

DK 621.18(497.12)

Parni kotli v TE Šoštanj

LEOPOLD ANDRÉE

UVOD

V prvi fazi izgradnje sta bila postavljena v kotlarno TE Šoštanj dva enocevna parna kotla sistema Sulzer, ki obratujeta na prisilni pretok vode oziroma pare. Kotla sta kurjena z lignitnim prahom, vsak ima po štiri v ogliščih zgorevalnega prostora tangencialno postavljene gorilnike. Ker sta obe kotelski napravi popolnoma enaki, bom v tem sestavku opisoval eno samo napravo.

Značilno za tovrstne parne kotle je, da nimajo bobna za zbiranje vode in pare, ki so sicer neogibno potrebni pri kotlih na naravno cirkulacijo. Zato bi lahko imenovali enocevni parni kotel tudi proizvodilnik ali generator pare.

Poglaviti podatki o parnem kotlu:

normalna količina pare	100 t/h
maksimalna trajna količina pare	125 t/h
tlak pare na iztoku iz pregrevalnika pare	100 atn
temperatura pregrete pare	515 °C
temperatura napajalne vode	195 °C

Ogrevne površine posameznih delov:

grelnik vode I iz jeklenih cevi	800 m ²
sistem vertikalnih in horizontalnih nosil. cevi	43 m ²
sistem vertikalnih vešalnih cevi	71 m ²
grelnik vode II iz jeklenih cevi	603 m ²
grelnik vode III iz jeklenih cevi	627 m ²
žarilni uparjalnik	831 m ²
konvekcijski pregrevalnik pare I	630 m ²
žarilni zavesni pregrevalnik pare II	388 m ²
žarilni ogradni pregrevalnik pare III	313 m ²
skupna ogrevalna površina sistema voda-para	4 306 m ²
lamelasti grelnik zraka, ogrevan s paro	400 m ²
ceveni grelnik zraka (rekuperativni)	7 600 m ²

Zunanje izmere kotelskega bloka:

osnovna ploskev bloka: širina	8 300 mm
globina	16 200 mm
višina bloka	30 000 mm

OPIS PARNEGA KOTLA

Konstruktivna izgradnja parnega kotla je v bistvu razvidna iz prereza na sliki 1. Voda oziroma para teče po posameznih delih parnega kotla v takem zaporedju, v kakršnem so bile podane posamezne ogrevne površine. Ta tok je shematično naznačen tudi na sliki 3.

Napajalna voda priteka v razdelilno komoro grelnika vode I, ki je sestavljen iz 54 paralelnih vej cevi $38 \times 3,75$ iz ogljikovega jekla. Od zbiralne komore grelnika I teče voda potem po skupni cevi do sistema vertikalnih in horizontalnih nosilnih cevi, ki nosi konvektivni pregrevalnik pare I, ter končni ogradni pregrevalnik pare III. Od tod teče voda v razdelilno komoro obeh grelnikov vode II in III. Na tej komori je razvrščenih 10 dušilnih ventilov, ki naravnavaajo ustrezno količino vode v vsakem od 10 odcepov. Vsak odcep pa se deli na 5 paralelnih vej, tako da teče napajalna voda skozi grelnik vode II in III po skupno 50 paralelnih vejah. Na začetku vsake teh paralelnih vej je vstavljena v cev dušilna puša, kar zagotavlja stabilen pretok vode po paralelnih vejah.

Cevi obeh grelnikov vode II in III so prav take, kakor pri grelniku vode I. Vsi trije grelniki so nameščeni prečno ležeče v vertikalni dimni kanal. Grelnik vode I počiva na votlih nosilcih, medtem ko so cevi grelnika vode II in III obešene na vešalnih ceveh, ki jih tvorijo začetni deli paralelnih vej. Dimni plini gredo najprej skozi grelnik vode III, nato skozi grelnika II in I ter naposled skozi ceveni grelnik za zrak.

Na iztoku iz grelnika vode III se po 5 paralelnih cevnih vej združi tako, da napajajo 10 paralelnih cevnih vej uparjalnika, ki jih tvorijo cevi $63,5 \times 6$ iz ogljikovega jekla oziroma v izstopnih predelih že iz legiranega jekla. Vse stene zgorevalnega prostora od zožitve navzdol so obložene s temi cevmi, ki tvorijo potni žarilni uparjalnik. Obložitev je izvedena tako, da vseh 10 paralelnih cevnih vej uparjalnika tvori nekaj cevnih pasov ustrezne širine. V smeri toka vode so ustrezno obložene s cevnimi pasovi po vrsti: zgornji in poševni del zadnje stene, desna polovica spodnjega dela zadnje stene, lijak, leva polovica spodnjega dela zadnje stene, leva stranska, sprednja in desna stranska stena. Tak način obložitve zagotavlja, da je vsaka od paralelnih vej uparjalnika skoraj enako termično obremenjena.

Paralelne cevne veje uparjalnika se končujejo vsaka preko svoje cevne pentlje v zbiralni cev, ki je od strani tangencialno vstavljena v zgornji del izločevalnika vode. Na cevne pentlje je nameščen važen del regulacije, in sicer tako imenovani multitermostat. Izločevalnik vode je pokonci postavljena jeklena posoda s premerom 680 mm, debelino ostanka 40 mm in višino 3 460 mm. Vse od razdelilne ventilne komore pa do izločevalnika vode je 10 skupin cevnih vej grelnika vode in 10 vej uparjalnika, medsebojno popolnoma ločenih.

V izločevalnik priteka iz uparjalnika mešanica pare in vlage. V izločevalniku se zaradi rotacije dotekajoče zmesi odloča od pare skoraj vsa vlaga, tako da imamo po podatkih tvrdke Sulzer v otekaajoči vlažni pari le okrog 0,3 % vlage. Če priteka v izločevalnik vlažna para, ki ima n. pr. 5 % vlage — to je odvisno od prilagoditve količine napajalne vode toplotni moči kuršča — tedaj izločevalnik oddeljuje od pare 4,7 % vlage. Ta vlaga se nabira na dnu izločevalnika in jo moramo stalno odvajati iz izločevalnika, če naj ostane gladina vode v njem konstantna.

Delovanje izločevalnika vode je značilno po opravljanju dveh vlog, in sicer:

1. ločitve vlage, t. j. neuparjenih ostankov napajalne vode od pare,
2. kontinuirnega odvajanja neuparjenih ostankov napajalne vode.

Tako dobimo na iztoku iz izločevalnika skoraj suho paro ter preprečimo, da ne prehajajo v paro soli. Izločevalnik vode opravlja torej važno nalogo, kar omogoča, da je od vseh sistemov generatorjev pare na prisilni pretok vprav parni kotel (proizvajalnik pare) sistema Sulzer najmanj zahteven glede kvalitete napajalne vode.

Iz izločevalnika vode odteka vlažna para v štiri vstopne, t. j. razdelilne komore konvekcijskega pregrevalnika pare I. Ta pregrevalnik je sestavljen iz 48 paralelnih vej cevi $44,5 \times 4$ iz legiranega jekla in je nameščen v obliki visečega pregrevalnika v horizontalni dimni kanal vrh kotla. Od zbiralne komore pregrevalnika I vrh kotla vodimo paro do razdelilne komore pregrevalnika pare II na sprednji steni. Ta pregrevalnik je izveden kot zavesni pregrevalnik in ima 6 vzdolžnih vertikalnih cevnih zaves, ki so obešene v zgornji zoženi del zgorevalnega prostora. Sestavljen je prav tako iz 48 paralelnih vej cevi enake debeline kakor pregrevalnik I.

Od zbiralne komore pregrevalnika II vrh kotla vodimo paro do razdelilne komore ogradnega pregrevalnika III na levi strani kotla. Ta pregrevalnik imenujemo ogradni pregrevalnik zato, ker so njegove cevi kakor ograda vložene v horizontalnih pasovih na stene v zgornji zoženi del zgorevalnega prostora. Cevni pas tega končnega pregrevalnika je sestavljen iz 22 paralelnih vej cevi $63,5 \times 6,6$ oz. 7,5. V prvi polovici so

cevne veje tega pregrevnika narejene iz legiranega jekla, v končnem delu, ko znaša temperatura pare že 515°C , pa iz močno legiranega jekla. Zbiralna, t. j. izstopna komora končnega pregrevnika je nameščena na levi strani kotla.

Napajalna voda pritoka v razdelilno komoro grelnika vode I po cevi 159×14 iz ogljikovega jekla. Pregreta para odteka iz zbiralne komore pregrevnika pare III po cevi 241×24 iz močno legiranega jekla. Na izstopno komoro pregrevnika III so priključeni trije vzmetni varnostni ventili, ki so naravnani na koncesijski tlak 115 atm. Skupna dolžina vseh cevi, ki so vgrajene v en parni kotel in sestavljajo pretočni sistem za vodo in paro, znaša nad 32,5 km. Temu primerni so tudi pretočni odpori; tako znaša pri maksimalni količini pare potrebni tlak napajalne vode na vtoku v grelnik vode okrog 140 atm.

KURIŠČE

Izbrano je bilo kurišče na premogov prah s štirimi gorilniki, ki so tangencialno postavljeni v ogliščih zgovalnega prostora. Vsak gorilnik ima svoj ventilatorski mlin, tako da prihaja lignitni prah neposredno v pripadajoči gorilnik. To je važno zaradi lahke vnetljivosti tega prahu.

MLINI IN GORILNIKI

Lignit dovajamo v kotlarno s poševnim transporterjem nad dva prečna transporterja, v katerih so vstavljene avtomatične tračne tehtnice. Pod prečnima transporterjema sta na koti $34,6^{\circ}$ — vrh bunkerjev — dva polnilna transporterja za bunkerje. Vsak parni kotel ima v svojih bunkerjih okrog 560 t lignita, kar zadošča za več ko 14-urno obratovanje pri maksimalni obremenitvi.

Izpusti štirih bunkerjev se končujejo nad pripadajočimi štirimi tračnimi dodelilniki, katerih hitrost je mogoče regulirati iz toplotne komande preko regulirnih predležij PIV. Tako vplivamo na količino lignita, ki prihaja v mline ter s tem na obremenitev kotla.

Lignit pada v ventilatorski mlin sistema KSG skozi pripadajoči jašek, po katerem sesa mlin vroče dimne pline iz zgovalnega prostora. Toplota teh plinov se porablja za sušenje lignita (vlage je do 50 %) deloma že med njegovim padanjem po jašku, največ pa med mletjem samim. Vlaga lignita ustrezno temperaturo dimnih plinov naravnavamo z dodajanjem primerne količine segretega zgovalnega zraka. Pri tem moramo paziti, da lignitni prah na iztoku iz mlinov ne dosega temperature vnetišča. Zato ta temperatura normalno ne sme presegati $150 \dots 170^{\circ}\text{C}$.

Kapaciteta posameznega mlina znaša približno 16 t/h lignita, t. j. toliko, da lahko tudi s tremi mlini obratujemo pri maksimalni trajni obremenitvi. To je važno zaradi tega, da se lahko nemoteno izvede popravilo mlina med obratovanjem ob polni obremenitvi. Pri obratovanju s samo tremi ali dvema mlinoma je zelo velikega pomena, da ne pripremo dotoka zraka v gorilnik, ki ne obratuje, saj je le-ta potreben za hlajenje neobratujočega gorilnika, ki bi bil sicer termično premočno obremenjen.

Pri mletju lignita so se pojavile težave zaradi ksilita, ki ga tudi vsebuje lignit. Medtem ko se ostala premogova substanca zmleje zlahka, je ksilit zelo težko mleti in ostajajo v toku, ki prihaja iz mlinov, nezmlene trščice ksilita. Te padajo zaradi večje teže na dno lijaka zgovalnega prostora in povzročajo velike izgube zaradi nezagorelega ksilita. Na naknadno vgrajeni dogorevalni rešetki na dnu lijaka zgovalnega prostora pa ta nezadostno zmleti ksilit dobro zgori, tako da so izgube zaradi nezagorelih delcev v kuriščnih ostankih minimalne.

Vsak mlin pošilja zmleti lignit preko gravitacijskih separatorjev po dveh pločevinastih kanalih v svoj gorilnik. Ti so postavljeni v ogliščih zgovalnega prostora na koti $8,6^{\circ}$, in sicer ploščati. Zgornja polovica

takega gorilnika je prikazana na sliki 2. Vsak od obeh dovodnih kanalov za lignitni prah se končuje v polju 9 pravokotnih vpihovanih ustij (treh v širino in treh v višino). Okoli teh ustij in pa po dveh vmesnih horizontalnih predelih so ozki kanali, po katerih vpihujemo segreti sekundarni zgovalni zrak. Uporabljeni način predelitve vpihovanih ustij s kanali za sekundarni zrak zagotavlja zelo intenzivno mešanje lignitnega prahu z zgovalnim zrakom, kar je prvi pogoj za dobro zgorevanje.

Razen po ozkih kanalih okoli vpihovanih ustij pa prihaja zgovalni zrak v zgovalni prostor tudi po odprtini nad gorilnikom (ta zrak se imenuje »zgornji zrak«) in po odprtini pod njim (»spodnji zrak«). Z ustreznim naravnavanjem regulacijskih loput je mogoče doseči, da plamen iz gorilnika usmerjamo ali bolj navzdol ali bolj navzgor.

Parni kotel je opremljen tudi s štirimi gorilniki za zgorevanje nafte ozir. mazuta. Kapaciteta posameznega gorilnika znaša 625 kg/h. Z nafto, ki je lahko tekoča tudi pri nižjih temperaturah, je mogoče zakuriti in pričeti z obratovanjem tudi v hladnem. Pomozno napravo za kurjenje z mazutom, ki je težko tekoča, pa je mogoče uporabiti samo pri že obratujoči napravi. Kapaciteta teh gorilnikov za nafto ozir. mazut zadošča za proizvodnjo največ 30 t/h pare.

ZGOVEVALNI PROSTOR

Oblika zgovalnega prostora kakor tudi razmestitev gorilnikov sta razvidna iz prereza na sliki 1. Horizontalni prerez zgovalnega prostora je kvadratičen in znaša — merjeno med simetralami hladilnih cevi — $43,4\text{ m}^2$. Navzdol zapira zgovalni prostor lijak v obliki prisekane kvadratične piramide. H koristnemu zgovalnemu prostoru prištevamo le zgornjo polovico lijaka. Največji del zgovalnega prostora, ki ima obliko kvadratične prizme, je visok nad 11 m.

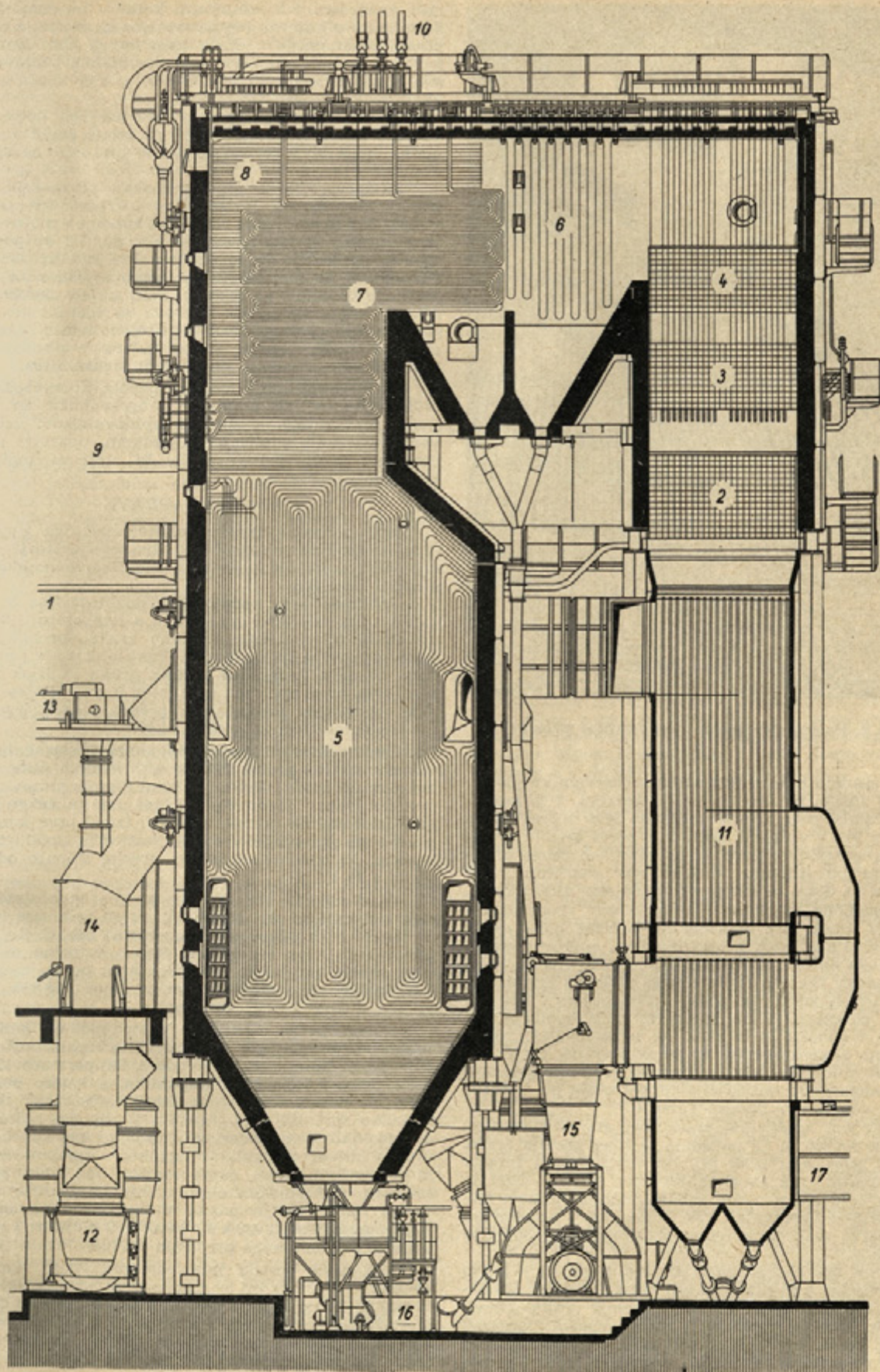
V zgornji tretjini višine je zgovalni prostor zožen približno za eno tretjino, in sicer s previsnim primikom zadnje stene. Navzgor je zgovalni prostor omejen s spodnjim robom zavesnega pregrevnika pare, ki je postavljen v zoženi zgornji del zgovalnega prostora. Tako omejeni zgovalni prostor ima koristen volumen $672,5\text{ m}^3$.

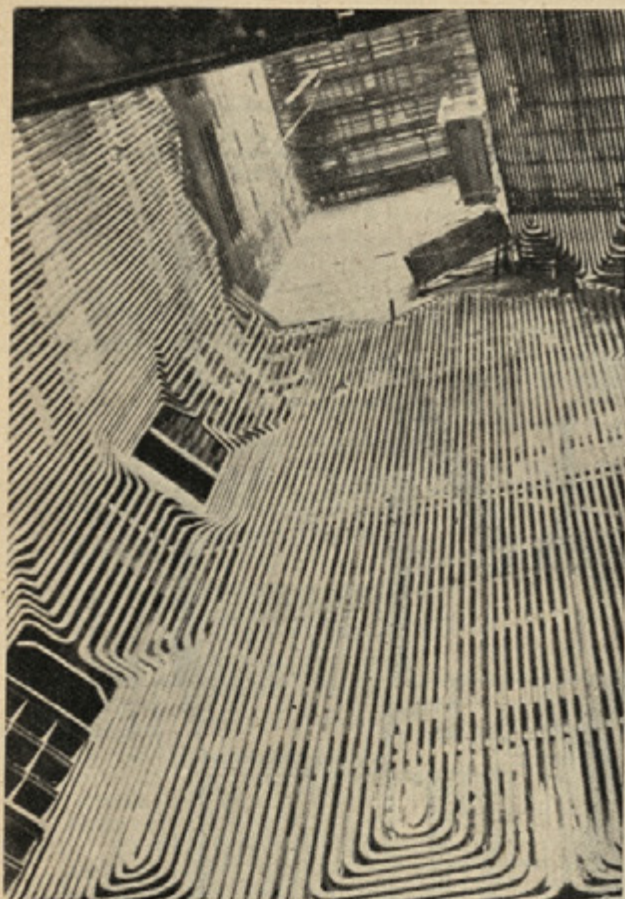
Konstruktivno oblikovanje zgovalnega prostora so narekvale dobre izkušnje pri zgorevanju velenjskega lignita v prašnih kuriščih s tangencialno postavljenimi gorilniki. Tak postavitve gorilnikov povzroča orjaški vrtnec plamenov okoli vertikalne osi, ki zagotavlja intenzivno mešanje gorilnih plinov in letelih delcev z zgovalnim zrakom. H kvaliteti tega mešanja precej prispeva tudi zoženje zgovalnega prostora v zgornji tretjini. Prevzemni preizkusi so pokazali, da dobimo praktično popolno zgorevanje že pri presežku zraka 1,24.

Slika 2 kaže pogled od spodaj v okrog 26 m visoki zgovalni prostor med montažo. Tu vidimo začenši od leve: sprednjo, levo stransko in zadnjo previsno steno zgovalnega prostora, ki so obložene s cevmi uparjalnika. Te cevi so gole tudi ob gorilnikih ter niso niti mestoma prekrte s šamotno oblogo. Na levem spodnjem robu slike je viden gorilnik za premogov prah, nad njim pa odprtina za odsesavanje dimnih plinov, ki služijo za sušenje lignita.

V zoženem zgornjem delu in na stropu zgovalnega prostora so cevi položene horizontalno. Cevi na

Sl. 1. Prerez skozi eno cevni parni kotel sistema Sulzer
1 dotok napajalne vode, 2 grelnik za vodo I, 3 grelnik za vodo II, 4 grelnik za vodo III, 5 žarilni uparjalnik, 6 konveksijski pregrevnik pare I, 7 žarilni zavesni pregrevnik pare II, 8 žarilni ogradni pregrevnik pare III, 9 odtok pregrete pare, 10 varnostni ventili, 11 cevni grelnik za zrak, 12 ventilatorski mlini KSG, 13 tračni dodelilniki za lignit, 14 sesalni jaški za vroče pline, 15 ventilatorja za podpih, 16 naprava za hidravlično odstranjevanje izgorkov, 17 dimovod k elektrofiltru





Sl. 2. Pogled od spodaj v zgorevalni prostor

stropu spadajo h konvektivnemu pregrevniku pare I, cevi ob stenah pa tvorijo žarilni ogradni, t. j. končni pregrevnik pare III. V zoženem delu zgorevalnega prostora visi v vzdolžni smeri še 6 zaves žarilno zavesnega pregrevnika pare II. Na sliki teh zaves ni videti, ker ob slikanju še niso bile montirane. Pod stropom na desni je vstop v horizontalni dimni kanal.

Specifična toplotna obremenitev zgorevalnega prostora znaša pri maksimalni količini pare okrog $132\,000\text{ kcal/h m}^2$ ozir. z upoštevanjem entalpije segretega zraka okrog $144\,000\text{ kcal/h m}^2$. Specifična toplotna obremenitev prereza zgorevalnega prostora pri maksimalni obremenitvi pa znaša $2,23\text{ Gcal/h m}^2$. Ker sta obe ti obremenitvi na spodnjem delu območja dopustnih vrednosti, je to znak, da je zgorevalni prostor primerno dimenzioniran. To je zelo važno, če se hočemo izogniti nevarnosti zažlindranja cevni sistemov, kajti temperatura omežanja pepela znaša pri uporabljenem velenjskem lignitu $1\,150^\circ\text{C}$.

Potrebni zgorevalni zrak dovajata dva ventilatorja za podpih in ga potiskata v cevni grelnik zraka. Segreti zgorevalni zrak prihaja v zgorevalni prostor kot primarni zrak skozi mline, kjer služi obenem za uravnavanje temperature sušilnih dimnih plinov. Nadalje prihaja zgorevalni zrak v zgorevalni prostor kot sekundarni zrak neposredno skozi ustrezne odprtine gorilnikov.

Edina ogrevalna površina parnega kotla, ki je lahko izpostavljena korozijam zaradi tega, če pade temperatura ostankov pod rosišče, je grelnik zraka. Zaradi tega je vgrajen poseben, s paro ogrevani lamelasti grelnik zraka, kjer se vstopni zrak v glavni grelnik ogreva na približno 60°C . Ta grelnik je treba uporab-

ljati predvsem pri zakurjenju kotla v mrzlem. Med normalnim obratovanjem pa skrbimo za zvišanje temperature vstopnega zraka s tem, da ga oba ventilatorja za podpih odsesavata po vertikalnih pločevinastih kanalih neposredno iznad kotla, kjer znaša temperatura zraka nad 40°C .

Skozi vse prikazane elemente parnega kotla ter slednjič skozi električni filter za leteči pepel sesata dimne pline dva ekshavstorja in jih nato odvajata v zidani dimnik.

Za zgorevalne ostanke, ki znašajo pri maksimalni obremenitvi $4,4\text{ t/h}$, je potrebno ustrezno odvajanje. Prostor pod dogorevalno rešetko se končuje v pločevinastem koritu, ki je napolnjeno z vodo. Tu se pogase izgorki, ki padajo skozi dogorevalno rešetko skupno s tistimi, ki jih zdaj pa zdaj stresemo z rešetke. Na dnu korita je drobilnik za izgorke. Tam zmlete zgorevalne ostanke odplavlja potem naprava za hidravlično odstranjevanje izgorkov. Enako je urejeno tudi odstranjevanje letečega pepela, ki se nabira v posameznih jaških dimnega kanala kakor tudi elektrofiltera.

Za odstranjevanje letečega pepela, ki se vseda na cevne sisteme uparjalnika in pregrevnika ter tam slabša prenos toplote, služi 22 izpihovnikov. Izpihavanje se izvaja s stisnjenim zrakom, upravlja pa s centralne posluževalne plošče, ki stoji za toplotno komando.

POMOŽNE NAPRAVE

Med pomožne naprave prištevamo: dva ventilatorja za podpih, elektrofilter, dva ekshavstorja, dve napajalki, zagonsko posodo in kotelsko komandno in merilno napravo.

Ventilatorja za podpih sta aksialnega tipa in dovajata vsak po $73\,000\text{ m}^3/\text{h}$ zraka s temperaturo 30°C pri tlaku $346\text{ mm H}_2\text{O}$. Količino zraka spreminjamo s pomočjo vrtnine regulacije. Ventilatorja sta postavljena na koti $0,0\text{ m}$ med grelnik zraka in lijak zgorevalnega prostora. Vsak ventilator je gnan preko svojega stožčastega predležja za prenos $1\,460/2\,250\text{ min}^{-1}$ z elektromotorjem za moč 125 kW .

Elektrofilter je postavljen zunaj kotlarne in dimenzioniran za pretok $327\,600\text{ m}^3/\text{h}$ dimnih plinov pri temperaturi 175°C . Pri tej količini dimnih plinov znaša pretočni odpor $11\text{ mm H}_2\text{O}$. Filter ima v celem štiri pare izločevalnih jaškov, in sicer: izpod prve komore, izpod obeh glavnih izločevalnih komor in izpod iztočne komore. Vgrajeni elektrofilter dosega stopnjo odpravevanja $96 \pm 2\%$.

Ekshavstorja sta aksialnega tipa in postavljena med elektrofilter ter dimnik. Vsak od njih sesa lahko do $189\,000\text{ m}^3/\text{h}$ plinov pri temperaturi 185°C . Količino plinov ozir. vlek reguliramo fino z vrtnično regulacijo, grobo pa lahko s preklopom polov motorja. Ekshavstor žene elektromotor za moč 215 kW in z vrtilno hitrostjo $994/1\,492\text{ min}^{-1}$.

Napajalke so montirane v strojnici ob kotlarni. Vsaka od uporabljenih centrifugalnih črpalk lahko napaja parni kotel s 145 t/h vode s temperaturo 195°C proti tlaku $1\,675\text{ mm H}_2\text{O}$. Napajalka, s katero obratujemo normalno, ima vrtilno hitrost $4\,500\text{ min}^{-1}$, ki pa se lahko spreminja z vgrajenim Voithovim hidravličnim menjalnikom. Rezervna napajalka ima konstantno vrtilno hitrost $4\,670\text{ min}^{-1}$. Črpalke so zgrajene močno in konstruirane tako, da se notranji deli lahko prosto raztezajo pod vplivom obratovalnih temperatur vode. Vsaka napajalka je gnana z lastnim asinhronskim elektromotorjem ($1\,030\text{ kW}$, $6\,000\text{ V}$, $2\,970\text{ min}^{-1}$) preko ustreznega zobniškega predležja ($2\,970/4\,670\text{ min}^{-1}$).

Zagonska posoda ima volumen 70 m^3 (koristni volumen je 43 m^3) in je zgrajena na koncesijski tlak 15 atm . Montirana je na streho strojnice na koti $22,2\text{ m}$ in služi pri normalnem obratovanju kot rezervoar za napajalno vodo s temperaturo 195°C , do katere jo segrevajo regenerativni grelniki. Pri zagonu pa služi

ta posoda kot vmesni rezervoar vode, ki je v pri-silnem obtoku skozi parni kotel. Iz zagonške posode priteka voda k napajalkama pri dotočni višini okrog 18 m in z dotočnim tlakom okrog 14 atn.

Komandni in merilni napravi obeh kotlov sta montirani v skupno toplotno komando na koti 7,0 m. Tu so za vsak kotel nameščeni instrumenti za merjenje: količine, tlaka in temperature napajalne vode in pregrete pare, za merjenje tlaka in temperature zgorevalnega zraka, za merjenje hitrosti dodelilnikov lignita ter temperature pri izstopu iz mlinov, za merjenje vleka, temperatur in odstotka O_2 v dimnih plinih. Tu so zbrani tudi instrumenti za kontrolo kvalitete napajalne vode. V skladu z načinom obratovanja so v toplotni komandi postavljeni tudi instrumenti za merjenje vseh glavnih podatkov o delovanju turbo-agregatov.

Razen tega so na posluževalnem pultu zbrana stikala za vse električne pogone pomožnih naprav kotla, posluževalne ročice za regulacijske organe kakor tudi posamezne signalne naprave. Vse bistveno važne organe je torej mogoče daljinsko upravljati iz toplotne komande, kar zelo olajšuje upravljanje parnega kotla.

NAPAJALNA VODA

Obratovalno sredstvo bloka, t. j. parnega kotla in turbine, je napajalna voda, ki se kot pregreta para ozir. kondenzat pretaka v bistvu po sklenjenem krožnem toku. Tej vodi ne dodajamo nobenih kemičnih sredstev in zato je njena kvaliteta odvisna samo od odstotka odvajanja kala iz izločevalnika vode ter od količine in kvalitete dodatne napajalne vode.

Za kritje neizogibnih izgub napajalne vode je potrebno okrog 5 t/h dodatne napajalne vode. To pripravljamo iz dekarbonatizirane vode s kemičnim postopkom v baznih izmenjalnikih. Za doseg končne kvalitete uparjamo to vodo v posebnih uparjalnikih, ki so vključeni v toplotni regenerativni sistem turbine. Dobljeno paro dovajamo nato v drugi grelnik regenerativnega sistema, kjer se kondenzira. Tako pridobljeni kondenzat, ki ima manj soli kakor 1 mg/l, služi kot dodatna napajalna voda. Napajalno vodo odplinjamo v zagonski posodi. Tu je voda stalno pri temperaturi vrelišča, zaradi česar se zanesljivo odstranjujejo tudi sledovi kisika ozir. plinov.

REGULACIJSKA NAPRAVA

Vgrajena enocevna parna kotla sta opremljena z avtomatično regulacijo sistema Sulzer. Ta regulacija je sestavljena iz dveh delov: iz avtomatične regulacije krožnega toka voda—para («interna regulacija») ter iz polavtomatične regulacije zgorevanja.

Sulzerjeva regulacija deluje zvezno, in sicer s pomočjo tlačnega olja. Je torej hidravlična regulacija, ki jo sestavljajo naslednji bistveni členi: a) tipalo, b) korekturni organ, c) krmilni drsnik in servomotor ter d) krmilni organ.

Naloga tipala je, da spremembo merjene veličine pretvarja v spremembo tlaka regulacijskega olja. Na primer: uporabljeni termostati so dilatacijski termometri, ki pri spremembi temperature za $\pm 10^\circ$ spreminjajo tlak regulacijskega olja za $\pm 0,2$ at. Korekturni organ superponira impulze, t. j. tlake regulacijskega olja, ki jih morebiti dobiva od več tipal, in skupni impulz korigira tako, kakor ustreza želeni dinamični karakteristiki regulacije. Skupni impulz v obliki določenega tlaka regulacijskega olja prihaja nato v krmilni drsnik in ga uravnava v določeni položaj. S tem pa je podana pot tlačnemu olju v določeno stran servomotorja. Bat servomotorja se prične premikati v ustrezno smer in premika tako tudi posamezen krmilni organ v ustrezno stran. Servomotorje gradijo po potrebi s povratno zvezo ali brez nje.

Opisano načelo hidravlične regulacije je uporabljeno pri vseh posameznih regulacijah parnega kotla.

Prednosti tovrstne regulacije so:

1. poljubno velike gibalne sile, ki so odvisne od tlaka olja in prereza bata v servomotorju,
2. možnost razmeroma velike hitrosti pri premikanju krmilnih organov,
3. zaradi nestisljivosti olja je prenos impulzov brez zakasnitve,
4. velika natančnost pri nastavljanju, ker je izločen vpliv trenja; tlaku regulacijskega olja je namreč superponirano majhno nihanje tlaka s frekvenco 60 Hz, s čimer se dosegajo trajna majhna gibanja vseh elementov za regulacijo okrog ravnotežnega položaja, ter
5. enostavna, močna in s tem zanesljiva konstrukcija vseh elementov za regulacijo.

Dosedanje obratovalne izkušnje TE Šoštanj so potrdile popolno pravilnost teh navedb.

REGULACIJA KROŽNEGA TOKA VODA—PARA

Celotni kompleks te regulacije je razdeljen na posamezne, strogo opredeljene delne naloge, ki niso odvisne med seboj. Te skupine so:

- a) napajalna regulacija z regulacijo gladine v izločevalniku vode,
- b) regulacija pregrevanja pare in
- c) tlačna regulacija.

Te tri skupine regulacij sestavljajo tako imenovano interno regulacijo parnega kotla po sistemu Sulzer. Delovanje teh regulacij bo pojasnjeno s pomočjo označb v shemi interne regulacije na sliki 3.

a) Napajalna regulacija

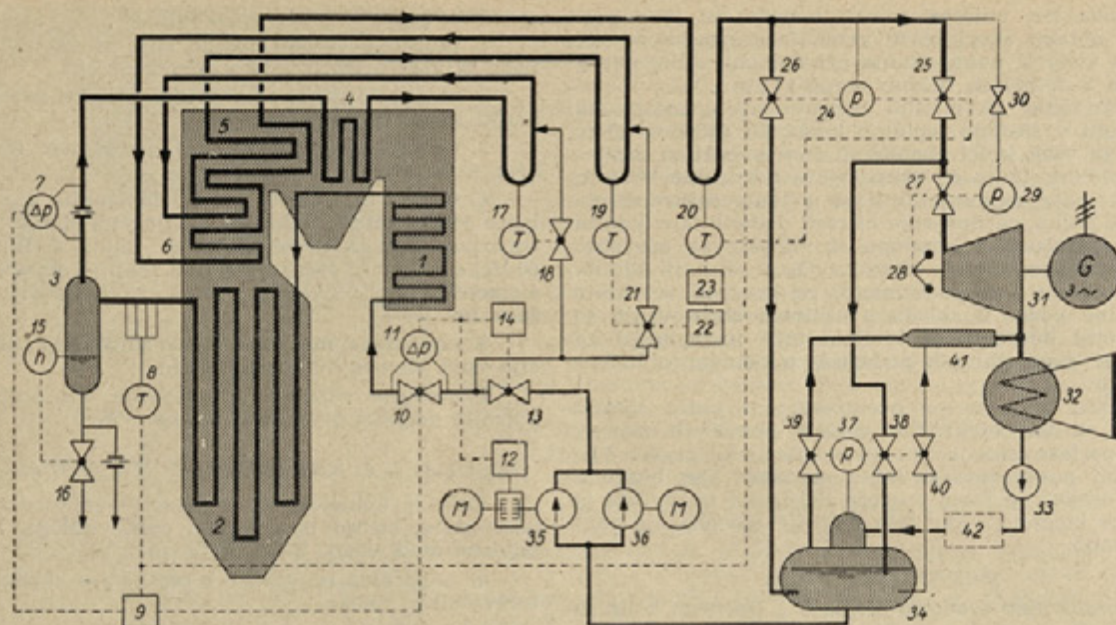
Naloga napajalne regulacije je, da naravnava količino napajalne vode ustrezno z razpoložljivo toploto, tako da ostane odstotek vlage v pari pred vtokom v izločevalnik vode konstanten. Kot impulze uporablja ta regulacija količino pare in temperaturo šibko pregrete pare v eni od paralelnih vej uparjalnika pri vtoku v izločevalnik (3). To regulacijsko skupino sestavlja v bistvu 10 elementov, ki so v shemi na sliki 3 označeni s 7 do 16.

Tipalo 7 naravnava tolikšen tlak regulacijskega olja, da je proporcionalen s količino proizvedene vlažne pare. Štiri paralelne veje uparjalnika so pred vtokom v izločevalnik opremljene s termostati; to je tipalo (8), ki se imenuje multitermostat. Impulz daje vedno le en termostat, in sicer one paralelne veje uparjalnika, ki dovaja šibko pregreto paro. To dosegamo s tem, da v to vejo naravnavamo nekoliko manjšo količino napajalne vode. Le s takim temperaturnim impulzom dobivamo povsem določeni odnos količine napajalne vode nasproti razpoložljivi toploti. V ostalih devetih paralelnih vejah uparjalnika pa nastaja seveda vlažna para z določeno vlago. Vlogo dajanja temperaturnega impulza prevzema po določeni obratovalni dobi druga paralelna veja.

Korekturni organ (9) združuje vpliva impulzov tipal (7) in (8) ter nato ustrezno deluje na krmilni drsnik servomotorja za napajalni ventil (10).

Tipalo (11) meri diferenco med tlakoma, ki se pojavljata pri pretoku vode pred in za napajalnim ventilom. Regulacijsko olje tipala (11) je napeljavano v krmilni drsnik servomotorja (12), ki tako naravnava Voithov regulacijski menjalnik za regulacijo vrtilne hitrosti na glavni napajalni črpalki, da ostane tlačna diferenca na napajalnem ventilu (10) pri vseh obremenitvah konstantna. To pomeni, da je količina napajalne vode odvisna samo od odprtja napajalnega ventila (10), ne pa tudi od morebitnih sprememb, n. pr. frekvenca električnega omrežja, ki poganja motor napajalke.

Ce preneha delovati glavna napajalka, se avtomatično priklapi elektromotor rezervne napajalke, ki pa ima le konstantno vrtilno hitrost. V tem primeru



Sl. 3. Shema regulacije krožnega toka voda—para

1 grelniki za vodo I, II in III, 2 žarilni uparjalnik, 3 izločevalnik vode, 4 konvekcijski pregrevalnik pare I, 5 zavesni pregrevalnik pare II, 6 ogradni pregrevalnik pare III, 7...14 elementi napajalne regulacije, 15 in 16 elementa za regulacijo gladine v izločevalniku, 17...23 elementi regulacije za pregrevanje pare, 24...26 elementi tlačne regulacije, 27...30 elementi turbinske regulacije, 31 turboagregat, 32 kondenzator, 33 črpalka za kondenzat, 34 zagonska posoda, 35 glavna napajalka, 36 rezervna napajalka, 37...40 elementi regulacije za zagonsko posodo, 41 ekspanzijska posoda »saksofon«, 42 sistem regenerativnih grelnikov

prevzame skrb, da ostane tlačni padec na napajalnem ventilu (10) konstanten, regulacijski ventil tlačne difference (13), na katerega servomotor prav tako deluje impulz tipala (11). Ta ventil je bil pri delovanju glavne napajalke seveda popolnoma odprt. Za obratovanje je važen še magnetni drsnik (14), ki posreduje, da pri odklopu pogonskega motorja napajalke zapre regulacijski ventil tlačne difference (13). S pomočjo magnetnega drsnika (14) je torej prevzel regulacijski ventil tlačne difference (13) vlogo vzvratnega ventila v napajalnem cevovodu parnega kotla.

V skupino napajalne regulacije spada tudi regulacija gladine v izločevalniku vode približno na tretjino višine izločevalnika. Tipalo (15) meri višino gladine vode v izločevalniku in naravnava temu ustrezen impulz, ki vpliva potem na izpustni ventil (16). Vzporodno z izpustnim ventilem so vgrajene dušilke, ki določajo količino stalnega odvajanja kala.

Pri minimalni obremenitvi parnega kotla se po kaže važna vloga te regulacije. Ker zaradi obratovalne varnosti ne smemo zmanjšati količine vode, ki teče skozi grelnik vode in uparjalnik, pod neko določeno vrednost, je treba vso odvečno vodo, kolikor je količina potrebne pare manjša od minimalno dopustne količine napajalne vode, sprosti odvajati z izločevalnikom vode.

b) Regulacija pregrevanja pare

Naloga te regulacije je, da naravnava konstantno temperaturo pregrete pare, in sicer na 515°C . V skladu s temperaturno karakteristiko uporabljenega sistema treh pregrevalnikov pa je mogoče doseči pregretje na 515°C le pri količini pare nad 90 t/h, in sicer z vbrizgavanjem ustreznih količin napajalne vode v parovod med pregrevalnikoma pare I in II ter med pregrevalnikoma II in III.

Pri količinah pare pod 90 t/h pa ta regulacija ne more več naravnati pregretja na 515°C in je para pač pregreta ustrezno karakteristikam uporabljenih treh

pregrevalnikov pare. Tako dosegamo pri količini pare 40 t/h le še pregretje okrog 470°C .

Obravnavano regulacijo sestavlja v bistvu 7 elementov, ki so v shemi na sliki 3 označeni s 17 do 23. Tipalo (17) je termostatski, ki meri temperaturo pare med pregrevalnikoma I in II. Ustrezen impulz vpliva na vbrizgalni ventil (18), ki naravnava količino napajalne vode za prvo vbrizgalno mesto.

Tipalo (19) je termostatski, ki je vgrajen v zvezni parovod pri vstopu v končni pregrevalnik. Tipalo (20) je enako termostatski, ki je vgrajen v parovod pri izstopu iz končnega pregrevalnika pare. Impulz tipala (19) vpliva neposredno in hitro na vbrizgalni ventil (21). Impulz tipala (20) pa vpliva na vbrizgalni ventil (21) preko korekturnega organa temperaturne regulacije (22) ter počasi korigira njegovo delovanje tako, da se natančno naravnava z napravo (23) nastavljeno pregrelišče pare.

c) Tlačna regulacija

Ta regulacija ima namen, da vzdržuje konstantni tlak izstopne pare med zagonom, prekinitvami obratovanja in ustavljanjem. Pri normalnem obratovanju prevzame to nalogo regulacija turbine. Tlačna regulacija parnega kotla odpira nadalje pot pari do turbine, brž ko so doseženi ustrezni parametri. Če pa tlak in temperatura pare ne ustrežata, tedaj tlačna regulacija oskrbuje odvajanje neustreznih pare v zagonsko posodo.

Tlačno regulacijo sestavljajo trije elementi, ki so v shemi na sliki 3 označeni s 24 do 26. Tipalo (24) meri tlak pare pri izstopu iz parnega kotla.

Po glavnem parnem ventilu (25) dobiva turbina paro. Na ta ventil vplivata impulz tipala (21) ter termostata (20). Pod vplivom tlačnega impulza tipala (24) se ta ventil zapre, brž ko pade tlak pod nastavljeno minimalno vrednost (v našem primeru okrog 96 atn). Prav tako se zapre ta ventil, brž ko pade temperatura na končnem termostatu pod neko nastavljeno minimalno vrednost.

Obvodni (bypass-) ventil (26) je vgrajen v parovod, ki odvaja paro iz parnega kotla v zagonsko po-

sodo. Ta ventil je pod vplivom impulzov tipala (24) in multitermostata (8). Odpira se, brž ko naraste tlak pare nad nastavljenjo maksimalno vrednost (v našem primeru okrog 102 atn), nakar odteka neustrezna para v zagonsko posodo. Prav tako se odpre ta ventil, če naraste temperatura na multitermostatu nad neko nastavljenjo maksimalno vrednost.

Oba ventila tlačne regulacije delujeta glede na tlačne impulze v bistvu kot nekaka varnostna ventila; brž ko doseže tlak pare vrednost, na katero je naravnano ustrezni ventil, se ta ventil odpre. (Glej sliko 4!) Pri normalnem obratovanju je glavni ventil popolnoma odprt, obvodni ventil pa povsem zaprt.

POLAVTOMATIČNA REGULACIJA ZGOREVANJA

Ta regulacija je polavtomatična zaradi tega, ker ročno naravnavamo tolikšno količino lignita, kolikršna ustreza količini pare, ki jo hočemo proizvajati. Tudi lopute za primarni (k mlinom) in sekundarni (h gorilnikom) segreti zgorevalni zrak nastavljamo le ročno. Avtomatično pa se regulirata: količina zgorevalnega zraka, ki ustreza dovedenemu gorivu, ter vlek pri izstopu, tako da dobivamo pri vseh obremenitvah konstanten podtlak v zgorevalnem prostoru.

POVEZAVA REGULACIJE PARNEGA KOTLA IN TURBINSKE REGULACIJE

Razen regulacije parnega kotla sta v sestavu delovanja celotne naprave (pogonski blok = parni kotel + turboagregat) neogibno potrebni še dve regulaciji, in sicer turbinska regulacija ter regulacija zagonske posode.

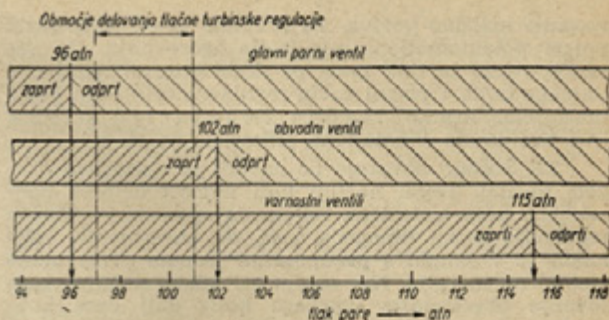
Turbinska regulacija bo opisana na drugem mestu. Za povezavo z regulacijo parnega kotla važni del turbinske regulacije sestoji iz štirih elementov, ki so v shemi na sliki 3 označeni s 27 do 30.

Dotok pare v turbino regulira vtočni ventil (27). Na reguliranje pa lahko vplivata impulza dveh tipal: tipala (28), ki meri vrtlino hitrost turbine, in tipala (29), ki meri vtočni tlak pare. Če je ventil (30) zaprt, bo vtočni ventil naravnal tolikšno količino pare, da se bo turbina vrtela s hitrostjo, ki je nastavljena na hitrostnem regulatorju. To je hitrostna turbinska regulacija.

Če pa odpremo ventil (30) in priklopimo tipalo za tlak (29), bo vtočni ventil naravnal tolikšno količino pare, da bo vtočni tlak pare konstanten. To je tlačna turbinska regulacija. Ker deluje v tem primeru hitrostni turbinski regulator samo kot mejni regulator za primer prekinutve obremenitve, moramo seveda drugače skrbeti za konstantno vrtlino hitrost turbine.

Regulacija zagonske posode sestoji iz štirih elementov, ki so v shemi na sliki 3 označeni s 37 do 40. Tipalo (37) meri tlak v zagonski posodi in daje impulz, da pride skozi dotočni ventil (38) toliko pare, da je tlak konstanten. Če pa prične tlak v zagonski posodi naraščati zaradi dotoka pare n. pr. skozi obvodni ventil (26), pa se zaradi impulza tipala (37) odpre odtočni ventil (39) in odvaja odvečno paro v posebno napravo (41), imenovano saksofon. Tu odvečno paro ekspanziramo in ohlajamo toliko, da potem ne moti normalnega obratovanja kondenzatorja (32). Vbrizgalni ventil (40) pa skrbi, da prideka iz zagonske posode za hlajenje potrebna količina vode.

Če gledamo obratovanje pogonskega bloka z energijskega vidika, vidimo, da obstajata dve možnosti medsebojne odvisnosti med dovedeno količino goriva ter odvedeno električno energijo. Pri prvem načinu, ko pogonski blok samostojno napaja svoje električno omrežje, mora tudi sam skrbeti, da je frekvenca konstantna. Drugi način pa je takšen, da določeni pogonski blok pošilja proizvedeno električno energijo v večje omrežje in mu pri tem ni treba obenem skrbeti za konstantnost frekvence.

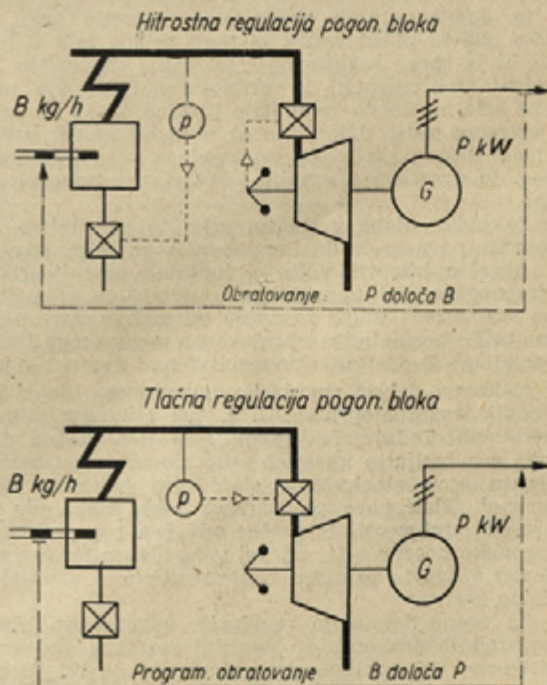


Sl. 4. Nastavitev glavnega parnega ventila, obvodnega ventila in varnostnih ventilov

Ustrezno tema dvema obratovalnima primeroma sta znana tudi dva načina za povezavo regulacije parnega kotla s turbinsko regulacijo.

Pri prvem načinu mora delovati hitrostna turbinska regulacija, ki določa frekvenco sistema. Turbina pa terja od kotla toliko pare, kolikor ustreza električni obremenitvi omrežja. Regulacija parnega kotla ima nalogo, da z vplivom na količino goriva dosega zahtevano količino pare pri konstantnem tlaku in temperaturi pare. Zato imenujemo tak način regulacije pogonskega bloka tudi kuriščno regulacijo bloka, čeprav je označba hitrostna regulacija bloka ustrenejša. Po tem načinu obratuje pogonski blok normalno vsakokrat tako dolgo, dokler ga ne sinhroniziramo in priklopimo paralelno na omrežje.

Pri drugem načinu obratuje turbina s tlačno regulacijo. Če povečamo dovedeno količino premoga, se poveča tudi količina proizvedene pare. Da bi ostal tlak pare konstanten, se mora turbinski vtočni ventil bolj odpirati in zato moč turbine raste. Tlačna turbinska regulacija naravnava obratovalni tlak tako, da je njegov iznos med tlakom, pri katerem se odpre glavni parni ventil, ter tlakom, pri katerem se odpre obvodni ventil. Pri tem načinu je torej primarno, da narav-



Sl. 5. Hitrostna in tlačna regulacija pogonskega bloka

navamo količino goriva. Za pravilno zgorevanje skrbi potem polavtomatična regulacija zgorevanja. Za vse ostalo, razen za tlak pare, pa skrbi interna regulacija parnega kotla. Opisani način regulacije celotnega bloka imenujemo kratko tlačno regulacijo bloka. Oba načina sta shematično prikazana na sl. 5.

TE Šoštanj obratuje po navadi po opisanem drugem načinu. Temu načinu tudi najbolj ustreza uporabljen polavtomatična regulacija zgorevanja. Tlačna regulacija bloka omogoča tudi, da obratujemo, tako kakor je v skladu s predpisanim planom proizvodnje električne energije. Ker ostaja pri takem načinu obratovanja obremenitev parnega kotla dalj časa konstantna, je mogoče naravnati zgorevanje najbolj optimalno. TE Šoštanj ima zaradi takega načina obratovanja, zaradi uporabe vispokrtačne in močno pregrete pare ter zaradi uporabe regenerativnega gretja napajalne vode zelo ugodno neto specifično porabo toplote (pod 3 100 kcal/kWh pri polni obremenitvi bloka).

ZAGON PARNEGA KOTLA

Ce hočemo izvesti zagon, napolnimo najprvo ves cevni sistem parnega kotla z napajalno vodo in jo nato z napajalko poženemo v prislinski obtok. Ta obtok se sklone iz parnega kotla preko obvodnega ventila v zagonsko posodo ter od tam z napajalko zopet v parni kotel. Obtočna količina vode znaša okrog 60 t/h. Nato prižgemo najprej gorilnike za nafto, nato pa približno po pol uri postopoma najprvo dva gorilnika za lignitni prah. Skrb za pravilno zgorevanje prevzema polavtomatična regulacija zgorevanja.

V skladu z večanjem toplotne moči kurišča prehaja voda postopoma preko raznih faz mešanice vode s paro v suho nasičeno paro ter nato dalje v vedno bolj pregreto paro. Pri tem tlak in temperatura pare zvezno naraščata, dokler ne prične delovati interna regulacija parnega kotla. Med dobo kurjenja proizvedeno paro z neustreznim pregretjem in tlakom, ki se nabira v parnem prostoru zagonske posode, odvajamo preko saksofona v kondenzator, za kar skrbi že opisana regulacija zagonske posode.

Kakor hitro naraste tlak na okrog 102 atn, prične regulirati obvodni ventil in drži konstanten tlak pare. Ko pa dosežemo tudi predpisano pregrete pare, se sprosti glavni parni ventil in para prične teči v turbino, ki je sprva regulirana s hitrostno regulacijo. Po izvedeni sinhronizaciji in priklupu na omrežje preidemo šele na tlačno regulacijo turbine, ki se naravnava na ustrezno nižji tlak. Zato se obvodni ventil zapre, od tedaj dalje pa teče vsa proizvedena para v turbino. S tem je doseženo normalno obratovanje pogonskega bloka.

Zakurilna doba v našem primeru ni odvisna od delovanja parnega kotla in njegove regulacije, temveč od največje hitrosti večanja toplotne moči kurišča, ki je mogoča. Pri uporabljenem lignitu je zakurilna doba razmeroma dolga in znaša od prižiga gorilnikov za nafto do normalnega obratovanja pogonskega bloka pri približno 50-odstotni obremenitvi nad dve uri in pol.

Kako pa deluje regulacija pogonskega bloka pri nenadnih razbremenitvah, t. j. pri odklopu stikala generatorja? Tedaj začne takoj delovati hitrostna turbinska regulacija in naravna neobremenjenemu turboagregatu dovolj stacionarno stanje pri nekoliko višji frekvenci. Tlak pare pa narašča tako dolgo, da se odpre obvodni ventil in prične odvečnata para odtokati v zagonsko posodo ozir. naprej v kondenzator. Seveda je treba v takem primeru čimprej ustrezno zmanjšati količino goriva.

Za oceno delovanja regulacije pogonskega bloka pri nenadnih odklopih so značilni rezultati zadnjih preizkusov. Pri odklopu generatorja, ko je bil turboagregat obremenjen z 20 MW, se je obvodni ventil odpiral 11 sekund ter je pri tem narasel tlak pare do 112 atn. Varnostni ventili, ki so naravnani na 115 atn,

se tedaj sploh niso odprli. Pri odklopu 30 MW pa se je obvodni ventil odpiral okrog 15 sekund in so bili vsi trije varnostni ventili odprti okrog 5 sekund, medtem ko so bili po skupno 15 sekundah vsi varnostni ventili zopet zaprti.

Ker zagonska posoda in kondenzator nista sposobna, da bi dalj časa prevzemala velike količine pare in da ne bi bilo nepotrebnih izgub, je v takih primerih treba čimprej ustrezno zmanjšati količino goriva.

PREVZEMNI PREIZKUSI

Prevzemni preizkusi obeh parnih kotlov, Sulzer I in Sulzer II, so imeli namen, ugotoviti za vsakega izmed njih, koliko ustreza s pogodbo zajamčenim obratovalnim vrednostim, t. j. da bi pri uporabi velenjskega lignita dajali pregreto paro pri tlaku 100 atn in temperaturi 515 °C ter dosegali naslednje izkoristke:

pri količini pare	100	125 t/h
zajamčeni izkoristek	86	85 %

Z vsakim parnim kotlom so bili izvedeni: dva garancijska preizkusa pri količini pare 125 in 100 t/h, dva informativna preizkusa pri količini pare 80 in 40 t/h ter polurni preizkus pri količini pare 135 t/h. Razen tega je bil s parnim kotlom Sulzer I izveden še vnaprejšnji preizkus z namenom, da se izvezbajo odčitatelji merilnih instrumentov.

Preizkusi parnih kotlov so bili izvedeni po: pravilih VDI za prevzem parnih kotlov (DIN 1942), pravilih VDI za pretočna merjenja (DIN 1952) in po pravilih VDI za temperaturna merjenja (DIN 1953).

Da bi pridobili zanesljive merilne rezultate, je bilo poprej dogovorjeno, da bo izkoristek pri garancijskih preizkusih razen po direktni metodi določen tudi po indirektni metodi. Tega ni vsebovala stara izdaja ustreznih pravil, pač pa je dopustna uporaba indirektnih metode v novi izdaji (I. 1956). Pri preizkusih so bile zato merjene vse tiste veličine, ki so potrebne za določitev izkoristka po obeh metodah. Merjenje je bilo izvedeno s kontrolnimi merilnimi instrumenti, ki so bili za preizkuse posebej vgrajeni na ustrezna merilna mesta.

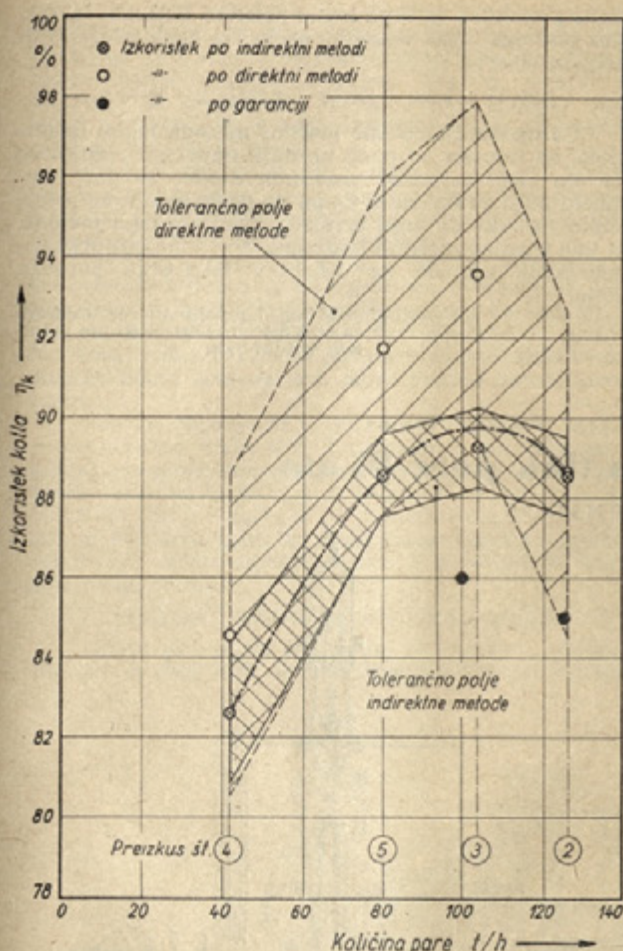
MERILNE OKOLIŠČINE PREIZKUSOV

Količino premoga, ki je bil porabljen med garancijskimi preizkusi, smo določili s tračno tehtnico nad bunkerji, ki je bila uradno umerjena posebej za prevzemne preizkuse. Ob začetku in koncu preizkusov sta morala biti izravnani premoški v vsakem bunkerju in izmerjena vertikalna razdalja od roba nasipalne tribune vrh bunkerjev do izravnane premoga v bunkerjih. S pomočjo teh razdalj smo potem volumetrično korigirali količino porabljenega lignita.

Pri preizkusih s 40 in 80 t/h pare smo ugotovili količino porabljenega premoga s pomočjo izmerjene hitrosti tračnih dodelilnikov za posamezne mline in ustrezne odvisnosti od količine dovedenega premoga, ki smo jo številčno ugotovili pri garancijskih preizkusih.

Glavni vzorec za določitev elementne analize in določitev spodnje kalorične vrednosti je bil odvzet na koncu poševnega traka. Prav tam so bili odvzeti tudi vzorci za določanje povprečne vlage, na katero so bili potem preračunani podatki o premogu. Spodnjo kalorično vrednost ter elementno analizo pri preizkusih uporabljenega lignita sta določila Kemični inštitut »Boris Kidrič« ter kemični laboratorij TE Šoštanj.

Količino pregrete pare smo določili s kontrolnim diferenčnim manometrom, ki je bil priključen na Venturijev vložek, na katerega je priključen tudi obratni merilnik količine pare. Stanje pare na mestu merilnega vložka smo ugotovili s kontrolnim manometrom, ki je meril tlak pare pred vložkom, in s pomočjo temperature pare, merjene pri izstopu iz kotla, seveda z upoštevanjem ustreznega temperaturnega padca.



Sl. 6. Diagram izkoristka za parni kotel Sulzer I.

S pristankom dobavitelja so med prevzemnimi preizkusi obratovali parni kotli z zaprtimi odvodniki kala, kar pomeni, da se je vsa napajalna voda tudi uparjala. Ta količina je bila uporabljena za drugo kontrolno merjenje količine pare ozir. vode.

Izgore v kurišču smo ugotovili volumetrično, leteči pepel na šestih posameznih mestih v toku dimnih plinov pa smo ugotavljali s tehtanjem pepela, ki se je v določenem času nabral na vsakem izmed njih. Količine letečega pepela smo potem kontrolirali z bilanco čistega pepela.

Vse merilne instrumente smo med preizkusi odčitavali vsakih 15 minut, medtem ko smo vzorec za analizo po Orsatu odzvali vsakih 30 minut.

REZULTATI PREVZEMNIH PREIZKUSOV

Preizkusi so pokazali, da je mogoče trajno obratovati s parnim kotlom pri minimalni obremenitvi 40 t/h, in sicer le z dvema mlinoma. Prav tako so bili izvedeni preizkusi pri obremenitvi 80 t/h le z dvema mlinoma. Nadalje je bilo ugotovljeno, da je mogoče trajno obratovati pri obremenitvi 100 in 125 t/h tudi le s tremi mlini, doseči 135 t/h pa le s štirimi mlini.

Iz odčitkov na instrumentih pri preizkusih so bile nato izračunane povprečne vrednosti, iz teh pa določena izkoristka po obeh metodah. Ker imata oba parna kotla v bistvu podobne obratovalne lastnosti, bo v naslednjem priobčen pregled glavnih rezultatov prevzemnih preizkusov samo za parni kotel Sulzer I:

Preizkus št.:	2	3	4	5
obremenitev	t/h 125,9	103,9	42,1	80,3
število delujočih mlinov	—	4	2	2
datum preizkusa	26.10.56	27.10.56	28.10.56	28.10.56
trajanje preizkusa	ur 7,5	7	6	6
Gorivo: velenjski lignit				
vлага	% 43,4	44,6	44,2	40,6
pepel	% 11,0	10,6	12,2	10,6
H ₈₀	kcal/kg 2 401,5	2 342,5	2 287	2 584
Zgorevalni zrak:				
temperatura svežega zraka	°C 44,3	44,7	41,2	41,5
temperatura segretega zraka	°C 249,9	233,5	217,7	221,3
Napajalna voda:				
tlač	atn 143,4	130,3	105,3	116,0
temperatura	°C 189,2	182,1	183,1	179,4
Para:				
količina	kg/h 125 857	103 857	42 074	80 307
tlač	atn 100,3	99,5	99,1	99,3
temperatura	°C 519,9	520,4	474,2	499,9
Dimni plini: izstop				
temperatura	°C 186,4	179,8	178,5	175,3
CO ₂	% 14,6	14,7	9,9	15,1
Izgube:				
neizgoreno v izgorkih	% 1,35	0,81	1,86	1,36
neizgoreno v plinih	% 0,18	0,16	1,86	1,36
dimnične izgube	% 9,18	8,85	12,14	8,28
toplota izgorkov	% 0,01	0,01	0,05	0,02
žarčilne izgube	% 0,75	0,93	2,05	1,18
nestacionarnost stanja	% —	—	—	0,50
Izkoristek:				
po indirektni metodi	% 88,58	89,24	82,60	88,56
po garanciji	% 85,0	86,0	—	—
po direktni metodi	% 88,59	93,58	94,56	91,77

MERILNE TOLERANCE IN PROUCITEV MERILNIH REZULTATOV

Iz pregleda merilnih rezultatov je razvidno, da so bili ugotovljeni pri obeh garancijskih preizkusih in po obeh metodah boljši izkoristki parnega kotla Sulzer I, kakor so bili zajamčeni. Medtem ko sta dali indirektna in direktna metoda za določitev izkoristka le pri preizkusu št. 2 skoraj enaka rezultata, smo dobili pri ostalih preizkusih po direktni metodi boljše izkoristke, pri preizkusu št. 3 celo nad 4 odstotke. Od kod tolikšna neskladnost?

Najprvo smo menili, da so rezultati direktne metode verjetno napačni, ker je bilo določanje teže porabljenega goriva zelo težavno. Katere rezultate naj torej upoštevamo kot pravilne v primerih, ko dobimo po direktni in indirektni metodi različne izkoristke?

Odgovor na ta vprašanja bo dal študij merilnih toleranc. Po navodilu v pravilih VDI za parne kotle (DIN 1942), izdaja 1956, smo izračunali ustrezne merilne tolerance za indirektno in direktno metodo za določitev izkoristka in dobili:

preizkus št.:	2	3	4	5
toleranca				
indirektna metoda	±% 0,97	0,99	1,77	1,01
toleranca				
direktna metoda	±% 4,07	4,29	4,03	4,17
stvarni izkoristek	% 88,53	89,76	82,60	88,56

V diagram na sliki 6 so vneseni izkoristki po obeh merilnih metodah, kakor tudi ustrezne merilne tolerance. Tako smo prišli do tolerančnih polj verjetnih izkoristkov. V diagramu je nazorno prikazano, da je tolerančno polje indirektnih metode povsem prekrito s tolerančnim poljem direktne metode pri preizkusih št. 2, 4 in 5, medtem ko se pri preizkusu št. 3 obe tolerančni polji prekrivata le deloma.

Logično je, da kažejo predeli, v katerih se obe tolerančni polji prekrivata, območje izkoristkov z dvojno verjetnostjo. V tem predelu tolerančnih polj je torej stvarni izkoristek preizkušenega parnega kotla.

Iz navedenega izhaja, da imamo lahko povsem upravičeno izkoristek, določen po indirektni metodi pri preizkusih št. 2, 4 in 5, že za dejanski izkoristek. V pri-

meru preizkusa št. 3 pa bomo poiskali dejanski izkoristek parnega kotla v sredini prekritja obeh tolerančnih polj, in sicer:

$$[(89,24 + 0,99) + (93,58 - 4,29)] : 2 = 89,76 \%$$

Če uporabljamo obe merilni metodi, lahko ugotovimo, da nobena od obeh ne daje napačnih rezultatov (če sta sicer izvedeni pravilno), dokler se obe tolerančni polji prekrivata. Če pa do prekrivanja ne pride, lahko rečemo, da daje ustrezne rezultate tista metoda, ki ima manjšo merilno toleranco, t. j. v našem primeru indirektna metoda za določitev izkoristka parnega kotla.

Avtor: prof. ing. Leopold André, Oddelek za strojništvo elektro-strojne fakultete v Ljubljani

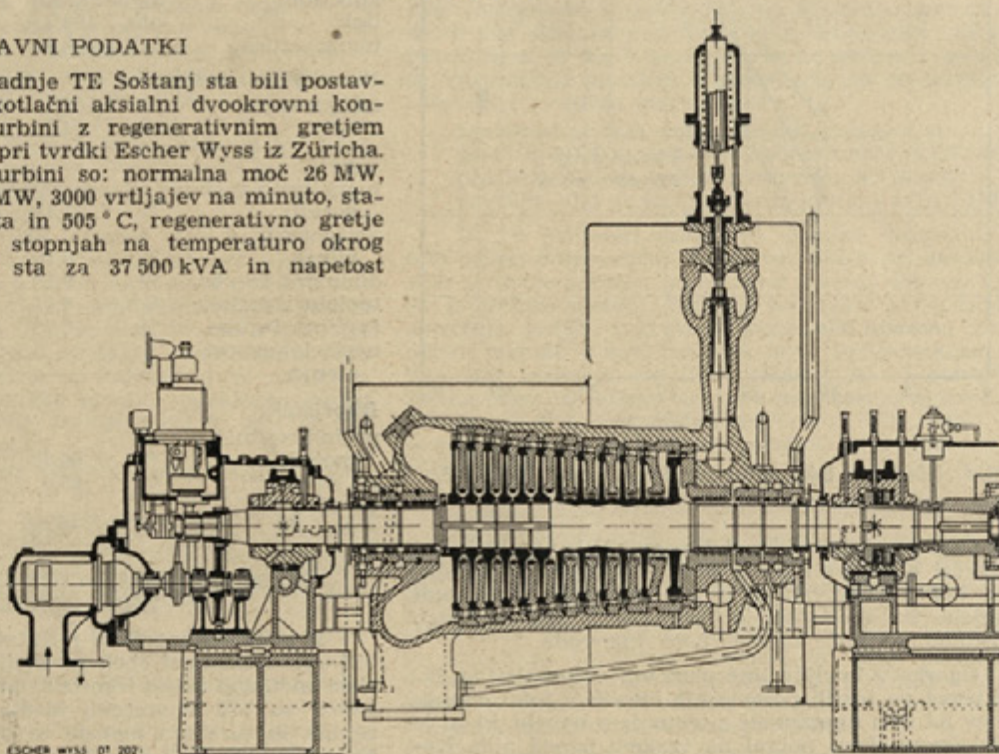
DK 621.165(497.12)

Turbini TE Šoštanj na tlak pare 95 ata

BORIS ČERNIGOJ

GLAVNI PODATKI

V prvi fazi izgradnje TE Šoštanj sta bili postavljeni dve enaki enakotlačni aksialni dvookrovni kondenzacijski parni turbini z regenerativnim gretjem kondenzata, izdelani pri tvrdki Escher Wyss iz Züricha. Glavni podatki za turbini so: normalna moč 26 MW, maksimalna moč 30 MW, 3000 vrtljajev na minuto, stanje sveže pare 95 ata in 505 °C, regenerativno gretje kondenzata v štirih stopnjah na temperaturo okrog 190 °C. Generatorja sta za 37 500 kVA in napetost



Sl. 1 a. Visokotlačni del dvookrovne parne turbine Escher Wyss za 30 MW iz TE Šoštanj v prerezu
Tlak pare 95 ata, temperatura 505 °C. Stirje odcepi za regenerativno gretje napajalne vode

10 500 V. Izdelalo ju je podjetje Oerlikon iz Züricha. Sedaj, ko je dokončana šele prva faza izgradnje te elektrarne, krijeta ti dve turbini v glavnem le temeljno obremenitev; ko pa bo dograjena še druga faza te elektrarne z eno 60 MW enoto, bosta ti dve turbini v veliki meri pritegnjeni za kritje konic. Ker sta obe turbini z vso ostalo opremo med seboj povsem enaki, bo v nadaljevanju govora le o eni.

OPIS TURBINE

Turbina ima dva okrova. V visokotlačnem okrovu je regulacijska stopnja z dvoventnim Curtisovim kolesom in za njo 11 navadnih enakotlačnih stopenj, v nizkotlačnem okrovu pa je osem enakotlačnih stopenj. Velik entalpijski padec in ne ravno najboljši vakuum

(nad 0,065 ata), ki gre na rovaš neugodnih vodnih razmer v Šoštanju, sta omogočila izvedbo nizkotlačnega okrova za nedeljeni tok.

Visokotlačni okrov je iz molibdenske jeklene litine, nizkotlačni pa v sprednjem delu iz jeklene litine in v zadnjem iz sive. Podobno je s pregradami. Prve so iz molibdenske litine, srednje iz jeklene in zadnje iz posebne sive litine.

Tesnjenje je v celoti izvedeno z labirinti. Pri temperaturah nad 420 °C so tesnilke grafitne labirintne (patent Escher Wyss), pod to temperaturo pa navadne z grebeni iz posebnega bronu. Tudi v pregrade so vloženi segmenti z grebeni za tesnjenje.

Turbini imata po dva vzporedna glavna vstopna ventila. Tako je mogoče preskusiti posamezen ventil na