



Konferencia
Energetický audit v praxi
Tatranská Lomnica, 2011

PARA – JEJ MOŽNOSTI A OBMEDZENIA

Ing. Štefan Chladný

ENERGETICKÝ AUDIT

Energetický audit je nástroj na dosiahnutie úspor energie a nákladov. Vykonávajú ho energetickí audítori.

Audítori systematickým postupom získavajú informácie o súčasnom stave energetického systému a technologického zariadenia. Výstupom auditu je určenie veľkosti energetických strát, z ktorých vyplynie potenciál úspor energie, prevádzkových nákladov a nákladov na údržbu.

Povinnosť objednania auditu v priemysle vyplýva zo zákona NR SR č. 476/2008 Z. z. Postup pri výkone energetického auditu a obsah správy uvádza vyhláška č. 429/2009 Z. z. MH SR.

ODPORÚČANÝ POSTUP AUDÍTORA PRI RIEŠENÍ TECHNOÓGIÍ S PARNÝM SYSTÉMOM

1. Zber údajov:

- Audítor si od výrobcu vyžiada základné údaje o výrobe pary, spôsobe prevádzkovania kotolne, pri prerušovanej prevádzke časový rozvrh začatia a ukončenia výroby pary a zosúladenie s potrebami výroby
- Hlavné parametre pary (tlak, teplota, cena)
- Návratnosť kondenzátu v %
- Spôsob merania dodávanej pary
- Vnútropodnikový marketing
- Schému parných a kondenzačných potrubí
- Pasporty zariadení a výmenníkov tepla
- Spôsob zabezpečenia údržby

ODPORÚČANÝ POSTUP AUDÍTORA PRI RIEŠENÍ TECHNOÓGIÍ S PARNÝM SYSTÉMOM

2. Obhliadka na mieste:

- Pri obhliadke si zabezpečiť znalého pracovníka energetiky, údržby.
- Obhliadku začať v mieste výroby pary, postupovať v smere hlavných rozvodov pary až k jednotlivým spotrebičom.
- Pri obhliadke si zaznamenávať zistený stav a zakresľovať jednotlivé hlavné uzly, pomáhať si fotodokumentáciou a príp. používať dostupné meracie prenosné prístroje na kontrolné meranie teploty a funkčnosti armatúr (stetoskop).
- Zamerať sa hlavne na: **stav tepelnej izolácie potrubia**, armatúr, zariadenia (aj v nepriehľadných kanáloch) a **funkčnosť armatúr a odvádzačov** kondenzátu, uzatvorené obtoky, používanie trysiek pri priamej spotrebe pary na ohrev technologickej vody.

ODPORÚČANÝ POSTUP AUDÍTORA PRI RIEŠENÍ TECHNOÓGIÍ S PARNÝM SYSTÉMOM

- Overiť správnosť inštalácie potrubí, odbočiek, technologických uzlov, armatúr, odvodnenie potrubí, merania a regulácie.
- Zistiť typ použitých odvádzáčov kondenzátu, redukčných a uzatváracích ventilov a spôsob ich údržby.
- Riešenie kondenzačného hospodárstva (potrubné rozvody, izolácia, nádrže kondenzátu, prečerpávanie kondenzátu, návratnosť kondenzátu).
- Spôsob využívania zbytkového energetického potenciálu technologickej pary po odovzdaní tepla v spotrebiči a využívanie sekundárnej pary, napr. na predohrev vody, vykurovanie a pod.).
- CHÚV a prepojenie na napájaciu nádrž kotla

ODPORÚČANÝ POSTUP AUDÍTORA PRI RIEŠENÍ TECHNOÓGIÍ S PARNÝM SYSTÉMOM

3. Spracovanie návrhu správy obsahujúcej:

- Popis súčasného stavu
- Zistené nedostatky
- Odporúčania
- Ekonomická časť

4. Prerokovanie správy so zákazníkom

5. Dopracovanie správy (auditu), odovzdanie správy



TEPELNÁ ENERGIA

Pri posudzovaní parokondenzačných systémov sa odporúča mať aspoň základné znalosti z termodynamiky:

- základné informácie o parametroch pary sú v termodynamických tabuľkách (tlak, teplota, špecifický objem m^3/kg , špecifické teplo sytej pary kJ/kg , entalpia kJ/kg).

Ako používať termodynamické tabuľky pary:

- okrem určenia vzájomného vzťahu tlak - teplota môžeme vypočítať množstvo pary, ktoré skondenzuje v akejkoľvek vykurovacej jednotke pri jej známom výkone v (kJ). A naopak, tabuľky sa môžu použiť na určenie výkonu v (kJ), ak je známe množstvo kondenzujúcej pary.

TABUĽKA PARY

Tlak (bar abs.)	Teplota pary (°C)	Špecifický objem (m ³ /kg)	KiloJouly		Kilokalórie	
			Teplo sýtej kvapaliny (kJ/kg)	Latentné teplo (kJ/kg)	Teplo sýtej kvapaliny (kJ/kg)	Latentné teplo (kJ/kg)
stĺpec 1	stĺpec 2	stĺpec 3	stĺpec 4	stĺpec 5	stĺpec 6	stĺpec 7
<i>p</i>	<i>t</i>	<i>v</i>	<i>q</i>	<i>r</i>	<i>q</i>	<i>r</i>
0,010	7,0	129,20	29	2,484	7,0	593,5
0,020	17,5	67,01	73	2,460	17,5	587,6
0,030	24,1	45,67	101	2,444	24,1	583,9
0,040	29,0	34,80	121	2,433	28,9	581,2
0,050	32,9	28,19	138	2,423	32,9	578,9
0,060	36,2	23,47	151	2,415	36,2	577,0
0,070	39,0	20,53	163	2,409	39,0	575,5
0,080	41,5	18,10	174	2,403	41,5	574,0
0,090	43,8	16,20	183	2,398	43,7	572,8
0,10	45,8	14,67	192	2,393	45,8	571,8
0,20	60,1	7,650	251	2,358	60,1	563,3
0,30	69,1	5,229	289	2,335	69,1	558,0
0,40	75,9	3,993	317	2,319	75,8	554,0
0,50	81,3	3,240	340	2,305	81,3	550,7
0,60	86,0	2,732	359	2,293	85,9	547,9
0,70	90,0	2,365	376	2,283	89,9	545,5
0,80	93,5	2,087	391	2,274	93,5	543,2
0,90	96,7	1,869	405	2,265	96,7	541,2
1,00	99,6	1,694	417	2,257	99,7	539,3
1,5	111,4	1,159	467	2,226	111,5	531,8
2,0	120,2	0,8854	504	2,201	120,5	525,9
20,5	127,4	0,7184	535	2,181	127,8	521,0
3,0	133,5	0,6056	561	2,163	134,1	516,7
3,5	138,9	0,5240	584	2,147	139,5	512,9
4,0	143,6	0,4622	604	2,133	144,4	509,5

TABULKA PARY

4,5	147,9	0,4138	623	2,119	148,8	506,3
5,0	151,8	0,3747	640	2,107	152,8	503,4
6,0	158,8	0,3155	670	2,084	160,1	498,0
7,0	164,9	0,2727	696	0,065	166,4	493,3
8,0	170,4	0,2403	721	2,046	172,2	488,8
9,0	175,4	0,2148	742	2,029	177,3	484,8
10	179,9	0,1943	762	2,013	182,1	481,0
11	184,1	0,1774	778	1,998	186,5	477,4
12	188	0,1632	798	1,983	190,7	473,9
13	191,6	0,1511	814	1,970	194,5	470,8
14	195,0	0,1407	830	1,958	198,2	476,7
15	198,3	0,1317	844	1,945	201,7	464,7
16	201,4	0,1237	858	1,933	205,1	461,7
17	204,3	0,1166	871	1,921	208,2	459,0
18	207,1	0,1103	884	1,910	211,2	456,3
19	209,8	0,1047	897	1,899	214,2	453,6
20	212,4	0,09954	908	1,888	217,0	451,1
25	223,9	0,07991	961	1,839	229,7	439,3
30	233,8	0,06663	1,008	1,794	240,8	428,5
40	250,3	0,04975	1,087	1,712	259,7	409,1
50	263,9	0,03943	1,154	1,640	275,7	391,7
60	275,6	0,03244	1,213	1,571	289,8	375,4
70	285,8	0,02737	1,267	1,505	302,7	359,7
80	295,0	0,02353	1,317	1,112	314,6	344,6
90	303,3	0,02050	1,363	1,380	325,7	329,8
100	311,0	0,01804	1,407	1,319	336,3	315,2
110	318,1	0,01601	1,450	1,258	346,5	300,6
120	324,7	0,01428	1,492	1,197	356,3	286,0
130	330,8	0,01280	1,532	1,135	365,9	271,1
140	336,6	0,01150	1,571	1,070	375,4	255,7
150	342,1	0,01034	1,610	1,004	384,7	239,9
200	365,7	0,005877	1,826	592	436,2	141,4

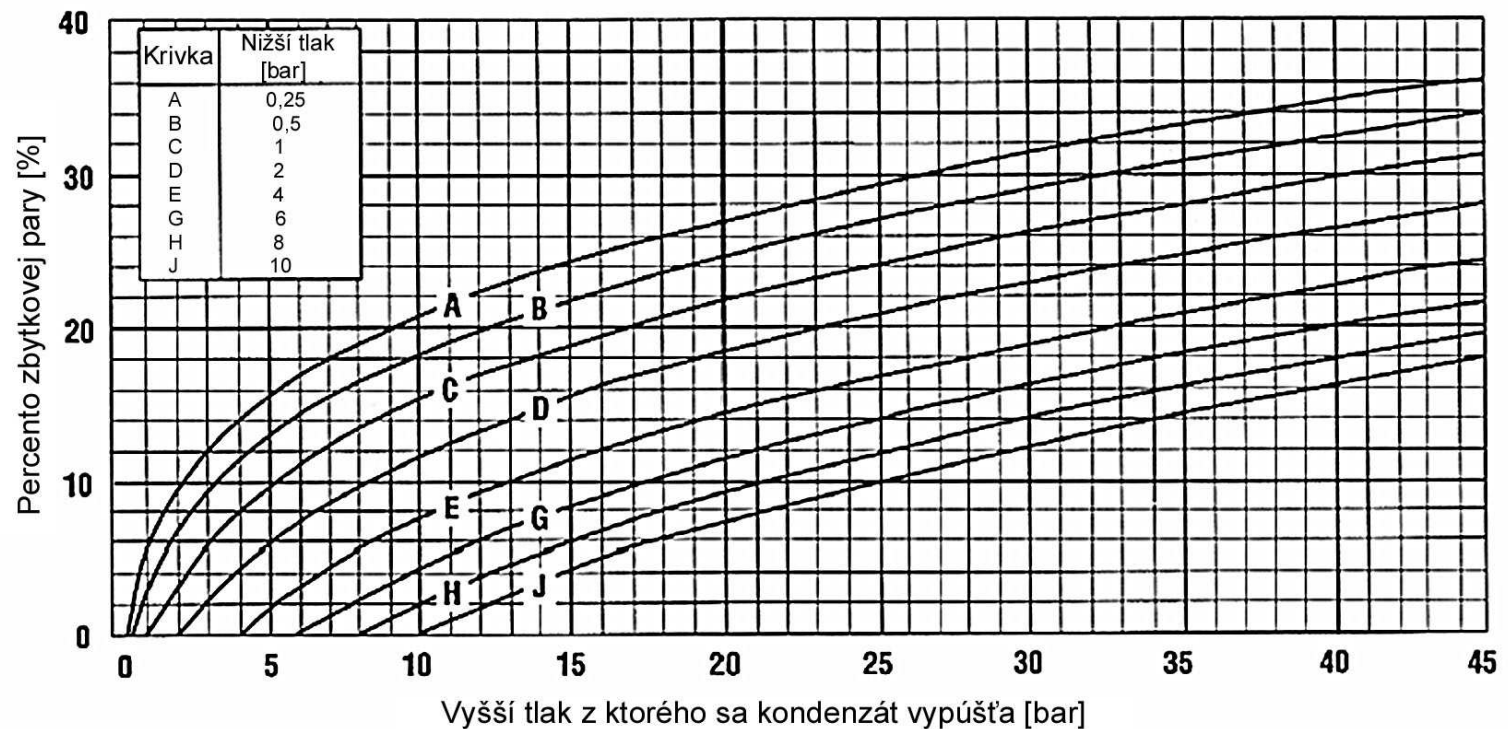
ZBYTKOVÁ (SEKUNDÁRNA) PARA

Je potrebné rozoznať ostrú paru od sekundárnej.

Čo je sekundárna para?

Ked' sa horúci kondenzát alebo kotlová voda pod tlakom uvoľní na nižší tlak, časť z nej sa odparí vo forme sekundárnej pary. Je dôležitá pre svoj obsah tepla.

PERCENTO ZOSTATKOVEJ PARY VZNIKNUTÉ PRI REDUKCII TLAKU KONDENZÁTU



PARA V TEPELNÝCH SYSTÉMOCH

- Para je veľmi efektívne a ľahko riadené médium prenosu tepla. Najčastejšie sa používa na prenos energie z centrálného zdroja (kotla) na akýkoľvek počet miest v závode, kde sa využíva na ohrev vzduchu, vody alebo technologické účely.
- Teplo potrebné na premenu vriacej vody na paru sa nazýva výparné alebo latentné teplo. Toto množstvo je rôzne pre každú kombináciu tlaku / teploty, ako je uvedené v tabuľkách vodnej pary.
- **Na ohriatie 1 kg vody z 20 °C na 100 °C potrebujeme dodať 335 kJ tepla. Na odparenie tohto množstva vody musíme pridať 2 257 kJ tepla.**

PARA V TEPELNÝCH SYSTÉMOCH

- Na vytvorenie 1 kg pary pri atmosférickom tlaku je potrebné dodať 2 592 kJ tepla. Všimnite si, že pre každé zvýšenie teploty vody o 1 °C až do bodu varu je potrebné 4,18 kJ tepla. Oveľa viac tepla je potrebné na premenu vody na paru pri teplote 100 °C.
- Na ohriatie 1 kg vody **pri tlaku 10 bar** z 20 °C na 100 °C potrebujeme dodať 678 kJ tepla. Na odparenie tohto množstva vody musíme pridať 2 013 kJ tepla.
- **Všimnite si, že viac tepla a vyššia teplota sú potrebné na to, aby voda vrela pri tlaku 10 bar ako pri atmosférickom tlaku. Všimnite si tiež, že menšie množstvo tepla je potrebné na zmenu vody na paru pri vyššej teplote.**

ODVÁDZANIE KONDENZÁTU

- Kondenzát je vedľajším produktom distribúcie tepla parným systémom.
- Vytvára sa v rozvodnom systéme v dôsledku tepelnej radiácie. Vytvára sa tiež vo vykurovacích a technologických zariadeniach ako výsledok želaného prenosu tepla z pary do ohrievanej látky.
- Akonáhle para skondenzuje a odovzdá výparné teplo, horúci kondenzát sa musí odvieť ihneď. Tepla, ktoré obsahuje kilogram horúceho kondenzátu, je veľmi málo v porovnaní s teplom obsiahnutým v kg pary.
- Kondenzát je však stále cennou horúcou upravenou vodou a mal by sa vrátiť bez zbytočných tepelných strát do zdroja tepla.

POTREBA ODVODU KONDENZÁTU

- Kondenzát nachádzajúci sa na spodnej časti parných potrubí môže byť príčinou vodných rázov. Para pohybujúca sa rýchlosťou až 150 km/h ponad tento kondenzát vytvára na jeho povrchu „vlny“.
- Pri dostatočnej tvorbe kondenzátu tlačí para o vysokej rýchlosti kondenzát pred sebou a na čelnej strane vytvára nebezpečný „brok“, ktorý sa stále zväčšuje. Čokoľvek, čo obmedzuje alebo mení smer tohto pohybu – potrubné tvarovky, regulačné ventily, T- kusy, kolená, slepé príruby – spôsobia vodný ráz, ktorý ich môže poškodiť. Okrem poškodenia spôsobeného týmto „tlčúcim kladivom“ môže voda o vysokej rýchlosti postupne vybrúsiť tvarovky pôsobením na ich kovový povrch.

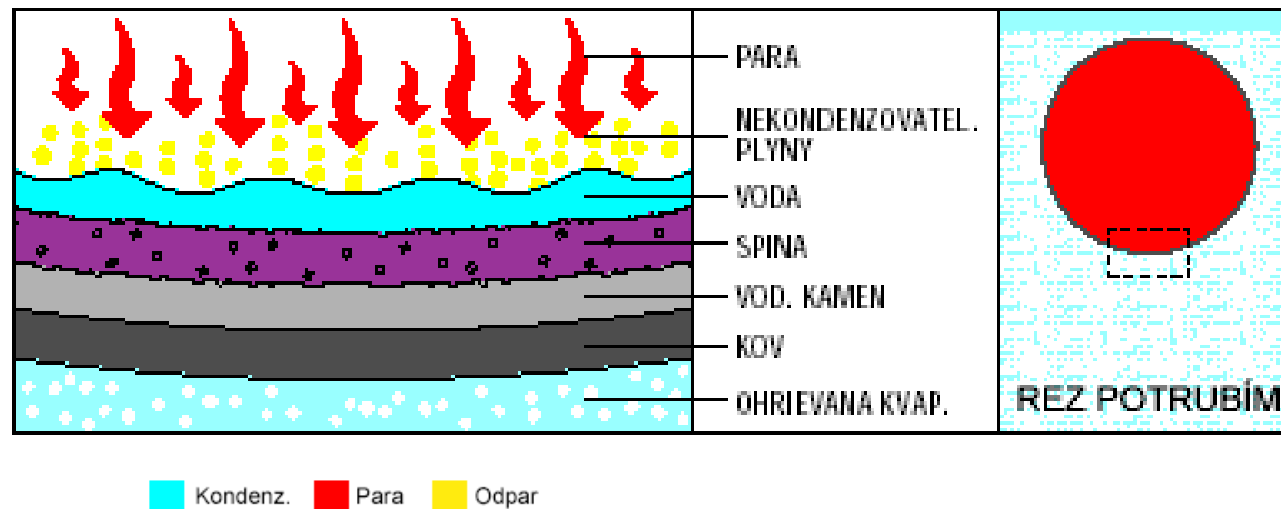
POTREBA ODVÁDZANIA KONDENZÁTU ZO ZARIADENÍ NA POUŽÍVANIE PARY

- Pri styku pary s chladnejším kondenzátom sa môže vytvárať iný druh vodného rázu známy ako tepelný ráz, pretože zaberá oveľa väčší objem ako kondenzát. Pri náhlej kondenzácii môže vysielat' do systému rázové vlny. Tento druh vodného rázu môže poškodiť zariadenie a signalizuje, že kondenzát sa zo systému neodvádza.
- Rýchle odvedenie kondenzátu zabezpečí, že výmenník bude obsahovať maximálne množstvo pary ako teplonosného média.
- Pri neodvážaní kondenzátu pary sa vytvára vodný film na vnútornom povrchu výmenníka tepla. Nekondenzovateľné plyny sa zhromažďujú ako tenký film na povrchu výmenníka tepla – spolu s nečistotami a vodným kameňom, čo predstavuje potenciálnu bariéru prenosu tepla.

POTREBA ODSTRÁNENIA VZDUCHU A CO₂

- Vzduch je vždy prítomný počas uvádzania zariadenia do prevádzky, ako aj v kotlovej napájacej vode.
- Napájacia voda môže tiež obsahovať rozpustené uhličitany, ktoré uvoľňujú plynný oxid uhličitý.
- Rýchlo prúdiaca para tlačí tieto plyny k stenám výmenníkov tepla, kde môžu blokovat' odovzdávanie tepla.
- **Toto je jeden z problémov pri odvádzaní kondenzátu, lebo tieto plyny sa musia odvieť spolu s kondenzátom.**

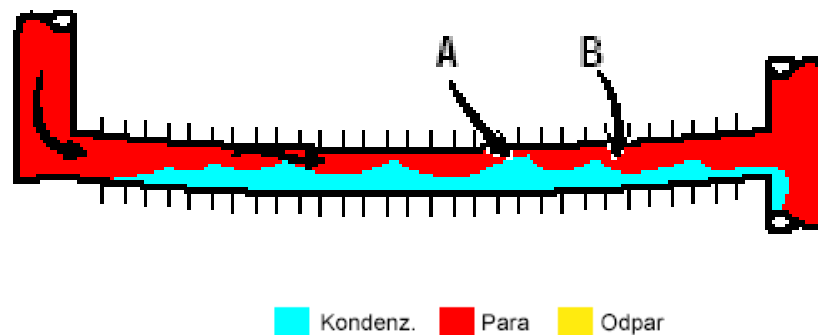
POTREBA ODSTRÁNENIA VZDUCHU A CO₂



Obrázok 1

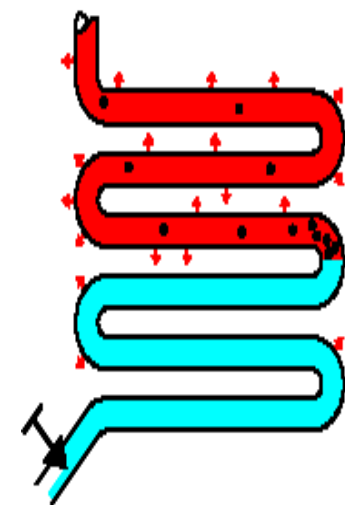
Potenciálne bariéry prenosu tepla: teplo obsiahnuté v pare musí preniknúť cez tieto potenciálne bariéry, aby mohlo plniť svoj účel.

POTREBA ODSTRÁNENIA VZDUCHU A CO₂



Obrázok 2

Kondenzát, ktorý sa môže zhromažďovať v potrubíach alebo rúrkach, je tvarovaný parou prechádzajúcou ponad kondenzát do vln, až kým v bode A nezablokuje prietok pary. Kondenzát v oblasti B spôsobí tlakový rozdiel, ktorý umožní tlaku pary tlačiť pred sebou brok (zátku) kondenzátu ako „tlčúce kladivo“.



Obrázok 3

Parný had do polovice naplnený kondenzátom nemôže pracovať na plný výkon.

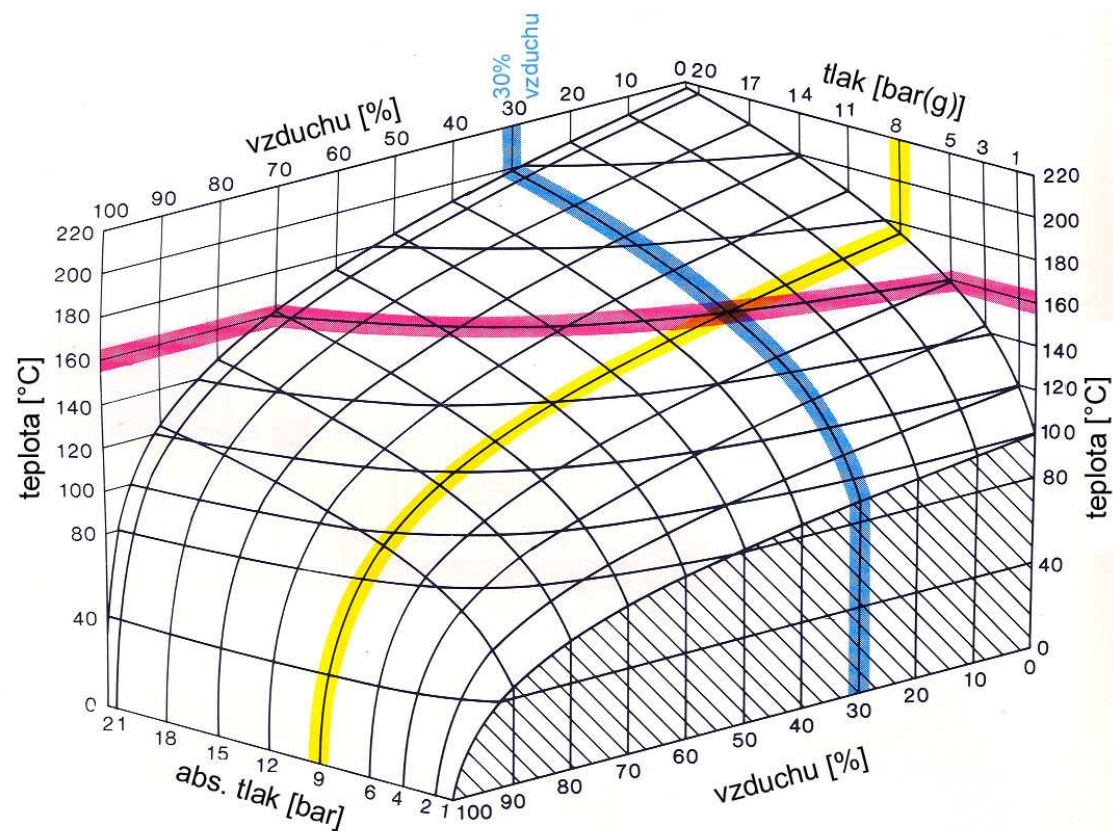
VPLYV VZDUCHU NA TEPLOTU PARY

Keď do parného systému vnikne vzduch alebo iné plyny, zaujmú časť z toho objemu, ktorý by inak zaujala para. Teplota zmesi vzduch/para klesne pod hodnotu teploty čistej pary.

ZNÍŽENIE TEPLOTY PARY SPÔSOBENÉ VZDUCHOM

Tlak pary	Teplota sýtej pary	Teplota pary zmiešanej s rôznym objemovým percentom vzduchu		
bar	°C	°C		
		10 %	20 %	30 %
2	120,2	116,7	113,0	110,0
4	143,6	140,0	135,5	131,1
6	158,8	154,5	150,3	145,1
8	170,4	165,9	161,3	155,9
10	179,9	175,4	170,4	165,0

VPLYV VZDUCHU NA TEPLITU PARY



zmes vzduchu a vodnej pary

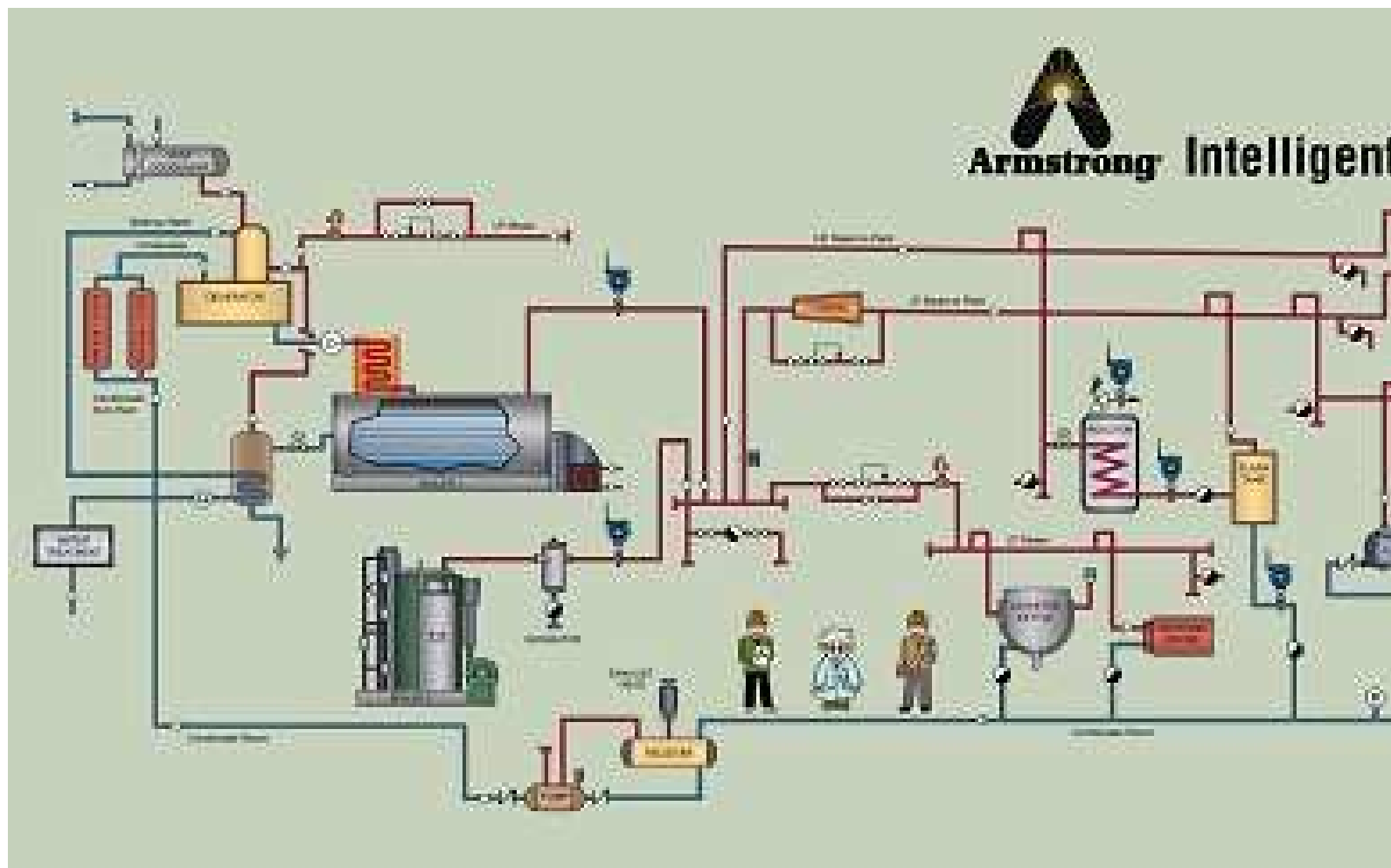
VPLYV VZDUCHU NA PRENOS TEPLA

- Para je zmes pary vzduchu a iných nekondenzovateľných plynov. Pri prietoku cez výmenník sa vzduch a plyny hromadia na povrchu výmenných plôch a tvoria bariéru medzi parou a povrchom výmenníka tepla. Vynikajúce izolačné vlastnosti vzduchu znižujú prenos tepla. V skutočnosti, za určitých podmienok, už aj 0,5 % objemového vzduchu v pare môže znížiť účinnosť prenosu tepla o 50 %.
- Neodvádzané plyny môžu naplniť výmenník tepla a úplne zastaviť prietok pary. Zariadenie je potom „úplne zavzdušnené“.

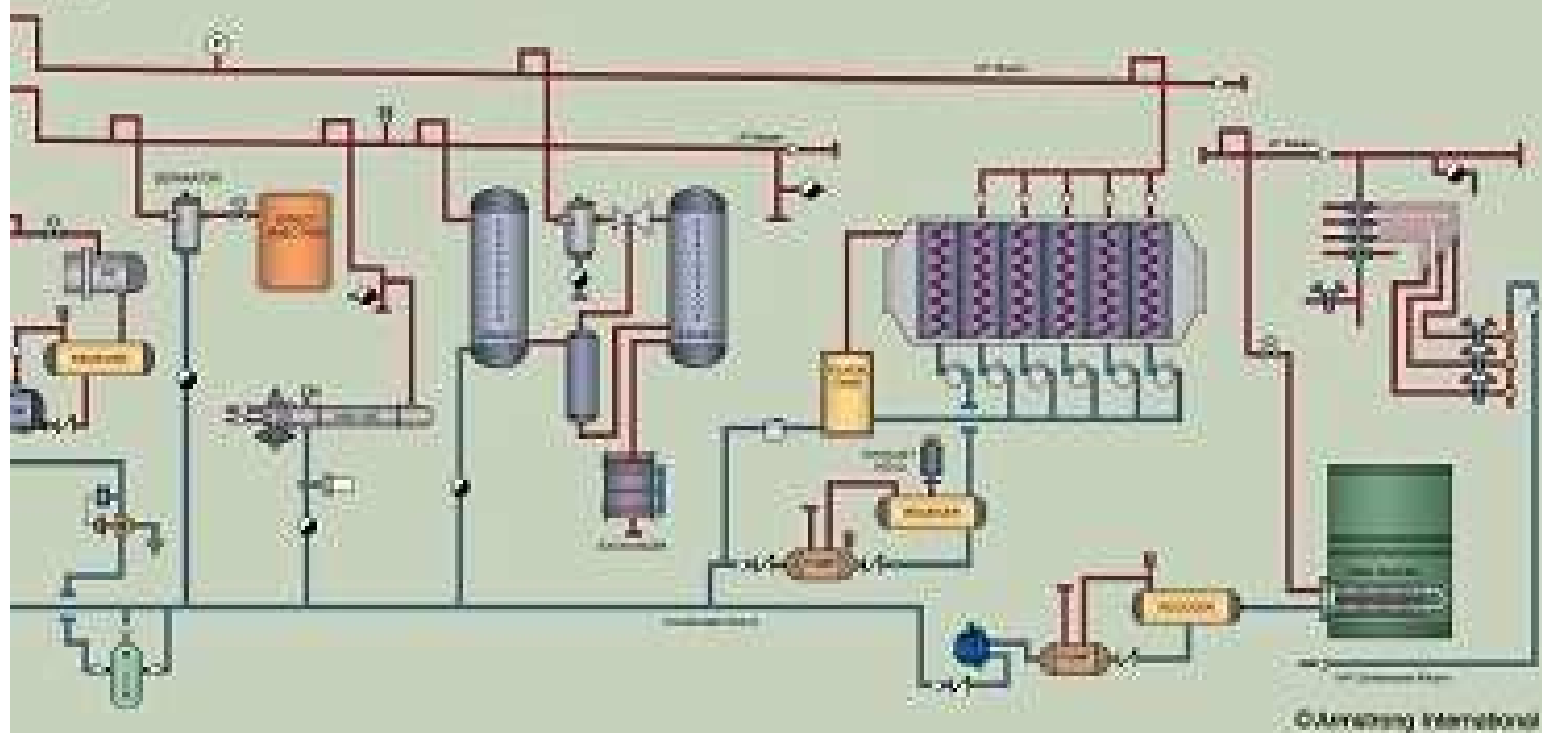
NEŽIADÚCI VPLYV KONDENZÁTU – ČO S NÍM?

- Odvádzače kondenzátu musia odviešť kondenzát, ktorý môže znížiť prenos tepla a spôsobiť vodné rázy.
- Odvádzače kondenzátu musia odviešť vzduch a iné nekondenzovateľné plyny, ktoré môžu znížiť prenos tepla znížením teploty pary a izolovaním systému. Tiež môžu podporovať deštruktívnu koróziu.
- Základom teda je odstrániť kondenzát, vzduch a CO₂ tak rýchlo a úplne, ako je to len možné.
- Odvádzač kondenzátu (ventil), ktorý sa otvára pre kondenzát, vzduch a CO₂ a zatvára sa pre paru, zabezpečuje túto činnosť automaticky. Z ekonomických dôvodov by mal odvádzač kondenzátu „robiť svoju prácu“ po dlhú dobu s minimálnym ošetrovaním.

UKÁŽKA PARNÉHO SYSTÉMU

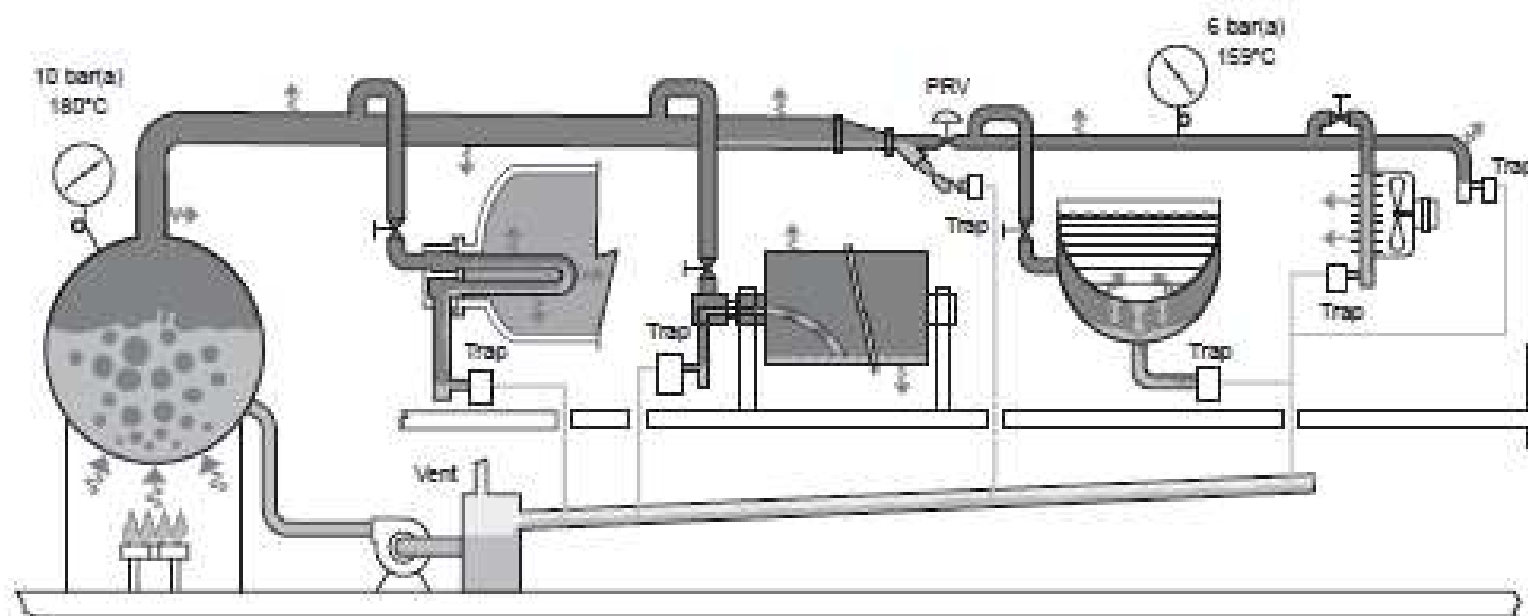


System Solutions



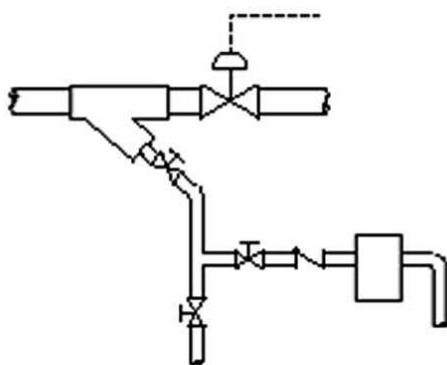
Operating Manual

PRÍKLADY SPRÁVNYCH RIEŠENÍ



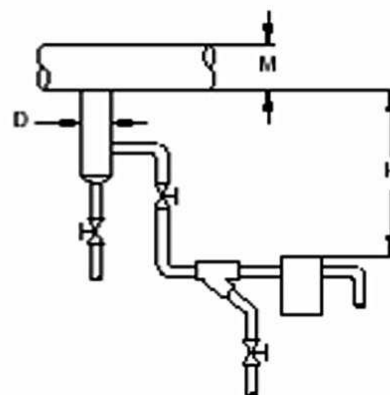
PRÍKLADY SPRÁVNÝCH RIEŠENÍ

Hlavné parné potrubia:



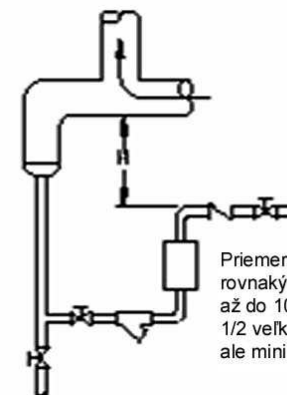
Obrázok 4

Odvádzač kondenzátu:
odvodňujúci filter
pred redukčným ventilom



Obrázok 5

Odvádzač kondenzátu:
odvodňujúci odvodňovaciu
kapsu na hlavnom parnom
potrubí



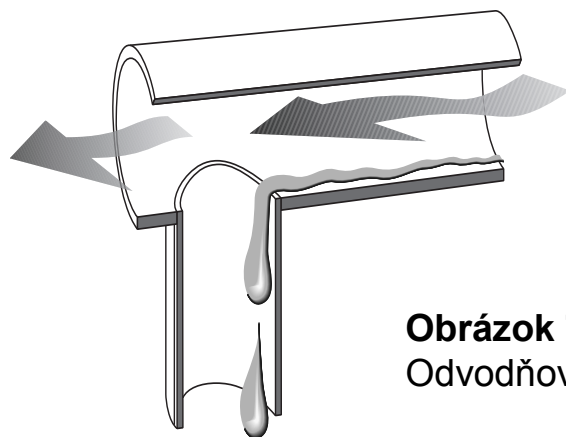
Priemer odvodňovacej kapsy D
rovnaký ako priemer potrubia
až do 100 mm. Nad 100 mm,
1/2 veľkosti potrubia,
ale minimálne 100 mm

Obrázok 6

Odvodňovacia kapsa
s odvádzačom kondenzátu
pred stúpačkou. Vzdialenosť „H“
v m delená desiatimi = statická
tlaková výška (bar) pre
pretlačenie vody cez odvádzač.

PRÍKLADY SPRÁVNÝCH RIEŠENÍ

Odvodňovacie kapsy:



Obrázok 7

Odvodňovacia kapsa – určenie veľkosti

Všetky systémy rozvodu pary potrebujú odvodňovacie kapsy umiestnené na potrubí v rôznych vzdialenostiach.

Ich účelom je:

- umožniť kondenzátu vytečť vlastnou váhou z prúdu rýchlo sa pohybujúcej pary v potrubí,
- nahromadiť kondenzát, kým tlakový rozdiel neumožní vypustiť ho cez odvádzač kondenzátu.

STRATY PARY CEZ OTVOR V PARNOM POTRUBÍ PRI TLAKU PARY 7 BAR(g)

Veľkosť otvoru (mm)	Straty pary (kg/mesiac)
12,7	379 500
11,2	289 500
9,5	213 600
7,9	147 700
6,4	95 400
4,8	53 200
3,2	23 800

Hodnoty strát pary predpokladajú čistú suchú paru unikajúcu cez otvor s ostrými hranami do atmosféry bez prítomnosti kondenzátu. Kondenzát obvykle znižuje tieto straty v dôsledku vytvárania sekundárnej pary pri znížení tlaku.

STRATY PARY VYČÍSLENÉ V EUR

Príklad:

- Jeden chybný malý odvádzač kondenzátu s vnútorným otvorom s priemerom 2 mm prepustí pri tlaku pary 10 bar (cca 1 MPa) až 12,25 kg pary/h.
- Za rok je strata viac ako 100 ton pary.
- 100 ton pary (pri tlaku 10 bar, entalpii 1 998 kJ/kg) predstavuje cca. 200 GJ množstvo tepla
- $200 \text{ GJ} \times 16,60 \text{ €/GJ} = \mathbf{3\,320,- \text{ €/rok (v palivovej zložke)}}$
- Straty pary pri správne fungujúcich odvádzačoch kondenzátu:
 - Zvonový: 0,42 kg/h
 - Termodynamický: 0,84 kg/h

NAJČASTEJŠIE SA VYSKYTUJÚCE NEDOSTATKY PAROKONDENZAČNÝCH SYSTÉMOV

1. **Separátor** - za kotlom nie je umiestnený alebo je nefunkčný
2. **Tepelná izolácia** - porušená alebo chýbajúca izolácia potrubí, armatúr alebo zariadení
3. **Hlavné parné rozvody** - nesprávna dimenzia, opačný spád, chýbajúce odvodnenie, nadmerná kyslíková korózia potrubia
4. **Vedľajšie parné rozvody** - dtto hlavné parné rozvod
5. **Redukčná stanica pary** - redukčný ventil a armatúry po dobe životnosti, netesnosti, para je redukovaná centrálne namiesto redukcie priamo na mieste spotreby
6. **Výmenníky tepla** - kapacitne predimenzované; nefunkčná regulácia; armatúry / ventily / odvádzač kondenzátu sú nefunkčné; otvorený obtok odvádzača kondenzátu; nesprávny typ odvádzača kondenzátu; porušená tepelná izolácia.

NAJČASTEJŠIE SA VYSKYTUJÚCE NEDOSTATKY PAROKONDENZAČNÝCH SYSTÉMOV

7. **Technologické zariadenia** - zlý technický stav, zavodenie časti výmenných plôch, netesnosti na strane pary alebo kondenzátu, nefunkčná regulácia, neodvzdušnené výmenné plochy
8. **Odvod kondenzátu** - prepojenie rôznych tlakových pásiem do jedného okruhu, otvorené kondenzátne nádrže, nesprávne spádovanie, nefunkčné odvádzачe kondenzátu, neskorý návrat kondenzátu o nízkom energetickom potenciále do napájacej nádrže kotla
9. **Armatúry** - používanie guľových uzatváracích ventilov namiesto špeciálnych ventilov na paru, nevhodná voľba odvádzачov kondenzátu, chýbajúce filtre pred drahými redukčnými ventilmi, chýbajúce spätné klapky, odvzdušňovacie ventily
10. **Nedostatočný systém prevencie a údržby**

DIAGNOSTICKÉ PRÍSTROJE



Bezdotykový merač teplota



Meranie funkčnosti odvádzача
kondenzátu

Ďakujem za pozornosť

Ing. Štefan Chladný

EMES s.r.o.

Tr. SNP 75

Banská Bystrica

E-mail: emes@bb.psg.sk

Mobil: 0905 330 615