

Korišćenje otpadne energije stabilnih dizel-motora za grijanje i klimatizaciju

Prof, dr Dragan Martinović, dipl. ing., Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, 51000 Rijeka, Studentska br. 2

U ovom radu se razmatra problem iskorišćenja otpadne toplote koju stvaraju dizel-motori. Najveći gubici su u izduvnim gasovima i oni se mogu znatno umanjiti korišćenjem kotla-utilizatora — postrojenja kojim se može povećati stepen iskorišćenja čitavog postrojenja. Međutim, predloženo rešenje instalacije zahteva investicije veće od onih za klasična postrojenja, pa će izbor konačnog rešenja zavisi od energetskog bilansa dizel-motora i visine troškova eksploatacije.

Uvod

Čitav svijet se suočava sa energetskom krizom, a jedan od razloga je neracionalna potrošnja neobnovljivih otpadnih izvora energije. Dizel-motor velikih snaga je tipični predstavnik neadekvatno iskorištene otpadne toplote, na koju se u periodu jeftinog goriva posvećivalo nedovoljno pažnje.

Racionalno korišćenje energije dizel-motora nije moguće bez analize energetskih tokova. Podaci o pojedinim tokovima su različiti i ovise o proizvođaču i tipu motora.

Veći dio tokova sačinjava otpadnu toplinu koja se može efikasno koristiti i u tom slučaju povećati efikasnost dizelipostrojenja, tj. štedi se energija a smanjuje udio cijene energije u cijeni proizvoda.

Energetska bilanca dizel-motora

Specifična potrošnja goriva je osnovni faktor koji utiče na eksploataciju dizel-motora. Kao

mjerilo oslobođene toplote uzima se ogrijevna moć koja predstavlja količinu toplote u kJ koja se dobiva izgaranjem jednog kilograma goriva. Sagorijevanjem goriva oslobađa se energija koja se u dizel-motoru pretvara u mehaničku. Poznato je da se ova transformacija vrši uz znatne gubitke, tako da stupanj djelovanja dizel-motora iznosi 39 do 41,5%. Neiskorišteni dio unijete energije predstavlja gubitak dizel-motora. Energetska bilanca dizel-motora može se prikazati slijedećim izrazom:

$$Q_d = Q_e + Q_g + Q_r + Q_o$$

gdje su:

Q_d [kJ/kg] — ogrijevna moć gorive smjese,

Q_e [kJ/kg] — toplinski ekvivalent efektivne snage motora,

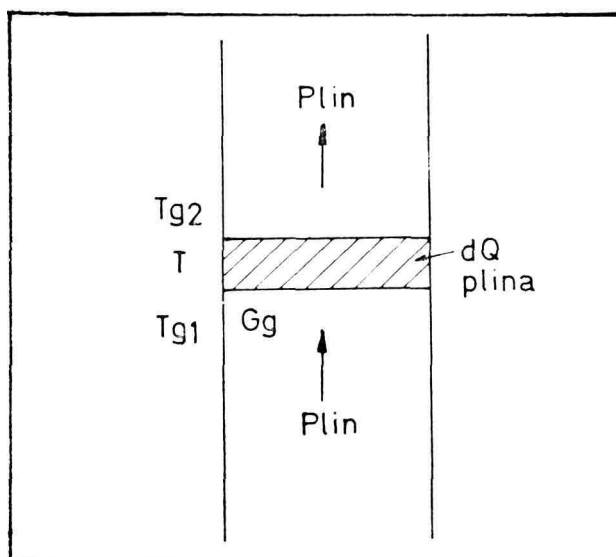
Q_g [kJ/kg] — količina toplote u ispušnim plinovima na izlazu iz motora (iza turbo puhala),

Q_r [kJ/kg] — količina toplote u rashladnom mediju,

Q_o [kJ/kg] — količina toplote ostalih gubitaka.

Veličina $Q_d = \frac{H_d}{\lambda Z_o + 1}$ ovisna je o donjoj ogr-

Sl. 1.

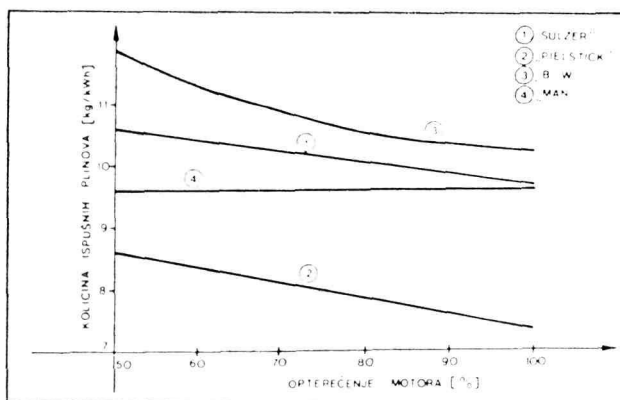


jevnjoj modi goriva H_d , o pretičku zraka 1 i o stehiometrijskoj količini zraka Z_0 . Toplinski ekvivalent efektivne snage motora može se odrediti izrazom:

$$Q_e = \eta_e \cdot Q_d$$

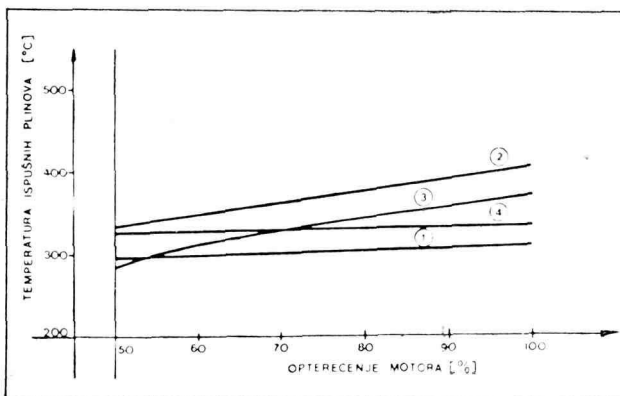
gdje je η_e — efektivni stupanj djelovanja motora. Analizirajući učešće otpadne topline, vidljivo je da su gubici ispušnog plina (Q_g) najveći i da se kreću od 31% do 38% donje ogrjevne modi goriva. Usavršavanjem dizel-motora velika pažnja posvećena je korištenju ove topline. Uvedeno je turbo-puhalo za upuhivanje zraka pod tlakom u cilindre motora, koje pri tome pokreću ispušni plinovi.

Sl. 2. Količina ispušnih plinova u funkciji od opterećenja



Unatoč utrošenoj energiji za pokretanje turbo-puhala, plinovi na izlazu iz njih imaju velike izlazne parametre, koji se nisu dalje adekvatno koristili zbog dodatnih investicija.

Sl. 2a Temperatura ispušnih plinova u funkciji od opterećenja



Drugi veliki dio izgubljene topline (Q_r) odnosi rashladna voda klipova, kosuljica, ulja i zraka. Ova količina topline iznosi od 21% do 23% donje ogrjevne moći goriva dizel-motora. Rashladna voda na izlazu iz motora kreće se od 70° C do 80°C. Zbog malih temperaturnih razlika ova velika otpadna količina topline koristi se neznatno. Ostali gubici (Q_{os}) predstavljaju gubitak uslijed vanjskog rashlađivanja motora i sličnih gubitaka koji

su mali i iznose od 1% do 2%, tako da se njihovim smanjenjem ne mogu postići zapaženi efekti.

Ispušni plinovi dizel-motora

Ispušni plinovi imaju visoku temperaturu i ima ih u velikim količinama, tako da su vrlo pogodni kao medij za utilizaciju. Da bi se sagledale mogućnosti utilizacije, moraju se brižljivo analizirati radni uvjeti motora i odgovarajući parametri ispušnih plinova. U režimu eksploatacije teži se postignuću da motor čim duže radi u režimu optimalne potrošnje goriva. Ovo treba imati u vidu pri projektiranju postrojenja koja će koristiti otpadnu toplinu dizel-motora. Ako se u struji ispušnih plinova promatra mali pojas, tj. mali dio kotla utilizatora (si. 1) i pretpostavi da je to idealan motor, onda bi se njegov stupanj djelovanja mogao izraziti slijedećom relacijom:

$$\eta = 1 - \frac{T_z}{T}$$

gdje su:

T_z [K] — apsolutna temperatura zraka i T [K] — apsolutna temperatura izvora.

Snaga koja bi se dobila hlađenjem ispušnih plinova u sektoru od T do T_0 iznosila bi:

$$\left(1 - \frac{T_z}{T}\right) dQ = \left(1 - \frac{T_z}{T}\right) c_{pg} \cdot G_g \cdot dT$$

Ako se promatra cijeli kotao utilizator sa ulaznom temperaturom T_{g1} i izlaznom temperaturom T_{g2} , pa se gornji izraz integrira u granicama, dobit će se snaga koja se oduzme ispušnim plinovima:

$$Q_g = c_{pg} \cdot G_g \left(T_{g1} - T_{g2} - T_z \cdot \ln \frac{T_{g1}}{T_{g2}} \right)$$

Analizirajući ovu jednadžbu može se uočiti da je moguće dobiti maksimalnu energiju H_i plemeniti oblik energije, kada je $T_{g2} = T_z$. Transformirana energija u utilizatoru bila bi jednaka nuli kada je $T_{g2} = T_{g1}$. Međutim, stvarna snaga koja se praktički može koristiti je znatno manja. Ovo-me je razlog nemogućnost izjednačenja izlazne temperature ispušnih plinova iz kotla utilizatora sa okolinom. Uočava se da je temperatura ispušnih plinova na izlazu iz kotla jedini parametar na koji se može bitno utjecati prilikom projektiranja kotla. Ona ovisi o tlaku i temperaturi prijemnika topline u kotlu, raspoloživom padu tlaka ispušnih plinova na njegovom putu i uvjetu za pojavu korozije. Teži se ka primjeni sve nekvalitetnijeg goriva za dizel-motore, te se zaoštava problem niskotemperaturne korozije kotla utilizatora. Kao što je poznato, intenzitet niskotem-

peraturne korozije ovisi o sadržaju sumpora u gorivu, temperaturi sagorijevanja goriva i koeficijentu pretička zraka.

Korištenje otpadne topline ispušnih plinova dizel-motora preko kotla utilizatora omogućuje ekonomičan sistem, uz uvjet da se parametri plina na izlazu iz kotla utilizatora odaberu tako da temperatura metala ne bude na temperaturi rođenja pare sumporne kiseline.

Za projektiranje kotlova utilizatora vrlo je važan parametar tlaka ispušnih plinova na izlazu iz turbo-puhala. Njegova vrijednost ograničava dozvoljeni pad tlakova u ispušnom cjevovodu i kotlu utilizatoru.

Na slici 2. prikazana je količina ispušnih plinova i njihova temperatura u funkciji otprećenja za dizel-motore proizvođača: »Sulzer«, »Pilstik«, »BW« i »MAN«.

Toplina rashladne vode dizel-motora

Otpadnu toplinu rashladne vode izdvajanu iz bilance topline dizel-motora možemo prikazati na sledeći način:

- rashladnik zraka, cca 12% donje ogrjevne moći goriva;
- rashladna voda, cca 10% donje ogrjevne moći goriva;

— rashladnik ulja, cca 1% donje ogrjevne moći goriva.

Sa stajališta količine topline i njene rekuperacije interesantni su izvori rashladnika zraka i sistem rashladne vode za motor. Prvi izvor je zanimljiviji zbog veće količine i višeg nivoa temperature, tako da se ova toplina može uspješno iskoristiti uz manje izmjene izvedbe sistema hlađenja zraka. Za obnavljanje topline iz rashladnika zraka vrlo je važan konstrukcioni korak kojim bi se klasični rashladnik zraka razdijelio u dva ili tri serijski spojena rashladnika koji rade na različitim nivoima temperature. Ovo buduće rješenje trebalo bi standardizirati.

Izvedba sistema obnavljanja topline dizel-motora s razdjelnim tipom rashladnika pruža nam tri izvora upotrebljive energije:

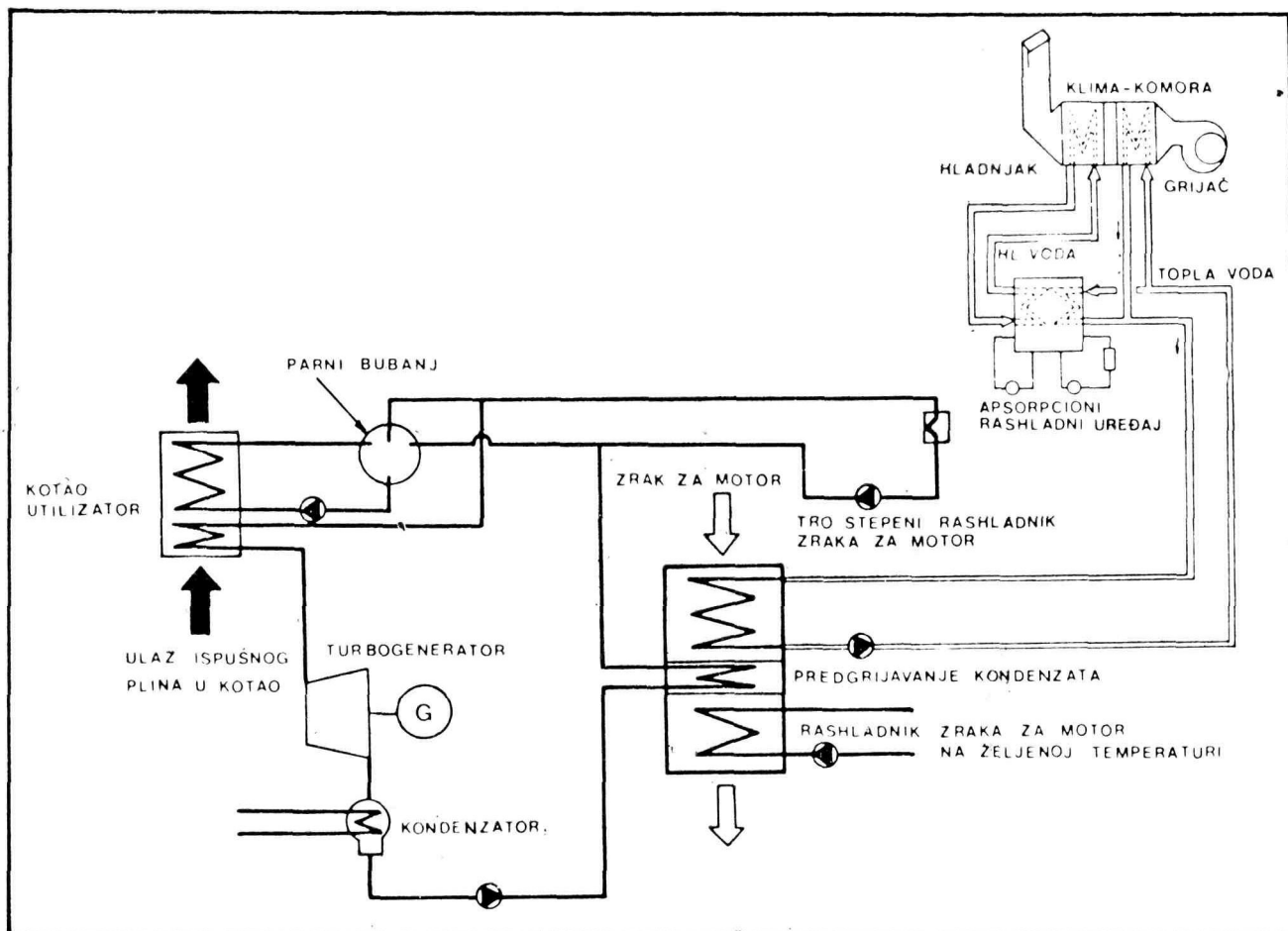
- ispušne plinove,
- toplu vodu više temperature,
- toplu vodu niže temperature.

Može se razmotriti široki raspon mogućnosti kako ih iskoristiti te kako ih međusobno spojiti.

Može se očekivati da će se postojeći sistem dalje usavršavati. Izvedbom kotla na ispušne plinove, s mogućom kombinacijom nekih kemijskih aditiva, može se omogućiti daljnja redukcija temperature plina na izlazu iz kotla, što će rezultirati većom obnovom energije.

Količina energije u rashladnoj vodi motora je velika, ali se javlja u praktički neprimjenjivom obliku zbog vrlo niskim temperatura.

Sl. 3. Shema korištenja otpadne topline dizel-motora

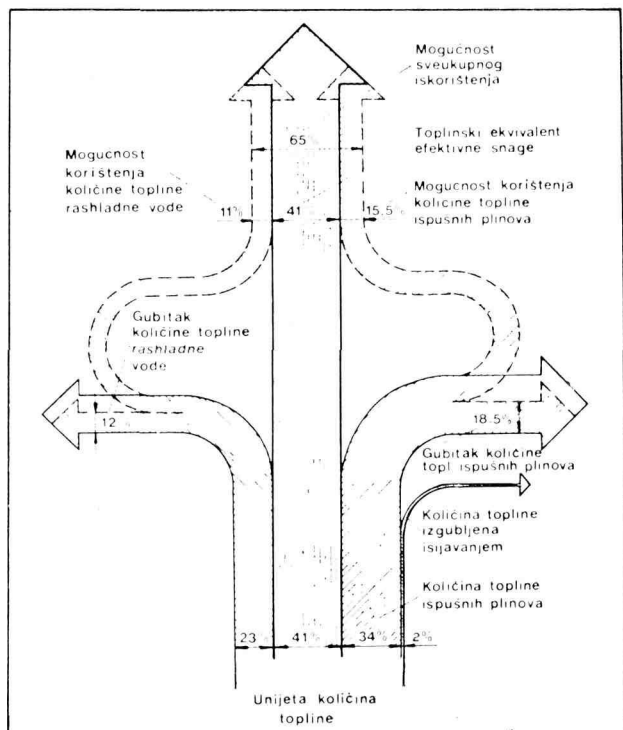


Na slici 3. prikazana je jedna od mogućnosti obnavljanja otpadne topline dizel-motora.

Dobivenu energiju iz kotla utilizatora moguće je koristiti u razne svrhe: pokretanje turbo-generatora i pregrijanom parom, zasićenom parom ili toplom vodom zagrijavati stambene zgrade. Kapacitet proizvodnje pare u kotlu može se prikazati slijedećim izrazom:

gdje su:

Sl. 4. Dijagram toplinske bilance dizel-motora



$$D = \frac{B_m \cdot G_g \cdot (i_{g1} - i_{g2}) \cdot \eta_k}{i_p - i_{pv}}, \text{ (kg/s)}$$

D [kg/s] — kapacitet pare kotla utilizatora,

B_m [kg/s] — potrošnja motornog goriva,

G_g [kg/kg] — količina ispušnih plinova,

i_{g1} [kJ/kg] — specifična entalpija ispušnih plinova na ulazu u kotao utilizator

i_{g2} [kJ/kg] — specifična entalpija ispušnih plinova na izlazu iz kotla utilizatora,

i_p [kJ/kg] — entalpija pare na izlazu iz kotla utilizatora,

i_{pv} [kJ/kg] — entalpija napojne vode,

η_k [— J] — stupanj izoliranosti kotla utilizatora.

Prema potrebi korištenja energije iz kotla utilizatora moguće je proizvesti: toplu vodu, zasićenu i pregrijanu paru. Na slici 3. vidimo dva rashladnika zraka koji sačinjavaju posebni sistem tople vode. Prvostepeni rashladnik zraka ima mogućnost zagrijavanja vode i preko 100°C. Toplu vodu dovodimo u klima-komoru cirkulacionom pumpom. U zimskom režimu u klima-komori se ovom vodom grije zrak. U toku ljetnog režima toplu vodu preko cirkulacione pumpe dovodimo u apsorpcioni rashladni uređaj, gdje hladimo vodu na potrebnu temperaturu za hlađenje zraka u klima-komori. Para i topla voda, dobivena uš-

tedom otpadne energije, mogu se upotrebiti višenamjenski.

Kotao utilizator može raditi kao samostalna jedinica, a može raditi u sprezi složenim kotlom. Svrha sprežavanja je poboljšanje efikasnosti rada kotla na ispušne plinove, te proširenje njegove funkcionalnosti u sistemu. Sprežanjem kotla olakšava se problem regulacije, pa se i na taj način proširuje opseg primjene kotla na ispušne plinove, te mu se povećava faktor istovremenosti rada.

Na slici 4. grafički je prikazan toplinski bilans dizel-motora sa približnim učešćem pojedinih količina topline. Unesene su veličine obnovljene otpadne topline koje su bile predmet razmatranja u ovom radu.

Sa stajališta uštede energije, opisani sistem očito je interesantan budući da dodatna obnova otpadne topline povećava ekonomski stupanj iskorištenja cjelokupnog sistema. Komercijalna procjena sistema za iskorištavanje otpadne top-line sastoji se u određivanju najboljeg odnosa uštede zbog manje potrošene energije i dodatne investicije. Za vrijeme projektiranja sistema potrebno je prikazati vrijeme amortizacije, odnosno vremenski povrat investicija, koji ovisi o:

- cijeni goriva,
- cijeni dodatne opreme i njenoj ugradnji,
- dodatnim troškovima održavanja.

Sve skuplje gorivo povećava težnju za što većim stupnjem korištenja otpadne topline. Ugradnjom i eksploatacijom ovakvog ili sličnog sistema, smanjuje se period otplate investicione opreme, što je interesantno i sa stajališta upotrebe i prosječnog trajanja dizel-motora.

Zaključak

Opredjeljujući se za način korištenja otpadne energije, potrebno je imati cjelovitu sliku sistema dizel-motora i varijante korištenja otpadne topline. Na osnovu izloženog, slijedi zaključak da je moguće povećati stupanj djelovanja strojnog kompleksa stabilnog dizel-motornog postrojenja. Instalacija predloženog sistema nalaže dodatne investicije u odnosu na klasičnu postojeću instalaciju. Sistem se može primijeniti u više varijanti, ali treba isprojektirati najekonomičniju, koja ovisi o energetske bilanci motora i troškovima eksploatacije, investicije i amortizacije.

Literature

- [1] MARTINOVIĆ, D.: Prilog optimiranju potrošnje i proizvodnje topline na brodovima, doktorska disertacija, 1981.
- [2] MARTINOVIĆ, D.: Analiza otpadne topline i mogućnosti efikasnijeg iskorištenja na motornim brodovima, V. simpozij o teoriji i praksi brodogradnje, Split, 1982.
- [3] MARTINOVIĆ, D.: Mogućnosti korištenja otpadne topline dizel-motora velikih snaga, IV savjetovanje o energetici, Opatija, 1982.
- [4] MIKULIČIĆ, M.: Motori 1, Školska knjiga, Zagreb, 1976.
- [5] ***: U radu je korištena prospektna dokumentacija tvrtki »Burmister Wain«, »Sulzer«, »Pielstick«, »MAN«.