace v rozsáhlých SCZT

Řízení dodávky tepla v objektech se realizuje prvotně změnou kvalitativních parametrů, tedy změnou teploty topné vody v závislosti na teplotě vnějšího prostředí (ekvitermní regulace), případně v závislosti na teplotě v referenčním bodě objektu. Průběh teploty topné vody je dále korigován závislostí na čase. Takovýto způsob regulace obvykle tvoří základní prvek regulačního systému, který je podle potřeby doplňován různými formami omezení dodávky tepla do dílčích částí systému (jednotlivých otopných ploch) škrcením průtoku teplotonosné látky (termostatická regulace), nebo podružnými okruhy regulace teploty topné vody.

Parní otopné systémy jsou v současnosti využívány převážně v průmyslu a regulace probíhá prakticky vždy škrcením množství dodávané páry do spotřebičů, nebo škrcením odvodu kondenzátu (zaplavením teplosměnné plochy).

Řízení spotřeby tepla pro vytápění a řízení odběru TUV lze provádět od nejjednoduššího způsobu užití ručně ovladatelných ventilů až po aplikaci složitějších prvků, jako jsou termostatické ventily s programovatelnými hlavicemi, nebo směšovače TUV používané např. v mateřských školkách, nebo v plaveckých bazénech.

Regulace a řízení sekundárních částí SCZT představuje v podstatě regulaci a řízení výměňkových stanic, což obnáší :

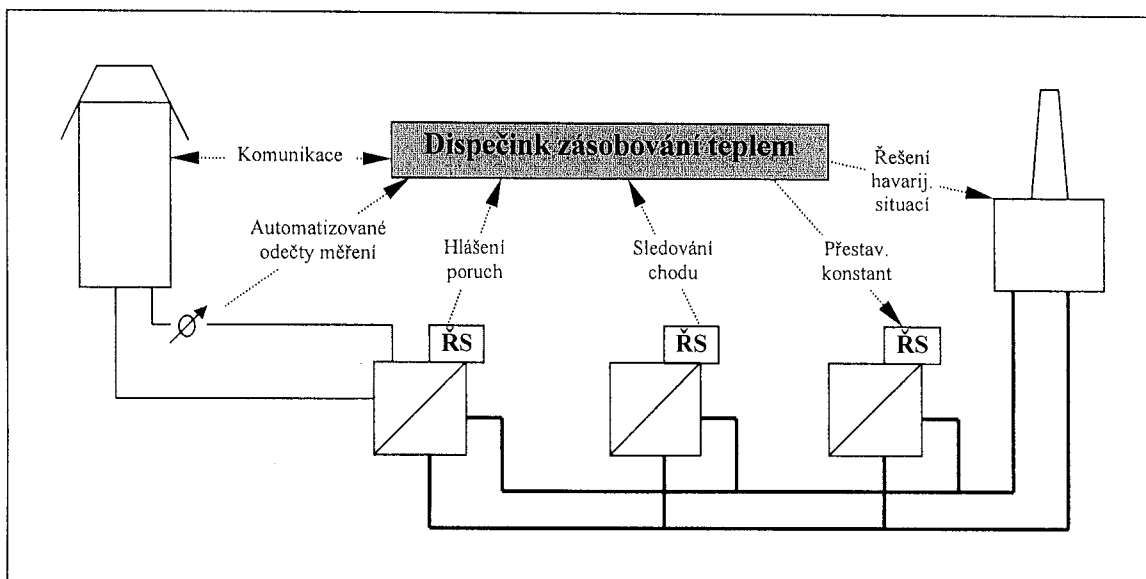
- Regulaci odběru tepla z primární sítě
- Řízení výstupní teploty vody do sekundárních okruhů
- Řízení průtoků a tlaků v sekundárních okruzích
- Řízení a regulaci dodávek TUV (není-li příprava TUV realizována v objektech)

Celá tato regulace u moderních výměňkových stanic probíhá zcela automaticky, tj. na základě povelů generovaných programově nastavitelnou centrální řídicí jednotkou. Do této jednotky jsou přiváděny měřené hodnoty teplot a tlaků, které jsou vyhodnocovány a zpracovávány v řídicích algoritmech (od nejjednodušších ekvitermních až po složitější zohledňující časové náběhy a další vlivy) a následně řídicí jednotky vysílají impulsy k ovládní pohonů regulačních armatur a oběhových čerpadel.

Řídicí systémy výměňkových stanic jsou obvykle koncipovány jako zcela autonomní, přesto bývají u rozsáhlejších soustav s větším počtem stanic budovány tzv. oblastní dispečinky zásobování teplem, jejichž účelem je, nebo může být :

- Sledování chodu jednotlivých výměňkových stanic
- Identifikace poruchových stavů
- Kontrola parametrů v referenčních bodech
- Ovlivňování (přestavování) konstant řídicích algoritmů
- Automatické odečty odběrů tepla
- Rychlá komunikace s hlavními dodavateli a hlavními odběrateli
- Řešení krizových a havarijních stavů.

Schématické znázornění rozsahu řízení a regulace sekundárních částí SCZT je znázorněna na obrázku:



Obrázek: Schématické znázornění rozsahu řízení a regulace sekundárních částí SCZT

Regulace a řízení primární části SCZT obnáší :

- Řízení teplotních poměrů v primární síti (kvalitativní regulace)
- Řízení hydraulických poměrů v primární síti (kvantitativní regulace)
- Přerozdělování výkonu mezi zdroje soustavy

Řízení teplotních poměrů v primární síti představuje řízení výstupní teploty ze zdrojů v závislosti na průběhu venkovní teploty a tvaru denního diagramu zatížení. Požadavky na změny výstupní teploty ze zdrojů vycházejí z dispečerského centra, prakticky je realizují regulace instalované na kotlích, výměňkových, nebo směšovacích stanicích.

Řízení hydraulických poměrů v primární síti představuje řízení tlakových poměrů na prahu zdroje tak, aby byly dodrženy požadované tlakové poměry u jednotlivých odběratelů tepla, nedocházelo k překročení konstrukčního tlaku, nebo naopak k podkročení tlakové meze odparu.

Požadavky na změny tlakových poměrů na prahu zdroje vycházejí buď z přímého měření v referenčních bodech sítě, nebo opět z dispečerského centra, prakticky jsou zajišťovány regulacemi pohonů v čerpacích, doplňovacích, směšovacích, nebo přečerpávacích stanicích.

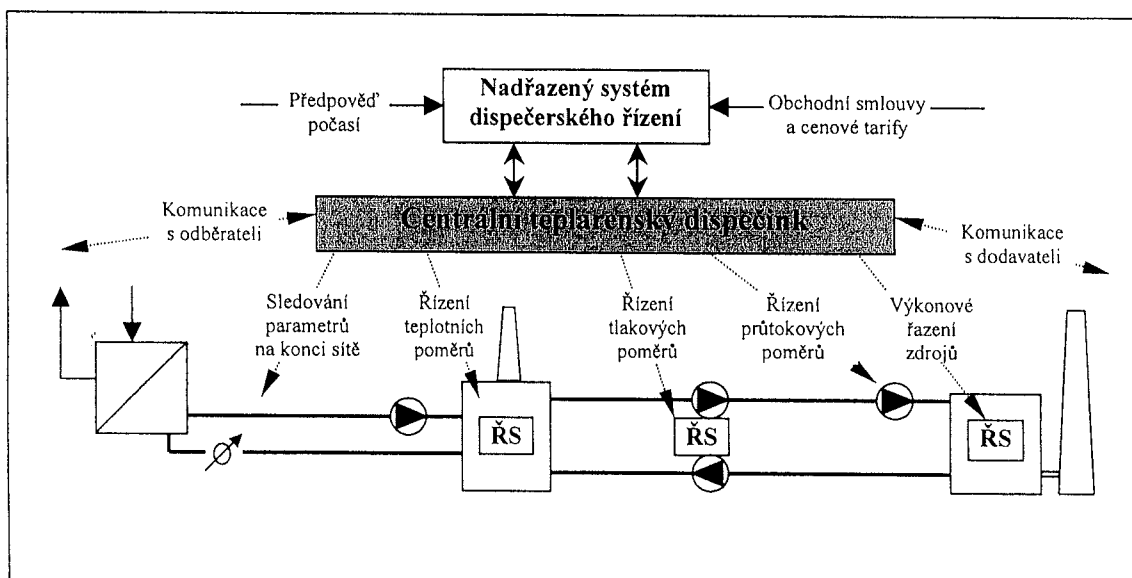
Přerozdělování výkonů mezi zdroje soustavy znamená řazení zdrojů nebo kotlů podle jejich provozně ekonomických vlastností, najíždění a odstavování špičkových zdrojů, atd.

U dispečerského systému řízení primární části SCZT se však na rozdíl od dispečerského řízení sekundární části SCZT setkáváme s několika novými aspekty. Předně je to dopravní zpoždění, tj. doba, za kterou se změna teploty oběhové vody realizovaná na zdroji projeví u odběratele (u rozsáhlých soustav to bývá až několik hodin), dále je to současná výroba elektrické energie s odlišnými požadavky na časové průběhy dodávek a konečně i měnící se struktury cen spotřebovávaných paliv a energií v různých zdrojích soustavy.

K tomu, aby byl dispečer primární části SCZT schopen postihnout všechny tyto vlivy, nebo jinými slovy, aby vydal správné povely ve správný okamžik, bývá dispečerské pracoviště vybaveno ještě tzv. nadstavbovými systémy dispečerského řízení, které umožňují :

- Provádět predikci zatížení soustavy s ohledem na předpověď počasí
- Programově využívat přirozené akumuláční schopnosti tepelné sítě, nebo statických akumulátorů tepla
- V předstihu provádět opatření pro dodržení sjednaných objemů výroby a dodávek elektrické energie
- Zpracovávat krátkodobé plány a přípravy provozu
- Nasazovat zdroje soustavy podle kritérií nejnižších celkových nákladů systému
- V předstihu přijímat rozhodnutí o způsobech řešení havarijních a poruchových stavů

Schématické znázornění rozsahu řízení a regulace primární části SCZT je znázorněné na obrázku



Obrázek: Schématické znázornění rozsahu řízení a regulace primární části SCZT

Výše uvedené příklady slouží pro demonstraci možných hodnot, které mohou být měřeny, přenášeny, archivovány a nadále zpracovávány v oblasti teplotních soustav.

Obdobně bychom mohli definovat základní hodnoty pro plynárenská a elektroenergetická zařízení.

Základní zásady, které je nutno zejména při volbě snímaných a vyhodnocovaných hodnot dodržovat, jsou:

- pracovat pouze s relevantními hodnotami,
- při návrhu systému brát v úvahu, že každý údaj, který má být zpracováván, reprezentuje ve svém výsledku určité ekonomické náklady na další zpracování,
- dodržovat unifikaci přístrojové základny.

Energetický management energetických systémů

Klasifikace systémů z hlediska energetického managementu

Dle složitosti systému energetického hospodářství lze rozlišovat i stupeň složitosti řízení spotřeby energie na:

- manuální řízení spotřeby energie,
- objektový energetický management,
- systémový energetický management.

Manuální řízení spotřeby energie

Tento způsob řízení spotřeby energie je účelný v jednoduchých energetických systémech s malou spotřebou energie. Obvykle je řízeným subsystémem vytápění a systém zásobování elektrickou energií.

Uplatněny jsou pouze základní ovládací a regulační prvky, které jsou obsluhovány uživatelem objektu. Údaje o spotřebě energie jsou indikovány obvykle pouze pokud se jedná o budovu samostatně zásobovanou energií.

Řízení spotřeby energie je realizováno na bázi hospodárnosti ve vztahu k době užívání předmětné formy energie, přičemž je často účelné pro uživatele formulovat jednoduché provozní pokyny.

Objektový energetický management

Tento způsob řízení spotřeby energie je uplatňován zejména samostatných technologických celků nebo u budov samostatně zásobovaných energií např. obytných budov, administrativních budov, budov terciární sféry nebo budov, které jsou sice součástí skupiny budov, ale řízení spotřeby energie je decentralizováno.

Objektový energetický management je obecně založen na těchto principech:

- sledování obsazenosti v čase a rozsahu obsazení, optimalizace spotřeby energie v této závislosti,
- měření a řízení dodávek jednotlivých forem energie a médií,
- optimalizace spotřeby energie s využitím akumulačních schopností technických a technologických vlastností objektu a energetických zařízení,
- optimalizace cenových tarifů nakupovaných forem energie,
- sledování, archivace a vyhodnocování základních a doplňkových údajů a energetické náročnosti, porovnání s normovými a zákonnými hodnotami,
- zjišťování účinnosti energetických procesů,
- pravidelná kontrola stavu stavební konstrukce a energetického výrobního, rozvodného a spotřebního zařízení,
- optimalizace cenových tarifů nakupovaných forem energie,
- sledování, archivace a vyhodnocování základních doplňkových údajů o energetické náročnosti, porovnání s normovými a zákonnými hodnotami,
- zjišťování účinnosti energetických procesů,
- pravidelná kontrola stavu stavební konstrukce a energetického výrobního, rozvodného a spotřebního zařízení.

Objektový energetický management je základním prvkem v řízení rozsáhlých energetických systémů (např. průmyslové výrobní systémy, soustavy budov, apod.).

Systémový energetický management

Tento způsob řízení energetického hospodářství je uplatňován u rozsáhlejších systémů složených zpravidla ze soustavy budov, energetických zařízení a energetických systémů.

Z technického hlediska je koncepce takového systému provedena obvykle formou tzv. inteligentní budovy s integrovanými systémy nebo uceleného hierarchicky členěného energetického a řídicího systému. Jednotlivé složky vzájemné vazby mezi nimi jsou optimalizovány a tím je dosaženo nákladově efektivního prostředí.

Vazba mezi jednotlivými systémy je řešena u jednotlivých zařízení buď společným protokolem nebo integrátorem. Řídící algoritmy pro technologii, energetické subsystémy, vytápění, vzduchotechniku nebo chlazení jsou řešeny v decentralizovaném řídicím systému s inteligencí rozloženou obvykle do tří úrovní:

a) procesní úroveň – lokální řízení

Tato úroveň je tvořena mikroprocesorovými regulátory, k jejichž vstupům jsou připojeny jednotlivé snímače a čidla regulovaných a měřených veličin spolu se signály provozních a poruchových stavů. Regulátory jsou vybaveny příslušnými algoritmy řízení daného zařízení a musí být schopny autonomní funkce, aby v případě přerušení komunikace s řídicími moduly bylo zachováno řízení lokálního systému na základě definovaného lokálního algoritmu.

b) nadřazená automatizační úroveň

Tato úroveň je tvořena síťovými řídicími jednotkami využívajícími operační systém pracující v reálném čase. Koordinují tak činnost všech komunikujících komponentů a zabezpečují vzájemnou komunikaci procesních regulátorů a realizují řídicí algoritmy vyšší úrovně.

Síťové řídicí jednotky zajišťují zejména:

- realizaci komplexních časových programů,
- sběr historických dat, tj. historii bodů a trendy,
- definici databází,
- komunikaci v rámci automatizační úrovně.

c) Úroveň správy informací – operátorská stanice

Jednotlivé pracovní stanice jsou připojeny k systémové síti, kterou předávají obsluhu zpracované informace o řízených technologiích a objektech. Základními funkcemi těchto pracovních stanic je:

- zobrazení jednotlivých oblastí řízených objektů grafickou formou,
- zobrazení textových informací o stavu řízených systémů,
- automatická alarmová hlášení s rozlišeným stupněm priority.

Závěr

Tato publikace si kladla za cíl seznámit čtenáře se základními aspekty problematiky měření, řízení a optimalizace spotřeby energie ve všech mezioborových souvislostech.

Publikace zdůrazňuje v logickém sledu - měření – řízení – optimalizace – kroky, které by měl realizovat provozovatel nebo vlastník energetického systému s důrazem na legislativní rámec vykonávaných činností v procesu postupující liberalizace energetického trhu.

Závěrem zdůrazňujeme, že je zapotřebí při realizaci jakýchkoli investičních akcí v energetice dbát na povinnosti, plynoucí z platné legislativy v oblasti metrologie, výroby, distribuce a užití energie.

Současná doba je poznamenána intenzivní legislativní činností v energetice, v závěru roku 2004 má být novelizován energetický zákon a v roce 2005 má být novelizován v návaznosti na legislativu Evropské unie i zákon o hospodaření energií.

Doporučujeme všem účastníkům energetického trhu bedlivě sledovat probíhající legislativní proces, protože dopady na subjekty hospodařící s palivy a energií ve všech jejích formách v rámci České republiky mají být významné.

Přílohy

- 1) Vyhláška MPO č. 264/2000 Sb. o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování.
- 2) Měření odběru elektrické energie – příklad zapojení dvousazbového měřicího zařízení s jednopovelovým přijímačem HDO.
- 3) Příklad zapojení měřicí soupravy pro odběr a dodávku z asynchronního generátoru s výkonem nad 25 kW.
- 4) Příklady zapojení měření dodávky tepelné energie v páře a kondenzátu
- 5) Měření dodávky zemního plynu – přepočty hodnot atmosférického tlaku
- 6) Příklady zásobování sítě z jednoho nebo dvou míst s kolísavým spalným teplem objemovým.
- 7) Výpočet váženého průměru spalného tepla objemového za odečtovou dobu při dodávce plynu ze zdroje A_1 .
- 8) Příklad výpočtu dodané energie v zemním plynu.
- 9) Doporučené konstanty pro výpočet spalného tepla objemového převzaté z ISO 6976 při vztažné teplotě 15 °C a referenční teplotě spalování 15 °C.
- 10) Příklady dodávek zemního plynu s různou kvalitou.

Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu
ze dne 14. července 2000,
o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování
č. 264/2000 Sb.

byla zveřejněna v částce 77 Sbírky zákonů České republiky,
kteřá byla rozeslána 17. srpna 2000.

Vyhláška nabyła účinnosti dnem vyhlášení, tj. 17. srpna 2000.

Ediční poznámka:

Pro úplnost je text uvedena tak, jak byl zveřejněn ve Sbírce zákonů České republiky

264**VYHLÁŠKA****Ministerstva průmyslu a obchodu**

ze dne 14. července 2000,

o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování

Ministerstvo průmyslu a obchodu stanoví podle § 27 zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění zákona č. 119/2000 Sb., (dále jen „zákon“) k provedení § 2 odst. 1 zákona:

§ 1

Základními měřicími jednotkami a ostatními jednotkami ve smyslu zákona jsou jednotky uvedené v příloze k této vyhlášce.

§ 2

Základní měřicí jednotky a ostatní jednotky se neuplatňují u výrobků a zařízení, které byly uvedeny na trh nebo do provozu před datem účinnosti této vyhlášky, a u součástí nebo částí výrobků a zařízení nutných pro doplnění nebo nahrazení součástí nebo částí těchto výrobků a zařízení.

§ 3**Účinnost**

Tato vyhláška nabývá účinnosti dnem vyhlášení.

Ministr:

doc. Ing. Grégr v. r.

1. JEDNOTKY SI A JEJICH DESETINNÉ NÁSOBKY A DÍLY

1.1 Základní jednotky SI

Veličina	Jednotka	
	Název	Značka
Délka	metr	m
Hmotnost	kilogram	kg
Čas	sekunda	s
Elektrický proud	ampér	A
Termodynamická teplota	kelvin	K
Látkové množství	mol	mol
Svítivost	kandela	cd

1.1.1 Zvláštní název a značka jednotky teploty soustavy SI pro vyjádření Celsiovy teploty

Veličina	Jednotka	
	Název	Značka
Celsiova teplota	stupeň Celsia	°C

Celsiova teplota t je definována jako rozdíl $t = T - T_0$ mezi dvěma termodynamickými teplotami T a $T_0 = 273.15$ K. Interval nebo rozdíl teploty může být vyjádřen buď v kelvinech nebo ve stupních Celsia. Jednotka „stupeň Celsia“ je rovna jednotce „kelvin“.

1.2 Další jednotky SI

1.2.1 Odvozené jednotky

Odvozené jednotky SI lze odvodit pomocí definičních fyzikálních vztahů zapsaných obvyklým způsobem ve formě veličinových rovnic, tj. pomocí značek veličin.

1.2.2 Odvozené jednotky SI s názvy a značkami

Veličina	Jednotka		Vyjádření	
	Název	Značka	V jiných jednotkách SI	Pomocí základních jednotek SI
Rovinný úhel	radián	rad		$m m^{-1} = 1$
Prostorový úhel	steradián	sr		$m^2 m^{-2} = 1$
Kmitočet	hertz	Hz		s^{-1}
Síla	newton	N		$m kg s^{-2}$
Tlak, napětí	pascal	Pa	$N m^{-2}$	$m^{-1} kg s^{-2}$
Energie, práce, množství tepla	joule	J	$N m$	$m^2 kg s^{-2}$
Výkon ¹⁾ , zářivý tok	watt	W	$J s^{-1}$	$m^2 kg s^{-3}$
Elektrický náboj	coulomb	C	$A s$	$s A$
Elektrický potenciál, rozdíl potenciálů, elektromotorická síla	volt	V	$W A^{-1}$	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
Elektrický odpor	ohm	Ω	$V A^{-1}$	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
Vodivost	siemens	S	$A V^{-1}$	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
Kapacita	farad	F	$C V^{-1}$	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
Magnetický tok	weber	Wb	$V s$	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$
Magnetická indukce	tesla	T	$Wb m^{-2}$	$kg s^{-2} A^{-1}$
Indukčnost	henry	H	$Wb A^{-1}$	$m^2 kg s^{-2} A^{-2}$
Světelný tok	lumen	lm		$cd sr$
Osvětlení	lux	lx	$lm m^{-2}$	$m^{-2} cd sr$
Radioaktivita (radio-nuklidu)	becquerel	Bq		s^{-1}
Pohlčená dávka, specifická dodaná energie, kerma, index pohlčené dávky	gray	Gy	$J kg^{-1}$	$m^2 s^{-2}$
Ekvivalentní dávka	sievert	Sv	$J kg^{-1}$	$m^2 s^{-2}$

- ¹⁾ Speciální názvy pro jednotku výkonu: název volt-ampér (značka „VA“), je-li použit, vyjadřuje zdánlivý výkon střídavého elektrického proudu, a var (značka „var“), je-li použit, vyjadřuje jalový elektrický výkon. Jednotka var není zahrnuta v usneseních zasedání CGPM.

Definice jednotek rovinného a prostorového úhlu:

Jednotka rovinného úhlu

Radián je úhel mezi dvěma poloměry kružnice, které na obvodě vytínají oblouk stejné délky, jakou má poloměr.

(mezinárodní norma ISO 31 - 1: 1992)

Jednotka prostorového úhlu

Steradián je prostorový úhel kužele, který vytíná na povrchu koule se středem ve vrcholu kužele plochu rovnou ploše čtverce o stranách rovných poloměru koule.

(mezinárodní norma ISO 31 - 1: 1992)

Jednotky odvozené ze základních jednotek SI je možné vyjádřit pomocí jednotek uvedených v bodu 1.

Zejména odvozené jednotky SI lze vyjádřit pomocí speciálních názvů a značek uvedených v tabulce výše; např. jednotku SI dynamické viskozity je možné vyjádřit jako $\text{m}^{-1}\text{kg s}^{-1}$ nebo N s m^{-2} nebo Pa s.

1.3 Předpony a jejich značky používané pro označení dekadických násobků a dílů

Faktor	Předpona	Značka	Faktor	Předpona	Značka
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	mikro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	piko	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hekto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deka	da	10^{-24}	yokto	y

Názvy a značky desetinných násobků a dílů jednotky hmotnosti se vytvoří připojením předpon ke slovu „gram“ a jejich značek ke značce „g“.

Kde jsou odvozené jednotky vyjádřeny ve formě zlomku, tam lze jejich desetinné násobky a díly označit připojením předpony k jednotce v čitateli nebo ve jmenovateli nebo k oběma těmito částem.

Složené předpony, tedy předpony vytvořené sloučením několika výše uvedených předpon se nesmí používat.

1.4 Zvláštní povolené názvy a značky desetinných násobků a dílů jednotek SI

Veličina	Jednotka		
	Název	Značka	Hodnota
Objem	litr	l nebo L ¹⁾	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
Hmotnost	tuna	t	1 t = 1 Mg = 10 ³ kg
Tlak, napětí	bar	bar ²⁾	1 bar = 10 ⁵ Pa

1) Pro jednotku litr je možné použít dvě značky: „l“ nebo „L“.
(16. zasedání CGPM (1979), usnesení 5).

2) Jednotky uvedené v brožuře Mezinárodního úřadu pro váhy a míry mezi jednotkami, které jsou povoleny dočasně.

Poznámka: Předpony a jejich značky uvedené v bodě 1.3 lze použít ve spojení s jednotkami a značkami obsaženými v tabulce 1.4.

2. JEDNOTKY, KTERÉ JSOU DEFINOVÁNY NA ZÁKLADĚ JEDNOTEK SI, ALE NEJSOU DEKADICKÝMI NÁSOBKY NEBO DÍLY TĚCHTO JEDNOTEK.

Veličina	Jednotka		
	Název	Značka	Hodnota
Rovinný úhel	oběh * ^{1) a)}		1 oběh = 2π rad
	grad * nebo gon *	gon *	$1 \text{ gon} = \frac{\pi}{200} \text{ rad}$
	stupeň	°	$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$
	úhlová minuta	'	$1' = \frac{\pi}{10800} \text{ rad}$
	úhlová vteřina	''	$1'' = \frac{\pi}{648000} \text{ rad}$
Čas	minuta	min	1 min = 60 s
	hodina	h	1 h = 3 600 s
	den	d	1 d = 86 400 s

¹⁾ Značka (*), která následuje za názvem nebo značkou jednotky, udává, že se tato jednotka neobjevuje v seznamech sestavených CGPM, CIPM nebo BIPM. To platí pro celou tuto Přílohu.

a) Neexistuje žádná mezinárodní značka.

Poznámka: Předpony uvedené v bodě 1.3 se mohou používat pouze ve spojení s názvy „stupeň“ nebo „gon“ a značkou „gon“.

3. JEDNOTKY POUŽÍVANÉ V SI, JEJICHŽ HODNOTY BYLY STANOVĚNY EXPERIMENTÁLNĚ

Veličina	Jednotka		Definice
	Název	Značka	
Energie	elektronvolt	eV	Elektronvolt je kinetická energie, kterou získá elektron při průchodu potenciálním rozdílem 1 voltu ve vakuu
Hmotnost	unifikovaná atomová hmotnostní jednotka	u	Unifikovaná atomová hmotnostní jednotka se rovná 1/12 hmotnosti atomu nuklidu $^{12}_6\text{C}$

Poznámka: Předpony a jejich značky uvedené v bodě 1.3 lze používat ve spojení s těmito dvěma jednotkami a jejich značkami.

4. JEDNOTKY A NÁZVY JEDNOTEK POVOLENÉ POUZE VE SPECIALIZOVANÝCH OBLASTECH

Veličina	Jednotka		
	Název	Značka	Hodnota
Optická mohutnost optických soustav	dioptrie		1 dioptrie = 1 m ⁻¹
Hmotnost drahých kovů a kamenů	karát		1 metrický karát = 2.10 ⁻⁴ kg
Plocha zemědělské půdy a stavebních parcel	ar	a	1 ar = 10 ² m ²
Hmotnost textilní příze a osnovy na jednotku délky	tex	tex	1 tex = 10 ⁻⁶ kg m ⁻¹
Tlak krve a jiných tělních tekutin	milimetr rtuť	mm Hg	1 mm Hg = 133,322 Pa
Plocha účinného průřezu	barn	b	1 b = 10 ⁻²⁸ m ²

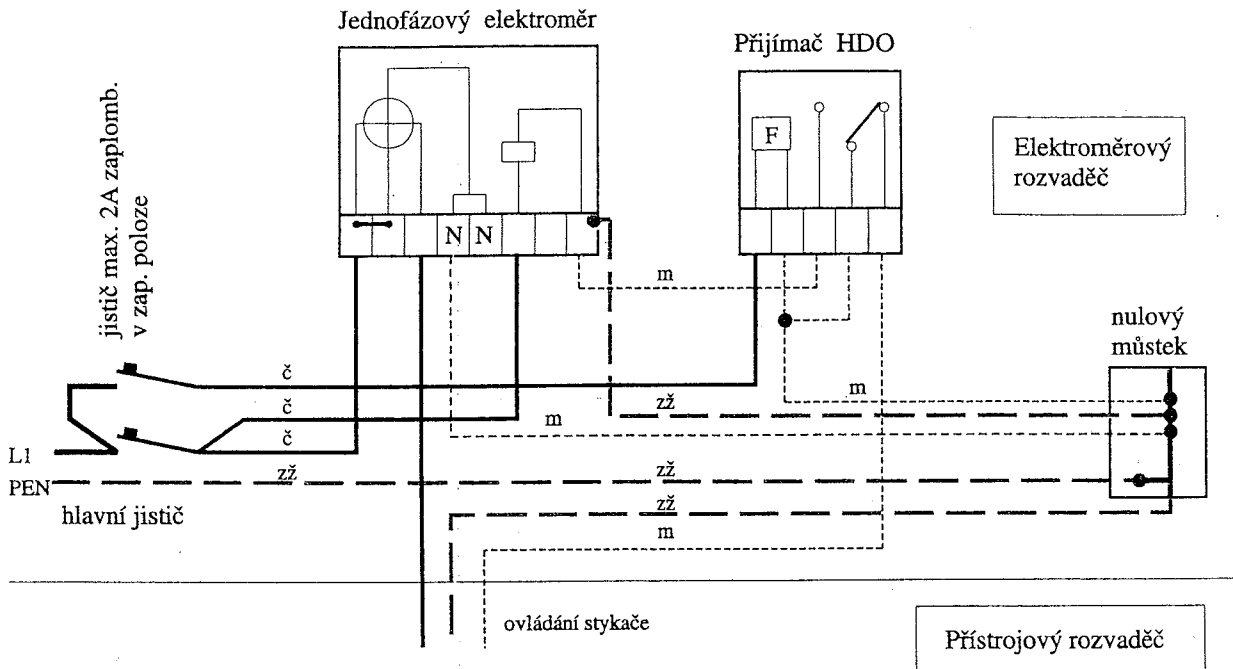
Předpony a jejich symboly uvedené v bodě 1.3 lze používat ve spojení s výše uvedenými jednotkami a značkami s výjimkou milimetru rtuť a jeho značky. Násobek 10² aru se však nazývá „hektar“.

5. SLOŽENÉ JEDNOTKY

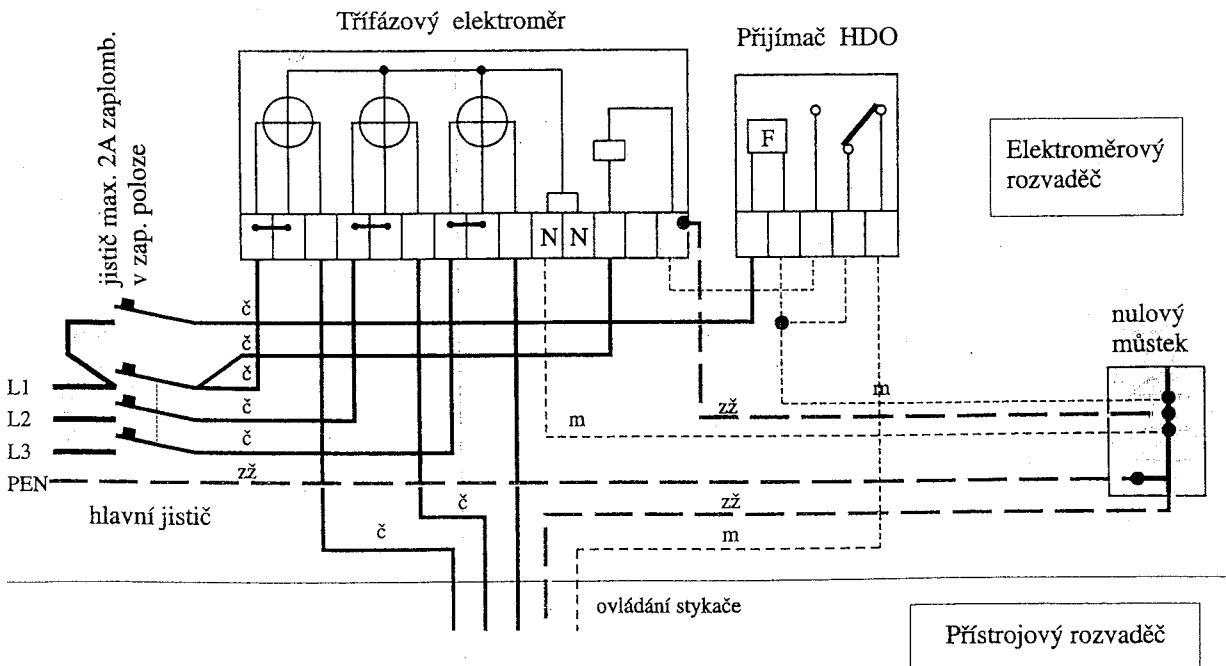
Kombinací jednotek uvedených v kapitole 1 se tvoří složené jednotky.

Měření odběru elektrické energie – příklad zapojení dvousazbového měřicího zařízení s jednopovelovým přijímačem HDO

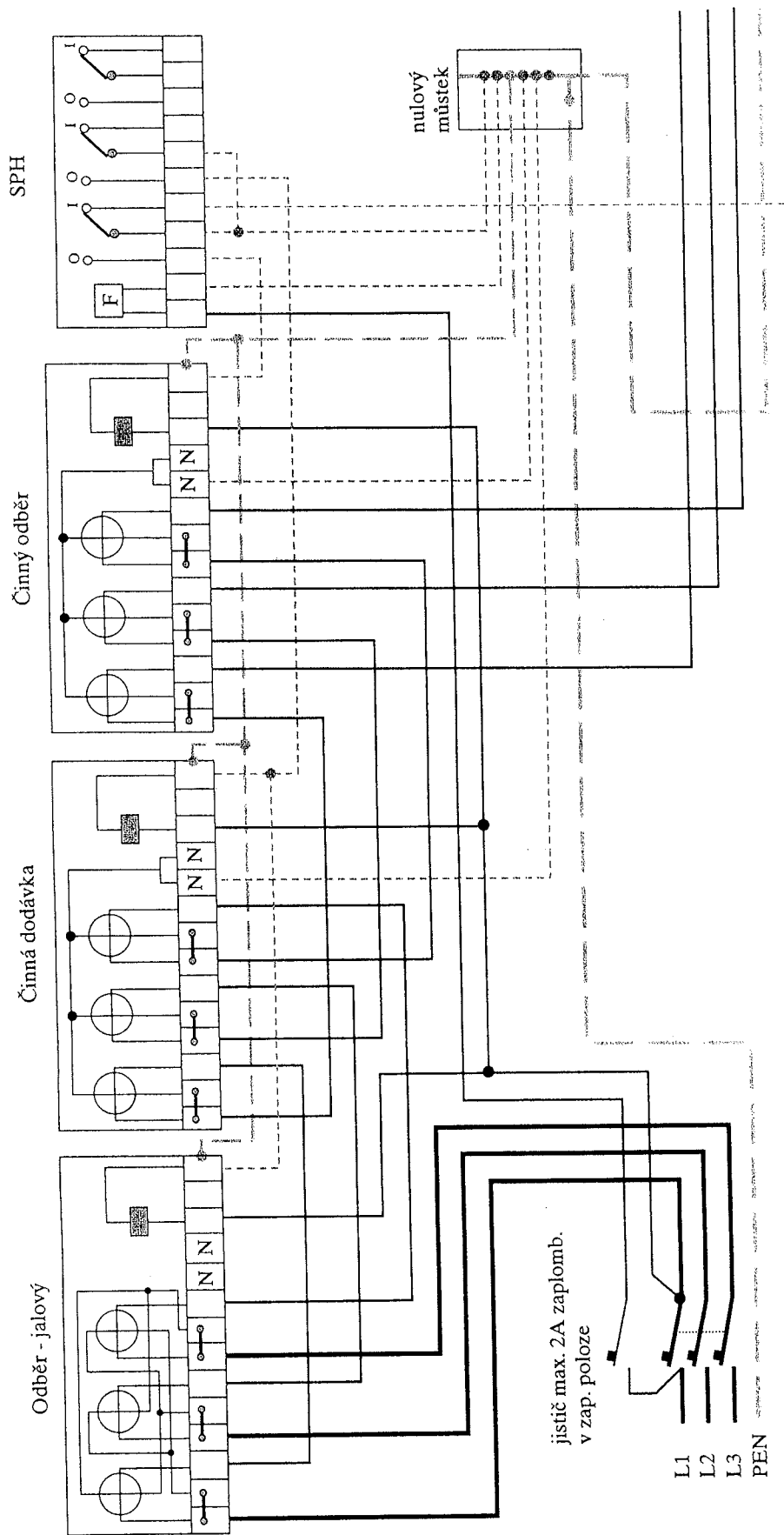
a) elektroměr jednofázový



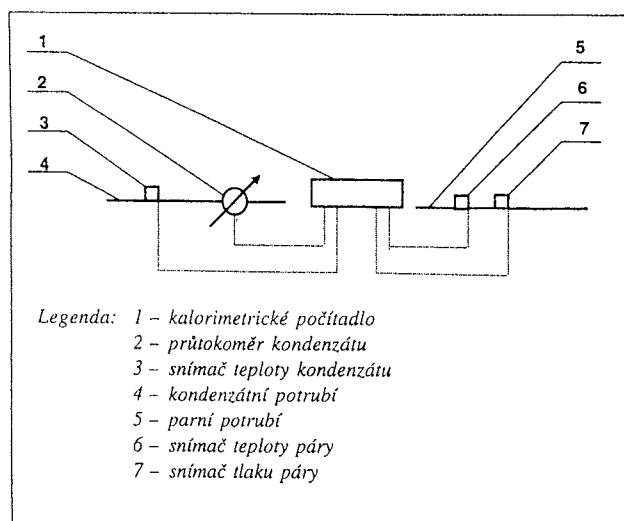
b) elektroměr třífázový



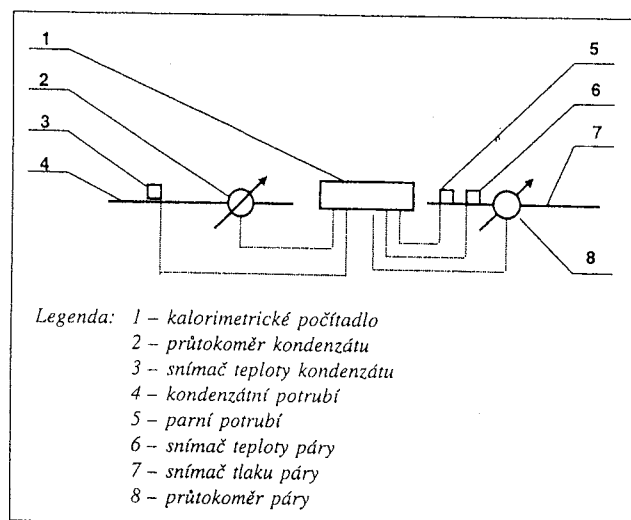
Příklad zapojení měřicí soupravy pro odběr a dodávku z asynchronního generátoru s výkonem nad 25 kW



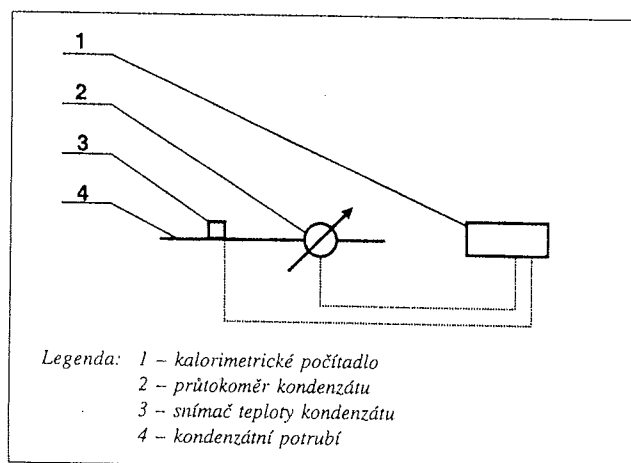
Příklady zapojení měření dodávky tepelné energie v páře a kondenzátu



Obr. 1 Schéma zapojení členů měřiče tepla v páře pro nepřímou a náhradní metodu



Obr. 2 Schéma zapojení členů měřiče tepla v páře pro přímou metodu a měření tepla v kondenzátu



Obr. 3 Schéma zapojení členů měřiče tepla v kondenzátu

Měření dodávky zemního plynu – přepočít hodnot atmosférického tlaku

Hodnota p_b je vypočtena podle zjednodušeného vzorce:

$$p_b = 101,7 - 0,0125 \cdot H \quad [\text{kPa}]$$

kde H je nadmořská výška v m

Hodnoty p_b v závislosti na střední nadmořské výšce jsou uvedeny v tabulce P1.1.

Tabulka **Hodnoty atmosférických tlaků vzduchu podle středních nadmořských výšek a tlakových koeficientů pro přepočít naměřeného objemu plynu**

Střední nadmořská výška m	Průměrná roční hodnota atmosférického tlaku vzduchu p_b *) kPa	Provozní přetlak plynu p_p kPa	Tlakový koeficient pro přepočít (**)
0	101,7	min. 1,7 střední 2,0 max. 2,5	1,0234
1 - 50	101,4		1,0205
51 - 100	100,8		1,0146
101 - 150	100,1		1,0076
151 - 200	99,5		1,0017
201 - 250	98,9		0,9958
251 - 300	98,3		0,9899
301 - 350	97,6		0,9830
351 - 400	97,0		0,9771
401 - 450	96,4		0,9711
451 - 500	95,8		0,9652
501 - 550	95,1		0,9583
551 - 600	94,5		0,9524
601 - 650	93,9		0,9465
651 - 700	93,3		0,9405
701 - 750	92,6		0,9336
751 - 800	92,2		0,9297

*) Průměrná roční hodnota atmosférického tlaku [kPa] při relativní vlhkosti 75 % a při střední teplotě vzduchu +10 °C odpovídající středu rozmezí nadmořských výšek v příslušném řádku.

$$**) \quad \frac{p_b + p_p}{p_v}$$

kde $p_p = 2 \text{ kPa}$
 $p_v = 101,325 \text{ kPa}$

Příklad:

Zóna 1 - nadmořská výška 51 až 400 m, střední hodnota atmosférického tlaku pro přepočít je

$$\frac{100,8 + 97,0}{2} = 98,9 \text{ kPa}$$

Zóna 2 - nadmořská výška 401 až 750 m, střední hodnota atmosférického tlaku pro přepočít je

$$\frac{96,4 + 92,6}{2} = 94,5 \text{ kPa}$$

**PŘÍKLADY ZÁSOBOVÁNÍ SÍTĚ Z JEDNOHO
NEBO DVOU MÍST S KOLÍSAVÝM SPALNÝM TEPEM OBJEMOVÝM**

I. Zásobování oblasti sítě z jednoho místa s kolísavým spalným teplem objemovým

- Měsíční průměry spalných tepel objemových za rok (měsíce mezi jednotlivými vyúčtováními)

$$H_I, H_{II}, \dots, H_{XII} \quad [\text{kWh.m}^{-3}]$$

- Dodané objemy za vztažných podmínek

$$V_I, V_{II}, \dots, V_{XII} \quad [\text{m}^3]$$

- Měsíční součiny

$$H_I \cdot V_I \text{ až } H_{XII} \cdot V_{XII} = Q_I \text{ až } Q_{XII} \quad [\text{kWh}]$$

jsou jednotlivá měsíční dodaná množství energie

- Součet

$$V_I + V_{II} + \dots + V_{XII} = V_{rok} \quad [\text{m}^3]$$

je celkový objem dodaného plynu za rok

- Součet

$$Q_I + Q_{II} + \dots + Q_{XII} = Q_{rok} \quad [\text{kWh}]$$

je celkové množství dodané energie za rok

Vážený průměr spalného tepla objemového za celý rok je dán podílem

$$\frac{Q_{rok}}{V_{rok}} \quad [\text{kWh.m}^{-3}]$$

II. Zásobování oblasti ze dvou míst s rozdílným spalným teplem objemovým podle jednotlivých měsíců

Vážený průměr spalného tepla objemového za celý rok je dán podílem

$$\frac{Q_{rok}(A_1) + Q_{rok}(A_2)}{V_{rok}(A_1) + V_{rok}(A_2)}$$

Příklad:

Do sítě je dodáván plyn s kolísajícím spalným teplem objemovým

- odečtový interval je 1 rok;
- odečtový měsíc leden.

Vážený průměr spalného tepla objemového ze zdrojů A_1 a A_2 se vypočte podle jednotlivých měsíců.

Výpočet váženého průměru spalného tepla objemového za odečtové období při dodávce plynu ze zdroje A₁

1 Měsíc	2 Průměr spalného tepla objemového kWh . m ⁻³	3 Objem dodaného plynu m ³ . 1000	4 Součin (slopec 2 . slopec 3) kWh . 1000
I.	11,00	2 000	22 000
II.	11,08	1 800	19 944
III.	11,05	1 700	18 785
IV.	11,07	1 600	17 712
V.	11,10	1 600	17 760
VI.	11,04	1 300	14 352
VII.	11,01	900	9 909
VIII.	11,06	1 000	11 060
IX.	10,95	1 200	13 140
X.	11,10	1 500	16 650
XI.	11,09	1 700	18 853
XII.	11,05	2 100	23 205
Součet měsíčních hodnot		18 400	203 370

Vážený průměr spalného tepla objemového je dán podílem:

$$\frac{203\,370 \cdot 10^3}{18\,400 \cdot 10^3} = 11,05 \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Je-li dodáván do téže sítě také ještě plyn ze zdroje A₂, vypočte se vážený průměr spalného tepla objemového za stejné odečtové období stejným způsobem jako u dodávky plynu ze zdroje A₁.

Výpočtem byl například zjištěn pro dodávku ze zdroje A₂ součet měsíčních hodnot:

Objem dodaného plynu za rok 10 500 . 10³ m³

Součin položek ve sloupcích 2 a 3 112 800 . 10³ kWh

Vážený průměr spalného tepla objemového u plynu ze zdroje A₂:

$$\frac{112\,800 \cdot 10^3}{10\,500 \cdot 10^3} = 10,74 \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Vážený průměr spalného tepla objemového ze zdrojů A₁ a A₂ je pak:

$$\frac{203\,370 + 112\,800}{18\,400 + 10\,500} \cdot \frac{10^3}{10^3} = 10,94 \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}]$$

PŘÍKLAD VÝPOČTU DODANÉ ENERGIE

1. Vážený průměr hodnoty spalného tepla objemového za minulé účtovací období [kWh.m ⁻³]	11,00
2. Spalné teplo objemové podle 6.2 nebo podle 6.3 [kWh.m ⁻³]	10,50
3. Rozdíl v hodnotě spalného tepla objemového [%] - pol. 1, 2	4,55
4. Základ spalného tepla objemového pro účtování [kWh.m ⁻³]	10,50
5. Provozní objem V _p [m ³]	5000
6. Teplota plynu t _p [°C]	10
7. Základní atmosférický tlak pro přepočít p _b [kPa]	98,9
8. Tlakový koeficient (viz příloha 1, tabulka P1.1)	0,9958

Vzhledem k tlaku p_p < 0,10 MPa je stupeň kompresibility K = 1. Za základ pro výpočet množství dodané energie je spalné teplo objemové 10,50 kWh.m⁻³.

Výpočet přepočtového koeficientu:

$$k = \frac{T_v}{T_p} \cdot \frac{p_p + p_b}{p_v} \cdot \frac{1}{K} = \frac{288,15}{273,15 + 10} \cdot 0,9958 \cdot 1 = 1,0134$$

Množství dodané energie Q (se zaokrouhlením na celé kWh):

$$Q = V_p \cdot k \cdot H_o = V_u \cdot H_o$$

kde Q je dodané množství energie [kWh]
V_p provozní objem plynu [m³]
k přepočtový koeficient
H_o základ spalného tepla objemového pro účtování [kWh.m⁻³]
V_u objem plynu při vztažných podmínkách dodaný za účtovací období

$$Q = 5\,000 \cdot 1,0134 \cdot 10,50 = 53\,203 \text{ kWh}$$

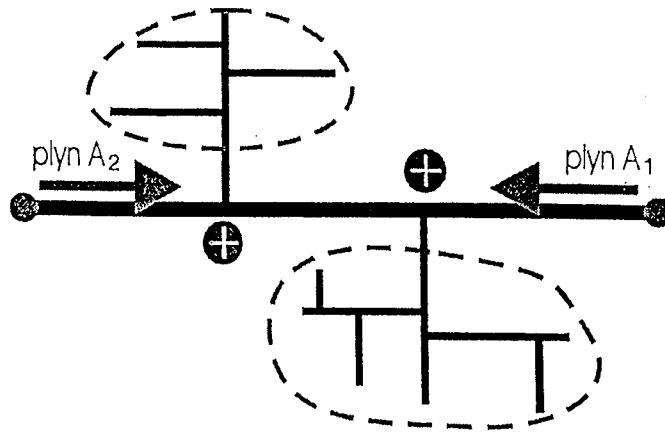
DOPORUČENÉ KONSTANTY PRO VÝPOČET SPALNÉHO TEPLA OBJEMOVÉHO PŘEVZATÉ Z ISO 6976 PŘI VZTAŽNÉ TEPLOTĚ 15 °C A REFERENČNÍ TEPLOTĚ SPALOVÁNÍ 15 °C

Složka	Molární hmotnost kg.mol ⁻¹	Kompresibilitní faktor z _v při 15 °C, 101,325 kPa	Spalné teplo objemové MJ.m ⁻³ při 15 °C	Spalné teplo objemové kWh.m ⁻³ při 15 °C
metan	16,043	0,9980	37,706	10,47
etan	30,070	0,9915	66,07	18,35
propan	44,097	0,9821	93,94	26,09
i-butan	58,123	0,968	121,40	33,72
n-butan	58,123	0,965	121,79	33,83
i-pentan	72,150	0,948	149,36	41,49
n-pentan	72,150	0,937	149,66	41,57
hexany++	87,855	0,915	177,96	49,43
CO ₂	44,010	0,9944	0	0
N ₂	28,0135	0,9997	0	0
O ₂	31,9988	0,9992	0	0
vzduch	28,9626	0,99958	0	0

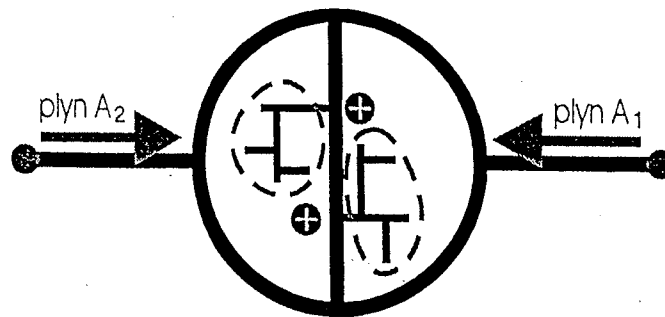
++ C₆ a vyšší uhlovodíky nad C₆, hodnota spalného tepla je pro n-hexan

PŘÍKLADY DODÁVEK ZEMNÍHO PLYNU S RŮZNOU KVALITOU

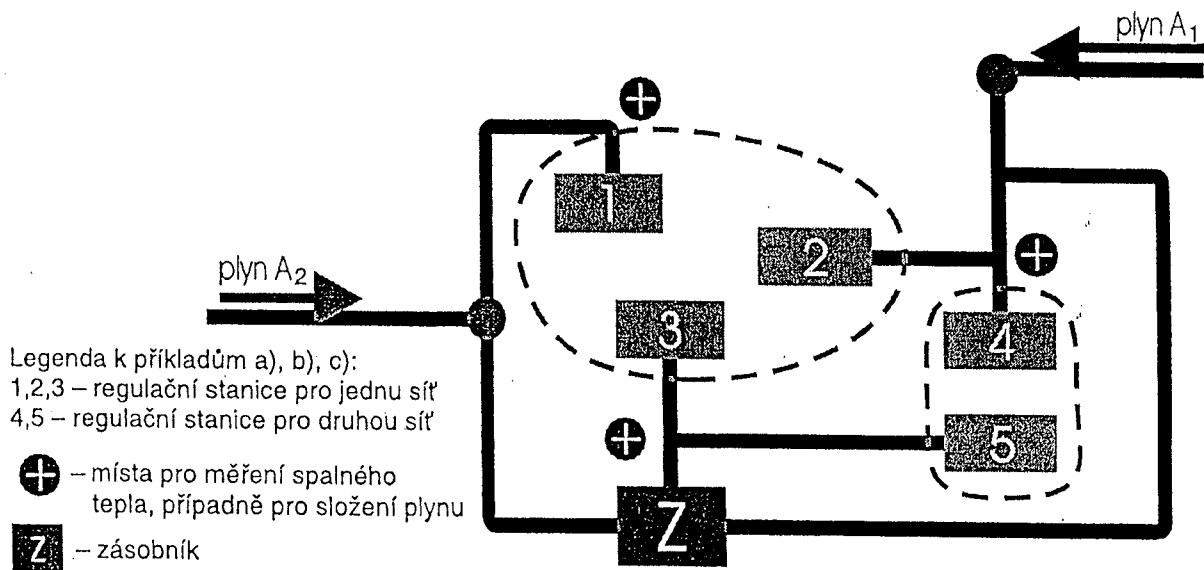
a) Plošně oddělená síť - měření na dvou místech



b) Zokruhovaná síť - měření na dvou místech



c) Dodávka do dvou oddělených sítí - měření na třech místech



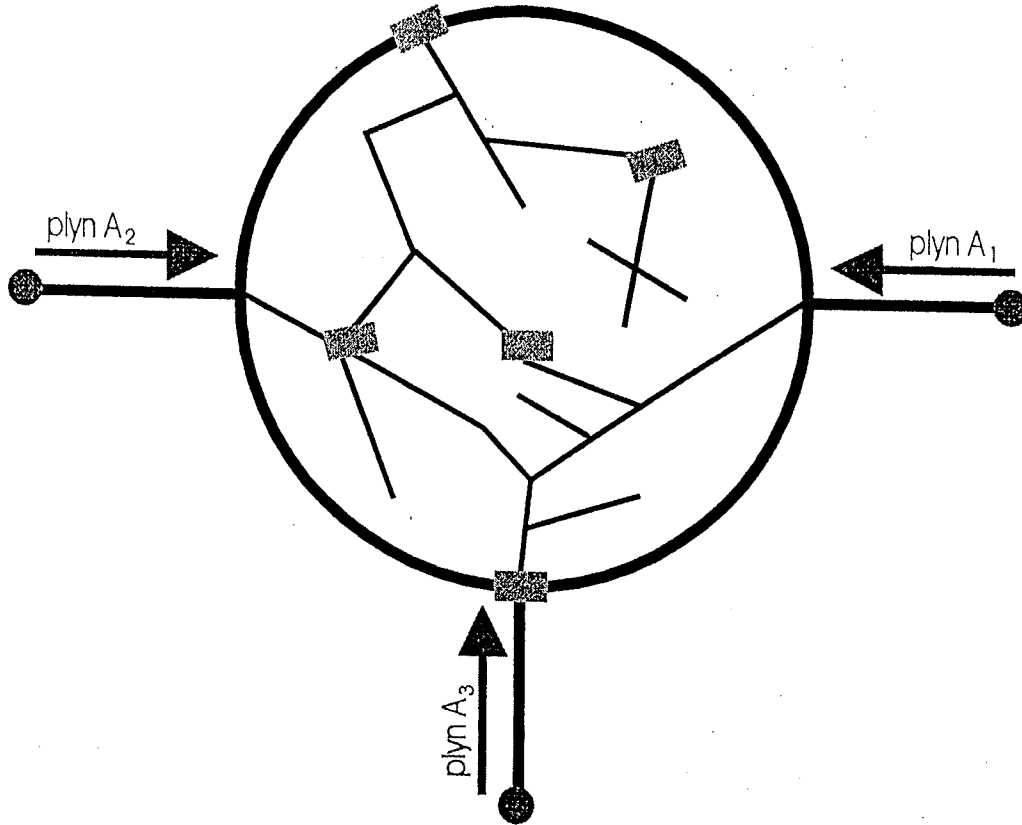
Legenda k příkladům a), b), c):
 1,2,3 – regulační stanice pro jednu síť
 4,5 – regulační stanice pro druhou síť

⊕ – místa pro měření spalného
 tepla, případně pro složení plynu

Z – zásobník

d)

Dodávka do zokruhované sítě ze dvou,
případně více míst



Legenda k příkladu d):

■ – regulační stanice

Měřicí místa pro sledování kvality plynu (spalného tepla objemového) je nutné zvlášť vytipovat.
Kvalitu dodávaného plynu lze stanovit modelovým výpočtem.