ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/329907309

TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA (BROJ 3 • 2007) 41 VARIJANTE INDIREKTNE I DIREKTNE UPOTREBE PRIRODNOG GASA ZA GREJANJE STANOVA VARIANTS OF INDIRECT AND DIRECT NATURAL GAS USAGE FOR HEATING….

Article · December 2018

CITATIONS
0

READS
14

1 author:

Dejan Brkić
VŠB-Technical University of Ostrava

147 PUBLICATIONS **1,015** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project [JMSE] (SCIE Indexed, IF 1.732)—Invite to Publish in Special Issue "Safe, Secure and Sustainable Oil and Gas Drilling, Exploitation and Pipeline Transport Offshore" View project

Project Flow friction calculation - Colebrook equation View project

All content following this page was uploaded by Dejan Brkić on 25 December 2018.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

UDC: 662.767:697.245

STRUČNI RAD

VARIJANTE INDIREKTNE I DIREKTNE UPOTREBE PRIRODNOG GASA ZA GREJANJE STANOVA

VARIANTS OF INDIRECT AND DIRECT NATURAL GAS USAGE FOR HEATING OF FLATS

mr Dejan Brkić, dipl. inž.,
stipendista Ministarstva nauke i zaštite životne sredine, Beograd

dejanrgf@tesla.rcub.bg.ac.yu

REZIME

U radu se daje skraćeni prikaz dela autorove monografije "Prirodni gas kao gorivo za grejanje". Prikazana je opšta metodologija upotrebe prirodnog gasa za potrebe grejanja bilo putem toplifikacije ili distribucije gasa za domaćinstva. U uslovima stanovanja u gradovima najpovoljnija opcija za podmirivanje grejnih potreba stanovništva je primenom centralizovanog sistema. Alternativa toplifikaciji uz zadržavanje istog komfora je priključenje na gasnu distributivnu mrežu uz dodatnu prednost u vidu supstitucije električne energije za kuvanje. Danas većina toplana primarno radi na gas. Određivanjem graničnih parametara upotrebe prirodnog gasa dobija se kao praktičan rezultat rešenje o načinu grejanja pojedinih naselja (opcija: toplifikacija ili gasifikacija) u zavisnosti od urbanističkih uslova, cena elemenata pojedinih sistema (toplovoda ili gasovoda), cene gasa itd.

***Ključne reči**: prirodni gas, gasifikacija, toplifikacija, uslovna građevinska površina*

ABSTRACT

In this paper is shown short particular review of the book by the same author "Natural Gas as Heating Fuel". Universal methodology of natural gas usage for heating demands during district heating system or gas distribution for households is shown. In city conditions, the most appropriate option for serve of heating demands are by utilization of central system. Alternative for district heating system with same living standard is appending on gas distribution network with additional advantages by substitutions of electrical energy for cooking. Today, most heating power plants are primarily disbursing natural gas. By determination of restricted parameters for usage of natural gas in Belgrade operative solutions of heating mode for individual settlements (option: district heating or gasification) depend on urban conditions, prices of system elements (district-heating pipeline or gas pipeline), gas price etc. are made.

***Key words**: Natural gas, gas distribution, district heating, conditional urban area*

1. UVOD

Sve dinamičniji razvoj gradova dovodi do povećanja energetskih potreba, u prvom redu za potrebe grejanja, a zatim pripreme potrošne tople vode i za potrebe kuvanja.

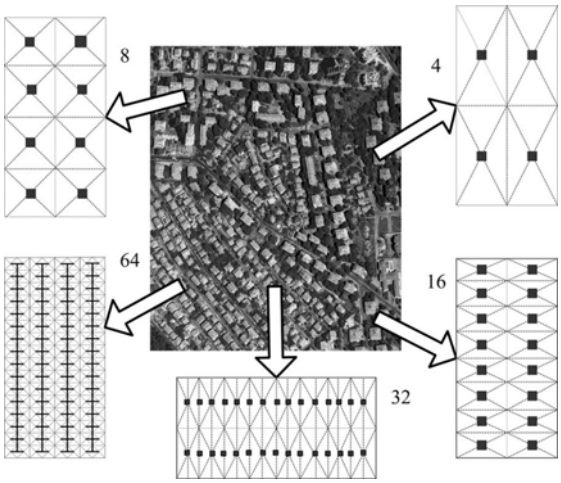
Kada se komentariše potrošnja energije bilo kog grada nije dovoljno razmatrati samo utrošak energije (količinski) i zastupljenost pojedinih primarnih energetskih sirovina već treba oceniti čitav niz drugih manje više direktno ili indirektno povezanih činilaca. Da bi se neko domaćinstvo priključilo na bilo koji sistem centralizovanog grejanja potreban je određeni nivo životnog standarda. Indirektno sa standardom stanovništva je povezana veličina stambenog prostora po članu domaćinstva, kvalitet zgrade u kojoj je stan, starost zgrade, položaj zgrade u kojoj je stan, itd. Uz veći životni standard, a ako je dostupna i gasifikacija i toplifikacija, pri izboru ekonomika ne igra presudnu ulogu već je odluka zasnovana prema ličnim afinitetima (i često predrasudama).

2. HIPOTETIČKI MODEL NASELJA

Pri optimizaciji strukture energetskog snabdevanja korisnika na urbanom području potrebno je u prvom redu odrediti granice posmatranog područja. Obično se granice postavljaju u skladu sa političko-teritorijalnom podelom. Takvo područje po pravilu nije homogeno sa stanovišta energetskih potreba. Tu se javljaju područja sa različitom gustinom građenja

stambenih objekata, različitom veličinom objekata i načinom gradnje. Budući da od tih karakteristika područja zavisi izbor rešenja snabdevanja energijom, nužno je podeliti gradsko područje na gradske četvrti tako da svako od njih čini homogenu celinu obzirom na karakteristike merodavne za način snabdevanja energijom. Gradske četvrti sa stambenim i zajedničkim sadržajima nazivaju se građevinske površine. Treba naglasiti da od kvaliteta podele gradskog područja na građevinske površine, u znatnoj meri zavisi mogućnost izbora najpovoljnije strukture snabdevanja energijom odnosno u konkretnom slučaju usaglašavanja toplifikacije i gasifikacije izborom povoljnije opcije.

Obzirom na znatan broj realnih građevskih površina i određivanja troškova energetskog snabdevanja svake od tih površina, pojavljuje se potreba uvođenja univerzalnog modela koji bi odražavao karakteristike svake realne situacije tzv. uslovne građevinske površine. Uvođenjem uslovne građevinske površine, moguće je na tom modelu vršiti istraživanja (na primer, strukture gasovoda ili toplovoda koja uslovljava troškove njihove gradnje i u krajnjem utiče na troškove snabdevanja energijom) i zatim ih preslikavati na građevinske površine realnog grada. Kod pojedinačnog snabdevanja energijom (npr. grejanje pojedinačnim pećima na čvrsto gorivo) i centralizovanog do nivoa jednog stambenog objekta (npr. grejanje i priprema potrošne tople vode u kućnoj kotlarnici na lož ulje) međusobni razmeštaj objekata na građevinskoj površini, njihova međusobna udaljenost i veličina, odnosno koncentracija na jedinicu površine nemaju uticaja na troškove snabdevanja energijom, kao kod onih načina snabdevanja energijom koji uslovljavaju postojanje distributivne mreže gde navedene karakteristike znatno utiču na troškove. Da bi se utvrdio uticaj gustine energetskog konzuma i strukture objekata (obzirom na njihovu veličinu i razmeštaj na građevinskoj površini) na troškove snabdevanja energijom, kao osnova za analizu usvaja se uslovna građevinska površina pravouganog oblika, površine 0,05 km^2, dimenzija približno 160 m x 315 m. Veća naseljena površina može se posmatrati kao kombinacija više uslovnih građevinskih površina sa različitim brojem objekata na njima. Da bi se obuhvatili različiti slučajevi mogućeg rasporeda objekata na uslovnoj građevinskoj površini i odredile energetske i ekonomske karakteristike, za dalju analizu usvajaju se građevinske površine sa 4, 8, 16, 32, 64 i 128 objekta:

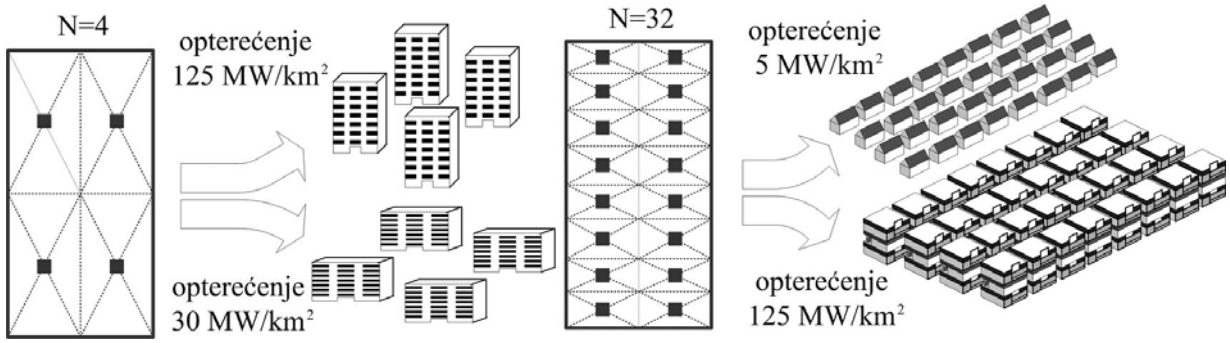


Slika 1. *Uslovne građevinske površine*

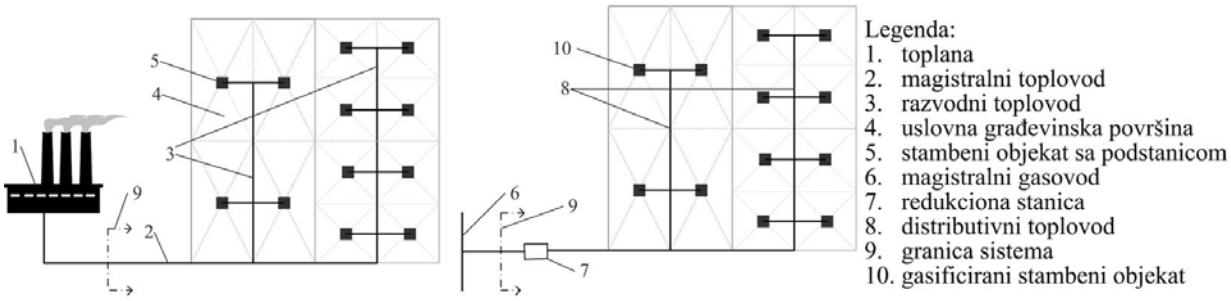
U svim analizama posmatra se uslovna stambena jedinica neto grejne površine 60 m^2. Sličnost realne i uslovne građevinske površine određena je, dakle, dvema nezavisnim veličinama:

1) toplotni konzum građevinske površine (toplotno opterećenje grejanja svih objekata na površini podeljeno sa površinom zemljišta), MW/km^2
2) broj objekata na uslovnoj građevinskoj površini (broj objekata na 0,05 km^2 površine – tzv. 5 hektara)

Takođe, istom rasporedu objekata na uslovnoj građevinskoj površini mogu odgovarati različita toplotna opterećenja, koje određuje veličina objekata.



Slika 2. *Različito toplotno opterećenje za isti broj objekata na uslovnoj građevinskoj površini*



Slika 3. *Hipotetički toplovodni (levo) i gasovodni sistem (desno)*

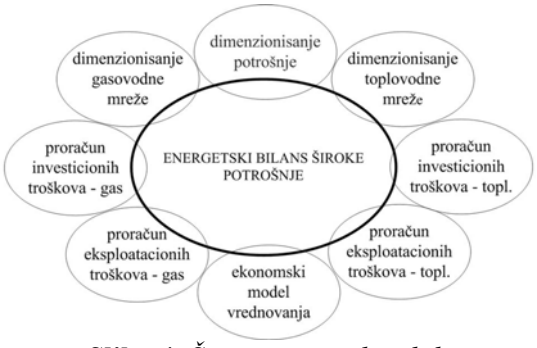
3. VARIJANTE GASIFIKACIJE I TOPLIFIKACIJE

Pri određivanju investicionih troškova nužno je obuhvatiti sve investicione izdatke unutar granica sistema. Zajednička infrastruktura potrebna za snabdevanje gasom oba sistema se ne računa jer se troškovi potiru međusobno.

U razradi modela se posebno računaju investicioni troškovi u gasnu i toplovodnu mrežu, koji se zatim upoređuju. Investicija u izgradnju toplotnog izvora nije uračunata, jer se smatra da već postoje raspoloživi kapaciteti, mada toplane često ne zadovoljavaju uslove projektne temperature, što se u našim uslovima toleriše.

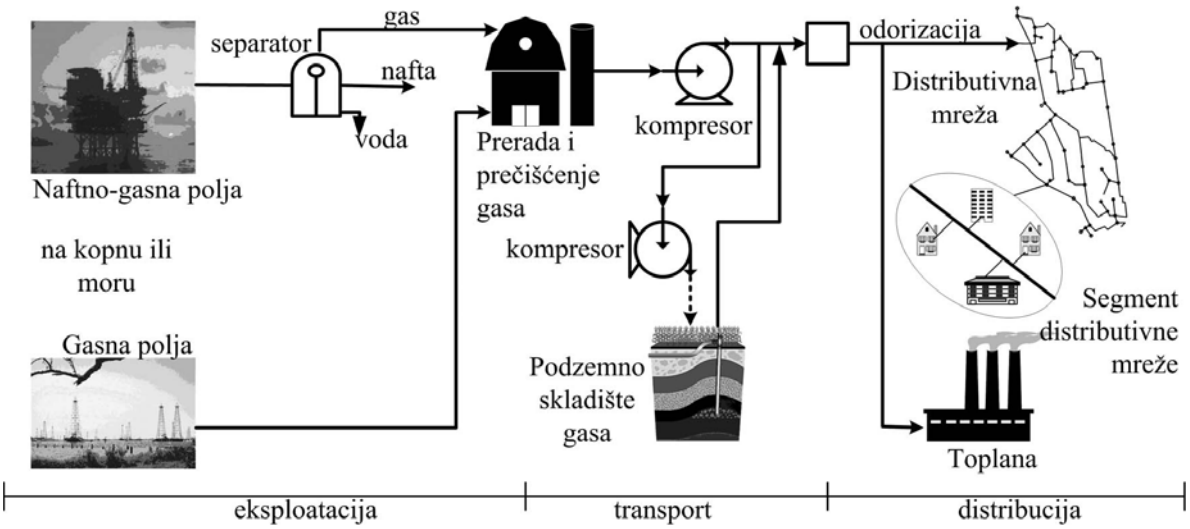
Kada se govori o gasnoj mreži obuhvaćene su cene polietilenskih i čeličnih cevi različitog prečnika, cene merno-regulacionih stanica različitih kapaciteta, cene gasnih kotlova različitih kapaciteta, cena merno-regulacionog kućnog seta, dok se za toplifikacionu mrežu obuhvataju cene predizolovanih cevi i cena razmenjivača toplote.

Cena izgradnje cevovoda obuhvata cenu osnovnog materijala, mašinsko montažnih radova, građevinskih radova i cenu pripremno-završnih radova. U osnovni materijal spadaju termički predizolovane cevi, fitinzi, cevni zatvarači i pumpe. I kod toplifikacije, i gasifikacije je predviđena radijatorska mreža u stanu.



Slika 4. *Šema energetskog bilansa*

Cena unutrašnje instalacije je zajednička za oba modula, tj. za moduo toplifikacije i moduo gasifikacije.

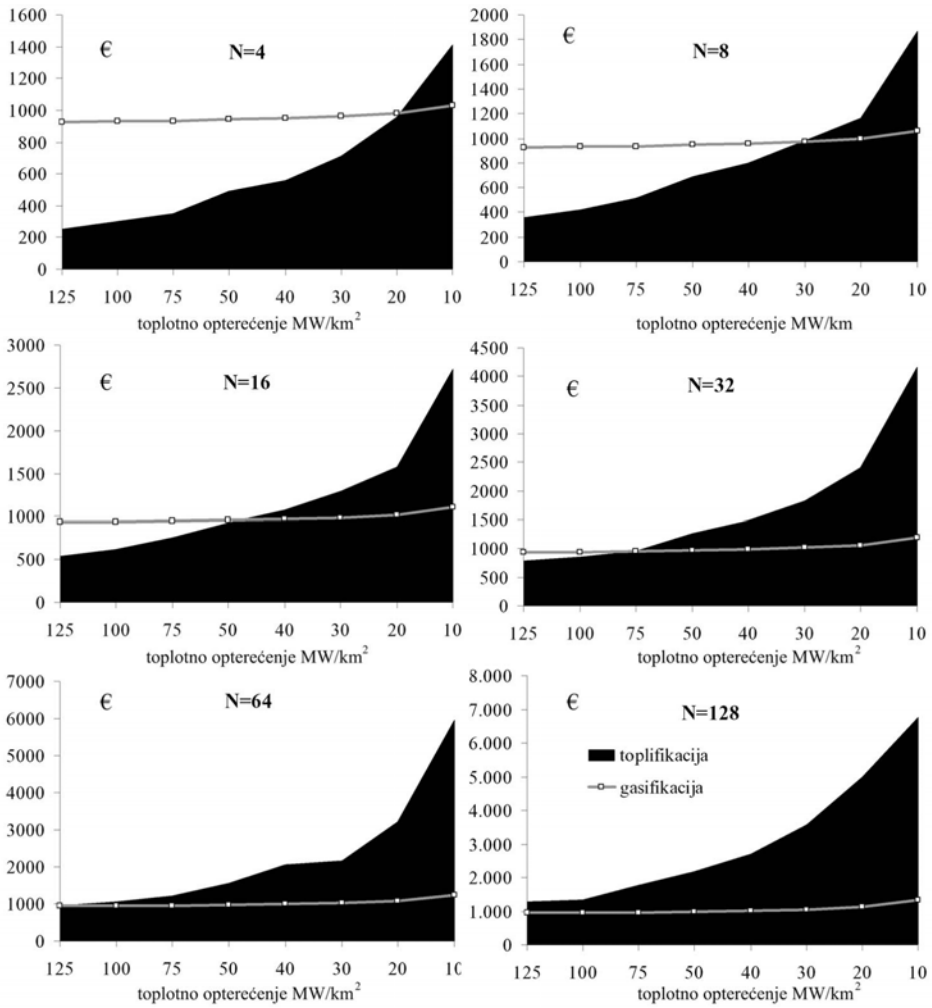


Slika 5. *Zajednička gasna infrastruktura za sistem toplifikacije i gasifikacije (eksploatacija i transport)*

U opštem slučaju, svako projektno rešenje sadrži vremenske tokove (projekcije), u periodu veka projekta (n godina) sa veličinama prihoda, ili koristi, Pt, odnosno troškova, Tt, u godini t, koji se mogu izraziti u novčanom obliku. Sadašnja vrednost (SV) je jedan od najčešće korišćenih kriterijuma za analizu projektnih rešenja, koji uzima u obzir ceo vek projekta, odnosno vrši se analiza diskontovanih tokova. Po definiciji, sadašnja vrednost je onaj iznos koji bi, da je primljen sada, bio jednak vrednosti svih budućih tokova projekta tokom njegovog veka trajanja. Budući tokovi diskontuju se odgovarajućom diskontnom stopom u smislu napred pomenute vremenske vrednosti novca. Izbor diskontne stope (ds) je jedno od bitnih pitanja u ekonomskoj analizi projekta, obzirom da od njene visine zavisi ocena o prihvatljivosti projektnog rešenja, ili rangiranje opcija. Ako se kod ocene uključi visoka diskontna stopa, to znači da postoji opredeljenje za rigorozniju, selektivniju politiku investiranja. Niža stopa znači ublažavanje kriterijuma i često se primenjuje tamo gde se, pored čisto finansijskih rezultata, očekuju poželjni drugi indirektni efekti. U većini slučajeva diskontna stopa se izjednačava sa kamatom na tržištima kapitala ili kamatom koja je uključena u dobijeni kredit.

$$\text{Neto Sadašnja Vrednost} = \sum_{t=1}^{n} \frac{T_t - T_g}{(1+d_s)^t} \quad (1)$$

U konkretnom slučaju ekonomska evaluacija se vrši preko poređenja troškova dve opcije: toplifikacije (Tt), i gasifikacije (Tg). Troškovi se posmatraju po uslovnoj stambenoj jedinici od 60m^2 a analiza je sprovedena za 48 slučajeva (8 veličina grejnog konzuma za 6 gustina objekata po građevinskoj površini). Troškovi uključuju inicijalne i zamenske investicione troškove i operativne troškove tokom veka projekta. Jedinične investicije u toplifikacionu, odnosno gasovodnu mrežu obračunate su posebno za svaku kombinaciju veličine grejnog konzuma i gustine objekata.



Slika 6. *Odnos investicionih troškova za toplovodni i gasovodni sistem za sve kombinacije toplotnog opterećenja i broja objekata na uslovnoj građevinskoj površini*

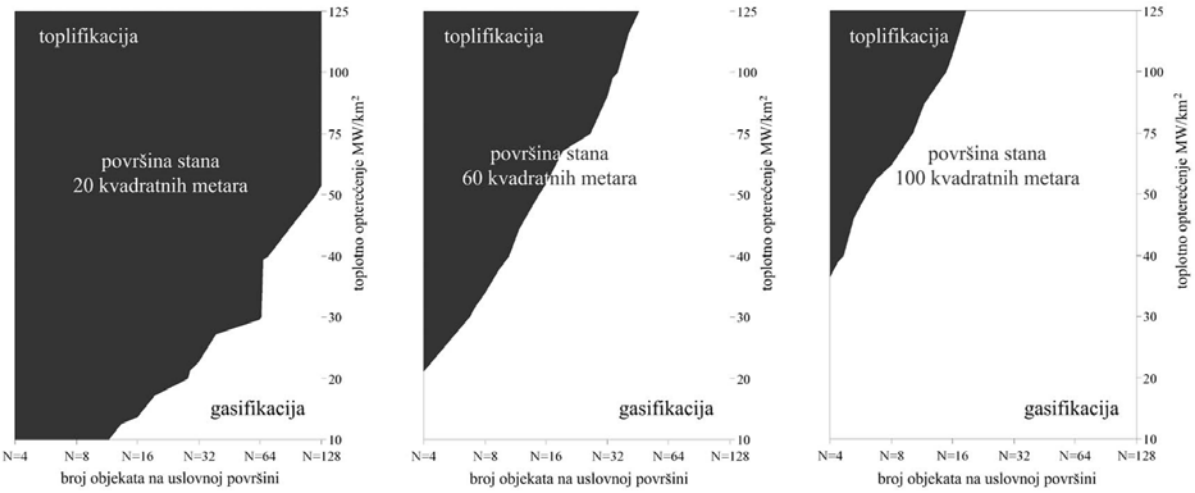
Tabela 1: *Sadašnja vrednost razlike troškova (toplifikacija-gasifikacija)*

€/stan	Toplotno opterećenje, MW/km^2							
	125	**100**	**75**	**50**	**40**	**30**	**20**	**10**
N=4	-802	-749	-689	-532	-451	-283	-9	467
N=8	-671	-599	-492	-291	-166	42	223	985
N=16	-454	-364	-203	-5	157	398	695	1.959
N=32	-152	-80	25	377	635	1.015	1.652	3.587
N=64	65	163	363	730	1.348	1.415	2.623	5.791
N=128	467	530	1.048	1.504	2.135	3.171	4.820	6.614
			Toplifikacija			Gasifikacija		

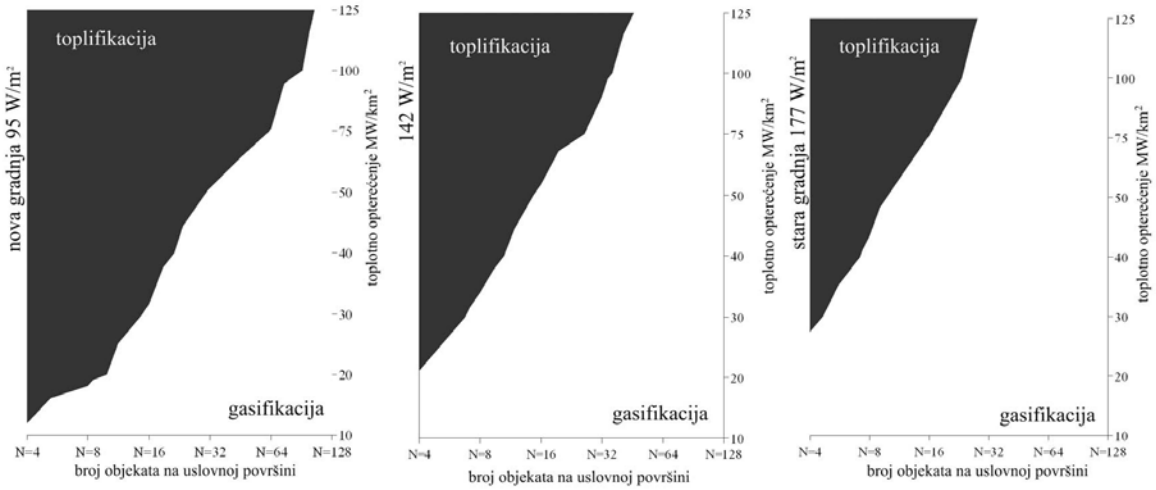
Ove kombinacije troškova su računate na osnovu proračuna toplovodne i gasovodne mreže za svaku kombinaciju veličine grejnog konzuma i gustine objekata na osnovu raspoloživih cena. Investicije u opremu koje imaju kraći vek od definisanog veka projekta zanavljaju se tokom veka projekta (razmenjivač toplote, merni set i kombi kotao).

Na slici 7 dato je poređenje odnosa razlike troškova (toplifikacija-gasifikacija) svedenih na neto sadašnju vrednost za veličinu stana od 20 m^2, 60 m^2 i 100 m^2 pri ostalim konstantnim parametrima (toplotno opterećenje stana 142 W/m^2).

Slično je dato i poređenje stanova sa različitim izolacionim sposobnostima na slici 8. U najboljoj varijanti je toplotno opterećenje stana 95 W/m^2, za srednje vrednosti iznosi 142 W/m^2, a pri najgoroj izolaciji 177 W/m^2 (veličina stana 60 m^2 u sva tri slučaja).



Slika 7. *Odnos zona gasifikacije i toplifikacije za različite veličine stanova*



Slika 8. *Odnos zona gasifikacije i toplifikacije za različite kvalitete izolacije*

4. KRITERIJUMI ZA IZBOR SISTEMA

Na osnovu teoretskog modela za vrednovanje varijantnih rešenja sistema toplifikacije i gasifikacije za snabdevanje toplotnom energijom sektora široke i komercijalne potrošnje na određenom području grada, dobijeni su tehno-ekonomski kriterijumi za definisanje područja u kome prednost ima sistem toplifikacije, odnosno gasifikacije. Ti kriterijumi, odnosno granični parametri za upotrebu prirodnog gasa su:

1) specifično toplotno opterećenje; MW/km^2,

2) broj objekata i broj stanova na uslovnoj građevinskoj površini,

3) specifična dužina vodova (toplovod, odnosno gasovod) za snabdevanje energijom m/stanu.

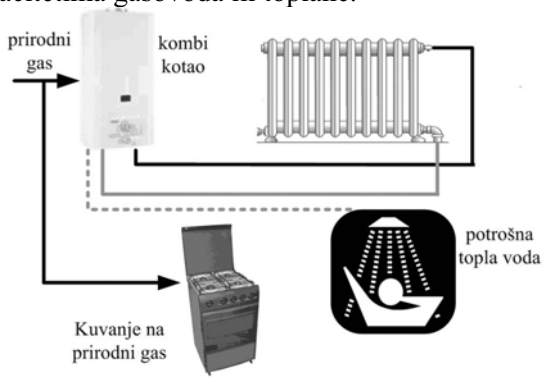
Pored ovih kriterijuma treba uzeti u obzir i da li neki od sistema za centralizovano snabdevanje gasom, odnosno toplotnom energijom postoji u okviru konkretnog razmatranog područja, odnosno koji udeo stanova pokriva i kolika je rezerva u sistemu.

Pri primeni tehno-ekonomskog na konkretnom naselju je prvo utvrditi:

1) broj stanova, koji su već priključeni na neki od sistema za centralizovano snabdevanje energentima (odnosno udeo tih stanova u ukupnom broju stanova na razmatranoj teritoriji);

2) raspoložive slobodne kapacitete u postojećem sistemu

Ako ne postoji ovakav sistem u okviru razmatranog područja potrebno je sagledati koji od sistema postoji u blizini naselja, i kolike su rezerve u kapacitetima gasovoda ili toplane.



Slika 9. *Primer gasificiranog stana*

Prirodni gas ima znatne prednosti nad ostalim vidovima primarnih energetskih sirovina za potrebe grejanja, pripreme potrošne tople vode i kuvanje, kako u investicionom, tako i u eksploatacionom pogledu. U delovima gradova koji imaju manju gustinu stanovanja i u kojima nije toplifikacija zaživela u velikom obimu treba se zalagati za veću upotrebu prirodnog gasa u domaćinstvima, što je i tendencija u svetu. Prednost kod toplifikacije se ogleda i u tome, što toplana ne zavisi od isporuke gasa u potpunosti, već može da radi i na alternativno gorivo.

Kod sistema individualnog korišćenja gasa u domaćinstvima preko gasne distibutivne mreže, prednosti su:

1) Sav utrošen gas se meri za svaki stan i naplaćuje na osnovu potrošnje
2) Uštede gasa pri pripremi tople vode i za kuvanje Ove potrebe se podmiruju direktno transformacijom hemijske energije prirodnog gasa u toplotnu, čime se štedi količina gasa koja bi bila potrošena na gubitke koji nastaju transformacijom primarne energije gasa u električnu.
3) Nema potrebe za skladišnim prostorom u domaćinstvima
4) Smanjuju se troškovi klasične dopreme goriva (ušteda goriva za motorna vozila)
5) Manja investicija u izgradnju distributivne mreže u odnosu na toplovod
6) Smanjena mogućnost prekida snabdevanja Distributivna mreža ima više prstenova, tako da manji kvarovi ostavljaju bez gasa minimalan broj potrošača. Kvarovi na transportnom sistemu mogu da prekinu snabdevanje u zavisnosti od mesta. Prekidom gasovoda u Mađarskoj u našim uslovima došlo bi do zastoja u snabdevanju koje bi bilo samo delimično ublaženo domaćom proizvodnjom. Nedostatak podzemnog skladišta gasa i alternativnog pravca snabdevanja iz uvoza (preko Bugarske) čine naš gasovodni sistem manje fleksibilnim. Veliki kapacitet (usled velikih prečnika u strukturi) magistralnog gasovoda iz pravca Mađarske može da odigra kratkotrajnu ulogu skladišta, tako što ublažava manje neravnomernosti oscilacijom pritiska.

Mane kod sistema centralizovanog snabdevanja prirodnim gasom su:

1) Povećana opasnost od požara, eksplozije i gušenja usled propuštanja instalacije iz raznih razloga
2) Sagorevanje se odvija u samom stanu
3) Domaćinstva u Beogradu sa manjim prosekom primanja nisu na režimu socijalnih subvencija

Tehno-ekonomskom analizom za pojedino područje može se zaključiti da ima prednost jedan sistem u odnosu na drugi (npr. toplifikacioni u odnosu na gasifikacioni), ali razmatranjem realnog stanja na terenu može se ispostaviti da taj sistem nije pristupačan u tom delu grada (toplana nema dovoljan kapacitet, prioritet za toplifikaciju imaju zone bliže toplani u prvoj fazi). U tom slučaju ako troškovi drugog dostupnog sistema nisu drastično

veći (a taj sistem je dostupan), racionalno je uvesti taj sistem grejanja (čime se postižu uštede u potrošnji skuplje električne energije uz smanjenje lokalnog zagađenja ukoliko se stanovi greju na ugalj, itd).

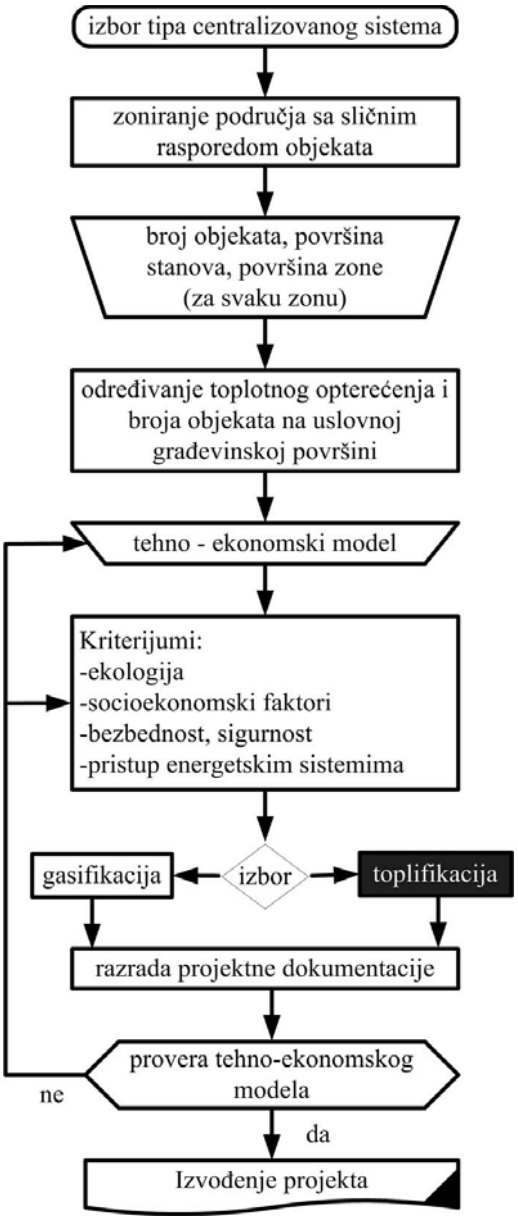
Glavna mana pri izboru grejanja iz toplovodnog sistema je što se naplata vrši prema površini grejanog prostora, što ne stimuliše i onemogućava štednju. Sa druge strane ovaj sistem je u poređenju sa gasifikacijom bezbedniji pošto se sagorevanje ne vrši u stanu čime se smanjuje opasnost od eksplozije i gušenja. Gasifikacioni sistem dodatnu prednost stiče supstitucijom električne energije za potrebe kuvanja.

U slučaju da se nakon završene analize na osnovu modela uslovnih površina (dijagrami po ugledu na slike 6, 7 i 8) pokaže izrazita ekonomska prednost jednog sistema nad drugim (npr. toplifikacije nad gasifikacijom), a taj povoljniji sistem u konkretnom slučaju nije dostupan, potrebno je razmotriti uvođenje neke vrste hibridnog sistema u vidu lokalne ili blokovske kotlarnice koja bi radila na gas. Ovo hibridno rešenje bi zahtevalo dodatne ekonomske i ekološke analize i procene koje bi se dobre strane toplifikacije zadržale, a koje odbacile. Ovime se ne bi iskoristila prednost gasifikacije u vidu primene gasa za kuvanje, ali bi se povećala sigurnost pošto se gas ne uvodi direktno u stan. U slučaju da jedan od sistema nije dostupan može se uvesti drugi sistem ako se modelskim pristupom razvijenim u ovom radu pokaže da razlike u troškovima nisu velike.

3. ZAKLJUČAK

Glavna prednost uvođenja toplifikacije ili gasifikacije nije u međusobnoj konkurenciji, već u supstituciji daleko najskupljeg (energetski i ekološki) i najkvalitetnijeg vida energije – električne energije čije je korišćenje za potrebe grejanja u sadašnjim uslovima daleko najneracionalnije. Ipak, kada bi se ušlo u investiciju izgradnje novih energetskih objekata, prednost nesumnjivo treba dati termoelektranama u odnosu na toplane. Imajući u vidu da su ogromni i neracionalni toplifikacioni sistemi razvijani prvenstveno u bivšim komunističkim zemljama i uz to sagledavajuši sve mane ovih sistema, može se zaključiti da bi za energetiku zemlje bilo korisnije da toplane u Beogradu rade kao elektrane, a da se umesto postojećih toplovoda ulagalo u prenosni elektro-sistem.

U određenom naselju izbor konkretnog sistema grejanja na prirodni gas se može sprovesti na osnovu sledećeg algoritma tehno-ekonomskog modela baziranog na uslovnim građevinskim površinama i uslovnim stanovima:



Slika 10. *Algoritam izbora centralizovanog sistema toplifikacije na gas ili distribucije gasa domaćinstvima*

Iz razmatranog teoretskog modela na osnovu uslovnih građevinskih površina može se zaključiti da granični parametri upotrebe prirodnog gasa u našim uslovima pri sadašnjim cenama i paritetima cena mogu imati sledeće vrednosti. Kada je na uslovnoj građevinskoj površini 0,05 km^2, (veličina površine 5 ha) broj objekata (kao na slici 6):

1) N=4, sistem toplifikacije ima prednost u uslovima kada je toplotno opterećenje veće od 20 MW/km^2 (1.000 kW na 5ha) tj., odnosno kad je broj stanova po jednoj zgradi veći od 29 što

približno odgovara slučaju kada je ukupna površina stanova po zgradi veća od 1.740 m^2. U ovom primeru prednost ima sistem toplifikacije kada je specifična dužina vodova za snabdevanje energijom manja od 8 m/stanu.

2) N=8 sistem toplifikacije ima prednost kada je toplotno opterećenje veće od 30 MW/km^2 (1.500 kW na 5ha), odnosno kad je broj stanova u jednoj zgradi veći od 22 što približno odgovara slučaju kad je ukupna površina stanova u zgradi veća od 1.320 m^2. U ovom primeru prednost ima toplifikacija kada pokazatelj dužine vodova za snabdevanje energijom ima manju vrednost od 7,6 m/stanu.
3) N=16 sistem toplifikacije ima prednost ako je toplotno opterećenje veće od 50 MW/km^2 (2.500 kW na 5ha) kada u jednoj zgradi ima više od 18 stanova, odnosno kada je površina stanova u zgradi veća od 1.080 m^2 i kada je specifična dužina vodova za snabdevanje energijom manja od 7 m/stanu.
4) N=32 sistem toplifikacije ima prednost kada je toplotno opterećenje veće od 75 MW/km^2 (3.750 kW na 5ha) što odgovara slučaju kada je broj stanova po jednoj zgradi veći od 15 odnosno kada je površina stanova u zgradi veća od 900 m^2 i kada je specifična dužina vodova za snabdevanje energijom manja od 6,4 m/stanu.
5) N=64 zgrade prednost ima sistem toplifikacije kada je toplotno opterećenje veće od 150 MW/km^2 (7.500 kW na 5ha) odnosno kada je broj stanova po zgradi veći od 12, što odgovara slučaju kada je ukupna površina stanova po zgradi veća od 720 m^2 i kada je specifična dužina vodova za toplotnu energiju manja od 5,8 m/stanu.
6) N=128 zgrade, gasifikacija praktično uvek ima prednost

Prethodno prikazane granične vrednosti parametara za upotrebu gasa su odgovarajuće u slučaju prosečno toplotno izolovanog stana od 60m^2 (prosek za Beograd).

4. LITERATURA

[1]. Dejan Brkić: Određivanje graničnih parametara upotrebe prirodnog gasa u Beogradu; Magistarski rad; Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 2005.

[2]. Dejan Brkić: Prirodni gas kao gorivo za grejanje; Monografija; Zadužbina Andrejević, Beograd 2006.

[3]. Marija Živković, Dejan Brkić: Izbor centralizovanog sistema snabdevanja energijom demo naselja; Simpozijum o operacionim istraživanjima – XXXII Symopis 2005., Vrnjačka Banja; str: 175-178

[4]. Toma Tanasković, Nenad Đajić, Miloš Tanasijević, Dejan Brkić: Analiza karakteristika gasifikacije i toplifikacije na modelu uslovne građevinske površine; Simpozijum o operacionim istraživanjima – XXXI Symopis 2004., Iriški Venac, str. 69-72

[5]. ***: Istraživanje optimalnog razvoja toplifikacionih i gasovodnih sistema u izabranim gradovima Srbije: Nacionalni program Energetske efikasnosti Ministarstva Nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, Elaborati NP EE 34/406A, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, April 2002-2005.

View publication stats