Tepelné procesy v průmyslu

Tepelné procesy v průmyslu se uskutečňují v průmyslových spotřebičích kde se teplem, vzniklým spalováním plynných paliv, nebo elektrickým ohřevem dociluje požadovaných technologických účinků.

V průmyslových spotřebičích, kterými jsou převážně plynové a elektrické pece se tepelně zpracovávají především výrobky z oboru hutnictví a strojírenství, sklářského a keramického průmyslu a výrobky dalších průmyslových oborů:

- ocelové výkovky, odlitky, konstrukční oceli, plechy, dráty
- výrobky z barevných kovů (hliník, měď, mosaz)
- užitkové a obalové sklo, laboratorní sklo, ploché sklo aj.
- výrobky pro stavebnictví (vápno, cement, cihly, střešní krytina aj.
- užitková a sanitní keramika, umělecká keramika, obkladačky a dlaždice, žáruvzdorné materiály
- výrobky ropného průmyslu, suroviny pro výrobu barev aj.

Průmyslové spotřebiče však slouží i v dalších výrobních odvětvích:

- výroba potravin (pekařské pece, sušárny sladu, vaření piva, pražírny oříšků a kávy)
- výroba osvětlovacích těles
- textilní výroba (požehování tkanin)

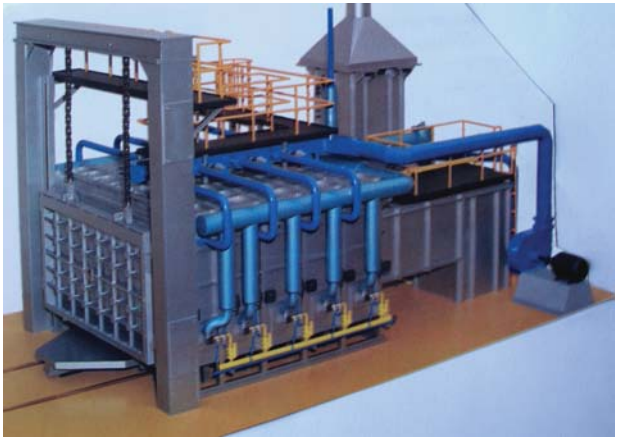
1. Základní typy průmyslových spotřebičů

a) Strojírenství a hutnictví

- ohřívací pece (narážecí, krokové, hlubinné, komorové, vozové strkací, karuselové aj.)
- pece pro tepelné zpracování kovů
- tavicí pece pro barevnou metalurgii (hliník, bronz, mosaz, ložiskové kovy aj.)
- pece pro sušení slévárenských písků, forem a jader

- pece pro chemickou úpravu oceli (cementace, nitridace)
- vyvíječe ochranných a řízených atmosfér z plynných paliv
- pomocná ohřívací zařízení (ohřevy ocelových konstrukcí před svářením, ohřev licích pánví ve slévárnách, ohřev kovářských zápustek a pod.)

Obr. 1 znázorňuje průmyslovou plynovou pec pro ohřev a tepelné zpracování ocelových výrobků



obr. 1

b) Keramický průmysl

- tunelové pece pro výpal obkládaček, dlaždic, užitkové keramiky, sanitní keramiky a porcelánu
- komorové pece pro výpal kameniny
- pece pro výpal elektroporcelánu (izolátory, zapalovací svíčky)
- pece pro výpal žáruvzdorného materiálu (šamotové, dinasové a korundové normálky a tvarovky)
- pece pro výpal tuhových výrobků
- komorové pece pro výpal umělecké keramiky
- pece pro výpal zubolékařských surovin aj.

Na obr. 2 je komorová pec pro výpal užitkového porcelánu

obr. 2

c) Sklářský průmysl

- tavicí vanové a pánvové pece
- chladicí pece komorové, pásové (užitkové sklo) a válečkové (ploché sklo)
- roztáčecí pece (trumly) pro ruční výrobu skla
- stroje na výrobu brýlových skel
- automaty na výrobu skleněných tvárnic
- zařízení pro výrobu laboratorního křemičitého skla
- hořáky na opukávání a zapalování hran číší, sklenic a varného skla

d) Stavebnictví

- šachtové pece pro výpal vápna
- rotační pece pro výrobu cementu
- zařízení pro sušení omítek
- kruhové pece pro výpal cihel aj.

e) Chemický průmysl

- ohřevy chemických lázní
- fluidní sušárny

- vysokotlaké autoklávy
- tavicí kotle
- sulfonátory
- odparky aj.

f) Potravinářský průmysl
- pásové pece na pečení chleba
- vytahovací parní pece
- sušičky kakaových bobů
- sušárny sladu a pražírny karamelového sladu
- pražírny oříšků a kávy
- varny piva aj.

g) Výroba žárovek, výbojek a zářivek
- žárovkové automaty
- sintrovací pece na výrobu zářivek
- automaty pro zatavování výbojek

h) Zemědělství
- sušárny obilí, chmele, ovoce a zeleniny
- granulování píce
- vytápění skleníků

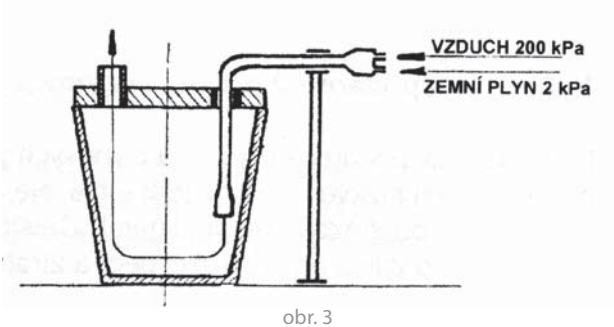
i)Textilní výroba
- hořáky pro opalování příze a tkanin
- ohřev válců pro potisk textilií

j) Spalovny odpadu
- pece pro spalování komunálního odpadu
- pece pro spalování nemocničního odpadu
- vysokoteplotní pece pro spalování škodlivých látek

Vedle klasických plynových pecí se v průmyslu používá zemního plynu k různým technologickým ohřevům otevřenými plameny plynových hořáků. Účinnost využití zemního plynu je u těchto ohřevů obvykle nízká, vzhledem k sálání plamene hořáků do volného prostoru a neomezenému přístupu sekundárního vzduchu do plamene hořáků.

Nejčastějšími druhy technologických ohřevů jsou:
- sušení a ohřev vyzdívek slévárenských pánví před odléváním kovů
- sušení slévárenských forem
- ohřevy vody a technologických lázní (pro oplach strojních částí, paření vepřů na jatkách, vaření piva a pod)
- plamenné clony průběžných pecí s řízenými atmosférami
- ohřevy železničních nákolků před jejich demontáží
- opalování izolace starých plynovodních trub

Na obr. 3 je znázorněn ohřev slévárenské licí pánve plynovým hořákem.



obr. 3

2. Energie pro tepelné procesy v průmyslu

a) Plynná paliva

Plynná paliva jsou směsí hořlavých a nehořlavých plynů, které při spalování se vzduchem uvolňují teplo a používají se pro výrobu tepla v domácnostech, v sektoru služeb, v průmyslu a k vytápění.

V současné době se v ČR pro tyto účely používá převážně zemní plyn z tranzitního plynovodu a zemní plyn dovážený z Norska.

V menší míře se pro výrobu tepla používají kapalné uhlovodíkové plyny (propan a butan), které jsou vedlejším produktem při zpracování ropy. Převážná část produkce je určena pro maloodběratele, především pro domácnosti v oblastech, kde není k dispozici zemní plyn.

Dalšími plynnými palivy, používanými zejména v průmyslových podnicích, blízkých kamenouhelným dolům jsou zemní plyn z důlní degazace a zemní plyn karbonský.

V podnicích hutní prvovýroby se pro technologické procesy v průmyslových pecích používá koksárenský plyn, který je vedlejším produktem při karbonizaci černých uhlí v koksovnách.

b) Elektrická energie

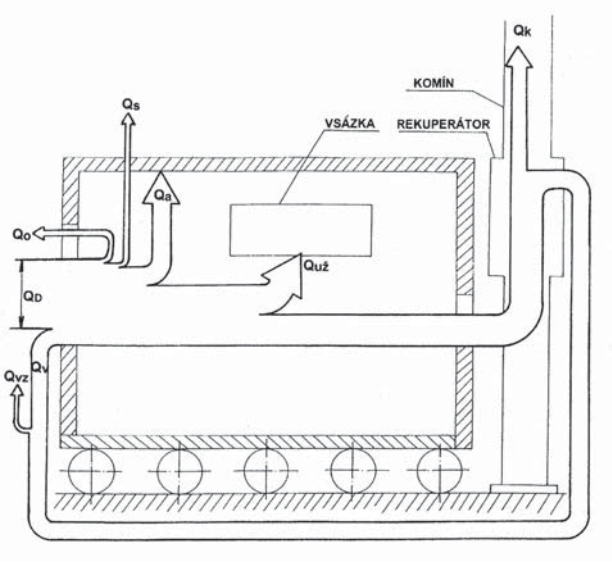
Elektrická energie se pro průmyslové technologické účely používá v menší míře než zemní plyn, zejména pro svou vyšší cenu. Rovněž pro vysokoteplotní technologické procesy je z důvodu omezené životnosti topných elementů vhodnější zemní plyn. Některé tepelně technologické procesy je možno provádět pouze s plynovým ohřevem neboť spaliny plynu vedle tepelného účinku ovlivňují i užitné vlastnosti výrobku (na př.výpal porcelánu). Teplo se z elektřiny vyvíjí v topných článcích z odporového drátu nebo v odporových plášťových tělesech. V menší míře se využívá u některých spotřebičů indukční ohřev.

Vzhledem k podstatně nižším spotřebám elektrické energie pro průmyslové technologie v ČR (cca 5 %) ve srovnání se zemním plynem (cca 90 %), jsou úvahy o úsporách energií v průmyslu zaměřeny především na plynové spotřebiče.

3. Tepelné ztráty průmyslových spotřebičů

a) Plynové pece

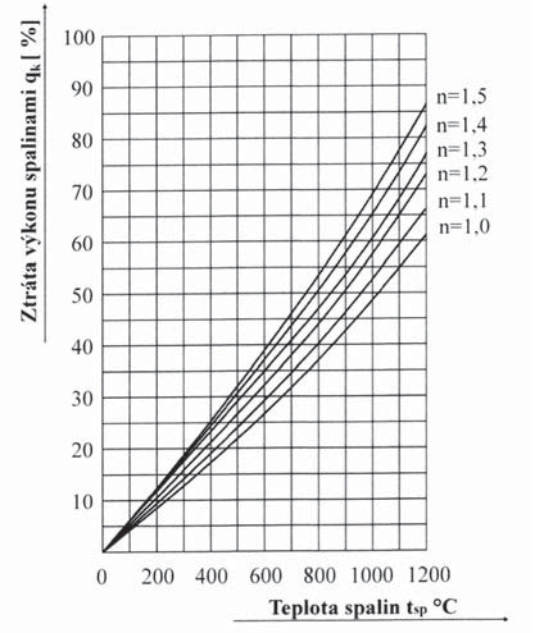
Ztráty tepla plynových pecí představují část tepla plynových pecí dodaného spalováním plynného paliva, které se v pecích efektivně nevyužije (obr. 4):



obr. 4 - Sankeyův diagram tepelné bilance plynové pece

Legenda: Q_D - Teplo dodané peci spalováním zemního plynu; Q_v - Teplo dodané peci ohřátým spalovacím vzduchem; $Q_{už}$ - Užitečné teplo vsázky; Q_k- Ztráta tepla spalinami (komínová ztráta); Q_a - Ztráta tepla akumulací v peci; Q_s ~ Ztráta tepla stěnami pece; Q_o- Ztráta tepla sáláním z pracovních otvorů pece; Q_{vz} - Ztráta tepla stěnami potrubí ohřátého vzduchu

Na obr. 5 je znázorněna závislost ztráty tepla spalinami, odcházejícími z plynové pece na jejich teplotě.



obr. 5

Ztráty tepla odcházejícími spalinami Q_k tvoří u plynových pecí, stejně jako u všech typů plynových spotřebičů, největší ztrátovou položku. Podíl na celkových ztrátách pecí je však značně vyšší než u ostatních plynových spotřebičů a dosahuje až 70 % celkového tepla dodaného peci oproti 10 až 15 % v případě plynových kotlů. Tento rozdíl je způsoben vysokými teplotami v pracovním prostoru pecí, při kterých probíhají technologické procesy (tavení oceli, skla, výpal keramiky, ohřev ocelí před tvářením aj.) a tím i vysokými teplotami spalin, odcházejících ze spotřebiče.

b) Elektrické pece

Ztráty tepla u elektrických průmyslových pecí jsou nižší než je tomu u pecí plynových o ztráty tepla spalinami. Ostatní ztrátové položky jsou shodné.

4. Účinnosti průmyslových spotřebičů

Účinnost průmyslového spotřebiče se stanoví z rovnice:

$$\eta_p = \frac{Q_{uz}}{Q_D} \cdot 100 \ [\%]$$

Q_{uz} - množství tepla, potřebné k dosažení požadovaných technologických vlastností tepelně zpracovávaného výrobku [kJ . h^{-1}, kWh]

Q_D - celkové množství tepla dodané spotřebiči spalováním plynného paliva, nebo ve formě elektrické energie [kJ . h^{-1}, kWh]

V tab. 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty účinností starších typů průmyslových plynových pecí, dosud používaných ve strojírenství

tab. 1

Typ pece (technologický proces)	Teplota vsázky [°C]	Průměrná účinnost pece η_p [%]
komorová (ohřev oceli)	115O	26
vozová (žíhání oceli)	95O	28
kelímková tavicí (Al)	73O	30
vozová sušicí (písk.formy)	45O	32

V tab. 2 jsou uvedeny průměrné hodnoty účinností nových typů plynových pecí s vláknitými izolacemi, zjištěné v provozních podmínkách při spalování zemního

plynu se spalovacím vzduchem ohřátým v rekuperátoru, resp. v regenerátoru.

tab. 2

Typ pece (technologický proces)	Teplota vsázky [°C]	Teplota spal. vzduchu [°C]	Průměrná účinnost pece η_p [%]
vozová (žíhání oceli)	950	350	35
komorová (ohřev oceli)	1200	600	45
sklářská palivová pec (Al)	1380	850	58

Účinnosti elektrických pecí jsou podstatně vyšší než je tomu u plynových pecí, neboť jedinou podstatnou tepelnou ztrátou je ztráta tepla stěnami pece. Účinnosti elektrických komorových a vozových pecí se pohybují od 85 do 90 %.

5. Úspory energií při tepelných procesech v průmyslu

Vlivem útlumu hutních výrob a částečně i těžkého strojírenství se v posledních letech v ČR snížil počet provozovaných průmyslových pecí. Z původního počtu asi 12OO pecí je v současné době provozována cca jedna polovina pecí a dalších spotřebičů různých typů.

U uživatelů průmyslových spotřebičů přetrvává i v současné době stav nehospodárného využívání energií.Měrné spotřeby tepla pecí které jsou v ČR v současné době v provozu, značně převyšují světový průměr. Příčinou tohoto stavu není pouze technický stav pecí, ale i způsob jejich řízení a kvalifikace obsluhujícího personálu. Tento stav se podstatně nezlepšuje ani se zvyšováním cen energií, které dosud dostatečně nemotivují průmyslové odběratele ke snižování jejich spotřeby výměnou a obnovou pecního parku.

Cesta ke snížení spotřeb energií u průmyslových spotřebičů vede přes snížení jejich tepelných ztrát:

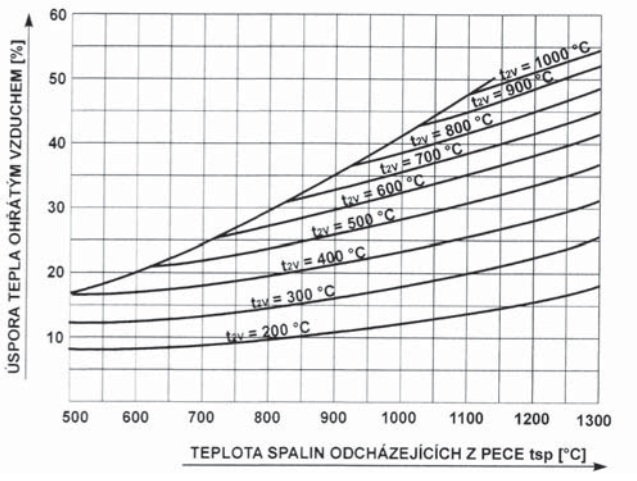
- využitím tepla spalin odcházejících z plynových pecí k ohřevu spalovacího vzduchu (rekuperace a regenerace)
- používáním vyzdívek a tepelných izolací s vysokým tepelným odporem (lehčené vyzdívky a vláknité izolace)
- vybavením spotřebičů moderními řídícími systémy pro ovládání tepelných režimů spotřebičů

Dalším významným prostředkem pro snižování spotřeb energií je optimalizace provozních režimů spotřebičů pro jednotlivé technologické procesy.

a) Využití tepla spalin odcházejících z plynových pecí

V jednom m^3 spalin zemního plynu s teplotou 12OO °C je obsaženo cca 187O kJ, tj. O,52 kWh tepla.Po výstupu spalin z pracovního prostoru pece je toto teplo možno částečně využít pro ohřev spalovacího vzduchu, přiváděného do hořáků pece.O hodnotu takto využitého tepla se snižuje spotřeba zemního plynu. Úspora tepla ohřevem spalovacího vzduchu představuje snížení množství tepla, dodaného peci spálením plynu o teplo dodané peci ohřátým spalovacím vzduchem.

Na obr. 6 je znázorněna závislost úspory zemního plynu (vztažená na spotřebu plynu při spalování se studeným vzduchem) na teplotách spalovacího vzduchu a spalin, při spalování zemního plynu s násobkem stechiometrického objemu spalovacího vzduchu n = 1,1.



obr. 6

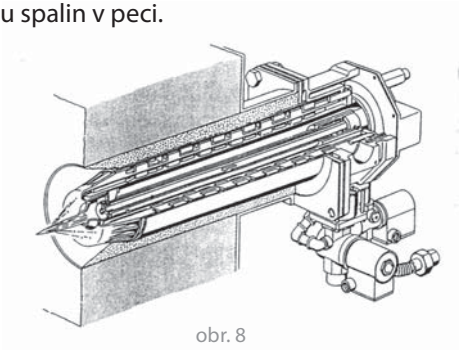
Využití tepla spalin plynových pecí se dosahuje instalací výměníku „spaliny - vzduch" do odtahu spalin z pece. Pro ohřev spalovacího vzduchu se u plynových pecí používají tyto metody:

a) Rekuperace - kontinuální ohřev spalovacího vzduchu v kovových nebo keramických rekuperátorech, případně v rekuperačních hořácích

Na obr. 7 je rekuperátor zhotovený z ocelových žáruvzdorných trubek

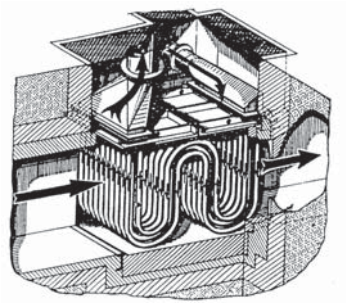
obr. 7

Na obr. 8 je znázorněno místění tohoto rekuperátoru v odtahu spalin v peci.



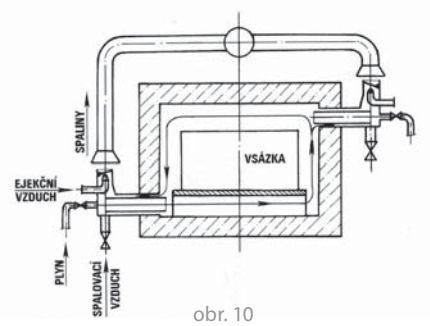
obr. 8

Vedle rekuperátorů, které ohřívají spalovací vzduch centrálně pro všechny hořáky v peci se pro ohřev spalovacího vzduchu používají rekuperační hořáky s rekuperátorem, zabudovaným v tělese hořáku (obr. 9).



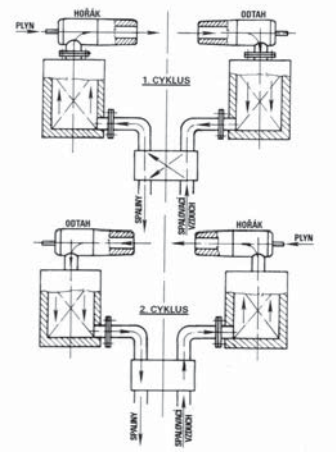
obr. 9

Na obr. 10 je znázorněno umístění rekuperačních hořáků v komorové peci, kde plní funkci odtahu spalin.



obr. 10

b) Regenerace - diskontinuální ohřev spalovacího vzduchu v keramických regenerátorech, případně v regeneračních hořácích (obr. 11). Topný a odtahový systém pecí vybavených regeneračními hořáky je rozdělen na dvě části, umístěné na protilehlých stěnách pece, z nichž střídavě jedna část pracuje jako topná a druhá část plní funkci odtahu spalin.



obr. 11

Spalovací vzduch se v regeneračních hořácích ohřívá až na 850 °C, což podle grafu na obr. 6 představuje 45 až 50 procent úspory plynu.

b) Snížení ztrát tepla stěnami spotřebičů

Další ztrátovou položkou, která snižuje hospodárnost provozu průmyslových plynových spotřebičů i spotřebičů vytápěných elektřinou je ztráta tepla stěnami spotřebiče. Tato ztráta činí u průmyslových pecí 8 až 12 % tepla dodaného spotřebiči.

Možnosti snížení těchto ztrát jsou omezené. Pouze v případě vyšších ztrát než jsou uvedené hodnoty je nutno uvažovat o zlepšení izolačních vlastností stěn spotřebiče, nebo o jeho výměně za nový spotřebič.

Pro snížení ztrát tepla stěnami se pro průmyslové pece používají lehčené vyzdívací materiály a vláknité izolační materiály s vysokým tepelným odporem, které oproti tradičním materiálům ztráty tepla stěnami podstatně snižují. Náklady na novou izolaci stěn starších pecí jsou však vysoké a návratnost této investice v úsporách energie je závislá na velikosti spotřebiče a jeho ročním vytížení.

U nově stavěných plynových pecí je použití moderních vyzdívacích a izolačních materiálů samozřejmostí. U starších pecí je výměna starých klasických vyzdívek za nové materiály, stejně jako v případě využití tepla spalin instalací rekuperátorů, nebo regenerátorů ovlivněna finančními možnostmi provozovatelů pecí a dosud relativně nízkými cenami zemního plynu.

U starších pecí s klasickou vyzdívkou se používá metody tzv."tapetování" stávajících vyzdívek vláknitými materiály. Toto řešení spočívá v nalepení keramických modulů pomocí specielních tmelů na upravenou stávající vyzdívku. Tak je možno u periodicky pracujících pecí uspořit až 15 % tepla.

c) Snížení ztrát tepla akumulací ve spotřebičích

Ztráta tepla akumulací ve spotřebiči vzniká vychladnutím hmoty spotřebiče po skončení (případně při přerušení) provozu. Tato ztráta je podstatná zejména u spotřebičů s velkou hmotností vyzdívek a s krátkými pracovními cykly (např. plynové pece, u nichž po skončení provozu odejde teplo, obsažené ve hmotě stěn, stropu a nístěje spotřebiče bez užitku do prostoru v němž je pec umístěna).

Možnosti snížení akumulačních ztrát u průmyslových pecí jsou stejné jako v případě ztrát tepla stěnami pecí, t. j. použitím lehčených izolačních materiálů. Tyto materiály mají totiž nejen lepší izolační vlastnosti, ale díky nižším hodnotám měrných tepelných kapacit i menší akumulaci tepla. Další možnosti snížení ztrát tepla akumulaci spočívají v organizaci provozního režimu spotřebiče.

d) Snížení ztrát tepla sáláním z pracovních otvorů

Ztráta tepla sáláním z pracovních otvorů spotřebičů je typická zejména pro průmyslové pece a vzniká v provozu otevřenými pracovními otvory spotřebiče (dveře, sázecí otvory, pozorovací otvory aj.) např při manipulaci se vsázkou.

Možnost snížení této ztráty spočívá převážně v dodržování provozních předpisů pro spotřebiče.

e) Optimalizace provozních režimů průmyslových spotřebičů

O velikosti tepelných ztrát plynových pecí rozhodují vedle dosud uvedených činitelů i další vlivy, závislé na organizaci jejich provozu:

- kvalita řízení topného režimu pece
- skladba vsázky a způsob jejího uložení v peci
- stupeň vychladnutí pece mezi jednotlivými pracovními cykly

Kvalita řízení topného režimu pecí

Topné režimy pecí menšího technologického významu, bez zvláštních požadavků na kvalitu tepelného zpracování (malé kovářské komorové pece pro zápustkové a volné kování, tavicí kelímkové pece, pece pro sušení slévárenských písků, forem a jader, sklářské chladicí a roztáčecí pece a pod.) jsou v převážné většině případů dosud řízeny ručně. Obsluha těchto spotřebičů (kováři, skláři) často nemá pro tuto činnost potřebnou kvalifikaci a obvykle nemá dostatečnou motivaci pro hospodárné řízení topného režimu pecí.

Nejčastějšími nedostatky v řízení topného režimu těchto spotřebičů jsou:

- nesprávně seřízený spalovací poměr
- překračování technologických teplot
- trvalý provoz spotřebiče s maximálním příkonem
- provoz spotřebičů v provozních přestávkách bez založené vsázky
- neuzavřené sázecí otvory pecí
- otevřená komínová hradítka po skončení pracovního cyklu a pod.

Uvedené provozní nedostatky, způsobené nekvalitním řízením topného režimu spotřebičů způsobují zvýšení měrných spotřeb tepla spotřebičů až o 30% a současně i zvýšení nákladů na jejich údržbu a opravy.

Skladba vsázky a způsob jejího uložení

Tento faktor, který souvisí s optimálním vytížením pracovního prostoru, významně ovlivňuje měrné spotřeby tepla i u velkých moderních pecí, řízených programovatelnými automaty. Projevuje se hlavně ve strojírenských podnicích s malým počtem pecí a širokým sortimentem výrobků, které se v těchto univerzálních pecích tepelně zpracovávají. Např. při žíhání rozměrných členitých svařenců ve vozové peci je měrná spotřeba tepla podstatně vyšší, než při tepelném zpracování stejného objemu

masivních odlitků. V těchto případech lze měrné spotřeby tepla výrazně ovlivnit vhodnou skladbou vsázky a způsobem jejího uložení na voze pece.

Vychladnutí pece mezi jednotlivými pracovními cykly

Pokud jsou mezi jednotlivými pracovními cykly pece dlouhé pracovní přestávky (jednosměnné provozy), zvyšuje se oproti provozu s malými přestávkami (vícesměnné a nepřetržité provozy), ztráta tepla akumulací ve vyzdívce. Rovněž tyto ztráty lze snížit organizačními prostředky.

6. Řídící systémy průmyslových spotřebičů

Realizace náročných technologických procesů, které se uskutečňují v průmyslových plynových pecích, není v současné době možná bez vybavení spotřebičů přístroji a armaturami, které umožňují kontrolu a řízení parametrů a hospodárný a bezpečný provoz pecí.

Moderní řídící systémy jsou koncipovány jako programovatelné logické automaty, tvořené operátorskou a procesní částí. Operátorská část řídícího systému slouží jako komunikační prostředek mezi obsluhou pece a řídícím systémem. Operátorský panel umožňuje zobrazování provozních stavů, zadávání a uchování technologických parametrů, zobrazování a archivaci poruchových stavů a provozních hlášení o stavu pece. Vliv obsluhy na řízení technologických procesů a ekonomii provozu je minimalizován a je omezen na zadání provozních parametrů (volbu teplotních křivek podle druhu a požadované kvality konečného produktu). Uvedené řídící systémy jsou velmi nákladné a používají se především pro specielní technologické procesy tepelného zpracování ocelí a dalších kovových materiálů s vysokými požadavky na jejich kvalitu.

Vybavení průmyslových spotřebičů moderními řídícími systémy vedle uvedených účinků snižuje i spotřebu ener-

gií o 15 až 20 % oproti ručnímu řízení technologických procesů.

7. Desatero hospodárného provozu průmyslových spotřebičů

1. U plynových pecí s výkonem větším než cca 500 kW a s teplotou v pracovním prostoru vyšší než 600 °C, po předchozím zpracování technicko - ekonomického rozboru, využívat teplo spalin k ohřevu spalovacího vzduchu (rekuperace, regenerace).

2. Pro vyzdívání a tepelnou izolaci spotřebičů využívat lehčené žáruvzdorné materiály v kombinaci s vláknitými izolacemi, které snižují ztráty tepla stěnami a u cyklicky pracujících pecí snižují podstatně ztráty tepla akumulací

3. V závislosti na velikosti příkonu pece a jejím technologickém určení vybavit pec odpovídající měřicí a regulační technikou s cílem omezení možných negativních vlivů obsluhujícího personálu na hospodárnost topení (programovatelné logické automaty, regulace spalovacího poměru)

4. Při projektování topných systémů plynových pecí zvolit vhodné typy plynových hořáků pro daný technologický proces, jejich počet a výkony a jejich umístění v pracovním prostoru pece z hlediska dosažení rovnoměrné teploty a vysoké účinnosti ohřevu vsázky. Proudění spalin v pecích (zejména v průběžných pecích) organizovat tak, aby teplo obsažené ve spalinách bylo maximálně využito pro předehřev vsázky.

5. Hospodárnost provozu plynových pecí je závislá i na tahových podmínkách pece a na efektivní regulaci tlaku v pracovním prostoru pece. Přisáváním sekundárního vzduchu do pracovního prostoru pece se zvyšuje ztráta tepla spalinami a tím spotřeba zemního plynu.

6. Při zakládání vsázky do pecí optimálně využívat objemovou kapacitu pece vhodnou skladbou a uložením vsázky v pracovním prostoru pecí.

7. U cyklicky pracujících pecí organizovat provozní režim tak, aby se nová vsázka zakládala pokud možno do teplé pece. V pracovních přestávkách uzavírat u plynových pecí komínová hradítka. Manipulační otvory (dveře aj.) otevírat pouze na dobu nezbytně nutnou pro založení vsázky. Obsluhu pecí pravidelně školit ve znalostech zásad hospodárného provozu a zainteresovat ji na úsporách topné energie.

8. U plynových pecí pravidelně kontrolovat seřízení optimálních hodnot spalovacího poměru a funkci poměrových regulátorů tak, aby spalování zemního plynu probíhalo s minimálně nutným přebytkem spalovacího vzduchu. Při ohřevu spalovacího vzduchu v rekuperátorech, resp. regenerátorech vybavit pec regulací spalovacího poměru v závislosti na teplotě spalovacího vzduchu.

9. Pro zvýšení technické úrovně starších spotřebičů provádět jejich modernizace, při nichž se s relativně nízkými náklady docílí podstatného zlepšení parametrů pecí (výkonu, účinnosti, rovnoměrnosti teplot aj.)

1O. Pro zjištění aktuálních účinností spotřebičů provádět pravidelná měření pro sestavení tepelných bilancí, které slouží ke zjištění účinnosti spotřebičů.

Při dodržení těchto zásad je možno očekávat podstatné úspory energií a vysokou návratnost vložených prostředků.