

Mr. sc. Dražen Lončar, dipl. ing.
Prof. dr. sc. Nikola Šerman, dipl. ing.
Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

SUVREMENA RJEŠENJA REGULACIJE PROCESA TERMOENERGETSKOG BLOKA

Sažetak

U radu su opisani regulacijski koncepti čija primjena prevladava u novijim izvedbama automatizacijskih sustava termoenergetskih blokova. Na primjeru regulacije snage bloka i regulacije temperature pare istaknut je trend korištenja matematičkih modela pojedinih dijelova procesa unutar regulacijskog kruga, kao i porast složenosti tehničkih rješenja. Prikazana su i napredna programska rješenja, utemeljena na neuronskim mrežama, koja omogućavaju značajno poboljšanje kvalitete procesa izgaranja snižavanjem razine emisije NO_x, kao i smanjenjem specifičnog utroška topline.

ključne riječi: termonergetski blok, regulacija procesa, model procesa,

MODERN PROCESS CONTROL IN THERMAL POWER PLANT

Abstract

Concepts and trends in modern thermal power plant control have been presented. Application of advanced control concepts and their combination with process models have been considered using unit control as an example. Rising complexity of technical solutions has been illustrated on steam temperature control loops. Use of intelligent software packages for combustion optimization has been described.

keywords: thermal power plant, process control, model based control,

Uvod

Postrojenja za proizvodnju električne energije ložena fosilnim gorivima značajan su segment proizvodnje elektroenergetskog sustava s važnom ulogom u regulaciji njegove snage i frekvencije. Bez obzira je li riječ o bazno opterećenim ili regulacijskim blokovima, za odvijanje pogona bloka sukladno postavljenim ekonomskim i ekološkim zahtjevima nužno je kvalitetno funkcioniranje regulacijskog sustava.

Termoenergetski blok kao objekt regulacije predstavlja nelinearni dinamički sustav s distribuiranim parametrima i velikim brojem dinamički povezanih reguliranih veličina. Brojna tehnološka ograničenja nameću uske granice dopustivih promjena reguliranih veličina i ograničavaju intenzitet djelovanja izvršnih organa. Strategija regulacije, zasnovana na smislenu uvedenim interakcijama koje kompenziraju interakcije uvjetovane tehnološkim procesom, načelno se nije mijenjala u više od pola stoljeća dugom

razdoblju automatizacije postrojenja. Za razliku od strategije, značajne promjene su nastupile u tehničkom i ekonomskom aspektu automatizacije.

Tehnički aspekt izravno je povezan sa stupnjem tehnološkog razvoja opreme koja se koristi u automatizacijskim sustavima. Sa završetkom dugog razdoblja dominacije analogne elektronike prestaje i dominacija relativno jednostavnih koncepata s povratnom vezom utemeljenih na PID regulatoru i njegovim derivatima. Od sredine '80-ih godina, zahvaljujući prodoru digitalne tehnologije, u porastu je broj tehničkih rješenja u kojima sve veći udio imaju signali predupravljanja. Već u to vrijeme brojne simulacijske studije, ali i prva pogonska iskustva ukazuju na prednosti naprednih (multivarijabilnih, s modelom staze) regulacijskih koncepata, ali ograničeni potencijal automatizacijske opreme onemogućava rašireniju primjenu na objektima. Tek se u posljednjih nekoliko godina, zahvaljujući razvoju i pojeftinjenju mikroprocesorske opreme te pripadnih alata za njeno programiranje, intenzivnije počinju primjenjivati složeniji regulacijski algoritmi kao i metode i tehnike razvijene u teoriji upravljanja. Na tržištu se, u sklopu standardne ponude renomiranih tvrtki, nude tehnička rješenja koja uključuju različite modele dinamike i statike procesa u bloku. U regulacijskim sustavima dominiraju signali predupravljanja dok se krugovi s povratnom vezom aktiviraju samo kod pojave odstupanja procesnih signala od vrijednosti varijabli proračunatih u modelu.

Glavna promjena u ekonomskom pristupu automatizaciji postrojenja očituje se u povećanom investiranju u opremu koje negdje dostiže i 10% vrijednosti novog objekta. Ciljevi vlasnika su: postizanje maksimalne iskoristivosti i raspoloživosti pogona te što bolje udovoljavanje sve složenijim zahtjevima mreže. Realizacija tih ciljeva, uvjet je opstanka na liberaliziranom elektroenergetskom tržištu. Povećane su i investicije u stare blokove na kojima se pored rekonstrukcije tehnološke opreme provodi i rekonstrukcija i modernizacija regulacijskog sustava s ciljem osposobljavanja bloka za sudjelovanje u regulaciji snage mreže (budući da su novi blokovi, zbog veće iskoristivosti, uglavnom predviđeni za bazni režim).

U nastavku su, na primjerima regulacije snage bloka, regulacije temperature pare i regulacije izgaranja opisani i shematskim prikazima ilustrirani karakteristični koncepti i tehnička rješenja koja se primjenjuju u suvremenim regulacijskim sustavima termoenergetskih blokova.

Regulacija snage bloka

Za razliku od starijih izvedbi, u kojima je nadređena regulacija snage bloka neovisno o odabranoj strategiji vođenja pogona bloka (turbina vodi, kotao vodi ili koordinirano vođenje) bila izvedena uglavnom u povratnoj vezi i s tek nekoliko osnovnih regulacijskih djelovanja PID tipa, kod suvremenih izvedbi u određivanju djelovanja glavnih zahvatnih veličina dominiraju signali predupravljanja koji se proračunavaju na temelju statičkih i dinamičkih modela procesa. Načelna shema suvremenog koncepta regulacije snage bloka data je na ilustraciji 1. /1/.

Signal zahtjevane električne snage P_G koristi se u kanalu predupravljanja za određivanje intenziteta loženja (signal (1)), te za upravljanje turbinskim ventilom (preko nelinearne značajke koja određuje ovisnosti otvorenosti ventila o snazi bloka – signal (2)). U oba slučaja djelovanje signala zahtjevane snage na podređene signale je čisto statičko.

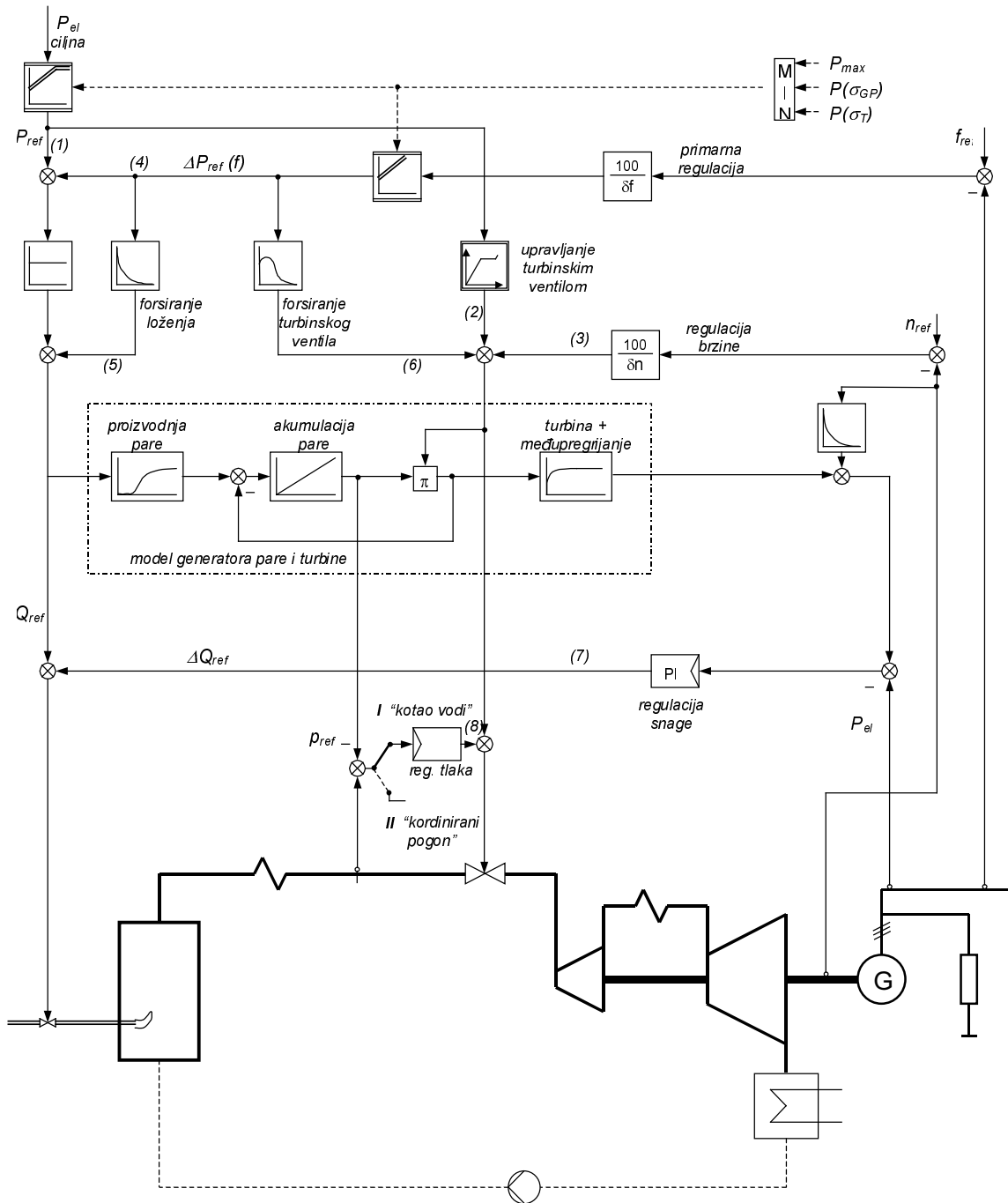
Ako blok sudjeluje u primarnoj regulaciji (što je uobičajen zahtjev na termoenergetske blokove u visokorazvijenim elektroenergetskim sustavima) u slučaju poremećaja u mreži dolazi do odstupanja frekvencije i brzine vrtnje od referentnih vrijednosti što izaziva odgovarajuću akciju predupravljanja (signali (3) i (4)) čiji je intenzitet pojačan signalima forsiranja (signali (5) i (6)) nastalim propuštanjem signala odstupanja frekvencije kroz blokove derivacijskih djelovanja.

Aproksimativni matematički model dinamike procesa u bloku koristi se za dinamičko vođenje referentnih veličina (snaga bloka i tlak svježe pare) koje se uspoređuju sa mjerenim vrijednostima. U matematički model procesa uključena su i realna ograničenja koja su postavljena na pogon izvršnih organa. Ako je dinamičko ponašanje bloka dobro reproducirano

matematičkim modelom, regulacijska djelovanja u regulacijskim krugovima snage i tlaka svježe pare (signali (7) i (8) u povratnoj vezi) su mala ili ih uopće nema.

Na ilustraciji 1. su, preko stanja uključenosti sklopke, simbolički prikazane i razlike u strategijama vođenja bloka.

Ukoliko je aktivna strategija "kotao vodi" (sklopka u položaju I) tlak svježe pare djeluje na turbinske ventile preko brzog regulatora dok referentna vrijednost snage bloka djeluje na protok goriva preko tromer regulacije snage. Nasuprot tome kod strategije koordiniranog vođenja (sklopka u položaju II) regulator tlaka pare nije aktivan.



Ilustracija 1. Načelna shema suvremenog sustava regulacije snage bloka

Signal zahtjevane snage bloka ograničen je sa signalom ostvarive snage koji se kao

izlaz iz MIN bloka formira na temelju raspoloživosti glavnih agregata (mlinovi,

gorači, napojne pumpe, ventilatori, regenerativni zagrijač zraka, generatorska sklopka, sklopka vlastite potrošnje, transformator vlastite potrošnje) te stanja naprezanja u komponentama kotla i turbine (kolektori svježe i međupregrijane pare, glavni parovod, turbinsko kućište i rotor). Stvarno naprezanje u materijalu komponente nastaje superpozicijom naprezanja izazvanih vanjskim silama (npr. sile uslijed djelovanja tlaka pare) i temperaturnih naprezanja izazvanih prostornim gradijentima temperaturnog polja unutar materijala stijenke koji se javljaju u nestacionarnim uvjetima pogona. U starijim izvedbama sustava za procjenu naprezanja koriste se rezultati mjerenja tlaka pare i temperature materijala stijenke u nekoliko točaka. Kod suvremenih rješenja /2,3/, mjerenje temperature zamijenjeno je simulacijom matematičkog modela nestacionarnog provođenja topline u stijenci.

Upotreba matematičkih modela do punog izražaja dolazi kod primjene naprednih viševarijabilnih koncepata, kao što su MPC (*engl. Model Predictive Controller*) ili LQG (*engl. Linear Quadratic Gaussian*) regulator /4/, kod kojih se za određivanje regulacijskih zahvata u obzir uzimaju interakcije između svih glavnih podsustava i time značajno poboljšava kvaliteta regulacije procesa.

Unatoč činjenici da su procesi u generatoru pare i turbini izrazito interaktivni, kao i velikom broju primjena u različitim procesnim industrijama (rafinerije, petrokemijska i industrija papira) /5/, broj primjena ovih koncepata u automatizacijskim sustavima termoenergetskih blokova još je uvijek malen. Međutim, realno je očekivati porast broja budućih primjena, zbog sve većih zahtjeva koji se postavljaju na fleksibilnost i ekonomičnost proizvodnje na liberaliziranim tržištima električne energije. Primjeri korištenja naprednih koncepata u termoenergetskom bloku opisani su u nekoliko radova, koji se odnose na simulacijske studije, ali i na praktična iskustva. Na razini regulacije snage bloka glavni motiv je omogućiti što brze slijeđenje signala zahtjevane snage bloka jer se ta sposobnost u razvijenim elektroenergetskim sustavima posebno honorira. S druge strane, učestale i po iznosu velike promjene opterećenja smanjuju eksploatacijski vijek postrojenja i

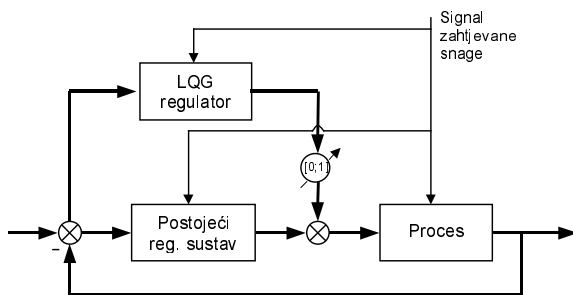
povećavaju troškove održavanja jer izazivaju velika temperaturna naprezanja u materijalu kritičnih komponenti kotla i turbine. Stoga se korištenjem naprednih koncepata želi postići optimalan odnos između dobiti i troškova.

Kod primjene koncepta MPC u termoenergetskom bloku optimira se trajektorija glavnih zahvatnih veličina (otvorenost turbinskih ventila, protok goriva, protok napojne vode) u određenom vremenskom intervalu, u uvjetima promjene opterećenja bloka. Optimiranje se provodi korištenjem *on-line* simulacije matematičkog modela procesa, s obzirom na suprotstavljene ekonomske kriterije (minimiziranje kumulativnih naprezanja uz što bolje praćenje signala zahtjevane snage) i uzimajući u obzir postojeća pogonska ograničenja (brzina otvaranja turbinskog ventila, dopuštene vrijednosti tlaka i temperature). Osnovni preduvjeti za uspješnu primjenu algoritma su kvalitetan model procesa i poznavanje referentne krivulje (u ovom slučaju zahtjevane snage bloka) nekoliko sati unaprijed. U radovima /6,7/ koji opisuju simulacijska istraživanja algoritmom MPC određuju se promjene samo glavnih zahvatnih veličina u ovisnosti o željenoj snazi bloka i tlaku svježe pare. U realizaciji se kombiniraju koncepti vođenja pogona s konstantnim i kliznim tlakom pare. U industrijskoj primjeni /8/ algoritmom MPC su pored snage bloka i tlaka pare obuhvaćene i regulacije temperature svježe i međupregrijane pare te udio kisika u dimnim plinovima.

Primjena koncepta LQG regulatora u realnim pogonskim uvjetima opisana je u radovima /9,10/. Za razliku od MPC koncepta, sinteza LQG regulatora provodi se *off-line*, određivanjem matrice upravljanja u nekoliko pogonskih točaka. U primjeni se, ovisno o trenutnom pogonskom stanju, izlazi iz regulatora određuju interpolacijom projektnih vrijednosti. U opisanim primjerima regulator je izveden kao dopuna postojećem (konvencionalnom) sustavu kao na ilustraciji 2. na način da se glavnim zahvatnim signalima (protoci napojne vode, goriva i recirkulacije dimnih plinova) pribrajaju dodatni signali. Ovakva izvedba ima sljedeće prednosti:

- zahvati u promjenu strukture postojećeg sustava su minimalni,

- u fazi upuštanja omogućeno je postupno uvođenje dopunskih signala,
- u slučaju neželjenog rada nadređeni regulator se lako odspaja.



Ilustracija 2. Način uključivanja multivarijabilnog koncepta u regulacijski sustav

Matematički modeli koji se koriste u regulacijskim sustavima ili u sintezi prethodno opisanih regulatora, relativno su niskog reda i uglavnom linearni. Dobivaju se ili postupkom identifikacije realnog objekta [11] ili korištenjem simulacija detaljnog nelinearnog modela. Ukoliko se koriste modeli s fiksnom strukturom (s obzirom na red odnosno broj parametara) promjenljiva dinamička svojstva modeliranih objekata uzimaju se u obzir vođenjem parametara modela po signalu opterećenja. Razvoja MPC koncepta usmjeren je ka korištenju detaljnijih nelinearnih modela procesa sve do granica koje postavlja kapacitet suvremenih mikroprocesorskih sustava.

Regulacija temperature pare

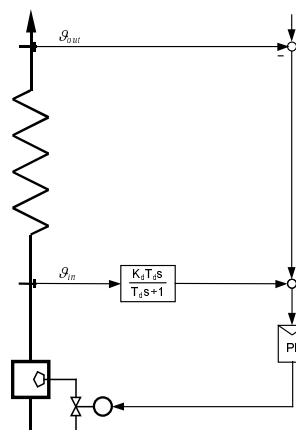
Problem regulacije temperature svježe i međupregrijane pare jedan je od najviše raspravljanih u području automatizacije termoenergetskih postrojenja. Razlozi su dvojaki. Jedni se odnose na kvalitetu regulacije koja izravno utječe na: iskoristivost i fleksibilnost pogona, na životni vijek vitalnih komponenti te na ukupnu raspoloživost postrojenja. S druge strane, promatran sa teoretskog stajališta, problem regulacije temperature pare je osobito zanimljiv jer je dinamika procesa visokog reda i ovisna o opterećenju, a glavni poremećaj unose dimni plinovi koji ulaze u zonu pregrijanja.

Regulacijski zahvati koji se primjenjuju na objektima načelno se dijele na zahvate na vodenoparnoj i na dimozračnoj strani generatora pare. Osnovni mehanizam na

dimozračnoj strani je promjena temperature i količine dimnih plinova koji ulaze u zonu pregrijanja što se postiže ili promjenom nagiba goruća (*burner tilt*) ili promjenom količine recirkuliranih dimnih plinova. Na vodenoparnoj strani osnovni zahvat je hlađenje pare koje se najčešće izvodi ubrizgavanjem rashladne vode u nekoliko točaka pregrijačkog trakta. Izbor zahvata najviše ovisi o proizvođaču generatora pare.

U primjenama prevladavaju rješenja koja koriste hlađenje ubrizgavanjem i kod kojih je regulacijski krug izveden kaskadno. U nadređeni regulator ulaze signali regulacijskog odstupanja i temperature pare iza hladnjaka. Izlazni signal iz nadređenog regulatora uvodi se u podređeni regulator koji djelovanjem na pogonski sklop regulacijskog ventila mijenja protok rashladne vode. Za izvedbu ovog regulacijskog kruga na tržištu automatizacijske opreme nudi se barem desetak različitih rješenja. Za ilustraciju rastuće složenosti odabrana su tri rješenja koja je u različitim vremenskim razdobljima ponudila tvrtka "Siemens".

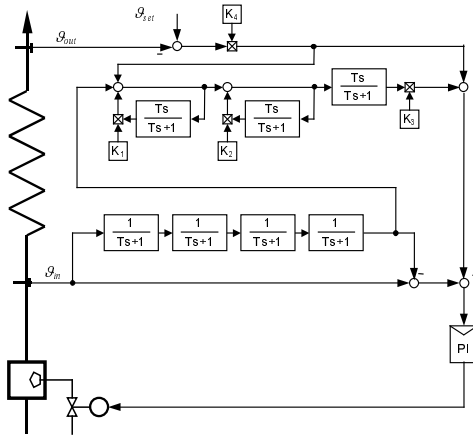
Na ilustraciji 3a prikazana je načelna shema razmjerno jednostavnog konvencionalnog koncepta kod kojeg je potrebno odrediti 4 parametra: pojačanje i vremensku konstantu derivatora u kratkoj povratnoj vezi te pojačanje i vrijeme integracije regulatora podređenog kruga. Ugađanje se može provesti intuitivno. Regulacija je općenito bolja ukoliko se parametri vode u funkciji opterećenja.



Ilustracija 3a. Konvencionalni koncept

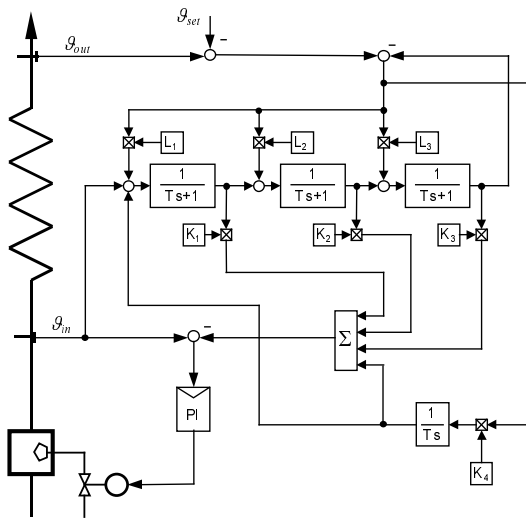
Na ilustraciji 3b nalazi se koncept s modelom staze i sklopom za procjenu poremećaja. Broj parametara regulatora

porastao je na 7. Za optimiranje je potrebno poznavanje aproksimativnog matematičkog modela staze u čitavom



Ilustracija 3b. Koncept s modelom staze

rasponu opterećenja (vremenska konstanta T , pojačanje K_4) kao i iskustvo u određivanju parametara sklopa za procjenu poremećaja. Ovaj se koncept danas nalazi u standardnoj ponudi tvrtke.



Ilustracija 3c. Regulator varijabli stanja s opserverom

Na ilustraciji 3c nalazi se regulator varijabli stanja s opserverom /12/. Broj parametara kreće se u rasponu od 10 (ako je staza aproksimirana modelom 3. reda) do 20 (staza 8.reda). Za optimiranje sustava potrebno je poznavanje aproksimativnog matematičkog modela staze. Proizvođač nudi različite skupove parametara koji određuju vektore pojačanja varijabli stanja K i opservera L koji se biraju ovisno o željenoj brzini uklanjanja regulacijskog odstupanja. U usporedbi s konvencionalni

konceptom primjena ovog koncepta može smanjiti odstupanja izlazne temperature za jednu trećinu. Međutim, koncept je izuzetno osjetljiv na promjenu parametara staze pa u se u situacijama npr. zaprljanja cijevnih snopova ili nesimetrične raspodjele toka pare u pregrijačkom traktu može značajno narušiti kvaliteta regulacije. Ovaj koncept spada u skupinu naprednih i nalazi se u posebnoj ponudi tvrtke.

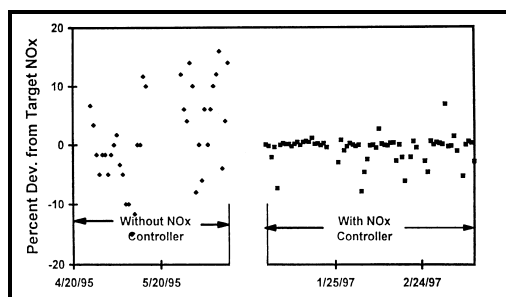
Regulacija izgaranja

Smanjenje emisije NO_x do razina propisanih sve strožim ekološkim normama, te snižavanje specifične potrošnje topline, glavni su i općenito suprotstavljeni zahtjevi postavljeni na pogon postrojenja u domeni regulacije izgaranja. Za njihovo ispunjavanje značajna poboljšanja napravljena su na konstrukcijama gorača u smislu omogućavanja stupnjevanog dovođenja i odvojene regulacije protoka zraka. Primarni zrak miješa se s gorivom, a kod loženja ugljenom služi i za transport i sušenje ugljene prašine. Sekundarni zrak dodaje se u ložištu u zoni plamena. Dodavanjem zraka u iznadplamenoj zoni osigurava se potpuno izgaranje (stoga se koristi i termin zrak za dogorijevanje), te održavanje temeprature plamena na vrijednost koja minimizira nastajanje štetnih dušičnih oksida.

Pored prethodno navedenih mjera, koje kod ugradnje *low NO_x* gorača zahtijevaju i značajna ulaganja, na tržištu se nude namjenska programska rješenja koja omogućavaju i adaptaciju parametara sustava u situacijama čestih fluktuacija kvalitete ugljena, zaprljanja ložišta ili promjene stanja opreme, te tako osiguravaju zadovoljavajuću kvalitetu izgaranja u smislu održavanja konstantnih vrijednosti emisije i specifične potrošnje topline /13/.

Optimizacijski algoritmi (npr. BoilerOP /14/, ili NeuSight tvrtke Pegasus), koji određuju potrebne korekcije pogonskih signala (količine zraka za izgaranje, količine zraka u iznadplamenoj zoni, količine ugljena na pojedinim mlinovima, nagiba gorača), temelje se na modelu izgaranja izvedenom u formi neuronske mreže. Neuronske mreže mogu se opisati kao nelinearne strukture koje skup ulaznih varijabli transformiraju u skup izlaznih. Izvorno inspirirane strukturom mozga,

izgrađene su od mreže međusobno povezanih zbrajača i nelinearnih funkcija. Neuronske mreže se često nazivaju i univerzalni aproksimatori jer se uz pomoć njih može aproksimirati bilo koja viševarijabilna nelinearna funkcija. U sustavima regulacije neuronske mreže često se koriste kao nelinearni modeli osobito u slučajevima kada je modeliranje problema klasičnim metodama, preko zakona očuvanja, složeno i računski intenzivno. Složena, izrazito nelinearna i o opterećenju ovisna priroda procesa izgaranja goriva u ložištu generatora pare jedan je od takvih modela.



Ilustracija 4. Usporedba mjerenih vrijednosti emisije NO_x na 585 MW bloku loženom ugljenom, bez i sa instaliranim BoilerOP programom.

Način implementacije optimizacijskih algoritama na postrojenju je ili u formi nadređenog regulatora koji na temelju stanja dimnih plinova određuje skup korekcijskih signala ili u formi "savjetnika" operateru koji na ekranu računala ispisuje preporučene vrijednosti relevantnih zahvatnih veličina. Na ilustraciji 4 prikazani su rezultati korištenja BoilerOP programa

na 585 MW bloku loženom ugljenom, opremljenom s ABB LNCFS-III sustavom loženja koji obuhvaća *low NO_x* gorače, te te dva načina upuhivanja iznadplamenog zraka. Uočava se značajna redukcija odstupanja izmjerenih vrijednosti nakon instalacije programa.

Zaključak

Uvođenje naprednih tehničkih rješenja u regulacijske sustave termoenergetskih blokova omogućilo je kvalitetan i fleksibilan pogon čak i ugljenom loženih postrojenja. S promjenama u sustavu automatizacije značajno se izmjenila i uloga pogonskog inženjera najviše u smislu povećanih zahtjeva na razumijevanje strukture i funkcioniranja regulacijskog sustava. Inženjer je nekad mogao, u slučaju potrebe te na temelju poznavanja procesa i osnovnih regulacijskih zakonitosti, korekcijom samo nekoliko parametara osigurati kvalitetno funkcioniranje regulacijskog kruga. Danas međutim, većina suvremenih regulacijskih sustava, ugođena i optimirana uz pomoć namjenskih, i najčešće nakon faze upuštanja nedostupnih, programskih rješenja, ne omogućava jednostavnu i brzu korekciju parametara. Stoga se za slučaj, malo vjerojatnog ali ipak mogućeg, lošeg funkcioniranja dijelova sustava kao jedino brzo rješenje nudi nepopularno ručno vođenje dijela procesa za što je potrebno dobro poznavanje ukupne složene strukture i načina funkcioniranja regulacijskog sustava.

Literatura

1. Welfonder, E., Dynamic interactions between power plants and power systems, Control Engineering Practice 7, 27-40, 1999.
2. Kalina, Sollwertführung eines Kraftwerkblockes unter Berücksichtigung der Spannungsgrenzen dickwandiger Bauteile, KWU LB 91, Karlsruhe, 1993.
3. Toewe, W., Sindelar, R. 1999. Ueberwachung der thermischen Beanspruchung von Dampfturbinen, BWK 10, 46-49, 1999.
4. Ramirez, W.F., Process Control and Identification, Academic Press, 1994.
5. Qin, S.J. and Badgwell, T.J., An overview of industrial model predictive control technology. AIChE Symposium Series 316, vol. 93, pp 232-256, 1996.
6. Rossiter, J.A., Kouvaritakis, B., Dunnet, R.M., Application of generalised predictive control to a boiler turbine unit for electricity generation, IEE Proceedings, Vol 138, 59-67, 1991.
7. Marcelle, A.W.K., Chiang, H.K., Houpt, P. K., Bonissone, P.P., Optimal Load Cycling of Large Steam Turbines, Proc. 1994 IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst., 667-672, June 1994
8. Bonavita, N. "IDICOM-B a DCS-Embedded Multivariable, Model-Predictive Controller, "Automazione" 38. Convegno Annuale ANIPLA Perugia, 1994.
9. Uchida, M., Nakamura, H., Toyota, Y., Kushihashi, M., Implementation of optimal control at a supercritical variable-pressure thermal power plant, Proc. of IFAC Symposium on Power Systems and Power Plant Control, 367-372, Beijing 1986.
10. Mortensen, Jan H., Moelbak, T., Andersen, P., Pedersen, T.S., Optimization of boiler control to improve the load-following capability of power plant units, Control Engineering Practice 6, 1531-1539, 1998.
11. Chawdhry, P.K., Hogg, B.W., Identification of boiler models, IEE Proc., Vol. 136, No5, 261-271, 1989.
12. Mann, J., Lausterer, G.K., Temperature Control State Feedback in a Fossil Fired Power Plant, Proc. IFAC Symposium on Control of Power Plants and Power Systems, 37-42, Munich, 1992.
13. McDonald, D.K., Madden, D.A., Sivy, J.L., B&W's Advanced Coal-Fired Low Emission Boiler System: Preparation for and Preliminary Results of Subsystem Testing, Coal Utilization & Fuel Systems Conference, Clearwater, Florida, USA 1996. Babcock & Wilcox TP BR-1608
14. Šarunac, N., et al., "Boiler OP: Intelligent Software for Combustion Optimization," POWER-GEN International '96 Conference, Orlando, Florida, December 4-6, 1996.