

DELOVANJE IN UPORABA KOMORE ZA PREIZKUŠANJE GRELNIH TELES

Anastasija Jocić, Matjaž Prek, Urška Mlakar, Uroš Stritih

Cilj članka je predstaviti delovanje in sestavne dele komore, ki se nahaja v Laboratoriju za ogrevalno, sanitarno, solarno tehniko in klimatizacijo (LOSK) na FS.

V nadaljevanju članka bodo predstavljene tudi možnosti uporabe komore za izvajanje dinamičnih meritev v kontroliranih pogojih.

Radiatorsko komoro za testiranje grelnih elementov sta leta 2020 nadgradila podjetje Danfoss in Fakulteta za strojništvo – Laboratorij za ogrevalno, sanitarno, solarno tehniko in klimatizacijo. V sklopu prenove je šlo za posodobitev regulacijskega in nato še hidravličnega dela komore. Tu je bila ključna vgradnja tlačno neodvisnih krmilnih ventilov in s tem tudi aktuatorjev, ki omogočajo lažje projektiranje, montažo in hidravlično uravnoteženje samega cevne sistema. Zelo pomembna pridobitev je bila tudi centralna nadzorna enota, ki z dodatnimi zaznavali omogoča krmiljenje in analizo delovanja. Samo komoro lahko obravnavamo kot neke vrste pripomoček za določitev učinkovitosti ogreval in konvektorjev, karakteristik ventilov ter njihovih avtoritet itd.

Komora ima dva načina obratovanja oziroma režima: »poletni režim« – komora obratuje tako, da imamo tople stene – jih segrevamo, prostor – v nadaljevanju komoro, pa hladimo s konvektorjem (Fan Coil).

»Zimski režim« – komora obratuje tako, da imamo hladne stene, ki jih hladimo, komoro pa segrevamo s konvektorjem (Fan Coil).

Tako ima sam sklop 6 sestavnih enot:

Komora

Komora ima dimenzije 4,3 m x 4,1 m x 2,9 m, njena površina tako znaša 17,6 m², njena prostornina pa 51,1 m³. Na zunanji strani je izolirana z izolacijsko peno Armaflex, na notranji strani pa so nameščeni radiatorji, ki predstavljajo stene, strop in tla v realnem prostoru – z njimi tako simuliramo zunanje vplive.

Anastasija Jocić, izr. prof. dr. Matjaž Prek, univ. dipl. inž., Urška Mlakar, mag. inž., izr. prof. dr. Uroš Stritih, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Slika 1 : Zunanost komore

Konvektorska enota

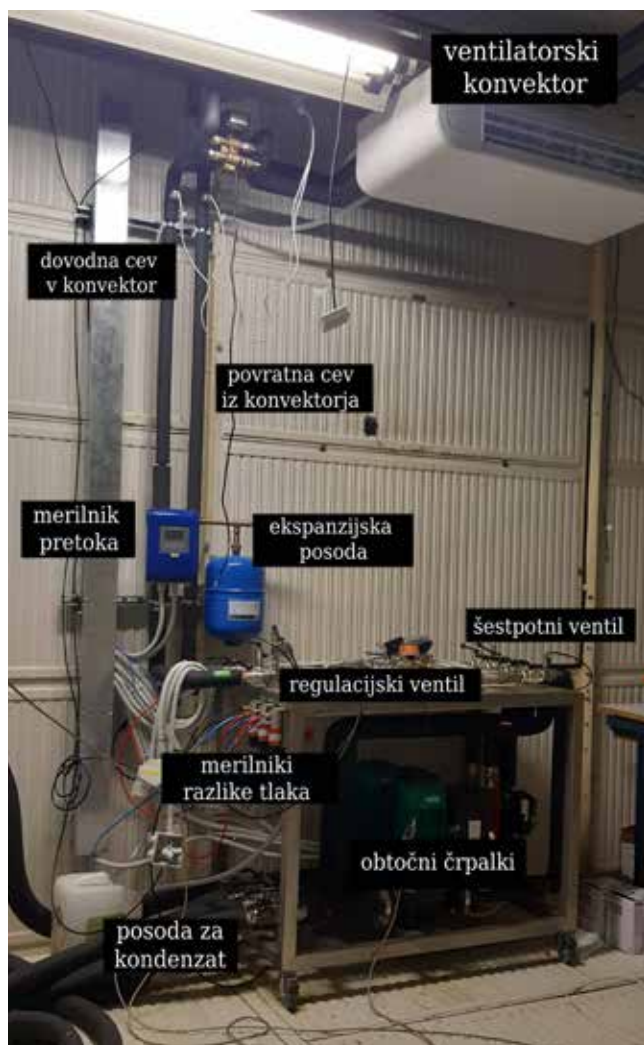
Konvektorska enota je sestavljena iz ventilatorskega konvektorja, merilnika pretoka, ekspanzijske posode, regulacijskega ventila, šestpotnega ventila, merilnika razlike tlaka, obtočne črpalke.

Tu ima glavno vlogo ventilatorski konvektor, ki deluje na principu prisilne konvekcije zraka. Ta kroži skozi prenosnik toplote s pomočjo ventilatorja. Tako imajo v večini primerov ventilatorski konvektorji boljšo učinkovitost kot radiatorji, saj zaradi prisilne konvekcije učinkovito in prijetno oddajajo toploto.

Pomembna elementa v tem sklopu pa sta tudi regulacijski ventil in njegov aktuator. Regulacijski ventil je tlačno neodvisen, saj ima možnost kontrole gibljivosti diferenčnega tlaka, ki vzdržuje konstanten padec tlaka. Aktuator, ki je primeren za uporabo s tlačno neodvisnim ventilom, pa skrbi za hidravlično uravnoteženje cevne mreže.

Režimski del

V tem delu so opisane naprave, ki ne obratujejo v obeh režimih, torej obratujejo samo v poletnem ali pa v zimskem režimu delovanja komore.



Slika 2 : Konvektorska enota in njeni sestavni deli

Naprave, ki jih imamo v tako imenovanem režimskem delu, so: pretočni hladilnik, grelec vode, kalorimeter, obtočne črpalke in toplotna črpalka. Voda, ki jo pošiljamo skozi konvektor, je hlajena s pretočnim hladilnikom – pretočni hladilnik deluje samo v »poletnem režimu«. Grelni elementi so namenjeni pripravi tople vode tako v poletnem kot zimskem režimu. Kalorimeter je kompakten ultrazvočni merilnik za merjenje toplote. Poleg tega pa z njim merimo tudi temperaturo in pretok vode. Toplotna črpalka obratuje samo v zimskem režimu. Uporablja se za pripravo hladne vode, ki jo pošiljamo v radiatorske stene za hlajenje komore. Poleg toplotne črpalke imamo zalogovnik hladne vode, katerega volumen znaša 500 litrov. Potrebujemo ga, saj toplotna črpalka ne bi zmogla sproti hladiti tolikšne količine vode.

Zaznavala

V sklopu komore je nameščenih 16 temperaturnih zaznaval in dve zaznavali vlage. V celotnem merilnem sklopu se uporabljajo trije tipi zaznaval:



Slika 3 : Režimski del in njegovi sestavni deli

- ▶ naležni – kovina zunaj ohišja nalega neposredno na toplotni oziroma hladilni vir;
- ▶ hitroreakcijski – imajo boljšo odzivnost na spremembe;
- ▶ potopni – za merjenje temperature medija.

Druga oprema

Temperaturna zaščita je namenjena zaščiti pred toplotno obremenitvijo. Če zazna višjo temperaturo od 70 °C, izklopi električno energijo za vse grelce.

Ventilator je namenjen razpihovanju zraka po komori, njegova jakost pa se nastavlja ročno.

Sklop štirih žarnic je namenjen segrevanju komore in se obravnava kot dodaten notranji toplotni vir.

Centralna nadzorna enota

Program centralne nadzorne enote deluje na principu programa, napisanega v programskem okolju LabVIEW. Upravljalni panel je za uporabnika najbolj pomemben, saj z njim upravljamo celotno komoro. Sestavljen je iz petih glavnih zavihkov:

- ▶ zavihek **Home** je glavni oziroma osnovni zavihek. Tu upravljamo večino naprav v sklopu ko-



Slika 4 : Centralna nadzorna enota

more: vključujemo črpalke in nastavljamo režim in jakost obratovanja. Omogoča nam tudi nastavljanje števila grelcev, nastavljanje odprtosti ventilov, temperaturo v prostoru in jakost ventilatorja;

- ▶ zavihek **Settings** (ki je razdeljen še v podzavihke);
- ▶ zavihek **Diagnostics** je namenjen vklopu in izklopu skoraj vseh naprav v sklopu komore;
- ▶ zavihek **Graphs** je namenjen prikazu grafov;
- ▶ zavihek **File Viewer** je namenjen prikazovanju datotek, ki so v obliki tabele.

Primer uporabe komore kot učnega pripomočka za dinamične meritve

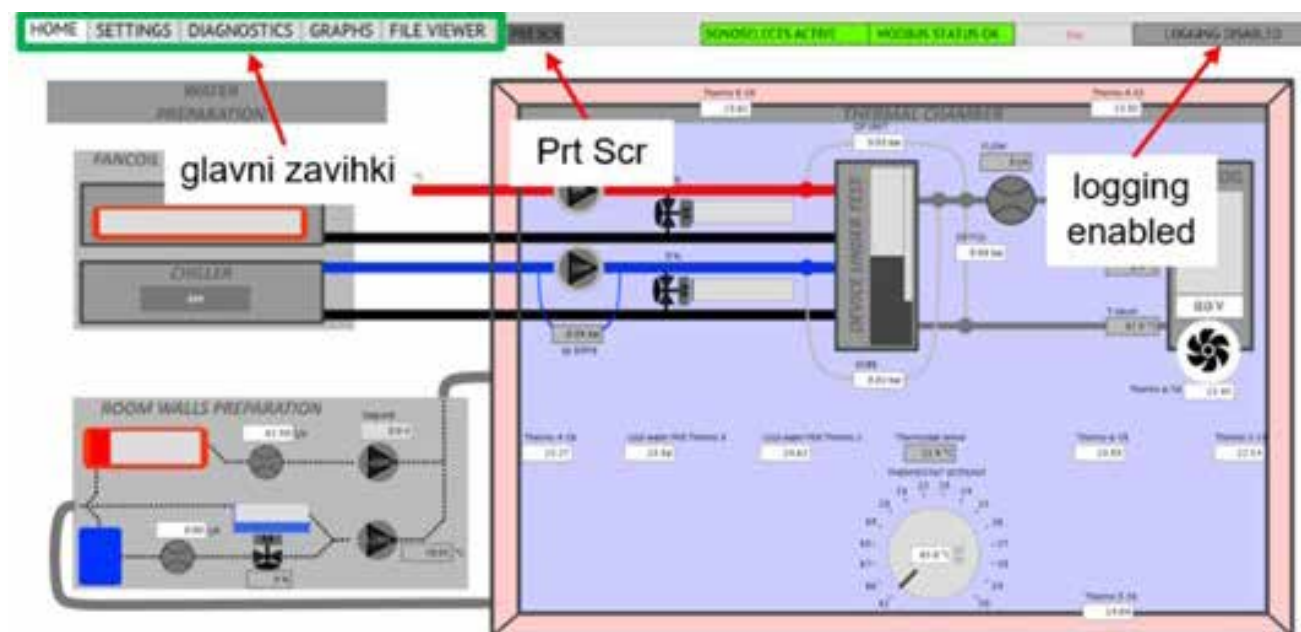
Na temo uporabe komore je bilo napisanih šest diplomskih nalog, saj ta omogoča opravljanje meritev v kontroliranem okolju. V nadaljevanju bomo prikazali primer dinamičnih meritev PID-regulacije za sistem hlajenja.

Regulacija ureja delovanje procesa tako, da ena ali več procesnih spremenljivk ostane na želeni vrednosti kljub spremenljivim vplivom okolja. Primer takšne regulacije je ohranjanje konstantne temperature v prostoru pozimi. V principu poznamo dve glavni regulaciji: ročno, pri kateri spremembe intenzivnosti izvaja človek, in avtomatsko, pri kateri spremembe izvaja tehnična naprava.

PID-krmilniki so nameščeni v številnih aplikacijah za nadzor industrijskih procesov. Kratica PID pomeni Proporcionalno-Integralno-Diferencialno. To pomeni, da na krmilniku nastavljamo tri parametre: proporcionalno ojačenje (P oziroma Kc), integracijska časovna konstanta (I oziroma Ti) in diferencialna časovna konstanta (D oziroma Td).

Značilnosti posameznih členov pri PID-regulaciji:

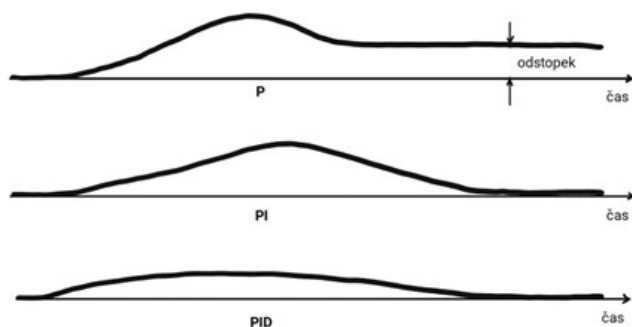
- ▶ proporcionalno ojačenje (P oziroma Kc) – odziv na trenutno stanje: večja, kot je vrednost, bolj izrazita je sprememba – večji skoki in večje stopnice;
- ▶ integracijska časovna konstanta (I oziroma Ti) – odziv na dogajanje v preteklosti: večja, kot je vrednost, počasnejši je odziv – slabo vpliva na stabilnost sistema; vedno v kombinaciji s P-členom;
- ▶ diferencialna časovna konstanta (D oziroma Td) – odziv na dogajanje v prihodnosti: večja, kot je



Slika 5 : Posnetek zaslona upravljalnega panela

sprememba napake, večji je odziv; člen D ojači nenadne spremembe; vedno v kombinaciji s P in I-členom.

Na *sliki 6* vidimo tri primere regulacije s PID. Prvi primer prikazuje uporabo samo člena P, drugi primer uporabo členov P in I, zadnji primer pa uporabo vseh treh členov, torej P, I in D. Vidimo, da je najmanjši odstop pri uporabi vseh treh členov in največji odstop pri uporabi samo člena P. Pri meritvah bomo upoštevali regulacijo členov P in I.



Slika 6 : Primeri regulacije s členom P, členoma P in I ter členi P, I in D

V sklopu meritev bomo z regulacijo PID uravnavali pretok, ki posledično vpliva na temperaturo na izstopu iz ventilatorskega konvektorja v komori. Meritve bomo spremljali prek hitroreakcijskega senzorja, ki je nameščen pred ventilatorskim konvektorjem.

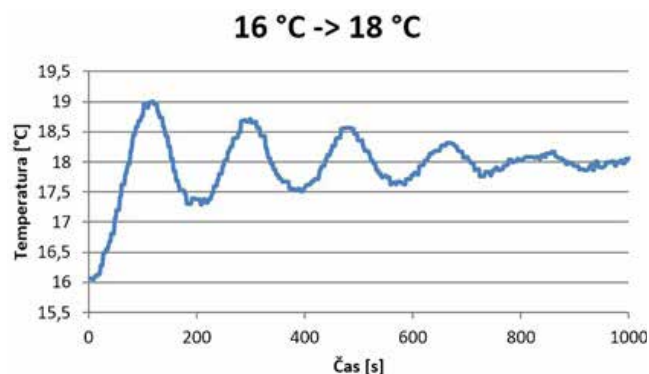
Pred meritvami je treba ogreti stene in zagnati pretočni hladilnik za hlajenje vode za ventilatorski konvektor. Na upravljalnem panelu nastavljamo tri parametre: in sicer želeno temperaturo prostora, proporcionalni (člen P) in integracijski parameter (člen I).

Meritve izvedemo tako, da sprednjo in desno steno segrevamo. Njuno temperaturo nastavimo na 29 °C, pri čemer uravnavamo temperaturo desne stene. V centralni nadzorni enoti je pomembno nastaviti tudi to, da bo privzeti senzor tisti, ki je pred ventilatorskim konvektorjem.

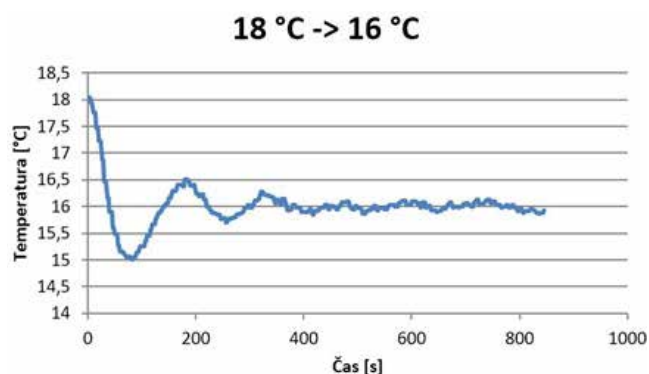
Tako sta bili izvedeni dve meritvi: sprememba želene temperature prostora s 16 °C na 18 °C in sprememba temperature prostora z 18 °C na 16 °C. Parametra, ki smo ju merili, pa sta bila: čas delovanja in temperatura, ki jo je zaznal senzor na izhodu ventilatorskega konvektorja.

Na grafu (*slika 7*) je prikazana prva meritev, in sicer sprememba temperature s 16 °C na 18 °C. Proporcionalni člen P ima vrednost 2, integracijski člen I pa je 0,1.

Na grafu (*slika 8*) je prikazana druga meritev, in sicer sprememba temperature z 18 °C na 16 °C. Proporcionalni člen P ima enako vrednost kot prej, torej 2, integracijski člen I pa smo zmanjšali za polovico, in sicer na 0,05.



Slika 7 : Graf temperature v odvisnosti od časa pri zvišanju temperature prostora s 16 °C na 18 °C



Slika 8 : Graf temperature v odvisnosti od časa pri znižanju temperature prostora z 18 °C na 16 °C

Če primerjamo zgornja grafa, vidimo, da je razlika v spremembi integracijskega člena I očitna. Pri prvi meritvi je veliko več prenihajev kot pri drugi. Prvi prenihaj je sicer pri obeh enak (odstopanje za 1 °C), a se pozneje izkaže, da se sistem zaradi manjše vrednosti I hitreje odzove na spremembe, torej se hitreje izniha.

Na koncu pa smo določili še čas, po katerem se temperatura ustali. Zaradi nenatančnosti senzorjev je bilo priporočeno, da upoštevamo, ko se temperatura ustali do 90 % natančnosti, torej da temperatura niha med 17,8 °C in 18,2 °C pri prvi meritvi, pri drugi pa med 15,8 °C in 16,2 °C. Pri prvi meritvi smo odčitali, da se temperatura ustali po 748 sekundah, pri drugi pa se ustali po 336 sekundah. Opazimo, da se z zmanjšanjem člena I občutno skrajša tudi čas ustalitve. Vidimo, da je treba pri PID-regulaciji skrbno izbrati člene P in I. S tema členoma namreč močno vplivamo na nihanje temperature in čas njene ustalitve.

Tako lahko zaključimo, da je v praksi komora za testiranje grelnih elementov kar uporaben pripomoček. Kot je bilo že omenjeno, lahko z njo opravimo praktično vse relevantne meritve v kontroliranih pogojih, ki se pojavijo pri snovanju nekega sistema za ogrevanje, hlajenje in klimatizacijo. V prihodnosti upamo, da se bo komora še nadgrajevala in pomagala pri določenih izzivih, ki se pojavljajo v praksi.