

4 UREĐAJI I OPREMA SISTEMA CENTRALNOG GREJANJA

4.1 KOTLOVI ZA CENTRALNO GREJANJE

Kotlovi su uređaji u kojima se vrši sagorevanje goriva i pretvaranje hemijske energije goriva u toplotu. Dobijena toplota se predaje radnom fluidu, koji može biti voda, vodena para, vazduh ili termalno ulje. Bitno se razlikuju kotlovi za vodu – tzv. **toplovodni** i **vrelvodni** kotlovi od kotlova za paru – tzv. **parni** kotlovi.

Ako je radni fluid vazduh, kao što je to slučaj sa vazдушnim grejanjem, onda je zagrevanje vazduha obično indirektno, preko razmenjivača toplote, a ako je direktno, onda se češće koriste peći za zagrevanje vazduha nego kotlovi. Vazduh je loš kao radni medijum, jer ima malu vrednost specifičnog toplotnog kapaciteta u odnosu na vodu. Ako bi došlo do kratkotrajnog prekida u protoku (prestanka strujanja vazduha), temperatura vazduha u kotlu bi naglo porasla, pa bi moglo doći do pregrevanja i oštećenja materijala kotla.

U tehnici grejanja, u postrojenjima za centralno i daljinsko grejanje, mnogo češće se koriste toplovodni i vrelvodni kotlovi nego parni, jer se danas skoro isključivo primenjuje centralno toplovodno grejanje. Kotlovi koji se koriste u sistemima centralnog grejanja mogu biti jako različite veličina i kapaciteta. Za male instalacije često se koriste i električni toplovodni kotlovi, čiji se kapaciteti kreću od 6 do 24 kW – za etažno grejanje stanova i manjih porodičnih kuća. Kotlovi na čvrsto i tečno gorivo kapaciteta od 20-30 kW uglavnom se koriste za grejanje porodičnih kuća, a u gradskim toplanama, u sistemima daljinskog grejanja koriste se kotlovi kapaciteta do 50 MW. U poslednje vreme se puno radi na povećanju stepena korisnosti kotla, i to na sledeći način:

- usavršavaju sekonstrukciona rešenja,
- rade se precizniji proračuni,
- koriste se novi materijali i tehnologije za izradu elemenata kotla.

Kako bi se što bolje iskoristila energija sadržana u gorivu, neophodno je da kotao bude **u potpunosti prilagođen gorivu**. To ne znači samo poznavanje vrste goriva – čvrsto, tečno ili gasovito, već i specifičnosti svake od vrsta goriva – toplotnu moć, hemijski sastav, udeo jalovine, itd. Osim toga, ukoliko je u pitanju čvrsto gorivo – potrebno je poznavati vrstu uglja (lignit, kameni, mrki ugalj ili briketi i pelete od biomase) kao i način sagorevanja u ložištu (u sloju - na rešetki – nepokretnoj ili pokretnoj; u prahu – specijalni gorionici i mlinovi za ugljeni prah, kao dodatna oprema; u fluidizovanom sloju – materijal ispune sloja, veličina čestica uglja, itd.)

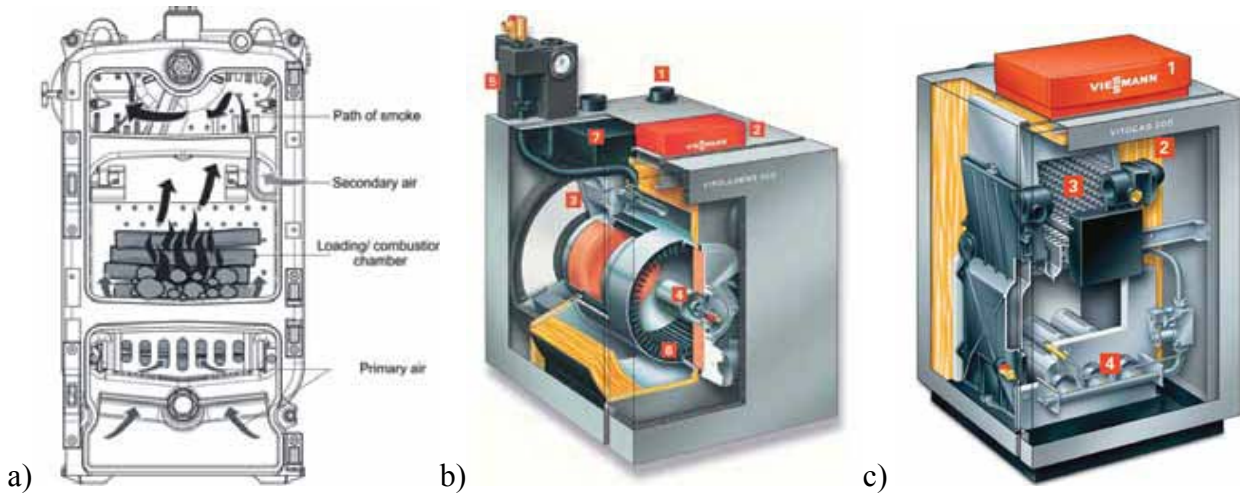
S druge strane, korisnici kotla bi želeli da imaju što fleksibilniji kotao, u kome bi mogli da sagorevaju različito gorivo – npr. ono koje je trenutno najjeftinije ili ono koje je dostupno na tržištu. Proizvođači kotlova obično deklariraju da se njihov kotao može koristiti za sva goriva – ukoliko je u pitanju sagorevanje čvrstog goriva na rešeci, a za tečno i gasovito gorivo se mogu naknadno ugraditi odgovarajući gorionici. Jasno je da takav kotao ne može imati visok stepen korisnosti, jer je konstrukcija kotla za čvrsto i tečno gorivo jako različita.

Svaki kotao je prilagođen određenoj vrsti goriva i samo tada ima max η !

Specifičnosti goriva određuju specifičnosti konstrukcije kotla, kao na primer:

- za goriva sa visokim procentom volatila (isparljivih gorivih materija) potrebno je dovoditi sekundarni vazduh radi potpunijeg sagorevanja,
- kvalitetni ugljevi (koks, antracit i kameni) mogu dobro i potpuno da sagorevaju u sloju

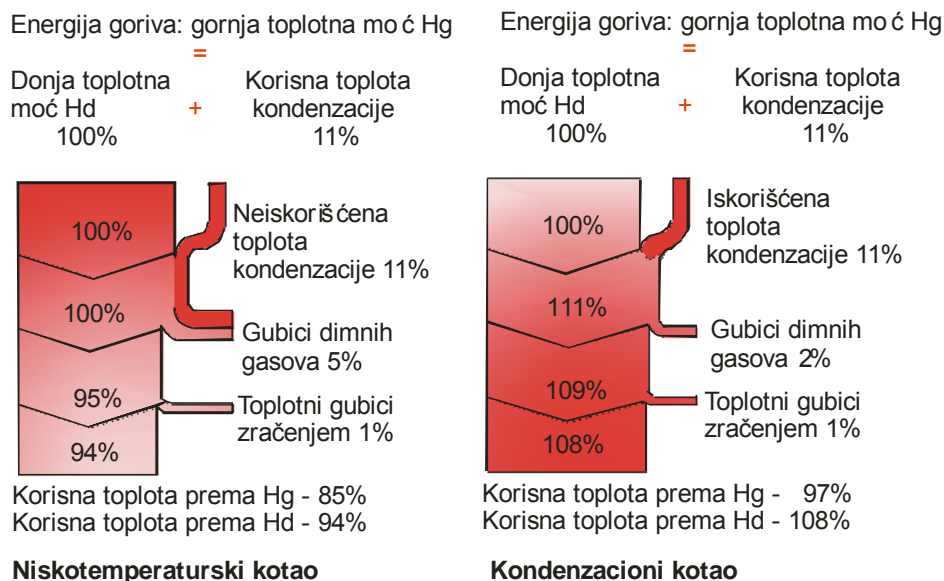
- kotlovi na tečno i gasovito gorivo mogu selakše regulisati, pa su i prekidi u radu kod njih mnogo jednostavniji,
- razlikuju se gorionici za tečno i gasovito gorivo,
- električni kotlovi su potpuno različiti od kotlova na konvencijalno gorivo – više su nalik bojlerima, nego kotlovima za sagorevanje goriva.



Slika 4.1 Kotlovi za centralno grejanje: a) kotao od livenog gvožđa za sagorevanje sečke i uglja u sloju; b) čelični kondenzacioni kotao na lako lož-ulje, c) niskotemperaturni kotao sa atmosferskim gorionikom na gas

Kondenzacioni kotlovi su kotlovi kod kojih se toplota sadržana u vodenoj pari i dimnim gasovima koristi putem kondenzacije.

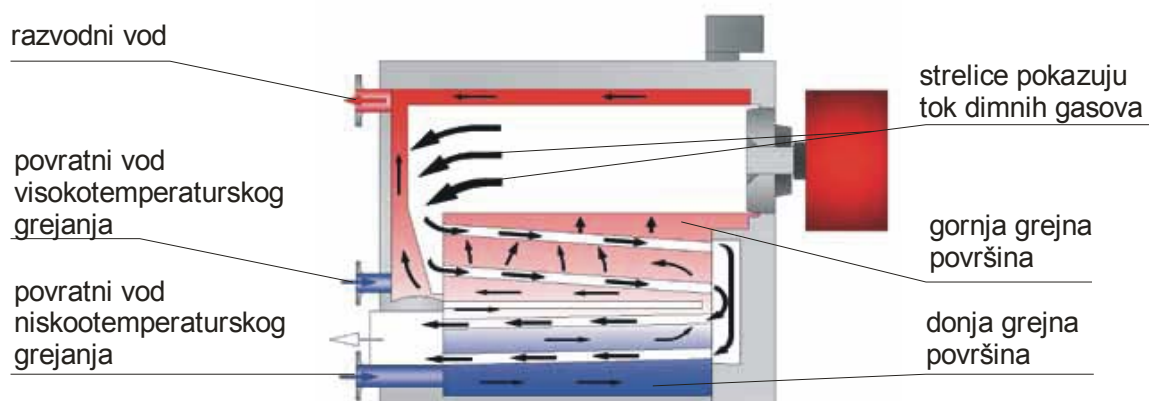
Donja toplotna moć goriva H_d je toplota oslobođena procesom sagorevanja goriva bez dodatnog iskorišćenja toplote kondenzacije vodene pare (dimni plinovi su svedeni na standardno stanje, a vodena para se ne kondenzuje). Kod goriva koja u sastavu sadrže vodonik, pa iz tog razloga u dimnim gasovima sadrže vodenu paru, razlikuje se gornja toplotna moć od donje toplotne moći. Gornja toplotna moć predstavlja toplotu oslobođenu procesom sagorevanja goriva s dodatnim iskorišćenjem toplote kondenzacije vodene pare (dimni plinovi su svedeni na standardno stanje, a vodena para se kondenzuje). Gornja toplotna moć veća je od donje za količinu toplote kondenzacije vodene pare sadržane u dimnim gasovima.



Slika 4.2 Poređenje stepena korisnosti niskotemperaturnog i kondenzacionog kotla

Pored vode nastale sagorevanjem vodonika, i vlaga znatno utiče na toplotnu moć. Iskorišćenje toplote kondenzacije moguće je i opravdano kod goriva koja sadrže vodonik (npr. gasovita goriva), ali je povezano sa problemima sumporne korozije u slučaju kada goriva sadrže i sumpor (lož ulje).

Na slici 4.3. prikazana je funkcionalna šema jednog kondenzacionog kotla, dok je u tabeli 4.1 dat pregled uobičajenih vrednosti stepena korisnosti kotlova (u odnosu na donju toplotnu moć) u zavisnosti od vrste goriva, konstrukcije kotla i načina regulacije.



Slika 4.3 Funkcionalna šema prolaza tople vode i dimnih gasova kod kondenzacionog kotla

Tabela 4.1 Pregled stepena korisnosti kotlova

| Kotlovi | | |
|-----------------|-------------------------------------------------------|-------------|
| Čvrsto gorivo | Kotlovi bez regulacije | 0,65 |
| | Kotlovi do 50 kW sa ručnom regulacijom | 0,68 |
| | Kotlovi preko 50 kW sa dobrom ručnom regulacijom | 0,72 |
| | Kotlovi do 175 kW sa mehaničkom regulacijom | 0,75 |
| | Kotlovi preko 175 kW sa dobrom mehaničkom regulacijom | 0,83 |
| | Kotlovi na različitu biomasu | 0,82 – 0,92 |
| Tečno gorivo | Kotlovi do 50 kW sa ručnom regulacijom | 0,81 – 0,85 |
| | Kotlovi preko 50 kW sa automatskom regulacijom | 0,83 – 0,90 |
| Gasovito gorivo | Kotlovi do 100 kW sa prirodnom promajom | 0,80 – 0,88 |
| | Kotlovi preko 100 kW sa prinudnom promajom | 0,88 – 0,94 |
| | Niskotemperaturni kotlovi | 0,95 – 0,98 |
| | Kondenzacioni kotlovi | do 1,08 |

4.2 CEVNA MREŽA

Cevna mreža u sistemima centralnog grejanja ima funkciju povezivanja izvora toplote sa grejnim telima u u sistemu. Postoje različiti sistemi povezivanja instalacije grejanja, kao na primer: dvocevni sistemi sa gornjim i donjim razvodom, jednocevni sistemi – horizontalni i vertikalni, sa kratkom vezom i bez nje, itd. Svaka cevna mreža u sistemima centralnog grejanja čini jedan **zatvoreni strujni krug**, odnosno povezuje izvor toplote sa grejnim telima čineći **zatvoren sistem**. Sačinjena je od cevi koje mogu biti od različitih materijala, i svaka cev u strujnom krugu istog prečnika i protoka fluida naziva se **deonicom**.

Cevna mreža se može podeliti na dve celine:

- razvodnu i
- povratnu cevnu mrežu.

Kod grejanja parom niskog pritiska kroz razvodnu cevnu mrežu struji vodena para, koja se, nakon kondenzovanja u grejnom telu, kao kondenzat vraća do kotla povratnom – kondenznom mrežom. Prečnici cevnih vodova razvodne cevne mreže kod parnog grejanja veći su od prečnika kondenznih vodova.

Kod toplovodnog grejanja, grejni fluid je voda koja kroz razvodnu cevnu mrežu struji na temperaturi t_r (90, 80°C), a vraća se ohlađena povratnom mrežom, na temperaturi t_p (70, 60°C), nakon predaje toplote u grejnom telu. Prečnici odgovarajućih deonica razvodne i povratne cevne mreže kod toplovodnog grejanja približno su jednaki.

U zavisnosti od toga da li je strujanje vode u sistemu prirodno ili prinudno, razlikuje se:

- gravitaciono i
- pumpno grejanje.

Kod gravitacionog grejanja cirkulacija vode u sistemu se odvija prirodnim putem, pod uticajem zemljine teže zahvaljujući različitim gustinama vode u razvodnom i povratnom delu cevne mreže. Kada se u cevovod postavlja pumpa koja omogućava strujanje fluida u sistemu, onda se koristi naziv pumpno grejanje.

Cevna mreža se može podeliti i prema položaju cevi u sistemu, i to na:

- **Glvni usponski vod**, koji spaja kotao i horizontalnu razvodnu mrežu; analogno glavnom usponskom vodu postoji i **glavni povratni vod**, koji spaja horizontalnu povratnu mrežu sa kotlom;
- **Horizontalna razvodna mreža** se prostire od korena svih vertikalna u sistemu i uvek se vodi pod nagibom od 3 ‰ (kako bi se mogao izdvojiti vazduh i odvesti iz sistema); analogno razvodnoj postoji i povratna horizontalna mreža;
- **Usponski vodovi** – vertikalne su cevi koje se vode od horizontalne mreže, vertikalno po visini objekta, i koje prolaze u blizini grejnih tela. Vertikalne se mogu voditi vidno duž spoljnih zidova, ili skriveno u žljebovima u zidu;
- **Prikljuci** – razvodni i povratni – povezuju grejna tela sa vertikalom; i priključci se izvode pod nagibom.

Postoje i delovi cevne mreže koji ne služe za osnovnu funkciju – cirkulaciju grejnog fluida, ali imaju svoju ulogu i predstavljaju sastavni deo sistem za centralno grejanje:

- Sigurnosni vodovi – razvodna i povratna sigurnosna cev, koje su povezane sa ekspanzionim sudom; nekada ulogu razvodne sigurnosne cevi može da preuzme i glavni usponski vod, ali ako ispunjava određene zahteve propisane za sigurnosne cevi;
- Vazдушna mreža u sistemu centralnog grejanja služi za odvođenje vazduha iz instalacije, tj. ima ulogu odzračivanja; njenu ulogu delom mogu da preuzmu i vertikalne i horizontalne mreže u sistemu sa gornjim razvodom;
- Drenažna mreža postoji u sistemima parnog grejanja;
- Obilazni vodovi (by-pass).

4.2.1 Materijali za izradu cevne mreže

U tehnici grejanja koriste se cevi od sledećih materijala:

- čelika (čelične šavne i bešavne cevi),
- bakra i
- plastike (razne vrste plastičnih cevi).

Najčešće su u primeni crne čelične cevi: bešavne i šavne. Obe vrste cevi se izrađuju u veličinama prečnika od 10 do 1000 mm.

Označavanje cevi standardnih veličina:

- prema nazivnom prečniku ND ili DN – u „col“-ima ili mm (npr. 3/8" ili 10 mm),
- prema nazivnoj veličini NV – što odgovara više prečnika cevi u mm,
- prema nazivnom orvori NO – (npr. DN 10 je NO12,5 mm; DN 15 je NO 15,75mm).

Takođe se propisuje i nazivni pritisak – što odgovara maksimalnom radnom pritisku za koji je određena cev predviđena:

- za kućne instalacije – NP6 (pritisak od 6 bar),
- za primarnu mrežu toplovoda – NP25.

U novije vreme često su u kućnim instalacijama zastupljene bakarne cevi, koje mogu biti savitljive i krute, a mogu biti neizolovane ili izolovane plastikom. Standardni prečnici su $\phi 12$, $\phi 14$, $\phi 15$, $\phi 16$, $\phi 18$, $\phi 20$, itd.

Bakarne savitljive cevi koriste se za podno grejanje, kao i plastične cevi, koje se izrađuju do standardnog prečnika $\phi 300$. Plastične cevi većih prečnika ($\phi 110$, $\phi 200$, $\phi 300$) često se koriste umesto kanala za razvod vazduha u pojedinim sistemima. U tehnici hlađenja su bakarne cevi jako zastupljene, zbog svoje otpornosti na koroziju i koriste se već od prečnika 6mm.

Cevi od veštačkih materijala:

Termoplastične cevi od materijala:

- PVC – polivinil hlorid,
- PB – polibutilen,
- PE – polipropilen (LDPE i HDPE),
- PP – polipropilen,
- ABS – akrilonitril butadien stiren,
- PVDF – poliviniliden fluorid.

Termostabilne cevi:

- Epoksi-staklo
- Poliester-staklo.

Višeslojne cevi kao kombinacija metal-plastika (PE+Al+PE) imaju dobre osobine i plastičnih i metalnih cevi. Kao plastične cevi, višeslojne cevi imaju prednosti:

- otpornost prema koroziji,
- otpornost na hemikalije,
- zvučna izolovanost,
- termička izolovanost,
- glatka površina (mali pad pritiska usled trenja)
- mala težina i
- brza i laka montaža.

Kao metalne cevi, višeslojne cevi imaju i sledeće dobre osobine:

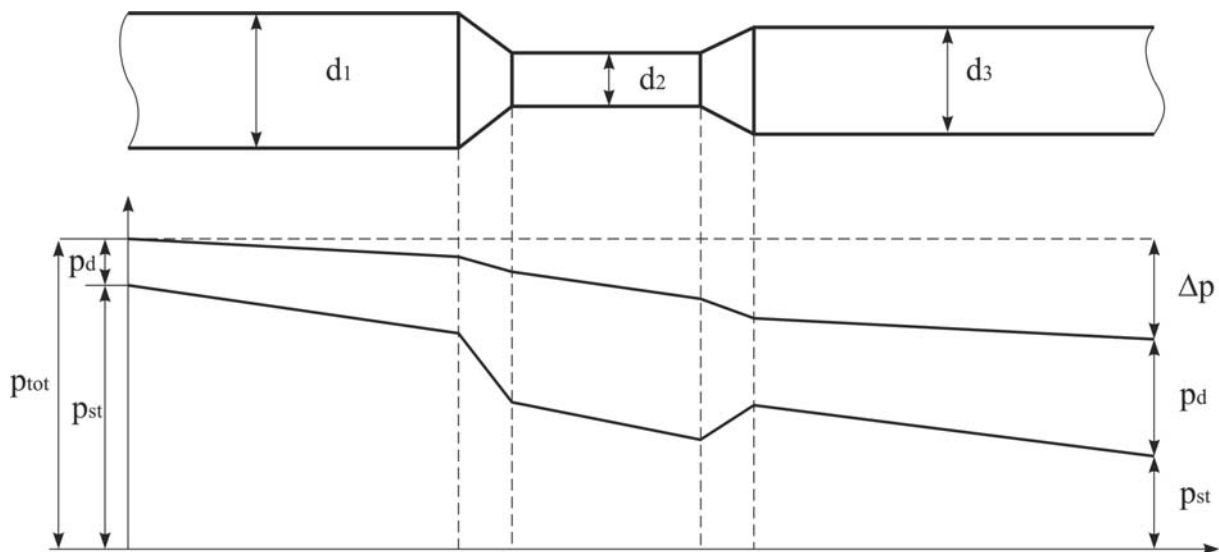
- nepropustive su za kiseonik,
- mali koeficijent temperaturnog širenja,
- veća mehanička čvrstoća,
- otpornost na više temperature i pritiske.

Primena višeslojnih cevi je široka:

1. Razvod sanitarne i pijaće vode (hladna i topla PTV),
2. Grejanje (podno i radijatorsko, $\theta_{max} = 110^{\circ}\text{C}$, $p_{max} = 10 \text{ bar}$),
3. Hlađenje (klizališta, ledena dvorane, $\theta_{min} = -50^{\circ}\text{C}$),
4. Procesna industrija.

4.2.2 Pad pritiska pri strujanju fluida kroz cevi

Pri svakom strujanju realnog fluida (a voda je realni fluid) dolazi do određenog pada pritiska prilikom strujanja fluida kroz cevi (usled trenja, vrtloženja, itd.). Pad pritiska zapravo predstavlja svojevrsan gubitak u sistemu Δp_{GUB} . U svakom zatvorenom sistemu, kao što su i sistemi centralnog grejanja, potrebno je da gubitak pritiska bude jednak ili manji od raspoloživog napora. **Raspoloživi napor** H_{RASP} je zapravo neophodan pritisak koji omogućava cirkulaciju grejnog fluida.



Slika 4.4 Pad pritiska pri strujanju realnog fluida

Prilikom idealnog strujanja (bez trenja fluida orilikom strujanja kroz cev) totalni (ukupni pritisak) je jednak zbiru dinamičkog i statičkog:

$$p_{tot} = p_d + p_{st} \quad (4.1)$$

Međutim, pri realnom strujanju dolazi do pada totalnog pritiska usled trenja fluida o zid cevi i vrtloženja pri promeni pravca strujanja, pa je:

$$p_{tot} = p_d + p_{st} + \Delta p \quad (4.2)$$

dge je dodatni član gubitak koji se javlja.

Iz praktičnih razloga, sa aspekta inženjerske prakse i lakšeg proračuna pada pritiska koji se javlja u sistemu cevovoda, pad pritiska pri strujanju fluida se deli na dva dela:

$$\Delta p = p_{TR} + p_{Ll} \quad (4.3)$$

gde je:

- Δp – ukupni pad pritiska (Pa),
- p_{TR} – pad pritiska usled trenja (Pa) i
- p_{Ll} – pad pritiska usled lokalnih otpora (Pa).

Pad pritiska usled trenja u pravim deonicama cevovoda se računa kao:

$$\Delta p_{TR} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = R \cdot l, \quad (4.4)$$

gde su:

- λ – koeficijent trenja,
- l – dužina deonice,
- d – prečnik deonice,
- ρ – gustina vode,
- w – brzina strujanja i
- R – jedinični pad pritiska usled trenja.

Koeficijent trenja je funkcija brzine strujanja, odnosno Reynoldsovog broja Re i relativne hrapavosti ε :

$$\lambda = f(Re, \varepsilon) \quad (4.5)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{d}, \quad (4.6)$$

gde su:

- d – prečnik deonice,
- δ – apsolutna hrapavost.

U zavisnosti od režima strujanja (koje može biti laminarno, prelazni ili turbulentno – što pokazuje vrednost Reynoldsovog broja) i relativne hrapavosti cevovoda ε , cevi se mogu ponašati kao:

- hidraulički glatke $\lambda = f(Re)$,
- hidraulički hrapave $\lambda = f(Re, \varepsilon)$ i
- hidraulički potpuno hrapave $\lambda = f(\varepsilon)$.

Za određivanje koeficijenta trenja najčešće su u upotrebi sledeće formule:

$$\text{Formula Kolbruka: } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \cdot \frac{\varepsilon}{3,71} \right) \quad (4.7)$$

$$\text{Formula Alštula: } \lambda = 0,11 \cdot \left(\varepsilon \cdot \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (4.8)$$

U tehnici grejanja se pad pritiska usled trenja ne računa prema gornjim izrazima pri proračunima cevne mreže, niti se svaki put ispituje režim strujanja u cevima. Jedinični padovi pritiska usled trenja R su izračunati za različite vrste cevi i dati tabelarno u zavisnosti od protoka i prečnika cevovoda, tako da se njihove vrednosti pri dimenzionisanju cevne mreže direktno očitavaju iz tablice. U tablicama je dato:

- Q (W) – toplotni protok (umesto masenog protoka fluida),
- R (Pa/m) – jedinični pad pritiska,
- d (mm) – nazivni prečnik deonice i
- w (m/s) – brzina strujanja fluida.

Od date 4 veličine dve su nezavisno promenljive, dok su ostale zavisne funkcije: na primer, prilikom dimenzionisanja deonice poznat je *toplotni protok* Q kroz deonicu i željena *brzina strujanja* w (prema preporučenim vrednostima se usvaja u određenim granicama) – na osnovu ove dve veličine očitavaju se jedinični pad pritiska usled trenja R i prečnik deonice d .

Pad pritiska usled lokalnih otpora (svaka promena pravca strujanja grejnog fluida uslovaljava dodatni pad pritiska; u lokalne otpore spadaju kolena, suženja, proširenja, račve, ventili, blende...) računa se kao:

$$\Delta p_L = Z = \xi \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (4.9)$$

gde je

ξ - koeficijent lokalnog otpora, koji se određuje eksperimentalno jer zavisi od mnogo uticajnih parametara, kao što je geometrija lokalnog otpora, vrsta fluida, režim strujanja, itd.

U tehnici grejanja se koriste osrednjene vrednosti koeficijenata lokalnih otpora, koje se daju tabelarno u zavisnosti od geometrije i protoka kroz pripadajuće deonice.

Prilikom dimenzionisanja cevne mreže sistema centralnog grejanja proračun se sprovodi za **svaki strujni krug** (zatvoreni strujni krug svakog grejnog tela). Deonice koje su zajedničke za više strujnih krugova i jednom dimenzionisane, ne dimezionišu se ponovo za sledeći strujni krug, već se samo sabira pad pritiska kroz već dimenzionisane zajedničke deonice. Zbog toga se proračun cevne mreže obično započinje sa najnepovoljnijim strujnim krugom (najudaljenijeg grejnog tela od kotla), a zatim se ide na kraće strujne krugove.

4.2.3 Izolacija cevovoda

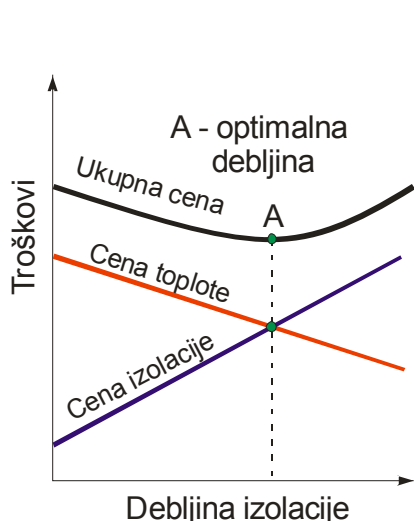
Zadatak izolacije je da se gubici toplote svedu na minimalne vrednosti ili da se iz drugih razloga ograniči površinska temperatura cevi. Ugrađuje se na kotlovima, rezervoarima tople vode, cevovodima, armaturi, razmenjivačima toplote i uređajima smeštenim u negrejanim prostorima.

Dimenzionisanje debljine izolacije može biti izvršeno po različitim kriterijimima:

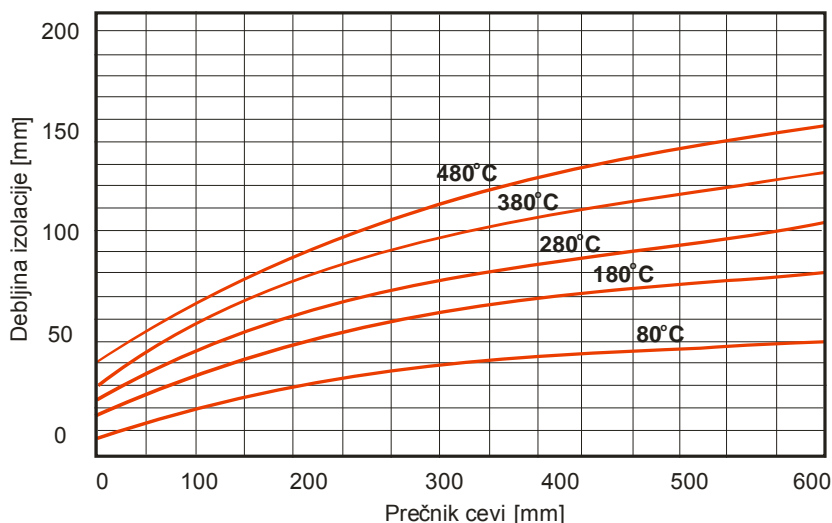
- da se ostvari ekonomski optimalno snabdevanje toplotom (ulaganja u izolaciju trebaju biti opravdana uštedom na toploti u toku vremenu rada postrojenja),
- da se osigura promena temperature grejnog fluida u odgovarajućim granicama,
- da se ograniči uticaj na okolinu (npr. ograničeno zračenje, ograničena površinska temperatura - dodir).

Optimalna debljina izolacije

Rast cena energije nameće potrebu da se vodi računa o ekonomičnosti. S povećanjem debljine izolacije rastu i troškovi izvođenja, a troškovi usled gubitaka toplote se smanjuju (slika 4.5). Najekonomičnija debljina izolacije je ona kod koje je suma za obe vrste troškova najniža. Optimalna debljina zavisi od cene energije, ali i od cene izolacionog materijala sa ugradnjom. Problem kod izbora može predstavljati činjenica da optimalnu debljinu izolacije treba odrediti za duži vremenski period nakon ugradnje, uz nepoznate tržišne uslove u budućnosti. Često se u različitim priručnicima, katalogima i sl. pronalaze podaci takve vrste. Jedan primer prikazan je na slici 4.6.



Slika 4.5 Optimalna izolacija u funkciji ukupne cene



4.6 Optimalna izolacija u zavisnosti od nazivnog prečnika cevi i temperature fluida koji se transportuje

U tabeli 4.2 prikazane su ekonomski opravdane debljine izolacije za cevi nazovnog prečnika do DN 40, koje važe za današnje cene energije i izolacije.

Tabela 4.2 - Ekonomski opravdane debljine izolacije za različite tipove cevi do DN 40

| Navojne čelične cevi | - | - | DN10 | DN15 | DN20 | - | DN25 | DN32 | - | DN40 | |
|-----------------------------------------|-------|----|------|------|------|------|------|------|----|------|----|
| Šavne čelične cevi | - | - | - | - | - | DN25 | - | DN32 | - | DN40 | |
| Bakrene cevi* | 12 | 15 | 18 | 22 | - | 28 | 35 | - | 44 | - | |
| POTREBNA DEBLJINA IZOLACIJE CEVI u [mm] | | | | | | | | | | | |
| Toplotna provodljivost λ [W/mK] | 0.025 | 10 | 11 | 11 | 11 | 12 | 17 | 18 | 18 | 23 | 24 |
| | 0.030 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 23 | 23 | 24 | 31 | 31 |
| | 0.035 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 40 | 40 |
| | 0.040 | 27 | 27 | 26 | 26 | 25 | 38 | 38 | 38 | 51 | 50 |
| | 0.045 | 36 | 35 | 34 | 33 | 30 | 49 | 47 | 47 | 63 | 69 |
| | 0.050 | 48 | 45 | 43 | 41 | 39 | 61 | 59 | 57 | 78 | 77 |

* Spoljni prečnik cevi

4.3 PUMPE U SISTEMIMA CENTRALNOG GREJANJA

Strujanje vode u sistemima centralnog grejanja može se ostvariti prirodnim i prinudnim putem. U prvom slučaju gravitacioni napor je taj koji stvara tok vode od kotla ka grejnim telima i nazad. Kod pumpnog grejanja, u rad se uključuje pumpa koja prenosi mehaničku energiju na tečnost i time se ostvaruje strujanje.

Prednosti pumpnog sistema u odnosu na gravitacioni su:

- veći raspoloživi napor, što kao rezultat daje cevnu mrežu sa manjim prečnicima cevi, pa je samim tim cevna mreža jeftinija (uključujući i pripadajuću armaturu);
- manja inertnost sistema (veće brzine strujanja vode u instalaciji; s obzirom da su manji prečnici cevnih deonica, u instalaciji ima manje vode pa je zato i uzgrevanje brže).

Nedostaci pumpnog sistema u odnosu na gravitacioni su:

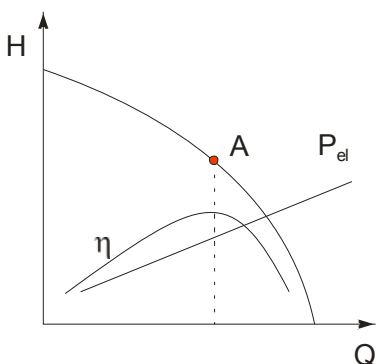
- pumpa troši električnu energiju za pogon;

- problem u radu sistema ukoliko dođe do prekida u snabdevanju električnom energijom (kada je izvor toplote kotao na čvrsto gorivo, čija je regulacija sporija, pa je teško trenutno smanjiti kapacitet – može doći do pregrevanja);
- buka u sistemu – kada su brzine strujanja velike stvara se buka usled strujanja; za prigušenje buke koriste se elastične veze između pumpe i cevovoda, kako bi se smanjilo prenošenje vibracija sa pumpe na cevnu mrežu.

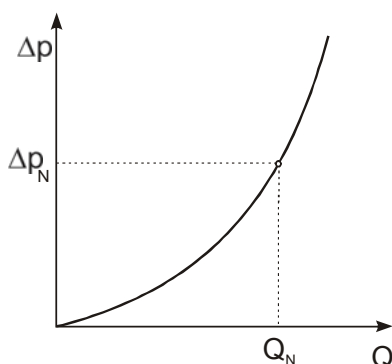
Pumpno grejanje je danas skoro isključivo u primeni kada su u pitanju toplovodni sistemi centralnog grejanja. Primena pumpi u sistemima omogućava projektovanje i izvođenje velikih razgranatih mreža. Takođe, u pumpnim sistemima moguće je imati "potopljena" grejna tela (koja se nalaze na manjoj koti u odnosu na kotao, npr. u podrumskim prostorijama ili etažama ispod podruma). Kod pumpnog grejanja napor pumpe je taj koji ostvaruje cirkulaciju vode u sistemu. Zato se pumpe u sistemima centralnog grejanja nazivaju cirkulacionim pumpama.

4.3.1 Karakteristika pumpe i radna tačka

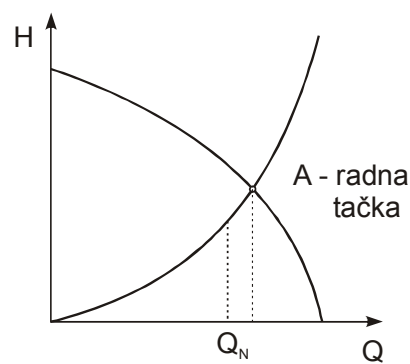
Krive koje predstavljaju odnos između napora, protoka, snage i stepena korisnosti pumpe nazivaju se karakterističnim krivama (slika 4.7). Kriva koja pokazuje odnos napora i protoka koji pumpa ostvaruje naziva se karakteristikom pumpe (Q-H kriva). Napor se može dati u sledećim jedinicama: [Pa] ili [kPa] i [mmH₂O], a protok u [l/h], [l/s] ili [m³/h]. Za tačku A na dijagramu prikazanom na slici 4.7 pumpa ima najvišu vrednost stepena korisnosti i ona definiše uslove za koje je pumpa konstruisana, pa treba težiti da se za takve uslove i primenjuje. Pri svakoj promeni uslova stepen korisnosti će biti lošiji.



Slika 4.7 Karakteristika pumpe



Slika 4.8 Karakteristika cevovoda



Slika 4.9 Sprega pumpe i cevovoda

Radna tačka pumpe dobija se kombinacijom karakteristike pumpe i karakteristike cevovoda, koja je prikazana na slici 4.8. Karakteristika cevovoda je kriva drugog stepena u pravouglom sistemu, gde je na ordinati vrednost pada pritiska kroz cevovod, a na apscisi vrednost protoka:

$$\Delta p = \Delta p_{tr} + \Delta p_{lok} = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2 \rho}{2} + (\xi_1 + \xi_2 + \dots) \frac{w^2 \rho}{2} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \xi_1 + \xi_2 + \dots \right) \frac{w^2 \rho}{2}, \text{ tj.} \quad (4.10)$$

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w^2 \rho}{2}. \quad (4.11)$$

gde su:

- λ – koeficijent trenja,
- l – dužina deonice,
- d – prečnik deonice,
- ρ – gustina vode,

w – brzina strujanja fluida,
 ξ – koeficijent lokalnog otpora.

Kako je protok kroz cev:

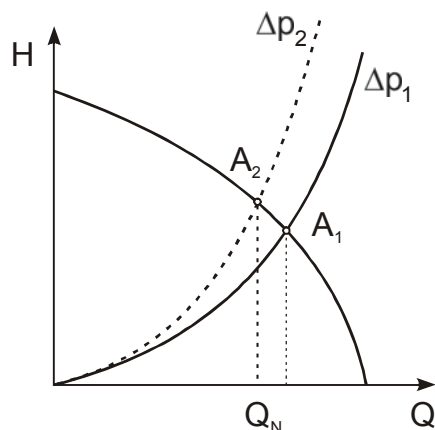
$$Q = w \frac{d^2 \pi}{4} \Rightarrow w = \frac{4Q}{d^2 \pi} \quad (4.12)$$

sledi zavisnost pada pritiska i protoka kroz cevovod:

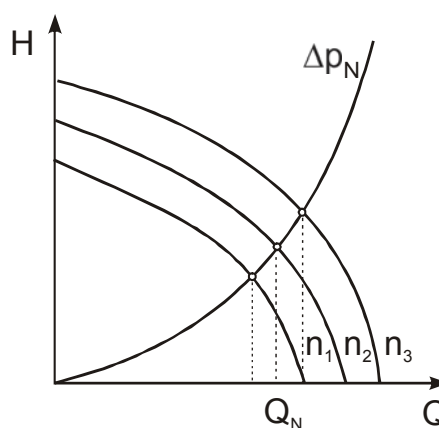
$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{8 \cdot \rho}{d^4 \cdot \pi^2} \cdot Q^2 = k \cdot Q^2. \quad (4.13)$$

Sprega pumpe i cevovoda prikazana je na slici 4.9. Pri tome se stvarni protok kroz instalaciju Q može razlikovati od nominalnog protoka Q_N .

Svođenje stvarnog protoka na nominalni može se izvršiti na dva načina (koji su prikazani na slikama 4.10 i 4.11). Prvi način je "**prigušenjem**", odnosno povećanjem otpora strujanja u instalaciji (npr. smanjenjem otvorenosti balansnog ventila), tako da karakteristika cevovoda bude strmija u odnosu na prethodni slučaj. Na taj način se dobija radna tačka A_2 u preseku karakteristika tako da je protok kroz instalaciju je sveden na nominalni. Drugi način je **promenom broja obrtaja pumpe** – postoje pumpe koje mogu raditi sa više brzina (obično 3) ili koje imaju kontinualnu promenu broja obrtaja.



Slika 4.10 Svođenje na nominalni protok "prigušenjem"



Slika 4.11 Svođenje na nominalni protok promenom broja obrtaja

Pumpe sa kontinualnom promenom broja obrtaja koriste se kod sistema koji rade sa promenljivim protokom grejnog fluida. Promena protoka, napora i snage pumpe (koju preuzima iz elektro mreže) sa promenom broja obrtaja kreću se na sledeći način:

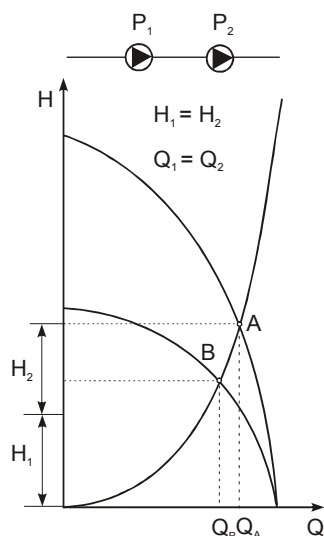
$$Q = Q_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)$$

$$H = H_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2$$

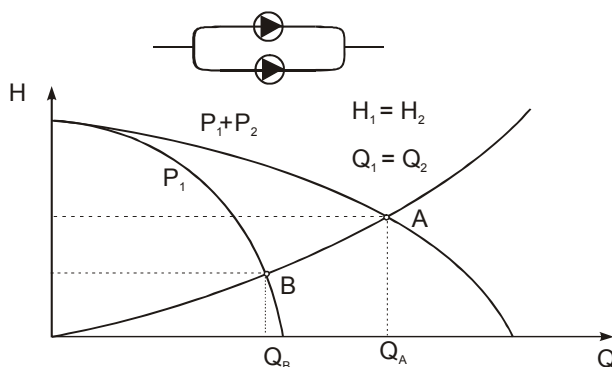
$$P = P_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \quad (4.14)$$

4.3.2 Sprega dve pumpe

Redna sprega dve pumpe podrazumeva da su one postavljene na cevovodu jedna iza druge (slika 4.12). Paralelna veza dve pumpe ostvarena je ako su pumpe postavljene u paralelnim vodovima koji se završavaju vezom sa jednom cevi, kao što je prikazano na slici 4.13. Pri tome se, u oba slučaja, radna tačka A odnosi na slučaj kada rade obe pumpe, a radna tačka B kada radi samo jedna pumpa. Takođe, u navedenim primerima obe pumpe u sprezi su jednakih karakteristika (dve iste pumpe). Sa dijagrama se jasno može uočiti kako se menjaju protok i napor u zavisnosti od vrste sprege. Kod redne veze druga pumpa doprinosi značajnijem povećanju napora, dok je povećanje protoka neznatno. U slučaju paralelne veze ostvaruje se značajnije povećanje protoka kroz cevovod, dok je povećanje napora znatno manje. Zato se često kaže: "Redna veza je za veći napor, a paralelna za veći protok".

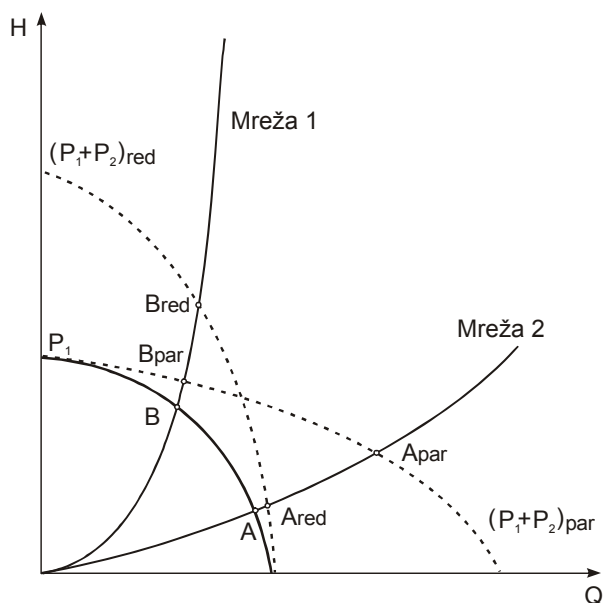


Slika 4.12 Redna veza dve jednake pumpe



Slika 4.13 Paralelna veza dve jednake pumpe

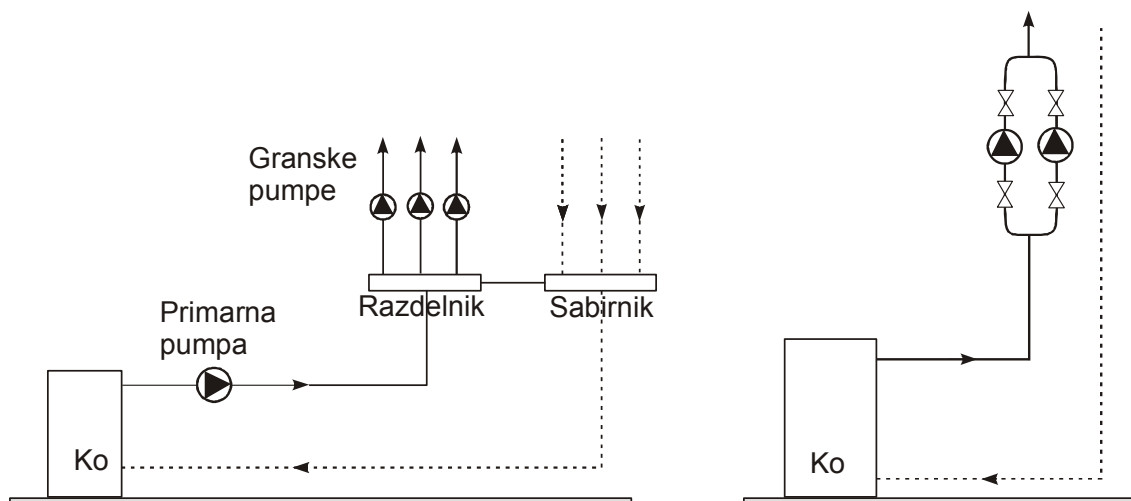
Međutim, izbor načina sprezanja pumpi isključivo zavisi od karakteristike cevovoda, odnosno položaja radne tačke, što je prikazano na slici 4.14. Ukoliko je karakteristika cevovoda strma – bolja je redna veza, a ako je karakteristika cevovoda položena bolja je paralelna veza.



Slika 4.14 Sprega pumpi u zavisnosti od položaja radne tačke

U praksi je veoma čest slučaj da pumpe koje se nalaze u cevovodu nisu istih veličina. Tada treba voditi računa da ne dođe do nepravilnog sprežanja pumpi, što može da ima jako loše posledice. Bilo da se radi o rednoj ili paralelnoj vezi, ukoliko je karakteristika cevovoda takva da ne odgovara sprezi (radna tačka se ne nalazi na karakteristici sprege), može se desiti da druga pumpa samo stvara dodatni otpor strujanju u cevovodu, a ne doprinosi povećanju napora ili protoka.

Na slici 4.15 prikazana su dva česta primera iz prakse.



Slika 4.15 Razgranata mreža sa primarnom i sekundarnim pumpama (levo) i način postavljanja "radne" i "rezervne" pumpe (desno)

Prvi se odnosi na velike, razgranate sisteme, u kojima osim primarne pumpe, postoje tzv. granske pumpe – svaka za po jednu granu cevne mreže. Ako je jedna od granskih pumpi previše "jaka" i ne priguši se – može doći do prekida strujanja kroz drugu granu, ili čak do strujanja u suprotnom smeru. Drugi prikazani primer odnosi se na postavljanje "radne" i "rezervne" cirkulacione pumpe. U ovom slučaju ne radi se o sprezi – već ove dve pumpe rade alternativno – u slučaju otkaza "radne", uključuje se "rezervna", koja radi dok se "radna" ne servisira ili zameni novom.

4.4 SIGURNOSNI UREĐAJI I ARMATURA VODENIH KOTLOVA

Sigurnosni uređaj vodenih kotlova je ekspanzioni sud. Prilikom zagrevanja vode od temperature okoline do radne temperature, njena zapremina se povećava, stvarajući tzv. „višak vode“, koji prima upravo ekspanzioni sud.

Fukcije ekspanzionog suda u sistemu su:

- omogućavanje širenja vode prilikom zagrevanja (primanje viška vode),
- održavanje hidrostatičkog pritiska i
- ispuštanje vazduha iz instalacije grejanja (samo kod otvorenog ekspanzionog suda)

4.4.1 Otvoreni ekspanzioni sud

Otvoreni ekspanzioni sud je najčešće cilindričnog oblika (slika 4.16) i postavlja se u najvišoj tački u sistemu centralnog grejanja (obično na tavanu).

Potrebna zapremina otvorenog ekspanzionog suda izračunava se na sledeći način:

$$V = \beta \cdot (\theta_{\max} - \theta_{\min}) \cdot V_w \quad (4.15)$$

gde su:

β - koeficijent zapreminskog širenja vode (1/K)

$\theta_{max}, \theta_{min}$ – maksimalna i minimaln temperatura vode u sistemu (°C)

V_w – zapremina vode u sistemu centralnog grejanja (kotao, cevna mreža i grejna tela) (m³).

Zapreminsko širenje vode u temperaturskom opsegu od 4 – 100°C iznosi oko 4,3%, pa se zbog toga usvaja pojednostavljeni način određivanja zapremine otvorenog ekspanzionog suda:

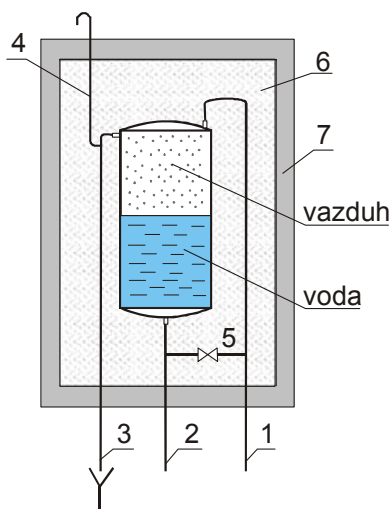
$$V = 0,045 \cdot V_w \quad (4.16)$$

Međutim, i ovako pojenostavljen izraz nije u praktičnoj primeni, jer je jako veliki posao određivanje ukupne zapremine vode u sistemu, pa je određivanje zapremine suda iskustveno prilagođeno prema toplotnom kapacitetu Q_{GT} (W) i vrsti instalacije za grejanje:

$$V = 1,2 - 1,5 \cdot Q_{GT} \cdot 10^{-3} \quad \text{- za radijatorsko grejanje} \quad (4.17)$$

$$V = 1,5 - 2,0 \cdot Q_{GT} \cdot 10^{-3} \quad \text{- za podno grejanje} \quad (4.18)$$

$$V = 0,5 - 0,8 \cdot Q_{GT} \cdot 10^{-3} \quad \text{- za konvektorsko grejanje} \quad (4.19)$$



Osnovni elementi otvorenog ekspanzionog suda:

- 1 – Razvodna sigurnosna cev
- 2 – Povratna sigurnosna cev
- 3 – Prelivna cev
- 4 – Odzračna cev
- 5 – Kratka veza (zbog obezbeđenja cirkulacije vode)
- 6 – Izolacija
- 7 - Kućište

Slika 4.16 Šematski prikaz otvorenog ekspanzionog suda

Dimezije sigurnosnih vodova:

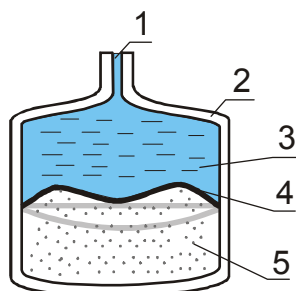
$$\text{Sigurnosna razvodna cev: } d_r = 15 + 1,4 \cdot \sqrt{Q_k} \quad (4.20)$$

$$\text{Sigurnosna povratna cev: } d_p = 15 + 0,93 \cdot \sqrt{Q_k} \quad (4.21)$$

4.4.2 Zatvoreni ekspanzioni sud

Zatvoreni ekspanzioni sud se koristi kada nema tehničkih mogućnosti za postavljanje otvorenog ekspanzionog suda i sve češće je u primeni. Takođe se koristi kada je potrebno održavati viši pritisak u sistemu. Postoje različite vrste i konstrukcije ekspanzionih sudova, u zavisnosti od veličine samog sistema centralnog grejanja. Kada su u pitanju manje instalacije, najčešće je u primeni ekspanzioni sud sa membranom (slika 4.17).

Pri zagrevanju vode u kotlu, voda se širi i kroz sigurnosnu cev ulazi u vodeni deo suda. Voda potiskuje membranu ka vazdušnom delu, tako da dobija prostor za ekspanziju. Membrana potiskuje vazduh i pritisak u vazdušnom delu se neznatno povišava. Kada grejanje prestane, voda se hladi, smanjuje zapreminu, pa pritisak vode opada. Tada pritisak vazduha iz vazdušnog dela suda potiskuje vodu nazad u sistem.



Osnovni elementi ekspanzionog suda sa membranom:

- 1 – Priključak na toplovodnu mrežu
- 2 – Metalni omotač
- 3 – Vodeni deo
- 4 – Membrana
- 5 – Vazdušni deo

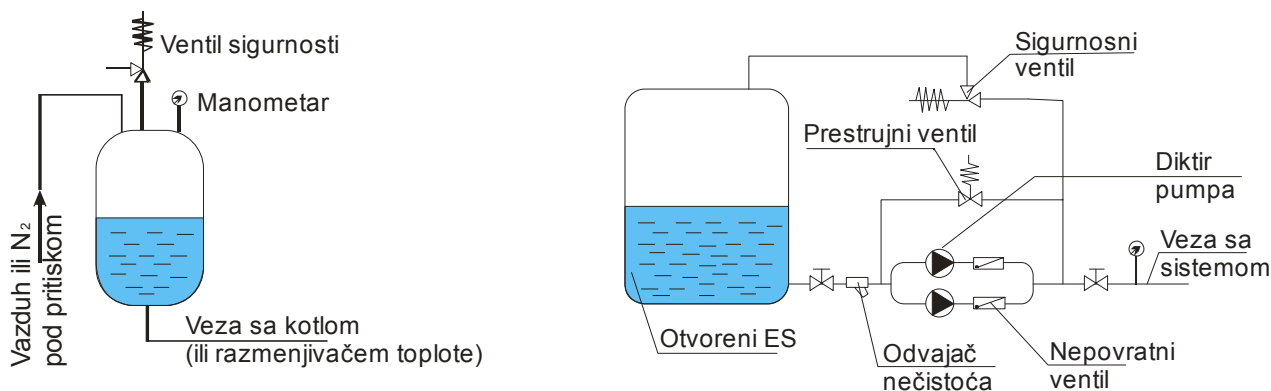
Slika 4.17 Izgled i šematski prikaz zatvorenog ekspanzionog suda sa membranom

Zapremina ekspanzionog suda sa membranom određuje se na osnovu:

$$V_s = V \cdot \frac{p_{\max}}{p_{\max} - p_{\min}} \quad (4.22)$$

Kada u sistemima grejanja sa otvorenim ekspanzionim sudom dođe do prekomernog povišenja pritiska (širenja vode), višak vode se preko prelivne cevi izbaci iz sistema, tako da uvek ima prostora za dalje širenje vode i nema opasnosti od prskanja suda ili instalacije. Kod zatvorenih ekspanzionih sudova ne postoji mogućnost preliivanja vode, već bi usled prekomernog širenja vode došlo do prskanja membrane, suda ili dela instalacije. U cilju zaštite zatvorenih sistema centralnog grejanja obavezno se na ekspanzioni sud ili sigurnosni vod postavlja **sigurnosni ventil**. Ukoliko se pritisak povisi iznad dozvoljenog, ventil se otvara i propušta deo vode van sistema, čime se snižava pritisak.

U većim sistemima, pritisak vazduha u vazdušnom delu zatvorenog ekspanzionog suda se održava pomoću kompresora. Zbog izbegavanja pojave korozije, zatvoreni ekspanzioni sudovi se često ispunjavaju azotom umesto vazduhom. Održavanje pritiska se može rešiti i sistemom sa diktir pumpom (slika 4.18).



Slika 4.18 Održavanje pritiska: ekspanzioni sud sa gasnim jastukom (levo) i diktir sistem (desno)

Armatura vodenih kotlova:

- slavina za punjenje i pražnjenje kotla,
- manometar za praćenje pritiska u sistemu (napunjenosti sistema vodom),
- termometar u razvodnom i povratnom vodu,
- regulator sagorevanja ili regulator promaje (koristi se kod kotlova na čvrsto gorivo).

4.4.3 Određivanje potrebnog kapaciteta kotla

Potreban kapacitet kotla u sistemu centralnog grejanja određuje se kao:

$$Q_k = Q_{GT} \cdot (1 + a + b) \quad (4.23)$$

gde su:

Q_{GT} – ukupan toplotni učinak grejnih tela (W)

a – dodatak za toplotne gubitke kotla i cevne mreže i zavisi od sledećih pokazatelja:

- da li je cevna mreža izolovana ili ne,
- da li je cevna mreža razgranata ili ne,
- da li su vertikale duž spoljnih zidova ili su postavljene u žljebove;

b – dodatak zbog prekida u zagrevanju (koji se usvaja samo ako postoji prekid u zagrevanju i pri najnižim spoljnim temperaturama)

4.4.4 Kotlarnica

Kotlarnica je prostorija u koju se smešta kotao za centralno grejanje, kao i sva prateća oprema. Kotlarnica po svom položaju u zgradi mogu biti podrumске i krovne (retko, u slučajevima kada se koristi gasovito gorivo).

Dimenzije kotlarnice moraju biti takve da mogu da obezbede:

- pravilnu montažu kotla i opreme,
- lako rukovanje i pristup kotlu,
- nesmetane popravke i rad na održavanju.

Pod u kotlarnici se obično izvodi kao „plivajući“ temelj, betonski fundament koji je odvojen od zidova, kako se ne bi prenosila buka kroz objekat. U zavisnosti od veličine postrojenja, različiti su i zahtevi za opremljenost kotlarnice u smislu:

- dovoda vode,
- nivoa osvetljenosti,
- ventilacije kotlarnice,
- hemijske pripreme vode,
- pomoćne prostorije,
- opreme za gašenje požara, itd.

Ukoliko je kotao na čvrsto gorivo, onda uz kotlarnicu obično ide i skladište uglja (ugljara) i deponija šljake. Ako je kotao malog kapaciteta, onda je ugljara u samoj zgradi i to veoma blizu kotlarnice (najčešće susedna prostorija). Kada su u pitanju kotlovi većeg kapaciteta, onda je pogodno da pod ugljare bude u nivou plafona kotlarnice, kako bi se obezbedilo lakše dopremanje uglja u kotlarnicu. U velikim sistemima – toplanama, skladišta uglja su van samog objekta u kome su smešteni kotlovi. Ako se radi o kotlovima na tečno gorivo, onda je potreban rezervoar za gorivo, koji može biti dnevni (kod većih sistema) ili sezonski (koji mora da obezbedi rezerve goriva za najmanje dva meseca ili celu grejnu sezonu). U rezervoarima za mazut mora postojati zagrevanje mazuta, kako bi se pri niskim temperaturama mogao transportovati do kotlarnice.

Dimnjak predstavlja obavezni element u svim kotlarnicama na konvencionalana goriva. Kada su u pitanju manje kotlarnice, primenjuje se orijentacioni proračun za izračunavanje potrebnog poprečnog preseka dimnjaka:

$$F = \frac{a \cdot Q_k}{\sqrt{h}} \quad (4.24)$$

gde su:

F – površina poprečnog preseka dimnjaka (cm²),

a – empirijski faktor srazmernosti koji uzima u obzir količinu produkata sagorevanja koju proizvodi određeno gorivo ($a = 0,017$ za tečno i $a = 0,034$ za čvrsto gorivo),
 Q_k – kapacitet kotla (kW) i
 h – visina od ložišta kotla do vrha dimnjaka (m).

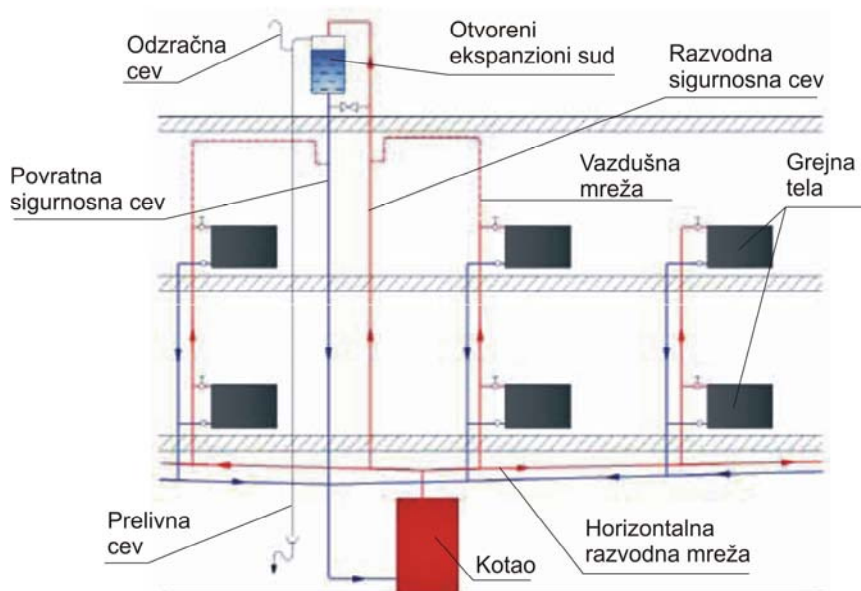
4.5 SISTEMI TOPLOVODNOG GREJANJA

Sistemi toplovodnog grejanja rade sa toplom vodom kao nosiocem toplote do maksimalne temperature 110°C . Voda se zagreva u kotlovima i kroz cevnu mrežu se dovodi do grejnih tela u prostorijama, gdje se hladi, a zatim se ponovno vraća u kotao na zagrevanje.

Podele se mogu napraviti na bazi različitih kriterijuma:

- Prema sili koja osigurava cirkulaciju vode: gravitaciona i pumpna;
- Prema načinu vođenja cevovoda: jednocevna i dvocevna;
- Prema položaju razvodne horizontalne cevne mreže: s gornjim i donjim razvodom
- Prema vezi s atmosferom: otvorena i zatvorena toplovodna grejanja.

U sistemu **gravitacionog grejanja** strujanje vode kroz cevnu mrežu ostvaruje se usled uzgonske sile, prirodnim putem, odnosno bez utroška mehaničke energije. Sva grejna tela na istom nivou (istom spratu) nalaze se na istoj visinskoj razlici u odnosu na kotao, pa prema tome imaju i isti raspoloživi napor H_{rasp} . Međutim, dužina cevne mreže kojom je grejno telo povezano sa kotlom (strujni krug) razlikuje se za skoro svako grejno telo. Izborom odgovarajućeg prečnika cevi deonica u strujnom krugu teži se ka tome da ukupan pad pritiska (usled trenja i usled lokalnih otpora) bude jednak raspoloživom naporu – to važi sa sve strujne krugove. **Strujni krug** čine sve deonice cevne mreže od kotla do grejnog tela i od grejnog tela nazad do kotla – čime je formiran jedan zatvoreni krug u kome struji grejni fluid. Na slici 4.19 prikazana je šema sistema gravitacionog grejanja sa donjim razvodom.

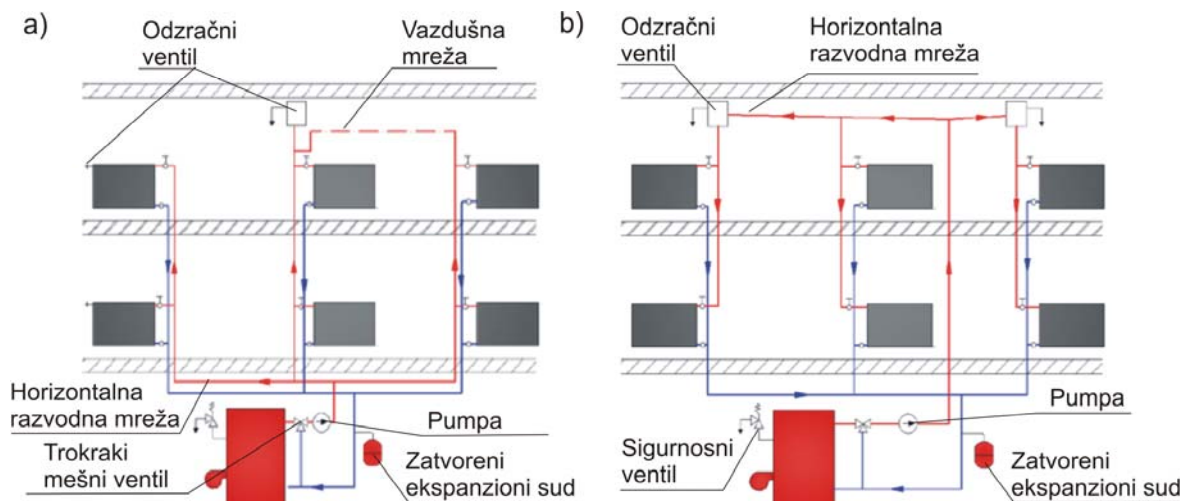


Slika 4.19 Šema sistema otvorenog gravitacionog grejanja sa donjim razvodom

Donji razvod podrazumeva da se horizontalna cevna mreža vodi ispod tavanice podrumskih prostorija, odnosno na nivou ispod grejnih tela. Sve horizontalne deonice cevne mreže se izvode pod nagibom od 5%, što je neophodno zbog pražnjenja cevne mreže i odzračivanja instalacije (odvođenja vazduha iz sistema pri samom punjenju instalacije vodom, ali i kasnije – u toku rada, ukoliko se u sistemu jave mehurići vazduha). Horizontalne cevi u mreži su

postavljene tako da omogućavaju kretanje vazduha u smeru naviše (s obzirom da je vazduh lakši od vode). Cevna mreža se u svojim najvišim tačkama (na vrhovima svih usponskih vodova) povezuje sa vazdušnom mrežom (na crtežima u projektu se obično prikazuje linijom crta – tačka – crta). Vazdušna mreža je povezana sa otvorenim ekspanzionim sudom preko razvodne sigurnosne cevi, tako da se izbacivanje vazduha van sistema vrši preko odzračne cevi na otvorenom ekspanzionom sudu. Na samoj vazdušnoj mreži su izvedene cevne petlje, koje omogućavaju prolaz vazduha naviše i stvaranje "vazdušnih čepova" radi sprečavanja eventualnog strujanja vode kroz vazdušnu mrežu.

Na slici 4.20 prikazane su šeme sistema pumpnog grejanja sa donjim, odnosno gornjim razvodom.



Slika 4.20 Šema sistema grejanja sa prinudnom cirkulacijom: a) donji razvod i b) gornji razvod

Cirkulaciona pumpa je na šemama postavljena u glavni razvodni vod, iza kotla, što obezbeđuje nadpritisk u većem delu instalacije. Pumpa se može postaviti i u glavni povratni vod, pa se tada veći deo instalacije nalazi u "potpitisu". Izgled polja pritiska u mreži zavisi od mesta povezivanja ekspanzionog suda sa instalacijom.

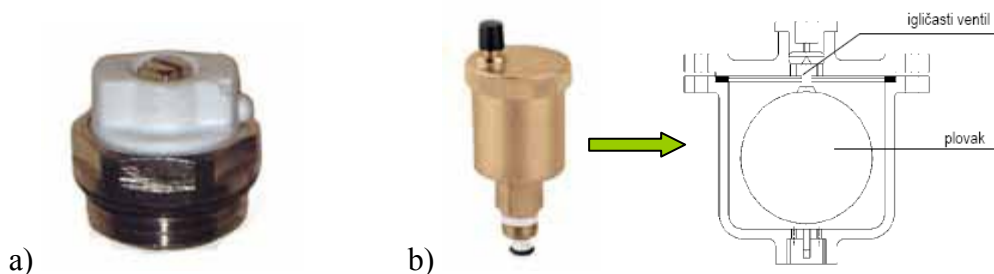
Radijatorski ventili su postavljeni na razvodnim priključcima grejnih tela i imaju ulogu smanjenja protoka kroz grejno telo ili potpuno zatvaranje – isključivanje grejnog tela iz sistema.

Radijatorski navijci se postavljaju na povratnim priključcima grejnih tela. Slično kao i regulacioni ventili na vertikalama, i radijatorski navijci mogu imati dvostruku ulogu: zatvaranje – odvajanje grejnog tela od mreže ukoliko se želi izvršiti bilo kakva intervencija na grejnom telu ili njegova zamena (u paru se zatvaraju sa radijatorskim ventilima) i regulisanje – kada se vrši balansiranje mreže, pa je potrebno izvršiti prigušenje na grejnom telu (povećati otpor strujanju u strujnom krugu posmatranog grejnog tela). Kod velikih sistema ovo je veoma važna funkcija.

Trokraki mešni ventil je regulacioni ventil koji ima ulogu centralne regulacije rada sistema. Mešanjem povratne i razvodne vode u pogodnom odnosu snižava se temperatura razvodne vode i time se ostvaruje kvalitativna centralna regulacija rada sistema.

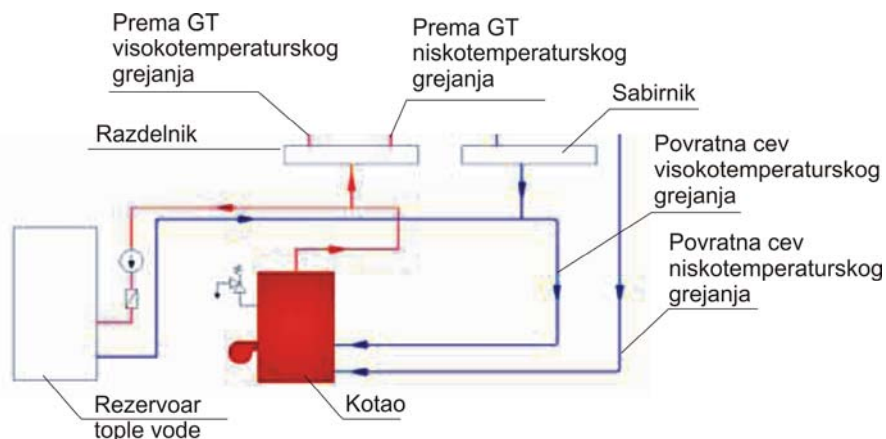
Vazdušna mreža se vodi na isti način kao i kod gravitacionog grejanja kada je u pitanju otvoren sistem, ali nema cevni petlji, već se na vertikale postavljaju ventili, koji su sasvim malo otvoreni. Razlog za to je veći nadpritisk u sistemu pumpnog u odnosu na gravitaciono grejanje. Drugi način odzračivanja, koji je takođe često u primeni je postavljanje odzračnih ventila (radijatorskih) na sva grejna tela, kao što je prikazano na šemi sistema sa donjim razvodom i

zatvorenim ekspanzionim sudom (slika 4.20 a). Kod takvog načina odzračivanja sistema nagib razvodnih priključaka grejnih tela je suprotan (ka grejnom telu). Odzračni ventili (automatski) u sistemu sa zatvorenim ekspanzionim sudom mogu se postaviti i na vrhu vertikalna (slika 4.20). U tom slučaju nagib razvodnih priključaka je kao i u slučaju postavljanja vazdušne mreže. Dakle, odzračni ventil se uvek postavlja u najvišoj tački (tačkama) instalacije, pri čemu cevna mreža mora imati takvu konfiguraciju (u pogledu nagiba) da ne postoje mesta sa kontra nagibom u kojima bi se mogli formirati vazdušni čepovi. Odzračni ventili prikazani su na slici 4.21.



Slika 4.21 Odzračni ventili: a) radijatorski i b) automatski sa plovkom

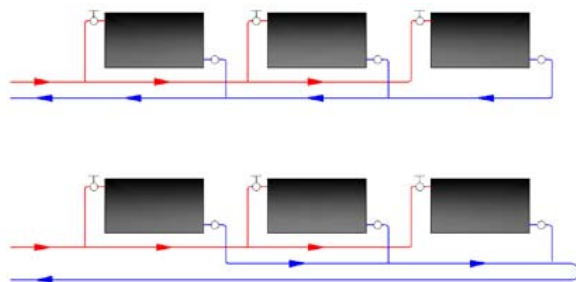
Kada su u pitanju velike zgrade i razgranate cevne mreže koje se vode kroz zgradu, u kotlarnici se postavljaju razdelnik i sabirnik, odnosno snabdevanje toplotom se deli na zone na način da ka svakoj zoni ide po jedna grana – glavna razvodna cev, koja kreće iz razdelnika. Paralelno sa njom vodi se i povratna grana. Obično se, kod velikih sistema, u svaku razvodnu granu postavlja posebna cirkulaciona pumpa koja se naziva granska pumpa i ona obezbeđuje potreban napor i protok u grani. Nekada se iz istog izvora toplote mogu snabdevati različiti potrošači, koji se razlikuju po temperaturskom režimu (na primer: sistem radijatorskog grejanja, sistem podnog grejanja, sistem centralne pripreme tople sanitarne vode, itd.). U tom slučaju, svaki sistem ima svoje glavne grane i cirkulacione pumpe. Na slici 4.22 prikazana je šema povezivanja kondenzacionog kotla sa potrošačima toplote koji rade u različitim temperatirskim režimima.



Slika 4.22 Šema povezivanja kondenzacionog kotla sa različitim potrošačima

Kod zgrada male spratnosti a velike površine, razgranatost cevne mreže je dominantna u horizontalnom pružanju. Tada se povezivanje grejnih tela kod dvocevnih sistema može vršiti na način prikazan na slici 4.23. Radijatori na slici 4.23 gore povezani su sa horizontalnom mrežom na način tako da najudaljenije grejno telo ima najveću dužinu strujnog kruga, a najbliže ima najmanju dužinu deonice. Na taj način, pad pritiska do najudaljenijeg grejnog tela prilikom strujanja vode u mreži je najveći, dok je u ostalim strujnim krugovima potrebno praviti prigušenja. Na slici 4.23 dole radijatori su povezani u Tiechermann-ov strujni krug. Karakteristika Tiechermann-ovog kruga je da je ukupna dužina deonice (razvodni i povratni) od razdelnika do

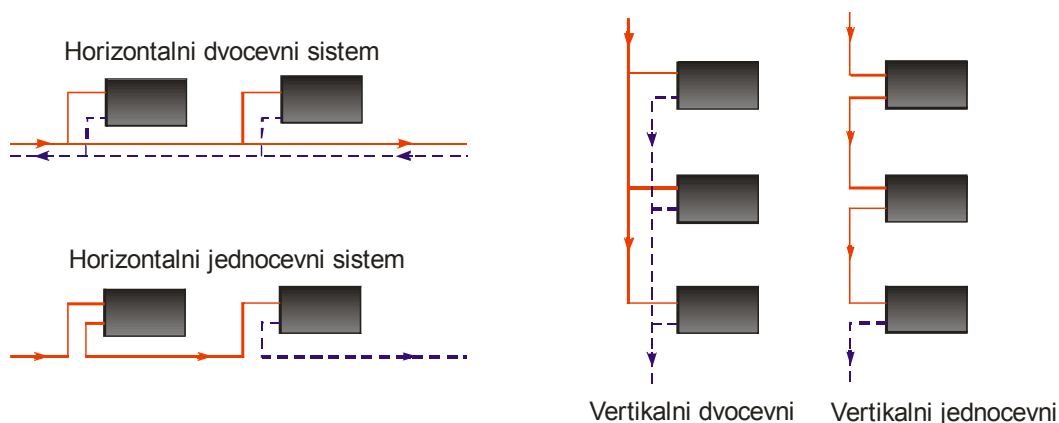
svakog grejnog tela ista, pa su hidraulički otpori ujednačeni a mogućnost balansiranja mreže bolja.



Slika 4.23 Horizontalni dvocevni razvod: običan (gore) i Tiechelman-ov (dole)

Dvocevni sistemi toplovodnog centralnog grejanja imaju poseban cevovod za razvod vode, tako da svako grejno telo dobija vodu iste temperature θ_p . Povratna voda temperature θ_p se skuplja posebnim cevovodom – povratnom mrežom, i vraća nazad u kotao. Cevna mraža kod dvocevnog sistema ima promenljiv prečnik, pri čemu se u razvodnom cevovodu poprečni presek deonica smanjuje, a u povratnom povećava u smeru strujanja vode. Takva cevna mreža zahteva više posla oko montaže i vođenje po dve cevi kroz zgradu, što može biti otežano kada se grejanje naknadno uvodi u već postojeću zgradu.

Jednocevni sistemi ublažavaju navedene nepovoljne efekte dvocevnih sistema, kod kojih su razvodna i povratna mreža jedinstven cevovod. Kod jednocevnog razvoda, bez obzira na broj grejnih tela, ima isti prečnik i isti protok. Voda koja prođe kroz jedno grejno telo zatim ulazi u sledeće i tako redom, pri čemu u svako sledeće grejno telo voda ulazi sa nižom temperaturom nego u prethodno, sve dok ne izađe iz poslednjeg grejnog tela sa temperaturom koja odgovara temperaturi povratne vode celog sistema t_p . Prema tome, temperaturski pad u svakom grejnom telu kod jednocevnih sistema manji je nego kod dvocevnih sistema, a srednja temperatura vode u grejnim telima opada u smeru strujanja vode, tako da se njihova površina povećava. Grejna tela u jednocevnom sistemu koja su bliže kotlu imaju manju površinu (jer je srednja temperatura vode u njima viša), a ona koja su dalje imaju veću površinu u odnosu na dvocevne sisteme. Ukupna površina grejnih tela kod jednocevnih sistema je ipak nešto veća u odnosu na ukupnu površinu dvocevnih grejnih sistema. Poređenje dvocevnih i jednocevnih sistema prikazano je na slici 4.24.

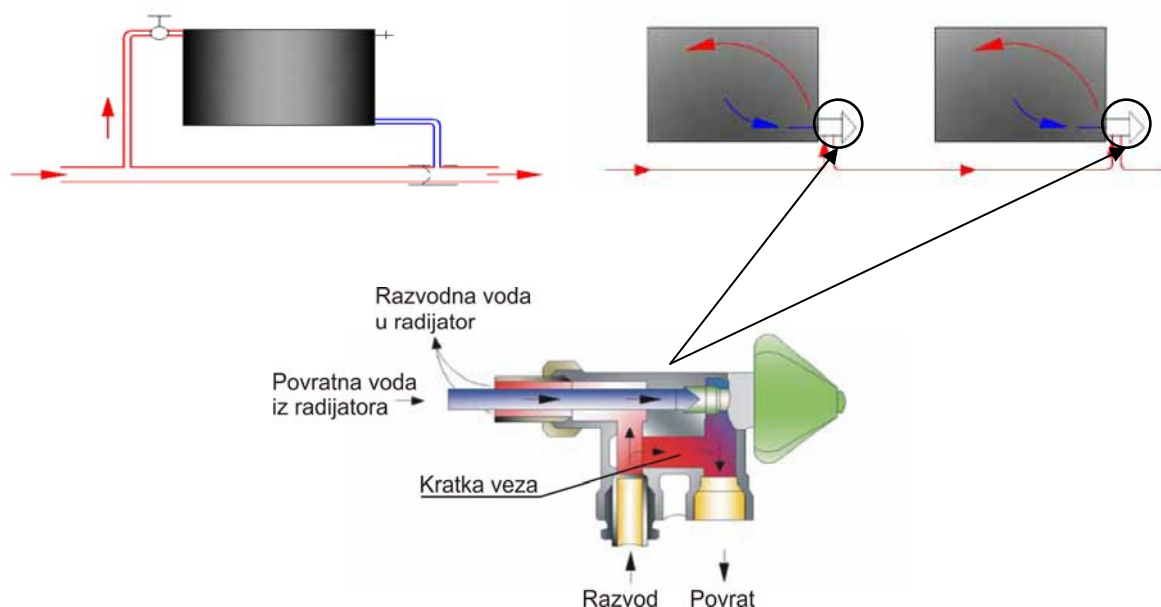


Slika 4.24 Horizontalni (levo) i vertikalni (desno) dvocevni i jednocevni sistem

Prednosti jednocevnih sistema u odnosu na dvocevne:

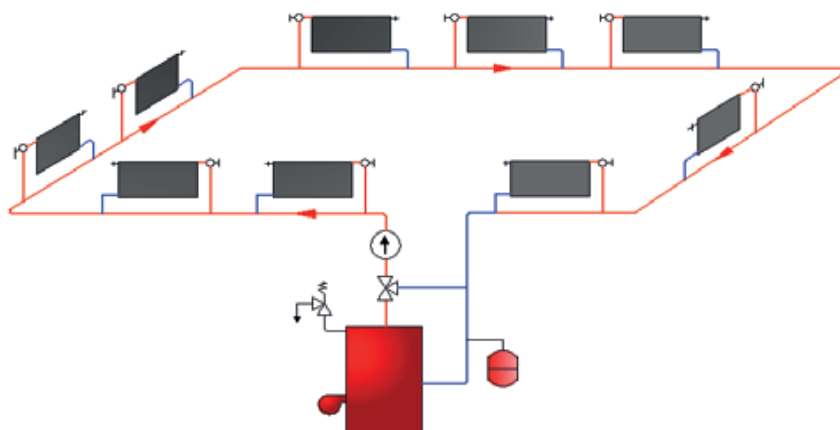
- kraća cevna mreža (manja dužina cevovoda – niža cena),
- bolje i lakše uravnoteženje mreže (uregulisanje),
- jednostavnije merenje potrošnje toplote (pogotovo kod horizontalnih sistema).

Na slici 4.24 su prikazani jednocevni sistemi bez razdeljivanja protoka kroz grejna tela i mrežu, i bez lokalne regulacije. Opciono je moguće postaviti regulacione ventile na vertikalama ili horizontalnim granama. Mana ovakvog sistema je loša lokalna regulacija zbog nepostojanja mogućnosti "razdeljivanja" protoka, već ukupan protok kroz vertikalnu, odnosno granu odgovara protoku kroz sva grejna tela. Jednocevni sistem bez kratke veze kod nas nisu u primeni. Razdeljivanje protoka moguće je ostvariti drugačijim povezivanjem (slika 4.25 levo) ili postavljanjem kratke veze između razvodnog i povratnog priključka radijatora, što je, u novije vreme, obezbeđeno ugradnjom posebnih radijatorskih ventila za jednocevno grejanje (slika 4.25 desno). Na slici 4.25 dole prikazan je presek kroz radijatorski ventil za jednocevno grejanje.



Slika 4.25 Razdeljivanje protoka kroz grejno telo: načinom povezivanja i kratkom vezom

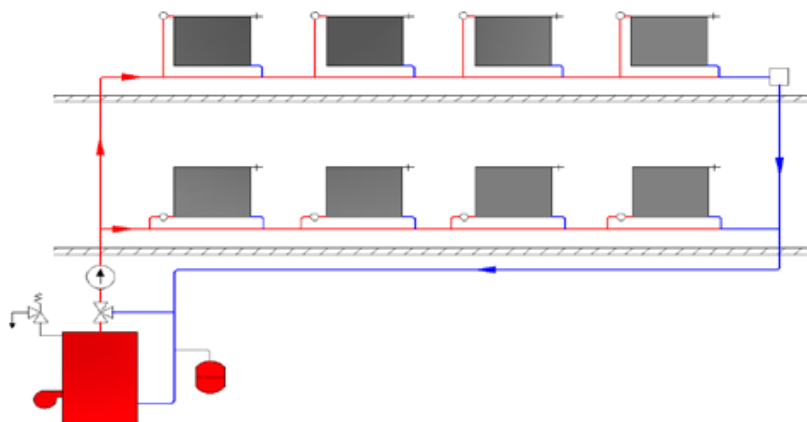
Jednocevno grejanje je jako povoljno za primenu za etažno grejanje (slika 4.26).



Slika 4.26 Jednocevni sistem – etažno grejanje

Horizontalni jednocevni sistemi imaju znatno veću primenu od vertikalnih sistema. Kod horizontalnih sistema grejna tela se naizmenično vezuju formirajući horizontalne cirkulacione grane. Svaka grana zagreva po deo grejane površine zgrade na jednom spratu, tako da ih na jednom nivou može biti i više. U ovakvom sistemu sa horizontalnim granama skraćuje se, u poređenju sa vertikalnim sistemima, dužina vertikalnog i horizontalnog dela. Broj vertikalnih deonica je manji.

Vertikale za horizontalne grane se postavljaju u pomoćnim prostorijama zgrade (stepeništa, šahtovi). Horizontalne deonice se uglavnom vode kroz samu konstrukciju poda prostorija koje se greju (nisu vidno postavljene), pa se u prostoriji vide samo cevi priključaka radijatora. Na slici 4.27 prikazan je horizontalni sistem razvoda kod jednocevnog grejanja sa zatvorenim ekspanzionim sudom i zajedničkim vertikalama.



Slika 4.27 Horizontalni sistem razvoda kod jednocevnog grejanja sa zajedničkim vertikalama

Primena jednocevnih sistema u velikim zgradama omogućava izdvajanje svakog stana (ili posebne zone jednog korisnika ili vlasnika) u poseban horizontalni cirkulacioni krug, čime je omogućeno jednostavno i precizno merenje utrošene toplote za grejanje. U razvijenim zemljama je već godinama praksa da se račun za grejanje (kod stanova i poslovnih prostora povezanih na sistem daljinskog grejanja) plaća prema stvarno potrošenoj količini toplote, a ne paušalno – prema površini stana.

Ukoliko na jednom spratu zgrade ima više stanova, postavlja se razvodni orman sa razdelnikom i sabirnikom, kako bi svaki stan imao svoj zaseban cirkulacioni krug. Ravodni orman predstavlja vezu između glavnih usponskih vodova i strujnih krugova stanova na posmatranom spratu zgrade. Merilo utrošene toplote – kalorimetar – postavlja se na ulazu cevi u svaki stan. Meri se protok vode, temperatura razvodne i temperatura povratne vode, pa se na osnovu toga dobija podatak o utrošenoj toploti za grejanje.

4.6 DALJINSKO GREJANJE

Terminom **daljinsko grejanje** označavamo *centralizovano snabdevanje toplotom većeg broja potrošača tzv. niskotemperaturske toplote*. Potrošači toplote u sistemu daljinskog grejanja mogu biti postrojenja centralnog grejanja, provetravanja, klimatizacije, postrojenja za pripremu tople sanitarne vode, kao i različiti uređaji u industriji koji koriste toplotu.

U praksi se još sreće termini *toplifikacija*, koji nije odgovarajući. Najkorektniji izraz bi bio *daljinsko snabdevanje toplotom* (jer osim potreba za grejanjem postoje i drugi potrošači toplote), ali je uobičajen izraz daljinsko grejanje.

Podela sistema daljinskog grejanja (DG) može se izvršiti prema nekoliko osnova:

Podela sistema DG prema nameni:

- komunalni sistemi (stambene, poslovne, javne zgrade)
- industrijski sistemi (razne fabrike – potrebe grejanja i tehnološki procesi)

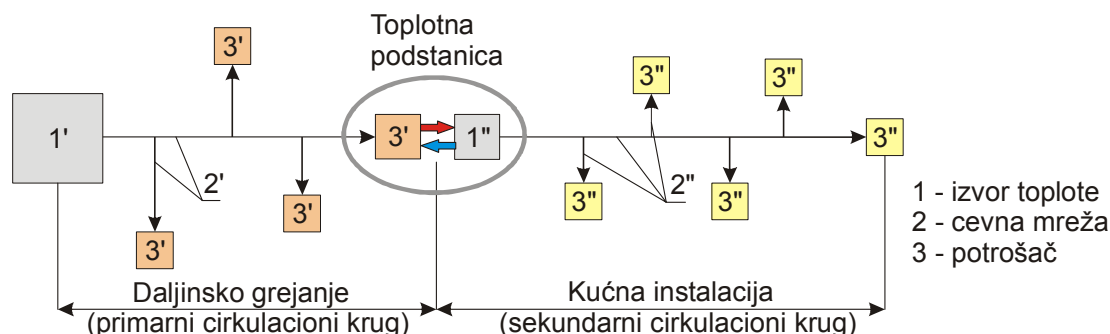
Podela prema području snabdevanja toplotom:

- blokovski (određeni broj zgrada na manjoj gradskoj teritoriji)
- reonski ili gradski (manji gradovi ili veća gradska područja)
- oblasni ili regionalni (grad i okolna naselja)

Podela prema nosiocu toplote:

- vodeni sistemi,
- parni sistemi.

Slično kao i kod sistema centralnog grejanja, kod daljinskog grejanja postoje tri osnovna elementa sistema (slika 4.28):



Slika 4.28 Osnovni elementi u sistemu daljinskog grejanja

1. element za proizvodnju toplote (toplotni izvor – toplana, kotlovi);
2. element za transport nosioca toplote (cevna mreža – toplovod);
3. element za predaju toplote potrošačima (priključna stanica, predajna stanica, toplotna podstanica ili samo podstanica)

Izvor toplote su obično parni ili vrelovodni kotlovi na čvrsto, tečno ili gasovito gorivo. Za transport nosioca toplote (radnog fluida) koristi se posebna cevna mreža – toplovod (ili parovod), koja se najčešće izvodi kao podzemna. Cevi toplovoda ili parovoda moraju biti dobro termički izolovane kako bi se sprečili (sveli na najmanju meru) gubici toplote od izvora do potrošača. Toplotna podstanica je element sistema u kome se vrši primopredaja toplote između sistema daljinskog grejanja i kućne instalacije.

Voda je danas osnovni nosilac toplote u sistemima DG gde se uglavnom primenjuju vrelovodni sistemi ($\theta_r > 110^\circ\text{C}$). Toplota koju voda prenosi je direktno proporcionalna masenom protoku i razlici temperatura razvodne i povratne vode. Izbor temperatura vode u razvodu i povratu je od velikog značaja. Da bi toplovod bio jeftiniji (manjih prečnika) i da bi snaga pumpe i utrošeni rad bili manji, potrebno je da maseni protok bude manji, a to znači da razlika temperatura razvodne i povratne vode treba da bude što veća. Ovo je naročito važno kada su u pitanju veće dužine transporta. Kada je u pitanju spregnuta proizvodnja toplote i električne energije, pri porastu θ_r raste i toplota odvedena iz parne turbine, pa se smanjuje proizvodnja električne energije, tako da opada faktor dobijanja toplote. Takođe, sa porastom temperature razvodne vode raste i njen pritisak (kako bi se sprečilo ključanje). Prema tome, potrebno je optimizirati vrednost θ_r zajedno sa toplotnim izvorom i načinom regulisanja toplotnog konzuma (kvantitativno, kvalitativno ili kombinovano). Projektni parametri treba da daju najbolje rezultate za celogodišnji rad sistema DG. S druge strane, svakako treba težiti da temperatura povratne θ_p vode bude što niža, ali je ona ograničena temperaturom povratne vode u kućnoj instalaciji.

U našoj zemlji se u sistemima DG uglavnom koriste toplane za proizvodnju toplote i koriste se sledeći temperaturni režimi:

- $110/70^\circ\text{C}$; $130/70^\circ\text{C}$; $140/70^\circ\text{C}$ i $150/70^\circ\text{C}$ za direktne sisteme i
- $110/75^\circ\text{C}$; $130/75^\circ\text{C}$; $140/75^\circ\text{C}$ i $150/75^\circ\text{C}$ za indirektno sisteme.

4.6.1 Mreže daljinskog grejanja

Podela mreža daljinskog grejanja može se izvršiti na nekoliko načina:

Prema konfiguraciji (slika 4.29), postoje:

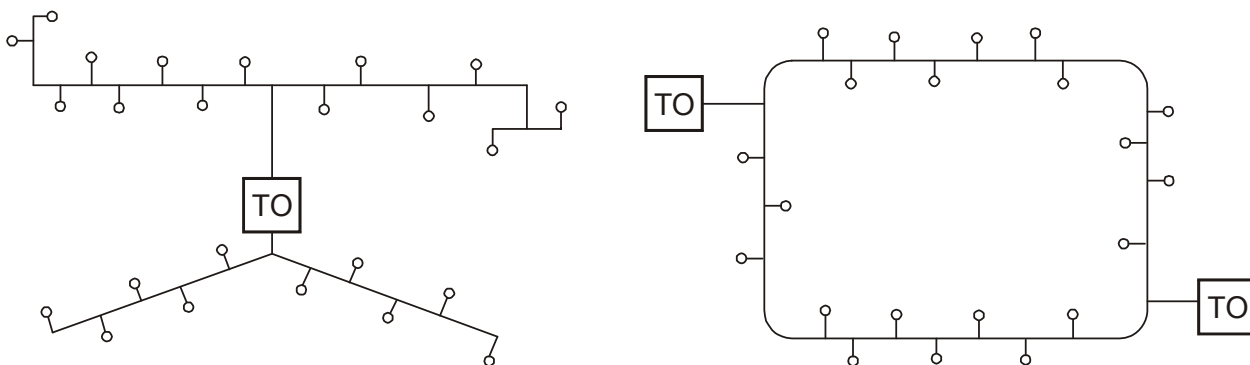
- zrakaste i
- prstenaste mreže.

Prema broju cevi:

- jednocevne (za transport pare bez povratka kondenzata - neekonomično);
- dvocevne (najčešće primenjivane);
- trocevne (dve razvodne sa različitim θ_r i jena povratna).

Prema načinu polaganja cevi:

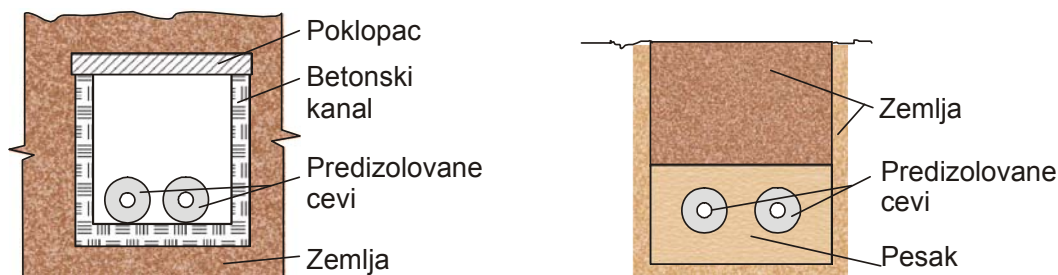
- nadzemne (jeftinije, primenjuje se u industrijskim kompleksima) i
- podzemne (cevi u kanalima ili beskanalno polaganje u zemlju - slika 4.30).



Slika 4.29 Konfiguracija mreža daljinskog grejanja - zrakasta (levo) i prstenasta mreža (desno)

Problemi koji se javljaju prilikom postavljanja toplovoda su: odgovarajuća toplotna i hidroizolacija, čvrstoća cevovoda - načini oslanjanja, temperaturske dilatacije i zaštita od korozije. Hidraulički proračun mreže daljinskog grejanja je sličan proračunu cvne mreže u kućnoj instalaciji (kod toplovoda je znatno manji udeo lokalnih otpora nego kod kućne instalacije).

Za transport toplote se koriste predizolovane cevi, prikazane na slici 4.31.



Slika 4.30 Načini polaganja toplovoda - u betonskom kanalu (levo) i beskanalno (desno)



Slika 4.31 Predizolovane cevi

4.6.2 Toplotne podstanice

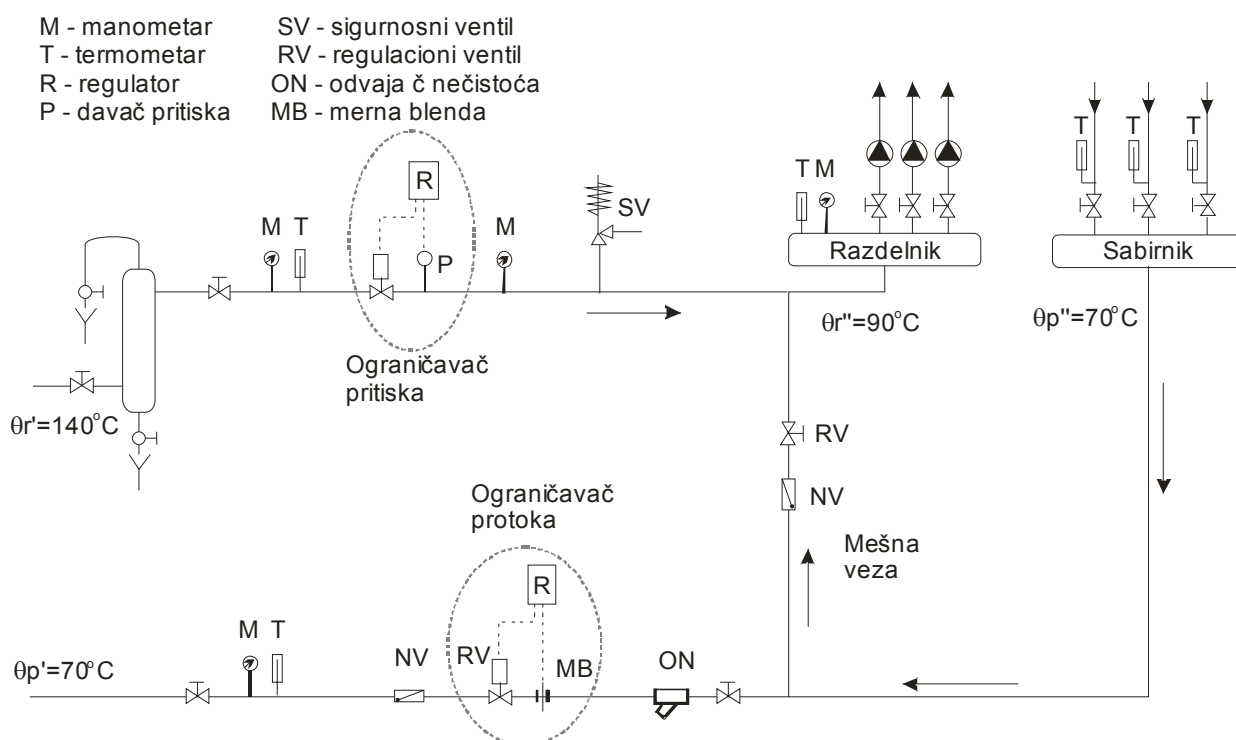
Postoje dva osnovne tipa toplotnih podstanica (šeme prikazane na slikama 4.32 i 4.33):

- sa direktnim priključkom i
- sa indirektnim priključkom.

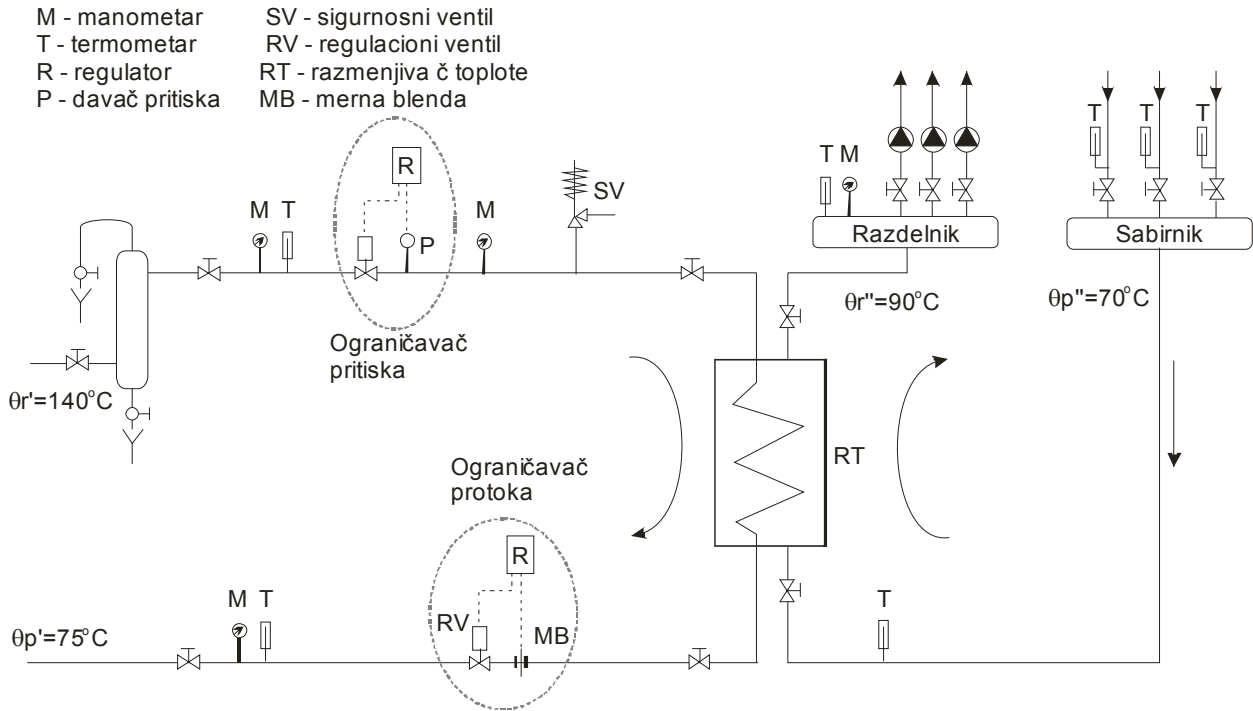
Kod sistema sa direktnim priključkom sistem daljinskog grejanja i kućna instalacija predstavljaju jedinstven hidraulički (cirkulacioni) krug. Ovo rešenje je jednostavnije, jeftinije i ekonomičnije. U ovom sistemu je temperatura povratne vode primara niža i jednaka je temperaturi povratne vode u sekundaru (kućnoj instalaciji) $\theta_p' = \theta_p''$. Međutim, ovakav sistem nije uvek primenljiv, zbog pritiska koji je potrebno održavati u mreži daljinskog grejanja. Nepovoljnost predstavlja i jedinstven cirkulacioni krug, pa se nečistoće iz kućne instalacije prenose u instalaciju daljinskog grejanja. Zbog toga se obavezno postavlja odvajač nečistoća na povratnoj grani cevovoda kućne instalacije.

Indirektan priključak podrazumeva postojanje razmenjivača toplote, koji služi za razmenu toplote između vode primara i sekundara i on hidraulički razdvaja cirkulacione krugove sistema DG i kućne instalacije. Prednost ovakve podstanice je što je pritisak u kućnoj instalaciji nezavisan od pritiska u toplovodu. Takođe, nema mešanja vode iz kućne instalacije sa vodom iz sistema DG.

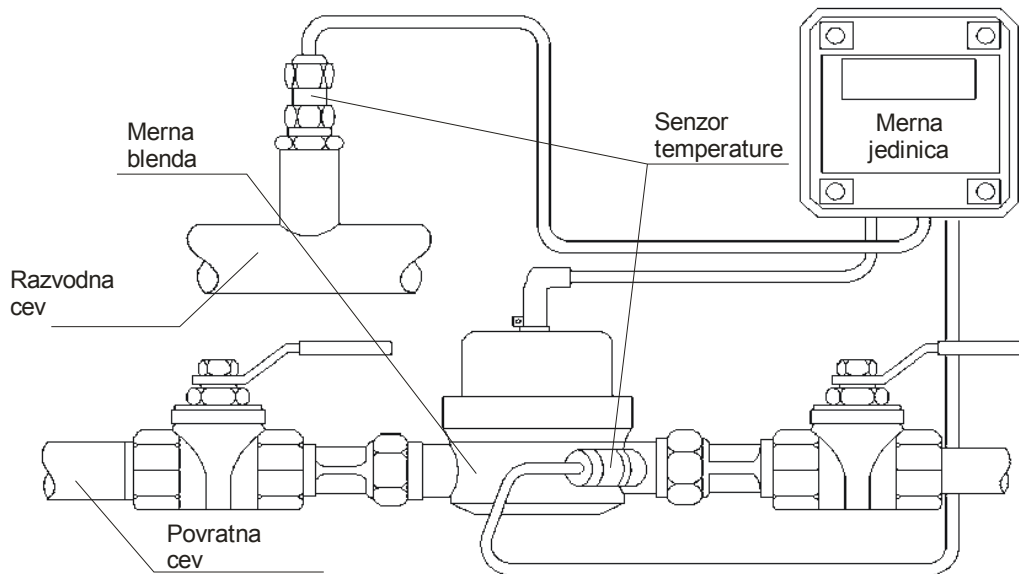
U razvodu primara se obavezno postavlja ograničavač pritiska (regulacioni ventil povezan sa davačem pritiska) čime se instalacija štiti. Iza njega sledi sigurnosni ventil, koji reaguje u slučaju prekoračenja pritiska. U povratu primara se postavlja ograničavač protoka (regulacioni ventil u sprezi sa mernom blendom koja meri protok), čija je uloga da ograniči maseni protok vode na maksimalnu (projektnu) vrednost, kako određeni potrošači (oni bliži toplani) ne bi dobijali veći protok, ostavljajući neke druge potrošače sa manjim protokom. Ovo je naročito izraženo u periodima uzgrevanja instalacije, nakon prekida u radu. Na razdelniku kućne instalacije postavlja se termo-manometar, dok se temperatura vode meri na svakoj grani povratne mreže kućne instalacije koja ulazi u sabirnik. Temperatura i pritisak se mere i na razvodu i povratu primara. Utrošenu toplotu potrošača računa računarska jedinica na osnovu merenja masenog protoka, temperature u razvodu i temperature u povratu sekundara (slika 4.34).



Slika 4.32 Toplotna podstanica - direktan priključak



Slika 4.33 Toplotna podstanica - indirektan priključak



Slika 4.34 Merenje potrošnje utrošene toplote