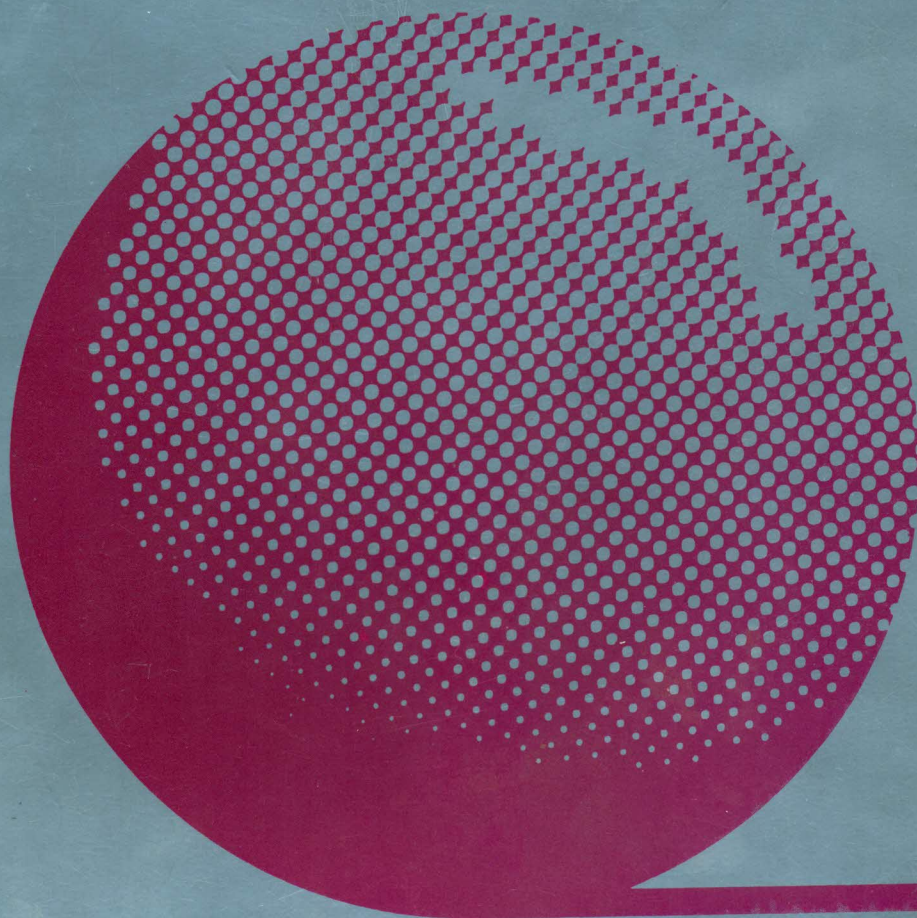


TERMOTehnika

1-2 1995

YU ISSN 0350-218 X
UKD 621

Jugoslovensko društvo termičara
Journal of the Yugoslavian Society of the Heat Transfer Engineers



ТЕРМОТЕХНИКА ГОДИНА XXI БРОЈ 1—2 СТР. 1—140 БЕОГРАД 1995

Nebojša Lukić, Milorad Bojić
Mašinski fakultet, Kragujevac

UTICAJ TEMPERATURA PROSTORIJA I OKOLINE NA OPTIMALNI REŽIM REKUPERATORA TERMIČKI TEŠKE ZGRADE

Originalni naučni rad
UDK: 519.85:697.1/3
BIBLID: 0350-218X, 21 (1995) 1-2, p. 103-110

U ovom radu se prati uticaj promene temperatura prostorija i okoline na optimalni energetski sistem industrijske (termički teške) zgrade sa ugrađenim rekuperatorom i većim brojem raspoloživih tokova otpadne energije. Formirani model zgrade se izučava metodom linearnog programiranja. Ona daje optimalne scenarije rada sa energetskim sistemom, scenarije koji daju minimum potrošnje ili maksimum ušteda energije.

1. Uvod

Rekuperacija energije u termički teškim zgradama, industrijskim sistemima sa znatnim iznosima otpadne energije predstavlja najčešće isplativu investiciju. Ukoliko u takvoj termički teškoj zgradi postoji više raspoloživih tokova otpadne energije, različitih energetskih sadržaja (protoci i temperature), postavlja se opravdano pitanje koje tokove ili delove tokova uključiti u razmenu toplote u rekuperatoru kako bi se dobila minimalna potrošnja, odnosno maksimalna ušteda energije u sistemu. Pitanje je da li se i kako vrednost optimalnog toka kroz rekuperator menja sa promenom karakteristika posmatranog energetskog sistema, temperature u prostorijama i van njih.

Odgovori na postavljena pitanja traže se rešavanjem formiranog matematičkog modela industrijske termički teške zgrade metodom linearnog programiranja.

2. Matematički model termički teške zgrade

Usvojeni matematički model treba da sadrži sve značajne energetske elemente tipične industrijske zgrade (vidi [6]) koji svojom interakcijom dovode do višeznačnog uticaja određenih veličina na posmatranu funkciju energetskog sistema.

jednačine ograničenja sistema. Ove nejednačine su neophodne kako bi se izbegla nere-
alna rešenja sistema. Kako je model nelinearan pribegava se razbijanjem nelinearnih
članova u formiranim jednačinama na linearne članove Taylorovog reda. Dalja procedura
rešavanja LP modela objašnjena je u [2].

Linearno programiranje na energetskim modelima sa i bez nelinearnih članova u
pregledanoj literaturi korišćeno je za optimizaciju u parokondenznim sistemima ener-
ganama [2], elektranama [3] i metalurškim kombinatima [4], dok se ovde primenjuje na
modelu termički teške zgrade.

Za realizaciju LP rešenja iskorišćen je (uz znatne izmene) iz [5] jedan od standardnih
softverskih LP paketa (LP dualna simpleks metoda).

Ovde se mora napomenuti da je u LP modelu korišćena srednja aritmetička razlika
temperatura umesto srednje logaritamske razlike temperature u razmenjivačima toplote.
Ovim uprošćenjem se u najnepovoljnijim slučajevima nije pravila greška veća od 4% (vidi
[1]).

3. Analiza modela

Ciljna funkcija LP modela je maksimalna relativna ušteda energije ETE koja je data
kao:

$$ETE = \frac{Q_{wb} - Q_w}{Q_{wb}}$$

gde je Q_{wb} potrošnja energije termički teške zgrade ali bez rekuperacije energije [kW].

Pri promenama uticajnih veličina zgrade (kakve su na primer temperature prostorija
i okoline) LP metoda prilagođava veličine modela tako da režim razmene toplote u
rekuperatoru, uzrokuje uvek maksimalnu veličinu ETE.

U konkretnom slučaju što se tiče sastava otpadnog toka vazduha (nosioca Q_o) u
rekuperatoru mogu nastupiti tri slučaja:

- S1 - optimalni topliji protok rekuperatora čini protok otpadnog tehnološkog vaz-
duha.
- S2 - optimalni topliji protok rekuperatora čini protok otpadnog tehnološkog vaz-
duha plus protok izrađenog vazduha iz prostorija O1.
- S3 - optimalni topliji protok rekuperatora čini protok otpadnog tehnološkog
vazduha plus protok izrađenog vazduha iz prostorija O1 plus protok izrađenog
vazduha iz prostorija O2.

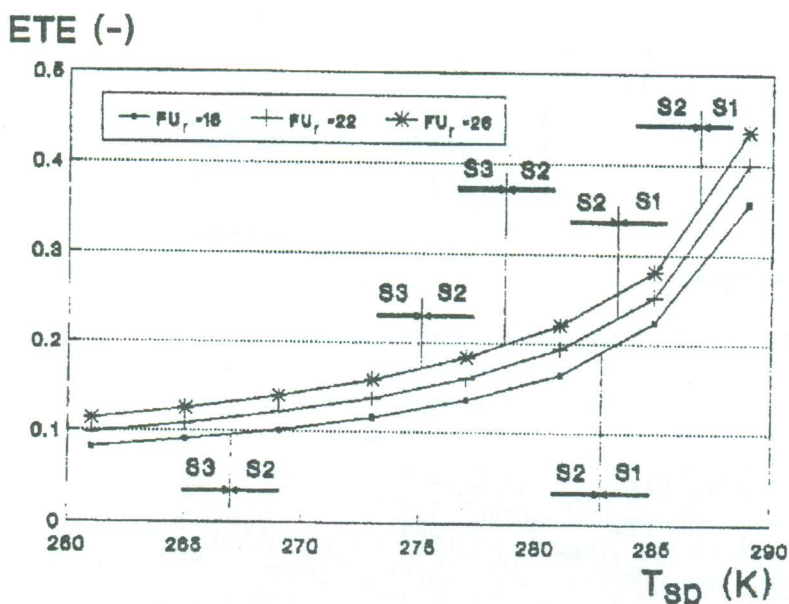
LP model će bez uvek nepogrešivo formirati optimalni scenario razmene toplote u
rekuperatoru.

4. Rezultati

Za sl. 2 važe konstantne veličine $T_{ij}=300$ K; $T_{i1}=295$ K; $T_{i2}=294$ K; (ostale veličine
modela su iste kao za model zgrade iz [1]).

Na sl. 2 prikazana je promena relativne uštede energije zgrade ETE u zavisnosti od promene temperature okoline T_{sp} za tri različite vrednosti totalne prolaznosti rekuperatora FU_r . Na slici su obeležena mesta na kojima prateći maksimalnu uštedu energije sistema LP model menja režime toplijeg protoka vazduha u rekuperatoru (S1, S2 ili S3).

Bez obzira što sa nižim temperaturama okoline apsolutni iznos uštede energije rekuperacijom Q_w raste relativna ušteda ETE je veća sa porastom temperature okoline. Sa druge strane kako raste temperatura okoline raspoloživi tokovi vazduha niže temperature postaju neinteresantni za optimalnu rekuperaciju energije (koju prati LP model). Za veće totalne prolaznosti rekuperatora relativna ušteda energije zgrade je razumljivo veća.



Slika 2. Relativna ušteda energije u funkciji temperature okoline

Za sl. 3 važe konstantne veličine $T_{i1}=300$ K; $T_{i2}=295$ K; $T_{sp}=273$ K; (ostale veličine modela su iste kao za model zgrade iz [1]).

Na sl. 3 prikazane su linije konstantne relativne uštede energije ETE (tri vrednosti ETE) u zavisnosti od promene razlika temperatura u prostorijama O1 i O2 DT (veličina DT se izračunava kao $DT = T_{i1} - T_{i2}$, pri čemu se temperatura T_{i1} održava konstantnom) i totalne prolaznosti rekuperatora FU_r .

Takođe su na sl. 3 ucrtane oblasti (debelim punim linijama) koje pokazuju na dijagramu gde važe različiti režimi toplijeg protoka u rekuperatoru (S1, S2 ili S3) da bi se dobila maksimalna ušteda energije zgrade.

Sa slike se vidi da se isti nivo uštede ETE za slabije rekuperatore (niže FU_r) postiče za veće razlike temperatura u prostorijama DT dakle pri nižim apsolutnim potrošnjama energije zgrade Q_w i Q_{wb} . Kako raste vrednost uštede ETE linije konstantne uštede se pomeraju ka većim vrednostima DT. Ove linije su u ispitivanim oblastima približno prave.

FU_r (kW)



Slika 3. Oblasti optimalne rekuperacije

Treba primetiti da pri nižim temperaturama u rekuperatoru S1-S2 dobija se optimalno neostvariv ča.

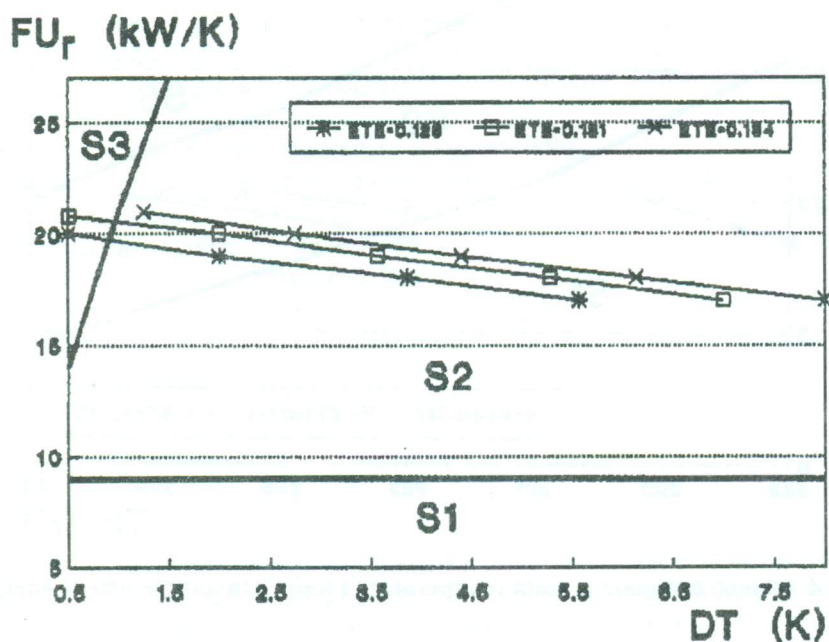
Za sl. 4 važe konstantne veličine $T_{i1}=300$ K; $T_{i2}=295$ K; $T_{sp}=273$ K; (ostale veličine modela su iste kao za model zgrade iz [1]).

Na sl. 4 prikazane su linije konstantne relativne uštede energije ETE (tri vrednosti ETE) u zavisnosti od promene razlika temperatura u prostorijama O1 i O2 DT (veličina DT se izračunava kao $DT = T_{i1} - T_{i2}$, pri čemu se temperatura T_{i1} održava konstantnom) i totalne prolaznosti rekuperatora FU_r .

Takođe su na sl. 4 ucrtane oblasti (debelim punim linijama) koje pokazuju na dijagramu gde važe različiti režimi toplijeg protoka u rekuperatoru (S1, S2 ili S3) da bi se dobila maksimalna ušteda energije zgrade.

Sa slike se vidi da se isti nivo uštede ETE za slabije rekuperatore (niže FU_r) postiče za veće razlike temperatura u prostorijama DT dakle pri nižim apsolutnim potrošnjama energije zgrade Q_w i Q_{wb} . Kako raste vrednost uštede ETE linije konstantne uštede se pomeraju ka većim vrednostima DT. Ove linije su u ispitivanim oblastima približno prave.

Treba primetiti da se isti nivo uštede ETE za slabije rekuperatore (niže FU_r) postiče za veće razlike temperatura u prostorijama DT dakle pri nižim apsolutnim potrošnjama energije zgrade Q_w i Q_{wb} . Kako raste vrednost uštede ETE linije konstantne uštede se pomeraju ka većim vrednostima DT. Ove linije su u ispitivanim oblastima približno prave.



Slika 3. Oblasti optimalnog rada rekuperatora i linije konstantne uštede energije

Treba primetiti da promena DT ne utiče na vrednost FU_r pri kojoj se menjaju režimi u rekuperatoru S1-S2 dok već pri malim vrednostima DT slučaj protoka S3 postaje optimalno neostvariv čak i pri visokim vrednostima FU_r (snažnim rekuperatorima).

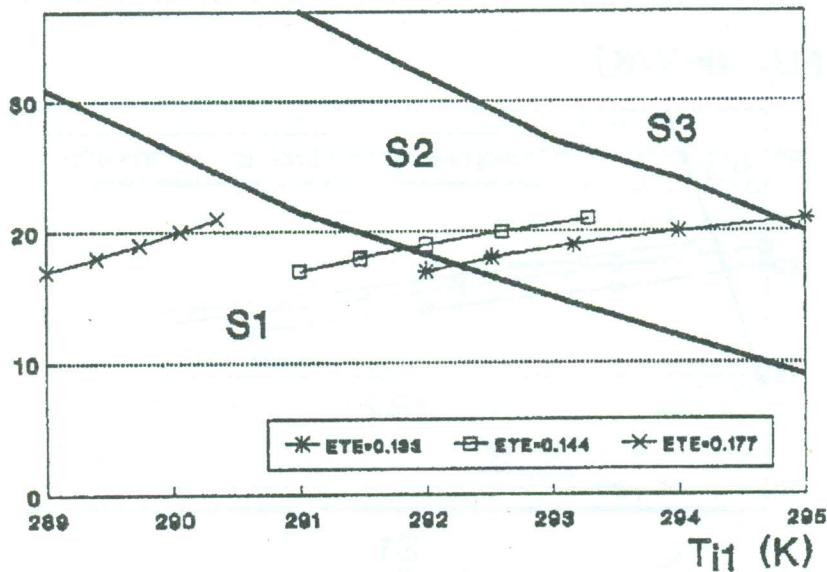
Za sl. 4 važe konstantne veličine $T_{ij}=300$ K; $DT=1$ K; $T_{sp}=273$ K; (ostale veličine modela su iste kao za model zgrade iz [1]).

Na sl. 4 prikazane su linije konstantne relativne uštede energije ETE (tri vrednosti ETE) u zavisnosti od promene temperature u prostorijama O1 T_{i1} (veličina DT je konstantna) i totalne prolaznosti rekuperatora FU_r .

Takođe su na sl. 4 ucrtane oblasti (debelim punim linijama) koje pokazuju na dijagramu gde važe različiti režimi toplijeg protoka u rekuperatoru (S1, S2 ili S3) da bi se dobila maksimalna ušteda energije zgrade.

Sa slike se vidi da se isti nivo uštede ETE za slabije rekuperatore (niže FU_r) postiže za niže temperature u prostorijama T_{i1} dakle pri nižim apsolutnim potrošnjama energije zgrade Q_w i Q_{wb} . Kako raste vrednost ušteda ETE linije konstantne uštede se pomeraju ka nižim vrednostima T_{i1} . Ove linije su u ispitivanim oblastima približno prave.

Treba primetiti da se sa promenom T_{i1} menjaju vrednosti FU_r pri kojima se menjaju režimi u rekuperatoru S1-S2 i S2-S3. Kako se temperatura toplijih prostorija približava temperaturi tehnološkog vazduha T_{ij} režimi u rekuperatoru idu od S1 ka S3. Razumljivo da pri visokim vrednostima FU_r (snažnim rekuperatorima) i niskotemperaturni tokovi (S2 i S3) se mogu efikasno iskoristiti.

FU_r (kW/K)

Slika 4 Oblasti optimalnog rada rekuperatora i linije konstantne uštede energije

5. Zaključak

Prednosti izučavanja problema LP metodom su u mogućnosti dobijanja veličina sistema prema odabranoj ciljnoj funkciji. Broj promenjivih veličina u odnosu na broj jednačina koje opisuju model pri tome je nebitan.

U pregledanoj literaturi nije pronađen primer gde se model termički teške zgrade tretira LP metodom, što daje dodatnu težinu ovom radu.

Rezultati rada između ostalog pokazuju da se sistemom razvoda raspoloživih tokova otpadne energije u termički teškoj zgradi, prema ili van ugrađenog rekuperatora, može ostvarivati stalni (mogući) minimum potrošnje energije. Korišćenjem LP metode može se reagovati na primer na promenu temperature okoline i izmeniti struktura protoka u rekuperatoru u cilju željene uštede energije.

Oznake

- DT – Razlika temperatura prostorija O1 i O2,
- ETE – Relativna ušteda energije,
- FU_r – Totalna prolaznost rekuperatora,
- K – Kalorifer,
- O1 – Prostorije zgrade sa održavanom temperaturom,
- O2 – Prostorije zgrade sa održavanom temperaturom koja je niža od one u prostorijama O1,

- Q_o – Količina toplote otpadnog vazduha koju koristi rekuperator,
- Q_{v1} – Količina toplote koju nosi vazduh posle rekuperacije,
- Q_{v2} – Količina toplote koju nosi vazduh koji se ubacuje u prostorije termički teške zgrade,
- Q_w – Potrošnja energije u zgradi sa rekuperacijom,
- Q_{wb} – Potrošnja energije termički teške zgrade bez rekuperacije,
- R – Rekuperator,
- S_{1,S2,S3} – Sastav toplijeg toka rekuperatora,
- T_J – Izdvojena tehnološka jedinica,
- T_{i1} – Izlazna temperatura vazduha iz prostorija O1,
- T_{i2} – Izlazna temperatura vazduha iz prostorija O2,
- T_{sp} – Temperatura okoline,
- T_{ij} – Temperatura otpadnog tehnološkog vazduha,

Literatura

- [1] Lukić, N., Nelinearno ponašanje industrijskih energetske sistema sa aspekta racionalnog rada sa energijom, Magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1992.
- [2] Clark, J.K., Helmick, N.E., How to Optimize the Design of Steam Systems, Process Energy Conservation, from Greene, R., Mc Graw Hill, New York, 1982.
- [3] Gustafsson, S.I., Karlsson, B.G., Linear Programming Optimization in CHP Networks, Heat Recovery Systems & CHP, Vol.11, No.4, 1991.
- [4] Ziebig, A., Primena Bilansnih Matematičkih Modela Racionalnog Rada sa Energijom u Industriji Radi Upravljanja Pomoću Mikrokompjutera, Toplota u industriji, Br.3, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1988.
- [5] Banks, J., Spoerer, J.P., Collins, R.L., IBM PC Applications for the Industrial Engineer and Manager, Reston Book, Published by Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [6] Spielvogel, L., Building Envelope, Energy Management Handbook, from Turner, W., John Wiley and Sons, 1982.
- [7] Bojić, M., Mathematical Model of Heat Recovery in a Space - Heating and Ventilation System, Energy, Vol.18, No.1, 1993.