

UDK 66.042.886

Ekonomske prednosti uporabe rotacijskega regeneratorja toplote

The Economic Advantages of Using A Rotary Heat Regenerator

DARKO GORIČANEC – JURIJ KROPE

Zaradi zahtev po zdravem okolju moramo bivalne in delovne prostore prezračevati ali klimatizirati. Ker je to povezano z velikimi izgubami toplotne energije, moramo iskati primerne in ekonomsko donosne načine izkorisčanja odpadne toplote. V prispevku je obravnavana ekonomska učinkovitost kondenzacijskega in entalpijskega regeneratorja toplote za določeno klimatsko področje.

Dwelling and working environments should be ventilated or air conditioned in order to provide a healthy environment. Suitable and economically effective ways of using waste heat should be found in order to reduce heat loss. This paper addresses the economic efficiency of a condensation and an enthalpy heat regenerator for certain climatic regions.

0 UVOD

Rotacijski regenerator toplote je namenjen učinkovitemu varčevanju s toplotno energijo v prezračevalnih sistemih, kjer je treba onesnaženi zrak zamenjati s svežim. Rotacijski regenerator toplote je protitočni prenosnik toplote z rotirajočo akumulacijsko maso, pri katerem skozi eno polovico teče odpadni zrak, skozi drugo polovico pa sveži zrak. Z rotacijskimi regeneratorji toplote v prezračevalnih sistemih lahko dosežemo tudi več ko 80-odstotno vračanje odpadne toplote in vlage ter zmanjšanje kemičnega in fizičnega onesnaženja zraka v prostoru. Tako znatno zmanjšamo energijske stroške ob sorazmerno nizkih investicijskih vzdrževalnih in obratovalnih stroških regeneratorjev.

Oblika satovja rotorja omogoča laminaren pretok zraka, tako da ne prihaja do odlaganja suhih nečistih delcev, hkrati pa se z vsakokratnim spremnjanjem smeri pretoka zraka omogoča uspešno samočiščenje satovja. Izstopajočega – odpadnega zraka običajno ni treba filtrirati, razen tedaj, ko so v odpadnem zraku lepljivi prašni delci ali delci, večji od 300 µm. Načelo delovanja rotacijskega regeneratorja toplote je razvidno s slike 1. Glede na način toplotne izmenjave in vračanje vlage iz odpadnega na sveži zrak ločimo kondenzacijski in entalpijski regenerator toplote.

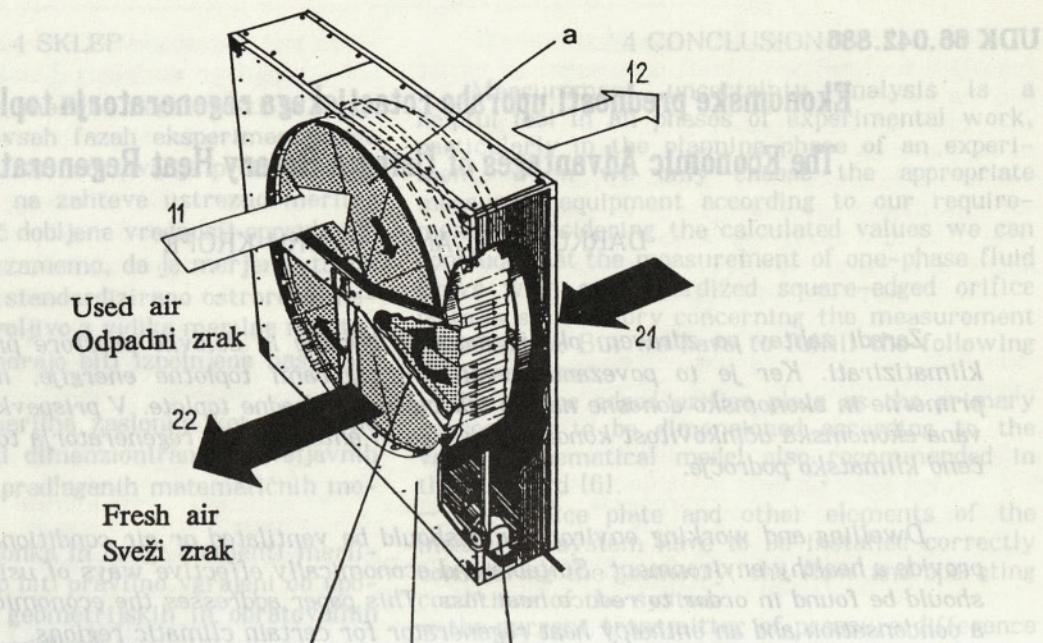
Kondenzacijski regenerator toplote omogoča vlaženje zraka samo v primeru, kadar je vlažnost odpadnega zraka pod točko rosišča svežega zraka. Entalpijski regenerator toplote pa lahko zaradi sorpcijskih lastnosti akumulacijske mase prenaša vлагo iz odpadnega na sveži zrak.

0 INTRODUCTION

A rotary heat regenerator provides significant heat savings in air conditioning systems where used air is replaced by fresh air. A rotary heat regenerator is a counter-current heat exchanger with rotating mass accumulation where used air flows through one half while fresh air flows through the other. The use of rotary heat regenerators in air-conditioning systems may result in more than 80% heat and humidity recovery while chemical and particular contamination is significantly reduced. This provides a means of substantial cost reduction with a relatively low fixed-capital expenditure as well as low maintenance and operating costs.

The layout of the rotor enables laminar air flow which prevents fouling by dry particles while the reversal of flow direction enables self-cleaning. Filtration of the effluent air is usually not required except when it contains adhesive particles and/or particles larger than 300 µm. The principle of the rotary heat regenerator is presented in Figure 1. According to the mode of heat transfer, there are two types of heat regenerators, condensation and enthalpy one.

A condensation heat regenerator enables air moisturing only when the humidity of the used air is below the dew point of the fresh air. An enthalpy heat regenerator may transfer the humidity from used air to fresh air owing to its sorption effects.



Sl. 1. Rotacijski regenerator toplote

a – rotor, b – okvir, c – vstavek za čiščenje satovja, d – pogon

Fig. 1. Rotary heat regenerator

a – rotor, b – frame, c – self-cleaning mechanism, d – drive

1 KLIMATSKI PARAMETRI

Srednje dnevne temperature in vlago določimo po enačbah:

$$T_{sr} = \frac{T_7 + T_{14} + 2T_{21}}{4} \quad (1)$$

$$x = \frac{x_7 + x_{14} + 2x_{21}}{4} \quad (2)$$

Temperature in relativne vlažnosti zunanjega zraka izmerimo dnevno ob 7^h, 14^h, 21^h, upoštevajoč desetletno povprečje [1]. Prihranek toplotne energije pri ventilaciji prostora določamo na podlagi statistične krivulje vsote dnevov s srednjo dnevno temperaturo (sl. 2) ali entalpijo (sl. 3). Krivulja vsote dnevov s srednjo dnevno temperaturo ali entalpijo je odvisna od klimatskega področja in je sestavljena iz treh karakterističnih temperaturnih ali entalpijskih področij.

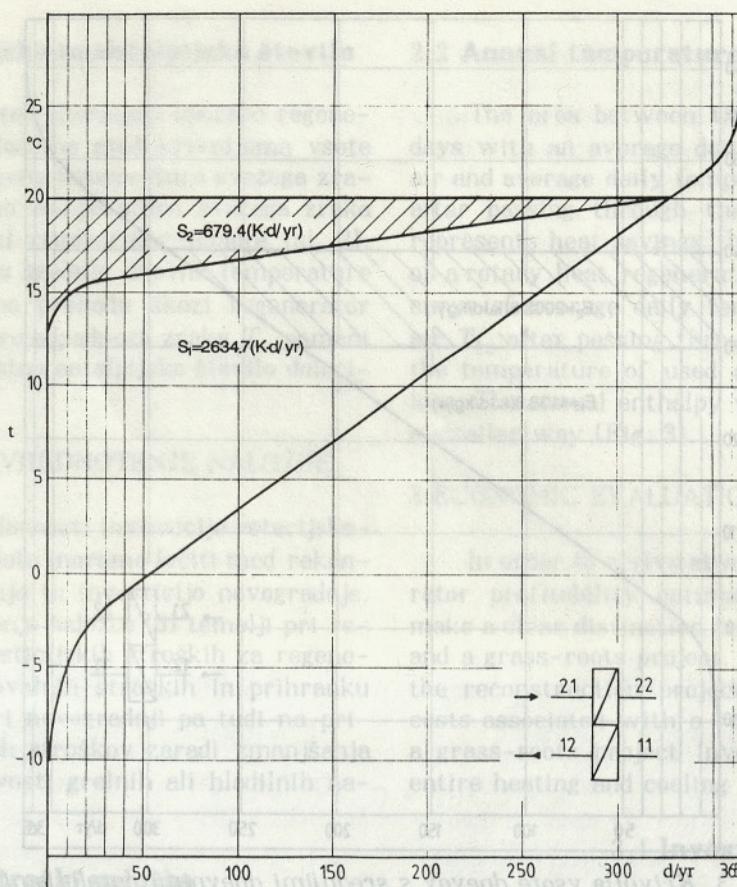
– Prvi del krivulje obsega področje z najnižjimi temperaturami, vključno interval $T_a = 271\text{K}$ do $T_a = 275\text{K}$. Za to področje lahko uporabimo eksponentno enačbo:

Average daily temperatures and humidity can be calculated from the following equations:

Temperature and relative air humidity are measured daily at 7:00, 14:00 and 21:00. An average value over the past decade is used [1]. Heat saving of air-conditioning is determined from the statistical curve of the sum of days with an average daily temperature – Figure 2 or enthalpy – Figure 3. The curve of the sum of days with average daily temperature or enthalpy depends on local climate and it consists of three characteristic temperature and enthalpy regions.

– The first part of the curve comprises the region of lowest temperatures including the interval from $T_a = 271\text{ K}$ to $T_a = 275\text{ K}$. For this region we can use the exponential equation:

$$z = a_1 + b_1 e^{(c_1(T_a - 273))} \quad (3)$$



Sl. 2. Krivulja vsote dnevov s srednjimi dnevnimi temperaturami
(S_1 – letno stopinjsko število za $\varphi = 0.795$)

Fig. 2. Curve of sum of days with an average daily temperatures
(S_1 – annual temperature value for $\varphi = 0.795$)

— Drugi del krivulje zajema področje v temperaturnem intervalu $T_a = 275$ do $T_a = 290$ K. Za ta del krivulje je značilna linearna odvisnost:

$$z = a_2 + b_2(T_a - 273) \quad (4)$$

— Tretji del krivulje zajema področje z najvišjimi temperaturami, vključno interval $T_a = 290$ K do $T_a = 294$ K. V tem primeru zopet velja eksponentna enačba:

$$z = a_3 + b_3 e^{(c_3(T_a - 273))} \quad (5)$$

Temperaturo T_a določimo statistično, konstante a, b, c pa numerično. Statistično krivuljo vsote dnevov s povprečno dnevno entalpijo določimo podobno, le da izraz ($T_a - 273$) v enačbah (3), (4) in (5) nadomestimo s srednjo dnevno entalpijo. Dobimo:

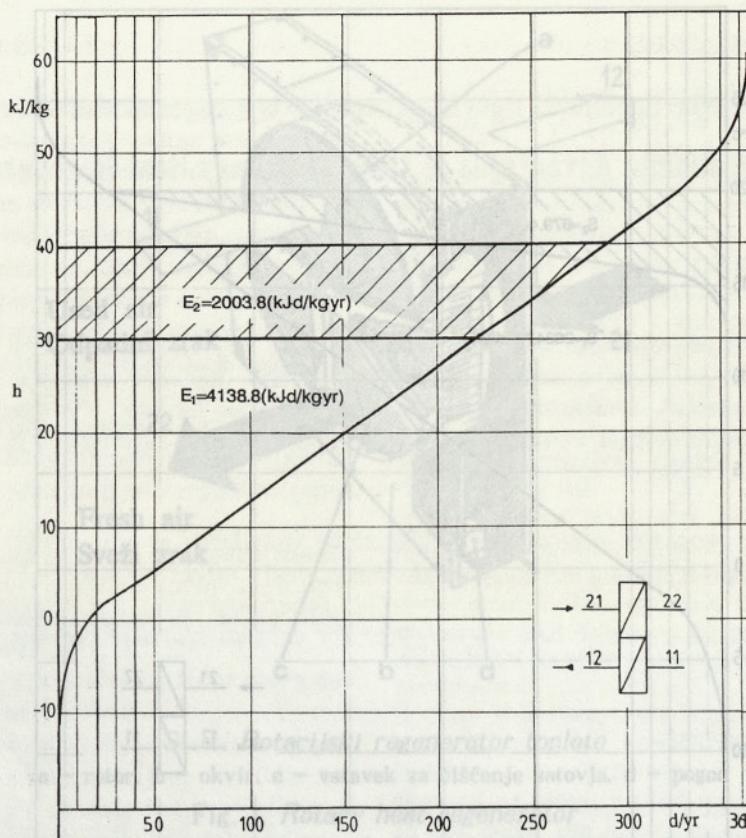
$$h = 1,0048 + H_a(2500 + 1.86 T) \quad (6)$$

$$H_a = 0.0622 p_z x / (p - p_z x) \quad (7)$$

— The second part includes the temperature region between $T_a = 275$ to $T_a = 290$ K. In this region linear dependence can be observed:

— The third part involves the region of the highest temperatures, $T_a = 290$ K to $T_a = 294$ K. The exponential relationship applies again to this region:

The value of T_a can be found from statistical data while the parameters a, b, and c can be determined numerically. A statistical curve of a sum of days with an average daily enthalpy can be prepared in a similar way except that $(T_a - 273)$ in the equations (3), (4) and (5) must be replaced by enthalpies. This yields:



Sl. 3. Krivulja vsote dnevov s srednjimi dnevnimi entalpijami
(E_1 – letno entalpijsko število za $\varphi = 0.81$)

Fig. 3. Curve of sum of days with average daily enthalpies
(E_1 – annual enthalpy value for $\varphi = 0.81$)

2 DOLOČITEV STOPNJE VRAČANJA TEMPERATURE IN VLAGE

2.1 Izkoristek vračanja toplote in vlage

Izkoristek toplote rotacijskega regeneratorja toplote znaša:

za odpadni zrak:

$$\varphi_1 = \frac{T_{11} - T_{12}}{T_{11} - T_{21}} \quad (8)$$

za zunanji zrak:

$$\varphi_2 = \frac{T_{22} - T_{21}}{T_{11} - T_{21}} \quad (9)$$

Izkoristek vlage rotacijskega regeneratorja toplote znaša:

za odpadni zrak:

$$\Phi_1 = \frac{X_{11} - X_{12}}{X_{11} - X_{21}} \quad (10)$$

za zunanji zrak:

$$\Phi_2 = \frac{X_{22} - X_{21}}{X_{11} - X_{21}} \quad (11)$$

2 DETERMINATION OF HEAT AND HUMIDITY RECOVERY

2.1 Heat and humidity

Heat recovery of a rotary regenerator can be determined:

for used air:

for fresh air:

Humidity recovery of a rotary regenerator can be calculated:

for used air:

for fresh air:

2.2 Letno stopinjsko in entalpijsko število

Prihranek toplotne energije z uporabo regeneratorja toplote je ploščina med krivuljama vsote dnevov s srednjo dnevno temperaturo svežega zraka in srednjo dnevno temperaturo svežega zraka T_{22} po prehodu skozi regenerator toplote (sl. 2). Ploščina nad krivuljo srednje dnevne temperature svežega zraka T_{22} po prehodu skozi regenerator toplote in temperaturo odpadnega zraka T_{11} , pomeni izgubljeno toploto. Letno entalpijsko število določimo podobno (sl. 3).

3 EKONOMSKO VREDNOTENJE NALOŽBE

Pri oceni gospodarnosti investicije rotacijskega regeneratorja toplote moramo ločiti med rekonstrukcijsko investicijo in investicijo novogradnje. Ekonomsko vrednotenje naložbe [3] temelji pri rekonstrukciji na investicijskih stroških za regenerator toplote, obratovalnih stroških in prihranku toplotne energije, pri novogradnji pa tudi na prihranku investicijskih stroškov zaradi zmanjšanja velikosti in zmogljivosti grelnih ali hladilnih naprav.

3.1 Stroški naložbe

Investicijske stroške regeneratorja toplote C_1 lahko krijemo z viri investitorja, krediti ali z izdajo delnic in obveznic.

3.2 Stroški vzdrževanja

Stroški vzdrževanja znašajo letno približno dva odstotka nabavne vrednosti regeneratorja toplote. Sedanja vrednost stroškov z upoštevanjem inflacije je:

$$C_2 = C_1 \cdot 0,02 \frac{(1+R)}{(r-R)} \left[1 - \left(\frac{1+R}{1+r} \right)^n \right] \quad (12)$$

3.3 Obratovalni stroški

Sedanja vrednost stroškov električne energije za pogon dveh ventilatorjev:

$$C_3 = \frac{C_e (q_v \Delta p_v + q_{tz} \Delta p_{tz}) t_1 t_2}{1000 \eta_v} \frac{(1+R)}{(r-R)} \left[1 - \left(\frac{1+R}{1+r} \right)^n \right] \quad (13)$$

Sedanja vrednost stroškov električne energije za pogon rotorja regeneratorja:

$$C_4 = \frac{C_e P_e t_1 t_2}{\eta_e} \frac{(1+R)}{(r-R)} \left[1 - \left(\frac{1+R}{1+r} \right)^n \right] \quad (14)$$

2.2 Annual temperature and enthalpy values

The area between the curves of a sum of days with an average daily temperature of fresh air and average daily temperature of fresh air T_{22} after passing through the regenerator (Fig. 2), represents heat savings that result from the use of a rotary heat regenerator. The area above the curve of average daily temperature of the fresh air T_{22} after passing through the regenerator and the temperature of used air T_{11} , represents heat loss. The annual enthalpy value can be obtained in a similar way (Fig. 3).

3 ECONOMIC EVALUATION OF PROFITABILITY

In order to arrive at a correct rotary regenerator profitability estimate it is necessary to make a clear distinction between a reconstruction and a grass-roots project. Economic evaluation of the reconstruction project [3] is based only on costs associated with a rotary regenerator while a grass-roots project involves the costs of the entire heating and cooling system.

3.1 Investment

The costs for rotary regenerator C_1 can be financed from different sources: owned capital, loans and by issue of stock or bonds.

3.2 Maintenance costs

Maintenance costs amount to approximately 2% of the fixed-investment. The present value of maintenance costs can be determined from the following equation:

3.3 Operating costs

The present value of fan electric power consumption:

$$C_3 = \frac{C_e (q_v \Delta p_v + q_{tz} \Delta p_{tz}) t_1 t_2}{1000 \eta_v} \frac{(1+R)}{(r-R)} \left[1 - \left(\frac{1+R}{1+r} \right)^n \right] \quad (13)$$

The present value of rotor drive power consumption:

$$C_4 = \frac{C_e P_e t_1 t_2}{\eta_e} \frac{(1+R)}{(r-R)} \left[1 - \left(\frac{1+R}{1+r} \right)^n \right] \quad (14)$$

3.4 Prihranek toplotne energije

Sedanja vrednost prihranka toplotne energije z uporabo kondenzacijskega regeneratorja toplote:

$$C_5 = q_v \rho c_p S_1 C_t t_1 f 10^{-3}$$

Pri tem je $f = t_2/365$.

Sedanja vrednost prihranka toplotne energije z uporabo entalpijskega regeneratorja toplote:

$$C_5 = q_v \rho E_1 C_t t_1 f 10^{-3} \frac{(1+R)}{(r-R)} \left[1 - \left(\frac{1+R}{1+r} \right)^n \right] \quad (15)$$

Sedanja vrednost naložbe:

$$C_s = C_5 - (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) \quad (17)$$

3.5 Donosnost naložbe

Donosnost naložbe določimo z enačbo:

$$K = C_5 / (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) \quad (18)$$

V primeru, da je $K > 1$, je naložba donosna.

3.6 Čas povrnitve naložbe

Čas obratovanja, v katerem se vložena sredstva vrnejo, imenujemo čas povrnitve naložbe. Naložba se povrne v času, ko je izpolnjen pogoj:

$$C_5 = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (19)$$

3.7 Minimalni čas obratovanja regeneratorja toplote

Donosnost investicije je med drugim odvisna tudi od časa obratovanja regeneratorja toplote. Obratovalni čas regeneratorja toplote, pri katerem se investicijski in obratovalni stroški izenačijo s prihranki energije, sedanja vrednost $C_s = 0$, imenujemo minimalni obratovalni čas.

4 PRIMER

Določiti je treba ekonomsko učinkovitost rekonstruiranega prezračevalnega sistema s kondenzacijskim regeneratorjem toplote z označbo RT 10-1700, proizvajalca IMP Maribor. Investicijski stroški regeneratorja toplote znašajo $C_1 = 5140$ USD, cena električne energije $C_e = 0.07$ USD/kWh, cena toplotne energije $C_t = 0.038$ USD/kWh. Iz diagrama učinka [2] ustreza pretoku $q_v = q_{IZ} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ odpadnega in svežega zraka, izkoristek odpadnega zraka $\varphi_1 = \varphi_2 = 0.795$ in padec tlaka v

3.4 Heat savings

The present value of heat savings arising from the use of a condensation heat regenerator:

$$(1+R) \left[1 - \left(\frac{1+R}{1+r} \right)^n \right] \quad (15)$$

Here: $f = t_2/365$.

The present value of heat savings arising from the use of an enthalpy heat regenerator is:

$$\frac{(1+R)}{(r-R)} \left[1 - \left(\frac{1+R}{1+r} \right)^n \right] \quad (16)$$

Sedanja vrednost naložbe:

The present value of investment:

$$C_s = C_5 - (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) \quad (17)$$

3.5 Profitability of Investment

Profitability of investment can be judged by:

If $K > 1$, the investment is profitable.

3.6 Payback period

The payback period is the time that the present value of cash flow takes to recap the fixed-capital expenditure:

3.7 Minimum heat regenerator operating time

Profitability of investment depends on the heat regenerator operating time. The minimum operating time that makes the present value $C_s = 0$ is defined as the minimum operating time.

4 SAMPLE PROBLEM

In this sample problem the profitability of heat recovery reconstruction will be estimated. An RT 10-1700 condensation heat regenerator (IMP Maribor) is considered. Total investment costs amounts to $C_1 = 5140$ USD, the price of electric power is $C_e = 0.07$ USD/kWh, the price of heat is $C_t = 0.038$ USD/kWh. From the efficiency diagram [2] we find the value $\varphi_1 = \varphi_2 = 0.795$, which corresponds to the design flow rate $q_v = q_{IZ} = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ and pressure drop $\Delta p_v = \Delta p_{IZ} = 120 \text{ Pa}$. Efficiency of fan and rotor drive are

rotorju $\Delta p_v = \Delta p_{iz} = 120$ Pa. Izkoristek ventilatorjev in pogona rotorja $\eta = 75$ odstotkov. Čas obratovanja $t_1 = 24$ h/dan oziroma $t_2 = 250$ dni/leto. Doba trajanja regeneratorja je $n = 15$ let, stopnja inflacije $R = 4$ odstotke in obrestna mera $r = 8$ odstotkov. Letno stopinjsko število določimo numerično z določitvijo površine med krviljami različnih področij (sl. 2).

Rezultati

Karakteristika letnega obratovanja: trajanje (ogrevano in regulirano področje) $z = 245,8$ dni, vrnjena toplotna energija $S_1 = 3\,162,1$ (K·dan/leto), izgubljena toplotna energija $S_2 = 815,4$ (K·dan/leto).

Karakteristika obratovanja v grelni sezoni: trajanje (ogrevano področje) $z = 192$ dni, vrnjena toplotna energija $S_1 = 2\,634,7$ (K·dan/leto), izgubljena toplotna energija $S_2 = 679,4$ (K·dan/leto).

Ekonomsko vrednotenje naložbe: porabljen električna energija na leto:

- za pogon ventilatorjev 4 800 kWh,
- za pogon rotorja 800 kWh.

Prihranek toplotne energije na leto 155,9 MWh, sedanje vrednosti stroškov $C_1 = 5\,140$ USD, $C_2 = 1\,155$ USD, $C_3 = 3\,237$ USD, $C_4 = 539$ USD, sedanja vrednost prihranka toplotne energije $C_5 = 66\,599$ USD, sedanja vrednost naložbe $C_s = 56\,527$ USD, koeficient rentabilnosti $K = 6,61$, vračilni rok investicije 0,96 leta. Investicija je rentabilna ($K = 1$), če regenerator toplotne obratuje 250 dni/leto, minimalno 2,4 ure na dan.

5 SKLEP

Ekonomsko učinkovitost kondenzacijskega in entalpijskega regeneratorja toplote lahko ugotovimo pri različnih ekonomskih in obratovalnih razmerah. V primeru novogradnje je lahko prihranek v naložbi zaradi zmanjšanja grelnih in hladilnih naprav dosti večji od stroška nakupa regeneratorja toplote. Entalpijski regeneratorji toplote so zaradi zmožnosti vračanja vlage kljub višjim investicijskim stroškom 10 do 20 odstotkov donosnejši od kondenzacijskih regeneratorjev toplote. Uporaba regeneratorja toplote je priporočljiva zaradi kratkega časa povrnitve naložbe in znatnih prihrankov toplotne energije.

6 SEZNAM OZNAČB

- C_e — cena električne energije (USD/kWh),
 C_{1-4} — sedanja vrednosti naložbe in stroškov (USD),
 C_5 — sedanja vrednost prihranka toplotne energije (USD),
 c_p — specifična toplota (kJ/kg K),
 C_s — sedanja vrednost naložbe (USD),
 C_t — cena toplotne energije (USD/kWh),

$\eta = 75\%$. Operating times are $t_1 = 24$ hrs/day and $t_2 = 250$ d/yr. The lifetime of the regenerator is $n = 15$ yrs., the inflation rate is $R = 4\%$ and the discount rate is $r = 8\%$. The annual temperature value has been calculated from the surface between the curves of different regions using the numerical technique described in Figure 2.

Results

Annual operating characteristics: period (heated and controlled region) $z = 245.8$ days heat recovery $S_1 = 3\,162.1$ Kd/yr., heat loss $S_2 = 815.4$ Kd/yr.

Heating season operating characteristics: period (heated region), $z = 192$ days, heat recovery $S_1 = 2\,634.7$ Kd/yr., heat losses $S_2 = 679.4$ Kd/yr.

Economic evaluation of profitability: annual electric power consumption:

- fan drive, 4800 kWh.
- rotor drive, 800 kWh.

Annual heat savings, 155.9 MWh, present values of costs $C_1 = 5\,140$ USD, $C_2 = 1\,155$ USD, $C_3 = 3\,237$ USD, $C_4 = 539$ USD, present values of savings $C_5 = 66\,599$ USD, present value of venture $C_s = 56\,527$ USD, profitability coefficient $K = 6.61$, payback period 0.96 yr. Investment is acceptable ($K = 1$) if the regenerator operates 250 days/yr. for at least 2.4 hrs/d.

5 CONCLUSION

The profitability of a condensation and an enthalpy heat regenerator can be quickly determined for different economic and operating conditions. When a grass-roots project is considered, savings arising from the reduced sizes of heating and cooling equipment are larger than those for a regenerator alone. Due to the capability of moisture recovery, enthalpy regenerators are 10 – 20 % more profitable despite of their larger investment costs. The use of heat regenerators is recommended due to their very short payback period and significant heat savings.

6 SYMBOLS USED

- C_e — price of electric power (USD/kWh),
 C_{1-4} — present values of investment and costs,
 C_5 — present value of heat energy savings (USD),
 c_p — specific heat (kJ/kgK),
 C_s — present value of venture (USD),
 C_t — price of heat (USD/kWh),

E — letno entalpijsko število (kJ dan/kg leto),
 h — entalpija (kJ/kg),
 H_a — absolutna vlažnost (kg/kg),
 K — koeficient rentabilnosti,
 n — čas obratovanja regeneratorja (let),
 Δp_{iz} — padec tlaka odpadnega zraka v rotorju (Pa),
 Δp_v — padec tlaka svežega zraka v rotorju (Pa),
 q_{iz} — pretok odpadnega zraka (m^3/s),
 q_v — pretok svežega zraka (m^3/s),
 R — inflacijska stopnja (%),
 r — obrestna mera (%),
 S — letno stopinjsko število (K dan/leto),
 T — temperatura (K),
 z — število dni s povprečno dnevno temperatu-
 ro (entalpijo),
 x — vlažnost zraka (kg/kg),
 φ — izkoristek toplote,
 Φ — izkoristek vlage,
 ρ — gostota zraka (kg/m^3),
 η_e — izkoristek pogona rotorja (%),
 η_v — izkoristek ventilatorja (%).

E — annual enthalpy value (kJ d/kg yr),
 h — enthalpy (kJ/kg),
 H_a — absolute humidity (kg/kg),
 K — profitability coefficient,
 n — regenerator operating time (yrs),
 Δp_{iz} — pressure drop of effluent air in the rotor (Pa),
 Δp_v — pressure drop of inlet air in rotor (Pa),
 q_{iz} — effluent air flow rate (m^3/s),
 q_v — fresh air flow rate (m^3/s),
 R — inflation rate (%),
 r — discount rate (%),
 S — annual temperature value (Kd/yr),
 T — temperature (K),
 z — number of days with average daily tem-
 perature (enthalpy),
 x — air humidity (kg/kg),
 φ — heat recovery,
 Φ — humidity recovery,
 ρ — air density (kg/m^3),
 η_e — rotor drive efficiency (%),
 η_v — fan efficiency (%).

7 LITERATURA

7 REFERENCES

- [1] Meteorološki zavod Ljubljana. Izpis klimatskih podatkov. Ljubljana, 1986.
- [2] IMP Montaža Maribor. Regenerativni prenosniki toplote – prospekt.
- [3] Kurz, M.: Handbook of Engineering Economics. McGraw-Hill, 1988.

Naslov avtorjev: dr. Darko Goričanec, dipl. inž., prof. dr. Jurij Krope, dipl. inž.
Tehniška fakulteta
Univerze v Mariboru
Smetanova 17, 62000 Maribor

Prejeto: 8.4.1994
Received: 8.4.1994

Author's Address: Dr. Darko Goričanec, Dipl. Ing., Prof. Dr. Jurij Krope, Dipl. Ing.
Faculty of Engineering
University of Maribor
Smetanova 17, 62000 Maribor

Sprejeto: 5.5.1994
Accepted: 5.5.1994

Določiti je treba ekonomsko učinkovitost rekonstruiranega regeneratorja z vloženim s kondenzačkim regeneratorjem toplotne vrednosti $C_p = 10\text{--}17 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$. Vrednost $\eta_e = 0.705$, strateško bazi investicij na letnino (tj. letu) $S = 0.005 \text{ USD/m}^3 \text{ d}$, cena toplotne energije $C_e = 0.035 \text{ USD/m}^3 \text{ d}$ in diagrama učinka (2) na sliki 1 je $\eta_v = 0.705 \text{--} 2.5 \text{ m}^3/s$ (pri tem se v določilni vrednosti odpadnega zraka $\eta_v = 0.705 \text{--} 2.5 \text{ m}^3/s$ med konstantnimi vrednostmi).

In this sample problem the economic efficiency of the reconstruction will be estimated. As ref. 10, the regenerator (IMP Montaža Maribor) is considered. Total investment costs $\eta_e = 10\text{--}17 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$ are assumed. With the price of strategic base investment on the year (i.e. the year) $S = 0.005 \text{ USD/m}^3 \text{ d}$, the price of thermal energy $C_e = 0.035 \text{ USD/m}^3 \text{ d}$ and the diagram (2) we find the value $\eta_v = 0.705\text{--}2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (here $\eta_v = 0.705\text{--}2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ between constant values of the waste air $\eta_v = 0.705\text{--}2.5 \text{ m}^3/\text{s}$).