



KeepWarm

Optimizacija temperatura u polaznom i povratnom vodu napojne mreže – I deo



This project is funded by the EU's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N°784966, and lasts from April 2018 – September 2020.

This project receives co-funding from the German Federal Ministry of Economic Cooperation and Development.



Istorijat daljinskog grejanja

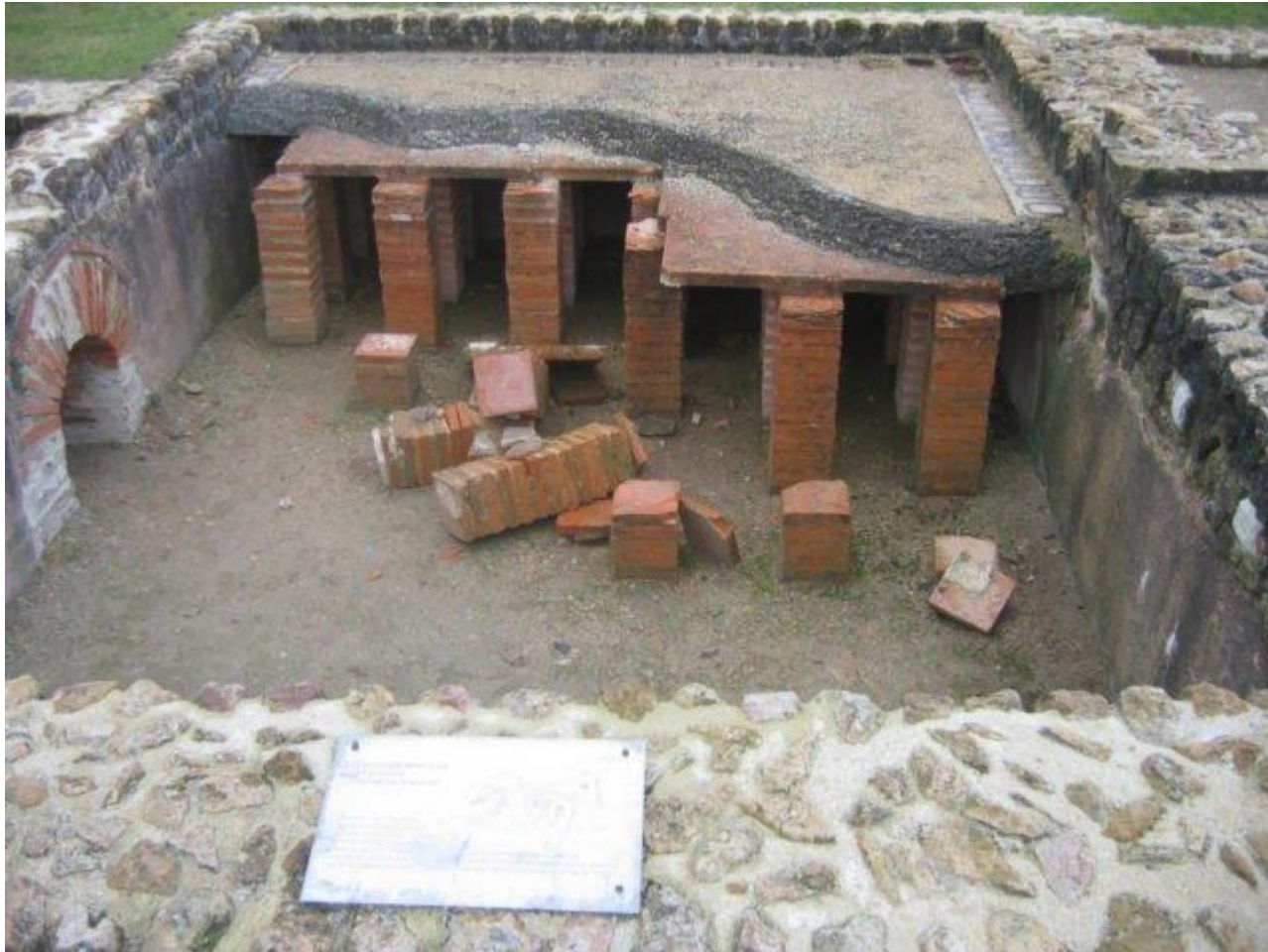
Definicija - Sistem daljinskog grejanja je sistem za distribuciju toplote generisane na centralizovanoj lokaciji kroz sistem izolovanih cevi za potrebe grejanja stambenih i nestambenih objekata i zagrevanje vode.

Dobijanje toplote:

- kogenerativna postrojenja za proizvodnju u kojima se sagorevaju fosilna goriva ili biomasa
- kotlovi koji proizvode samo toplotnu energiju
- geotermalni izvori
- toplotne pumpe
- solarno grejanje
- nuklearna energija

Postrojenja za daljinsko grejanje mogu obezbediti **veću efikasnost** i **bolju kontrolu zagađenja** od individualnih kotlova.

Podno grejanje – Stari Rimljani



Instalacija prvog sistema daljinskog grejanja pomoću vrelih izvora napravljena je tek 1332. godine u Francuskoj (Chaudes-Aigues).



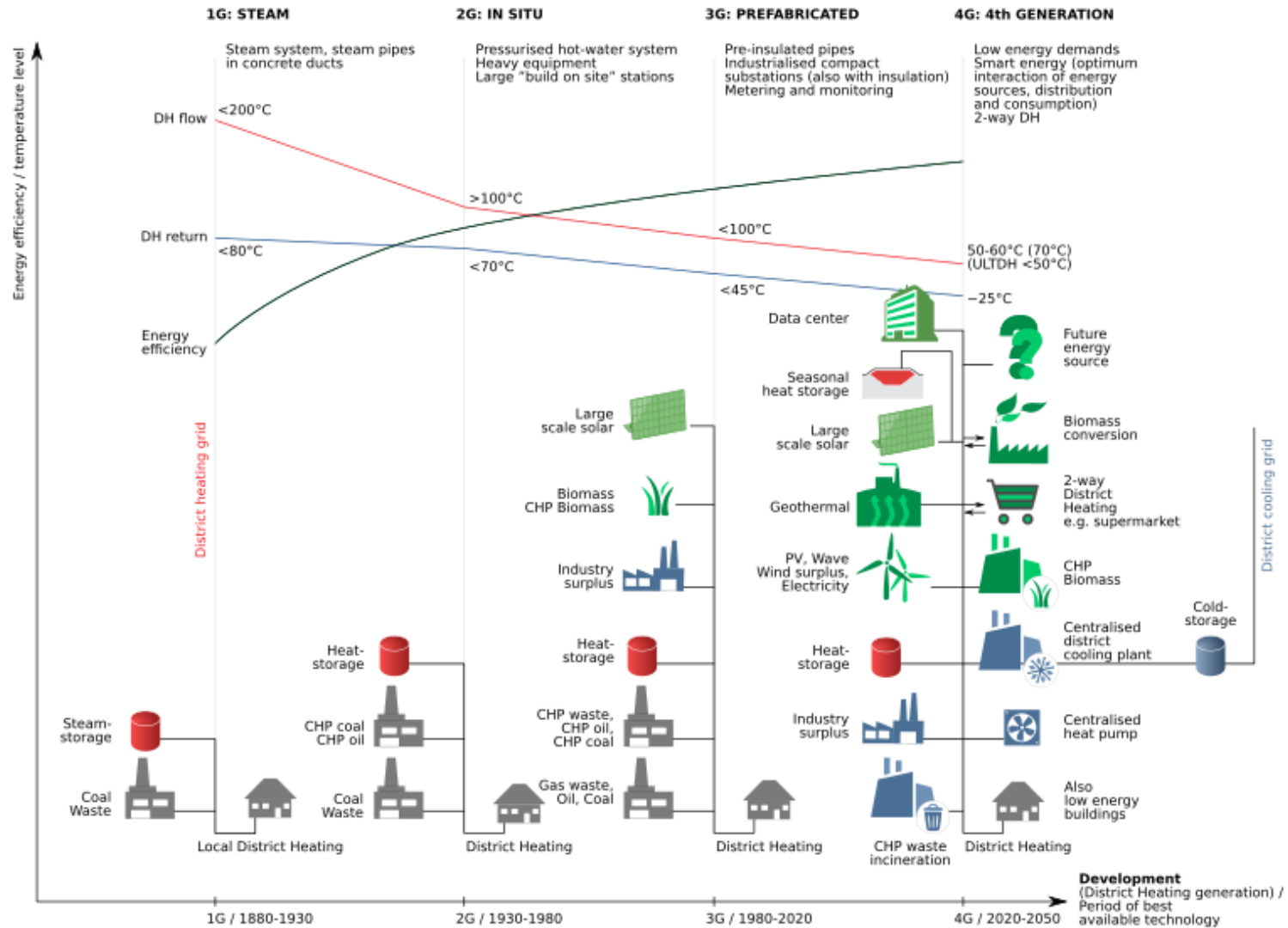
- Sistem drvenih cevi
- Temperatura tople vode 82°C
- Snabdevanje slobodnim padom
- Oko 30 kuća

Stavljanje daljinskog sistema grejanja u komercijalnu upotrebu se pripisuju američkom inženjeru hidraulike Brdsilu Holiju (Birdsill Holly).

- Ekperimenti pre 1876.g.
- Lokalni sistem daljinskog grejanja parom u Lokportu
- Denver (1880.g.) – smatra se najstarijim na svetu
- Njujork (1882.g.).



Generacije sistema daljinskog grejanja



Prva generacija sistema daljinskog grejanja

- Prvi put predstavljena u SAD
- Koristila je paru kao nosač toplote
- Energija se isporučivala kondenzacijom pare u radiatorima potrošača
- Skoro svi sistemi daljinskog grejanja do 1930. godine u SAD i u Evropi, koristili su ovu tehnologiju
- Para visokog pritiska je transportovana parnim cevima u betonskim kanalima sa visokim operativnim temperaturama i malom efikasnošću prenosa toplotne energije

Osnovna motivacija - Zamena individualnih kotlova u stambenim objektima (smanjenje rizika od eksplozija, podizanje nivoa udobnosti)

Zastareli sistemi:

- Visoke temperature pare stvaraju značajne toplotne gubitke
- Mogu izazvati teške nesreće usled eksplozije
- Povratne cevi kondenzata su često korodirane, dajući manje kondenzata u povratku i nižu energetska efikasnost
- Para se i dalje koristi kao glavni nosač toplote u starim distributivnim mrežama u Njujorku i u Parizu, dok su uspešno realizovani programi zamene u Salzburgu, Hamburgu i Minhenu.

Druga generacija sistema daljinskog grejanja

- Topla voda pod pritiskom je nosač toplote
- Temperature snabdevanja uglavnom preko 100 °C
- Tipične komponente ovih sistema su cevi za vodu u betonskim kanalima
- Veliki cevni izmenjivači toplote i veliki i teški ventili
- Ovi sistemi su se pojavili tridesetih godina i dominirali su do 1970-ih.
- Veliki sovjetski sistemi daljinskog grejanja su koristili ovu tehnologiju, ali njihov kvalitet je bio loš i nedostajala je kontrola potražnje toplote

Osnovna motivacija - Glavni razlog za upotrebu ovih sistema su **uštete goriva**, koje nastaju korišćenjem kombinovane proizvodnje toplote i električne energije.

Treća generacija sistema daljinskog grejanja

- Razvijena i uvedena u upotrebu 1970-ih godina - korišćena je u većini daljinskih sistema grejanja širom sveta
- Nosač toplote je voda pod pritiskom
- Temperatura polazne vode je često ispod 100 °C
- Treća generacija se ponekad naziva i "skandinavska tehnologija daljinskog grejanja", (mnogi proizvođači komponenata ovih sistema daljinskog grejanja su skandinavski)
- Tipične komponente su montažne, koriste se predizolovane cevi direktno zakopane u zemlju
- Kompaktne podstanice sa pločastim izmenjivačima toplote
- Masivne komponente oslanjanja
- Ova tehnologija koristi se za sva obnavljanja sistema daljinskog grejanja u centralnoj i istočnoj Evropi i bivšem SSSR
- Svi novi sistemi u Kini, Koreji, Evropi, SAD i Kanadi koriste ovu tehnologiju treće generacije.

Osnovna motivacija je **energetska efikasnost** koja vodi ka:

- kombinovanoj proizvodnji toplote i struje (CHP-combined heat and power)
- sigurnosti snabdevanja (Zamena nafte različitim lokalnim i/ili jeftinijim gorivima kao što su ugalj, biomasa i otpad. Korišćenje solarnih sistema i geotermalne toplote.)

Četvrta generacija sistema daljinskog grejanja

- Niže temperature distribucije
- Komponente orijentisane na montažu
- Fleksibilnije materijale cevi
- Obezbeđuju toplotu za niskoenergetske zgrade

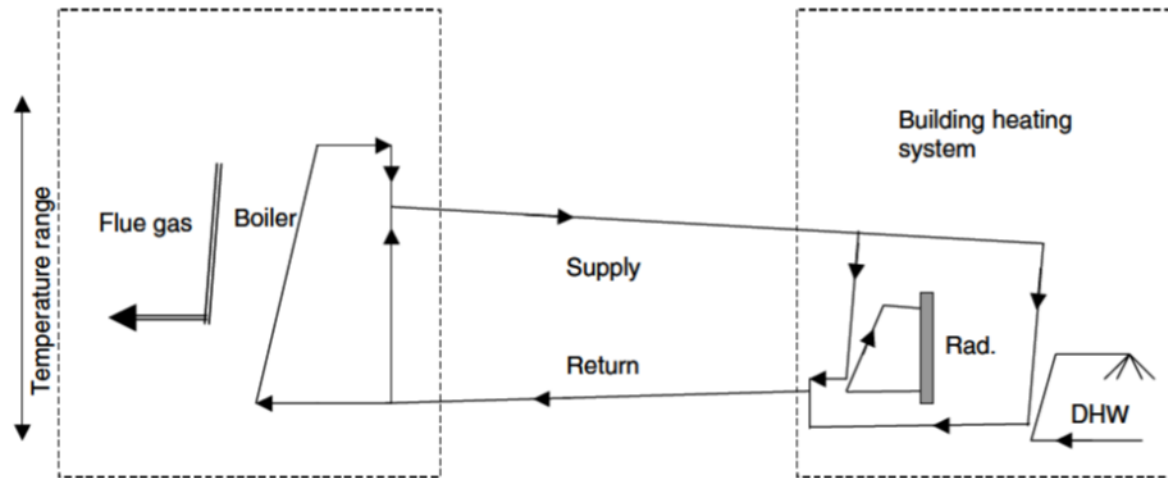
Osnovna motivacija - Okvir za dalji razvoj grejne infrastrukture i tehnologije, odnosno **transformacija u održivi energetski sistem budućnosti** koji će se boriti protiv klimatskih promena. Ovo podrazumeva:

- Institucionalni okvir u kome se infrastrukturno planiranje koristi da se odredi gde treba imati daljinsko grejanje a gde ne.
- Troškovi i podsticaji u radu imaju za cilj postizanje ravnoteže između ulaganja i proizvodnje i optimalne integracije fluktuirajuće obnovljive energije u ukupan energetski sistem.

Sistemi četvrte generacije moraju imati sledeće mogućnosti:

- Snabdevanje niskotemperaturnim daljinskim grejanjem (70°C i niže) za zagrevanje prostora i sanitarne tople vode za postojeće, obnovljene i nove niskoenergetske zgrade.
- Distribucija toplote u mrežama sa niskim gubicima.
- Sposobnost upotrebe toplote iz niskotemperaturnih izvora i integrisanje obnovljivih izvora toplote kao što su solarna i geotermalna toplota, otpadna toplota iz industrije, otpadna toplota iz centara elektronskih podataka, toplote iz postrojenja za spaljivanje otpada, biomase itd.
- Sposobnost da budu deo pametnih energetske sistema i deo sistema hlađenja 4. generacije.
- Sposobnost da obezbede odgovarajuće planske, troškovne i motivacione strukture u vezi sa funkcionisanjem, kao i strateškim investicijama vezanim za transformaciju postojećih u buduće energetske održive sisteme.

Projektne temperature u sistemu daljinskog grejanja



Od značaja su dve temperature:

- **Temperatura u polaznom vodu** (Temperatura vode koja napušta toplanu i određena je proizvodnjom toplane.)
- **Temperatura u povratnom vodu** (Temperatura vode koja se javlja posle podstanice. Ne smatra se operativnim parametrom, već je ona rezultat efektivnog rada u praksi i na nju utiču sami potrošači i topologija mreže.)

Izbor projektnih temperatura u sistemima daljinskog grejanja je ujedno i složen i veoma važan korak u dizajniranju mreže daljinskog grejanja.

Temperature u mreži utiču na:

- Količinu isporučene toplotne energije
- Gubitke toplote u mreži
- Rad pumpi za transport vode
- Proizvodnju električne energije u kogenerativnim postrojenjima u kojima se proizvodi i električna i toplotna energija
- Toplotu proizvedenu u toplotnim pumpama

Uticaj promene temperatura u sistemu DG na toplotni kapacitet

Snaga (P), koju korisnik primi u svojoj podstanici, zavisi od temperature između polaznog i povratnog voda (ΔT), masenog protoka (\dot{m}) i specifičnog toplotnog kapaciteta medijuma (C_p):

$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_{sup} - T_{ret}$$

$$C_p = 4,18 \frac{KJ}{kgK} \quad \text{osobina tečnosti}$$

T_{sup}, \dot{m}

Alatke pomoću kojih toplana podešava svoju proizvodnju prema potrebama u svakom trenutku

Efikasna mreža daljinskog grejanja:

- Niska temperatura snabdevanja
- Visoka temperaturna razlika između snabdevanja i povratka

Povećava efikasnost proizvodnje i smanjuje gubitke toplote pri transportu.

Velika temperaturna razlika ΔT vodi ka smanjenju masenog protoka, tj. uštede energije za rad pumpi.

Efikasnost proizvodnje $\rightarrow T_{sup} \searrow$
Energija koja se prenosi $\rightarrow \Delta T \nearrow$ } \rightarrow Niska temperatura povrata T_{ret}

- Povratna temperatura nije operativni parametar - zavisi od potrošača
- Povećanje efikasnosti mreže danas rezultira poboljšanjima u podstanicama potrošača (povezan je sa smanjenjem kvarova u podstanicama i njihovim povezivanjem sa mrežom)
- Neki projekti su proučavali kako povezati razmenjivače toplote u podstanici sa ciljem da se smanji povratna temperatura i maseni protok, i predložene su mere tipa kaskadnog izmenjivača sanitarne tople vode i grejanja u dvostepenoj podstanici.

- Velike mreže u Švedskoj koriste 120°C kao osnovnu projektnu temperaturu.
- U Nemačkoj su oko 130°C.
- Na istoku Evrope idu čak do 150° C.
- Neki gradovi u Švedskoj danas imaju maksimalne temperature od 100°C ili 110°C u najhladnijim danima.
- U skandinavskim zemljama je uveden novi dizajn distributivnih mreža sa niskim temperaturama i niskim pritiscima koje imaju maksimalnu temperaturu od 90°C.

Povratne temperature uglavnom zavise od primenjenog sistema grejanja:

- Stari sistemi su dizajnirani da rade sa temperaturom snabdevanja od 80°C i povratnom od 60°C
- Moderni sistemi koriste 60/45°C.
- Kombinacija ove dve tehnologije može rezultirati efikasnim temperaturama sistema grejanja od 70/50°C.

Uticaj temperatura na proizvodnju toplotne i električne energije

- **Niske temperature vode** u polaznom i povratnom vodu pozitivno utiču na proizvodnju.
- Sistemi sa kotlovima koji se koriste u **toplanama** samo za grejanje nemaju veliku zavisnost performansi od temperatura vode u polaznom i povratnom vodu.
- U toplanama gde je proizvodnja toplotne energije bazirana na **toplotnim pumpama**, koeficijent učinka (COP - Coefficient Of Performance) koji predstavlja odnos toplote na izlazu i utrošenog rada, povezan je sa temperaturama. Smanjene temperature na povratku povećavaju COP što rezultira uštedi struje za proizvodnju toplotne energije.

- U toplanama sa **kondenzacionim** uređajima temperature u mreži imaju veći efekat.

Energija gasova koji napuštaju kotao kroz dimnjak koristi za zagrevanje povratne vode iz sistema daljinskog grejanja.

- Ovaj proces se postiže kondenzacijom vode iz gasova sa povratnom vodom, tako da se predaje toplota kondenzacije.
- Što je veći sadržaj vode u gorivu, više energije se može dodatno iskoristiti.

- Važan efekat nivoa temperature u kogenerativnim postrojenjima odnosi se na **proizvodnju električne energije**.
- U parnim protivpritisnim turbinama fluid na izlazu iz turbine predstavlja ulaz za sledeći proces.
- U kogenerativnim postrojenjima, proces koji sledi je zagrevanje vode koja dolazi iz mreže daljinskog grejanja u izmenjivač koji radi kao **kondenzator**.
- To znači da je za višu temperaturu T_{sup} , para ekspanđirana na viši pritisak, što dovodi do toga da je niža proizvodnja električne energije.
- U slučaju parne turbine sa više nivoa kondenzacije, nema samo T_{sup} uticaj na proizvodnju energije već i T_{ret} može biti uticajni faktor.

- Niža povratna temperatura omogućava efikasniju proizvodnju toplote, jer se sa nižom temperaturom u povratnom vodu više latentne toplote pare može iskoristiti posle turbine.
- Može se reći da su niske temperature uslov za korišćenje goriva sa malim sadržajem energije, kao što je npr. otpad.

Uticaj temperatura na rad pumpi

- Rad pumpe je energija koja je potrebna za transport tople vode od proizvodnog pogona ka potrošačima, a onda nazad od potrošača ponovo u pogon.
 - Neke pumpe su zbog toga instalirane duž mreže, ali je obično većina njih u samoj toplani.
 - Pad pritiska se meri daleko od toplane i ako taj pritisak nije dovoljno visok, pumpa mora da bude u stanju da obezbedi viši pritisak.
-
- Pumpe moraju da nadoknade pritisak koji se gubi duž polaznog i povratnog voda u cevima a posledica je trenja između vode i zidova cevi.
 - Ovo trenje nije u linearnoj zavisnosti sa masenim protokom, već je približno proporcionalno trećem stepenu protoka.
 - To znači da smanjenje protoka vode ima veliki uticaj na potrošnju energije za rad pumpi.

$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

- Za određenu isporučenu snagu, povećanje temperaturne razlike ima za posledicu smanjenje masenog protoka pa samim tim i smanjenje utrošene električne energije za rad pumpi i troškova vezanih za njih – **pozitivan uticaj**.

Uticaj temperatura na toplotne gubitke

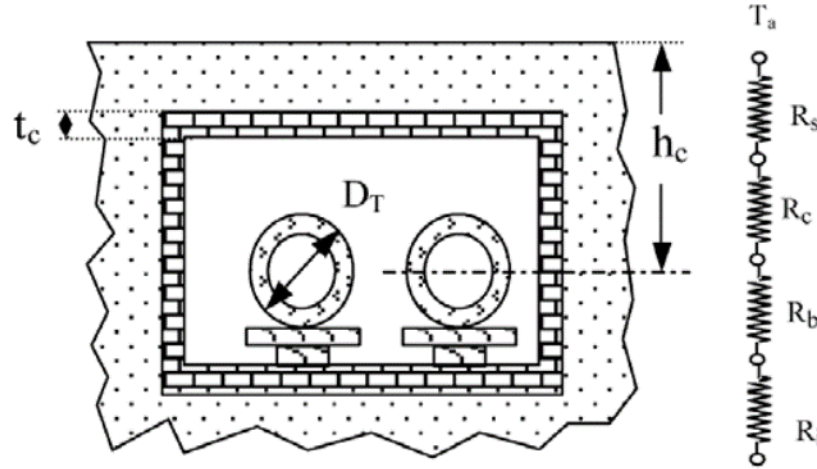
- **Toplotni gubici** u mreži daljinskog grejanja proporcionalni su temperaturnoj razlici između ambijentalne temperature i temperature vode u cevima.
- Temperatura okoline se ne može smatrati operativnim parametrom te gubici toplote zavise od **temperature snabdevanja i povrata u mreži i njihovog protoka**.
- Za **postojeću mrežu** daljinskog grejanja, sa svim distributivnim cevima i njihovim izolacijama, samo promene temperatura i protoka mogu uticati na smanjenje distributivnih gubitaka toplote.

Energetski balans mreže:

$$\dot{Q}_{plant} + \dot{W}_{pump} = \dot{Q}_{loss} + \dot{Q}_{cons}$$

- \dot{Q}_{plant} - toplota proizvedena u toplani
- \dot{W}_{pump} - snaga potrebna za rad pumpnih stanica
- \dot{Q}_{loss} - toplotni gubici duž mreže
- \dot{Q}_{cons} - toplota kojom se snabevaju podstanice

Presek kanala u distributivnom sistemu daljinskog grejanja



Gubici po jedinici dužine \dot{Q}_{loss} mogu se dobiti pomoću sledeće jednačine:

$$\dot{Q}_{loss} = 2 \cdot \left[\frac{(T_{pipes} - T_{out})}{R_{ins} + R_{hole} + R_{channel} + R_{soil}} \right]$$

$$T_{pipes} = \frac{T_{supply} + T_{return}}{2}$$

T_{pipes} - srednja temperatura dve cevi

R_{ins} - toplotni otpor izolacije u cevima

R_{hole} - toplotni otpor rupe u kanalu u koju su smeštene cevi

$R_{channel}$ - toplotni otpor kanala

R_{soil} - toplotni otpor tla

- Važno uzeti u obzir gubitke toplote prilikom određivanja optimalnih projektnih temperatura u sistemu daljinskog grejanja zbog toga što je poznato da su **normalne vrednosti toplotnih gubitaka** u mreži daljinskog grejanja **veće od 10%** u odnosu na energiju snabdevanja.
- Može se smatrati da se optimizacija toplotnih gubitaka lako može ostvariti jednostavnim smanjenjem, i temperature snabdevanja, i temperature povratne vode na minimum.
- Ova mera će, svakako, smanjiti toplotne gubitke ali druge posledice moraju takođe da se razmotre, kao što je činjenica da smanjenje temperaturne razlike utiče na povećanje masenog protoka pa time i na veći pad pritiska i veću potrošnju energije za rad pumpi.
- Nije moguće smanjiti temperature snabdevanja ispod onih koje su potrebne potrošačima.

Zaključak

- Efikasnost mreže daljinskog grejanja prvenstveno zavisi od temperatura u sistemu. Stoga je važno izvršiti optimizaciju temperatura vode u polaznom i povratnom vodu. Ova optimizacija ima za posledicu smanjenje potrošnje energije, što je jedan od najznačajnijih ciljeva današnjice.
- Pravilna optimizacija mora uzeti u obzir sve razmatrane efekte i njihovu interakciju. Neophodno je znati da ponekad unapređenje jednog od ovih efekata dovodi do pogoršanja ostalih. Iz tog razloga, u optimizaciji se mora posmatrati čitava mreža i to: proizvodnja, distribucija i potrošnja u podstanicama.
- Optimizacija mrežnih temperatura zavisi od graničnih uslova. Svaka mreža ima sopstvene vrednosti za optimalno rešenje, pa je obično slučaj da najbolje rešenje za jednu mrežu, nije ujedno najbolje i za druge.



Hvala na pažnji!

bee@vinca.rs

Twitter: https://twitter.com/KeepWarm_Serbia



This project is funded by the EU's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N°784966, and lasts from April 2018 – September 2020.

This project receives co-funding from the German Federal Ministry of Economic Cooperation and Development.

