

Dvostruki i višestruki paralelni toplinski krug

The Double and Multiple Parallel Thermal Circuit

Drago Francišković
Međimursko veleučilište u Čakovcu, Bana J. Jelačića 22A, 40000 Čakovec
e-mail: drago.franciskovic@mev.hr

Sažetak: *U radu se ukratko opisuje rad samostalnih toplinskih sustava od jednostavnoga do složenijega. Opisani su jednostavni, dvostruki i višestruki paralelni toplinski krugovi koji mogu biti dio složenijega toplinskoga sustava. Prikazan je jedan primjer sheme samostalnog toplinskoga sustava iz prakse. Objasnjava se pojam topline i specifičnoga toplinskoga kapaciteta vode.*

Ključne riječi: *prijenos toplinske energije, toplinski sustav, toplinski krug*

Abstract: *This paper briefly describes the work of independent heating systems from simple to more complex. Described are simple, double and multiple parallel heating circuits that can be part of a more complex heating system. An example of a real life standalone thermal system scheme is presented. Provided is an explanation of the concept of heat, specific heat capacity of water.*

Keywords: *transfer of heat energy, heating system, thermal system, heating circuit*

1. Uvod

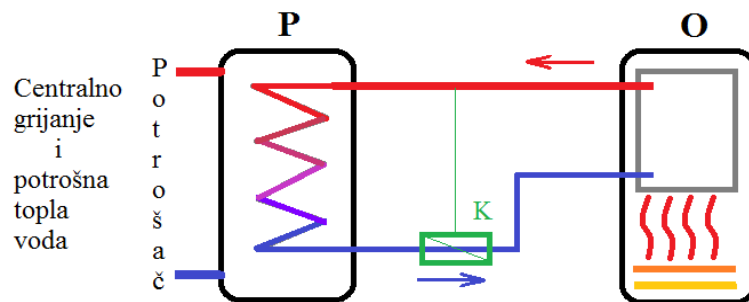
Promatra se samostalni toplinski sustav za vodeno¹ centralno grijanje u zgradi. *Samostalni toplinski sustav*, prema Zakonu o tržištu toplinske energije [1], toplinski je sustav preko kojega se jednoj zgradi/građevini koja se sastoji od više samostalnih uporabnih cjelina isporučuje toplinska energija. Samostalni toplinski sustav sastoji se od kotlovnice, mjerila toplinske energije i unutarnjih instalacija. Njime, od veljače 2014. godine, kada je na snagu

¹ Centralno grijanje može biti vodeno, zračno ili parno.

stupio spomenuti zakon, upravlja i održava ga poslovni subjekt kojega zakon naziva 'Kupac toplinske energije'.

2. Jednostavni toplinski krug

Stariji toplinski sustavi bili su jednostavni, u kotlovnici je bio uređaj za zagrijavanje (grijač, izvor/generator toplinske energije) i spremnik za toplu/vrelu vodu (primatelj toplinske energije) kao i popratna oprema. Iz spremnika se dalje izravno ili neizravno prenosila toplinska energija potrošačima. Grijanje vode u spremniku može biti neposredno ili posredno. Kod neposrednoga grijanja grijač i spremnik zajedno čine jedan uređaj (kotao, bojler) iz kojega se toplinska energija odašilje potrošačima. Kod posrednoga grijanja, toplinska energija generirana na grijaču prenosi se do akumulacijskoga spremnika posredstvom zatvorenoga sustava u kojem cirkulira zagrijani fluid koji nužno ne mora biti voda (npr. glikol ili freon). U slučaju posrednoga grijanja u samoj kotlovnici imamo jedan jednostavni toplinski krug (slika 1) koji s dovodnom i odvodnom vodom povezuje grijač (odašiljatelj, izvor energije grijanja²) i spremnik (primatelj energije grijanja). U oba slučaja jednim kalorimetrom može se mjeriti količina toplinske energije odašlana prema potrošačima, odnosno prema akumulacijskom spremniku. Slika 1 prikazuje pojednostavljenu³ shemu jednoga jednostavnoga toplinskoga kruga; **O** je odašiljatelj (generator energije grijanja), a **P** primatelj odaslane toplinske energije.



Slika 1 Shematski prikaz jednostavnoga toplinskoga kruga

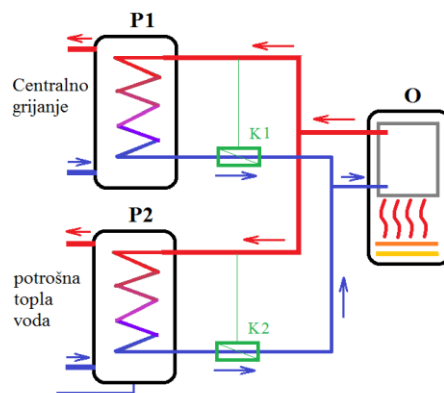
Zagrijana voda iz spremnika **P** koristi se i kao fluid za centralno grijanje i kao sanitarna potrošna topla voda (Potrošač).

² Za toplinsku energiju u radu, se koristi izraz 'energija grijanja' kada je riječ o grijanju, a izraz 'energija hlađenja' kada je riječ o hlađenju.

³ Sve sheme su bez dodatne opreme i popratnih uređaja koji osiguravaju siguran i željeni rad kotlovnice.

3. Dvostruki toplinski krug

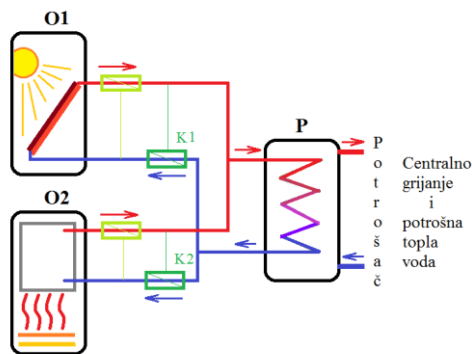
Pojavom niskotemperaturnoga zagrijavanja prostora, kao što je podno grijanje prostora u kojem se koristi temperatura fluida i ispod 30 °C (maksimalno do 38 °C), uvodi se dodatni pomoćni niskotemperaturni spremnik (međuspremnik) u kojem se priprema⁴ voda za niskotemperaturno centralno grijanje. Tako da može postojati jedan izvor (odašiljatelj) toplinske energije i dva njena primatelja. Slučaj kada oba primatelja dijele jedan ulaz i jedan izlaz odašiljatelja je primjer dvostrukoga paralelnoga toplinskoga kruga. Svaki od primatelja s odašiljateljem čini jedan toplinski krug, a oni su međusobno povezani preko odašiljatelja. Slika 2 prikazuje pojednostavljenu shemu dvostrukoga paralelnoga toplinskoga kruga s jednim odašiljateljem (izvorom) i dva primatelja toplinske energije.



Slika 2 Shematski prikaz dvostrukoga paralelnoga toplinskoga kruga s dva primatelja energije grijanja

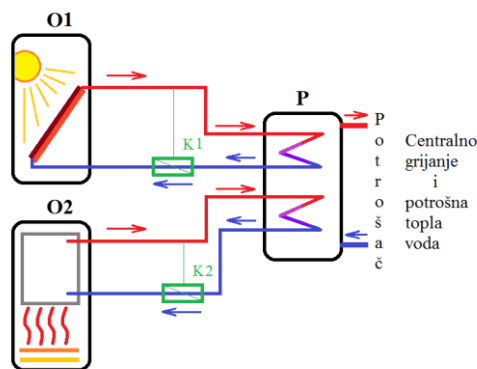
U novije kotlovnice uvode se i alternativni izvori energije iz neobnovljivih ali i iz obnovljivih izvora energije, tako da se koriste dodatni grijači na alternativna goriva, solarni kolektori i razni oblici toplinskih pumpi. Dakle, pojavljuje se slučaj s dva i više izvora (odašiljatelja) toplinske energije i jednim njenim primateljem. Slika 3 prikazuje pojednostavljenu shemu dvostrukoga paralelnoga toplinskoga kruga s dva odašiljatelja (izvora, generatora) i jednim primateljem toplinske energije.

⁴ Mora se osigurati zadovoljavajuća temperatura vode, u pravilu ispod 38 °C.



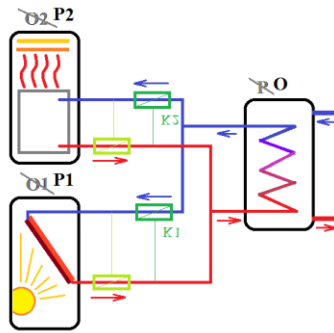
Slika 3 Shematski prikaz dvostrukoga paralelnoga toplinskoga kruga s dva odašiljatelja energije grijanja

Kada više odašiljatelja ne dijele vezu s primateljem to nije višestruki toplinski krug nego više jednostrukih toplinskih krugova sa zajedničkim primateljem. Slika 4 prikazuje pojednostavljenu shemu dva jednostruka toplinska kruga sa zajedničkim primateljem.



Slika 4 Shematski prikaz dva jednostrukoga toplinskoga kruga sa zajedničkim primateljem

Sheme na slikama 2. i 3. predstavljaju dvostruke paralelne toplinske krugove koji se opisuju istim matematičkim modelom koji je razmatran i obrađen u radovima [2] i [3]. Okrenemo li shemu na slici 3. gore-dolje, primatelja energije grijanja označimo kao odašiljatelja energije hlađenja, a odašiljatelja energije grijanja označimo kao primatelja energije hlađenja dobijemo shemu kao na slici 2. gdje je odašiljatelj izvor hladnoće kako je prikazano na slici 5.

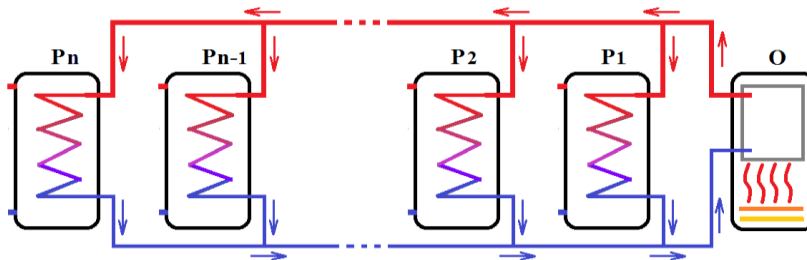


Slika 5 Dvostruki paralelni toplinski krug s jednim odašiljateljem energije hlađenja

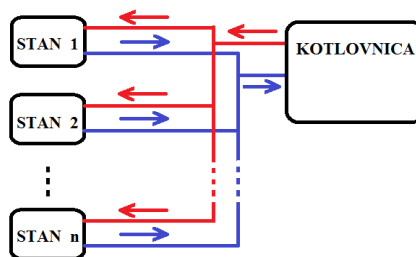
U tom slučaju umjesto grijanja imamo hlađenje i radi se o istom matematičkom modelu, a jedina je razlika u predznaku toplinske energije (vidjeti slike 2 i 5).

4. Višestruki paralelni toplinski krug

Toplinski krug u kojem više međusobno paralelno spojenih odašiljatelja/primatelja dijeli isti ulaz i isti izlaz iz zajedničkog primatelja/odašiljatelja je primjer višestrukoga paralelnoga toplinskoga kruga. Slika 6. prikazuje shemu n -terostrukoga paralelnoga toplinskoga kruga s n horizontalnih primatelja, a slika 7. prikazuje shemu n -terostrukoga paralelnoga toplinskoga kruga s n vertikalno uređenih primatelja.



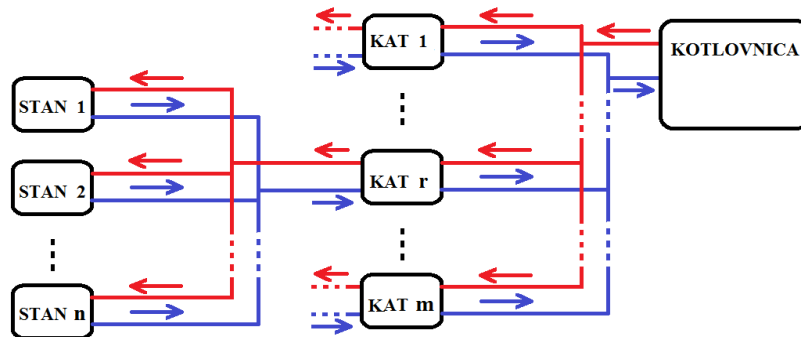
Slika 6 Shematski prikaz n -terostrukog paralelnoga toplinskoga kruga s n horizontalno uređenih primatelja



Slika 7 Shematski prikaz n -terostrukoga paralelnoga toplinskoga kruga s n vertikalno uređenih primatelja

5. Ulančani toplinski krugovi

Toplinski krugovi se mogu ulančavati tako da primatelj/odašiljatelj u jednom toplinskom krugu bude odašiljatelj/primatelj u drugom toplinskom krugu. Slika 8 pokazuje takav primjer.

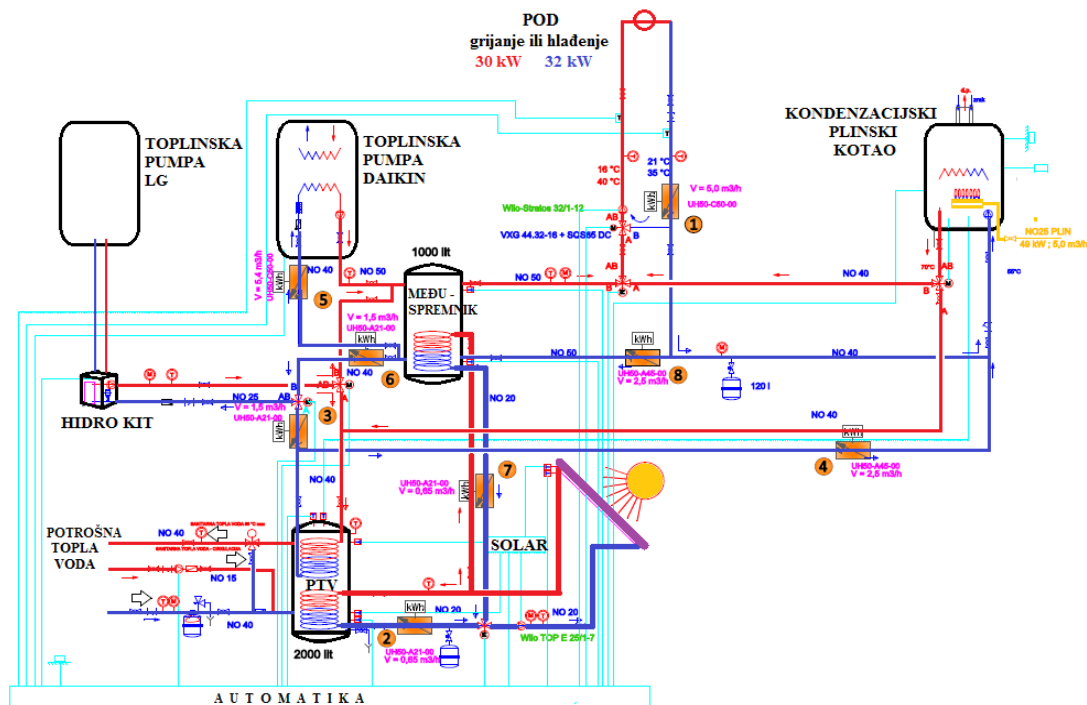


Slika 8 Shematski prikaz ulančanih višestrukih paralelnih toplinskih krugova u kojem primatelji u jednom postaju odašiljatelji u drugom toplinskom krugu

6. Primjer samostalnog toplinskog sustava

U novijim samostalnim toplinskim sustavima kotlovnice postaju strojarnice u kojima imamo više generatora toplinske energije i barem dva spremnika sa zagrijanom vodom, jednim s nižom akumuliranom toplinom za nisko- temperaturno grijanje i jednim s višom akumuliranom toplinom za sanitarnu, odnosno potrošnu toplu vodu. Takav sustav je složen i sastoji se od više međusobno isprepletenih jednostrukih i višestrukih toplinskih krugova. Ono što je primatelj u jednom krugu može biti odašiljatelj u drugom. Slika 9 shematski je prikaz projektiranoga samostalnoga toplinskoga sustava „3. šparne hiže“ u Koprivnici⁵. U sustavu su očito tri projektirana primatelja toplinske energije: spremnik PTV, međuspremnik za podno grijanje/hlađenje i sustav podnoga grijanja/hlađenja.

⁵ Slika 9 je, od strane autora, dorađena slika samostalnoga toplinskoga sustava iz projektne dokumentacije „3. šparne hiže“ u Koprivnici sagrađene 2014. godine.



Slika 9 Shema samostalnoga toplinskoga sustava „3. šparne hiže“ u Koprivnici

Na slici 9 se može uočiti nekoliko dvostrukih paralelnih toplinskih krugova. Npr. može se uočiti dvostruki paralelni toplinski krug sa spremnikom za PTV i međuspremnikom kao primateljima a solarnim kolektorom kao odašiljateljem toplinske energije. Sustav grijanja/hlađenja kao primateljem s međuspremnikom i plinskim grijačem kao odašiljateljima toplinske energije čini također dvostruki paralelni toplinski krug.

Može se uočiti da je međuspremnik za podno grijanje primatelj u dvostrukom toplinskom krugu u kojem je solarni kolektor odašiljatelj, dok je on, zajedno s plinskim grijačem, odašiljatelj u dvostrukom toplinskom krugu u kojem je sustav podnog grijanja/hlađenja jednini primatelj.

Zanimljivo je pitanje koliko toplinske energije treba odašiljatelj prenijeti na primatelja napunjen hladnom vodom, kako bi se jedan m^3 hladne vode u primatelju zagrijao na željenu temperaturu potrošne tople vode od $43^\circ C$ kako je to propisano u Općim uvjetima za isporuku toplinske energije [4].

7. Toplina

Toplina⁶ (količina topline) ili toplinska energija je energija koja prelazi s jednoga tijela na drugo zbog razlike u njihovim temperaturama⁷. U tom procesu određeno tijelo, koje je

⁶ Toplina je oblik energije, u prijelazu, s tijela više temperature na tijelo niže temperature.

predmet zanimanja, može se zagrijavati ili ohlađivati. U slučaju njegovoga zagrijavanja toplinsku energiju nazivamo energijom grijanja, a u slučaju ohlađivanja energijom hlađenja. Dakle, radi se o istoj energiji koja je za jedno tijelo energija grijanja a za drugo energija hlađenja, različitoga su predznaka i suma im je jednaka nuli. Tijelo koje prima toplinsku energiju nazivamo primatelj toplinske energije, a tijelo koje generira i odašilje toplinsku energiju nazivamo odašiljatelj (izvor, generator) toplinske energije. Jedinica mjere⁸ toplinske energije je J (džul), no u praksi se često koristi kWh (kilovat sat). Vrijedi odnos 1kWh=3600 kJ.

Koje je tijelo primatelj, a koje odašiljatelj, relativno je, ovisno o tome koje je tijelo predmet zanimanja i je li željeno njegovo zagrijavanje ili ohlađivanje.

Ne mora se nužno raditi samo o tijelima, pojava topline, odnosno prijelaz energije, se javlja između tijela i njegove okoline, između dva uređaja u toplinskom sustavu ili između dva dijela toplinskoga sustava. Taj prijelaz može biti izravni ili posredni.

Ako se nekom tijelu mase m povisi/smanji temperatura s t_1 na t_2 tada je ono primilo/izgubilo količinu topline Q koja je dana osnovnom jednadžbom kalorimetrije

$$Q = m c (t_2 - t_1) . \quad (1)$$

Parametar c je specifični toplinski kapacitet⁹ tvari od koje se tijelo sastoji (vidi [5] i [6]). Razlikuje se specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku c_P i pri konstantnom volumenu c_V . Za kruta tijela i tekućine oni su približno jednaki $c_P \cong c_V = c$, dok se kod plinova značajno razlikuju. Specifični toplinski kapacitet većinom se uzima kao konstanta, iako može ovisiti¹⁰ i o temperaturi tvari.

Voda ima vrlo velik specifični toplinski kapacitet, tj., u odnosu na ostale poznate tvari, može akumulirati mnogo toplinske energije a da joj se pri tome temperatura mnogo ne povisi, tako da je kao tekućina pogodna kao medij za transport toplinske energije. Problem kod vode je njeno smrzavanje pri 0°C. Specifični toplinski kapacitet vode od 0°C do 100°C se kreće¹¹ u rasponu od 4,178 do 4,217; on prvo pada s 4,217 na 4,178 (oko 35°C) te zatim raste do 4,216.

⁷ Temperatura je mjera zagrijanosti tijela. Temperatura je mjera kinetičke energije čestica tijela. Za tijela iste temperature se kaže da su u termičkoj ravnoteži.

⁸ Nauka koja se bavi mjerenjem količine topline naziva se *kalorimetrija*.

⁹ Količina topline potrebna da se tijelu mase 1kg povisi temperatura za 1°C. Specifični toplinski kapacitet pokazuje sposobnost 1 kg materije da spremi toplinsku energiju; veći specifični toplinski kapacitet veća količina toplinske energije koja se može pohraniti u materijalu.

$$Q = m \int_{t_1}^{t_2} c(t) dt$$

¹⁰ Tada je osnovna jednadžba kalorimetrije

¹¹ Specifični toplinski kapacitet leda pri 0°C je 1,960, a vodene pare pri 100°C je 2,080.

Uzmemo li da je za vodu $c = 4,184 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1} = 1,1622 \text{ kWh (1000kg)}^{-1}\text{K}^{-1}$ i da 1 kg vode ima konstantan volumen od jedne litre. Tada je za zagrijavanje 1m^3 (1000 litara) vode za jedan $^{\circ}\text{C}$ potrebno vodi dodati 4,184 kJ, odnosno 1,1622 kWh toplinske energije¹². U zimi, kada je temperatura hladne vode oko 8°C , jednom kubičnom metru hladne vode bi bilo potrebno dovesti skoro 42 kWh da se zagrije na 43°C što je preporučena temperatura potrošne tople vode. U ljeti, kada je temperatura hladne vode oko 23°C , jednom kubičnom metru hladne vode bi bilo potrebno dovesti skoro 24 kWh kako bi se zagrijala na željenih 43°C . Dakle, zimi bi nam, prema tome, trebalo oko 75 % više energije za zagrijavanje potrošne tople vode nego ljeti.

Mjerni uređaj kojim se mjeri količina topline, tj. toplina, naziva se kalorimetar.

8. Zaključak

Jednostruki i višestruki paralelni toplinske krugovi pojavljuju se samostalno ali i kao dio složenijega toplinskoga sustava. Matematički model koji opisuje dvostruki toplinski krug ne ovise od toga dali je odašiljatelj spojen s dva primatelja ili je primatelj spojen s dva odašiljatelja. Tako da se u oba slučaja može koristiti isti model. Pri tome je razlika samo u predznaku toplinske energije, grijanje postaje hlađenje i obrnuto. Jedini primatelj energije grijanja u jednom slučaju može se smatrati jedinim odašiljateljem energije hlađenja u drugom.

Zimi je potrebno otprilike oko 75 % više energije za dogrijavanje hladne vode kako bi se dobila potrošna topla voda zadovoljavajuće propisane temperature od oko 43°C .

Literatura

[1] Zakon o tržištu toplinske energije (NN 80/13, 14/14, 102/14, 95/15)

<https://www.zakon.hr/z/606/Zakon-o-tržištu-toplinske-energije>

[2] Francišković, D.: Uvjeti pod kojima je interpretacija očitavanja na kalorimetru netočna; *Zbornik radova, 5. Međunarodni kongres dani inženjerstva strojarstva, Vodice, 29-31. ožujka 2017.*, I (2017) 223-228,

https://bib.irb.hr/datoteka/898681.Uvjeti_pod_kojima_je_interpretacija_ocitanja_na_kalorimetrima_netocnapdf

Specifični toplinski kapacitet vode pri 17°C i 58°C je 4,184 .

¹² Ako se uzme da je $c = 4,1868 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, tada je potrebno dovesti 1,163kWh toplinske energije.

- [3] Francišković, D.: *Heat Energy Transfers Inside the Double Circular Flow Heating System*, WSEAS Transaction on Heat and Mass Transfer, Volumen 11 (2016) E-ISSN: 2224-3461, 107-114,
<http://www.wseas.org/multimedia/journals/heat/2016/a245812-168.pdf>
- [4] Opći uvjeti za isporuku toplinske energije (Narodne novine, br. 35/14, 129/15)
http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_03_35_629.html
- [5] Toplina i temperatura, Sveučilišni odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku,
http://www.fizika.unios.hr/of4/wp-content/uploads/sites/47/2016/04/01-Toplina_i_temperatura.pdf (15.01.2018.)
- [6] Incropera, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergman, T.L.: *Introduction to Heat Transfer*, Wiley, ISBN: 978-0471457275, London, 2006
- [7] Heat capacity of liquid water from 0 °C to 100 °C
http://www.vaxasoftware.com/doc_eduen/qui/caloresph2o.pdf (15.01.2018.)