

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **10** (1982/1983)

Številka 2

Strani 75-79, 82-83

Janez Strnad:

OBISK V LJUBLJANSKI TOPLARNI

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/10/10-2-Strnad.pdf>

© 1982 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



OBISK V LJUBLJANSKI TOPLARNI

Nekateri Ljubljančani so lahko veseli, da imajo pozimi tople domove, ne da bi jih vse leto skrbelo, kako bodo dobili premog ali olje za kurjavo. To je zasluga Toplarne v Mostah. Obiščimo jo in poskušajmo zvedeti kaj o prednostih toplarn.

Ob obisku v Termoelektrarni Šoštanj (Presek X/1) smo ugotovili, da mora toplotna elektrarna oddajati v okolico veliko toplote. Ta davek drugemu zakonu termodinamike moramo plačati, če hočemo s toplotnim strojem iz toplote, ki se sprosti pri sežigu goriv, dobiti nekaj dela. Ali ne bi mogli te toplote izkoristiti? Tako bi nekoliko omilili neprijetno potezo v karakteristiki toplotnega stroja.

Iz želje, da bi izkoristili toploto, ki jo toplotni stroj mora oddajati, so nastale *toplarne*. Toplarna oddaja poleg električnega dela še toploto za ogrevanje. V tej zvezi govorimo o *kombinirani toploti in delu* ali o *kombinirani proizvodnji* ("*toplotne in električne energije*") ali tudi o *daljinskem ogrevanju*.

Toplarna je torej nekakšen križanec med ogromnim kotlom za centralno kurjavo, ki oddaja samo toploto, in toplotno elektrarno, pri kateri izkoriščamo samo električno delo.

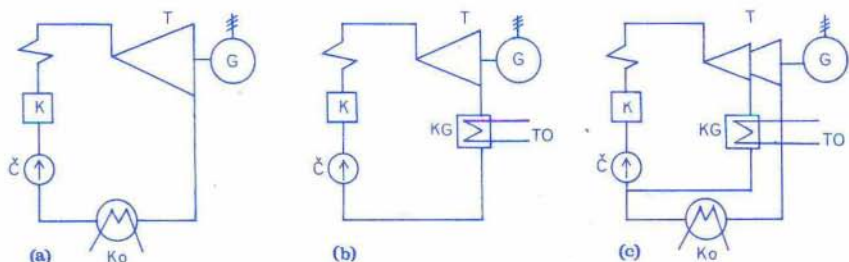
Zamiselnost je posrečena, a ni izvedljiva brez žrtev. V običajni toplotni elektrarni si prizadevajo, da bi z dano maso porabljenega goriva dobili čim več dela. Zato izberejo čim višjo temperaturo in čim višji tlak pare ob vstopu v turbino in čim nižjo temperaturo in čim nižji tlak pare ob izhodu iz turbine. Tako

odda para, ko se v turbini razširi, največ dela. V kondenzatorju, kamor odteče para iz turbine, je temperatura dokaj nizka, denimo okoli 30°C. S toploto, ki jo odda para, ko se utekočini pri tolikšni temperaturi, si ne moremo nič pomagati. Ker prehaja toplota sama od sebe le s telesa z višjo temperaturo na telo z nižjo temperaturo, mora imeti hladilna voda, ki teče skozi kondenzator, še nižjo temperaturo, denimo nekoliko nad 20°C. Tukaj smo pri jedru problema. Če želimo toploto, ki jo oddaja toplotni stroj, uporabiti za ogrevanje in voditi na večje razdalje, jo mora stroj oddati pri višji temperaturi kot običajno. Višja temperatura in s tem višji tlak pare ob izhodu iz turbine pomenita seveda manj dela. Odločiti se moramo glede na to, ali potrebujemo več dela ali več toplote za ogrevanje.

Kot zahteva prenos električnega dela na velike razdalje visoko napetost, zahteva izkoriščanje toplote in prenos na velike razdalje veliko temperaturno razliko. Višjo temperaturo in s tem višji tlak pare ob izhodu iz turbine lahko dosežemo v toplarni na dva načina. Pri *protitlačni turbini* ima vsa para ob izhodu iz turbi ne višjo temperaturo in višji tlak kot pri običajni turbini. Tako lahko toploto, ki jo odda para v *kondenzacijskem grelniku* pri višji temperaturi kot običajno, izkoristimo za ogrevanje. Pri *odjemni turbini* pa odvedemo iz srednjetačnega dela turbine nekaj pare pri srednji temperaturi.

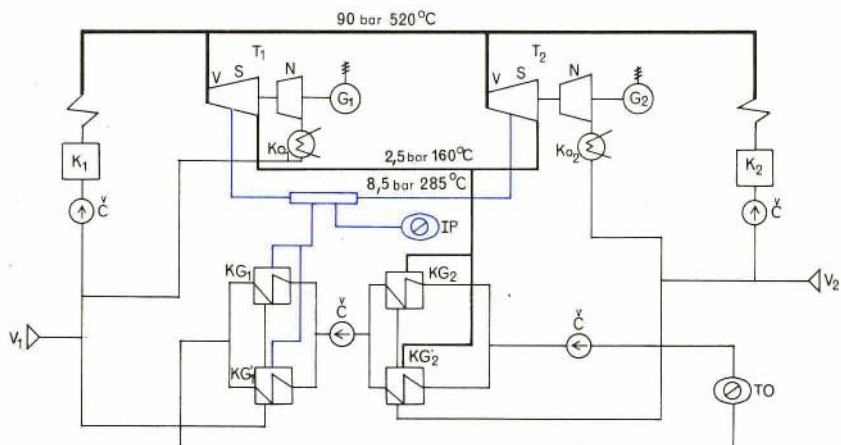
Ta del pare odda toploto v kondenzacijskem grelniku pri višji temperaturi kot običajno in to toploto izkoristimo za ogrevanje. Preostanek pare se v turbini do kraja razširi in odda v kondenzatorju pri nizki temperaturi toploto, ki gre v izgubo kot v običajni toplotni elektrarni (sl.1).

Prednost toplarne s protitlačno turbino je nižja cena ob gradnji. Njena slabost pa je v tem, da mora oddajati vso predvideno toploto za ogrevanje, če naj oddaja električno delo. Toplarna z odjemno turbino je ob gradnji sicer dražja zaradi dodatnih naprav, vendar lahko oddaja več ali manj toplote za ogrevanje, pač glede na potrebe. Toplarna odda seveda manj električnega dela, če odda več toplote za ogrevanje, ker mora tedaj odteči iz srednjetačnega dela turbine več pare s srednjo temperaturo.



Sl.1 Močno poenostavljene risbe običajne elektrarne s parno turbino (a) ter toplarne s protitlačno (b) in z odjemno turbino (c). K kotel, T turbina, G dinamo stroj, Č črpalka, Ko kondenzator, v katerem odda para pri nizki temperaturi in tlaku, ko se utekočini, toploto hladilni vodi z nizko temperaturo, KG kondenzatorski grelnik za vodo v toplovodnem omrežju T0.

Ljubljanska toplarna uporablja drugi način. V njej sta dve odjemni turbini, ki poganjata vsaka svoj dinamo stroj. Na vohu v turbino ima para pri tlaku 90 barov temperaturo 520°C . Vsak od obeh dinamo strojev je grajen za moč 32 MW (1 MW, megawatt, je milijon wattov), tako da dasta oba skupaj največ 64 MW. Iz srednjetačnega dela vsake od obeh turbin odvedejo nekaj pare in s to *industrijsko paro* oskrbujejo porabnike. Ti uporabljajo paro pri svojih tehničnih postopkih ali za gretje (na primer Velana, Julon, Klinični center). Obema turbinama skupaj lahko odvzamejo na sekundo deset kilogramov pare pri temperaturi 285°C in tlaku 8,5 bara. Pri nižji temperaturi 160°C in nižjem tlaku 2,5 bara odvedejo iz srednjetačnega dela vsake od obeh turbin paro v kondenzacijska grelnika, v katerih prevzame toploto voda iz toplovodnega omrežja. Voda iz toplovodnega omrežja vstopa vanju s temperaturo 70°C in se segreje za 60 stopinj. Vsi štiri grelniki skupaj lahko oddajo vodi za ogrevanje največ 116 MW toplotnega toka. Preostanek pare opravi delo še v nizkotlačnem delu turbine in se utekočini v kondenzatorju. Kondenzatorja hladijo z vodo iz Ljubljanice (sl. 2).



Sl. 2 Močno poenostavljena risba ljubljanske toplarne. K₁ in K₂ kotla, T₁ in T₂ turbini z visokotlačnim (V), srednjetačnim (S) in nizkotlačnim (N) delom, G₁ in G₂ dinamostroja, K₀₁ in K₀₂ kondenzatorja, v katerih odda para pri nizki temperaturi in nizkem tlaku, ko se utekočini, toploto hladilni vodi iz Ljubljane, KG₁, KG₁, KG₂, KG₂ kondenzatorski grelniki za vodo v toplovodnem omrežju TO, IP industrijska para, črpalka, V₁ in V₂ dovoda sveže, prečiščene vode.

Opisani del toplarne so zgradili leta 1967, načrtujejo pa podvojitev zmogljivosti, tako da bodo dodali še tretjo odjemno turbino z generatorjem za 50 MW. Kot del tega načrta so že dogradili vršno (konično) kotlarno, ki priskoči na pomoč v konicah pozimi, ko je potreba po toploti največja, ali ob okvarah. V njej v posebnem vrelovodnem kotlu segrevajo vodo, s katero napajajo toplovodno omrežje, in iz dveh kotlov dobivajo industrijsko paro. Toplarna uporablja premog iz raznih slovenskih in jugoslovanskih rudnikov. Vršna kotlarna pa deluje na težko kurilno olje (mazut). Delovanja toplarne ne kaže opisovati podrobneje, saj je, kar zadeva kotel, turbino, kondenzator in dinamostroj, podobno delova-

nju običajne toplotne elektrarne. Najbolje pokaže posebnosti delovanja ljubljanske toplarne preglednica za zimski, prehodni in poletni mesec. Prvi stolpec navaja toploto, ki so jo mesečno dobili s sežigom premoga, drugi-delež te toplote, ki sta jo dinamostroja oddala kot električno delo, in tretji-delež te toplote, ki jo je toplarna oddala za ogrevanje. Podatek je še razčlenjen na toploto vode toplovodnega omrežja (zgoraj) in toploto industrijske pare (spodaj). Četrti stolpec kaže razmerje med oddano toploto za ogrevanje in oddanim delom. Peti stolpec vsebuje izkoristek toplarne, ki ga vpeljemo kot kvocient: v števcu je vsota električnega dela in izkoriščene toplote, v imenovalcu pa dovedena toplota. Izkoristek toplarne je kar vsota postavk iz drugega in tretjega stolpca.

Ljubljanska toplarna v treh značilnih mesecih

	dovedena toplota	od tega: električno delo	izkorišč. toplota	razmerje toplota: delo	izkoristek toplarn.
januar 1982	197 tisoč MWh	18 %	51 %	42 % 9	2,8 69 %
april 1982	159	21	39	31 8	1,9 60
julij 1981	119	25	20	14 6	0,8 45

(1 MWh - megawattura - je 3,6 milijarde joulov ali 3,6 gigajoulov.)

V januarju so pokurili 77 500 ton premoga s povprečno sežigno toploto 9,15 MJ/kg, v drugih mesecih pa ustrezno manj: aprila 63 500 ton, lanskega julija 47 200 ton.

Resnici na ljubo povejmo, da se tudi šoštanjaska elektrarna nekoliko zgleduje po toplarni. Majhen delež pare odvajajo iz srednjetlačnega dela njene najzmogljivejše turbine in z njo segrevajo vodo, ki jo uporabljajo za ogrevanje Titovega Velenja. Vendar je v tem primeru razmerje med toploto za ogrevanje in oddanim električnim delom tako majhno, da se zadnjič te zanimivosti ni zdelo vredno omeniti. V letu 1981 je elektrarna oddala desetkrat več dela kot toplote za ogrevanje in še celo v januarju 1981 je bilo to razmerje 7,8 : 1.

čim večji je delež toplote, tem bolj se izkoristek toplarne približuje izkoristku kotla, denimo 80 %. Čim večji je delež električnega dela, tem bolj se izkoristek toplarne približuje izkoristku toplotnega stroja, denimo 30 %. V prvi skrajnosti gre v izgubo okoli 20 % toplote, v glavnem skozi dimnik, v drugi pa se temu pridruži še toplota, ki jo mora toplotni stroj oddati okolici pri nizki temperaturi, se pravi hladilni vodi iz Ljubljane. Navedli smo delo, ki ga odda dinamostroj, ne da bi odšteli delo, ki ga v toplarni sami porabijo črpalke za vodo in paro in drugo. Prav tako smo navedli toploto, ki jo odda toplarna toplovodnemu omrežju in jo odnese industrijska para, ne da bi odšteli izgube pri prenosu toplote do porabnika.

Prednost toplarne je na dlani, če se malo poigramo z zaokroženimi podatki za januar. Toplarna je prejela 200 tisoč MWh toplote ter je oddala 36 tisoč MWh električnega dela in 102 tisoč MWh toplote za ogrevanje in za industrijsko paro. Da bi dobili 36 tisoč MWh električnega dela od običajne toplotne elektrarne, ki ima izkoristek 30 %, bi ji morali dovesti 120 tisoč MWh toplote. Da bi dobili 102 tisoč MWh toplote za ogrevanje od kotla za centralno kurjavo, ki ima izkoristek 80 %, bi morali dovesti 128 tisoč MWh toplote. V celoti bi tedaj porabili skoraj 250 tisoč MWh toplote, torej skoraj 50 tisoč MWh več kot pri toplarni.

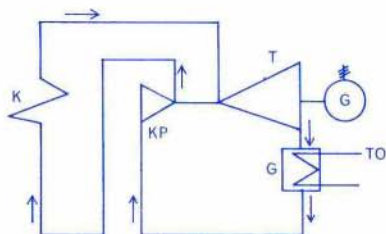
Toda celo, če bi toplarna delala le kot orjaški kotel za centralno ogrevanje in ne bi oddajala nič dela, bi imela prednost. Večja naprava ima boljši izkoristek kot množica majhnih peči v stanovanjih; njihov izkoristek pogosto ne presega 75 % in pade lahko celo na 50 %. Poleg tega - in to je za Ljubljano pomembno - onesnaži ozračje en sam zelo visok dimnik z električnimi filtri mnogo manj kot množica navadnih dimnikov. Ta premislek pokaže, da imajo toplarne več prednosti in da se jih splača graditi, čeprav niti toplarne niti toplovodna omrežja niso poceni.

Tega se zavedajo po svetu. Kaže, da uvajajo toplovodna omrežja in toplarne tem hitreje, čim močneje naraščajo potrebe po toploti za ogrevanje v strnjenih naseljih in po električnem delu in čim bolj primanjkuje goriva. Pogosto najprej postopno polo-

Žijo toplovodno omrežje in ga spočetka napajajo s kotli. Šele pozneje postavijo toplarne, ki oddajajo tudi električno delo. Na Danskem krijejo četrtno potreb po toploti za ogrevanje s toplovodnim omrežjem, od tega napajajo tretjino s toplarnami. Na Švedskem krijejo petino potreb po toploti za ogrevanje s toplovodnim omrežjem, od tega napajajo dve tretjini s toplarnami. V Zahodni Nemčiji krijejo s toplovodnim omrežjem 7 % potreb po toploti za ogrevanje, od tega napajajo dve tretjini s toplarnami. Nekoliko počasneje se uveljavljajo toplovodna omrežja in toplarne v Franciji, Angliji, na Finskem. A povsod to vrsto gradenj spodbujajo.

V prihodnosti bodo, tako kaže, zamenjali parne turbine s helijevimi turbinami. Pri teh bodo dovajali plinu toploto pri višji temperaturi, kot jo danes dovajajo vodni pari. Zato bodo lahko pri boljšem izkoristku toplotnega stroja od današnjega pri dovolj visoki temperaturi odvajali toploto, ki bo neposredno uporabna za ogrevanje in prenos na večje razdalje (sl.4). V času plinskih turbin bodo prišle toplarne do prave veljave.

Sl. 3 Močno poenostavljena risba toplarne s plinsko turbino, kakršne bodo gradili v prihodnosti. Plin pri visokem tlaku se segreje nad kuriščem K in vstopi v plinsko turbino T, kjer se razširi in opravi delo. Dokončno se ohladi, ko odda v grelniku G toploto toplovodnemu omrežju TO z vodo ali vodno paro. Ohlajeni plin pri nizkem tlaku stisne kompresor KP, ki je na isti osi s turbino in dinamoestrojem G; plin pri visokem tlaku se naposled znova segreje.



Za prijazno pomoč in nasvete se zahvaljujem Janezu Ruparju iz Toplarne Ljubljana.

Janez Strnad