

DK 620.92

Razvoj in nadaljnji možni dosežki pri preobrazbi energije v termoelektrarnah

ALOJZ PRAUNSEIS

Vzporedno s hitrim razvojem tehničnih ved in širjenjem industrializacije se razvijajo in izpopolnjujejo tudi sodobni postopki za preobražanje energij.

Kalorične elektrarne so dobile tekmeča v jedrskih elektrarnah, ki se dandanes že uveljavljajo predvsem v deželah brez zadostnih količin fosilnih goriv.

Pri tem je za sedanjí čas značilno, da gradijo čedalje večje enote, kar je po eni strani pogojeno s tem, da potrošnja toplotne in električne energije stalno narašča, hkrati pa so s takimi napravami dosegljivi zelo dobri izkoristki, kar je postalo za racionalno izkoriščanje primarnih nosilcev energije neogibno potrebno.

Prednost kaloričnih elektrarn je v relativno majhnih investicijskih stroških na instalirani kW, medtem ko so stroški za gorivo veliki. Pri jedrskih elektrarnah je narobe: investicija je draga, stroški za gorivo so majhni.

Problem konkurenčnosti kaloričnih elektrarn je torej v ekonomičnem transportu in racionalnem izkoriščanju goriv od najdišča do porabe.

V nadaljnjih izvajanjih želimo prikazati, do katere mere je to možno in koliko je bilo glede tega že doseženega.

1. Energetska situacija zdaj in v prihodnje

Karakteristično za današnje čase je izredno hitro naraščanje porabe energije tako v tehnično razvitih državah kakor tudi v deželah v razvoju. Podatki o daljnjem naraščanju teh potreb do l. 2000 so na vpogled v letnih referatih raznih kongresov o energetiki.

Težišča za porabo energije so ZDA, Evropa in Sovjetska zveza, ki porabljajo večji del razpoložljivih energetskih virov na svetu. Izreden je predvsem porast porabe električne energije, o katerem računajo, da znaša v industrijskih deželah letno 6 do 8 odstotkov.

Za tako naraščanje porabe energije je potrebno zagotoviti primarne nosilce energije (vodne sile, fosilna goriva, jedrsko energijo), in — kar je za zdaj najvažnejše, če hočemo brez motenj v preskrbi z energijo preživeti čas, ki je potreben do popolnega vključevanja jedrske energije — treba je radikalno zmanjšati izgube pri preobražanju energij.

Nadalje se je treba zavedati, da so zaloge primarnih nosilcev energije omejene in je praktično neizčrpna samo sončna energija, ki bi jo morali uporabljati neposredno.

Za to je potrebna še dolga razvojna pot, vendar je treba rešitev problema o preskrbi z energijo v končnici iskati samo v tej smeri.

Nov vir energije je na vidiku tudi od jedrske fuzije, vendar je praktična rešitev tega vprašanja še odmaknjena.

Ker torej ta čas trošimo v glavnem le energetske rezerve in vedno bolj manjšamo razpoložljivi energetski kapital, je razumljivo, da moramo energijo preobrazati in uporabljati tako, da nastajajo pri tem čim manjše eksergijske izgube.

To velja i za proizvajalce raznih vrst energije i za njene porabnike.

Pri proizvajalcih energij je pomembno naslednje:

a) Čim boljše izkoriščanje nahajališč primarnih energij, kar je dandanes dosegljivo z vedno bolj izpopolnjenimi vrtnimi in odkopnimi metodami.

b) Transport energije (goriva). Zadnji čas močno prodira plinsko in tekoče gorivo. Za razvod teh goriv uporabljamo daljnovode vzdolž celih celin. Za transport zemeljskega plina npr. iz Afrike v Evropo pa so v rabi tankerji, ki prevažajo utekočinjen plin pri temperaturah -160°C na razdalje 5000 do 7000 km in več. Čez morje transportirani plin se zopet uplini in po plinovodu dovaja potrošnikom.

Ravno tako je treba transport tekočih goriv od rafinerij do skladišč in potrošnika prilagajati čedalje večji porabi. Zato je potrebno uvajanje vedno večjih racionalizacij, ki omogočajo optimiranje transporta in lastne porabe energije v teh napravah.

Transport trdnih goriv je bolj problematičen, saj je ekonomičnost močno odvisna od kurilne vrednosti goriva. Vendar je ponekod tudi glede njih uspel transport v cevovodih od rudnika do potrošnega središča, uvedene pa so bile specialne železniške kompozicije s 100-tonskimi vagoni.

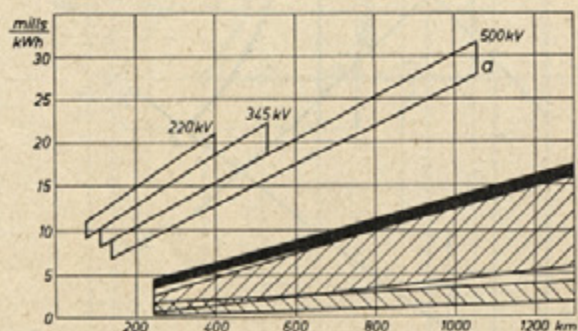
c) Čedalje večjo vlogo ima dandanes prenos električne energije na velike daljave, saj je zdaj treba čedalje večje zmogljivosti, gospodarnosti in varnosti. Razvoj gre za tem, da bi ustvarili mednarodna zvezna omrežja, pri čemer pa se zaradi zmanjšanja izgub v daljnovodih čedalje bolj večajo napetosti. Tako imajo zdaj za prenos raznih moči tele napetosti kot okvirno ustrezajoče (te številke ne veljajo absolutno):

220 kV za prenose	250 ... 500 MW
345 kV za prenose	500 ... 1000 MW
500 kV za prenose	1000 ... 1900 MW
750 kV za prenose	2000 MW

(po R. J. Matheru, ZDA)

V letih od 1952 do 1962 je uspelo zmanjšati (po poročilih T. Fujinamija in K. Jamasakija na Japonskem) prenosne izgube z modernizacijo transformatorskih naprav, zvišanjem napetosti in drugimi racionalizacijami (vrh vsega z uporabo elektronskih računskih strojev pri razdelitvi obremenitve itd.) od 23,6 na 10,5 odstotka.

d) Lokacija kaloričnih elektrarn je prvenstveno odvisna od prevoznih stroškov za posamezne nosilce energije in je potemtakem predvsem vprašanje ekonomičnosti, ali naj se elektrarna gradi ob izvoru energetske baze ali pa v središču porabe. V prvem primeru prihaja v poštev prenos električne energije po daljno-



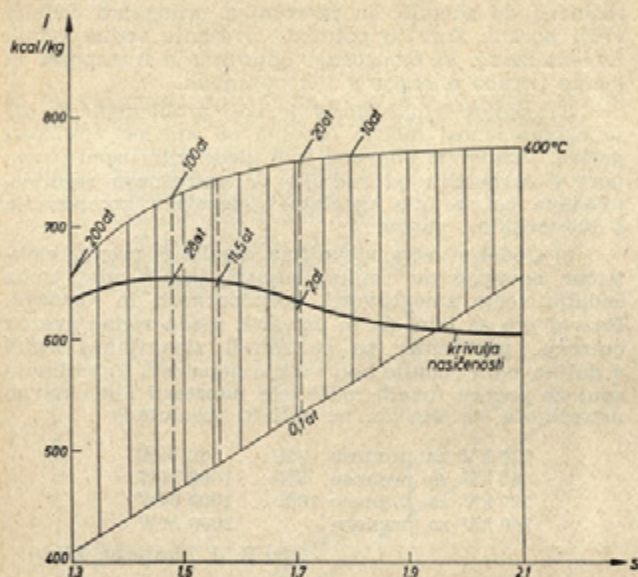
Sl. 1. Transportni stroški za različne nosilce energije a — vrtilni tok, b — plin po cevovodih, c — premog v specialnih vlakovnih kompozicijah, d — olje s tankerji (ladjami)

vodih do potrošnih središč, sicer pa transport primarnih nosilcev energije do elektrarn, ki so postavljene v potrošnih središčih. Stroške prevoza za različne nosilce energije kaže slika 1 (po B. W. K. Nr. 3, 1965).

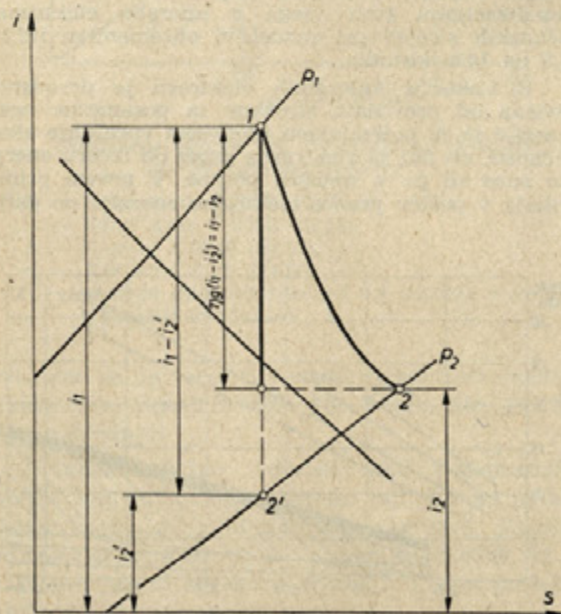
2. Možnosti za povečanje termičnega izkoristka pri parnem procesu

Če hočemo v naslednjem desetletju v svetovnem merilu zadovoljiti potrebe po električni energiji, je neogibno potrebno, da gradimo elektrarne z velikimi enotami. V Ameriki že gradijo kalorične elektrarne z enotami po 1000 MW, Francija prehaja na 600 MW, Nemčija za zdaj na 300 MW, pa tudi Sovjetska zveza prehaja na največje enote.

Take elektrarne obratujejo z dosedaj največjimi možnimi celotnimi izkoristki.



Sl. 2. Izentropne entalpijske razlike pri temperaturi pare 400 °C in protitlaku 0,1 at v odvisnosti od tlaka pare



Sl. 3. Določanje končnega stanja pare v *i, s*-diagramu

Celotni izkoristek

$$\eta = \frac{\text{električna energija}}{\text{energija goriva}}$$

se dviga do ~ 0,45, kar je hkrati maksimum, ki se da ta čas dosegati pri parnem procesu.

Največja ovira za doseganje boljšega celotnega izkoristka je razmeroma slab termični izkoristek η_t , ki se lahko povečuje samo z višanjem temperature, pri kateri v procesu dovajamo toploto.

Pri parnem krožnem procesu je neugodno, da je treba ustrezno zviševati tlak v kotlu, če hočemo dovajati toploto pri ustrezni visoki temperaturi.

Najvišja temperatura pregrete pare, ki je zdaj možna pri uporabi avstenitnega jekla, je okrog 650 °C, pri čemer pa je dvomljivo, ali bo nadaljnje zvišanje temperature glede na razmerje med stroški in koristno dobljenim še ekonomično.

Termični izkoristek idealnega parnega stroja je podan z razmerjem med izentropno razliko entalpij sveže (i_1) in izrabljene pare (i_2) ter toploto, ki je potrebna za pridobivanje 1 kg pare

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_0}$$

Termični izkoristek je torej toliko večji, kolikor večja je izentropna entalpijska razlika in kolikor manjša je vrednost $i_1 - i_0$ (i_0 = entalpija napajalne vode).

Iz diagrama *i, s* se lahko vidi iz primera, da pri določenem protitlaku (npr. 0,1 at) in določeni temperaturi pregrete pare (npr. 400 °C) entalpijska razlika z večanjem tlaka narašča do tlaka ~ 100 at, nato pa lahko pojema. Entalpijska vrednost i_1 pa se z večanjem tlaka močno zmanjšuje (sl. 2).

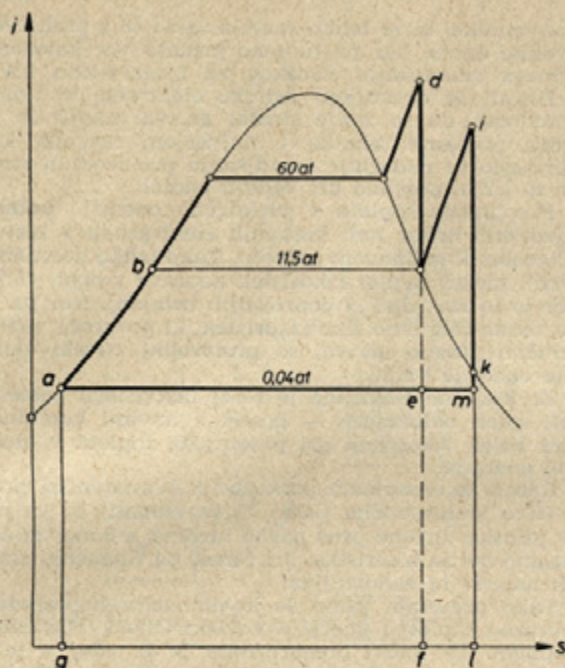
Za razne tlake so ugotovljene naslednje zaokrožene vrednosti (Puschmann — osnove tehniške termodinamike):

p_1	=	20	60	100	120 at
i_1	=	776	760	741	730 kcal/kg
$i_1 - i_2$	=	236	265	271	270 kcal/kg
η_t	=	0,304	0,349	0,366	0,37 kcal/kg

Iz danih številčnih vrednosti se razločno vidi, kako z večanjem tlaka raste termični izkoristek, ker se s tem zvišuje tudi srednja temperatura dovoda toplote (višja temperatura pri uparjanju). Če še zvišamo tlak in temperaturo pregrete pare ter zmanjšamo tlak v kondenzatorju, postaja termični izkoristek še ugodnejši, zaradi česar upada specifična poraba pare.

Neugodno pa je, da pri izentropni ekspanziji visokotlačne pare prekoračujemo krivuljo nasičenosti pri relativno visokih tlakih tako, da poteka večji del dela v območju mokre pare in prihajamo pri nizkih protitlakih do nedopustno majhnih vrednosti specifične vsebine pare x , kakor je razvidno v diagramu *i, s*. Mokra para z večjo količino vodnih kapljic povzroča erozijo turbinskih lopatic, hkrati pa zaradi zavornega delovanja vode poslabšuje notranji izkoristek turbine. Glede na to naj vlažnost pare v zadnji turbinski stopnji ne presega 12 do 15 % ($x = 0,80 \dots 0,85$).

Sicer pa je dejanska vlažnost pare manjša od teoretične, ker poteka proces ekspanzije zaradi pojavljanja raznih nepovračljivosti (trenja, dušenja, vrtinčenja, prenosa toplote itd.) v smeri večanja entropije, vendar ta pomik na desno v diagramu *i, s* ni tolikšen, da bi spričo sedanjih visokih tlakov in visokega vakuumu brez občutnega povišanja vstopnih temperatur pare lahko dosegali zahtevano vrednost x (sl. 3). Zato je zdaj pri velikih elektrarnah v rabi vmesno pregrevanje pare, se pravi, da paro, ki je že prešla prve stopnje visokotlačne turbine, vodimo nazaj v kotel, kjer jo ponovno pregrevamo, redno na prvotno temperaturo.



Sl. 4. Toplotni diagram z enkratnim vmesnim pregrevanjem pare

V odvisnosti od tega, med kakšnimi parametri izvajamo vmesno pregrevanje pare, se termični izkoristek lahko izboljšuje ali celo malo slabša. V obeh primerih pa dosegamo to, da para v zadnji turbinski stopnji ne presega dopustne vlage, zaradi česar se znatno izboljšuje notranji izkoristek dejanskega procesa (sl. 4 in 5).

Drug prijem za izboljšanje termičnega izkoristka je tako imenovano regenerativno segrevanje napajalne vode. Napajalna voda se segreva v grelnikih vode z odcepno paro. Po tem načinu odvajamo na ustreznih odcepih turbine določene količine pare (čim več je grelnikov, tem večje je izboljšanje η_d), s katerimi segrevamo kondenzat do želene temperature.

S tem načinom se približujemo Carnotovemu procesu, kar je razvidno s slike 6 o procesu v diagramu *i, s*.

Pri neskončno mnogih odcepih prehaja kriva $l-p-k-h$ v premo $r-h$. Ker pomeni proces $l'-h'$ de Carnotov proces med danima temperaturnima mejama, je s slike dobro razvidno, da se bližamo idealnemu Carnotovemu procesu, in sicer tem bolj, čim več imamo odcepih in čim bolj pregrevamo napajalno vodo.

Vsekakor je število odcepih zavoljo gospodarnosti omejeno, ker se pri tem močno zvišujejo stroški naprave, termični izkoristek pa vedno manj narašča.

3. Povečanje celotnega izkoristka elektrarn s kombinacijo parnega krožnega procesa z drugimi procesi

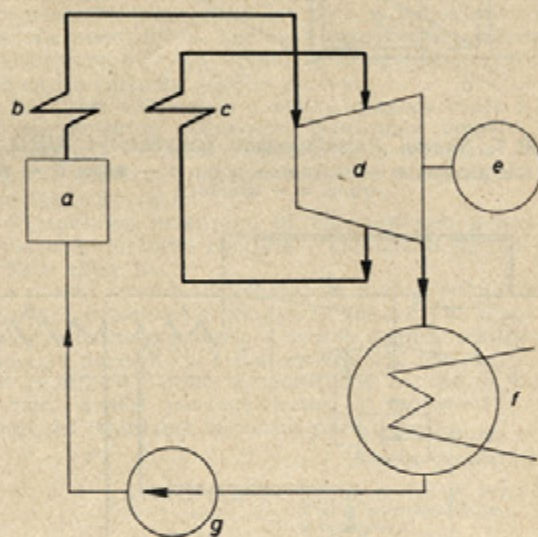
Kakor se da razbrati iz prejšnjih izvajanj, je zvišanje temperaturnega padca, kar izboljšuje termični izkoristek, pogojeno z močnim naraščanjem tlačnega padca, kar močno vpliva na gospodarnost parnih naprav.

Zato so poskušali vodno paro zamenjati s parami drugih snovi, ki dosegajo visoko temperaturo vrelišča pri razmeroma nizkih tlakih.

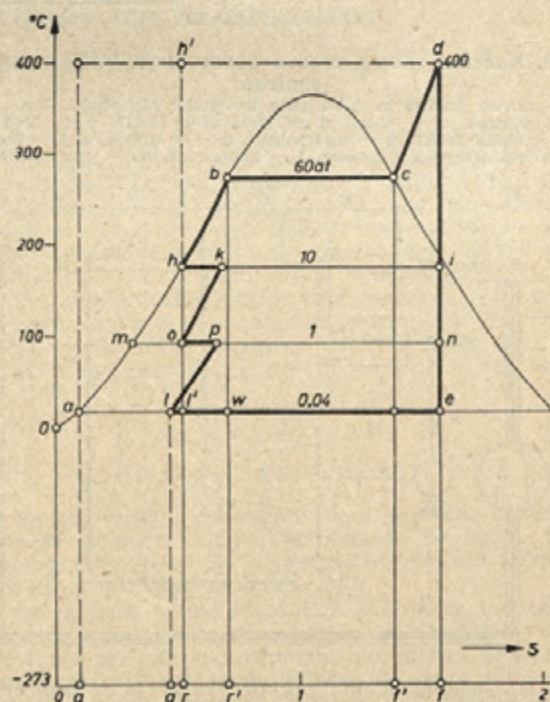
Take snovi so živo srebrna para, ki ima pri tlaku 8 at temperaturo nasičenosti 500 °C, ali difeniloksid, ki ima enako temperaturo nasičenosti pri približno 30 at. Neugodno pa je, da so temperature nasičenosti pri tlaku 0,05 at za živo srebro 222 °C in za difeniloksid 150 °C, medtem ko dosega ta pri vodni pari samo 32,5 °C. To

se pravi, da dosegamo pri kondenzacijskih strojih z vodno paro večji temperaturni padec, vendar sta s kombinacijo uporabe živega srebra ozir. difeniloksida v visoko temperaturnem območju in vodne pare v nizko temperaturnem območju združena določeno izboljšanje izkoristka in pocenitev naprav. Pri tem pa se pojavljajo razne tehnološke težave in varnostni problemi, tako da razvoj v tej smeri zaostaja.

Sicer pa se medtem bje močan konkurenčni boj med jedrskimi in klasičnimi elektrarnami, katere izmed obeh bodo v naslednjih desetletjih krile naraščajočo potrebo električne energije.

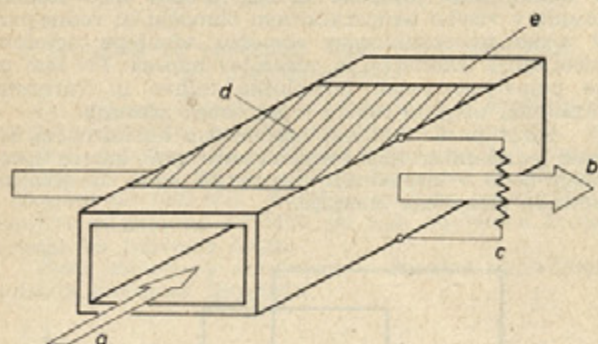


Sl. 5. Vezalna shema vmesnega pregrevanja
a — kotel, b — pregrevalnik pare, c — vmesni pregrevalnik pare, d — turbina, e — generator, f — kondenzator, g — napajalna črpalka



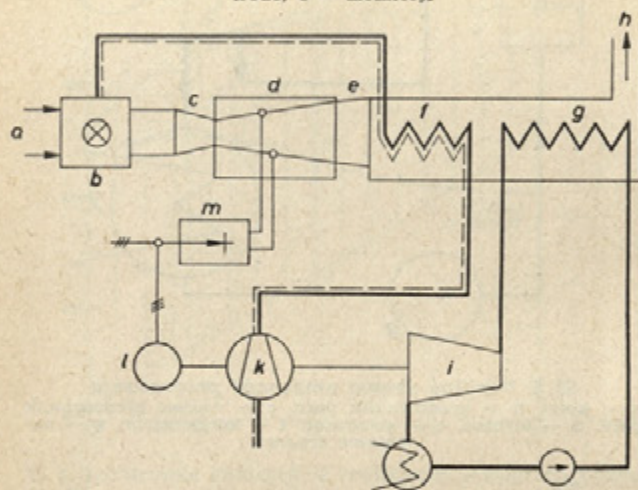
Sl. 6. Primer regenerativnega nagrevanja napajalne vode z dvema odcepoma

Proizvodnja električne energije v klasičnih elektrarnah je dandanes plod povsem dognane in skle-



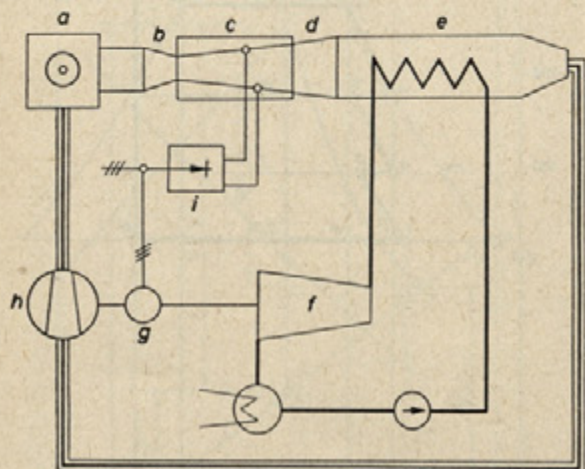
Sl. 7. Shema Faradayevega generatorja MHD

a — tok plazme, b — magnetno polje, c — upor, d — elektrode, e — izolatorji



Sl. 8. Načelna shema vezave generatorja MHD s parno centralo

a — dovod goriva in alkalijske kovinske raztopine, b — gorilni prekat, c — šoba, d — generator MHD, e — difuzor, f — grelnik zraka, g — uparjalnik, h — k dimniku, i — parna turbina, k — kompresor, l — generator, m — pretvornik



Sl. 9. Načelna shema vezave reaktorja v zaprtem krožnem procesu

a — reaktor, b — šoba, c — generator MHD, d — difuzor, e — uparjalnik, f — parna turbina, g — generator, h — kompresor, i — pretvornik

njene tehnike, ki se lahko razvija samo še s prehodom na velike enote, kar pa tudi ne prinaša več kakšnega izrednega zmanjšanja stroškov za proizvedeno kWh.

Hkrati že obratujejo jedrske elektrane, ki imajo to prednost, da so zanje stroški goriva manjši in je njihova procesna tehnika v največjem razvoju, kar bo prineslo še nadaljnje zmanjšanje proizvodnih stroškov za kWh, posebno pri velikih enotah.

Preobrazba toplote v električno energijo poteka pri jedrskih kakor tudi klasičnih elektrarnah v bistvu po Clausius-Rankinovem procesu. Tako lahko dosegamo največji možni celotni izkoristek naprave z okoli 45 %, kakor je to razvidno iz poprejšnjih izvajanj. Ker pa je to še vedno relativno slab izkoristek, ki povzroča veliko specifično porabo goriva, so proizvodni stroški električne energije veliki.

Za klasične elektrane je torej bistvenega pomena — ali sploh odločujoče — doseči z novimi kombinacijami boljši izkoristek pri preobrazbi toplote v električno energijo.

Razen že omenjenih poskusov z dvoslovnimi procesi (živo srebro/vodna para) bi tu omenili še vključitev plinske turbine pred parno turbino, s čimer lahko dosegamo boljše izkoristke, pri čemer pa finančna stran takih naprav ni zadovoljiva.

Tako preostaja samo še kombinacija neposredne preobrazbe toplotne energije v električno s klasičnim postopkom. Ta način preobražanja je že zdaj v taki razvojni fazi, da se obeta skorajšnja realizacija v praksi že v doglednem času, kar bo vplivalo tudi na razvoj novih tipov elektrarn. Seveda to ni samo tehniško, ampak predvsem tudi ekonomsko vprašanje, saj gre za gospodarnost takih naprav v odvisnosti od energetskih razmer v posameznih deželah.

Od vseh načinov za neposredno preobrazbo energije (brez vmesne stopnje mehanske energije) kaže v veliki preskrbi z energijo največ obetov tako imenovani generator MHD (magnetno-hidravlični generator). Termodinamično se dajo ti generatorji primerjati s plinskimi turbinami. Njihova prednost je v tem, da nimajo gibljivih delov, kar dopušča uporabo višjih temperatur in s tem dosego boljših celotnih izkoristkov, pomanjkljivi pa so, ker lahko delajo samo v območju visokih temperatur, kar povzroča zahtevne tehnološke probleme.

Z vključevanjem pretvornika MHD pred parno turbino (lahko tudi pred plinsko turbino) je pričakovati izboljšanje izkoristka za 16 %, tj. od okrog 40 % na 56 % ali celo več. Izkoristek sedanjih takih generatorjev je namreč okoli 16 odstotkov.

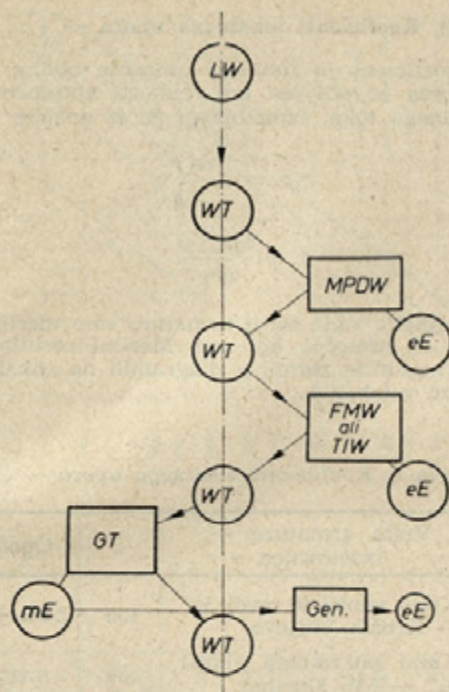
Osnovni pogoj za uresničitev toplotne pretvorbe v električno energijo po postopku MHD je zadostna električna prevodnost nosilca toplote (plina) in njegov hitri pretok skozi magnetno polje.

Vsaka tvarina postane pri zadostno visokih temperaturah električno prevodna. Pri dušiku se prične npr. omembe vredna termična ionizacija in s tem električna prevodnost pri normalnem tlaku šele nad 7000 °C, kar je za tehnično uporabo pretvornikov MHD previsoko. Ta temperatura je odvisna od napetosti ionizacije U_i , ki je pri dušiku visoka ($U_i = 14,54$ V).

Alkalne kovinske pare imajo znatno nižje ionizacijske napetosti (kalij: $U_i = 3,89$ V, kalij: $U_i = 4,34$ V). S primesjo takih substanc k delovnemu plinu (cepljenjem ali seedingom) postane nosilec toplote v tehnično zanimivem temperaturnem območju med 2000 in 3000 °C električno prevoden, kar je prvi pogoj za tehnično realizacijo pretvorbe MHD. Za znižanjem temperatur težijo zaradi materialnih problemov (hkrati pa se z znižanjem temperatur plina izboljšuje izkoristek pretvornika). Načelo njegovega delovanja kaže slika 7.

Po dosedanjem stanju razvoja imamo glede na tehnično uporabljivost v glavnem dva mnogo obetajoča pretvorniška sistema:

1. odprte sisteme s fosilnimi gorivi (zemeljski plin, olje, premog),



Sl. 10. Prikaz postopne aproksimacije na reverzibilno vodenje preobrazbenih procesov energije

LW — latentna toplota, WT — toplota pri temperaturi T ($T_1 \approx 2500 \dots 3500 \text{ }^\circ\text{K}$, $T_2 \approx 1500 \text{ }^\circ\text{K}$, $T_3 \approx 1100 \text{ }^\circ\text{K}$, $T_4 \approx 300 \text{ }^\circ\text{K}$), MPDW — magnetoplazma — dinamični pretvornik energije, eE — električna energija, mE — mehanska energija, FMW — pretvornik s tekočo kovino, TIW — termionski pretvornik, GT — plinska turbina

DK 621.646:532.5

Upori in iztočne količine vodovodnih armatur

PETER NOVAK — JOŽE ZUPANČIČ

Članek ima namen seznaniti projektante vodovodnih instalacij z upori in iztočnimi količinami nekaterih domačih vodovodnih armatur. Ugotovljeni rezultati dokazujejo znatna odstopanja od vrednosti, ki so v rabi pri projektiranju. Obenem so nakazani problemi kontrole nad kvaliteto domačih vodovodnih armatur in s tem združeni sklepi.

Uporabljene označbe:

ζ	— koeficient lokalnega upora	—
Δp	— tlačna izguba	kp/m ²
p_i	— minimalni iztočni tlak	kp/m ²
Δp_s	— tlačna izguba v vodovodnem števcu	kp/m ²
p_{min}	— minimalni razpoložljivi tlak	kp/m ²
p_g	— geodetski tlak (tlak zaradi višine iztoka)	kp/m ²
R	— tlačna izguba na enoto dolžine	kp/m ² /m
Z_l	— lokalna tlačna izguba	kp/m ²
l	— dolžina cevi	m
a	— konstanta	—
b	— konstanta	—
d	— notranji premer cevi	m
D	— zunanji premer cevi	m
γ	— specifična teža vode	kp/m ³
g	— zemeljski pospešek	m/s ²
w	— hitrost vode	m/s
Z	— število obremenitvenih točk	—
q	— pretočna oz. iztočna količina	m ³ /s

2. zaprte sisteme z žlahtnimi plini kot delovnim sredstvom in visoko temperaturnim reaktorjem kot toplotnim izvorom (lahko tudi s fosilnim gorivom).

Načelna vezava obeh krožnih procesov je razvidna iz danih shem na slikah 8 in 9.

Iz obeh osnovnih vezalnih shem je razvidno, da dobivajo dimni plini (žlahtni plini) v šobi potreben pospešek, v coni MHD pa se jim odvzema del entalpije v obliki električne energije. Nato vstopajo v difuzor in odhajajo skozi grelnik zraka in proizvajalec pare v atmosfero — pri zaprtem procesu pa se žlahtni plini vračajo skozi proizvajalec pare in kompresor v reaktor.

Uvedba novih procesov za pretvarjanje energije, zlasti generatorjev MHD odpira konvencionalnim elektrarnam v konkurenčnem boju z jedrskimi dobro obetajoče perspektive, ker se z zboljšanjem celotnega izkoristka zmanjšujejo stroški za proizvodnjo električne energije (manjša poraba goriva).

Pri vsem tem pa je z vidika gospodarjenja z našimi energetskeimi rezervami posebnega pomena, da s kombinacijo procesov pretvarjanja energije lahko dosegamo postopno aproksimacijo na reverzibilno vodenje takih procesov.

Shematično prikazano bi tak postopen proces za pretvarjanje toplotne energije v električno potekal kakor kaže slika 10.

Pri taki preobrazbi energij se znatno približujemo idealnemu izkoriščanju eksergije pri gorivih. Tudi pri vključitvi parnega procesa v zadnjo stopnjo preobrazbe bi dosegel parni kotel boljši eksergetski izkoristek, ker bi se zmanjšale velike temperaturne razlike na dimni in vodni strani parnega kotla, ki povzročajo slab eksergetski izkoristek sedanjih parnih kotlov.

(Konec prihodnjic)

Avtorjev naslov: dipl. ing. Alojz Praunsels, Višja tehniška šola v Mariboru

1. Uvod

Preskrba s pitno vodo zavzema po svetu in pri nas vedno širša področja. Potrebna so vedno številnejša zajetja pitne vode in vedno močnejše vodovodne črpalke za vzdrževanje potrebnega tlaka v vodovodnem omrežju. Posebno poletne konice pri porabi vode povzročajo, da zmanjka vode v višjih etažah stanovanjskih hiš.

Pri projektiranju vodovodne instalacije je znan podatek o minimalnem razpoložljivem tlaku vodovoda na kraju priključka. Dimenzije cevi določamo tako, da uravnovesimo pretočne upore in minimalni razpoložljivi tlak:

$$\Delta p = Rl = Z a d^{-b} l \quad [1]$$

$$\Delta p = p_{min} - p_g - p_i - \Delta p_s \quad [2]$$

Po tej enačbi računamo manj razsežne in enostavnejše primere (razdelilno omrežje do 30 m). Lokalni upori in poznejše odlaganje mineralnih primesi v ceveh so v enačbi že upoštevani.

Omrežja za velike stanovanjske objekte, industrijske objekte in objekte, za katere je potrebna večja natančnost pri računu, računamo po splošni enačbi iz hidrodinamike, kjer upore delimo na upore v ravnih ceveh in lokalne upore (upori v ventilih, kolenih ipd.).

¹ Postopek računa po DVGW W 308 (DVGW — Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern).