

UPORABA MATEMATIČNEGA PROGRAMIRANJA PRI REKONSTRUKCIJI INDUSTRIJSKIH PROCESOV

Jernej HOSNAR, Anita KOVAČ-KRALJ

POVZETEK

Nizka učinkovitost, negativni vplivi na okolje in nerentabilno obratovanje so glavne pomanjkljivosti zastarelih industrijskih obratov. Obrati se lahko izboljšajo z rekonstrukcijsko tehniko in ustvarjenim matematičnim algoritmom, kot orodjem, za sistematični pristop pri inženirskem odločanju. Osrednja tematika strokovnega članka se osredotoča na razvoj matematičnega algoritma za kombiniran pristop k rekonstrukciji nerentabilnih industrijskih obratov. Cilji zastavljenega matematičnega algoritma so: i.) v večji meri ohraniti obstoječe procesne enote ter kemijske obrate, ii.) omogočiti potencial za iskanje novih procesnih alternativ in tehnoloških rešitev, iii.) zagotoviti utečeno delovanje vseh podsistemov in celotnih sistemov, iv.) se zavzemati za okoljsko in družbeno odgovornost ter v.) aplicirati koncept rekonstrukcijske metode na nerentabilne industrijske obrate.

ABSTRACT

Low efficiency, negative impacts on the environment and non-profitable operations are the main shortcomings of out-dated industrial power-plants. Such processes can be improved through reconstructive techniques and mathematical algorithms created as tools for systematic approaches during engineering decision-making. The study focuses on the development of a mathematical algorithm for a combined approach to the reconstruction of non-profitable industrial power-plants. The main goals of the set out mathematical algorithm are: i.) to maintain the existing process units and chemical plants to a greater extent, ii.) to enable the potential for finding new process alternatives and technological solutions, iii.) to provide a streamlined operation for all subsystems and total systems, iv.) to promote environmental and social responsibilities, and v.) to apply the concept of a reconstructive method for non-profitable chemical plants.

1. UVOD

Naraščajoča svetovna populacija, klimatske spremembe ter pomanjkanje fosilnih goriv so pripeljali do potrebe in zanimanj po bolj gospodarnem ravnanju z naravnimi viri. Zaradi splošne globalizacije, novih okoljskih in socialnih zahtev postaja velik del obstoječe kemijske industrije, razvite v zadnjih 30-ih letih, ekonomsko, energetsko in okoljsko nezadostne. Obrati v preteklosti niso bili prilagojeni tipičnim rekonstrukcijskim zahtevam, ki bi omogočale večjo energijsko učinkovitost in zadovoljivo produktivnost. Danes so surovine proizvodnje,

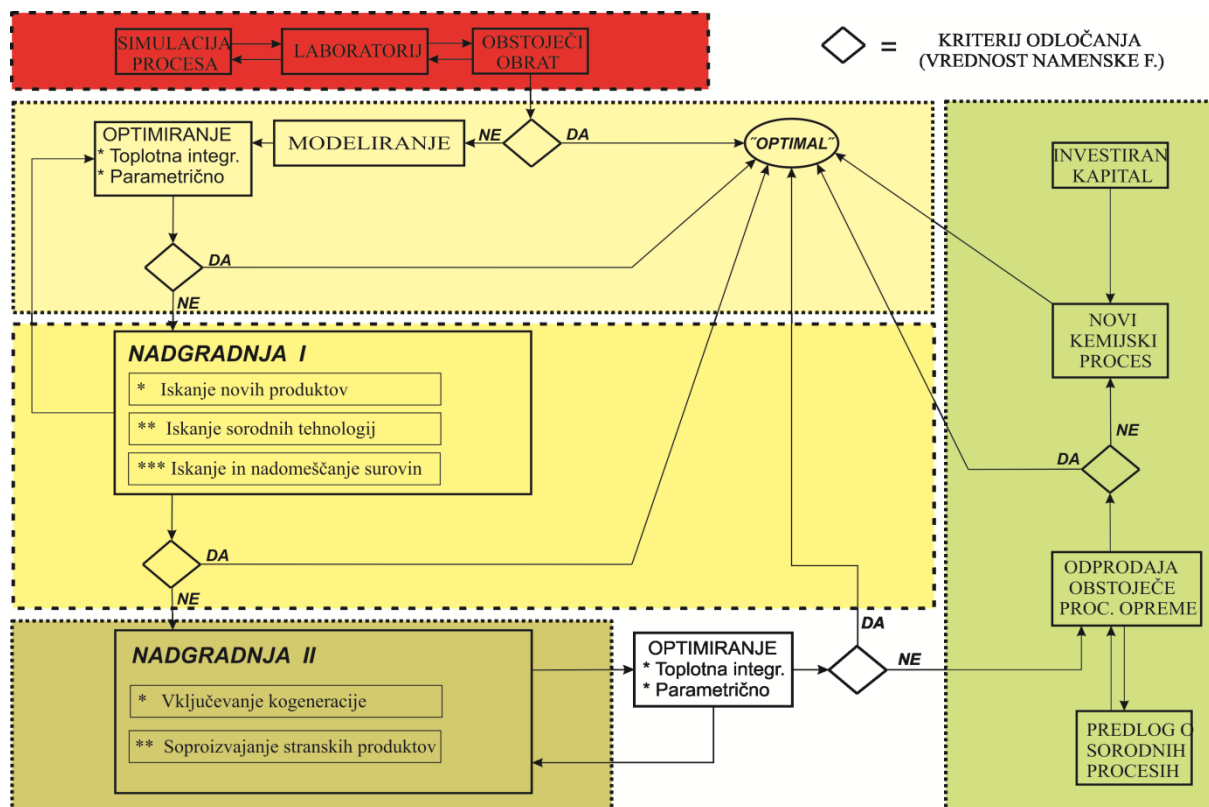
rekonstrukcijski materiali in procesna oprema dostopnejši, kakor v preteklosti. To je dodaten razlog, ki omogoča ustreznejše iskanje tehnoloških niš in strateških priložnosti.

Preučena študija se osredotoča na razvoj matematičnega algoritma za kombiniran pristop k rekonstrukciji nerentabilnih energetsko-kemijskih obratov. V prispevku je predstavljena idejna zasnova matematičnega modela, ki omogoča sistemsko vključevanje rekonstrukcijskih rešitev, in je bila zasnovana na podlagi vsebine znanstvenega članka (Hosnar 2014). Cilji zastavljenega matematičnega algoritma so: a.) v večji meri ohraniti obstoječe procesne enote ter kemijske obrate, b.) omogočiti potencial za iskanje novih procesnih alternativ in tehnoloških rešitev, c.) zagotoviti utečeno delovanje vseh podsistemov in celotnih sistemov, d.) zavzemati se za okoljsko in družbeno odgovornost ter e.) aplicirati koncept rekonstrukcijske metode na nerentabilne industrijske obrate.

2. REKONSTRUKCIJSKA TEHNIKA Z UPORABO MATEMATIČNEGA ALGORITMA

V naslednjem poglavju je predstavljen matematični algoritem za kombiniran pristop k rekonstrukciji industrijskih procesov: *i.)* osnovna tehnološko-ekonomska analiza obstoječega obrata, *ii.)* modifikacija I – v smeri novih produktov, sorodnih tehnologij in vključevanju obnovljivih, alternativnih surovin, *iii.)* modifikacija II – nadgradnja obrata s kogeneracijskim sistemom in dodatno proizvodnjo stranskih produktov, *iv.)* vrednotenje preostale investicijske vrednosti procesne opreme ter *v.)* metodologija matematičnega modeliranja in optimiranja. Na sliki 1 je shematsko predstavljen koncept matematičnega algoritma za kombiniran pristop k rekonstrukciji nerentabilnih industrijskih procesov.

Matematični algoritem zajema tehnološko analizo obstoječega industrijskega obrata, v 1. koraku. Analiza je podkrepjena z realnimi podatki pridobljenimi iz posameznega procesnega podsistema in pripadajočega razvojnega laboratorija. Celotni proces je simuliran v programu Aspen Plus[®], in služi kot ustrezno orodje za nadaljnje matematično modeliranje, optimiranje in vključevanje rekonstrukcijskih rešitev. Modeliranje in optimiranje (2. korak) potekata z napredno programsko opremo GAMS[®]. V 3. koraku poteka simultana toplotna integracija procesnih tokov ter optimiranje osnovnih fizikalnih in kemijskih veličin, kot so: T , p , χ , q_m , itd. Korak 4 predstavlja osnovno nadgradnjo obstoječega obrata. Izboljšanje temelji na iskanju novih, tržno zanimivih, okoljsko sprejemljivih in tehnološko izvedljivih produktih procesih. Iste produkte je moč sintetizirati po različnih reakcijskih poteh in z različnimi tehnologijami.



Sl. 1: Shematski koncept matematičnega algoritma za kombiniran pristop k rekonstrukciji nerentabilnih industrijskih procesov.

Pomembno vlogo igra ustrezna učinkovitost procesnih enot: maksimalna možna presnova reaktantov v reaktorjih, maksimalen prenos toplote v grelnih in hladilnih sistemih ter ustrezna ločljivost produktov od preostalih komponent. Za nižjo porabo fosilnih surovin je v algoritmu vključena poraba surovin iz obnovljivih virov. Korak 5 temelji na energetsko-snovni nadgradnji obstoječega obrata. Kogeneracija je rentabilna takrat, ko ima sistem zagotovljena oba porabnika (tako električnega, kot tudi toplotnega). Z vključevanjem potencialnega kogeneracijskega sistema v matematični algoritem je zagotovljeno bolj ekonomično obratovanje. S kogeneracijo se proizvaja toplotna in električna energija z manjšim vložkom primarne energije, kot če bi se omenjeni energiji proizvodili ločeno. V drugem delu energetsko-snovne modifikacije je podan potencial za so-proizvodnjo stranskih produktov. Korak 6 predstavlja izračun preostale investicijske vrednosti procesne opreme in možno odprodajo obstoječih procesnih enot. Ekonomska vrednost je vedno nižja od nakupne. Vzroki so v zastarelosti, zmanjšani učinkovitosti, nižjih izkoristkih ter korozijskih spremembah na posameznih procesnih enotah. Korak 7 podaja predlog, na podlagi investiranja dodatnih denarnih sredstev, za izgradnjo novih kemijskih oz. industrijskih procesov.

2.1 Obstoječi metanolni (MeOH) obrat

Obstoječi kemijski obrat za sintezo metanola (MeOH) iz zemeljskega plina (ZP) ima vtočno kapaciteto 150.000 t/a in je bil podrobneje analiziran s strani avtorjev (Kovač 2012). V

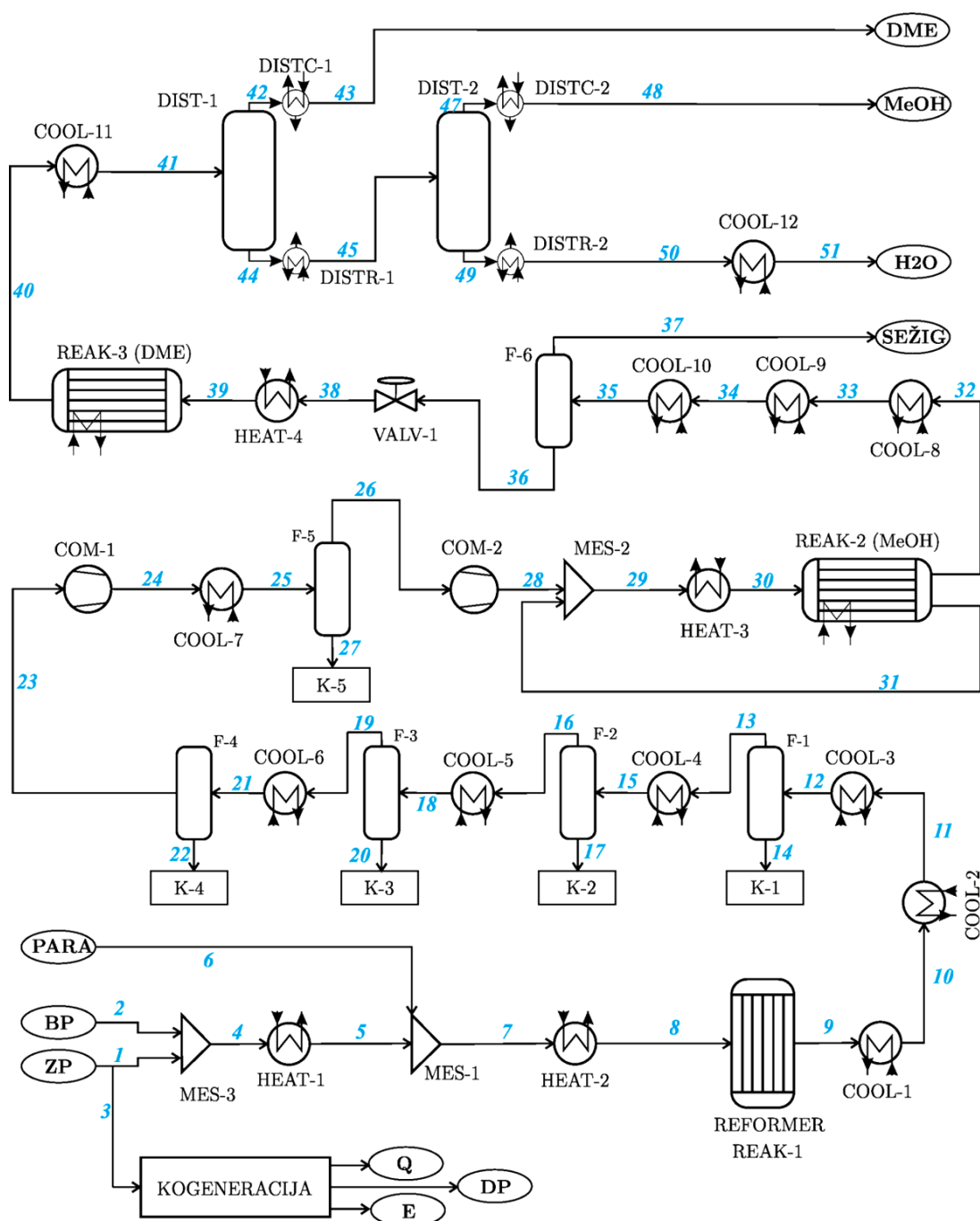
proces sinteze MeOH vstopata: i.) ZP pri temperaturi 0 °C in tlaku 24,5 bar, s kapaciteto 10.500 kg/h ter ii.) srednje-tlačna (ST) para pri temperaturi 427 °C in tlaku 22,2 bar, s kapaciteto 33.000 kg/h.

2.2 Matematično modeliranje

Osnovni matematični model zveznih in diskretnih spremenljivk, ki se rešuje simultano, je bil prvič uporabljen s strani avtorjev (Biegler 1997). Matematični algoritem vključuje vse osnovne zakonitosti posameznih procesnih enot, ki jih je podrobneje predstavil (Kocis 1989) in (Kravanja 1994), in so bile podrobneje predstavljene v članku (Hosnar 2014). Pri modeliranju posameznih procesnih enot je osnovno pravilo ohranitev mase in energije. Ustvarjen matematični algoritem temelji na posameznih procesnih enotah, ki so med seboj povezane s procesnimi tokovnicami. Model vsebuje enačbe za celotne in komponentne masne bilance, energijske bilance in enačbe za določanje velikostnih spremenljivk posameznih procesnih enot. Algoritem temelji na prisotnih kemijskih komponentah (molska masa, gostota, specifična toplotna kapaciteta in izparilna entalpija). Posamezni fizikalno-kemijski podatki, kot so celotni in komponentni masni tokovi, temperature, tlaki, reakcijski pogoji, sestava procesne sheme so prevzeti iz procesnega simulatorja Aspen Plus. Duran in Grossmann (Duran 1986) sta pokazala, da simultana optimizacija in toplotna integracija (TI) procesnih tokov omogočata velike energetske in stroškovne prihranke v kemijskih obratih. Simultana optimizacija procesnih parametrov predstavlja »fino nastavitve« variabilnih parametrov ter zagotavlja učinkovitejše in bolj ekonomično obratovanje.

3. REZULTATI

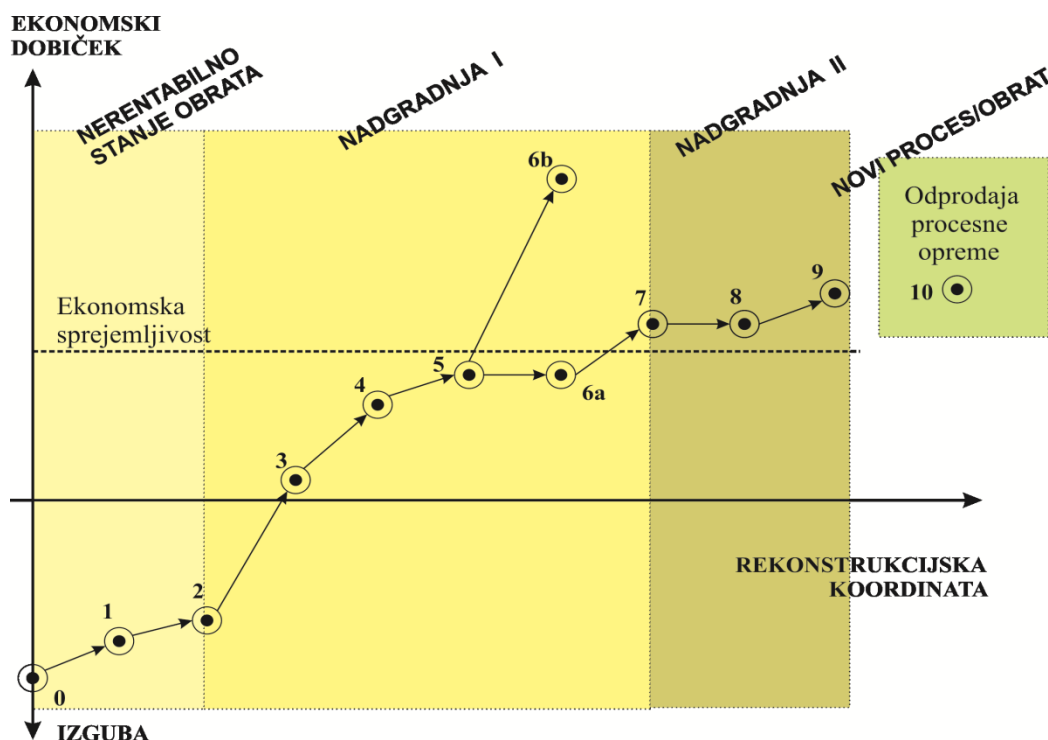
Ustvarjeni matematični algoritem je bil podrobneje obravnavan na študijskem primeru sinteze MeOH. Na podlagi predvidene procesne super-strukture je bila narejena podrobnejša tehnološko-ekonomska analiza modelirana v programu GAMS ([GAMS 2007](#)). Na sliki 2 je predstavljena procesna shema nadgrajenega MeOH obrata. Procesna super-struktura vključuje porabo obnovljivega energenta bio-plina (BP), kogeneracijski sistem za so-proizvodnjo toplotne in električne energije, procesno alternativo neposredne proizvodnje novega produkta DME ter vrednotenje preostale vrednosti investicije obstoječih procesnih enot.



Sl. 2: Procesna shema nadgrajenega MeOH obrata.

Na sliki 3 so predstavljeni letni dobički obstoječega in z rekonstrukcijo nadgrajenega kemijskega obrata. Točka 0 na diagramu predstavlja začetno nerentabilno stanje MeOH procesa. Obrat je bil dodatno parametrično optimiran ter ponovno toplotno integriran (v točkah 1 in 2). V točki 3 je bil obrat rekonstruiran v smeri proizvodnje novega produkta dimetil-etra (DME). Točki 4 in 5 predstavljata ponovno toplotno integracijo (TI) in optimiranje obstoječe procesne sheme. Točki 6a in 6b predstavljata dve različni tehnologiji (posredno in neposredno sintezo produkta DME iz ZP). Rekonstrukcijska pot je bila

nadaljevana z neposredno sintezo DME preko MeOH do točke 7, ki predstavlja vključevanje BP. Točka 8 predstavlja letni kosmati dobiček v primeru proizvodnje dodatnih stranskih produktov. Sledi točka 9 s vključeno kogeneracijo ter maksimalnim letnim dobičkom 5.570 MEUR/a.



Sl. 3: Pregled predvidenih kosmatih dobičkov na rekonstrukcijski poti z uporabo matematičnega algoritma.

V primeru, da energetsko-kemijski obrat ni zanimiv za potencialne investitorje, lahko obstoječa procesna oprema z zmanjšano investicijsko vrednostjo, postane del kapitala za postavitev novega kemijskega obrata (točka 10).

4. DISKUSIJA IN ZAKLJUČKI

Ustvarjeni matematični algoritem zajema i.) osnovno tehnološko-ekonomsko analizo obstoječega obrata, ii.) modifikacijo I – v smeri novih produktov, sorodnih tehnologij in vključevanju obnovljivih, alternativnih surovin, iii.) modifikacijo II – nadgradnjo obrata s kogeneracijskim sistemom in dodatno proizvodnjo stranskih produktov, iv.) vrednotenje preostale investicijske vrednosti procesne opreme ter v.) metodologijo matematičnega modeliranja in optimiranja. Model predstavlja dobro orodje pri rekonstrukciji nerentabilnih in okoljsko nesprejemljivih industrijskih obratov.

V prihodnje bo smiselno razvijati dodatne rekonstrukcijske metode, za sistemske pristope, pri zagotavljanju optimalnega obratovanja industrijskih obratov. Hkrati pa težiti k optimalnejšemu sožitju med energetiko in naravo.

5. VIRI IN LITERATURA

- [1] ASPEN, P. (2002). User Manual Release 11.1. Cambridge, USA: Aspen Technology Inc.
- [2] Biegler, L. T., and Grossmann, I. E., Westerberg, A. W. (1997). Systematic Methods of Chemical Process Design. Prentice Hall PTR: Upper Saddle River, NJ.
- [3] Duran, M. A., and Grossmann, I. E. (1986). Simultaneous optimization and heat integration of chemical processes, AIChE.
- [4] GAMS (2007). Beta 22.4, The solver manuals. Washington, USA.
- [5] Hosnar, J., and Kovač-Kralj, A. (2014). "The reconstruction technique of multi-product production and MINLP mathematical modelling." Journal of Cleaner Production.
- [6] Kovač, Kralj A., et al. "Replacing the existing methanol production within DME production by using biogas." V: 3rd International Conference on Industrial biotechnology, (Chemical Engineering transactions, ISSN 1974-9791, Vol. 27, 2012). Milano: AIDIC, cop. 2012, str. 25-30.
- [7] Kocis, G. R., Grossmann, I.E. (1989). "A modeling and decomposition strategy for the MINLP optimization of process flowsheets." Computers & Chemical Engineering **13**: 797-819.
- [8] Kravanja, Z., Grossmann, I.E. (1994). "New developments and capabilities in PROSYN — an automated topology and parameter process synthesizer." Computers & Chemical Engineering **18**: 1097-1114.

NASLOV AVTORJEV

Jernej Hosnar, uni. dipl. inž. kem. tehnologije
Doc. dr. Anita Kovač-Kralj

Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo,
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel.: + 386 2 229 44 58 Fax.: + 386 2 252 77 74
Elektronska pošta: jernej.hosnar@um.si