

TOPLINSKA IZOLACIJA GENERATORA PARE NA DRVNU SJEČKU

TERMAL INSULATION OF WOOD CHIPS POWER PLANT

Mladen Bošnjaković¹, Ivan Hećimović², Marinko Stojkov³

¹Tehnički odjel, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Trg Ivane Brlić Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska

²Duro Đaković Montaža-Izolak, d.o.o., Dr. Mile Budaka 1, student

³Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Trg Ivane Brlić Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska

Ključne riječi: generator pare, gubici topline, toplinska izolacija, termografija

Key words: heat generator, heat losses, insulation installation, thermography

Sažetak: U industriji se koriste velike količine toplinske energije koju proizvode različite vrste generatora pare. Jedan dio proizvedene topline iz generatora pare odlazi u okolinu i na taj način čini gubitke energije. Toplinskom izolacijom generatora pare, pravilno proračunatom i postavljenom, se smanjuje taj gubitak topline te se povećava stupanj korisnosti generatora pare. To nadalje znači manju potrošnju goriva što osim ekonomski koristi implicira i manju emisiju CO₂ i čestica u okoliš. Ovim radom je opisan postupak projektiranja izolacije, izvođenja radova na generatoru pare te na kraju kontrola izvedenih radova termografskim snimanjem generatora pare.

Abstract: The industry uses large amounts of thermal energy produced by different types of steam generators. One part of the produced heat by the steam generator goes to the environment and thus makes energy losses. Thermal insulation of the steam generator, properly calculated and installed, reduces this heat loss and increases the efficiency of the steam generator. This further means lower fuel consumption, which in addition to economic benefits implies lower emissions of CO₂ and particles into the environment. This paper describes the process of designing insulation, performing work on the steam generator and finally the control of the work performed by thermographic imaging of the steam generator.

1 UVOD

Potrošnja energije u današnje vrijeme je u znatnom porastu u svijetu. Uz zgradarstvo i promet veliki potrošač energije su i industrijska postrojenja. Velika količina goriva u industriji se troši za proizvodnju pare, tj. tople vode za procesne svrhe i/ili proizvodnju električne energije [1]. U tu svrhu primjenjuju se različite vrste generatora pare. Kod generatora pare neizbjegni su gubici topline u izlaznim dimnim plinovima, gubici konvekcijom i zračenjem na okolinu sa površina generatora pare, gubici neizgorenog goriva i drugo. Što su manji gubici topline to je manja potrošnja goriva i manja emisija CO₂ u atmosferu pa je minimiziranje gubitaka topline iz generatora pare vrlo bitno [2].

Ušteda energije je postala ključni čimbenik kako u životu ljudi tako i u industrijskim postrojenjima. Ušteda energije uključuje mjere poput primjene motora s visokom učinkovitošću i LED rasvjetu, sustave za povrat topline, zagrijavanja zraka za izgaranje otpadnom toplinom te izolaciju vrućih ili hladnih površina [3]. Smanjujući gubitke energije, proizvođači povećavaju konkurentnost svojih proizvoda na nacionalnom ili svjetskom tržištu.

Među mjerama za uštedu energije toplinska izolacija je jednostavan i jeftin način koji korisnici mogu primijeniti na opremi poput cjevovoda, peći, izmjerenjivača topline i ventila [4].

Toplinska izolacija generatora pare (slika 1.1) smanjuje toplinski tok iz generatoru pare u okoliš, time i vezane gubitke, a što vodi ka povećanju stupanja korisnog djelovanja generatora pare. To nadalje znači manju potrošnju goriva, što osim ekonomski koristi implicira i manju emisiju CO₂ i čestica u okoliš.

1.1 Toplinska izolacija generatora pare nadrvnu sječku

Prije početka montaže toplinske izolacije generatora pare (slika 1) potrebno je proračunski odrediti potrebnu debeljinu izolacije, u našem slučaju kamene vune, izvršiti projektiranje pod-konstrukcije i limene obloge. Opći podaci o generatoru pare:

- Lokacija: Županja,
- naziv: BE TO Županja,
- tip elektrane: Kogeneracijska elektrana,
- vrsta goriva: Drvana sječka,
- ukupna snaga: 4,93 MW.

Toplinska izolacija na generatoru pare mora osigurati da temperatura na izoliranoj površini ne prijeđe temperaturu 50 °C pri temperaturi okoline od 30 °C. Zbog toplinskog isijavanja izoliranih dijelova postrojenja, temperaturu okolnog zraka se mjeri na udaljenosti većoj od 1 m od limene obloge nekog izoliranog dijela postrojenja. Dakle, temperatura površine izolacije smije biti iznad temperature okoline za 15 °C.

S obzirom da je cijelokupno postrojenje u zatvorenom prostoru uzima se da je brzina strujanja zraka oko izoliranih dijelova generatora pare $0,5 \text{ m/s}$. Temperatura napojne vode iznosi 105°C , temperatura u cijevnim stijenama generatora pare na drvnu sječku iznosi max. 280°C . Toplinski gubici kroz izolaciju generatora pare, pripadajućih cjevovoda i opreme prema zahtjevu investitora ne smiju prijeći iznos od 150 W/m^2 .



Slika 1. BE TO Gospic

2 PRORAČUN DEBLJINE IZOLACIJE

Na osnovu projektnog zadatka koji daje dva kriterija koja mora ispuniti toplinska izolacija na generatoru pare, prema pravilniku VDI 2055 [5], određena je debljina izolacijskog sloja, koja se zatim provjerava na:

- dozvoljene toplinske gubitke po 1 m^2 površine,
- temperaturu površine limene obloge.

Toplinski gubici na stijenama generatora pare računati su na temperaturu okolnog zraka od $+30^\circ\text{C}$ i brzinu vjetra od $0,5 \text{ m/s}$, a temperatura na površini obloge izolacije za vanjsku temperaturu od $+30^\circ\text{C}$ i brzinu vjetra od $0,0 \text{ m/s}$. Podaci o toplinskoj vodljivosti izolacijskog materijala moraju biti jednaki ili bolji od navedenih u Tablici 1 [5].

Tablica 1. Toplinske vodljivosti [5]

Srednja temperatura uzorka / $^\circ\text{C}$	Toplinska vodljivost- λ / $\text{W}/(\text{mK})$
50	0.037
100	0.043
150	0.051
200	0.060
250	0.071
300	0.085
350	0.100

Koefficijent toplinske vodljivosti izolacijskog sloja koji se uzima u proračun je takozvani pogonski koefficijent toplinske vodljivosti, koji je od laboratorijski određenog veći za 25% (iskustveno), zbog neizbjježnih utjecaja postupka montaže na kvalitetu položenog izolacijskog sloja, a što obuhvaća:

- zazore između spojeva,
- izmijenjen položaj vlakana u jastuku,
- manje zazore na sastavima susjednih jastuka, a prije svega na mjestima potpornih obruča,
- odstupanje izolacije od deklarirane debljine.

Zbog neizbjježnog utjecaja toplinskih mostova na potpornim obručima, prema VDI 2055 normi, pogonski koefficijent toplinske vodljivosti potrebno je dodatno uvećati još za iznos od $0,01 \text{ W}/(\text{mK})$. Pri proračunu izolacijska svojstva zračnog prostora između limene oplate izolacije generatora pare i sloja mineralne vune se zanemaruju, tj. smatra se da je limena oplata neposredno uz izolacijski sloj.

2.1 Proračun prema kriteriju maksimalno dozvoljenih toplinskih gubitaka

Ulagni podaci za proračun prema kriteriju maksimalno dozvoljeni toplinski gubitaka navedeni su u Tablici 2.

Tablica 2. Ulagni podaci

Naziv	Oznaka	Iznos	Jedinica
Temperatura u generatoru pare	v_M	280	°C
Temperatura okoline	v_L	30	°C
Brzina strujanja	w_w	0,5	m/s
Dozvoljeni gubici	q_{doz}	150	W/m²

Koefficijent prijelaza topline na vanjskoj strani računa se prema izrazu (1).

$$\alpha_a = 6,2 + 4,2 \cdot w_w = 6,2 + 4,2 \cdot 0,5 = 8,3 \text{ W/(m}^2\text{k)} \quad (1)$$

Pretpostavljena temperatura obloge izolacije:

$$v_0 = v_L + \frac{q_{doz}}{\alpha_a} = 30 + \frac{150}{8,3} \approx 48 \text{ °C} \quad (2)$$

Srednja temperatura u sloju izolacije može se izračunati prema izrazu (3).

$$v_m = \frac{v_M + v_0}{2} = \frac{280 + 48}{2} \approx 164 \text{ °C} \quad (3)$$

Pogonski koefficijent toplinske vodljivosti, uvećan za korektivni faktor zbog utjecaja pod-konstrukcije, računa se prema izrazu (4). Podaci za λ uzeti su iz Tablice 1.

$$\lambda_m = (\lambda_{150} + \frac{\lambda_{200} - \lambda_{150}}{200 - 150} \cdot (v_m - 150)) \cdot 1,10 + 0,001 = 0,069 \text{ W/(mK)} \quad (4)$$

Dozvoljeni gubitak topline kroz izolaciju uz faktor sigurnosti od 25% zbog mogućih grešaka u materijalu i ugradnji, prodora nosača kroz izolaciju i sl.

$$q_{stv} = \frac{q_{doz}}{1,25} = \frac{150}{1,25} = 120 \text{ W/m}^2 \quad (5)$$

Potrebna debljina izolacije na ravnom zidu dobiva se iz izraza (6).

$$s = \lambda_m \cdot \left(\frac{v_M \cdot v_L}{q_{stv}} - \frac{1}{\alpha_a} \right) = 0,069 \cdot \left(\frac{280 - 30}{120} - \frac{1}{8,3} \right) = 0,135 \text{ m} \quad (6)$$

Koefficijent toplinske vodljivosti izolacijskog sloja koji se uzima u proračun je takozvani pogonski koefficijent toplinske vodljivosti, koji je od laboratorijski određenog veći za 25% (iskustveno), zbog neizbjegljivih utjecaja na kvalitetu položenog izolacijskog sloja kod montaže (**0,135 × 1000 = 135 mm + 25% = 168,75 mm**)

Usvajamo standardnu debljinu izolacije $s = 180 \text{ mm}$

Sada je još potrebno za odabranu debljinu izolacije $s = 180 \text{ mm}$ prekontrolirati stvarne toplinske gubitke i temperaturu na površini lima:

Stvarni gubici topline kroz izolaciju računaju se prema izrazu (7).

$$q_{stv} = \frac{v_M - v_L}{s} = \frac{280 - 30}{0,18} = 91,6 < 120 \text{ W/m}^2 \quad (7)$$

Stvarna temperatura na površini izolacije:

$$v_0 = v_L + \frac{q_{stv}}{\alpha_a} = 30 + \frac{91,6}{8,3} = 41 \text{ °C} \quad (8)$$

2.2 Proračun prema kriteriju maksimalno dozvoljenih temperatura

Ulagani podaci za proračun prema kriteriju maksimalno dozvoljeni toplinski gubitaka navedeni su u Tablici 3.

Tablica 3. Ulagani podaci

Naziv	Oznaka	Iznos	Jedinica
Temperatura u generatoru pare	v_M	280	°C
Temperatura okoline	v_L	30	°C
Brzina strujanja	w_w	0,0	m/s
Dozvoljeni gubici	q_{doz}	150	W/m ²

Koefficijent prijelaza topline na vanjskoj strani računa se prema izrazu (9).

$$\alpha_a = 6,2 + 4,2 \cdot w_w = 6,2 + 4,2 \cdot 0,0 = 6,2 \text{ W/(m}^2\text{k}) \quad (9)$$

Pretpostavljena temperatura obloge izolacije:

$$v_0 = v_L + \frac{q_{stv}}{\alpha_a} = 30 + \frac{150}{6,2} \cong 54,2 \text{ °C} \quad (10)$$

Srednja temperatura u sloju izolacije:

$$v_m = \frac{v_M + v_0}{2} = \frac{280 + 54,2}{2} = 167 \text{ °C} \quad (11)$$

Pogonski koeficijent toplinske vodljivosti, uvećan za korektivni faktor zbog utjecaja pod konstrukcije, za tu temperaturu računa se prema izrazu (12). Podaci za λ uzeti su iz Tablice 1.

$$\lambda_m = (\lambda_{150} + \frac{\lambda_{200} - \lambda_{150}}{200 - 150} \cdot (v_m - 150)) \cdot 1,10 + 0,001 = 0,066 \text{ W/(mK)} \quad (12)$$

Dozvoljeni gubitak topline kroz izolaciju uz faktor sigurnosti od 25% zbog mogućih grešaka u materijalu i ugradnji, prodora nosača kroz izolaciju i sl.

$$q_{stv} = \frac{q_{doz}}{1,25} = \frac{150}{1,25} = 120 \text{ W/m}^2 \quad (13)$$

Sada je još potrebno za odabranu debljinu izolacije ($s = 180 \text{ mm}$) prekontrolirati stvarne toplinske gubitke i temperaturu na površini lima: Stvarni gubici topline kroz izolaciju računaju se prema izrazu (14).

$$q_{stv} = \frac{v_M - v_L}{\frac{s}{\lambda_m} + \frac{1}{a_a}} = \frac{280 - 30}{\frac{0,18}{0,066} + \frac{1}{6,2}} = 86,5 < 120 \text{ W/m}^2 \quad (14)$$

Stvarna temperatura na površini izolacije:

$$v_0 = v_L + \frac{q_{stv}}{\alpha_a} = 30 + \frac{86,5}{6,2} = 43,9 \text{ °C} \quad (15)$$

Iz rezultata proračuna je vidljivo da debljina izolacije zadovoljava sve zahtjeve projektnog zadatka.

3 PROJEKTIRANJE, IZRADA I MONTAŽA TOPLINSKE IZOLACIJE GENERATORA PARE

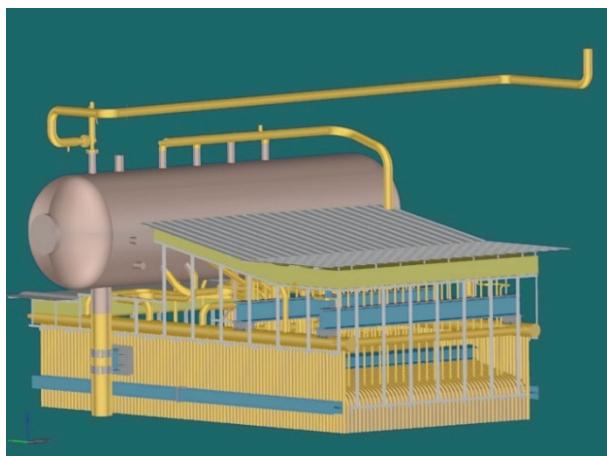
3.1 Izrada crteža za montažu toplinske izolacije

Generator pare je se sastoji od:

- Prednje strane generatora pare,
- Dvije bočne strane generatora pare,

- Zadnje strane generatora pare,
- Stropa generatora pare s bubnjem (slika 2),
- Lijevci generatora pare.

Izrada crteža za montažu toplinske izolacije generator pare se vrši prema AGI Q101 standardima [6].



Slika 2. Strop generatora pare

3.2 Pod-konstrukcija toplinske izolacije generatora pare

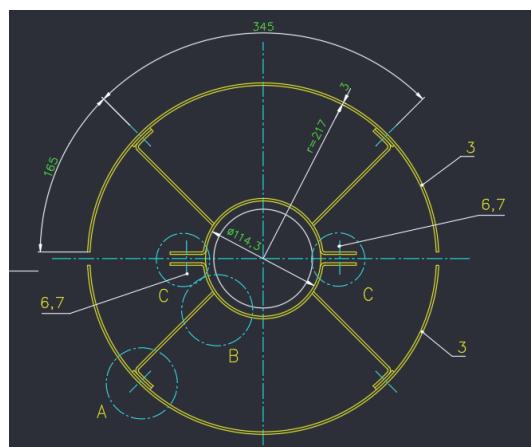
Pod-konstrukcija služi za nošenje zaštitnog lima. Mora biti izvedena tako da dozvoljava relativne pomake između zaštitnog lima oplate (čija temperatura se kreće u granicama od približno 10 °C do 90 °C ovisno o godišnjem dobu, izloženosti sunčevom zračenju i zračenju drugih dijelova postrojenja), izoliranog tijela generatora pare i drugih izoliranih dijelova postrojenja koji prolaze kroz oplatu.

Pod-konstrukcija generatora pare (slika 3) se sastoji od čeličnih profila standardnih dimenzija, hladno oblikovanih (HOP) "U" profila raznih dimenzija, trakastog čelika 40×4 i 30×3 kvalitete S235JR (St 37.2) za temperature ispod 350 °C te 16Mo3 za temperature iznad 350 °C. Pri izradi i montaži pod-konstrukcije limene oplate generatora pare "U" profili se međusobno, ili s odstojnicima izrađenim od trakastog čelika, spajaju pomoću pocićanih blok zakovica $\varnothing 4,8 \times 15$ mm. Ovako složeni elementi pod-konstrukcije generatora pare zavaruju se na membranski lim cijevnih stijena (isključivo između cijevi), na limenu oplatu i čeličnu konstrukciju generatora pare. Zavarivanje pod-konstrukcije nije dozvoljeno na dijelovima postrojenja koji su pod tlakom. Nakon zavarivanja pod-konstrukcije zavareno mjesto se očisti i zaštići od korozije.



Slika 3. Pod-konstrukcija generatora pare

Pod-konstrukcija limene oplate cijevi (slika 4.) koje se izoliraju izrađuje se od trakastog čelika 40×4 i 30×3 kvalitete S235JR za temperature ispod 350 °C i 16Mo3 za temperature iznad 350 °C. Prsteni su prikazani na posebnim crtežima.



Slika 4. Pod-konstrukcija cjevovoda

Pod-konstrukcija je namijenjena za cijev Ø114,3 i debljinu izolacije od 160 mm. Trnovi (iglice) za nošenje jastuka mineralne vune zavaruju se za stijene generatora pare isključivo između cijevi na membranski lim ili na kanale koji se izoliraju tako da po 1 m² površine bude približno 8 do 10 trnova.

3.3 Postavljanje izolacijskog sloja

Izolacijski materijali na generatoru pare i ostalim dijelovima postrojenja jesu:

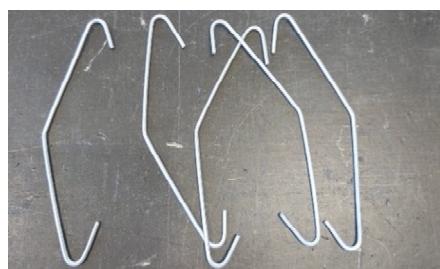
- jastuci mineralne vune našiveni jednostrano na žičanu heksagon mrežu, gustoće 80 kg/m³,
- neprerađena kamena vuna, gustoće 80 kg/m³.

Izolacijski sloj predstavljaju jastuci mineralne vune (slika 5), osim na mjestima gdje zbog komplikiranosti ili slabije dostupnosti ne mogu biti upotrijebljeni. Na tim mjestima se upotrebljava neprerađena kamena vuna, koja se nabije u prazan prostor između zida koji se izolira i vanjske obloge. Gustoća tako nabijene vune mora iznositi 80 kg/m³.



Slika 5. Postavljanje vune na pregrijivač pare

Izolacijski materijal se na stijenama generatora pare nabije na trnove Ø4 u dva sloja, a potom se izolacija učvrsti postavljanjem samozatvornih pločica. Služi da pritisne izolacijski materijal (vunu) 5 mm -10 mm. Izolacijski materijal se ugrađuje na cjevovode tako da se jastuk omota oko cijevi. Krajevi jastuka se čvrsto priljube jedan uz drugi i povežu s odgovarajućim brojem kopči za vunu (slika 6).



Slika 6. Kopče za vunu

Sastavi između susjednih jastuka moraju biti dobro međusobno spojeni kopčama za povezivanje jastuka kamene vune, tako da tokom pogona ne dođe do otvaranja sastava. Spojevi gornjih i donjih jastuka moraju biti međusobno zamaknuti za 250 mm. Na svim mjestima gdje su na stijenama rebra zbog povećanja krutosti stavljaju se izolacija u punoj debljini preko njih. Jastuci kamene vune koji se koriste trebaju biti suhi i čisti. Gustoća jastuka mora iznositi 80 kg/m^3 i to treba povremeno provjeravati. Jastuk debljine 50 mm i širine 500 mm, te dužine 5000 mm, ni u kojem slučaju ne smije biti lakši od 10,75 kg zajedno sa mrežom (1 m^2 mreže = 0,3 kg).

3.4 Postavljanje zaštitnog lima

Na cijevnim stijenama generatora pare, kao zaštita izolacije služi pocinčani bojani trapezni lim T 20-220-1150 debljine 0,6 mm u boji RAL 9006 (slika 7). Ploče trapeznog lima su pričvršćene na pod-konstrukciju tako da je omogućena nesmetana toplinska dilatacija generatora pare i drugih izoliranih dijelova koji prolaze kroz zaštitni lim. Ploče trapeznog lima ne postavljaju se neposredno uz izolacijski sloj te su udaljene su od izolirane površine iz konstrukcijskih razloga mjestimično i više od 25 cm.



Slika 7. Zaštitna obloga od trapeznog lima

Pocinčani bojani glatki lim debljine 0,6 mm služi za povezivanje limova na kutovima generatora pare, izradu rozeta na prodorima kroz trapezni lim i izradu kliznih spojeva na mjestima prolaza drugih izoliranih dijelova kroz oplatu od trapeznog lima. Na ravnim plohama glatki lim se prije ugradnje dijagonalno udubljuje kako bi se postigla veća krutost plohe (slika 8).



Slika 8. Dijagonalno krivljeni glatki lim na zagrijivaču

Aluminijski nebojani glatki lim debljine 0,8 mm i 1 mm polutvrdi, kvalitete Al99,5 upotrebljava se kao zaštita izolacijskog sloja na opremi, posudama i cjevovodima unutra kotlovnice, te na dimnim kanalima i dimnjaku izvan kotlovnice. Na ravnim plohami glatki lim se prije ugradnje dijagonalno udubi. Montaža aluminijskog glatkog lima (slika 9) jednaka je kao i montaža poinčanog bojanog glatkog lima. Na cjevovodima čiji je izolirani opseg veći od 1000 mm ugrađuju se odgovarajući prsteni na razmaku cca 950 mm (pod-konstrukcija) koji služe za nošenje zaštitnog omotača od aluminijskog lima. Limovi se kroje i ugrađuju prema mjerama uzetim na neposredno na mjestu ugradnje ili prema izometrijama, međusobno se spajaju samoureznim vijcima Ø4,8×13 (DIN 7981) ili blok zakovicama Ø3,2×10 (DIN 7337), te se postavljaju na razmaku od 150 do 200 mm. Izrađeni su od nehrđajućeg čelika.



Slika 9. Aluminijска облога цевовода

Izolacija se postavlja na već montirane dijelove koji imaju svoje geometrijske karakteristike, koje često iz objektivnih razloga nisu identične onima na nacrtima. Zbog toga, prije postavljanja izolacije na određeni dio opreme, isti treba snimiti-odrediti mjere i oblike, pa tek onda pristupiti izradi elemenata i samoj montaži istih na opremu. Vlažna izolacija se ne smije upotrebljavati. Izolacijski materijal treba skladištiti na suhom mjestu, a prije ugradnje na mjesto postavljanja s njime treba što je moguće manje manipulirati. Izolacijski materijal prilikom bacanja i prevrtanja gubi svoje geometrijske karakteristike, time i gustoću, a čime se povećava toplinska vodljivost. Isporučitelj izolacije prilikom dobave treba dostaviti certifikat, odnosno izjavu nezavisne ovlaštene institucije o tehničkim karakteristikama izolacije. Prije svega, mora biti naveden koeficijent toplinske vodljivosti, granične temperature upotrebe, gustoća i geometrijske karakteristike izolacije.

4 OPIS IZOLACIJSKOG I POMOĆNOG MATERIJALA ZA IZRADU TOPLINSKE IZOLACIJE NA GENERATORU PARE

Vlakna izolacijskog materijala moraju biti mineralnog porijekla – vuna od šljake nije predviđena za upotrebu i ugradnju na kotlovske postrojenje. Kemijski sastav vlakana mora biti takav da ne izaziva koroziju elemenata koje izolira. Prema AGI Q132 [7] vuna mora biti AS kvalitete što znači da mora imati manje od 6 mg Cl⁻ iona u 1 kg vlakana vune. Temperaturna postojanost vlakana mora iznositi barem 600 °C. Vlakna trebaju biti negoriva prema HRN U.J1.060. Postotak organskih tvari u vuni ne smije biti veći od 1%.

Jastuci kamene vune moraju odgovarati još i slijedećim zahtjevima:

- gustoća jastuka mora biti 80 kg/m³ (dozvoljeno odstupanje +10% -5%)
- debljina jastuka smije od deklarirane debljine odstupati za +10% -5%
- jastuci su našiveni sa jedne strane na heksagon poinčanu mrežu Ø0,7×19 mm

Na gradilištu treba kontrolirati debljinu i gustoću jastuka, pri čemu treba uzeti u obzir da težina 1 m² mreže iznosi 0,3 kg. Jastuk koji nije potpuno suh i ne odgovara gornjim zahtjevima, ne smije se ugraditi.

Svojstva konkretnog materijala prema proizvođaču Knauf insulation prikazana su u tablici 4) [8]

Kamena mineralna vuna power-tek 640, vuna je u rolama koje se obično isporučuju s poinčanom žičanom mrežom. Reakcija na požar je A1 (negorivi materijal), a gustoća iznosi 80 kg/m³.

Tablica 4. Toplinske vodljivosti materijala [8]

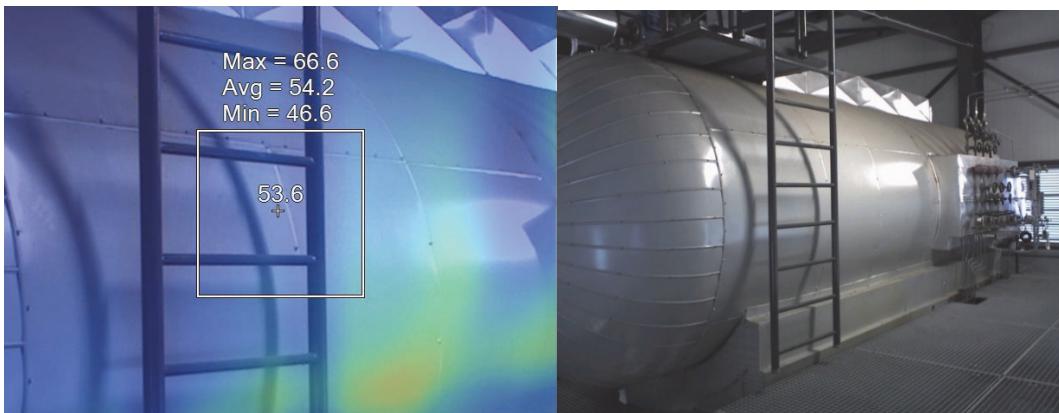
Toplinska vodljivost	ν	°C	50	100	200	300	400	500	600
	λ	W/(mK)	0,040	0,046	0,062	0,084	0,112	0,146	0,190

Neazbestno platno debljine 5 mm i 3 mm, stavlja se kao međusloj koji prekida toplinske mostove na pod-konstrukciji između odstojnika i vanjskog prstena ili "U" profila. Pocinčani trapezni bojani lim debljine 0,6 mm ugrađuje se kao obloga izolacije na cijevnim stijenama generatora pare. Glatki nebojani aluminijski lim polutvrđi, kvalitete Al99,5 debljine 0,8 mm i 1 mm ugrađuje se kao obloga izolacije na bubenju generatora pare, recirkulaciji, posudama pod tlakom, opremi i cjevovodima u kotlovnici.

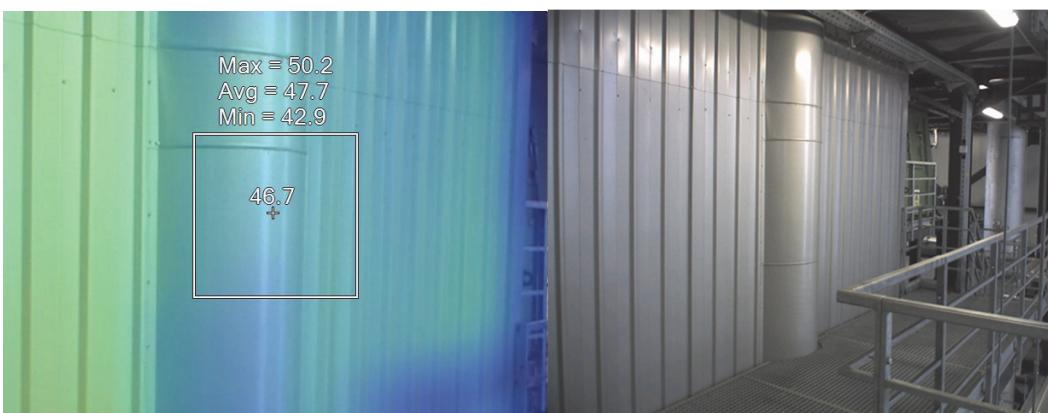
Pod-konstrukcija se sastoji od čeličnih profila standardnih dimenzija, hladno oblikovanih (HOP) "U" profila raznih dimenzija, trakastog čelika 40×4 i 30×3, kvalitete S235JR (St 37.2) za temperature ispod 350 °C i kvalitete 16Mo3 za temperature iznad 350 °C. Pod-konstrukcija se isporučuje pocinčana ili antikorozivno zaštićena. Dimenzije elemenata pod-konstrukcije određene su tehničkom dokumentacijom, ali ih je na gradilištu dozvoljeno prilagoditi mjestu ugradnje.

5 IZVJEŠTAJ TERMOGRAFSKOG SNIMANJA GENERATORA PARE

Prema pristupu mjerjenja i obradi rezultata termografija se dijeli na aktivnu i pasivnu te na kvantitativnu i kvalitativnu. Aktivna termografija se zasniva na promatranju dinamičkog ponašanja površine objekta izloženog toplinskoj pobudi, dok pasivna termografija promatra objekte u stacionarnom stanju. Kvalitativna podrazumijeva samo uočavanje mesta različitih temperatura, a koja je korištena u ovu svrhu. Kvantitativna uključuje utvrđivanje iznosa temperatura, temperturnih razlika ili emisijskih faktora po pojedinim lokacijama na termogramu. Za termografsko snimanje generatora pare korištena je termografska kamera FLUKE IR FlexCam Ti 45FT. Temperatura okoline pri snimanju je iznosila 30 °C - 75 °C. Termografsko snimanje je predviđeno u modu 50/50 (infra crveno područje / vidljivi spektar), te u potpuno vidljivom spektru 100%. Također su naznačene minimalne, maksimalne i srednje temperature spektra. Generator pare je termografski snimljen pod punim opterećenjem s temperaturom medija od 280 °C. Područje izoliranog dijela bubenja generatora pare (slika 10) je u prosjeku 54,2 °C jer je temperatura okoline u tome području 50 °C - 55 °C.

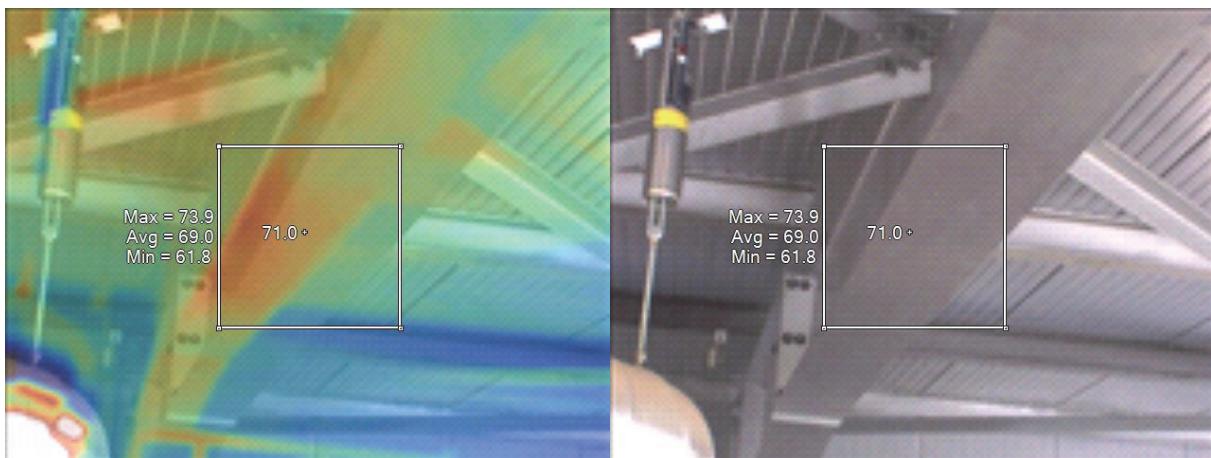


Slika 10. Bubanj generatora pare



Slika 11. Bočni zid generatora pare

Područje izoliranog dijela generatora pare je max. 50,2 °C (slika 11), a temperatura okoline u tom području je 30 °C - 35 °C.



Slika 12. Konstrukcija iznad stropa generatora pare

Prema IR spektru možemo zaključiti da područje iznad stropa generatora pare ima veliku toplinu koja se akumulira u dijelu iznad generatora pare i time povećava temperature područja iznad otvora za zrak na zgradu u kojima se nalazi bubrežni generatora pare, strop generatora pare (slika 12). Temperatura okoline iznosi 50 °C - 55 °C.



Slika 13. Pregrijivač generatora pare

Područje izolacije pregrijivača generatora pare zadovoljava u cijelosti. Temperatura okoline iznosi 35 °C do 40 °C. Slike koje prezentiraju temperaturno zračenje na kotlovsom postrojenju prikazuju da su kritična područja iznad otvora do stropa zgrade generatora pare u kojima se akumulira toplina.

Generalna procjena je da područja koja su izolirana zadovoljavaju potrebne standarde i osiguravaju male gubitke topline.

6 ZAKLJUČAK

Što su manji gubici topline generatora pare to je manja potrošnja goriva i posljedično manja emisija CO₂ u atmosferu. Smanjenje gubitaka postiže se toplinskom izolacijom.

Toplinska izolacija generatora pare izrađena je prema ugovorenim normama. Proračunom prema kriteriju maksimalno dozvoljenih toplinskih gubitaka je određena debljina izolacijskog sloja na generatoru pare, te provjerena debljina izolacije proračunom prema kriteriju maksimalno dozvoljenih temperatura.

U radu je prikazan postupak postavljanja izolacije na generatoru pare kogeneracijskog postrojenja na drvnu sječku, opisani su korišteni materijali i tehnologija od izrade pod-konstrukcije, postavljanje izolacijskog sloja (kamene vune) te montaža limene obloge.

Nakon postavljanja izolacije, termografijom je provjerena kvaliteta izvršenih radova. Termografski izvještaj pokazuje da su toplinski gubici u granicama tolerancije te da su proračunski određene pravilne debljine izolacijskog materijala.

7 LITERATURA

- [1] L. Zhou, J. Li, F. Li, Q. Meng, J. Li, X. Xu, *Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review*, Journal of Cleaner Production, vol. 112, pp. 3721 - 3734, 2016.
- [2] R. Saidur, J.U. Ahamed and H.H. Masjuki, *Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers*, Energy Policy, vol. 38, pp. 2188 - 2197, 2010.

- [3] M.A. Topçu and A. Rüsen, *Insulation of Boiler to Save Energy*, 8th International Ege Energy Symposium and Exhibition, 2016.
- [4] I. Takahashi and S.Nemoto, *The influence of piping thermal insulation on indoor climate and exergy consumption related to hot water floor heating Tokyo*, Energy Procedia, vol 78, pp. 2632 – 2638, 2015.
- [5] VDI 2055 *Entwurf Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen*, rujan 1992, 170 str.
- [6] AGI Q101 *Insulation work on power plants components*, siječanj 2000, 50 str.
- [7] AGI Q132 *Mineralwolle als Dämmstoff für betriebstechnische Anlagen*, svibanj 1995, 26 str.
- [8] Knauf insulation: URL: https://www.knaufinsulation-ts.com/remote_product/3708 (11. 05. 2021).