

# Primena vodene pare

*Tekst je pripremljen na osnovu izlaganja i diskusije na Simpozijumu o budućnosti primene vodene pare, održanom na Aston univerzitetu, u Engleskoj, prošle godine, u organizaciji Midland instituta za energiju. U pripremi teksta je korišćena i najnovija tehnička dokumentacija firme "Spirax Sarco".*

## Uvod

Korišćenje pare je dobro poznato u inženjerskoj praksi. Do 1800. godine, u Velikoj Britaniji je bilo u pogonu oko 2000 parnih mašina, koje su se pretežno koristile za prepumpavanje vode. Stvari su se od tada bitno promenile. Najveći napredak je postignut 1813. godine, izgradnjom parne lokomotive. Parna mašina, koja se koristila za ispušavanje vode iz rudnika, postala je sastavni deo vodenica. Pronalazak i primena turbine i kondenzatora, dali su novu dimenziju parnim mašinama. O svim ovim razvojnim dostignućima postoje adekvatni istorijski zapisi.

Ono što nije dokumentovano na odgovarajući način, je razvoj primene vodene pare kao nosioca toplote. Izlaz iz parne mašine trebalo je cevovodom odvesti na sigurno mesto. Primećeno je da cevi mogu korisno poslužiti za sušenje odeće rudara. Takođe, parne cevi su korisno poslužile za grejanje radnika u fabricama za preradu pamuka. Parom je mogao da se pere i suši materijal u procesu proizvodnje. Prednosti korišćenja pare za grejanje bile su očite i tada, a trebalo bi da su vidljive i danas.

U zaključku uvodnog izlaganja, konstatovano je da je vodena para najbolji, najfleksibilniji i najprilagodljiviji radni fluid u industriji, čak i kada je ne koristimo na najbolji način.

## Prednosti primene vodene pare

Vodena para se koristi za proizvodnju električne energije i obavljanje mehaničkog rada, ali najčešće kao radni fluid za prenošenje toplote. Ona je savršeni nosilac toplote. U poređenju sa tečnostima, kao radnim fluidima, para omogućuje prenos velike količine toplote kroz cevi relativno malog prečnika. Za strujanje pare nije potreban napor pumpi. U sistemu razvoda pare, isključenje pojedinih potrošača ne zahteva naknadno uregulisanje mreže, niti se pojavljuju problemi sa "mrtvim" zonama strujanja. Regulisanje je relativno jednostavno.

Vodena para ima odlične karakteristike prenošenja toplote. Cevna zmija kroz koju struji para može imati upola manju površinu za isti efekat grejanja, nego u slučaju kada je radni fluid topla voda. Direktna zavisnost između pritiska i temperature zasićenja pare omogućava da regulisanjem pritiska možemo da održavamo željenu uniformnu temperaturu u prostoriji. Para je nezamenljiva za ravnomerno zagrevanje uređaja, kao što su sušači, sudovi sa dvostrukim omotačem (plaštom) itd. Karakteristike pare su izuzetne za dugačke cevne zmije i snopove cevi.

Grejanje parom je čistije, sigurnije i tiše od mnogih alternativnih rešenja, posebno u slučajevima kada se gorivo mora dovoziti i koristiti na mestu gde je potrebna toplota. Osim u svrhu grejanja, para se može koristiti za kuvanje, sterilizaciju, u procesu proizvodnje gume i betona i druge tehnološke procese. Para se primenjuje za vlaženje vazduha i prigušenje vatre. Još uvek se koristi i za obavljanje rada. Može da pokreće turbine, turbine povezane sa generatorima električne energije, koristi se u ejetorima itd.

## Proizvodnja pare

Vodena para se obično proizvodi sagorevanjem fosilnih goriva u parnim kotlovima. U procesu proizvodnje električne energije, koriste se velika centralizovana kotlovska postrojenja. Praksa je pokazala da je bolje skoncentrisati proizvodnju pare na jednom mestu, a zatim je parovodom razvoditi do krajnjih potrošača. Postoji više razloga za pristup centralizovanoj pripremi pare:

1. Centralizovana postrojenja su po pravilu velika postrojenja, a velika postrojenja su generalno efikasnija od više manjih postrojenja. Može se izdvojiti više sredstava za regulisanje rada velikog postrojenja, nego što je to moguće u slučaju više manjih objekata. Ekonomičniji i regulisanje viška vazduha (prisustvo dovoljne količine kiseonika za proces sagorevanja) obično se primenjuju samo u većim kotlovskim postrojenjima.



- Centralizovana postrojenja omogućavaju alternativnu primenu više vrsta goriva. Kotlovi u termoelektranama mogu da se lože i ugljem i tečnim gorivima. U industrijskim kotlovima može da se sagoreva tečno ili gasovito gorivo, ugalj ili otpad. Osim gasovitih goriva, sva ostala se mogu uskladištiti u neposrednoj blizini kotlarnice. Time se obezbeđuje siguran i kontinualan pogon, a nabavka goriva može se izvršiti u vansezoni po povoljnijim cenama. Dislocirane, manje kotlovske jedinice ograničene su na korišćenje samo jednog goriva, obično gasa po važećoj tarifi.
- U centralizovanim postrojenjima, jednostavniji su pogon i održavanje. Hemijska priprema napojne vode i odmuljivanje kotla su pod stalnim stručnim nadzorom. I korišćenje otpadne toplote je rentabilnije u velikim postrojenjima.
- Centralizovana postrojenja su, generalno, specifično jeftinija. Jedan veliki kotao košta manje nego četiri odvojene jedinice, od koje svaka ima 25% kapaciteta. Problemi zašute životne sredine (buka, emisija produkata sagorevanja) se minimiziraju kada je postrojenje pouzdanije i bezbednije u radu.
- Parni kotlovi mogu da zadovolje vršno opterećenje i iznad njihovog nominalnog kapaciteta, posebno kada postoje rezervoari pare.
- Centralizovano postrojenje može se uklopiti u rad sa kotlovima, koji kao gorivo koriste otpad, a da pritom predstavljaju siguran izvor snabdevanja parom mašina i tehnološkog procesa.

## Korišćenje vodene pare

Objektivno, o vodenoj pari nema ničeg novog da se doda. Njene osobine poznate su više od stotinu godina. Svaka generacija dodaje samo jedno decimalno mesto karakteristikama vodene pare. U ovom tekstu su svesno izbegnuta ta decimalna mesta, ali su razmatrani i podvučeni neki od zahteva za efikasnim korišćenjem vodene pare. Četiri osnovna zahteva su:

- snabdevanje vodenom parom mora biti u svakom pogledu adekvatno;
- moraju se izbeći problemi pri razvodu pare;
- odvođenjem kondenzata i odzračivanjem mreže omogućiti optimalne radne karakteristike parnog postrojenja;
- kondenzat i naknadno isparela para moraju biti efikasno iskorišćeni.

## Snabdevanje parom

Efikasno snabdevanje vodenom parom podrazumeva da prema potrebama potrošača mora biti na raspolaganju para predviđenog pritiska, potrebne količine i odgovarajućih radnih karakteristika. Mada sâm generator pare nije bio predmet ovog simpozijuma, treba istaći da parni kotao značajno utiče na ostvarivanje prethodno navedenih zahteva. Korisnik treba da ima u vidu sve ove faktore, koji utiču na pravilno snabdevanje parom.

Parni kotlovi se često izrađuju sa osnovnim ciljem da dostignu određeni kapacitet (produkciju pare), stavljajući u drugi plan stepen suvoće pare (kvalitet pare). Suvozasićena para "napušta" vodenu površinu u obliku mehurića. Ukoliko je količina oslobođene (proizvedene) pare po jedinici vodene površine previše velika, i čestice neisparene vode biće povučene sa površine vode u struji pare. Mnoge savremene konstrukcije parnih kotlova imaju nedovoljnu vodenu površinu za oslobađanje pare i nedovoljan prostor iznad te površine za potpunu separaciju pare, tako da se u struji pare nalaze i čestice vode. Rezultat ovakvog konstrukcionog pristupa je da se potrošač snabdeva vlažnom parom.

Loša eksploatacija postrojenja predstavlja još jedan dodatak navedenom problemu. Nizak pritisak povećava rizik za pojavu vlažne pare. Parni kotlovi često rade na pritisku nižem od njihovog nominalnog (projektnog) pritiska. Ako je parni kotao projektovan da radi na 10 bara, a u eksploataciji radi na 7 bara, onda se veličina parnih mehurića povećava za oko 36%. Početno formirani veliki mehurići povećavaju mogućnosti povlačenja kapljica neisparene vode sa sobom.

Razne nečistoće i primese u kotlovske vode u obliku rastvorenih čvrstih čestica, mogu takođe povećati povlačenje kapljica vode. Odmuljivanje kotla se predviđa u cilju održavanja primesa u kotlovske vode na prihvatljivom nivou. Nažalost, mnogi tzv. sistemi za povratno korišćenje toplote recirkulišu i zagadivače, što može uticati na kvalitet (stepen suvoće) pare.

Nagla povećanja kapaciteta (potrošnje pare) mogu da prouzrokuju pad pritiska i povlačenje kapljica tečnosti. Ova pojava je izražena pri čestim zaustavljanjima i ponovnim pokretanjima parnog kotla, diktiranim sistemom za upravljanje energijom.

Odgovarajuća veličina kotla, eksploatacija u projektnim ili njima odgovarajućim uslovima, uz lagano otvaranje ventila, može znatno da smanji sadržaj čestica neisparene vode u pari. Pravilno postavljani separatori pare mogu da obezbede izdvajanje kapljica vode iz struje pare, čime se postiže potreban stepen suvoće pare na izlazu iz kotla.

## Razvod pare

Sistemom razvoda pare (parovodom) potrebno je do svakog potrošača dovesti potrebnu količinu pare odgovarajućeg stepena suvoće i pritiska. To je potrebno izvesti uz minimalne toplotne gubitke i minimum angažovanja.

Potreban pritisak pare za korisnika je niži od pritiska na kome se para proizvodi, pa je izbor pritiska u parovodu stvar ozbiljnih razmatranja. Niži pritisak pare znači i njenu nižu temperaturu, a time i manje toplotne gubitke parovoda. Viši pritisak pare omogućava korišćenje cevi manjeg prečnika, što smanjuje površinu sa koje se toplota predaje okolini i smanjuje investicione troškove. Za novoprojektovane parovode trebalo bi se držati principa višeg pritiska u razvodu i smanjenja pritiska kod potrošača.

Tehnika projektovanja i izvođenja parovoda je dobro poznata, pa nema potrebe ponavljati poznate činjenice. Pravilnim dimenzionisanjem parovoda, izbegava se nedovoljan protok pare kod potrošača, odnosno preveliki gubici. Pravilnim vođenjem trase parovoda i odgovarajućom drenažom, izbegavaju se skupljanje kondenzata u mreži i sve posledice i štete koje nastaju usled prisustva kondenzata. Pravilna izolacija parovoda smanjuje toplotne gubitke. Pritome treba imati na umu da ti "gubici" toplote unutar zgrade doprinose njenom zagrevanju i zadovoljenju ukupnih potreba zgrade za grejanjem. U slučaju parovoda između objekata, mora se voditi računa da toplotni gubici budu minimalni. Dobro izveden parovod ima, po pravilu, duži vek trajanja od kotlovske postrojenja i procesne opreme kojoj se dovodi para.

## Odvajanje kondenzata i odzračivanje mreže

Održavanje parovoda u ispravnom stanju podrazumeva odvođenje vazduha, nekonduktivnih gasova i kondenzata iz mreže.

Termostatički odvajač kondenzata veoma dobro zaustavlja (zadržava, blokira) paru, ali istovremeno zaustavlja i kondenzat dok mu se ne snizi temperatura. To dovodi do delimičnog potapanja (plavljenja) mreže. Ovo se može prihvatiti za predimenzionisane cevne zmije za grejanje i parovode dovoljnog kapaciteta. U drugim slučajevima, to znači smanjenje kapa-

citeta postrojenja, izraženiji problem korozije i nepotpunu drenažu proizvoda.

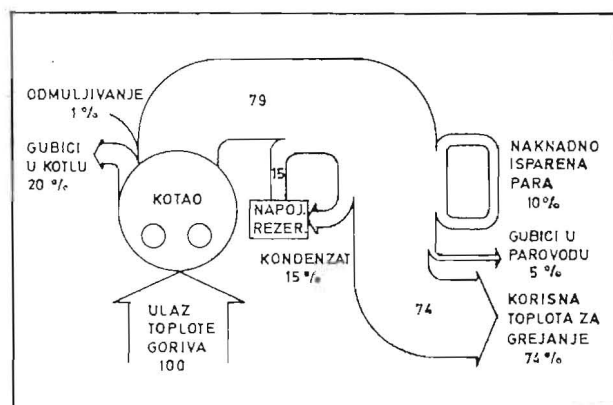
Mehanički odvajač kondenzata (kondenzni lonac, paroustavljač), ispušta kondenzat čim se formira, mada kod nekih tipova odvajača dejstvo nije momentalno.

Termodinamički odvajač kondenzata se otvara zavisno od gubitaka toplote sa poklopcu, tako da je odvođenje kondenzata (drenaža) diskontinuirano. U najvećem broju slučajeva to izdvajanje je dovoljno često da bi se izbegli (smanjili) problemi sa korozijom. Zatvaraju se dok još uvek ima kondenzata uzvodno, tako da ne prazne mrežu toliko dobro kao mehanički odvajač kondenzata protočnog tipa.

Pri izboru odvajača kondenzata, treba voditi računa i o načinu odvođenja vazduha, mogućnosti hidrauličkog udara, pojave nečistoće, dilatacije materijala, veličini i ceni. Među ostale zahteve spada mogućnost lakog otkrivanja kvara i tu termodinamički odvajač kondenzata ima nesumnjivu prednost.

Povremena kontrola rada odvajača kondenzata je važan deo u pravilnom održavanju parnih instalacija. Najbolje rešenje je kada postoji kontrolno okce nizvodno od odvajača kondenzata, tako da se može pratiti oticanje kondenzata. Kontrolno okce pruža jedinstvenu priliku da se posmatra količina izdvojenog kondenzata u toku rada.

Ipak, neka zapažanja je teško interpretirati, pa je u tom slučaju potrebno ugraditi sistem "Spiratec", sa senzorima na delu uzvodno od odvajača kondenzata. Ukoliko se odvajač kondenzata pokvari, mnogo veća količina pare prolazi kroz njega i indikator daje crveno svetlo. Informacije o kontinualnom radu svih odvajača mogu se pratiti preko centralno-upravljačkog sistema.



Slika 1. Senkijev dijagram za ispravnu eksploataciju sistema parnog grejanja

Odvođenje vazduha iz parnih mreža se obično obavlja preko paroustavljača. Termostatski odvajači kondenzata su otvoreni pri pokretanju postrojenja i generalno se smatra da imaju dobru mogućnost ispuštanja vazduha. Problem se može javiti ako odvajači kondenzata ispuštaju kondenzat u kondenzne vodove velike dužine, pa vazduh mora da pređe dug put kroz mokru kondenzacionu mrežu. U tom slučaju, održavanje mreže preko odvajača kondenzata je ograničeno i potrebno je predvideti na pogodnom mestu poseban otvor za ispuštanje vazduha. Ovo je od posebne važnosti za velike, razgranate i složene parne instalacije, kao i za parna postrojenja, kod kojih se predviđa često isključivanje i ponovno pokretanje sistema.

## Kondenzat i naknadno isparavanje

Elikasnost (stepen korisnosti) parnog postrojenja veoma mnogo zavisi od pravilnog razvoda pare, korišćenja kondenzata i

naknadno isparene pare. Iskustvo pokazuje da se korišćenjem pare do kondenzacije, prosečno iskorišćuje oko 75% toplote sadržane u živoj pari, dok preostali deo toplote ostaje u kondenzatu. Deo te toplote (ukupno oko 10%) može se iskoristiti naknadnim isparavanjem kondenzata na nižem pritisku, tako da u kondenzatu preostaje oko 15% ukupne količine toplote koju je sadržavala para. Tačan procentualni odnos zavisi od početnog pritiska pare i pritiska na kome dolazi do naknadnog isparavanja. U tabeli 1. prikazan je ukupan stepen korisnosti parnih postrojenja za različite pritiske i različito korišćenje kondenzata i naknadno isparene pare (otparka).

Kondenzat je topla, hemijski pripremljena voda i predstavlja idealno rešenje za napajanje kotla. Povratnim korišćenjem kondenzata stede se energija, voda, troškovi pripreme vode i smanjuje se potreba za odmuljivanjem kotla. U manjim postrojenjima kondenzat se jednostavno vodi kondenzacionom mrežom, od izlaza odvajača kondenzata do napojnog rezervoara. Uvođenjem kondenzata u napojni rezervoar ispod nivoa tečnosti u njemu, mogu se izbeći problemi sa naknadnim isparavanjem pare, ukoliko je hlađenje dovoljno da se spreči pregrevanje kondenzata.

Tabela 1. Stepem iskorišćenja parnih sistema u zavisnosti od tretiranja kondenzata

Natpritisak pare [bar]	Bacanje kondenzata*, nekorišćenje otparka	Povraćaj kondenzata, nekorišćenje otparka	Povraćaj kondenzata, korišćenje otparka**
10	72.5	86.5	100
7	75	89.1	100
3.5	78.3	92.4	100
0	85.6	100	100

\*Kondenzat je na temperaturi od 10°C.

\*\*Otpark se koristi na atmosferskom pritisku.

Navedeno rešenje neizbežno zahteva podizanje rezervoara kondenzata, što ima za posledicu povratno dejstvo pritiska na odvajač kondenzata. To može biti prihvatljivo ako je parno postrojenje dimenzionisano za odgovarajući pritisak. Ipak, ovo rešenje produžava period uzgrevanja, povećava se mogućnost hidrauličkog udara i drugih problema pri pokretanju. Iz tih razloga, kondenzat se obično odvodi gravitacijom do lokalnog sabirnog rezervoara, odakle se precumpava u napojni kotlovski rezervoar. Ovim se poboljšava eksploatacija postrojenja i smanjuju troškovi održavanja. Izloženo rešenje, takođe, omogućava da se gubici usled naknadnog isparavanja kondenzata eliminišu, korišćenjem otparka ili direktno, ili u nekom uređaju za povratno korišćenje toplote, ako za to postoji ekonomsko opravdanje. Rezervoar kondenzata, odnosno uređaji za rekuperaciju toplote moraju biti projektovni za visoku temperaturu kondenzata. Naknadno isparena para (otpark) vodi se odgovarajućim parovodom niskog pritiska do potrošača, gde se posle kondenzacije, ispušta preko odvajača kondenzata niskog pritiska i kondenzacionim vodom vraća u sabirni rezervoar.

Važno je napomenuti da je izlaz pare niskog pritiska u vezi sa kondenzatom višeg pritiska. Iz ovoga proističe široka primena kondenzatora naknadno isparene pare i pothlađivača kondenzata. Obično se kondenzat iz parom grejanog kalorifera uvodi u dodatni razmenjivač toplote, u kome se kondenzuje otpark i koristi deo toplote kondenzata. U razmenjivaču toplote se predgreva voda koja se vraća u kalorifer i time smanjuje toplotno opterećenje vazduha na kalorifer. Postoji još jednostavnije rešenje kalorifera za korišćenje toplote kondenzata. Kondenzat visokog pritiska iza odvajača kondenzata se cevnom mrežom direktno vodi u dodatnu cevnu zmiju u kaloriferu, koja ima funkciju predgrevanja vazduha.

## Zaključak

Zaista nema ničeg novog (ili ima vrlo malo) u vezi sa vodenom parom. Sistemi sa vodenom parom oslanjaju se na dobru inženjersku praksu i dobro poznatu i ispitanu opremu. Na Senkijevom dijagramu (sl. 1) može se videti šta je zaista moguće postići korišćenjem vodene pare kao radnog fluida. To je u oštroj suprotnosti sa mišljenjem zagovornika zamene parnih kotlova vodenim.

Pre više od 100 godina, ser John Timbs je napisao: "Dobro je poznato da je snaga vodene pare otvorila eru progressa u svetu

i predodređena je da nastavi vodeći ulogu u razvoju." Vodena para može se proizvesti i nuklearnom energijom i sagorevanjem raznih materijala, počev od konvencionalnih fosilnih goriva, do različitih vrsta otpada. Koristi se i za grejanje i za proizvodnju električne energije i tu ulogu će zadržati i u budućnosti.

(Za štampu priredio  
mr B. Živković, dipl. inž.)

**kg**



ZASTUPNIK U JUGOSLAVIJI



Dubrovačka 2/I

11081 BEOGRAD

# WIRSBO



**BAKOS BT.**

**TERMOTEHNIKA**

Samostalni biro za projektovanje, konsalting  
i inženjering

21000 NOVI SAD, Šumadijska 3. Tel. 021/28-963