

АНАЛИЗА НА ПОСТОЕЧКАТА СОСТОЈБА НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ НА ЗГРАДИТЕ

Класични извори на енергија, водогрејни котли



Ристо В. Филкоски

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“

Машински факултет

Скопје, Република Македонија

risto.filkoski@mf.edu.mk



Извори на енергија

Класични извори на енергија – делови од системот за греење во кои доаѓа до претворба на примарниот извор на енергија (хемиска енергија содржана во горивата) во топлина, која потоа директно или индиректно се предава на просторијата.

ПОДЕЛБА НА КЛАСИЧНИТЕ ИЗВОРИ НА ТОПЛИНСКА ЕНЕРГИЈА

- Според изведбата
 - котли за греење и комбинирани котли (за греење и подготовка на СТВ)
 - грејалки и загревачи на воздух
 - печки, шпорети и камини
 - топлински станици
- Според видот на енергенсот
 - извори на топлинска енергија на гасни горива
 - извори на топлинска енергија на течни горива
 - извори на топлинска енергија на цврсти горива
 - електрични извори на топлина
 - топлиноизменувачи, топлински станици и др.

Извори на енергија

ПОДЕЛБА НА КЛАСИЧНИТЕ ИЗВОРИ НА ТОПЛИНСКА ЕНЕРГИЈА

- Според преносникот на топлина
 - топоводни
 - вреловодни
 - парни
 - уреди на термичко масло
 - уреди на загреан воздух
 - директни (за загревање на околниот воздух, без посредник)
- Според локацијата (местото) на поставување
 - подни или самостоечки
 - ѕидни
 - обесени на плафонот или на одредена носечка конструкција итн.

Извори на енергија

Класификација

Котли – уреди во кои се врши претворба на примарна форма на енергија (на пр., хемиска енергија на горивна материја) во топлина, која потоа се предава на работен медиум (вода, водна пара, ...). Работниот медиум се доведува до грејни тела и преку нив топлината се предава во греениот простор.

Поделба на котлите според финалниот продукт:

- парни (сувозаситена пара, прегреана пара, комбинација)
- водогрејни (топоводни, вреловодни)

Поделба на топоводните котли според номиналниот капацитет:

- ТК со мал капацитет (до 50 kW)
- ТК со среден капацитет (50 – 500 kW)
- ТК со голем капацитет (над 500 kW)

Извори на енергија

Поделба на котлите според користениот енергетски ресурс:

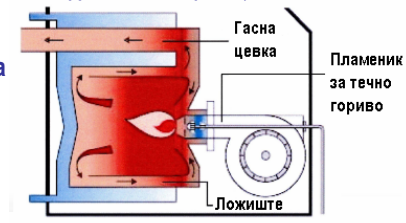
- котли на гасно гориво (природен гас, ТНГ)
- котли на течено гориво (лесно масло, ...)
- котли на цврсти горива (јаглен, дрво, дрвени отпадоци, брикети, ...)
- електрични котли

Поделба на топловодните котли според материјалот за изработка:

- котли од леано железо, изработени од леани (членковидни) елементи
- челични котли и котли од легирани челици (изработени од лимови и цевки, со заварување)

Поделба според изведбата и начинот на работа на пламеникот (горилникот):

- котли со пламеник без вентилатор (атмосферски горилник)
- котли со пламеник со вентилатор

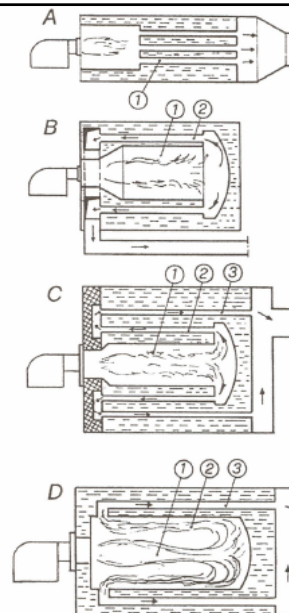


Шема на котел со пламеник на течено гориво

Извори на енергија

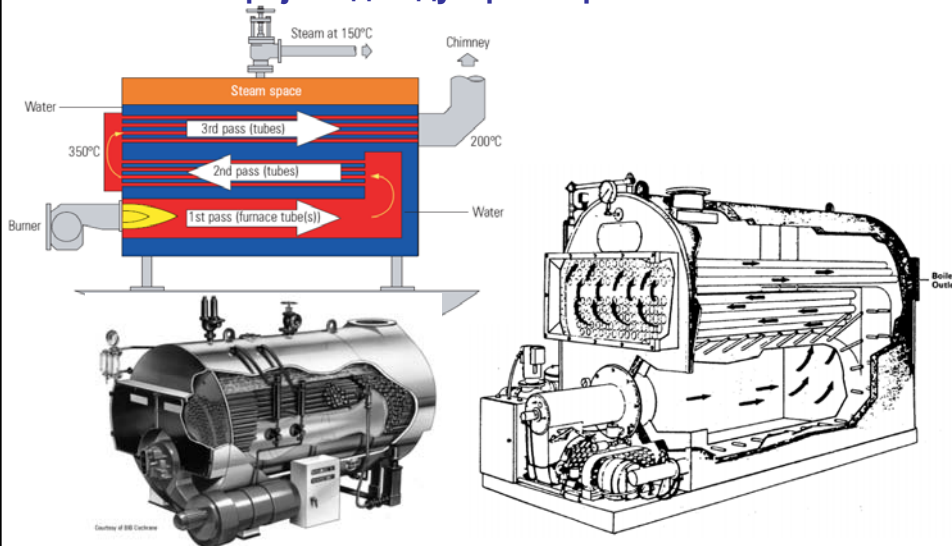
Поделба на котлите според начинот на водење на продуктите од согурувањето:

- котли со еден гасен канал (премин, тракт) - А
- котли со два гасни тракта - В
- котли со три гасни тракта - С
- котли со повратно струење во ложиштето (реверзибилно ложиште) - D



Поделба на котелските постројки според начинот на водење на продуктите од согурувањето

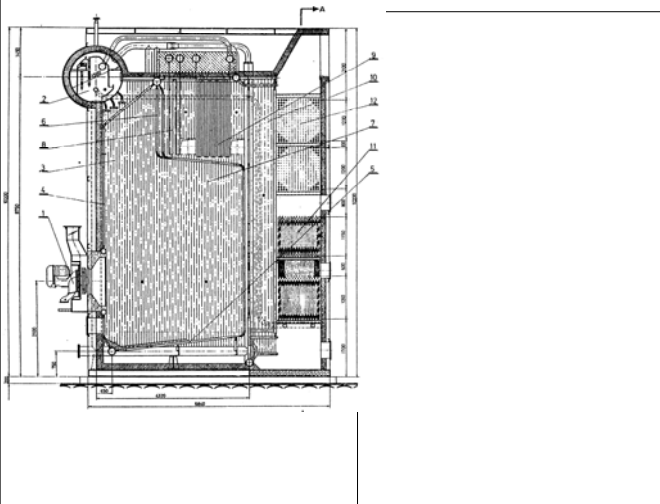
Котелски постројки од индустриски ранг



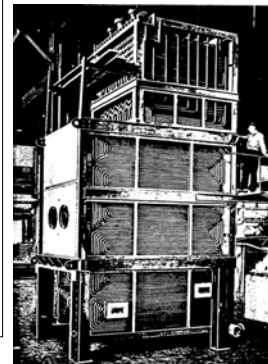
Хоризонтален парен котел со пламена и со гасни цевки, принцип на функционирање и аксонометриски приказ

Horizontal return tubular boiler

Котелски постројки од индустриски и енергетски ранг



Парни котли на течно / гасно гориво



Вреловоден котел

Извори на енергија

НИСКОТЕМПЕРАТУРНИ ИЗВОРИ НА ТОПЛИНСКА ЕНЕРГИЈА

- Уреди што обезбедуваат преносникот на топлина да се загрева до температурно ниво што одговара на нискотемпературен систем: најмногу до 75°C, односно до 55°C при многу висока повратна температура

ВООБИЧАЕНИ НИСКОТЕМПЕРАТУРНИ ИЗВОРИ НА ТОПЛИНСКА ЕНЕРГИЈА

- Топловодни нискотемпературни котли на гасно и течно гориво
- Топловодни кондензациски котли на гасно и течно гориво
- Топлински пумпи
- Алтернативни извори – сончева и геотермална енергија, комбинирани бивалентни извори (на пр., топловоден кондензациски котел во комбинација со топлинска пумпа)

Извори на енергија

Поделба на водогрејните котлите според температурата на водата во котелот

▪ СТАНДАРДНИ КОТЛИ

Топловодни котли кај кои просечната погонска температура се одржува на ниво 70-80°C, поради самата конструкција на котелот, со цел да се спречи кондензација на водната пара содржана во гасовите.

▪ НИСКОТЕМПЕРАТУРНИ КОТЛИ

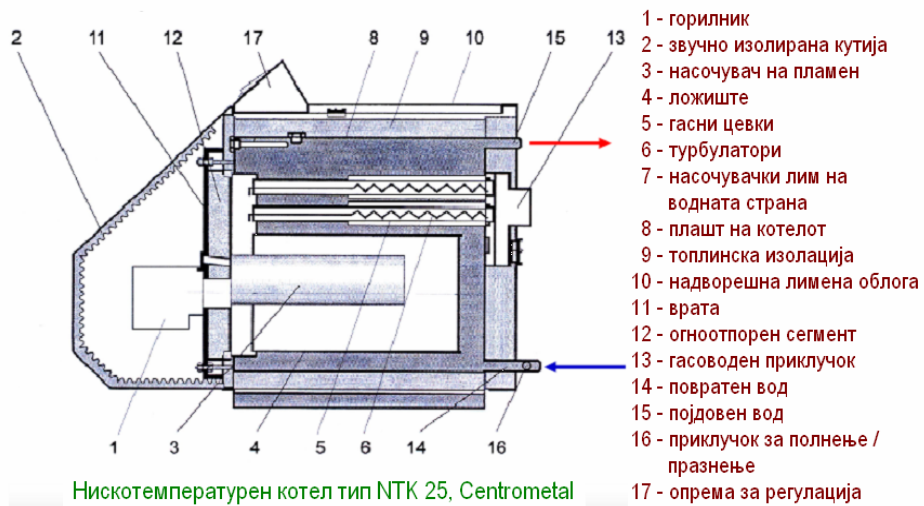
Топловодни котли кои можат континуирано да функционираат со температура на повратната вода до 35°C и кај кои во одредени услови може да настапи кондензација на H₂O содржана во гасните продукти од согорувањето.

▪ КОНДЕНЗАЦИСКИ КОТЛИ

Топловодни котли конструирани така што да овозможат кондензација на поголемиот дел на H₂O содржана во продуктите од согорувањето, со цел да се искористи латентната топлина на кондензација, односно горната топлинска моќ на горивото.

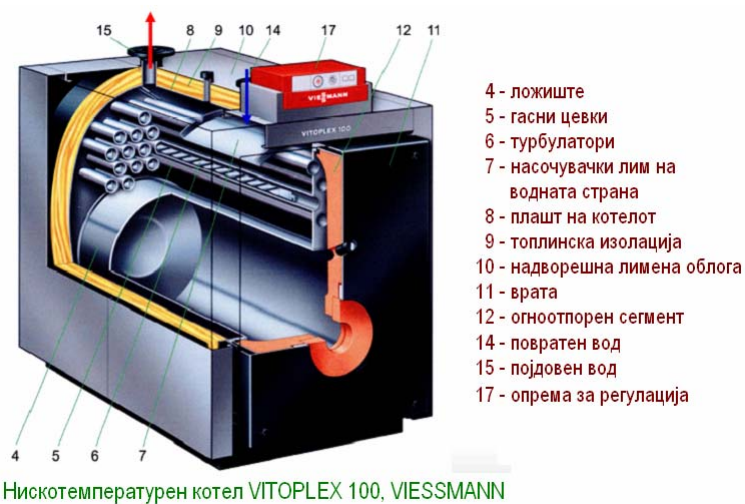
Извори на енергија

Основни делови на нискотемпературен котел



Извори на енергија

Основни делови на нискотемпературен котел



Извори на енергија

Нискотемпературни котли – интензивирање на преносот на топлина

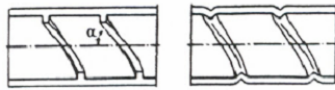
Аналогно делување се постигнува со:

- оребрување на внатрешната страна на цевките
- турбулатори

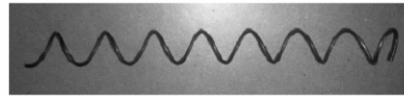
Спирални ребра на цевките
од внатрешна страна



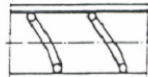
Турбулатори во форма
на завојница



Спирални ребра



Изглед на турбулатор

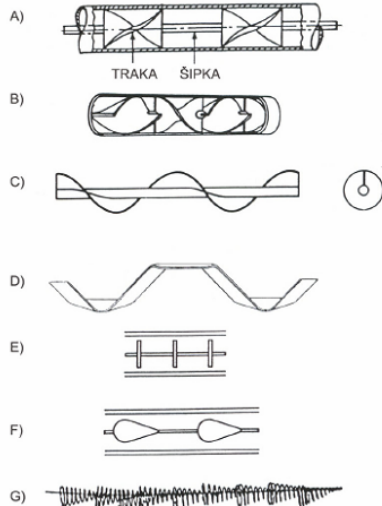


Завојница

ТУРБУЛАТОРИ - механички елементи кои ја зголемуваат турбуленцијата при струењето на гасовите, го разбиваат граничниот слој покрај цевниот ѕид, кој претставува топлински отпор и на тој начин го интензивираат преносот на топлина

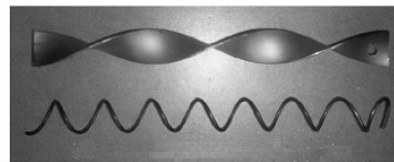
Извори на енергија

Нискотемпературни котли – интензивирање на преносот на топлина



Турбулатори:

- A) сегментирана спирална лента,
- B) статички миксер,
- C) спирална лента на шипка,
- D) превиткана лента,
- E) турбулатор со дискови,
- F) турбулатор со профилирани елементи,
- G) завојница со променлив дијаметар



Извори на енергија

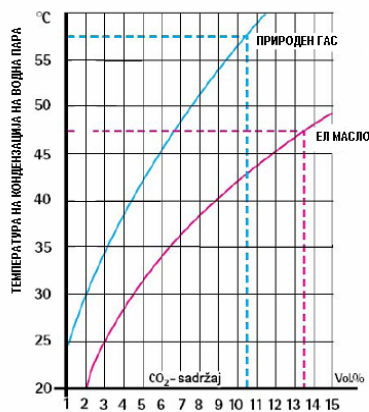
Нискотемпературни топоводни котли – експлоатациони проблеми

Карактеристики во однос на функционирањето

- лизгачки режим на работа;
- котелската вода секогаш се загрева на потребната појдовна температура, во зависност од надворешната температура или во зависност од друга соодветна водечка величина;
- се намалуваат енергетските (топлинските) загуби;
- поради ниската температура на водата во НТ котел може да дојде до појава на
 - кондензација на влагата содржана во гасовите и
 - нискотемпературна корозија (доколку во горивото има S)
- неопходно (задолжително) е температурата на сидовите на топлиноизменувачките површини на страната на гасовите да се одржува над температурата на кондензација на H_2O во гасовите!

Извори на енергија

Нискотемпературни топоводни котли – експлоатациони проблеми



Природен (земјен) гас (95% CH_4)
при содржина на CO_2 од 10,5% \Rightarrow 57 °C

Температура на кондензација на гасовите

Природен (земјен) гас (95% CH_4)
при содржина на CO_2 од 10,5% \Rightarrow 57 °C

ЕЛ масло за ложење
при содржина на CO_2 од 3,5% \Rightarrow 47 °C



Гранична температура на сидовите за НТ котлите
на екстра лесно масло за ложење и на гас: 65 °C

Температура на кондензација на H_2O во гасовите при
согорување на природен гас и екстра лесно масло

Извори на енергија

Нискотемпературни топоводни котли – експлоатациони проблеми

Мерки за спречување на кондензација од гасна страна и нискотемпературна корозија

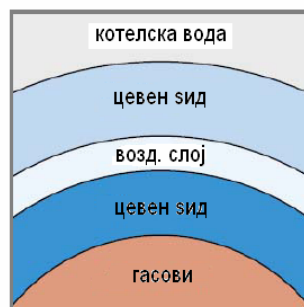
- одржување на температурата на цевните ѕидови над очекуваната точка на роса на гасовите
- примена на материјали отпорни на корозија
- конструктивни мерки
- погонски мерки (управување со струењето на водата)
- користење горива без или со ниска содржина на сулфур
- насочување / водење на пламенот
- додатоци (адитиви)

Извори на енергија

Нискотемпературни топоводни котли

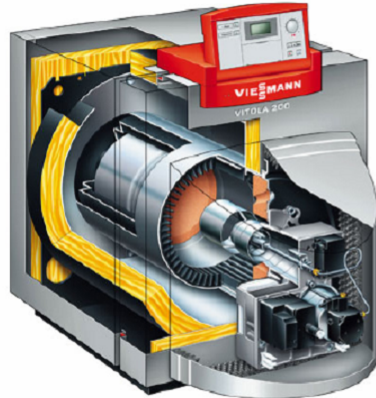
КОНСТРУКТИВНИ МЕРКИ ЗА СПРЕЧУВАЊЕ
НА НИСКОТЕМПЕРАТУРНА КОРОЗИЈА

- двослојни топлиноизменувачки (грејни) површини
- ребрувања или турбулатори на страната на гасовите



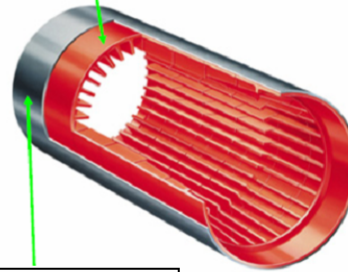
Извори на енергија

Нискотемпературен котел - спречување на кондензација на гасовите во ложиштето



VITOLA 200 VB2A - Челично/лиен котел на течно и гасно гориво без ограничување на температурата на повратната вода

Лиен елемент со недолжно оребрување

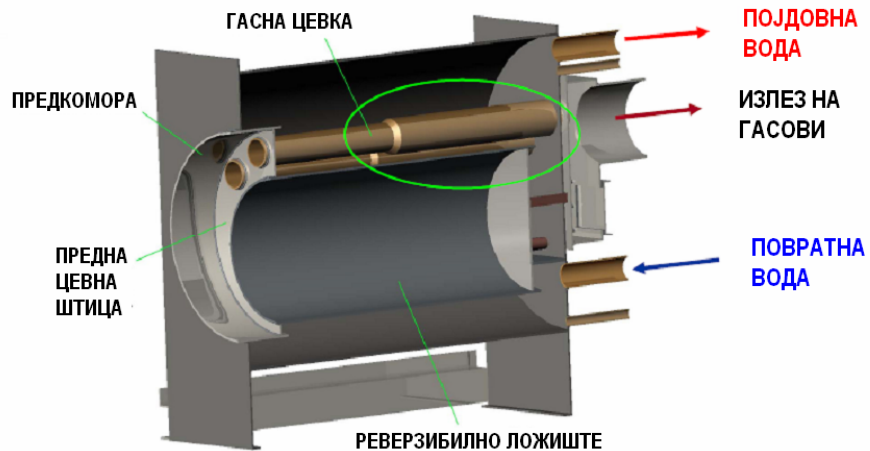


Надворешен челичен цилиндер

Биферална комбинирана грејна површина

Извори на енергија

Нискотемпературен котел - спречување на кондензација на влагата во гасните цевки - двослојни грејни површини → систем „цевка во цевка“

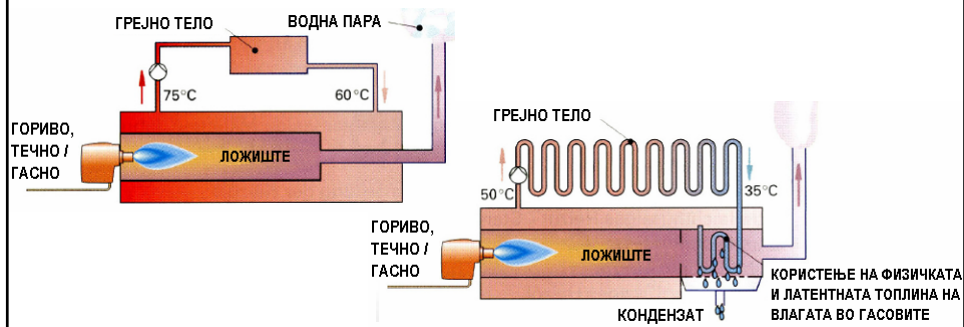


Кондензациски котли, искористување на горната топлинска моќ на горивата

- Долна топлинска моќ – топлина што се ослободува при согорување на 1 kg или 1 m³ гориво, без искористување на топлината на кондензација на H₂O (водната пара во гасовите не кондензира)

- Горна топлинска моќ – топлина што се ослободува при согорување на 1 kg или 1 m³ гориво, со дополнително искористување на топлината на кондензација на H₂O (в

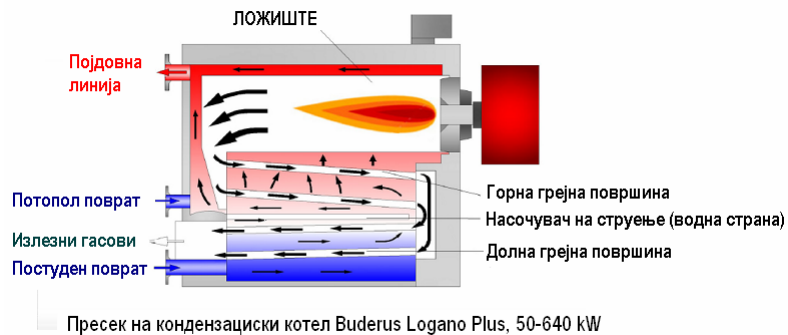
$$H_g = H_d + 2500 \left(\frac{9H + W}{100} \right) = H_d + 25(9H + W) \text{ [kJ/kg]}$$



Извори на енергија

Кондензациски котли, основни поими

- Во одредени работни режими делумно или целосно се искористува и разликата помеѓу горната и долната топлинска моќ на горивото
- Овозможуваат поголема годишна искористливост на топлинскиот уред во споредба со нискотемпературните котли
- Повратната вода со ниска температура во котелот презема толку топлина од гасовите што нивната температура паѓа под точката на роса, така што H₂O од гасовите кондензира, при што се оддава латентната топлина на кондензација.



Извори на енергија

- Претпоставка за искористување на латентната топлина во излезните гасови е горивото да содржи H_2 и C_mH_n , при што со согорување се добива H_2O
- Поголема содржина на водород во горивото, повеќе расположлива латентна топлина
- Одводот на кондензат мора да биде соодветно регулиран
- При одведувањето на кондензатот (кисела средина, според pH) треба да се посвети внимание на:
 - материјалот на цевководите за одведување на флуидот (материјали отпорни на делувањето на кондензатот: нерѓосувачки челик, PVC, PE, PP, ...)
 - потребата за неутрализација на кондензатот (табела)

Потреба за обработка на кондензатот во зависност од видот на горивото и номиналниот капацитет на котелот

Топлински капацитет на котелот, kW	Потреба за неутрализација на кондензатот		
	Прир. гас, ТНГ	Нискосулфурно ЕЛ	Вообичаено ЕЛ м.
< 25	Не постои	Не постои	Постои
25 – 200	Не постои	Не постои	Постои
> 200	Постои	Постои	Постои

Извори на енергија

Значење на ефикасноста на изворот на енергија

Со оглед на влијателноста врз вкупната ефикасност на системот, општите настојувања за функционирањето на котелските постројки се сведуваат на следново:

- постигнување што повисок степен на корисност на котелот (η_k);
 - коефикасно согорување;
 - помала потрошувачка на гориво за ист капацитет
- поголема ефикасност на системот и заштеда на енергетски ресурси
- намалување на емисијата на штетни материи кон околината (воздух, вода, почва), односно
 - намалување на штетното локално (емисија на CO, честици, CmHn, NOx и други материи) и
 - глобално (емисија на стакленички гасови) влијание врз околината

Енергетски загуби на изворот на енергија

Типичен основен енергетски биланс на котел од индустриски ранг по неколку-годишна експлоатација



Извори на енергија

Степен на корисност на водогреен котел

1. Степен на корисност според директниот метод

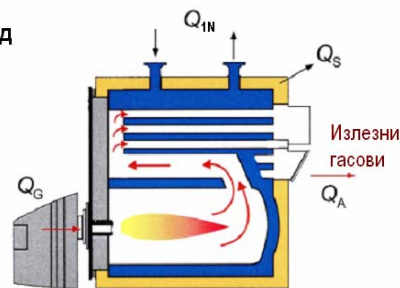
$$\eta_k = \frac{Q_{1N}}{Q_G} = \frac{Q_{1N}}{\dot{m}_G \cdot H_d}$$

Q_{1N} – номинален капацитет на котелот, W

Q_G – оптоварување на ложиштето, одн. количество топлина доведено со горивото, J/s = W

\dot{m}_G – масен проток на гориво, kg/s

H_d – долна топлинска моќ на горивото, J/kg



2. Степен на корисност според индиректниот метод

$$\eta_k = \frac{Q_{1N}}{Q_G} = \frac{Q_G - Q_A - Q_U - Q_S}{Q_G} \rightarrow \eta_k = 1 - q_A - q_U - q_S$$

q_A – загуба на осетна топлина со гасовите, [-]

q_U – загуба на топлина поради нецелосно согорување, [-]

q_S – загуба на топлина поради зрачење и конвекција, [-]

q_A , q_U и q_S → релативни вредности сведени на оптоварувањето на лож., Q_G

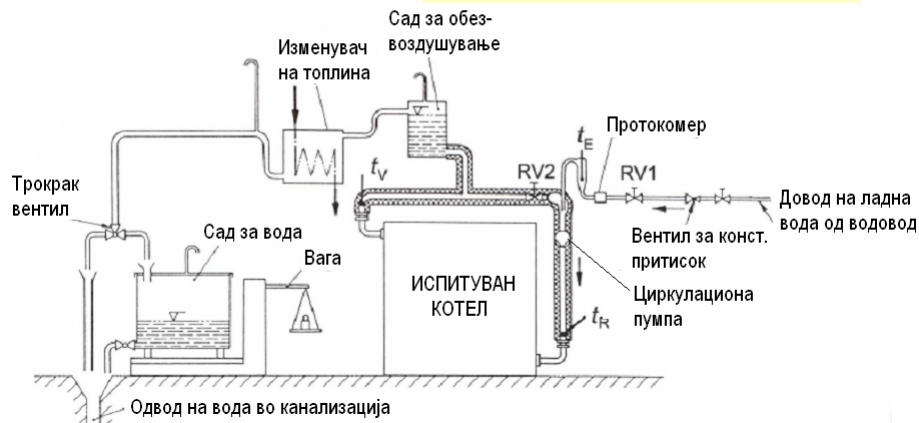
Извори на енергија

Топлински капацитет на водогреен котел

ИСПИТНА ЛИНИЈА СО КРАТКО СПОЕН ВОД (EN 304)

DIN EN 304: Heizkessel –Prüfregeln für Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern, November 1992.

Корисно предадена енергија: $Q_{1N} = \dot{m}_w \cdot c_{pW} \cdot (t_v - t_E) = \dot{V}_w \cdot \rho_w \cdot c_{pW} \cdot (t_v - t_E)$



Извори на енергија

Топлински капацитет и степен на корисност на водогреен котел

ИСПИТНА ЛИНИЈА СО КРАТКО СПОЕН ВОД (EN 304)

Корисно предадена топлина:

$$Q_{1N} = \dot{m}_w \cdot c_{pW} \cdot (t_v - t_E) = \dot{V}_w \cdot \rho_w \cdot c_{pW} \cdot (t_v - t_E)$$

Со системот за мерење се следат следниве величини:

- температура на незагреаната вода t_E
- температура на повратната вода t_R
- температура на појдовната вода t_v
- масен проток на незагреана вода од водовод \dot{m}_w
- потрошувачка на гориво во котелот \dot{m}_G

Степен на корисност на котелот:

$$\eta_k = \frac{Q_{1N}}{Q_G} = \frac{Q_{1N}}{\dot{m}_G \cdot H_d}$$

Извори на енергија

Споредба на степени на корисност на различни водогрејни котли

$$\eta_K = \frac{Q_N}{\dot{m}_G \cdot H_d}$$

ВИД НА КОТЕЛ	СТЕПЕН НА КОРИСНОСТ, %	ЕНЕРГЕНТ
Стандардни (постара изведба)	65 – 72 %	Цврсти горива
Стандардни (комбинирани)	70 – 75 %	Цврсто / течно гор.
Стандардни (едно гориво)	80 – 90 %	Цврсто гориво
	86 – 90 %	Течно, гасно гор.
Нискотемпературни	90 – 95 %	Течно гор., гасно гор.
Кондензациски (пресм. за H_d)	100 – 108 % *	Гасно / течно гор.
Котли на биомаса	80 – 95 %	Биомаса

* Подобра споредба – степенот на корисност да се пресметува за H_g , така што за сите котелски конструкции би важело $\eta_K < 100$ %!

Извори на енергија

Степен на корисност на нискотемпературни водогрејни котли



Баран степен на корисност на нискотемпературни котли според DIN EN 303-3

$$4 \text{ kW} \leq Q_N \leq 400 \text{ kW} \Rightarrow \eta_K \geq 87,5 + 1,5 \cdot \log Q_N$$

$$Q_N > 400 \text{ kW} \Rightarrow \eta_K \geq 91,4 \%$$

¹⁾ DIN EN 303-3: Heizkessel – Teil 3: Zentralheizkessel für gasförmige Brennstoffe - Zusammenbau aus Kessel und Gebläsebrenner, Januar 1999.

Извори на енергија

Споредба - квалитетни нискотемпературни и кондензациски котли

НИСКОТЕМПЕРАТУРЕН КОТЕЛ

Енергија на горивото
(долна топлинска моќ)

Дополнително искористлива
топлина на кондензација 11 %



Корисна топлина 94 %

КОНДЕНЗАЦИСКИ КОТЕЛ

Енергија на горивото
(долна топлинска моќ)

Дополнително искористлива
топлина на кондензација 11 %



Корисна топлина 108 % (Пресметано на Hd!)

Гориво	H_g / H_d [-]	Максимален теор. степен на корисност на конд. котли [-]
Прир. гас	1,11	1,11
ЕЛ масло	1,06	1,06

Извори на енергија

Споредба – стар стандарден, нискотемпературен и кондензациски котел

1) Со замена на стар стандарден котел со степен на корисност 0,7 со нискотемпературен котел со степен на корисност 0,94, потрошувачката на гориво би се намалила за 25,53 %

$$\Delta E = \left(1 - \frac{\eta_S}{\eta_N}\right) \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{0,7}{0,94}\right) \cdot 100 \% = 25,53 \%$$

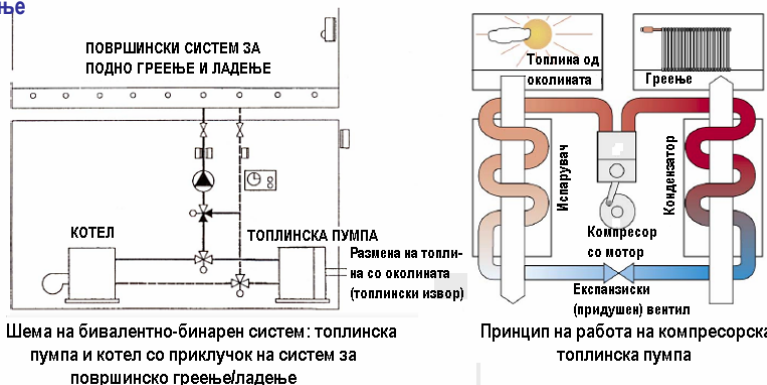
2) Со замена на стар стандарден котел со степен на корисност 0,7 со кондензациски котел со степен на корисност 1,08 (сметан врз основа на долна топлинска моќ на горивото), потрошувачката на гориво би се намалила за 35,18 %

$$\Delta E = \left(1 - \frac{\eta_S}{\eta_N}\right) \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{0,7}{1,08}\right) \cdot 100 \% = 35,18 \%$$

Извори на енергија

ДРУГИ МОЖНОСТИ ЗА НИСКОТЕМПЕРАТУРНИ ИЗВОРИ НА ТОПЛИНА: БИВАЛЕНТНО-БИНАРНА ИЗВЕДБА

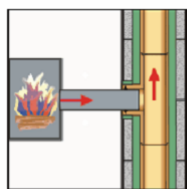
- Двоен извор на топлина: топлинска пумпа и топловоден котел (нискотемпературен или кондензациски)
- **ЗИМСКИ РЕЖИМ:** површинско греење со топлинска пумпа, одн. со топловоден котел (алтернативен, делумно паралелен и паралелен начин на работа на пумпата)
- **ЛЕТЕН РЕЖИМ:** површинско ладење со топлинска пумпа како извор на енергија за ладење



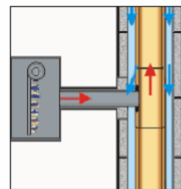
Извори на енергија

Поделба на котлите според начинот на доведување на воздух за согорување на горивото:

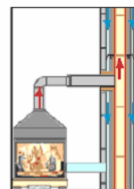
- котли со погон зависен од воздухот во просторијата
- котли со погон независен од воздухот во просторијата



Погон на котелот зависен од воздухот во просторијата



Погон на котелот независен од воздухот во просторијата



- За согорување на 1 kg течно гориво потребни се 11-12 m³ воздух

$$V_{Lmin} = \frac{0,203H_d}{1000} + 2,0 \quad [m^3/kg]$$

- За согорување на 1 m³ гасно гориво потребни се 9,1-10 m³ воздух

$$V_{Lmin} = \frac{0,260H_d}{1000} \quad [m^3/m^3]$$

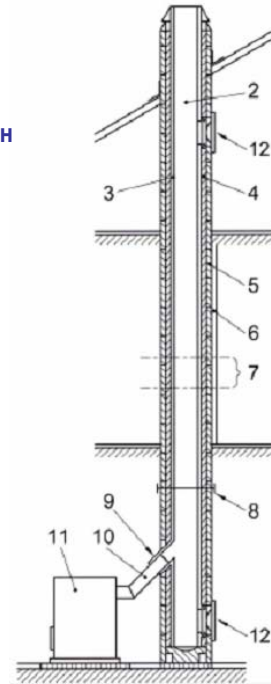
Извори на енергија

ОЦАК

- Основен дел од гасоводната инсталација, т.е. составен дел од системот за греење;
- Елемент што служи за одведување на продуктите од согорувањето и расејување на поголема површина
- Елемент што треба целосно да ја обезбеди или да ја помогне евакуацијата на гасовите (природен провев)

Основни делови на гасоводните инсталации

1 – оцак	8 – повеќеслоен оцак
2 – гасови	9 – приклучок за оцак
3 – гасоводна цевка	10 – сврзувачки канал
4 – топлинска изолација	11 – котел
5, 6 – обвивка	12 – отвор за контрола и чистење
7 – секција на оцакот	



Извори на енергија

Принцип на функционирање на оцак и пратечки инсталации

- Се темели врз разликата на густините на надворешниот воздух и гасовите;
- Гасовите имаат повисока температура од околниот воздух и затоа имаат помала густина, што предизвикува струење нагоре
- Поголема температурна разлика, поголема висина на оцакот – поголем потпритисок и поинтензивен природен провев!

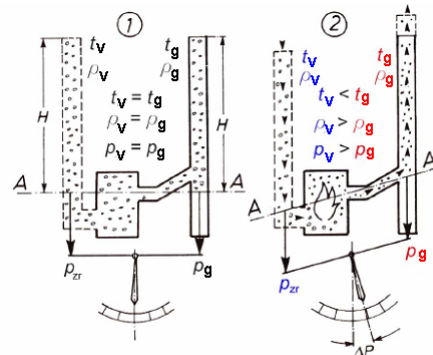
Статички притисок - потпритисок на влезот на гасовите во оцакот кога нема струење

$$p_H = H \cdot (\rho_v - \rho_g) \cdot g \quad [\text{Pa}]$$

H – делотворна висина на оцакот, m

ρ_g – густина на гасовите при средна температура на гасовите во оцакот, kg/m³

g – забрзување на Земјината тежа, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$



Шематски приказ на настанок на природен провев

Извори на енергија

Некои основни правила за оџаците

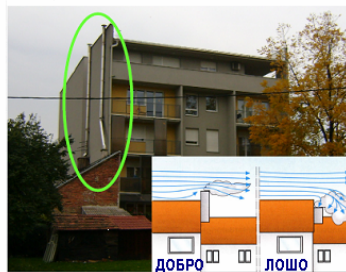
- Треба да обезбедат непречено одведување на гасовите во околината и спречување на неконтролирано навлегување на гасовите во просторијата;
- По правило, се поставуваат во внатрешноста на зградата
- Внатре мора да бидат мазни и непропусни, со константен пресек
- Конструкцијата на оџакот мора да обезбеди негова постојаност и отпорност на темп. и корозија
- Висината на оџакот во одредена мера е зависна од висината на зградата
- За да се избегне влијанието на ветерот и на соседни објекти, потребно е висината на оџакот да биде прилагодена кон состојбата на теренот
- Треба да се обезбеди гасовите да не се оладат до температура на роса
- Видот и димензиите на оџакот се одредуваат врз основа на параметрите на системот за греење, типот на котелот, видот на гориво, работниот режим, конфигурацијата на теренот итн.

Извори на енергија

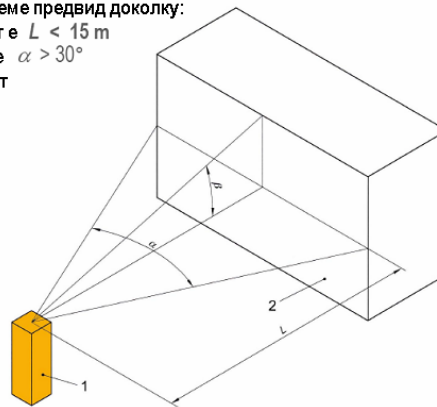
Некои основни правила за оџаците

Влијанието на соседни објекти на оџакот мора да се земе предвид доколку:

- хоризонталното растојание помеѓу оџакот и објектот е $L < 15 \text{ m}$
- аголот под кој се гледа објектот од врвот на оџакот е $\alpha > 30^\circ$
- аголот под кој се гледа горната граница на соседниот објект од врвот на оџакот е $\beta > 10^\circ$



Надвисување на оџаци од затекнати пониски околни градби



Извори на енергија

Видови оџаци

- 1) според видот на изработка
 - еднослојни
 - повеќеслојни
 - со ограничена отпорност на температура
 - неосетливи на влага (за ниско-темп. и кондензациски котли)
- 2) според местото на поставување
 - во објектот
 - прилепени до објектот
 - самостоечки



Самостоечки оџак



Двослоен монтажен оџак

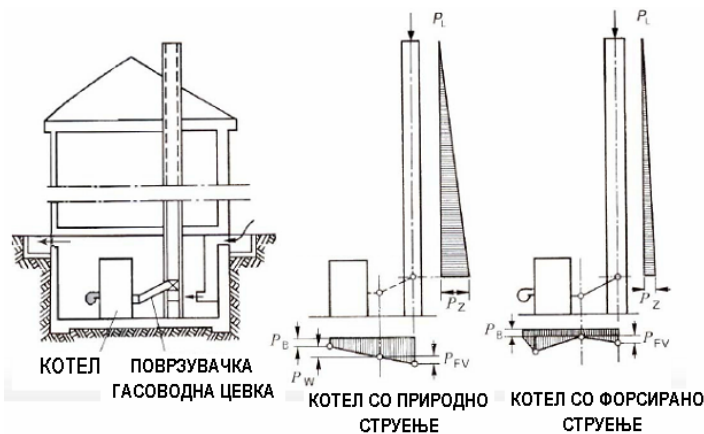


Трислоен монтажен оџак

Извори на енергија

Поделба на котлите со оглед на начинот на струење на гасовите и нивното одведување во атмосферата:

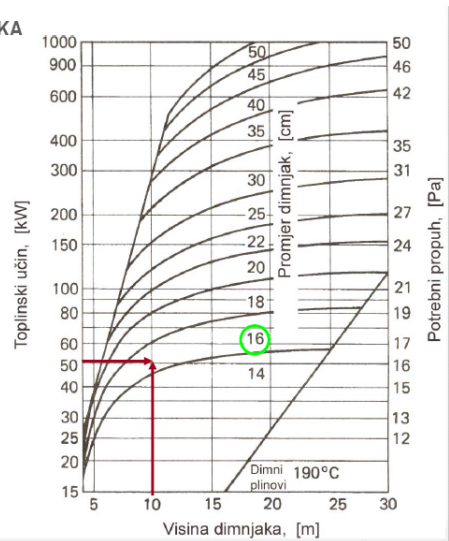
- Котли со природно струење (природен провев)
- Котли со форсирано струење (форсиран провев)



DIJAGRAM ZA DIMENZIONIRANJE DIMNJAKA

- u praksi se za dimenzioniranje presjeka dimnjaka koriste DIJAGRAMI (daju ih proizvođači dimnjaka)
- DIJAGRAM – presjek dimnjaka određuje se na osnovu visine dimnjaka i toplinskog učina kotla

Uljni kotao toplinskog učina 50 kW potrebno je priključiti na dimnjak visine 10 m.
Promjer dimnjaka → Ø16 cm



Presjek dimnjaka za uljne i plinske kotlove

59