

**THE CONCEPTUAL MODEL AS A BASIS FOR
A SIMULATION MODEL OF THE NATURAL
GAS SUPPLY CHAIN AIMED AT COST
OPTIMIZATION / KONCEPTUALNI MODEL KAO
OSNOVA ZA SIMULACIJSKI MODEL LANCA
OPSKRBE PRIRODNIM PLINOM U FUNKCIJI
OPTIMIZACIJE TROŠKOVA**

Dario ŠEBALJ*

The functioning of the natural gas system in the Republic of Croatia is based on the laws and regulations of the European Union. Consumers are obliged to sign a contract with suppliers, i.e. energy companies that purchase gas on their behalf under regulated conditions (gas for households) or based on market principles (gas for industry and commercial purposes). Suppliers must predict the amount of gas their consumers will consume and, place their orders accordingly. The gas market in the Republic of Croatia functions on a balancing principle. This means that the total amount of gas injected into the transmission system (quantity ordered by suppliers) must be withdrawn from it. Since it is not possible to accurately predict future gas consumption, differences arise between the ordered (nominated) quantity and the actual amount consumed. This leads to imbalances in the system and the cost of rebalance is paid by the suppliers. The main purpose of this paper is to present the conceptual model as a basis for a developing simulation model to test a potential technical solution that could be used to compensate for prediction errors. Such a solution would be placed at the beginning of the distribution system and it would manage system accumulation. In case of an excess in the transmis-

* Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Economics, Trg Ljudevita Gaja 7, 31000 Osijek, dsebalj@efos.hr

sion system (more nominated than consumed), that surplus would be accumulated in the distribution system. Conversely, if consumption exceeds nomination, when there is a sufficient amount of gas accumulated in the distribution system, the difference would be withdrawn from it. In order to test such a potential solution, a computer simulation of the gas system will be created. This should give the answer as to whether the activation of the balancing energy occurs less frequently and, consequently, reduces the cost to suppliers. However, before designing the simulation model, it was necessary to create a conceptual model that represents the gas system after improvements.

Keywords: natural gas, supply chain, transmission system balancing, conceptual model, simulation model

JEL classification: L71, L95

Funkcioniranje plinskog sustava u Republici Hrvatskoj temeljeno je na zakonima i regulativama Republike Hrvatske i Europske unije. Potrošači su dužni potpisati ugovor s opskrbljivačima, energetske poduzeća koji u njihovo ime nabavljaju plin prema reguliranim uvjetima (veći dio plina za kućanstva) ili na tržištu (plin za industriju i poduzetništvo te kućanstva). Opskrbljivači moraju predvidjeti koliku će količinu plina potrošiti njihovi kupci u idućem plinskom danu te sukladno tome naručuju plin. Tržište plina u Republici Hrvatskoj funkcionira na principu uravnoteženja. To znači da se ukupna količina plina utiskana u transportni sustav (ona količina koju su opskrbljivači naručili odnosno nominirali) mora iz njega i povući. Budući da nije moguće točno predvidjeti buduću potrošnju, događaju se odstupanja između nominirane količine i stvarno potrošene količine. Sustav se tada dovodi do neravnoteže, a cijenu njegovog ponovnog uravnoteženja plaćaju upravo opskrbljivači. Osnovna svrha ovoga rada jest predstaviti konceptualni model kao osnovu za izradu simulacijskog modela s ciljem testiranja potencijalnog tehničkog rješenja kojim bi se mogle kompenzirati greške predviđanja. Takvo rješenje bi se postavilo na ulaz u distribucijski sustav i upravljalo bi akumulacijom tog sustava. U slučaju da se u transportnom sustavu pojavi višak (jer je više nominirano, nego što je potrošeno), taj višak bi se akumulirao u distribucijskom sustavu. U obrnutom slučaju, ako bi potrošnja bila veća od nominacije, a pod uvjetom da je u distribucijskom sustavu akumulirana dovoljna količina, razlika bi se povukla upravo iz njega. Kako bi se takvo

potencijalno rješenje moglo testirati, kreirat će se računalna simulacija plinskog sustava koja bi trebala dati odgovor na pitanje može li doći do rjeđeg aktiviranja energije uravnoteženja, a samim time i smanjenja troškova za opskrbljivače. No prije izrade simulacijskog modela, bilo je potrebno napraviti konceptualni model koji predstavlja izgled plinskog sustava nakon uvođenja poboljšanja.

Ključne riječi: *prirodni plin, lanac opskrbe, uravnoteženje transportnog sustava, konceptualni model, simulacijski model.*

1. UVOD

Proizvodnja, transport, skladištenje i distribucija prirodnog plina predstavljaju kompleksne tehnološke sustave koji su dio ukupnih energetske sustava na nacionalnoj i međunarodnoj razini. Vlasnici tih sustava danas su privatne, državne i mješovite energetske tvrtke. S ciljem liberalizacije i demonopolizacije (razdvajanja fizičke infrastrukture od tržišta) tržišta energije pa tako i tržišta prirodnog plina, osnovane su posebne energetske tvrtke koje obavljaju djelatnost trgovine i opskrbe pojedinih kategorija potrošača (kućanstava, poduzetništva, industrije) uz korištenje navedene tehnološke infrastrukture. U takvim uvjetima nužno je definirati posebna pravila ponašanja svih sudionika u energetskom odnosno plinskom sektoru. Sudionici cjelokupnog opskrbnog lanca u plinskom sektoru organiziraju se u tzv. bilančne skupine, kako bi se plinski sustav uskladio po pitanju materijalnih i financijskih tokova. Prema Pravilima o organizaciji tržišta plina (NN, 50/18.), bilančna skupina je „interesno udruženje sudionika na tržištu plina, organizirano na komercijalnoj osnovi, prvenstveno u svrhu uravnoteženja i optimiranja troškova uravnoteženja, za koje je odgovoran voditelj bilančne skupine“.

Aktualni sustav opskrbe prirodnim plinom u Republici Hrvatskoj (koja je regulatornu stečevinu preuzela od Europske unije) funkcionira na principu uravnoteženja. Glavni zadatak voditelja bilančne skupine je osigurati da se ukupna naručena (nominirana) količina plina koja se utiska u transportni sustav (iz vlastite proizvodnje, uvoza ili podzemnog skladišta plina) iz njega i preuzme od strane potrošača odnosno opskrbljivača distributera. Međutim, kako je relativno teško točno procijeniti ukupnu količinu plina koja je potrebna za sljedeći plinski dan (a naročito za svaki sat u narednom plinskom danu) dolazi do neravnoteže transportnog sustava, bilo zbog više naručene, a nepreuzete ili manje naručene od preuzete količine. Zbog uravnoteženja transportnog susta-

va penaliziraju se vođitelji bilančnih skupina koji su uzrokovali neravnoteže iznad dozvoljenih granica. Vođitelji bilančnih skupina će za taj trošak teretiti opskrbljivače koji su povlačili više ili manje plina od nominirane količine. Vođiteljima bilančnih skupina stoji na raspolaganju mogućnost da manjak nominirane količine kupe po višoj cijeni za koju se moraju pogađati na tržištu ili da višak naručene količine prodaju po nižoj cijeni od one koju su regularno platili. Ako vođitelji bilančnih skupina ne uspiju na ovaj način uravnotežiti sustav, za to se mora pobrinuti operator transportnog sustava koji aktivira pozitivnu ili negativnu energiju uravnoteženja. Prema Pravilima o organizaciji tržišta plina (NN, 50/18.), pozitivna energija uravnoteženja je „količina plina predana u transportni sustav odnosno proizvod kojeg operator transportnog sustava kupuje na trgovinskoj platformi radi uravnoteženja transportnog sustava“, dok je negativna energija uravnoteženja „količina plina preuzeta iz transportnog sustava odnosno proizvod kojeg operator transportnog sustava prodaje na trgovinskoj platformi radi uravnoteženja transportnog sustava“.

Opskrbljivači su suočeni s problemom kontinuiranog prikupljanja podataka o potrošnji svojih potrošača i stanjem ponude i potražnje bilančnih skupina na plinskom tržištu. U uvjetima reguliranog tržišta članovima bilančnih skupina stoje na raspolaganju ograničene mogućnosti za ekonomiziranje poslovnih procesa i one će proizaći prije svega iz kvalitetnog praćenja i predviđanja potrošnje plina, a to znači izbjegavanje penalizacije zbog krivo procijenjenih nominacija.

Iako su tehnički sustavi za proizvodnju, skladištenje, transport i distribuciju u pravilu čvrsto definirani i standardizirani sustavi, zbog dinamike njihova funkcioniranja u njima ipak postoje ograničene mogućnosti adaptacije koje se mogu iskorištavati za uravnoteženja. Prva je takva mogućnost ograničena fleksibilnost transportnog sustava koji može podnijeti relativno velika opterećenja u odnosu na predviđena stabilna stanja (tlak od 50 odnosno 75 bara). Druga je mogućnost možebitna fleksibilnost distribucijskog sustava u smislu iskorištavanja rezervi u pogledu prihvata pogrešaka u prenominiranim količinama plina. Ovakva je mogućnost posebno zanimljiva vertikalno integriranim energetske tvrtkama (koje su vlasnici distribucijskih sustava i funkcioniraju kao opskrbljivači na tržištu plina).

Usklađenje transportnog sustava moglo bi se postići potencijalnim tehničkim rješenjem, u obliku posebne elektromotorne slavine, koje bi se postavilo na ulaz u distributivni sustav i koje bi upravljalo akumulacijom distributivnog sustava. Ovakvo rješenje ima prije svega za cilj kompenzirati pogreške u nominacijama kada su one rezultat teško predvidivih (naglo promjenjivih) varijabli potrošnje plina i trebalo bi se primjenjivati u kratkom roku. Dobri prognostički

modeli potrošnje plina i njihova dosljedna primjena ostaju i dalje primarni zahtjev prema opskrbljivačima odnosno voditeljima bilančnih skupina.

Funkcioniranje predloženog tehničkog rješenja će se testirati računalnom simulacijom plinskog (transportnog i distributivnog) sustava koja će pokazati može li uopće implementacija takvog rješenja dovesti do rjeđeg aktiviranja energije uravnoteženja i mogu li se na taj način kompenzirati greške u nominacijama prirodnog plina.

Osnovni cilj ovoga istraživanja jest predstaviti konceptualni model kao osnovu za izradu simulacijskog modela lanca opskrbe prirodnim plinom kojim će se testirati mogućnost da se uvođenjem tehničkog rješenja kompenziraju greške u nominacijama prirodnog plina.

2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Literatura u kojoj su korišteni razni simulacijski modeli u dijelu transportnog sustava prirodnog plina je vrlo ograničena. Postoji svega nekoliko radova koji se odnose na ovu metodu analize i testiranja opskrbnog lanca prirodnog plina. Ako i postoje radovi vezani za transportni sustav, oni se odnose samo na neki dio u transportnom sustavu. Primjerice, Woldeyohannes i Majid (2011) su razvili simulacijski model za analizu transportnog plinovodnog sustava s naglaskom na kompresorske stanice. Prema autorima, one su ključni element transportnog sustava budući da pružaju energiju potrebnu za protok plina. Pomoću simulacijskog modela kreirali su sustav koji simulira transportni sustav prirodnog plina s različitim postavkama tlaka i protoka plina. Matematički izračuni u modelu sadržavali su parametre kao što su protok plina unutar cjevovoda, masena bilanca te karakteristike kompresora (njegova brzina, stopa protoka plina, razni tlakovi i sl.). Slično istraživanje provedeno je i od strane Wua, Rios-Mercadoa, Boyda i Scotta (2000). U svom su se radu bavili problemom minimiziranja troškova goriva koje koristi kompresorska stanica za protok plina u transportnom sustavu. Chebouba i dr. (2009) su primjenom algoritma optimizacije kolonijom mrava (ACO) razvili alat za potporu odlučivanju koji bi trebao pomoći operatoru kompresorske stanice u donošenju dvije važne odluke: kada smanjiti ili povećati kompresiju u plinovodu te kada uključiti ili isključiti turbokompresore. Kriva odluka može dovesti do povećanja troška energije te na kraju nezadovoljstva samog potrošača.

Najkompletniji simulacijski model, u svrhu izrade programskog rješenja za donošenje odluka u plinskom biznisu, kreirali su Romo i suradnici (2009). Oni su u svom istraživanju prikazali proces razvoja i uporabu alata za dono-

šenje odluka prilikom transporta prirodnog plina, nazvanog GassOpt, kojeg koristi glavni norveški operator transportnog sustava StatoilHydro, a služi za optimizaciju transportne mreže. Osnovne varijable koje su korištene u ovom programskom rješenju su ukupan protok plina, protok plina između različitih čvorova gdje se spajaju plinovodi te ulazni i izlazni tlak svakog plinovoda. Osnovna funkcija je maksimizacija protoka plina do tržišta, a ograničenja uključuju kapacitet sustava, potražnju za plinom, ograničenja protoka plina i tlaka u plinovodima i sl. Putem GassOpt aplikacije, operator transportnog sustava može upravljati tokom prirodnog plina u transportnom sustavu, raditi moguće realokacije kapaciteta, omogućavaju se rezervacije transportnih kapaciteta, dugoročna planiranja i investicije i sl. Sveobuhvatan model plinskog plinovodnog sustava razvijen je i od strane Nimmanonde i dr. (2004). Oni su razvili računalni simulacijski model plinskog transportnog sustava koji je uključivao svojstva prirodnog plina, bilancu energije te masenu bilancu. Korisnik može koristiti predstavljeni model za kreiranje sustava cjevovoda prirodnog plina, odabirom svojstava prirodnog plina, promjera cijevi te kapaciteta kompresora. Budući da potrošnja prirodnog plina varira s vremenom, dinamički simulacijski model je kreiran i kako bi se prikazale ključne varijable plinovodnog sustava i pružile smjernice korisnicima kako upravljati sustavom na ispravan način. Matko, Geiger i Gregoritz (2000) su predstavili tri različita modela plinskog sustava te na temelju njih izvršili simulaciju kako bi vidjeli odstupanje tih modela od stvarnog sustava. Korišteni modeli bili su model s nelinearnim distribuiranim parametrima, model s linearnim distribuiranim parametrima te model s linearnim koncentriranim parametrima. Metodu linearnog programiranja koristili su Vasconcelos i dr. (2013) u svrhu izračuna maksimalnog protoka plina podržanog od strane transportnog sustava plinovoda. Eparu i dr. (2013) su analizirali dinamičke tokove koji se događaju u transportnom sustavu prirodnog plina u Rumunjskoj. Kako bi dobili što bolji uvid u procese, napravili su simulaciju transportnog sustava u Simone simulatoru, najpoznatijem numeričkom simulatoru kojeg koristi većina europskih i azijskih država za upravljanje plinskom transportnom mrežom. U simulaciju su uvrstili cjevovode, ventile, regulatore, kompresorske stanice, izvore plina i potrošače. Zaključili su kako na dinamiku protoka plina najviše utječu satna, dnevna i godišnja potrošnja kućanstava te fluktuacije u opskrbi industrijskih potrošača. Također, navode kako povećanje dobavnih izvora plina i realizacija interkonekcija sa susjednim državama mogu imati pozitivne učinke na stabilizaciju funkcioniranja transportnog sustava plina.

Villada i Olaya (2013) su predstavili simulacijski pristup za prikaz plinskog sustava, uzimajući u obzir razna ograničenja transportnog sustava i fluktuacije

potražnje za plinom. Kreirali su računalni simulacijski model na temelju stvarnog plinskog sustava u Kolumbiji. Nakon toga su testirali različite scenarije te uspoređivali utjecaj veće ugovorne fleksibilnosti i uvoznih i skladišnih kapaciteta na sigurnost opskrbe plinom. Iako postoje razne druge alternative za povećanje sigurnosti opskrbe, autori su se usredotočili na transportni sustav jer su ustanovili kako adekvatna regulacija i razvoj ovog sustava mogu pridonijeti povećanju sigurnosti opskrbe plinom. Zaključili su kako izgradnja postrojenja za uvoz plina, osobito LNG terminala, mogu pridonijeti rastu sigurnosti plinskog sustava. Problemom modeliranja opskrbnog lanca LNG-a bavili su se Stchedroff i Cheng (2003) uz uporabu linearnog programiranja. Dundović i suradnici (2009) su pomoću diskretnog simulacijskog modela i softvera GPSS World simulator evaluirali kapacitet LNG terminala koji bi trebao biti izgrađen u Hrvatskoj i predložili optimalne karakteristike terminala pri različitim količinama uvoza plina.

Zabilježeno je i nekoliko radova u kojima su se koristile kombinacije diskretnih i kontinuiranih simulacija. Primjerice, Kbah i dr. (2016) su u svojem istraživanju, koristeći kombinaciju diskretne i kontinuirane simulacije, kreirali model opskrbnog lanca nafte i prirodnog plina. Nakon postavljanja modela i njegove validacije kako bi se utvrdila podudarnost sa stvarnim lancem opskrbe nafte i prirodnog plina, analizirani su „što-ako“ scenariji. U njima su testirali ponašanje sustava nakon povećanja proizvodnje benzina i LPG-a te su pokušali pronaći optimalan broj kamiona za prijevoz nafte i LPG-a.

Neki su autori koristili simulacijsko modeliranje, uz pomoć nekih drugih sustava pa su tako Zhang i dr. (2016) u svom istraživanju koristili kombinaciju GIS (geografski informacijski sustav) tehnologije i metode simulacijskog i optimizacijskog modeliranja kako bi pronašli idealne lokacije za izgradnju postrojenja za proizvodnju biogoriva.

Thompson i dr. (2009) su predstavili algoritam za evaluaciju i optimizaciju skladišta prirodnog plina u obliku solnih doma koji uključuje dinamiku cijena i razne karakteristike vezane uz ovaj tip skladišta plina.

Metoda online simulacija može biti korištena i za otkrivanje curenja plina u cjevovodima. Upravo takav pristup koristili su japanski znanstvenici Fukushima i dr. (2000) na primjeru jednog od najdužih plinovoda u Japanu. Osnovni čimbenik za otkrivanje curenja bila je masena bilanca duž plinovoda koja se provjeravala na svakom ventilu. U slučaju da se masena bilanca izmjerena na jednom ventilu ne slaže s masenom bilancom na drugom ventilu, sustav informira korisnika o potencijalnom curenju plina.

Jednu drugu vrstu modela razvio je Jacinto (2002). On je predstavio simulacijski model za upravljanje rizicima vezanih uz razvoj naftnog polja. Kao

tehniku, koristio je diskretne simulacije pomoću softvera Arena Simulation. Isto programsko rješenje korišteno je kod Saada i suradnika (2009) koji su napravili simulacijski model postrojenja za proizvodnju nafte, a kreirani je model poslužio za planiranje, kontrolu i donošenje odluka. Ključne varijable njihovog modela bile su stopa ulaza sirove nafte, kapacitet separatora, kvaliteta sirove nafte te broj proizvodnih linija. Analiza simulacijskog modela pokazala je da isti, iako pojednostavljen, zorno prikazuje stvarni sustav. Diskretne simulacije u području transporta sirove nafte zabilježene su u radovima Chenga i Durana (2004) te Spriciga i dr. (2009). Cheng i Duran (2004) su razvili sustav za potporu odlučivanju kako bi istražili i poboljšali sustav zaliha i transporta sirove nafte. Njihov sustav za potporu odlučivanju se temelji na integraciji diskretnih simulacija i optimalne kontrole. Spricigo i dr. (2009) su uz pomoć simulacijskog softvera Arena Simulation predstavili model diskretne simulacije naftovodnog sustava temeljem povijesnih podataka kako bi analizirali vrijeme transporta na različitim rutama. Transportom nafte između rafinerije i distribucijskih mjesta bavili su se i Geramianfar i dr. (2015). Oni su također koristili Arena Simulation softver kako bi prikazali i optimizirali sustav naftovoda kojim se transportira više različitih proizvoda (kerozin, benzin, dizel, gorivo za mlažnjak). Uz pomoć simulacijskog modela su uspjeli smanjiti ukupne troškove transporta. Isti problem rješavali su i Cafaro i dr. (2010) uz pomoć linearnog programiranja i diskretnih simulacija. Diskretne simulacije su korištene prilikom kreiranja simulacijskog modela za donošenje odluka u vezi aktivnosti koje je potrebno poduzeti prilikom transporta nafte (Mori i dr., 2007). Temeljem provedene simulacije analizirali su iskorištenost naftovoda i njegovu propusnost kako bi se otkrila potencijalna uska grla i drugi problemi vezani uz transportni sustav.

3. METODOLOGIJA

Tehničko rješenje koje ima zadatak upravljati akumulacijom distribucijskog sustava testirat će se računalnom simulacijom odnosno kreiranjem simulacijskog modela plinskog sustava. Simulacija je imitacija rada stvarnog procesa ili sustava kroz određeno vremensko razdoblje (Banks, Carson, Nelson & Nicol, 2004). Obuhvaća skup metoda i aplikacija kojima se oponaša ponašanje stvarnog sustava, obično na računalu uz pomoć odgovarajućih programskih rješenja. Računalne simulacije predstavljaju proces oblikovanja i kreiranja računalnog modela stvarnog ili predloženog sustava u svrhu provođenja numeričkih eksperimenata radi boljeg razumijevanja ponašanja sustava za dani skup uvjeta (Kelton, Sadowski & Sturrock, 2007). Isti autori preporučuju upravo

računalne simulacije za proučavanje i analizu složenih sustava. Prema Rossettiju (2016), najvažnija prednost simulacijskog modeliranja jest da posjeduje sposobnost modeliranja cjelokupnog sustava i njegovih složenih unutarnjih odnosa te omogućuje niže troškove provođenja eksperimenata na modelu s ciljem donošenja zaključaka o tome kako bi se stvarni sustav mogao ponašati.

Provođenje simulacijskog eksperimenta sastoji se od nekoliko koraka (Rossetti, 2016):

1. Formulacija problema
 - a. Definiranje problema
 - b. Definiranje sustava
 - c. Uspostavljanje mjera performansi
 - d. Izrada konceptualnog modela
 - e. Dokumentiranje pretpostavki modela
2. Izrada simulacijskog modela
 - a. Prevođenje modela
 - b. Modeliranje ulaznih podataka
 - c. Verifikacija
 - d. Validacija
3. Eksperimentalni dizajn i analiza
 - a. Preliminarno pokretanje simulacije
 - b. Konačni eksperimenti
 - c. Analiza rezultata
4. Evaluacija i ponavljanje
 - a. Dokumentacija
 - b. Priručnik u vezi modela
 - c. Korisnički priručnik
5. Implementacija.

Nakon definiranja problema, a prije izrade samog simulacijskog modela, bilo je potrebno kreirati konceptualni model koji služi kao osnova za izradu simulacije i na kojem je prikazano funkcioniranje plinskog sustava nakon uvođenja predloženog tehničkog rješenja. Prema Rossettiju (2016), cilj konceptualnog modela je prikazati detaljniji opis sustava kako bi se model mogao prevesti u računalu razumljiv oblik. Izrada modela treba započeti s jednostavnim konceptualnim modelom koji prikazuje osnovne aspekte i ponašanje sustava. Nakon toga se postupno dodaju detalji kojima se prikazuju dodatne funkcionalnosti sustava. Međutim, vrlo je važno da složenost sustava ostane proporcionalna s kvalitetom raspoloživih podataka i njihovom valjanosti potrebnom za postizanje ciljeva istraživanja. Neki od mogućih načina za izradu konceptualnog modela jesu:

1. Kontekstualni dijagrami
2. Dijagrami aktivnosti
3. Dijagrami koji služe za oblikovanje informacijskih sustava – dijagrami toka podataka, IDEF (*ICAM Definition language*) dijagrami, UML (*unified modeling language*) dijagrami.

U ovom istraživanju, za izradu konceptualnog modela korišten je dijagram toka podataka.

4. KONCEPTUALNI MODEL

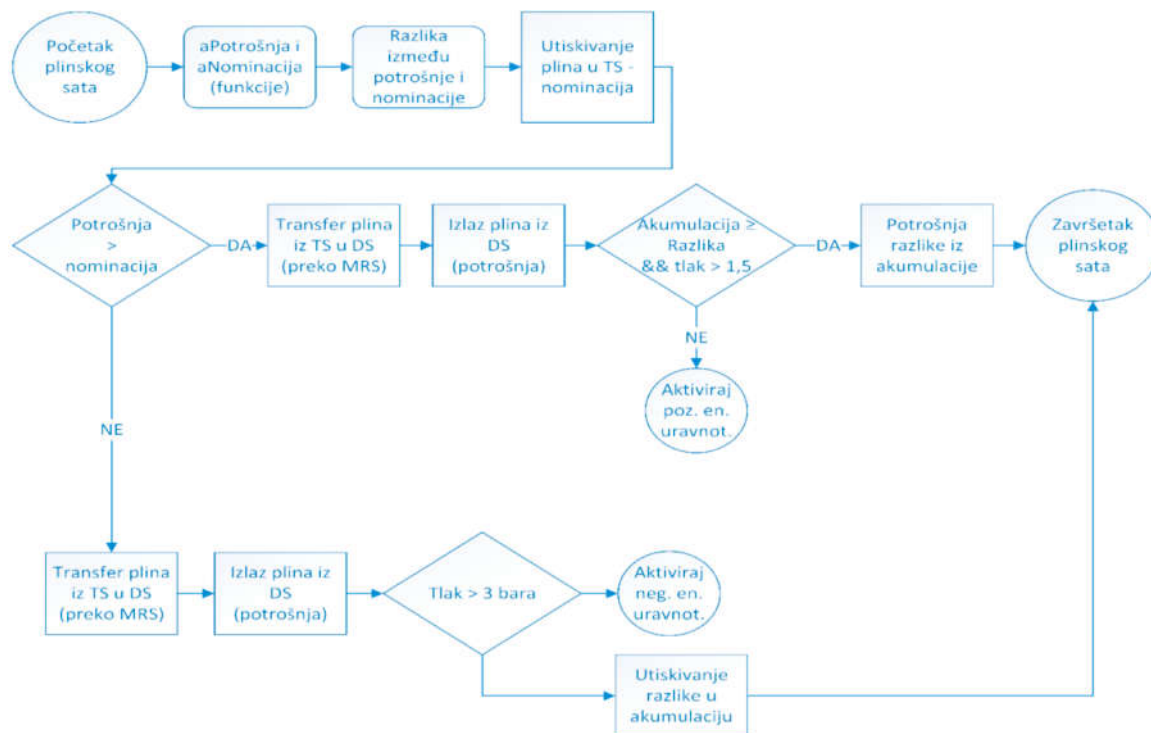
Sustav na kojemu će se provoditi simulacijski eksperiment odnosi se na transportni i distribucijski sustav, koji će biti prikazani u obliku plinovoda u koje, s jedne strane, ulazi plin u transportni sustav (kao nominacija), a s druge strane, izlazi plin iz distribucijskog sustava prema potrošačima (kao potrošnja). Na ulazu u distribucijski sustav nalaze se mjerno-redukcijska stanica, koja mjeri protok plina te reducira tlak, i elektromotorna slavina, koja predstavlja potencijalno tehničko rješenje nužno za provedbu eksperimenta o akumulaciji plina.

Tehničko rješenje će funkcionirati prema sljedećem principu. Ako voditelji bilančnih skupina nominiraju veću količinu plina od potrošnje, elektromotornom slavinom će se povući razlika u distribucijski sustav te se u njemu akumulirati. Naravno, pod uvjetom da tlak u distribucijskom sustavu ne prelazi 3 bara. U slučaju da je tlak u distribucijskom sustavu došao do granice od 3 bara, elektromotorna slavina se zatvara i za ostatak razlike između nominacije i potrošnje će se aktivirati energija uravnoteženja. U obrnutoj situaciji, ako je potrošnja plina veća od nominacije, elektromotorna slavina se zatvara i, ako već postoji dovoljna akumulacija distribucijskog sustava, ta razlika će se namiriti upravo iz te akumulacije.

Tlak plina u distribucijskom sustavu predstavljat će jednu od mjera performansi modela. Ako sustav bude mogao normalno funkcionirati s dodatnom akumulacijom plina u samom sustavu, a da tlak plina ne dođe ispod ili iznad dopuštenih granica, može se smatrati da je simulacijski eksperiment uspješan. Druga mjera performansi modela bit će ukupne količine pozitivne i negativne energije uravnoteženja te akumulirana količina u distribucijskom sustavu. Ako se pokaže da će se nakon provedenog simulacijskog eksperimenta smanjiti ukupna količina energije uravnoteženja u odnosu na sadašnje stanje, smatrat će se da je model uspješan.

U nastavku je prikazan konceptualni model kojim su detaljnije opisani osnovni aspekti i ponašanje sustava (slika 1.).

Slika 1.: Konceptualni model plinskog sustava nakon implementacije predloženeog tehničkog rješenja



Izvor: izrada autora.

Simulacijski eksperiment pokretat će se svakog plinskog sata budući da su voditelji bilančnih skupina dužni podnositi nominacije na razini sata za sljedeći plinski dan. Nakon toga, svakog plinskog sata kreirat će se dva atributa – potrošnja (aPotrošnja) i nominacija (aNominacija). Alat za izradu simulacije Arena Simulation će simulirati vrijednosti potrošnje i nominacije za promatrani plinski sat i te vrijednosti smjestiti u attribute aPotrošnja i aNominacija. Nakon dobivenih vrijednosti za potrošnju i nominaciju, potrebno je izračunati razliku između ove dvije vrijednosti kako bi se kasnije u procesu moglo vidjeti je li nominirana količina veća od stvarne potrošnje ili vrijedi obratno.

U transportni sustav se potom utiskuje plin i to količina jednaka nominaciji. Proces potom dolazi do odluke gdje se provjerava je li potrošnja veća od nominacije. Ako je uvjet istinit odnosno voditelji bilančnih skupina su nominirali manje nego što su potrošači potrošili, cjelokupna količina nominacije se povlači iz transportnog sustava u distribucijski sustav. U trenutku kada se u distribucijski sustav utisnula količina plina do razine nominirane količine, elektromotorna slavina zatvara sustav te se ostatak plina (do razine potrošnje) crpi iz akumulacije distribucijskog sustava. Naravno, pod uvjetom da postoji dovoljna količina plina u akumulaciji i da se povlačenjem plina neće spustiti

tlak na razinu ispod 1,5 bara čime bi se ugrozilo normalno funkcioniranje sustava. Iz tog razloga, u modelu je potrebno kreirati novu odluku kojom će se provjeravati je li trenutna akumulacija distribucijskog sustava dovoljna za podmirenje razlike potrošnje te hoće li se povlačenjem plina iz akumulacije spustiti tlak ispod 1,5 bara. Ako je postavljeni uvjet istinit, razlika se povlači iz akumulacije. U obrnutom slučaju, razliku nije moguće namiriti iz akumulacije te se aktivira pozitivna energija uravnoteženja.

Opisana je situacija kada je potrošnja bila veća od nominacije. Međutim, kada je voditelj bilančne skupine nominirao više plina nego što su kućanstva u nekom satu potrošila, elektromotorna slavina će se otvoriti i u distribucijski sustav će se utiskati razlika do nominirane količine te će se na taj način akumulirati u samom sustavu i koristiti u slučajevima kada potrošnja bude veća od nominacije. U slučaju da se tlak u distribucijskom sustavu podigne do maksimalne dopuštene granice od 3 bara, elektromotorna slavina se zatvara i ostatak plina se preuzima iz transportnog sustava kao negativna energija uravnoteženja. Implementacija potencijalnog tehničkog rješenja dovodi do toga da voditelji bilančnih skupina neće morati plaćati penale budući da će se iz transportnog sustava povući samo nominirana količina, a razlika do potrošene količine povući će se iz akumulacije (ako je količina akumulacije u distribucijskom sustavu dostatna).

Međutim, kao što je već ranije navedeno, u stvarnosti uravnoteženje sustava funkcionira na sljedeći način. Ako transportni sustav nije u ravnoteži u rasponu od $\pm 2.500.000$ kWh dnevno, neće se aktivirati energija uravnoteženja. Kada neravnoteža u sustavu dođe iznad navedenih granica, operator transportnih sustava poduzima radnje uravnoteženja i na trgovinskoj platformi objavljuje količinu plina koja je potrebna da bi se sustav uravnotežio. Tada voditelji bilančnih skupina mogu prodati plin (ako je u sustavu manje plina od potrebnog) ili ga kupiti (ako je u sustavu više plina od potrebnog). Ako operator transportnog sustava ne uspije na takav način uravnotežiti sustav, mora aktivirati pozitivnu odnosno negativnu energiju uravnoteženja.

Ovime završava proces za navedeni plinski sat te se postupak ponavlja za svaki plinski sat u modelu.

5. RASPRAVA

Kao što je već navedeno, voditelji bilančnih skupina odnosno opskrbljivači prirodnog plina, plaćaju penale za pogrešna nominiranja prirodnog plina budući da je zbog toga transportni sustav neuravnotežen pri čemu operator

transportnog sustava mora aktivirati energiju uravnoteženja kako bi se sustav ponovno uravnotežio. Troškove aktivacije energije uravnoteženja snose voditelji bilančnih skupina odnosno njihovi članovi (opskrbljivači). Hrvatski operator tržišta energije (HROTE) redovito na svojem web sjedištu objavljuje mjesečne izvještaje o trgovanju na trgovinskoj platformi odnosno iznosu aktivirane pozitivne i negativne energije uravnoteženja koji je jednak umnošku količine plina te jedinične cijene energije uravnoteženja za svaki plinski dan u mjesecu. U tablici 1. prikazani su podaci o ukupnoj količini aktivirane energije uravnoteženja te ukupnom trošku za 2017. godinu.

Tablica 1.: Iznos aktivirane energije uravnoteženja u 2017. godini

Mjesec	Pozitivna energija uravnoteženja			Negativna energija uravnoteženja		
	Količina (MWh)	Prosječna cijena (kn/MWh)	Iznos	Količina (MWh)	Prosječna cijena (kn/MWh)	Iznos
Siječanj	44.640	250,05	11.162.021	28.800	153,56	4.422.499
Veljača	14.400	256,12	3.688.109	49.440	151,92	7.510.872
Ožujak	1.920	213,33	409.584	59.520	120,89	7.195.397
Travanj	19.989	227,01	4.537.802	12.449	95,02	1.182.846
Svibanj	10.545	232,83	2.455.237	15.211	106,19	1.615.223
Lipanj	-	-	-	13.542	125,33	1.697.265
Srpanj	-	-	-	4.564	129,79	592.341
Kolovoz	-	-	-	4.496	132,76	596.900
Rujan	5.134	206,01	1.057.652	4.375	120,69	528.022
Listopad	14.364	219,98	3.159.814	19.931	141,56	2.821.463
Studeni	2.316	204,90	474.545	40.426	132,50	5.356.580
Prosinac	5.061	209,41	1.059.821	45.737	149,94	6.857.879
Ukupno	118.369		28.004.584	298.491		40.377.286

Izvor: HROTE, 2019.

Iz tablice 1. može se vidjeti kako je u 2017. godini operator transportnog sustava radi uravnoteženja transportnog sustava morao kupiti plin u vrijednosti preko 28 milijuna kuna, dok je zbog istog razloga na trgovinskoj platformi prodao plina u vrijednosti preko 40 milijuna kuna. To znači da su voditelji bilančnih skupina trgovali s operatorom transportnog sustava na trgovinskoj platformi i kupili plin u vrijednosti preko 40 milijuna kuna zbog nominacije koja je bila viša od potrošnje. S druge strane, zbog manje nominiranog plina, operatoru transportnog sustava su prodali plin u vrijednosti od 28 milijuna kuna. Budući da je iznos negativne energije uravnoteženja veći od pozitivne,

voditelji bilančne skupine HROTE-u su 2017. godine morali platiti navedenu razliku od 12 milijuna kuna. Najveća količina energije uravnoteženja očekivano je aktivirana u zimskim mjesecima, posebno u veljači i ožujku, zbog nestabilnije potrošnje i težeg predviđanja.

Osim navedenog troška aktiviranja energije uravnoteženja, voditeljima bilančnih skupina obračunava se i naknada za dnevna odstupanja bilančnih skupina. Iznos naknade utvrđuje se na način da se količina dnevnog odstupanja (pozitivnog ili negativnog) množi s primjenjivom cijenom (marginalnom prodajnom ili marginalnom kupovnom, ovisno o predznaku odstupanja). U tablici 2. prikazani su iznosi obračunatih naknada voditeljima bilančnih skupina u 2017. godini.

Tablica 2.: Iznos naknada za dnevna odstupanja bilančnih skupina u 2017. godini

Mjesec	Pozitivno dnevno odstupanje		Negativno dnevno odstupanje	
	Količina (kWh)	Iznos	Količina (kWh)	Iznos
Siječanj	40.378.000	6.091.368	70.307.410	17.357.925
Veljača	75.410.560	11.290.611	13.972.420	3.427.738
Ožujak	63.234.350	7.604.192	21.576.950	5.030.343
Travanj	14.888.305	1.513.222	21.975.708	4.651.692
Svibanj	16.117.546	1.653.337	6.861.373	1.040.409
Lipanj	17.886.246	2.141.556	3.126.935	409.347
Srpanj	7.794.153	986.838	5.162.010	675.759
Kolovoz	12.965.124	1.646.160	6.055.414	792.714
Rujan	8.506.530	1.295.252	14.434.686	2.423.959
Listopad	28.686.415	4.035.929	19.728.105	4.566.048
Studeni	42.482.046	5.428.893	6.874.363	1.242.276
Prosinac	61.191.904	9.288.395	7.118.214	1.454.452
Ukupno	389.541.179	52.975.753	197.193.588	43.072.661

Izvor: HROTE, 2019.

Iz tablice se može vidjeti kako su voditelji bilančnih skupina u 2017. godini imali znatno više pozitivnih dnevnih odstupanja odnosno više su plina nominalizirali, nego što je bila stvarna potrošnja.

Temeljem ove dvije tablice može se zaključiti kako voditelji bilančnih skupina plaćaju vrlo visoke (milijunske) iznose za pogreške u nominacijama odnosno uravnoteženje transportnog sustava, a uvođenjem predloženog tehničkog rješenja ti bi se iznosi mogli smanjiti.

6. ZAKLJUČAK

Opskrbni lanac prirodnog plina u Republici Hrvatskoj čini nekoliko energetske kompanije od kojih svaka ima vlasništvo nad određenim dijelom opskrbnog lanca. Tako jedna tvrtka proizvodi prirodni plin, jedna je vlasnik transportnog sustava, a nekoliko njih ima vlasništvo nad distribucijskim sustavima. Sustav je tako organiziran nakon liberalizacije tržišta energije, točnije nakon uvođenja drugog paketa energetske propisa EU, budući da je dotad jedna energetska kompanija bila i proizvođač i transporter i vlasnik skladišta prirodnog plina, distributer prirodnog plina. Nakon liberalizacije pojavili su se novi sudionici na tržištu prirodnog plina, opskrbljivači i trgovci, čime se tržište razdvojilo na regulirane djelatnosti – transport, skladištenje i distribuciju te tržišne djelatnosti – proizvodnju, opskrbu i trgovinu. Također, sustav opskrbe prirodnim plinom počeo je funkcionirati na principu uravnoteženja, a trgovanje je uspostavljeno prema principu bilančnih skupina odnosno interesnog udruženja sudionika na tržištu plina organiziranog u svrhu uravnoteženja sustava i optimiranja troškova njegovog uravnoteženja. Prema tom principu, ukupna količina plina koja se utiska u transportni sustav treba se iz njega i preuzeti od strane distributera. O tome bi brigu trebali voditi voditelji bilančnih skupina čiji je zadatak predvidjeti buduću potrošnju svojih kupaca te unaprijed naručiti (nominirati) količinu plina koja će se utiskati u transportni sustav i podmiriti potrošnju u tom trenutku. Međutim, vrlo je teško (gotovo nemoguće) predvidjeti kretanje potrošnje plina u budućem razdoblju. Iz tog se razloga događaju odstupanja između nominacija i potrošnje, zbog čega se transportni sustav mora uravnotežiti, a cijenu uravnoteženja plaćaju voditelji bilančnih skupina koji troškove raspodjeljuju na članove svoje skupine (opskrbljivače ili trgovce).

Osnovna svrha ovoga rada bila je prikazati konceptualni model koji služi kao osnova za simulacijski model kojim će se testirati rješenje za kompenziranje pogreški u nominacijama odnosno predviđanjima potrošnje prirodnog plina. Takvo rješenje bi se postavilo na početak distribucijskog sustava i upravljalo bi akumulacijom sustava. U slučaju da se u transportnom sustavu pojavi višak (jer je više nominirano, nego što je potrošeno), taj višak bi se akumulirao u distribucijskom sustavu. U obrnutom slučaju, ako bi potrošnja bila veća od nominacije, u slučaju da je u DS akumulirana dovoljna količina, razlika bi se povukla upravo iz njega.

Za buduća istraživanja planira se, na temelju predstavljenog konceptualnog modela, kreirati i testirati simulacijski model koji će, temeljem stvarnih podataka o nominacijama i potrošnji, pokazati može li predloženo rješenje dovesti do rjeđeg aktiviranja energije uravnoteženja i kolika se ušteda može postići. Podaci

o nominacijama i potrošnji prikupit će se od vertikalno integriranog poduzeća koje je opskrbljivač, ali i vlasnik distribucijskog sustava. Međutim, potrebno je ispitati i analizirati financijsku isplativost uvođenja takvog tehničkog rješenja na distribucijskom sustavu te vidjeti može li trošak uvođenja takvog rješenja biti niži od uštede koja bi se dogodila rjeđim aktiviranjem energije uravnoteženja.

ZAHVALA

Ovaj rad je financiran od strane Hrvatske zaklade za znanost u okviru projekta IP-2016-06-8350 „Metodološki okvir za učinkovito upravljanje energijom s pomoću inteligentne podatkovne analitike (MERIDA)“.

REFERENCE

- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2004). *Discrete-event system simulation*. Prentice Hall.
- Cafaro, V., Cafaro, D., Mendez, C., & Cerda, J. (2010). Oil-derivates pipeline logistics using discrete-event simulation. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 2101-2113.
- Chebouba, A., Yalaoui, F., Smati, A., Amodeo, L., Younsi, K., & Tairi, A. (2009). Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization. *Computers & Operations Research*, 36, 1916-1923.
- Cheng, L., & Duran, M. (2004). Logistics for world-wide crude oil transportation using discrete event simulation and optimal control. *Computers and Chemical Engineering*, 28, 897-911.
- Dundović, Č., Basch, D., & Dobrota, Đ. (2009). Simulation method for evaluation of LNG receiving terminal capacity. *Promet - Traffic & Transportation*, 21(2), 103-112.
- Eparu, C., Radulescu, R., & Stoica, D. (2013). The dynamic simulation of the natural gas transportation. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 24(2), 83-97.
- Fukushima, K., Maeshima, R., Kinoshita, A., Shiraishi, H., & Koshijima, I. (2000). Gas pipeline leak detection system using the online simulation method. *Computers and Chemical Engineering*, 24, 453-456.
- Geramianfar, R., Pakzad, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015). Multi-product pipeline scheduling using simulation optimization. *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, 4(3), 8-18.
- HROTE (2019). Energija uravnoteženja. (23.10.2019.) Dohvaćeno iz <https://www.hrote.hr/energija-uravnotezenja-109>
- Jacinto, C. (2002). Discrete event simulation for the risk of development of an oil field. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, 1588-1592.

- Kbah, Z., Erdil, N., & Aqlan, F. (2016). Analysis of Oil and Gas Supply Chain Using Continuous-Time Discrete-Event Simulation. *Proceedings of the 2016 Industrial and Systems Engineering Research Conference*. Anaheim.
- Kelton, W., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2007). *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill.
- Matko, D., Geiger, G., & Gregoritz, W. (2000). Pipeline simulation techniques. *Mathematics and Computers in Simulation*, 52, 211-230.
- Mori, F., Lüders, R., Ramos de Arruda, L., Yamamoto, L., Bonacin, M., Polli, H., Aires, M., de Jesus Bernardo, L. (2007). Simulating the Operational Scheduling of a Real-World Pipeline Network. *17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE17*, 1-6.
- Nimmanonda, P., Uraikul, V., Chan, C., & Tontiwachwuthikul, P. (2004). Computer-Aided Simulation Model for Natural Gas Pipeline Network System Operations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 43(4), 990-1002.
- Pravila o organizaciji tržišta plina (NN 50/18)
- Romo, F., Tomasgard, A., Hellemo, L., Fodstad, M., Haukelidsaeter Eidesen, B., & Pedersen, B. (2009). Optimizing the Norwegian Natural Gas Production and Transport. *Interfaces*, 39(1), 46-56.
- Rossetti, M. (2016). *Simulation Modeling and Arena*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Saad, S., Lau, K., & Omer, A. (2009). Design and Analysis of Oil Production Area - A Simulation Approach. *Proceedings 23rd European Conference on Modelling and Simulation ECMS*, 52-59.
- Spricigo, D., Baldissera de Borba, C., & Lüders, R. (2009). Modeling and Simulation of Transportation Time in a Real-World Pipeline Network. *Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento*, 1192-1201.
- Stchedroff, N., & Cheng, R. (2003). Modelling a continuous process with discrete simulation techniques and its application fo LNG supply chains. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 1607-1611.
- Thompson, M., Davison, M., & Rasmussen, H. (2009). Natural Gas Storage Valuation and Optimization: A Real Options Application. *Naval Research Logistics*, 56, 226-238.
- Vasconcelos, C., Lourenco, S., Gracias, A., & Cassiano, D. (2013). Network flows modeling applied to the natural gas pipeline in Brazil. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 14, 211-224.
- Villada, J., & Olaya, Y. (2013). A simulation approach for analysis of short-term security of natural gas supply in Colombia. *Energy Policy*, 53, 11-26.
- Woldeyohannes, A., & Majid, M. (2011). Simulation model for natural gas transmission pipeline network system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(1), 196-212.
- Wu, S., Rios-Mercado, R., Boyd, E., & Scott, L. (2000). Model Relaxations for the Fuel Cost Minimization of Steady-State Gas Pipeline Networks. *Mathematical and Computer Modelling*, 31, 197-220.
- Zhang, F., Johnson, D., Johnson, M., Watkins, D., Froese, R., & Wang, J. (2016). Decision support system integrating GIS with simulation and optimisation for a biofuel supply chain. *Renewable Energy*, 85, 740-748.