

## PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE V KEMIJSKIH PROCESIH

Anita KOVAČ KRALJ

### POVZETEK

*Naš glavni cilj je koristna upora obstoječih plinov v kemični industriji za pogon plinske turbine. Procesi delujejo pri visokih tlakih in zatem sledi čiščenje pri nizkih tlakih. Ta tlačni padec lahko koristimo za kogeneracijo električne energije z uporabo odprtega sistema plinske turbine.*

### ABSTRACT

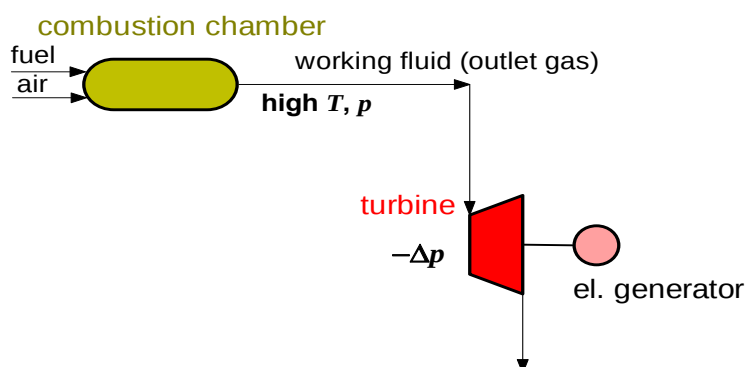
*Our main purpose is to use existing gases during chemical processes, in order to drive a turbine. Processes, that operate under high pressures, followed the cleaning at low pressures, can be exploited for electricity cogeneration. The high operating pressure at a reactor's outlet can be exploited to produce electricity using the open gas turbine system.*

## 1. UVOD

Starejši obstoječi procesi niso načrtovani optimalno. Energijsko učinkovitost lahko izboljšamo s simultanim matematičnim programiranjem (NLP; [1]) ter pri tem uporabimo obstoječo opremo in vključuje možnost kogeneracije električne energije.

## 2. ODPRT SISITEM PLINSKE TURBINE

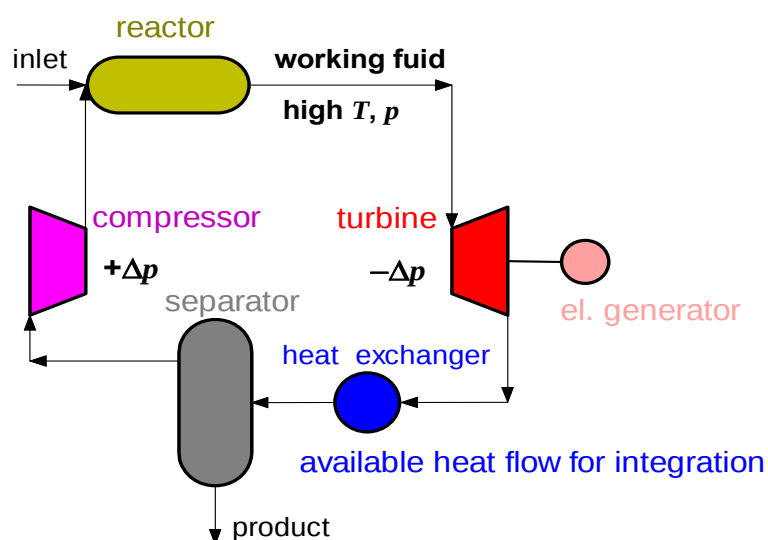
Plinska turbine je pogonski stroj. Zrak in gorivo tečeta skozi zgorevalno komoro (Sl. 1). Produkti zgorevanja se razširijo v turbino.



Sl 1: Plinska turbina

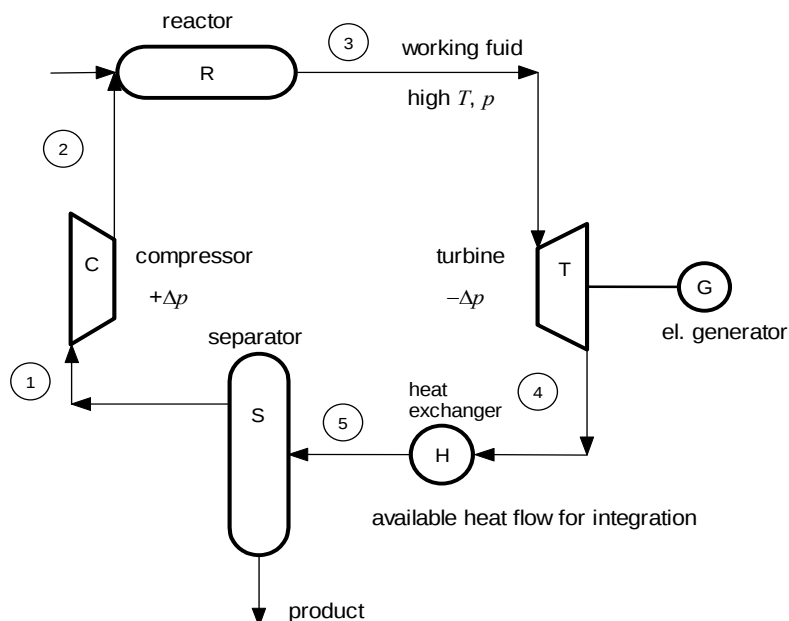
Veliko kemikalij se proizvaja pri visokem tlaku in temperaturi. Reaktor deluje kot zgorevalna komora pri napravi plinske turbine. Sledi čiščenje produkta od ostale reakcijske mešanice pri nižjem tlaku in temperaturi (Sl. 2). Ta tlačni padec lahko koristimo za kogeneracijo električne energije z uporabo odprtega sistema plinske turbine. Odprt sistem plinske turbine je sestavljen iz naslednjih procesnih enot, ki si ciklično sledijo:

- Reaktor (R)
- Plinska turbina (T) z generatorjem (G)
- Toplotni prenosnik (H)
- Separator (S)
- Kompressor (C).

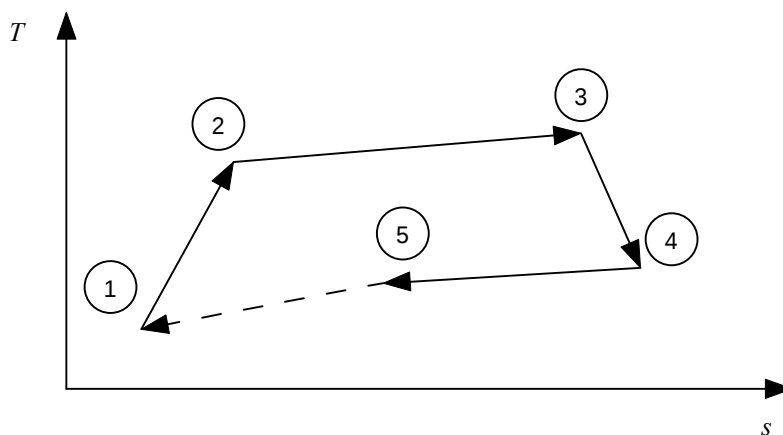


Sl. 2. Odprt sistem plinske turbine

Turbina uporablja kot delovni fluid iztok iz reaktorja (Sl. 3). Delovni fluid je prikazan s poenostavljenim diagramom temperatura/snovna entropija ( $T/s$ ; Sl. 4).



Sl. 3. Odprt sistem plinske turbine

Sl 4. Diagram  $T/s$ 

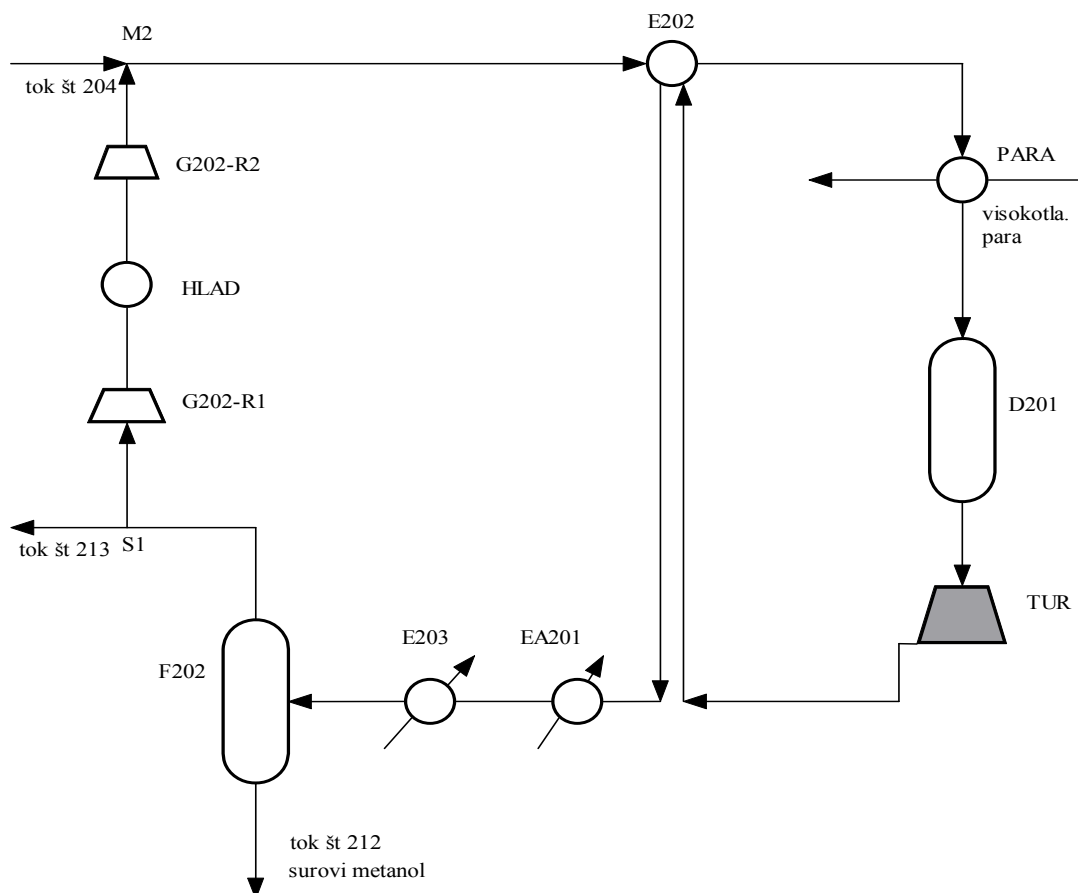
### 3. VGRADNJA ODPRTE TURBINE ZA REAKTORJEM

#### 3.1 Parametrični in strukturni model NLP

V obstoječem obratu proizvodnje metanola smo optimirali kogeneracijo električne energije v plinski turbini. Sinteza surovega metanola poteka pri visokem tlaku in temperaturi. Surovi metanol po sintezi ohlajamo in tako segrevamo vtok (E202) v reaktor (Sl. 5). Za reaktorjem (D201) bi lahko vgradili plinsko turbino (TUR), v kateri bi bil tok surovega

metanola delovni fluid [2]. Toplotno integracijo bi delno ali v celoti nadomestili z vgradnjo turbine. Sedanje segrevanje bi nadomestilo segrevanje s paro (PARA). Padec tlaka po sintezi surovega metanola bi bil večji, kot je dejanski, zato bi vgradili v obtok nov dvostopenjski kompresor (G202-R1+R2) z vmesnim hlajenjem (HLAD), ki bi plin komprimiral z večjo tlačno razliko na potrebnih 51 bar. Z matematičnimi metodami, natančneje z nelinearnim programiranjem (NLP), smo simultano optimirali celotni obtok proizvodnje surovega metanola.

V model NLP smo vključili strukturno in parametrično optimiranje. V obtoku plinov metanola načrtujemo segrevanje vtoka z iztokom iz reaktorja (E202) ali z visokotlačno paro (PARA) ali s kombinacijo obeh. Plinsko turbino (TUR) z 80 % učinkovitostjo ( $\eta_{tur}$ ) bi vgradili takoj za reaktorjem D201, iščemo optimalni padec tlaka in iztočno temperaturo. Vsi reakcijski parametri ostanejo nespremenjeni. Nadaljnje hlajenje bi izvajali v zračnem hladilniku EA201 in vodnem hladilniku E203. Optimirali smo delovni tlak in temperaturo v separatorju F202. V parametričnem modelu NLP smo optimirali snovni pretok odtoka iz ločilnika S1 med sedanjim 5,9 % in najnižjim možnim 5,2 % odtokom. Plinski tok nezreagiranih reaktantov vodimo v dvostopenjski kompresor (G202-R1 in G202-R2) z vmesnim hlajenjem (HLAD).



Sl. 5: Shema obtoka proizvodnje surovega metanola.

Moč plinske turbine ( $P_{\text{tur}}$ ) v modelu NLP optimiramo v odvisnosti od izhodne temperature ( $T_{\text{tur,out}}$ ) in molske toplotne kapacitete ( $C_m$ ; en. 1). Vhodna temperatura v turbino je konstantna ( $T_{\text{tur,in}}$ ).

$$P_{\text{tur}} = C_m (T_{\text{tur,in}} - T_{\text{tur,out}}) F \eta_{\text{tur}} \quad (1)$$

Z namensko funkcijo iščemo največji dodatni letni dobiček:

Največji dodatni letni dobiček =

$$\begin{aligned} C_{\text{el}} \cdot P_{\text{tur}} - C_{37} \cdot \Phi_{\text{PARA}} - [(22\,946 + 13,5 \cdot P_{\text{tur}}) \\ - 2\,605 \cdot P_{\text{G202-R1}}^{0,82} - 2\,605 \cdot P_{\text{G202-R2}}^{0,82} \\ - (8600 + 670 \cdot A_{\text{HLAD}}^{0,83}) \cdot 3,5 \cdot 2 - 670 \cdot \Delta A_{\text{E202}}^{0,83} \cdot 3,5 \cdot 2 \\ - 670 \cdot \Delta A_{\text{EA201}}^{0,83} \cdot 3,5 \cdot 2 - 670 \cdot \Delta A_{\text{E203}}^{0,83} \cdot 3,5 \cdot 2] \cdot r \end{aligned} \quad (2)$$

### 3.2 Rezultati

V obtoku sinteze surovega metanola bi proizvajali električno energijo (Sl. 6). Plinska turbina (TUR) z 80 % učinkovitostjo bi delovala z močjo 16,7 MW in s padcem tlaka 14,7 bar ter z iztočno temperaturo 100 °C. Vtok v reaktor bi segrevali z manjšim toplotnim tokom 2,6 MW iz reaktorja (E202) in z visokotlačno paro s toplotnim tokom 19,6 MW (PARA), to je 324 100 t/a pare. Surovi metanol pri nižji temperaturi bi hladili v nespremenjenem zračnem hladilniku EA201 s toplotnim tokom 5,3 MW in v vodnem hladilniku (E203) z večjim toplotnim tokom 7,8 MW. Ločevanje v separatorju F202 bi potekalo pri 35 bar in 35 °C. Odtok iz ločilnika S1 bi bil 5,2 %. Moči kompresorjev G202-R1 in G202-R2 bi bili 2,3 MW in 3,2 MW, z vmesnim hlajenjem (HLAD) s toplotnim tokom 2,3 MW. Sestava toka št. 204 je nespremenjena.

Cilj optimiranja je iskanje največjega dodatnega letnega dobička. Dodatni letni dobiček je razlika med dodatnimi letnimi prihodki in med dodatno letno amortizacijo ter dodatnimi letnimi stroški za nakup pare 37 bar. Cene so v preglednici 1.

Dodatni prihodek je vsota:

- proizvodnje 13 390 kW električne moči (zaradi morebitnih izgub smo še dodatno upoštevali 80 % učinkovitost) s prihodkom 5 830 kEUR/a in
- proizvodnje 1 376 t/a dodatnega surovega metanola s prihodkom 158 kEUR/a.

Celoten dodatni prihodek znaša 5 988 kEUR/a.

- PARA s prenosniško ploščino 588 m<sup>2</sup>,
- HLAD s prenosniško ploščino 392 m<sup>2</sup> in
- razširitev obstoječega E203 za 125 m<sup>2</sup>.

[illegible]

Sl. 6: Rezultati obtoka proizvodnje surovega metanola

## Preglednica 1: Cene

|                                                                  |                                                   |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Investicijska sredstva za toplotne prenosnike <sup>*</sup> /EUR: | $(8\,600 + 670 \cdot A^{0,83}) \cdot 3,5 \cdot 2$ |
| Investicijska sredstva za kompresorje <sup>&amp;</sup> /EUR:     | $2\,605 \cdot P^{0,82}$                           |
| Investicijska sredstva za plinsko turbino <sup>&amp;</sup> /EUR: | $22\,946 + 13,5 \cdot P_{\text{tur}}$             |
| Cena energije:                                                   |                                                   |
| - cena pare 37 bar ( $C_{37}$ ) <sup>**</sup> :                  | 106,3 EUR/(kW·a)                                  |
| - cena električne energije ( $C_{el}$ ) <sup>**</sup> :          | 435,4 EUR/(kW·a)                                  |
| Obratovanje:                                                     | 8000,0 h/a                                        |
| Obrestna mera:                                                   | 8,0 %                                             |
| Življenjska doba:                                                | 10,0 a                                            |

#### 4. ZAKLJUČKI

Simultana optimizacija modela NLP daje dobre rezultate. Rekonstruirani proces obratuje z dodatnim dobičkom.

Toplotno integracijo v procesu bi zmanjšali in bi vgradili plinsko turbino. Plinska turbina z 80 % učinkovitostjo bi delovala z močjo 16,7 MW in s padcem tlaka 14,7 bar. Vgradnja plinske turbine bi dodatno povečala letni dobiček za 2 693 kEUR/a.

#### 5. VIRI, LITERATURA

- [1] Biegler L. T., Grossmann I. E. and Westerberg A. W. (1997). Systematic methods of chemical process design. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- [2] Greeff I. L., Visser J. A., Ptasiński K. J. and Janssen F. J. J. G. (2002). Utilisation of reactor heat in methanol synthesis to reduce compressor duty -- application of power cycle principles and simulation tools. Applied Thermal Engng 22, 1549–1558.