

**Boris Žeželj, Ivana Šarlija**

ISSN 0350-350X

GOMABN 54, 1, 44-63

Stručni rad / Professional paper

# **PROGRAM POBOLJŠANJA PERFORMANSI REGULACIJSKIH KRUGOVA U INA RAFINERIJU NAFTE RIJEKA**

## **Sažetak**

*Implementacija rafinerijskog informacijskog sustava REFIS samo je potvrdila te učinila dostupnom većem broju tehnološkog osoblja Rafinerije nafte Rijeka već poznatu činjenicu da se otprilike 40 % regulacijskih ventila nalazi u ručnom načinu rada. Postoji nekoliko mogućih razloga koji su mogli dovesti do te situacije: pogrešno postavljene parametri regulatora, pogrešno dimenzionirani regulacijski ventili, instrumentacijski problemi, loše dizajniran regulacijski krug, itd. Spomenute nepravilnosti mogu rezultirati značajnim financijskim gubicima mjerljivima u milijunima dolara, a nerijetko se spominje i veća energijska učinkovitost smanjenjem oscilacija u regulacijskim krugovima. Primjeri za to se navode kod oscilacija omjera zrak/gorivo u loženju procesnih peći, oscilacija napojne vode parnog kotla te oscilacija tlaka pare kod destilacijskih kolona pri čemu one izravno utječu na smanjenje efikasnosti procesa separacije. Statistika u rafinerijama na temelju ispitivanja 500 regulacijskih krugova provedena nakon implementacije sustava za poboljšanje performansi regulacijskih krugova pokazala je prosječno smanjenje varijabilnosti za 60 % dok je prosječni povrat investicije manji od dva mjeseca. Dobro ugođeni regulacijski krugovi su ujedno temelj i pretpostavka za buduću implementaciju naprednog vođenja.*

*Rad daje detaljnu analizu i stvarno stanje regulacijskih krugova Rafinerije nafte Rijeka uporabom komercijalnih alata kao podloge i preporuku za buduću projektnu inicijativu te investiciju u sustav za poboljšanje energijske učinkovitosti, smanjenje utrošaka energenata te povećanje dostupnosti procesnog postrojenja.*

**Ključne riječi:** rafinerija nafte, regulacijski krugovi, poboljšanje performansi

## **1. Uvod**

Svjesnost o važnosti ugođenih regulacijskih krugova unutar rafinerijskog postrojenja Rafinerije nafte Rijeka postoji koliko i samo vođenje postrojenja još od vremena opreme baziranoj na pneumatici i pneumatskim regulatorima tvrtke Foxboro s kraja šezdesetih godina prošlog stoljeća. Prema zahtjevima tehnologa i voditelja procesa

regulatori su ugađani prema njihovom značaju za sam proces bilo da se radi o automatskom regulatoru protoka, tlaka ili temperature. Ugađanje se provodilo, u pravilu, tijekom remonta u prostorijama radionice za održavanje instrumenata koje je bilo periodično svake dvije ili četiri godine. Pojavom novih digitalnih tehnologija i uvođenjem DCS (eng. distributed control system) u rafinerijska postrojenja devedesetih godina prošlog stoljeća mehanička izvedba PID regulatora se premješta unutar računala koje u sebi ima kontinuirani digitalni zapis u *history* modul kao i sučelje za ugađanje regulacijskog kruga. Sučelje za ugađanje regulacijskog kruga omogućava promjenu konstanti PID bloka uz kontinuirano praćenje odziva izvršnog elementa regulacijskog ventila te mjerene odnosno željene vrijednosti s mjernog pretvornika u odnosu na postavljenu vrijednost. U uvjetima prerade stabilnog kapaciteta te ujednačene sirovine jednom ugođeni regulacijski krugovi mogu stabilno voditi proces kroz dulje vremensko razdoblje. Naime, u uvjetima kada se kapaciteti mijenjaju dvotjedno kao i sirovina za preradu, regulacijski krugovi traže stalno i ponovno ugađanje kako bi optimalno vodili regulaciju pojedine fizikalne veličine bitne za stabilan rad postrojenja. Proizvođači aplikacijskih rješenja su doskočili takvom rješenju kao i onome kako identificirati međuzavisnosti među pojedinim dijelovima postrojenja analizirajući mjerene vrijednosti regulacijskih krugova. Rafinerija nafte Rijeka je u sklopu programa osposobljavanja *Petroskills* te prema preporukama Europske federacije kemijskih inženjera u suradnji sa Fakultetom kemijskog inženjerstva i tehnologije iz Zagreba organizirala pet dana osposobljavanja za ukupno deset zaposlenika te za pojedinog tehnologa iz svake grupe postrojenja s ciljem boljeg upoznavanja s osnovnim načelima mjerne regulacije i vođenja. Neki od komercijalno dostupnih alata unutar Rafinerije nafte Rijeka su isprobani i ispitani, a u ovome radu će biti prikazani rezultati dobiveni sa svakim od njih zasebno te će biti date i preporuke za daljnje korištenje.

## 2. Pregled stanja regulacijskih krugova

Slika 1 pokazuje podatke o stanju regulacijskih krugova u realnom vremenu koja je sastavni dio rafinerijskog informacijskog sustava SYNTHESIS. Kriteriji koji su uzeti u obzir prilikom kreiranja pogleda se odnose na trenutačni mod rada regulacijskog kruga. Na svakom DCS sustavu postoji parametar koji se naziva *normal mode* te definira normalno stanje regulacijskog kruga bilo da je to MAN (eng. manual), AUTO (eng. automatic), CAS (eng. cascade). Prikaz pokazuje odstupanja od zadanog normalnog moda prema postrojenjima. Nadalje, za svako pojedino postrojenje se nastavlja prikaz s točnim nazivom regulacijskog kruga u kojemu se vidi aktualno stanje te se može pozvati povijesni prikaz promjena stanja (slika 2).

Postoje brojni članci koji ukazuju na to da je vrijeme koje je regulacijski krug proveo u normalnom modu jedan od osnovnih ključnih pokazatelja uspješnosti za praćenje rada sustava za vođenje te ujedno i samog vođenja procesa. Visoka razina ključnih pokazatelja uspješnosti sustava za vođenje prenosi se i na ključne pokazatelje same kompanije i njenu reputaciju (1).

AREA / UNIT	DESCRIPTION	TOTAL	AUTO	MAN	CAS	BAD
GP-1	Group Unit 1	125	70	24	31	0
RADU3	Atmospheric Crude Distillation Unit / Topping 3	125	70	24	31	0
GP-2	Group Unit 2	225	94	117	14	0
RNHT2	Naphtha/Gasoline Hydrotreating 2 / Unifining 2	23	12	11	0	0
RRRED	Reformate Splitter Unit / Frakcionacija reformata	44	17	20	7	0
RMRXU4	Merox 4	5	0	5	0	0
RMRXU5	Merox 5	29	5	24	0	0
RKSU	Kero Swling Unit / Bender	4	4	0	0	0
RPSA1	Hydrogen Purification - PSA Unit	4	0	3	1	0
RLNIS	Light Naphtha Isomerization / Izomerizacija	68	29	34	5	0
RREFS2	Naphtha Reforming / Platforming 2	48	27	20	1	0
GP-3	Group Unit 3	212	102	101	9	0
RFCCU	Fluid Catalytic Cracking / FCC	72	31	38	3	0
RVDU	Vacuum Distillation Unit / Vakuum destilacija	55	34	16	5	0
RMRXU6	Merox 6 / Merox plina	4	3	1	0	0
RMRXU7	Merox 7 / Merox benzina	3	3	0	0	0
RSRU1	Sulphur Recovery Unit / Claus 1	26	3	23	0	0
RARU1	Amine Regeneration Unit / Obrada plina aminom	17	3	14	0	0
RGCU	Gas Concentration Unit	35	25	9	1	0
GP-4	Group Unit 4	144	65	74	5	0
RGHT1	Gasoil Hydrotreating / Hidrodesulfurizacija	29	18	10	1	0
RGHT2	Gasoil Hydrotreating-Mild Hydrocracking / HDS/BHK	74	28	43	3	0
RVISB	Visbreaker / Visbreaking	41	19	21	1	0
GP-5	Group Unit 5	313	190	46	43	34
RHCKT	HGO Hydrocracking / Gasoil Hydrotreating	164	94	33	18	19
RHPP	Hydrogen Production Plant / Proizvodnja vodika	55	38	2	11	4
RSRU2	Sulphur Recovery Unit / Claus 2	61	38	4	10	9
PWP	Power Plant	89	32	51	6	0

Slika 1: Pregled stanja regulacijskih krugova po postrojenjima - REFIS

### 3. Pregled alata za ugađanje regulacijskih krugova

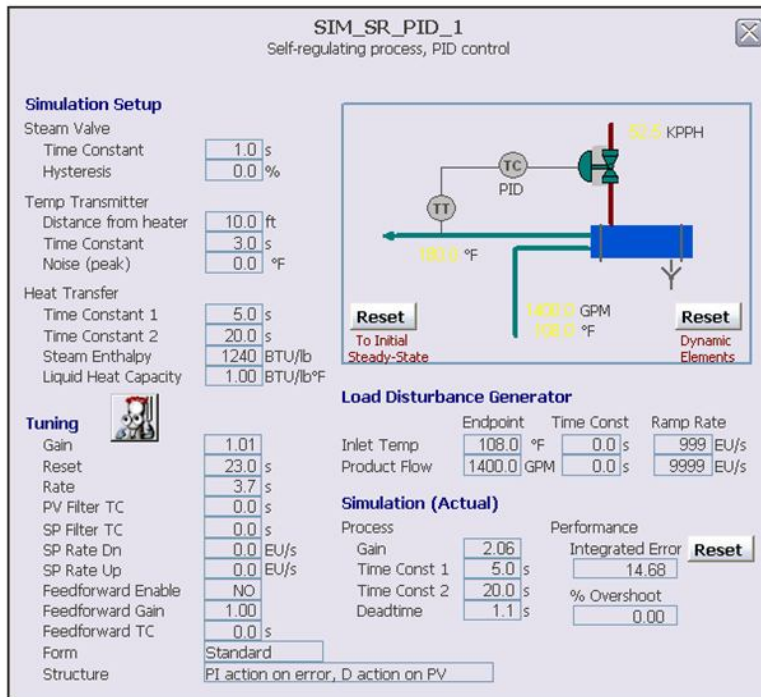
Tijekom razmatranja korištena su tri alata različitih proizvođača. U nastavku će biti поближе objašnjene karakteristike svakog pojedinog, analizirana jednostavnost korištenja, korisnička podrška u smislu uputa za rad. Kako bi se sva tri alata koristila u laboratorijskim uvjetima za potrebe testiranja korištena su dva modula od kojih je jedan PID simulacijski modul za regulaciju temperature kroz izmjenjivač topline kojim se mogu podešavati procesni uvjeti, dodavati šumovi i poremećaji te pozivati postavke stacionarnog stanja procesa (eng. steady state) (slika 3) te drugi PI simulacijski modul posebno napravljen za potrebe testiranja koji nam je omogućio dodavanje poremećaja kao što su šum u signalu i zapinjanje u hodu regulacijskog ventila (slika 4). Također je bilo moguće zadati procesne uvjete kao što su procesno pojačanje, mrtvo vrijeme, vremenska konstanta procesa te odabrati karakteristiku ventila.

Unutar modula je bilo moguće pokrenuti test ventila u koracima s izborom postotka promjene, modom rada i vremenom zadržavanja koraka testa.

FC2 AUTO	FC3 AUTO	FC4A AUTO	FC4B AUTO	FC4BB MAN	FC5 CAS	FC5_12 AUTO	FC6 CAS	FC7 CAS	FC8 CAS	FC9 CAS	FC10 CAS
FC11 CAS	FC12 CAS	FC13 CAS	FC14 AUTO	FC15 CAS	FC15R AUTO	FC18 MAN	FC20 AUTO	FC21 MAN	FC23 CAS	FC23R AUTO	FC24 CAS
FC24R AUTO	FC25 CAS	FC25R AUTO	FC27 AUTO	FC29 AUTO	FC30 CAS	FC31 MAN	FC31A CAS	FC32 MAN	FC33 CAS	FC34 MAN	FC35 MAN
FC36 AUTO	FC40 MAN	FC55 AUTO	FC300 AUTO	FC401 AUTO	FC403 AUTO	FC404 MAN	FC405 MAN	FC505 MAN	FC507 AUTO	FC508A MAN	FC508B MAN
FC509A MAN	FC509B MAN	FC510 MAN	FC512 MAN	FC7312 CAS	LC3 AUTO	LC5 MAN	LC6 AUTO	LC7 AUTO	LC8 AUTO	LC9A CAS	LC9B AUTO
LC12 AUTO	LC14 AUTO	LC15 AUTO	LC17 AUTO	LC18 AUTO	LC24 AUTO	LC401 AUTO	LDC1 MAN	LDC2 MAN	LDC11A MAN	LDC11B AUTO	LDC13 AUTO
LDC16 AUTO	LDC19 AUTO	PC1 AUTO	PC2 AUTO	PC12 AUTO	PC13 AUTO	PC19 AUTO	PC20 AUTO	PC21 AUTO	PC22 AUTO	PC25 MAN	PC26 AUTO
PC60 AUTO	PC61 AUTO	PC482 AUTO	PDC14 AUTO	TC2 AUTO	TC5 AUTO	TC7 AUTO	TC9 AUTO	TC10A MAN	TC10B MAN	TC10C MAN	TC10D MAN
TC11 MAN	TC12 MAN	TC13 AUTO	TC14 AUTO	TC15 CAS	TC16 CAS	TC17 CAS	TC18 CAS	TC19 CAS	TC20 CAS	TC21 CAS	TC22 CAS
TC32 AUTO	TC33 MAN	TC35 MAN	TC157 AUTO	TC162 AUTO	TC481 AUTO	TC484 MAN	TC486A MAN	TC486B MAN	TC487 AUTO	TC488 AUTO	TC490 AUTO
TC518 MAN	AC402 AUTO										

Slika 2: Pregled stanja regulacijskih krugova postrojenja CDU (*crude distillation unit*)

Ideja je pokrenuti proces i postaviti ga u inicijalno stanje te sa svakim od alata napraviti snimku procesa, pokušati identificirati model te podesiti parametre regulacijskog kruga pa na grafičkom prikazu zabilježiti stanje procesa nakon podešavanja. Prvi iz serije od tri komercijalna alata za fino ugađanje parametara regulacijskih krugova je robusan skup različitih alata, samo izvješćivanje je omogućeno putem web servisa što daje mogućnost većem broju korisnika uvid u stanje, moguće je podešavanje notifikacija sukladno unaprijed utvrđenim kriterijima prema ciljnoj skupini stručnjaka putem e-mail poruka. Sam alat podržava povezivanje na sve DCS sustave radi prikupljanja podataka za obradu i analizu putem OPC protokola. Priprema podataka o regulatorima se obavlja unutar *Microsoft Excel* tablice koja se kasnije na jednostavan način putem alata za unošenje uvede u sustav za nadzor. Svaki uneseni regulator se može zasebno pokrenuti, testirati, a rezultati se mogu unaprijed vidjeti.



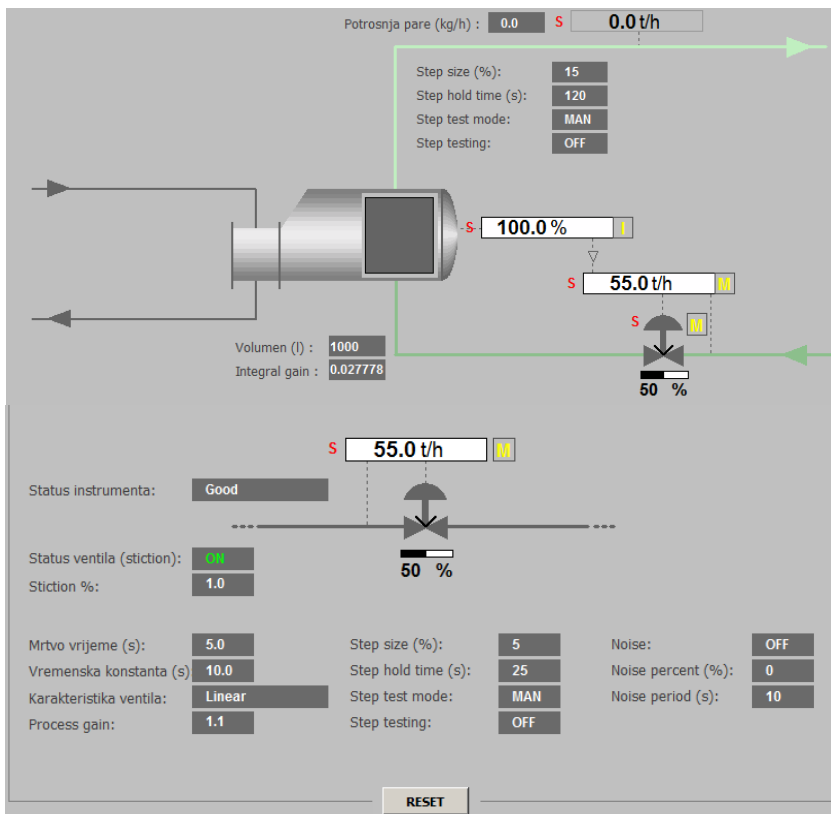
Slika 3: PID simulacijski modul

Provedba obrade dnevno prikupljenih podataka pokreće se u zadano vrijeme kako bi u zbirnom izvješću uvijek imali rezultate zadnjeg dana. Skup (zbirka) ovih alata omogućava identifikaciju problema zajedničkih za većinu procesnih postrojenja:

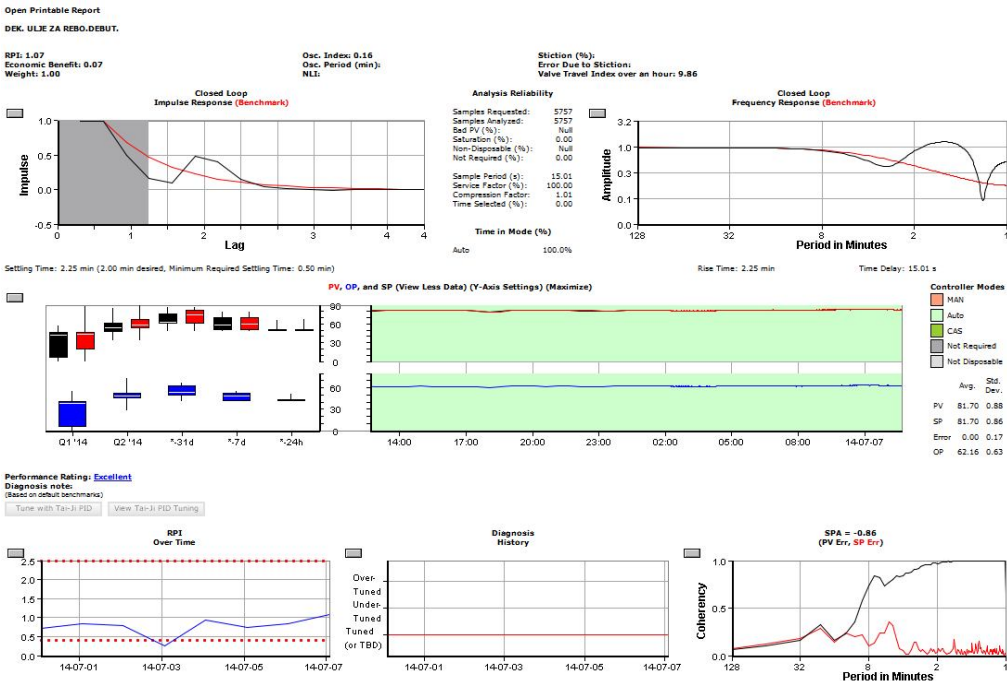
- Moderna procesna postrojenja imaju stotine, čak tisuće regulacijskih krugova i aplikacije naprednog vođenja procesa. Samim time to predstavlja jedinstven i zahtjevan problem. Postrojenja rade sa sve manje inženjera i osoblja zaduženog za održavanje čime se problem pogoršava još više.
- Degradacija performansi - protekom vremena performanse regulacijskih krugova i naprednog vođenja procesa se pogoršavaju. Postoji nekoliko razloga za ovu pojavu: problemi s regulacijskim ventilima, utjecaj poremećaja, promjena SP-a, modova rada i konstanti regulatora.
- Identifikacija problema - uz veliki broj regulacijskih krugova nije lako identificirati one s najlošijim performansama i ekonomskim utjecajem na rad cjelokupnog postrojenja. Automatska detekcija navedenih problema je vitalna za održavanje optimalnog rada regulacijskih krugova i postrojenja u cjelini.
- Rješavanje problema - praćenje i rješavanje problema vezanih za izvedbu regulacijskih krugova. Sveobuhvatni alat, koji značajno smanjuje vremensko razdoblje nužno za ugađanje regulacijskih krugova, neophodan je zbog već spomenutih problema s velikim brojem regulacijskih krugova.

Zbirno izvješće sadrži veliki broj atributa neophodnih za dobivanje potpune slike o stanju regulacijskog kruga. Nabrojat ćemo samo neke:

- *Weight* - broj koji označava važnost regulacijskog kruga,
- *Service factor* - vrijeme u kojemu je regulator aktivan tijekom analiziranja,
- RPI - relativni indeks izvedbe, omjer između ciljane i stvarne brzine odziva regulacije,
- *Monetary benefit* - pokazatelj ekonomskog utjecaja performansi regulatora nakon ugađanja, vrijednost je odstupanja trenutačnih vrijednosti regulatora u odnosu na željene vrijednosti,
- *Oscillation index* - vrijednost oscilacija regulatora, granična vrijednost je 0,4 i vrijednosti veće od granične ukazuju na problem,
- *Stiction* (static friction – statički otpor) - sila potrebna za pokretanje objekta dok je u dodiru s drugim objektom, može uzrokovati oscilacije u sustavu,
- *Actual settling time* - vrijeme potrebno da regulacijski krug dosegne novu zadanu vrijednost.



Slika 4: PI simulacijski modul

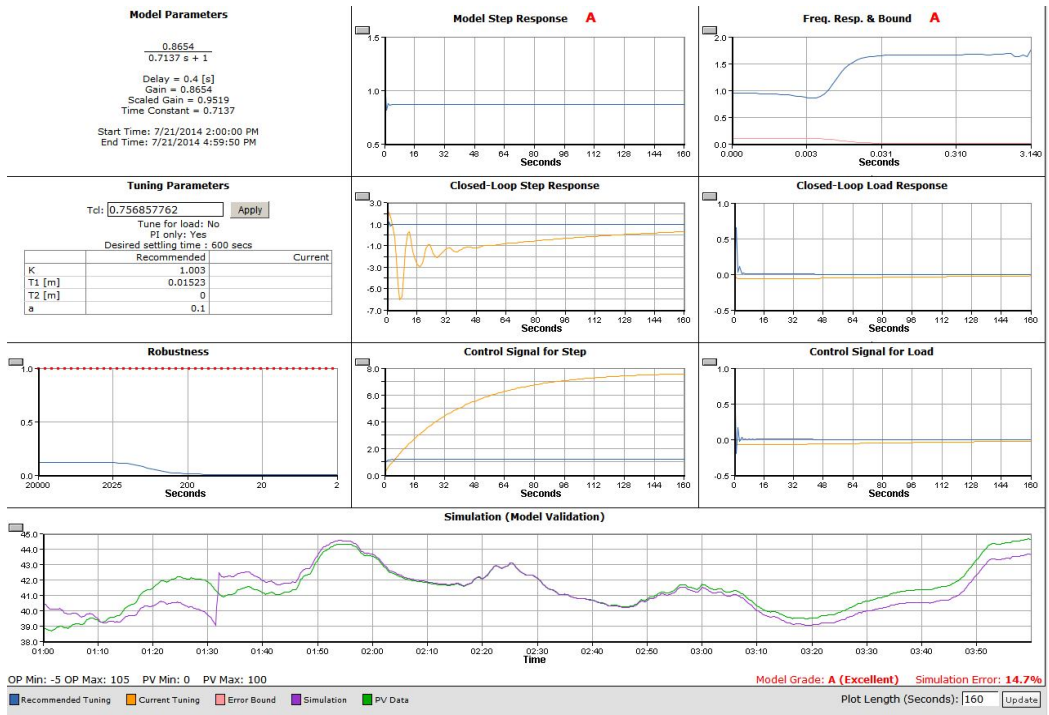


Slika 5: Web prikaz stanja regulacijskog kruga

Drugi iz serije komercijalnih alata je jednostavan za instalaciju i primjenu te ne koristi web servise. Povezuje se OPC protokolom učitavanjem unaprijed pripremljenih podataka o radu regulacijskog kruga. Analiza rada temelji se na sljedećim podacima: trenutačne vrijednosti vođenih varijabli (PV), radne točke (SP) te izlazi iz regulatora (OP) (2). Ostale važne informacije su: način rada regulacijskog kruga, mjerno područje i mjerni opseg te vrijednosti konstanti regulatora za svaki od regulacijskih krugova. Također je potrebno poznavati informacije o frekvenciji prikupljanja podataka iz baze podataka, algoritam regulacije i vrijeme proračuna. Sam alat pogodan je za analizu rada regulacijskih krugova u zadanom vremenskom razdoblju te računanje statističkih kriterija i procjenu oscilacija i nestabilnosti regulacijskog kruga. Na temelju dobivenih statističkih pokazatelja moguće je identificirati sljedeće probleme u radu pojedinog regulacijskog kruga.

- **Pogreška (Error)** - integral apsolutne pogreške. Izražava se u postocima punog mjernog opsega. Vrijednost manja od 0,5 % je poželjna.
- **Čvrstoća regulacije** (engl. *control tightness*) - učestalost prelaska PV preko SP. Pokazatelj čvrstoće ugođen regulatora.
- **Disbalans** (engl. *imbalance*) - omjer vremena provedenog s obiju strana SP-a. Indicira loše vođenje, veliki vanjski poremećaj ili probleme s regulacijskim ventilima.

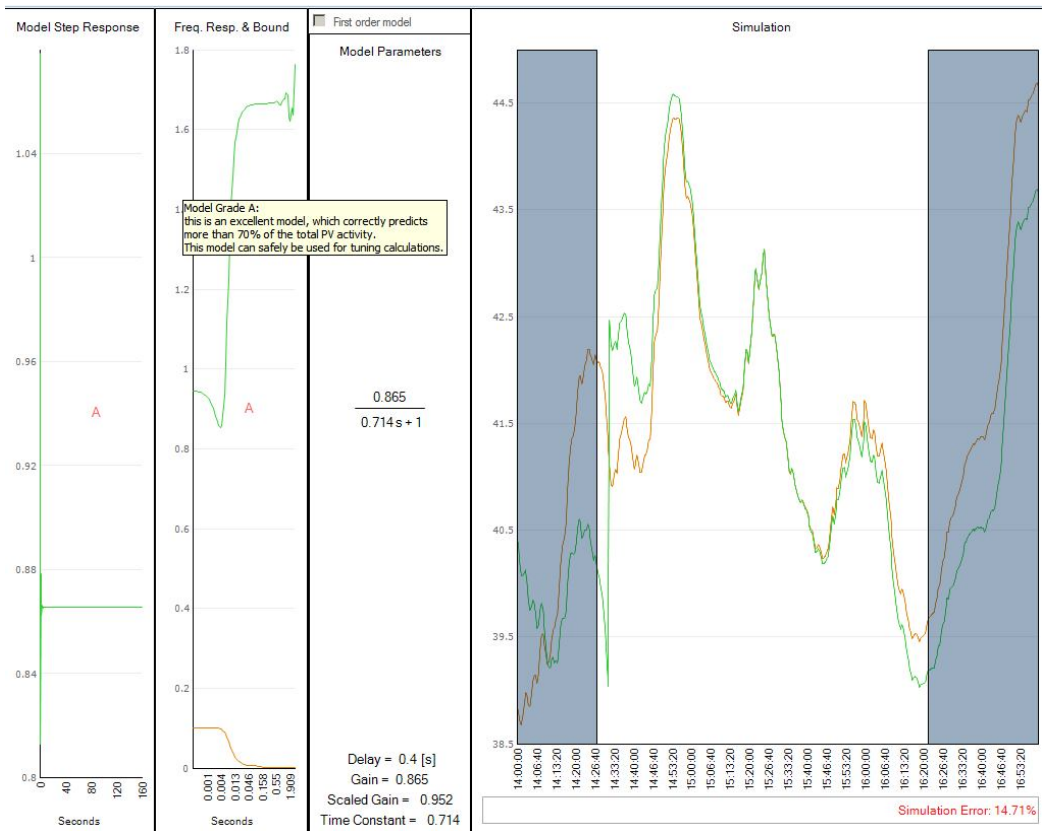
- *Nestabilnost* (engl. *unstable*) - pojava kontinuirane oscilacije. Pokazatelj agresivnog djelovanja regulatora.
- *Rastuća oscilacija* (engl. *hunting*) - pojava rastuće oscilacije u regulacijskom krugu. Pokazatelj agresivnog djelovanja regulatora.
- *Zasićenje OP-a* (engl. *saturation OP*) - prikazuje koliko je vremena (u postocima - %) OP bio iznad 90 % ili ispod 10 %.
- *Zasićenje PV-a* (engl. *saturation PV*) - prikazuje koliko je vremena (u postocima - %) PV bio unutar 3 % od gornje ili donje granice PV-a.
- *Pik OP-a* (engl. *spike OP*) - detekcija najveće promjene izlaza iz regulatora (OP). Pokazatelj pojačanja regulatora.
- *Pik PV-a* (engl. *spike PV*) - prikaz najveće promjene PV-a. Pokazatelj nestabilnosti ili poremećaja u procesu.
- *Zamrznuti PV* (engl. *frozen PV*) - brojač koliko je puta PV signal bio zamrznut.
- *Vrijeme rada* (engl. *onstream factor*) - prikazuje koliko je vremena (u postocima %) regulator u automatskom, kaskadnom ili ručnom režimu rada.
- *Intervencije* (engl. *intervene*) - brojač prijelaza iz jednog načina rada u drugi (man/auto/cascade).



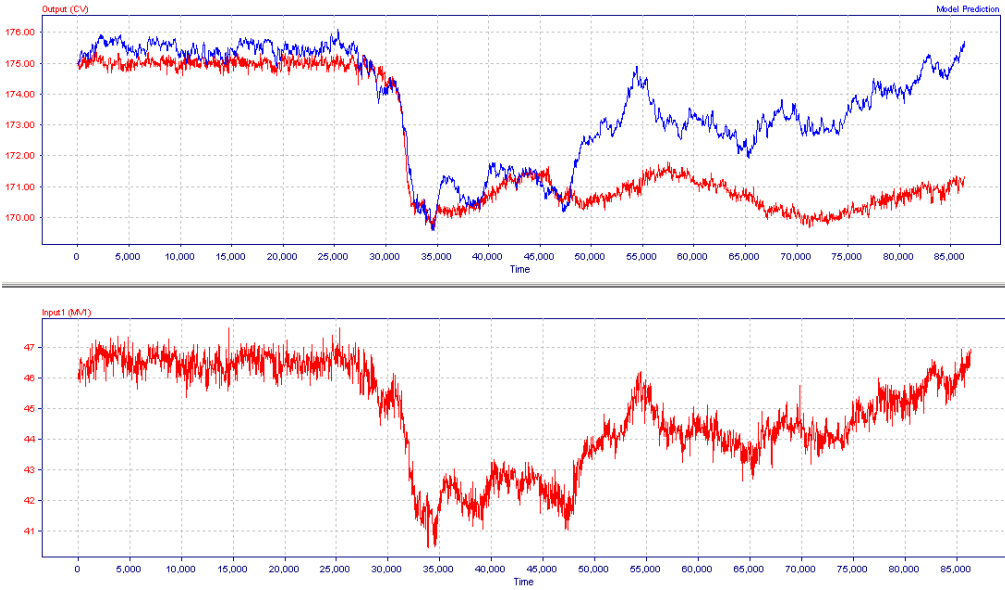
Slika 6: Web prikaz parametara modela



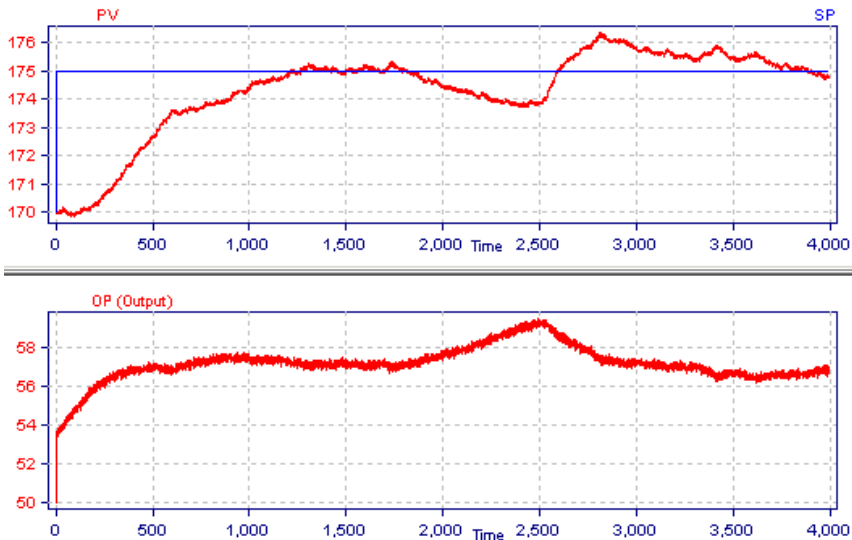
- *Kretanje ventila* (engl. *rope lenght*) - prikaz ukupnog kretanja ventila tijekom danog perioda.
- *Kolebanje ventila* (engl. *vacillation*) - brojač promjene smjera rada ventila.
- *Razina šuma* (engl. *noise level*) - prikaz količine bijelog šuma u PV signalu.
- *Preklapanje* (engl. *match*) - prikaz tagova/regulatora u sustavu kojima se preklapaju frekvencije.
- *Asimetrija* (engl. *skew*) - omjer pozitivnog i negativnog integrala pogreške. Pokazatelj tromosti rada djelovanja regulatora, pojava poremećaja u procesu ili problemi na ventilu.
- *Tromost* - prikaz omjera akumulirane promjene SP-a i akumulirane promjene PV-a. Pokazatelj tromosti ili agresivnosti djelovanja regulatora.



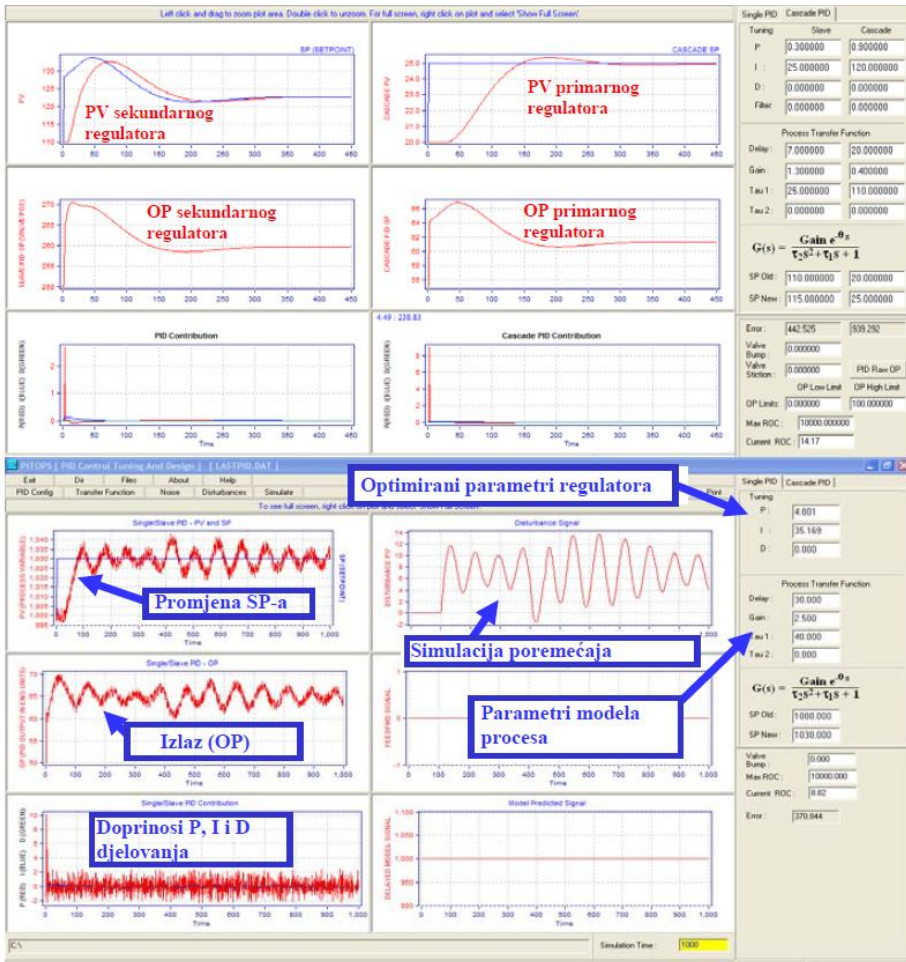
Slika 7: Prikaz identifikacije modela regulacijskog kruga



Slika 8: Prikaz identifikacije modela regulacijskog kruga



Slika 9: Odziv vođene veličine i djelovanja PID regulatora nakon ugađanja parametara regulatora

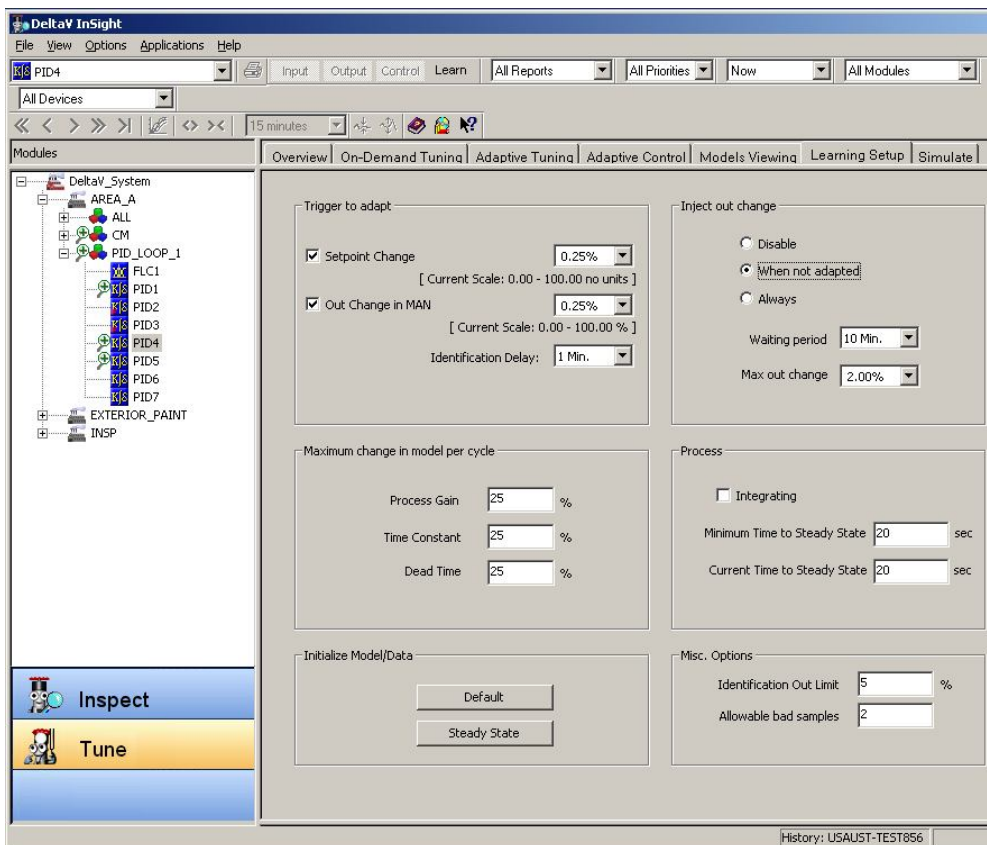


Slika 10: Sučelje alata za optimiranje parametara regulacijskog kruga

Treći iz serije testiranih alata je u potpunosti integriran unutar postojećeg DCS sustava postrojenja kompleksa hidrokreiranja. Tipična procedura finog ugađanja regulacijskog kruga na zahtjev (eng. *on demand*) uključuje sljedeće:

- identificiranje dinamike procesa koja se izvodi automatizmom iniciranjem testa na zahtjev korisnika,
- odabir postavki za ugađanje bilo određivanjem vrste procesa ili pravila koje će se koristiti tijekom finog ugađanja,
- validacija rezultata ugađanja korištenjem alata za simulaciju,
- ažuriranje postavki ugađanja regulatora regulacijskog kruga.

Preporuka je da prije negoli se pristupi ugađanju regulacijskog kruga procesna vrijednost (eng. PV - process value) bude stabilna i blizu željene vrijednosti (eng. SP - setpoint). Treba obratiti pažnju na šumove i poremećaje. Ako se izlaz regulatora konstantno mijenja zbog šumova i poremećaja, tada je uputno početi s ugađanjem na način da se regulator postavi u ručni mod rada. Ukoliko regulacija koja se ugađa ima visoku razinu šuma tada će kalkilirana vrijednost biti neadekvatna kao i ukoliko je procesna vrijednost stabilna i uz čestu promjenu izlaza regulatora. Tada regulacijski krug zahtijeva izolaciju šuma mjerenja. Sam alat ima sposobnost učenja na način da uz pomoć varijabli procesa identificira modele procesa. Modeli se potom spremaju u arhivu. Alat za ugađanje kasnije može koristiti identificirane modele za analizu te selekciju modela koji će se kasnije koristiti za uspostavu preporučenog ugađanja. Uz ugađanje na zahtjev alat nudi i prilagodljivo ugađanje regulacijskog kruga koje se omogućava prethodnim uključivanjem opcije za učenje procesa.

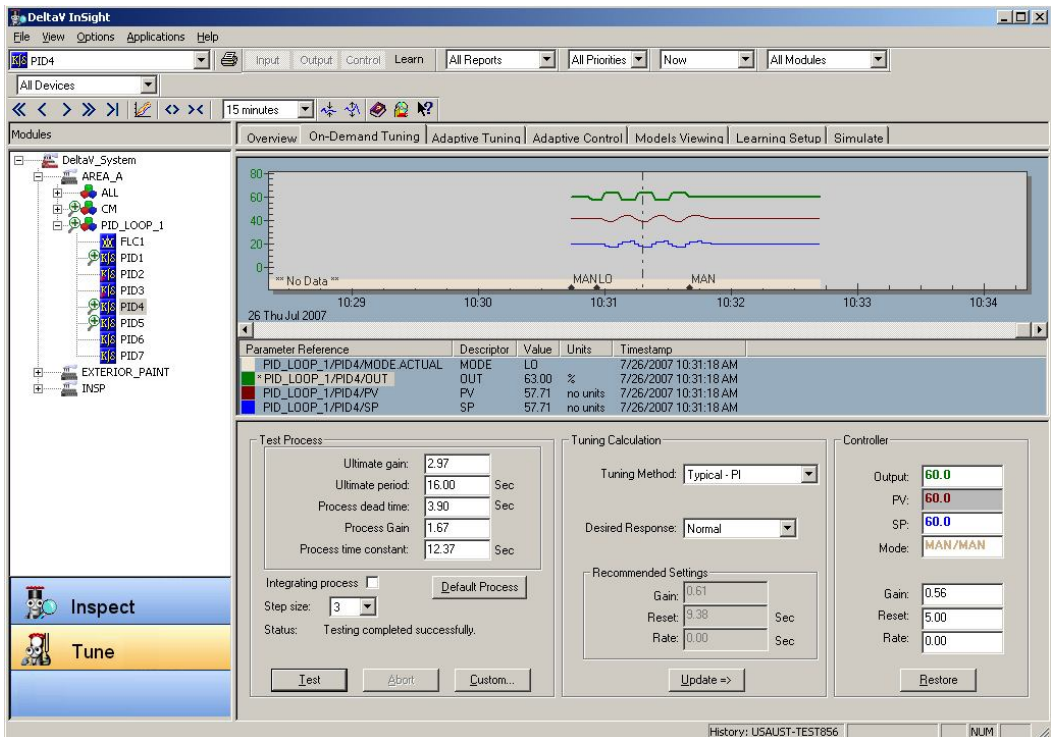


Slika 11: Sučelje stranice za podešavanje postavki nužnih za učenje procesa

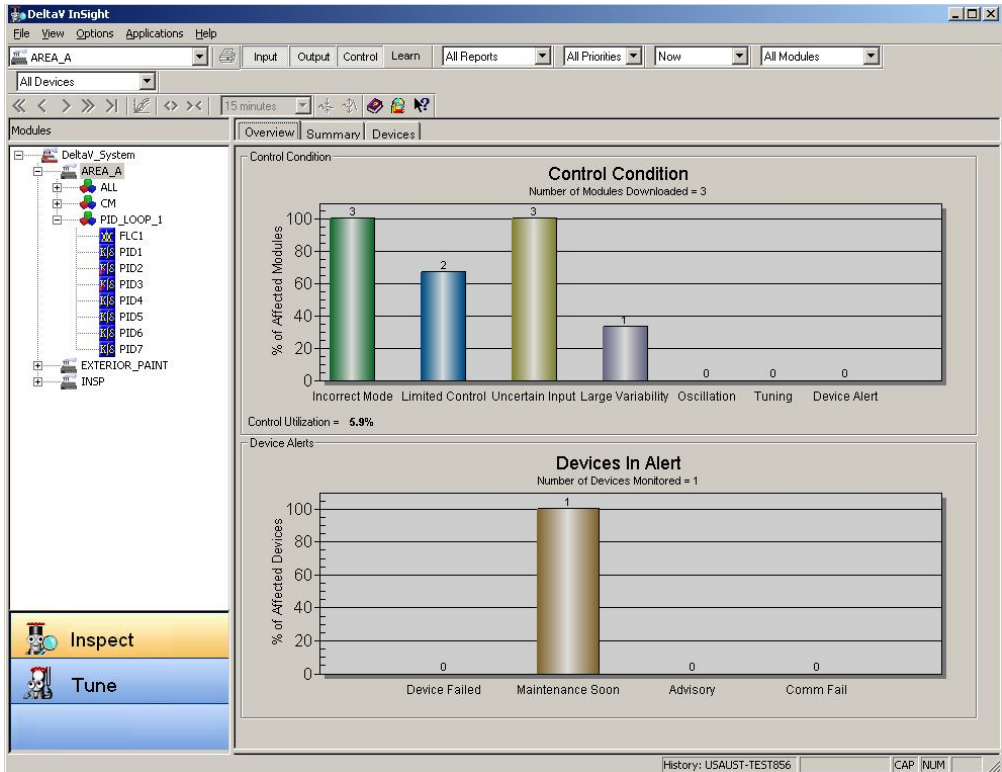
Opcija za učenje procesa pronalazi skrivene varijabilnosti i regulacijske krugove koji su daleko ispod svojih radnih performansi, omogućuje nadzor performansi regulacijskih krugova, omogućuje adaptivnu kontrolu, ocjenjuje ugođenost regulatora, donosi preporuke za ugađanje regulatora te konačno kao rezultat svega jasno je da postoji mogućnost poboljšanja kvalitete te povećavanje propusnosti smanjenjem varijabilnosti varijabli za vođenje procesa.

Kod ugađanja regulacijskih krugova putem sučelja dostupne su sljedeće metode:

- a) za neintegrirajuće procese
  - Ziegler-Nichols,
  - Lambda – PI,
  - Lambda – Smith predictor,
  - Internal Model Control – PID.
- b) za integrirajuće procese
  - Lambda – Averaging Level – PI.



Slika 12: Sučelje stranice za ugađanje regulatora



Slika 13: Sučelje predefiniranog izvještaja

Alat posjeduje i mogućnost prethodnog simuliranja konstanti PID bloka kako bi se vidjelo na koji će se način ponašati regulacija ukoliko se izračunate konstante regulatora primijene, što daje korisniku mogućnost testiranja prije same primjene novih postavki.

Predefinirana izvješća o stanju kontrolnih modula su također jedna od mogućnosti uz preduvjet da se parametri historiziraju.

#### 4. Rezultati i rasprava

Bilo je nužno provesti čitav niz testova kako bi se utvrdila pouzdanost rada pojedinog alata, lakoća upotrebe i vjerodostojnost konačnih rezultata dobivenih eksperimentalno te njihova validacija kroz ponovno testiranje.

U ovom odjeljku bit će prikazani samo neki od njih.

**Detail**

**SIM\_PID**  
Control Module

**Simulation Setup**

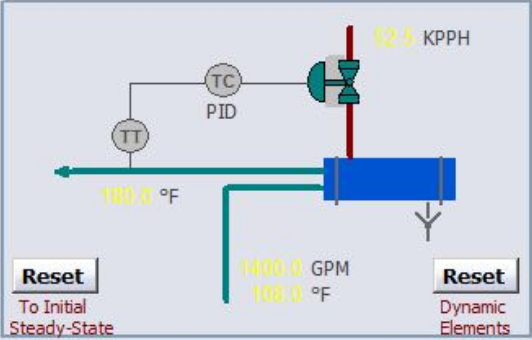
Steam Valve  
 Time Constant: 0.0 s  
 Hysteresis: 0.0 %

Temp Transmitter  
 Distance from heater: 50.0 ft  
 Time Constant: 0.0 s  
 Noise (peak): 0.0 °F

Heat Transfer  
 Time Constant 1: 5.0 s  
 Time Constant 2: 5.0 s  
 Steam Enthalpy: 1240 BTU/lb  
 Liquid Heat Capacity: 1.00 BTU/lb°F

**Tuning**

Gain: 2.00  
 Reset: 35.0 s  
 Rate: 0.0 s  
 PV Filter TC: 0.0 s  
 SP Filter TC: 0.0 s  
 SP Rate Dn: 0.0 EU/s  
 SP Rate Up: 0.0 EU/s  
 Feedforward Enable: NO  
 Feedforward Gain: 1.00  
 Feedforward TC: 0.0 s  
 Form: Standard  
 Structure: PI action on error, D action on PV



**Load Disturbance Generator**

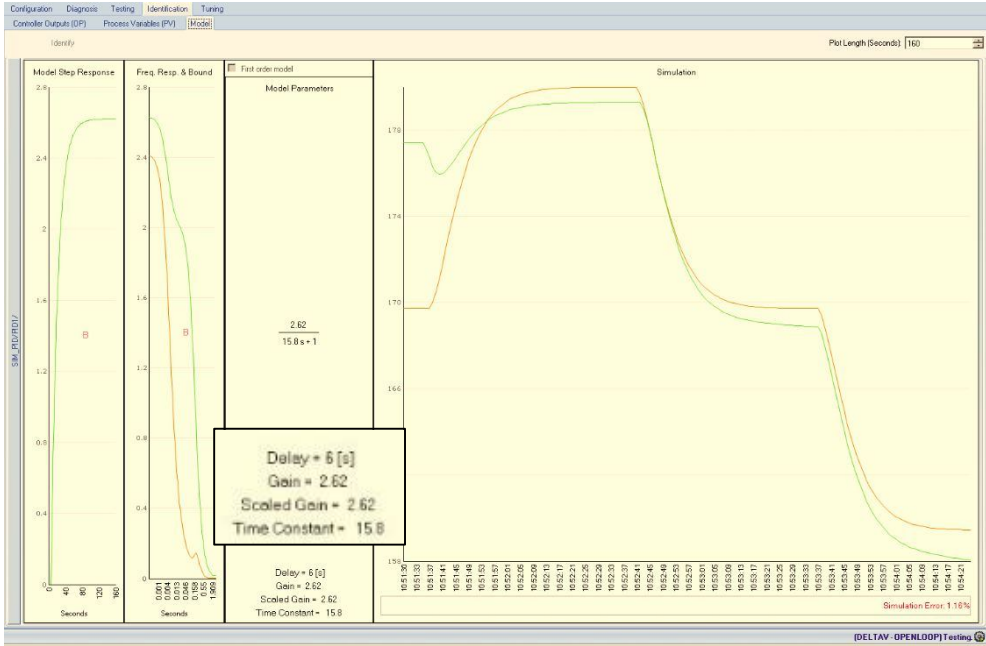
	Endpoint	Time Const	Ramp Rate
Inlet Temp	108.0 °F	0.0 s	0 EU/s
Product Flow	1400.0 GPM	0.0 s	0 EU/s

**Simulation (Actual)**

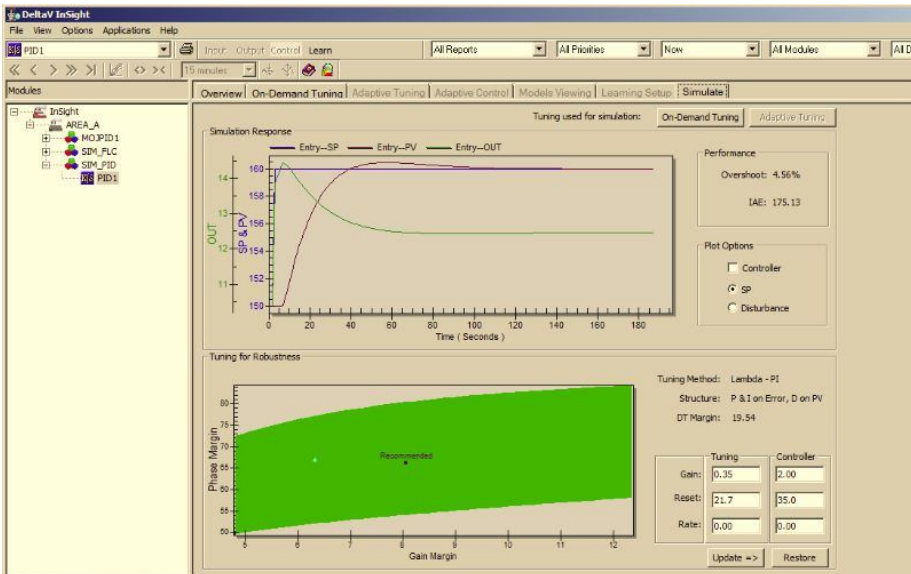
Process	Performance
Gain: 2.06	Integrated Error: 0.00
Time Const 1: 5.0 s	% Overshoot: 0.00
Time Const 2: 5.0 s	
Deadtime: 5.5 s	

Slika 14: Postavke prvog testnog slučaja

Iz prikaza (slika 15) se može iščitati da je prvo izabrani alat identificirao sljedeće vrijednosti: kašnjenje (mrtvo vrijeme) - 6 s, procesno pojačanje - 2,62, vremenska konstanta 15,8 s te dao preporuke da se primjene sljedeće konstante PID regulatora:  $K(P)= 0,38$  i  $T1(I) = 18,7$  s.

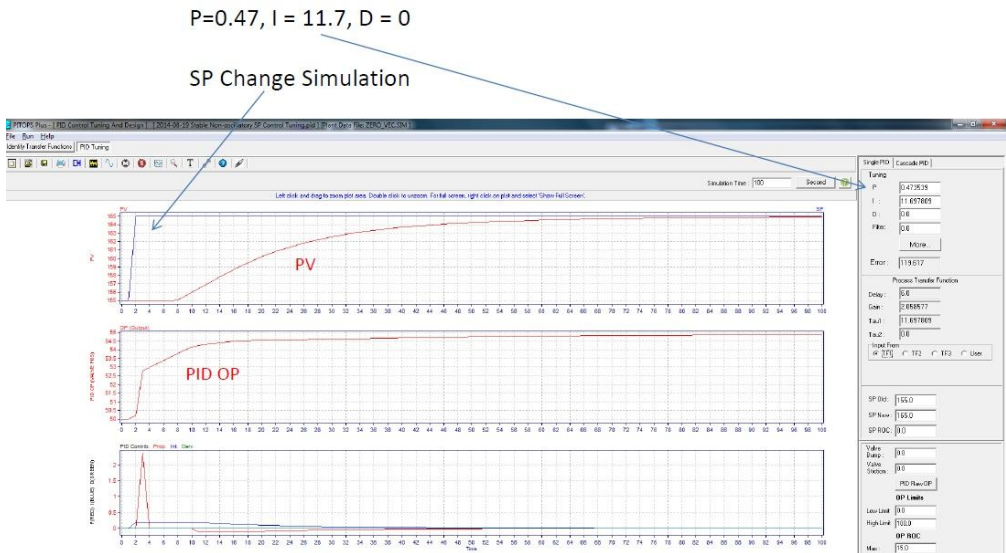


Slika 15: Sučelje alata za identifikaciju modela procesa



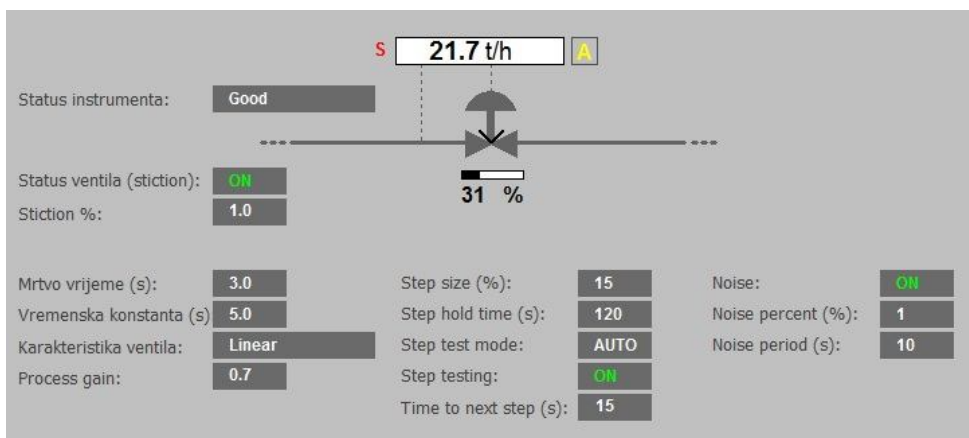
Slika 16: Sučelje alata za preporuku ugađanja





Slika 17: Sučelje alata za preporuku ugađanja

Iz prikaza (slika 16) se može iščitati da je drugoizabrani alat identificirao sljedeće vrijednosti: kašnjenje (mrtvo vrijeme) - 6,4 s, procesno pojačanje 1,38, vremenska konstanta 26 s te je dao preporuke da se primijene sljedeće konstante PID regulatora:  $K(P) = 0,35$  i  $T1(I) = 21,7$  s. Iz prikaza (slika 17) se može iščitati da je treće izabrani alat identificirao sljedeće vrijednosti: kašnjenje (mrtvo vrijeme) - 6 s, procesno pojačanje 2, vremenska konstanta 11,6 s te dao preporuke da se primijene sljedeće konstante PID regulatora:  $K(P) = 0,47$  i  $T1(I) = 11,7$  s.



Slika 18: Postavke drugog testnog slučaja

Za drugi testni slučaj korišten je modul koji je posebno napravljen za testiranja koja su provedena u ovome radu. Modul u sebi sadrži mogućnost postavljanja mrtvog vremena procesa, procesnog pojačanja kao i vremenske konstante. U ovom testnom slučaju, kako bi se odmaknuli od idealnog te približili realnom procesu, korištena je mogućnost simulacije šuma u procesu te zapinjanja regulacijskog ventila u njegovom radu što odgovara stvarnom procesu i uvjetima rada realnog sustava. Očekivana odstupanja identifikacije modela procesa su se i dogodila upravo zbog unošenja dodatnih elemenata što je posljedično rezultiralo nepreciznim određivanjem parametara PID regulatora. Ugađanjem iz više iteracija došlo se u konačnici do željenog rezultata.

U nastavku su dani rezultati modela procesa dobiveni komercijalnim alatima:

- prvi alat: mrtvo vrijeme 5 s, procesno pojačanje 0,296, i vremenska konstanta 4,33 s te preporuka za PID  $P = 2,3$ ,  $I = 6,8$ ;
- drugi alat: mrtvo vrijeme 2,8 s, procesno pojačanje 0,9 i vremenska konstanta 7,4 s te preporuka za PID  $P = 1,3$ ,  $I = 7,4$ ;
- treći alat: mrtvo vrijeme 2 s, procesno pojačanje 0,3 i vremenska konstanta 5 s te preporuka za PID  $P = 1,0$ ,  $I = 3,2$ .

## 5. Zaključak

U radu su korištena tri komercijalna alata koja potencijalno mogu naći svoje mjesto u budućim investicijama u programsku osnovicu koja bi trebala osigurati kontinuiranu brigu, nadzor i ugađanje regulacijskih krugova Rafinerije nafte Rijeka. Investicija je to u sustav za poboljšanje energetske učinkovitosti, smanjenje utrošaka energenata te povećanje dostupnosti procesnog postrojenja te je stoga treba promatrati kao nešto što nije trošak već ima relativno brz povrat ulaganja s vrlo pozitivnim efektom. Visoka brojka od 40 % regulacijskih ventila u ručnom modu rada već je dovoljan razlog za nužnost interveniranja po tome pitanju; brojna su istraživanja i studije koje su pokazale velike ekonomske uštede kao rezultat dobro ugođenih procesa. Osnova je to i temelj za buduću izgradnju softverskih senzora, naprednog vođenja i više-veličinskih modela čiji su moduli primijenjeni unutar distribuiranih sustava za vođenje postrojenja koja se koriste u rafinerijama.

Tijekom pripreme rada korištenjem svakog od tri navedena alata bilo je nužno proučiti način rada svakog od njih, proučiti dokumentaciju te se upoznati s mogućnostima svakog. Za potrebe testiranja sačinjen je laboratorij od tri zasebna računala te je na svakom od njih bio programski alat koji je bio povezan s distribuiranim sustavom za vođenje na kojem se provodila simulacija realnog procesa. Od izuzetnog značaja je bila i spremnost svakog od predstavnika proizvođača programskih alata ustupiti na limitirani period licencu za korištenje alata kao i korisničku podršku.

Primarna svrha korištenja gotovih programskih alata prilikom podešavanja regulacijskih krugova je skraćivanje vremenskog razdoblja potrebnog za fino ugađanje: primjena metode pokušaja i pogreške može biti dugotrajna i najčešće ne rezultira

kvalitetnim PID konstantama za promatrani proces u odnosu na dinamiku procesa. Korištenje ispravnog algoritma od presudne je važnosti za optimizaciju regulacijskih krugova te maksimalno ostvarenje zadanih ciljeva u vođenju procesa.

Definiranje kriterija za utvrđivanje izvedbe regulacijskih krugova omogućava dobivanje kvalitetnih smjernica prilikom podešavanja regulacijskih krugova. Sva tri programska alata korištena prilikom testiranja imaju unaprijed definirane kriterije koji se mogu podešavati prema dinamici promatranog procesa.

Laboratorij za testiranja provedena u ovome radu se nadalje može koristiti i kao edukacijski alat za izobrazbu tehnologa kao svojevrsan nastavak već započetih aktivnosti provedenih *Petroskills* programom sa svrhom podizanja svjesnosti o nužnosti ugađanja regulacijskih krugova rafinerijskog postrojenja.

### Literatura

- [1] The Link Between Automation KPIs and Enterprise KPIs, John Gerry and George Buckbee, ExperTune, Inc., 2005.
- [2] I. Mohler, N. Bolf, R. Karlović, I. Šarlija: Nadziranje i dijagnostika rada rafinerijskih postrojenja, 36. međunarodni skup MIPRO 2013; <https://bib.irb.hr/prikazi-rad?&rad=633992>
- [3] Books Online - Emerson Process Management; <http://www3.emersonprocess.com/systems/support/home/Index.aspx?mnu=resource&pl=2>
- [4] Control Performance Monitor R562 PID Analysis Guide
- [5] PITOPS-PID Version 6.1 User Manual
- [6] Matrikon TaiJi PID User Manual

### Autori

Boris Žeželj, Ivana Šarlija  
INA Industrija nafte d.d., Rafinerija nafte Rijeka, Automatsko vođenje procesa,  
Urinj bb, 51221 Kostrena  
E-adresa: Boris.Zezelj@ina.hr  
E-adresa: Ivana.Sarlija@ina.hr

### Primljeno

13.10.2014.

### Prihvaćeno

16.3.2015.

# CONTROL LOOPS PERFORMANCE IMPROVEMENT PROGRAM AT INA REFINERY RIJEKA

## Abstract

*Implementation of refinery information system called REFIS only confirmed and made available to a wide number of technologically oriented personnel from Rijeka oil refinery already known fact that approximately 40% of the control valve is in manual mode. There are several possible reasons that could lead to this situation: wrong controller parameters, wrong sized control valves, instrumentation problems, poorly designed control loop, etc. The aforementioned irregularities can result in significant financial losses measured in millions of dollars, often mentioned improved energy efficiency by reducing fluctuations in control loops. Examples cited in the oscillation air to fuel ratio in the furnace firing process, fluctuations in steam boiler feed water and steam pressure oscillations and distillation columns where the same direct impact on reducing the efficiency of the separation process. Statistics conducted in refineries under 500 control loops test carried out after the implementation of the control loops performance systems showed an average reduction of variability by 60% while the average return on investment of less than two months. Fine-tuned control loops are also the foundation and prerequisite for future implementation of advanced process control.*

*The paper will give a detailed analysis of the actual state of the control loops of Rijeka oil Refinery using commercial tools as a basis and a recommendation for future project initiative and investment in systems to improve energy efficiency, reducing energy consumptions and increase the availability of process plants.*

**Key words:** petroleum refinery, control loops, performance improvement

## Authors

Boris Žeželj, Ivana Šarlija  
INA Oil Industry, Petroleum Refinery Rijeka, Automated Process Control,  
Urinj bb, 51221 Kostrena, Croatia  
e-address: Boris.Zezelj@ina.hr  
e-address: Ivana.Sarlija@ina.hr

## Received

13.10.2014.

## Accepted

16.3.2015.