

8. GARANTNA MJERENJA KOTLA

8.1 Standard

Standardom **JUS M.E2.203 (1980)** definiraju se postupci za termotehnička ispitivanja parnih kotlovskih postrojenja čiji je tlak na kraju parnog trakta iznad 2,5 bar. Termotehnička ispitivanja po odredbama ovog standarda vrše se u cilju utvrđivanja termotehničkih karakteristika novih ili rekonstruiranih kotlovskih postrojenja na mjestu upotrebe.

Osnovne karakteristike koje se utvrđuju po ovom standardu su:

- stanje proizvedene pare (tlak, temperatura, vlažnost zasićene pare)
- čistoća pare pri predviđenim osobinama kotlovske i napojne vode
- proizvodnja pare kotlovskog postrojenja
- stupanj iskoristivosti kotlovskog postrojenja pri određenim opterećenjima (izmjereno prema direktnoj ili indirektnoj metodi)
- ukupni pad tlaka i pojedinačni padovi tlaka od ulaza napojne vode do izlaza pare iz pregrijača i hladnjaka pare
- potreban tlak u napojnom cjevovodu neposredno iza ventila regulatora napajanja
- podtlak u međupregrijaču, uključujući hladnjak međupregrijane pare
- potreban uzgon pri određenim opterećenjima, definiran podacima proizvođača
- tlak zraka za izgaranje na odgovarajućim mjestima kotlovskog postrojenja pri određenim opterećenjima, prema podacima proizvođača
- protok i pregrijanje pare u međupregrijaču
- protok i tlak vode za ubrizgavanje, pri predviđenoj temperaturi
- vlastita potrošnja pomoćnih strojeva i uređaja

Za vrijeme termotehničkih ispitivanja po ovom standardu mogu se vršiti i mjerenja raznih veličina čije vrijednosti služe za opću procjenu postrojenja, i to:

- tlak i temperatura vode i pare na raznim mjestima
- tlak, temperatura i brzina (ili količina) zraka na raznim mjestima zračnog trakta
- tlak, temperatura, brzina (ili količina) i sastav dimnih plinova na raznim mjestima dimnog trakta

Osim navedenih veličina, mogu se ispitati i pogonski mjerni instrumenti, pogonski kontrolni instrumenti, kao i uređaji za reguliranje.

8.2 Osnovni pojmovi i definicije

Kotlovsko postrojenje – postrojenje sastavljeno iz osnovnog i pomoćnog dijela postrojenja.

- *Osnovni dio kotlovskog postrojenja* – kotao koji neposredno sudjeluje u procesu pretvaranja energije izgaranja goriva ili drugih energetske izvora u toplinsku energiju
- *Pomoćni dio kotlovskog postrojenja* – strojevi i uređaji koji osiguravaju rad osnovnog dijela kotlovskog postrojenja

Nazivni parametri i veličine stanja kotlovskog postrojenja – veličine pri najvećem trajnom kapacitetu, i to:

- *nazivna proizvodnja pare* ili *nazivna proizvodnja topline*, mjerena na kraju trakta

svježe i međupregrijane pare

- *nazivni tlak i temperatura svježe pare*, mjereni neposredno na izlazu iz pregrijača
- *nazivni tlak i temperatura međupregrijane pare*, mjereni neposredno na ulazu i izlazu iz međupregrijača
- *nazivna temperatura napojne vode*

Dozvoljeni parametri kotlovskeg postrojenja – najviši tlak i temperatura vode i pare s kojima kotlovske postrojenje može raditi u eksploataciji.

Radni tlak uređaja – stvarni tlak pod kojim se nalazi vodena para u uređaju, a on je jednak ili niži od najvišeg dopuštenog radnog tlaka.

Najviši dopušteni radni tlak uređaja - najveći tlak vodene pare sa kojim uređaj smije raditi.

Radna temperatura - stvarna temperatura koju vodena para ima u uređaju.

Najviša dopuštena radna temperatura - najviša temperatura vodene pare s kojom uređaj smije raditi, a određena je kvalitetom materijala i geometrijskim karakteristikama zidova uređaja.

Toplinski kapacitet kotla - količina topline predane napojnoj vodi i pari u jedinici vremena.

Proizvodni kapacitet kotla - masa vodene pare određenih izlaznih veličina stanja, proizvedene u jedinici vremena.

Najveći trajni kapacitet kotla - najveći kapacitet koji kotao može dati u trajnom pogonu.

Stupanj iskoristivosti (η_k) odnosno priraštaja toplinskog sadržaja prijemnika topline u vodeno-parnom traktu i količine topline unijete iz stranih izvora u ložište.

8.3 Pripreme za ispitivanje

Korisnik kotlovskeg postrojenja dužan je organizaciji registriranoj za ispitivanje parnih kotlovskeg postrojenja staviti na raspolaganje sljedeće podatke:

- firmu, odnosno naziv proizvođača
- godinu gradnje postrojenja
- tvorničke brojeve postrojenja i uređaja
- vrstu i karakteristike goriva
- tip kotla, tip rešetke, odnosno mlina, broj mlinova i njihov kapacitet
- podatke o proizvodnji pare: najveća proizvodnja na bazi vremena, najveća trajna, tehnički minimum i najmanja trajna
- radni tlak vode za napajanje i tlak pare na izlazu iz pregrijača
- temperaturu svježe pregrijane i naknadno pregrijane pare, vode za ubrizgavanje i vode za napajanje
- ogrjevne površine kotla
- tip gorionika

Proces rada kotlovskeg postrojenja u toku ispitivanja vodi osoblje proizvođača ili organizacije koja vrši ispitivanje, a koje je prethodno upoznato sa planom ispitivanja i mjerenja.

Prije početka ispitivanja mora se izvršiti sljedeće:

- očistiti sve ogrjevne površine
- u svim cjevovodima i ventilima za zatvaranje osigurati dobro brtvljenje kako bi se otklonile greške pri mjerenju količina
- sve cjevovode koji se ne koriste osigurati slijepim prirubicama, ako se to ne može sprovesti, vršiti stalan nadzor
- izvršiti regulaciju gorionika i mlinova
- dijelovi kotlovskeg postrojenja koji su izloženi habanju (udarna tijela mlina, ventilatori i dr.) moraju se nalaziti u stanju koje ne smanjuje kapacitet i stupanj iskoristivosti kotlovskeg postrojenja
- osigurati pravodobno dovoljne količine ispravnog goriva

Ispitivanje kotlovskeg postrojenja vrši se u stacionarnom stanju.

Smatra se da je nastupilo stacionarno stanje ako je kotlovske postrojenje radilo najmanje tri sata s ustaljenim parametrima. Dozvoljena odstupanja parametara, zbog pogonskih uvjeta, dana su u tablici 1. Za vrijeme ispitivanja kontrolira se održavanje stacionarnog stanja.

Stupanj iskoristivosti se određuje direktnom ili indirektnom metodom (poglavlje "[Toplinska bilanca kotla](#)").

Tablica 1

PARAMETAR	Najveći trajni kapacitet kotla kg/s	Dozvoljeno odstupanje srednjih vrijednosti parametara od nazivnih	Dozvoljeno kolebanje parametara u odnosu na srednju vrijednost
Kapacitet kotla	do 50 iznad 50	$\pm 3,0$ $\pm 3,0$	$\pm 6,0$ $\pm 3,0$
Tlak pregrijane pare	do 50 iznad 50	$\pm 5,0$ $\pm 5,0$	$\pm 4,0$ $\pm 3,0$
Temperatura svježe i međupregrijane pare	Svi kotlovi	$\pm 2,0$	$\pm 5,0$
Temperatura izlaznih dimnih plinova	Svi kotlovi	-	$\pm 5,0$

8.4 Oprema za ispitivanje i postupak mjerenja

Opći uvjeti

Mjerni instrumenti koji se upotrebljavaju pri ispitivanju moraju biti baždareni prije upotrebe.

Za vrijeme termotehničkih ispitivanja mogu se upotrebljavati samo takvi mjerni instrumenti čije se pokazne vrijednosti mogu kontrolirati, a čija je preciznost poznata na osnovi krivulja za baždarenje. Pored pokaznih instrumenata, mogu se paralelno upotrijebiti i registrirajući instrumenti. Prilikom ispitivanja očitavanja se vrše istovremeno (npr. na osnovi svjetlosnih ili zvučnih signala).

Mjerenje tlaka

Za mjerenja tlakova iznad 2,5 bar koriste se precizni manometri s dvije opruge (tzv. "kontrolni manometri"). Točnost ovakvih manometara mora odgovarati zahtjevima organizacije ovlaštene za kontrolu mjera. Prije ispitivanja manometri se moraju prekontrolirati pomoću vage za baždarenje, i to pri povišenju i pri sniženju tlaka. Greške ustanovljene na ovaj način se unose u krivulju grešaka iz koje se vidi područje odstupanja.

Tlakovi ispod 2,5 bar mjere se otvorenim manometrima sa živom ili instrumentima za mjerenje vakuuma sa živom.

Barometarski tlak se mjeri barometrom sa živom ili se mogu koristiti podaci meteorološke službe u mjestu gde se nalazi kotlovska postrojenje.

Vrlo niski tlakovi i razlike u tlakovima mjere se mikromanometrima ili U-cijevima s tekućinom za punjenje koja ima manju specifičnu masu od žive (voda, acetilen-tetrabromid, bromoform, tetraklor-ugljik, alkohol, ksilol i sl.)

Mjerenje temperature

Za mjerenje temperatura koriste se:

- termometri sa živom
- otporni termometri
- termoelementi
- optički pirometri

Izbor odgovarajućih instrumenata zavisi od vrijednosti temperature koja se mjeri, zadate točnosti i osjetljivosti pokazivanja, kao i od mogućnosti postavljanja odgovarajućih instrumenata.

Ako se pri mjerenju temperature dimnih plinova i zraka na raznim mjestima istog presjeka istovremeno dobiju različite vrijednosti temperatura, mora se ispitati da li su ove razlike temperatura dopustive za izračunavanje stupnja iskoristivosti. U protivnom, srednja vrijednost temperature se određuje mrežastim mjerenjem tako da se mjerni presjek podijeli na n pogodno izabраниh djelomičnih presjeka, pa se za svaki od takvih djelomičnih presjeka mjeri brzina i temperatura. Tražena srednja vrijednost temperature t_m izračunava se pomoću izraza:

$$t_m = \frac{\sum_1^n (v_i f_i t_i)}{\sum_1^n (v_i f_i)}$$

gdje su:

v_i	$[\frac{m}{s}]$	- brzina
t_i	$[^{\circ}K]$	- izmjerena temperatura u djelomičnom presjeku
f_i	$[m^2]$	- djelomični presjek
n	$[-]$	- broj djelomičnih presjeka f_i

Mjerenje količine pare i tekućine

Količina pare se mjeri metodom prigušivanja pomoću mlaznica, venturijevih mlaznica ili prigušnica.

Količina vode za napajanje, vode za ubrizgavanje, odmuljne vode, vode za hlađenje ili za kotlovska postrojenja s loženjem tekućim gorivom određuje se mjerenjem protoka, mjerenjem pomoću vaga ili mjerenjem volumena.

Pri mjerenju protoka, ako automatska regulacija nivoa vode dovodi do takvih oscilacija tlaka da se preciznost mjerenja dovodi u pitanje, preporučuje se ručno reguliranje.

Mjerenje količine goriva

Pri primjeni direktne metode za određivanje stupnja iskoristivosti, količina čvrstog goriva mjeri se vagom.

Količina tekućeg goriva mjeri se po postupku datom u opisu mjerenja količine pare i tekućine.

Količine plinova mjere se pomoću prigušnih elemenata ili mjerenjem srednje brzine.

Za mjerenje metodom prigušivanja treba koristiti prigušne elemente sa što manjim padom tlaka (venturijeve cijevi, Schmidtov mjerač). Za mjerenje srednje brzine najpogodnija je Prandtlova cijev. Brzina se mjeri mrežasto.

Mogu se upotrijebiti i baždareni mjerači količine plina (plinomjeri).

Mjerenje pepela i šljake

Određivanje mase i uzimanje uzoraka pepela vrši se na isti način kao i kod čvrstih goriva.

Mjerenje dimnih plinova

Za vrijeme ispitivanja dimnih plinova uzimaju se uzorci dimnih plinova u ravnomjernim razmacima i određuje njihov sastav. Za izračunavanje gubitka fizičke topline izlaznih dimnih plinova i gubitka topline uslijed nepotpunog izgaranja mjere se temperatura i sastav dimnih plinova iza izlazne ogrjevne površine, odnosno na kraju kotla.

Analiza dimnih plinova - sadržaj CO_2 i $(CO_2 + O_2)$ [%] - vrši se prekontroliranim analizatorom dimnih plinova (ranije Orsatovim aparatom).

8.5 Postupak ispitivanja

Trajanje ispitivanja

Pri primjeni direktne metode, ispitivanja moraju trajati najmanje šest sati. Za kotlove s tekućim odvođenjem šljake ispitivanja moraju biti i duža, a isto tako i pri nižim opterećenjima s obzirom na preciznost mjerenja.

Pri primjeni indirektno metode četiri sata su dovoljna za svako opterećenje koje treba ispitati.

Ispitivanja koja služe samo kao dokaz ili provjera najveće trajne proizvodnje moraju po postizanju stacionarnog stanja trajati najmanje dva sata.

Intervali očitavanja

Vremenski razmaci očitavanja se biraju tako da omogućuje da se s potrebnom sigurnošću sagledaju kolebanja mjernih vrijednosti. Za mjerenje protoka su dovoljni intervale očitavanja od 3 minute, za mjerenje tlaka i temperature od 5 do 10 minuta, a za uzimanje uzoraka i analize dimnih plinova potrebno je 10 do 15 minuta.

Pri direktnom određivanju stupnja iskoristivosti potrebno je, ukoliko je to moguće, istovremeno vršiti očitavanje svih mjerenja količina, kako početnih, tako i završnih. Prilikom izračunavanja rezultata odstupanja se uzimaju u obzir.

Stanje na početku i na kraju ispitivanja

Na početku i na kraju ispitivanja moraju se podudarati nivo vode u bubnju, tlak pare, protok pare i vode za napajanje, kao i svi uvjeti izgaranja.

Za ložišta s rešetkom, pri korištenju direktne metode određivanja stupnja iskoristivosti, moraju biti iste zalihe goriva na rešetki, na početku i na kraju ispitivanja.

8.6 Točnost mjerenja

Pogreškom mjerenja, u smislu ovog standarda, smatra se najveće očekivano odstupanje od stvarne vrijednosti, nastalo pri pažljivom mjerenju. Pogreške pri mjerenju obuhvaćaju samo rasipanja vrijednosti mjerenja podvrgnutih slučaju, kao i granice pogrešaka mjernih instrumenata, a ne jednostrane sistematske pogreške. **Smatra se da kotlovsko postrojenje ima karakteristike prema podacima proizvođača ako su utvrđena odstupanja iz izmjerenih i u podacima navedenih vrijednosti jednaka ili manja nego procijenjene pogreške pri mjerenju koje se mogu izračunati iz pojedinih pogrešaka pri mjerenju.**

8.7 Obrada podataka i rezultati ispitivanja

Aritmetička sredina svih mjernih veličina dobije se na osnovu veličina očitanih za vrijeme ispitivanja. Ova vrijednost služi kao osnova za daljnja izračunavanja.

O rezultatima ispitivanja sastavlja se pismeni izvještaj. Uz izvještaj se prilaže shema kotlovskog postrojenja s označenim mjernim mjestima, kao i spisak mjernih veličina s opisom i karakteristikama instrumenata upotrebljenih za mjerenje. U izvještaju se posebno naznačuju, pored dobivenih srednjih vrijednosti, najveće i najmanje očitane vrijednosti.