

Krešimir PEĆAR, dipl. ing.

RAČUNALNO PROGRAMIRANJE HIDRAULIČKOG MODELA VRELOVODNE MREŽE

Svakodnevno smo svjedoci primjene informatičke tehnologije u svim područjima života. Tako je i inženjerstvo općenito doživjelo svoj procvat jer je uporabom suvremenih računala i pogodnih programa višestruko skraćeno vrijeme izrade različitih složenih proračuna i, što je još bitnije, gotovo je nestala mogućnost pogreške zbog zamornog tipkanja po tipkovnici džepnog računala. U članku se opisuje razvoj hidrauličkog modela vrelovodne mreže na primjeru hidrauličkog proračuna vrelovodne mreže osječke Tvrđe.

Posljednjih su godina mnogi manje ili više zahtjevni matematički modeli različitih inženjerskih proračuna postali dostupni širokoj stručnoj javnosti upakirani u različita korisnička sučelja. No, pri tome korisnik uobičajeno nailazi na nekoliko mogućih problema:

- nepostojanje određenih željenih modela proračuna
- nepostojanje određenih potrebnih performansi unutar kupljenog modela
- visoka cijena programskog paketa
- jezična barijera zbog nepoznavanja stranih jezika
- metoda proračuna različita od one na koju je korisnik navikao itd.

Stoga je uputno promisliti o razvoju vlastitog matematičkog modela za rješavanje i najsloženijih struktura inženjerskih tehničkih proračuna uporabom tabličnog kalkulatora Excel dostupnog na svakom računalu. Jasno je pri tome da takav model ne može do kraja zamijeniti gotov proizvod neke specijalizirane informatičke tvrtke koji će povezati ulazne datoteke, proračune, nacrte, troškovnike itd, međutim, u velikom broju situacija može biti konkurentan jer:

- je besplatan, ako se ne uzme u obzir vrijeme rada inženjera na modeliranju, ovisno o težini i složenosti problema



Ilustracija 1
Nekoliko detalja osječke Tvrđe



Vodena vrata i galerija "Waldinger"

Vodotoranj iz 1758. godine



Obnovljeni top

HUMANITARNI PROJEKT 'KNJIGA ZA MLADEŽ HRVATSKE'

Čitateljima časopisa EGE vjerojatno nije poznato da je autor ovog članka, naš redoviti suradnik Krešimir PEĆAR, dipl. ing., ujedno i pjesnik koji je do sada objavio već nekoliko zbirki pjesama.

Radi se o zbirkama pjesama koje se objavljaju u sklopu humanitarnog projekta 'Knjiga za mladež Hrvatske' koji od 2005. godine provode udruge građana za književnost i kulturu Sapho iz Rijeke i Esseg iz Osijeka. Sav prihod od prodaje knjiga državnim institucijama (Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa, Ministarstvu kulture itd) te poslovnim i privatnim subjektima ide u zakladu iz koje se izdvaja financijska potpora za stipendiranje školovanja siromašnih učenika i studenata diljem Hrvatske.

Tom humanitarnom projektu odazvali su se priznati hrvatski pjesnici i književnici: Zdravko Kordić (BiH), Zdravko Luburić (Belgija), Žvonko Čulina (Dortmund, Njemačka), Ivan Ott (Stuttgart, Njemačka), Vesna Miculinić Prešnjak, Žarko Milenić, Lana Derkač, Davor Šalat, Lujo Medvidović, Giacomo Scotti itd. Njihovim uključivanjem i odobravanjem autorskog prava za objavljivanje njihovih djela ostvaren je prvi korak u projektu. U cilju unaprjeđenja prodaje knjiga iz biblioteke 'Sapho' koju je pokrenula UG Sapho iz koje se projekt i podupire, a kako bi se zainteresirao što veći broj institucija, knjižnica, poslovnih subjekata i građana za taj veliki projekt, u suradnji s većim brojem knjižnica organiziraju se književne večeri diljem Hrvatske na kojima se predstavlja spomenuta biblioteka uz hrvatske autore iz domovine i dijaspore. Predstavljanja se održavaju u gradovima Rijeci, Dubrovniku, Zadru, Ludbregu, Požegi, Osijeku...

I na kraju, ne treba zaboraviti da ono što nas čini ljudima su humana djela, a kada su namijenjena djeci i mladeži, njihova je važnost time još veća.



Ilustracija 2
Plan osječke Tvrđe
iz 1861. godine

- se može koristiti u neograničenom razdoblju, za razliku od besplatnih probnih verzija pojedinih programske paketa neke programerske tvrtke
- ima sve potrebne performanse i strukturu na koju je autor navikao, dapače, sam kreirao
- se može neograničeno razvijati u vlastitoj režiji, sukladno dalnjim potrebama i novim saznanjima.

Cilj ovog članka je ukazati na prednosti pri programiranju vlastitih računalnih modela.

O TVRĐI

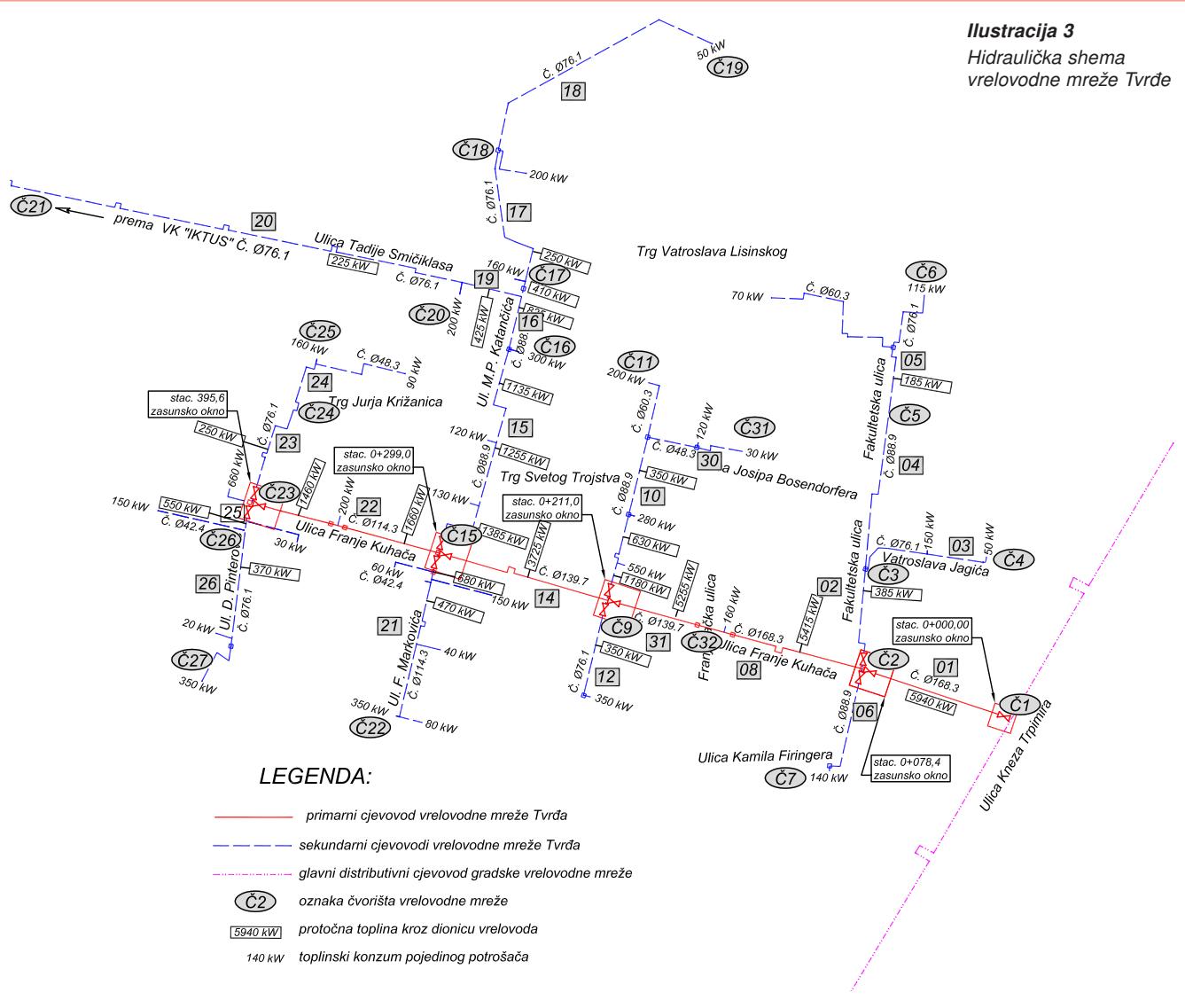
Osječka barokna Tvrđa predstavlja spomeničku baštinu iznimne vrijednosti ne samo u hrvatskom, već i u srednjoeuropskom okruženju (il. 1). Skladni, gotovo savršeni spoj vojne utvrde (fortifikacije) i pravilno organiziranog gradskog života (urbanizma) prožetog elementima vjerskog i duhovnog života iznimno se rijetko susreće i u svjetskoj kulturnoj baštini baroknog razdoblja. Tvrđa je već od svojih početaka funkcionalala kao urbana sredina s izgrađenom cestovnom mrežom, uređenim trgovinama, pločnicima, terasama, zelenim površinama, vodovodnom i kanalizacijskom mrežom, a kasnije i plinskom instalacijom za javnu rasvjetu, elektromrežom i telefonskom instalacijom.

Tvrđa je izgrađena početkom 18. stoljeća na osnovama turskog Osijeka (il. 2). Stara orientalna, neplanski izvedena osnova turskog Osijeka u potpunosti je napuštena te se pristupilo planskom uređenju, organizaciji i izgradnji grada na znanstveno utemeljenim načelima baroknog graditeljstva. Službena gradnja Tvrđe započela je 1. kolovoza 1712. godine pod nadzorom generala von Beckersa. Ubrzo je izgrađeno svih pet bastiona, dovršena su sjeverna Vodena vrata prema rijeci Dravi, južna ili Nova vrata i zapadna ili Valpovačka vrata koja su vodila prema Gornjem gradu. Unutar tvrđavskih zidina izgrađene su vojarne, oružana i barutana, a na glavnom trgu podignuta je zgrada Glavne straže (Hauptwache). Nešto kasnije dovršena je gradnja Krunske utvrde na lijevoj obali Drave. Usporedno s izgradnjom utvrde popunjavao se i prostor unutarnjeg grada. U duhu baroknog urbanizma oblikovane su prometnice, trgovi i blokovi zgrada. Izgradnja je konačno dovršena do šezdesetih godina 18. stoljeća.

Gradski ugodaj Tvrđi davale su još od 1717. godine osvijetljene ulice. Tvrđavski vodovod izgrađen je samim početkom šezdesetih godina 18. stoljeća, a kanalizacija nešto kasnije. U Tvrđavi je prva javna rasvjeta provedena 1719. godine kada su na 28 stupova postavljeni fenjeri u kojima je gorio stijenj (fitilj u loju). Najviše je fenjera bilo postavljeno pred vojarnama, kod oružane, brašnare, vojničke ljekarne i bolnice te na ulazu u svaku gradsku kapiju.

Troškovi rasvjete podmirivali su se prihodima vinskog prireza i tzv. bećarine kojom se globilo svakog noćnog prolaznika zatečenog na ulici, pijanog ili trijeznog. Ne zna se točno kada su lojanice zamijenjene plinskom javnom

Ilustracija 3
Hidraulička shema
vrelovodne mreže Tvrđe



Ilustracija 4
Kreiranje baze podataka

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
DIMENZIJE CJEOVODA									
ČELIK									
DN dv s du									
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]					
1	10	17,2	2,35	12,5					
2	15	21,3	2,65	16,0					
3	20	26,9	2,85	21,6					
4	25	33,7	3,25	27,2					
5	32	42,4	3,25	35,9					
6	40	48,3	3,25	41,8					
7	50	60,3	2,90	54,5					
8	65	76,1	2,90	70,3					
9	80	88,9	3,20	82,5					
10	100	114,3	3,60	107,1					
11	125	139,7	4,00	131,7					
12	150	168,3	4,50	159,3					
BESAVNE									

rasvjetom, no poznato je da je Tvrđa dobila električnu rasvjetu 1928. godine, istodobno ulice i kućanstva.

Raspored blokova zgrada, ulica i trgova prati pravilni raster u kojem dominiraju dvije prometnice i za prilike utvrde podosta velik glavni trg. Gradsku jezgru opasala je i zatvorila utvrda izvedena u stilu nizinske nizozemske fortifikacije. Osnovu utvrde činilo je pet (kasnije osam) bastiona međusobno povezanih bedemima. Oko utvrde prostirao se brisani prostor, a stanovništvo je dijelom raseljeno uzvodno i nizvodno od Tvrđe do udaljenosti topometne crte.

Zidine Tvrđe najvećim dijelom su porušene dvadesetih godina 20. stoljeća, ali zelenilo perivoja i danas odvaja baroknu jezgru od izravnih utjecaja ostalih dijelova grada. Jezgra utvrde uspješno je sačuvana do danas uz neznatne promjene.

Razvoj vrelovodnog sustava u Tvrđi

Priključenje stambenih i poslovnih subjekata Tvrđe na toplinarski sustav Osijeka započeto je 1973. godine.

Sjevernom stranom Ulice Franje Kuhača položen je glavni vrelovod u dimenzijama DN 150, 125 i 100 te su izvedene prve dvije toplinske stanice čime je započeto korištenje toplinskog konzuma u Tvrđi. Kroz sljedećih dvadesetak godina na toplinarski sustav Osijeka priključena je većina poslovnih, ali vrlo mali broj stambenih potrošača. Današnji toplinski konzum Tvrđe dostiže oko 6 MW.

Postojeće stanje vrelovodne mreže Tvrđe

S obzirom na početak toplifikacije Tvrđe i njezin povijesni razvoj, razvidno je da se veći dio vrelovodne mreže nalazi u eksploataciji već punih 30 godina. S obzirom na to da je eksploatacijski vijek za polaganje vrelovoda u armiranobetonski kanal iskustveno 30 - 35 godina, cjevovodi i zaporna armatura su pri kraju svojeg eksploatacijskog vijeka. Stoga je nužna njihova zamjena u sljedećem razdoblju od pet godina. Također, s obzirom na planove o dalnjem razvoju Tvrđe kao poslovno-učilišnog i kulturnog središta, bit će provedena i daljnja toplifikacija do punog konzuma, sveukupno oko 11 MW toplinske snage.

Ukupna duljina trase glavnog distributivnog vrelovoda V1 Tvrđe iznosi oko 400 m (il. 3). Sekundarna vrelovodna mreža (krakovi vrelovodne mreže V2 - V9) grana se prema sjeveru i jugu od V1 prema konfiguraciji ulica. Sveukupna duljina ulične vrelovodne mreže Tvrđa iznosi $L_u \approx 2400$ m.

HIDRAULIČKI MODEL VRELOVODNE MREŽE

1. korak - ulazni podaci

Da bi se kreirao matematički model hidrauličkog proračuna vrelovodne mreže, općenito je potrebno definirati sljedeće parametre:

- tlak i količinu dobave vrele vode u izvoru
- radni medij sa svim potrebnim fizikalnim parametrima
- čvorove (mjesto spoja dva ili više vrelovodna kraka)
- duljine pojedinih dionica trase
- protočne količine topline kroz pojedine dionice vrelovoda
- profile cjevovoda.

Pod ulaznim podacima se, dakle, podrazumijevaju svi relevantni podaci potrebni kako bi matematički model što je moguće realnije prikazao moguća stanja sustava. Ulazni podaci definiraju vrelovodni sustav (sve njegove elemente: raspoloživi ulazni tlak, čvorove, dionice, protočne količine topline, koeficijente hrapavosti itd), način prikaza rezultata, preciznost izračuna i druge za proračun bitne parametre. Prostorni smještaj dionica i čvorova, a i karakteristike cjevi (duljine i profili) prikazani su na hidrauličkoj shemi koja je osnovni izvor ulaznih podataka modela (il. 3).

Sastavni dio samog modeliranja sustava je i kreiranje baze podataka sa svim potrebnim podacima za proračun kako bi se u model unosili samo najznačajniji i što jednostavniji parametri. Tako se unošenjem imena radnog medija i temperatura polaza i povrata iz baze podataka za srednju radnu temperaturu medija automatski dobivaju sve

fizikalne karakteristike potrebne za proračun. Unošenjem podataka o materijalu cjevi i nazivnim promjerima (DN) pojedinih dionica vrelovoda model automatski iz spomenute baze podataka dobiva ostale potrebne parametre: vanjski i unutarnji promjer cjevovoda, debljinu stijenke, koeficijent apsolutne hrapavosti itd. (il. 4). Time se sprječava zamorno unošenje mnogobrojnih podataka koji se učestalo ponavljaju i značajno doprinosi pouzdanosti proračuna i smanjivanju greške kod njihovog unosa na najmanju moguću mjeru.



Tablica 1

Hidraulički model vrelovodne mreže Tvrđe - postojeće stanje (ulazna datoteka)

1. definiranje izvora								
tlak izvora p_i					7,3 bar			
količina dobave Q					24,5 l/s			
2. definiranje fizikalnih karakteristika radnog medija								
radni medij:					vrela voda			
polazna temperatura:					130 °C			
povratna temperatura:					70 °C			
Δt					60 K			
t_{sr}					100 °C			
ρ					958,4 kg/m³			
c_p					4,211 kJ/(kg K)			
η					0,000278 N s/m			
v					2,901 · 10⁻⁷ m²/s			
3. definiranje rubnih uvjeta i matrice vrelovodne mreže								
dionica	protočna količina topline Φ , kW	materijal cijevi	koeficijent apsolutne hraptavosti k , mm	nazivni promjer cjevovoda (DN), mm	kontrola	duljina dionice polaznog cjevovoda L , m	izlazni čvor	ulazni čvor
1	5940	Č.	1,00	150	OK	80,0	2	1
2	385	Č.	1,00	80	XX	55,0	3	2
3	200	Č.	1,00	65	XX	75,0	4	3
4	185	Č.	1,00	80	XX	118,0	5	3
5	185	Č.	1,00	50	OK	45,0	6	5
6	140	Č.	1,00	80	XX	60,0	7	2
8	5415	Č.	1,00	150	OK	85,0	32	2
9	1180	Č.	1,00	80	OK	7,0	10	9
10	630	Č.	1,00	80	OK	105,0	11	10
12	350	Č.	1,00	65	OK	60,0	13	9
14	3725	Č.	1,00	125	OK	87,0	15	9
15	1255	Č.	1,00	80	OK	125,0	16	15
16	835	Č.	1,00	80	OK	36,0	17	16
17	250	Č.	1,00	65	XX	77,0	18	17
18	100	Č.	1,00	50	XX	150,0	19	18
19	425	Č.	1,00	65	OK	36,0	20	17
20	225	Č.	1,00	65	XX	200,0	21	20
21	470	Č.	1,00	65	OK	95,0	22	15
22	1660	Č.	1,00	100	OK	96,0	23	15
23	250	Č.	1,00	65	XX	46,0	24	23
24	250	Č.	1,00	50	OK	45,0	25	24
25	550	Č.	1,00	80	OK	15,0	26	23
26	370	Č.	1,00	65	OK	71,0	27	26
30	150	Č.	1,00	40	OK	75,0	31	10
31	5255	Č.	1,00	125	XX	50,0	9	32

U proračunskim tablicama posebno su označena polja u koja se unose potrebni parametri, dok se svi ostali parametri izvlače iz baze podataka ili automatski računaju (tablica 1).

2. korak

Nakon definiranja izvora, fizikalnih karakteristika radnog medija i matrice vrelovodne mreže slijedi automatski proračun padova tlaka po pojedinim dionicama. Pad tlaka u cjevovodu općenito se računa prema poznatim izrazima iz literature (modificirana Bernoullijeva jednadžba, Colebrook, Swamee i Jain, Streeter, Fluid Mechanics, 1986. godina):

$$\Delta p = \Delta p_f + \Delta p_g = \frac{\rho w^2}{2} \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) + \rho g h$$

$$Re = \frac{4Q}{\pi \cdot v \cdot d} \cdot \lambda = f \left(Re, \frac{k}{d} \right)$$

$$v = \frac{\eta}{\rho},$$

pri čemu su:

Δp - ukupni gubitak tlaka pojedine dionice, Pa

Δp_f - gubitak tlaka uslijed strujanja, Pa

Δp_g - gubitak tlaka uslijed razlike geodetskih visina, Pa

ρ - gustoća tekućine, kg/m³

w - brzina strujanja tekućine unutar cijevi, m/s

λ - koeficijent trenja

L - duljina dionice, m

d - unutarnji promjer cjevovoda, m

$\sum \zeta$ - suma koeficijenata lokalnih otpora

g - gravitacijsko ubrzanje, m/s²

h - geodetska razlika visina, m

Re - Reynoldsova bezdimenzionalna značajka

k - apsolutna hrapavost unutarnje stijenke cijevi, mm

v - kinematička viskoznost tekućine, m²/s

η - dinamička viskoznost tekućine, N s/m².

Vrelovod se dimenzionira tako da brzina strujanja vrele vode unutar njega bude oko 0,5 - 2,0 m/s, ovisno o dimenziji vrelovoda što je iskustveno optimalna vrijednost za vrelovodne mreže da bi se dimenzije cjevovoda održale u razumnim okvirima, a hidraulički gubici strujanja na prihvatljivoj razini. Te vrijednosti brzina unutar vrelovoda daju područje prihvatljivih padova tlaka 50 - 250 Pa/m, što je kontrolni kriterij pri dimenzioniranju vrelovoda. Sva se odstupanja od navedenih vrijednosti programski zapisuju i upozoravaju korisnika da provjeri unos parametara i odabir dimenzije cjevovoda na pojedinoj dionici koja nije zadovoljila ranije spomenuti kontrolni kriterij. Dakako, određena manja odstupanja po pojedinim dionicama su moguća (npr. dopušten veći jedinični pad tlaka na krajoj dionici ili potkapacitiranost dionice u očekivanju dalnjeg povećanja toplinskog konzuma).

Tablica 2

Tlok u čvorovima vrelovodne mreže (izlazna datoteka)

oznaka čvora polaznog cjevovoda	tlak u čvoru, bar	kontrola tlaka $p_n > 5,0$ bar
Č 1	7,30	OK
Č 2	7,18	OK
Č 3	7,17	OK
Č 4	7,16	OK
Č 5	7,16	OK
Č 6	7,12	OK
Č 7	7,18	OK
Č 9	6,91	OK
Č 10	6,90	OK
Č 11	6,84	OK
Č 13	6,88	OK
Č 15	6,77	OK
Č 16	6,49	OK
Č 17	6,46	OK
Č 18	6,44	OK
Č 19	6,42	OK
Č 20	6,43	OK
Č 21	6,40	OK
Č 22	6,70	OK
Č 23	6,68	OK
Č 24	6,67	OK
Č 25	6,63	OK
Č 26	6,67	OK
Č 27	6,64	OK
Č 31	6,81	OK
Č 32	7,07	OK
$p_n, \text{min, bar}$	$\Delta p_{\max(\text{POL+POV})}, \text{bar}$	u čvoru
6,40	1,80	Č. 21

U modelu su se u ovom slučaju zanemarili lokalni hidraulički gubici kroz zapornu armaturu koji su zanemarivi u odnosu na velike duljine (a time i padove tlaka) po pojedinim dionicama vrelovoda. Te je lokalne gubitke, međutim, lako moguće obuhvatiti u slučaju kada se umjesto vrelovodne mreže modelira sustav centralnog grijanja, odnosno hlađenja nekog objekta gdje se zbog malih dimenzija cijevi i značajnih hidrauličkih lokalnih otpora oni ne mogu zanemariti. Proračunom je obuhvaćeno postajeće stanje toplinskog konzuma Tvrde ($\Phi \approx 6,0$ MW) s postojećim dimenzijama vrelovoda (tablica 2).

3. korak - izlazni podaci

Izlazni podaci matematičkog modela prikazani u tablici 3 odnose se na cijelokupnu modeliranu vrelovodnu mrežu, a grupirani su tako da se za svaki čvor vrelovodne mreže ispisuje podatak o raspoloživom tlaku polaznog cjevovoda

Tablica 3

Proračun pada tlaka po dionicama vrelovoda

dionica	Q_m , kg/h	Q_{vh} , l/h	Q_v , l/s	d_v , mm	A , m ²	w, m/s	Re	k/d	λ	Δp_f , Pa	Δp_f , bar	$\Delta p'$, Pa/m
1	84 635	88 309	24,5	159,3	0,01993	1,23	675 496	0,00628	0,033	12015	0,12	150
2	5486	5724	1,6	82,5	0,00535	0,30	85 325	0,01212	0,041	1179	0,01	21
3	2850	2973	0,8	70,3	0,00388	0,21	50 895	0,01422	0,044	992	0,01	13
4	2636	2750	0,8	82,5	0,00535	0,14	39 818	0,01212	0,042	320	0,00	5
5	2636	2750	0,8	54,5	0,00233	0,33	62 003	0,01835	0,048	4136	0,04	46
6	1995	2081	0,6	82,5	0,00535	0,11	31 286	0,01212	0,043	302	0,00	3
8	77 155	80 504	22,4	159,3	0,01993	1,12	615 086	0,00628	0,033	10584	0,11	125
9	16 813	17 543	4,9	82,5	0,00535	0,91	258 820	0,01212	0,041	1380	0,01	197
10	8976	9366	2,6	82,5	0,00535	0,49	139 364	0,01212	0,041	6004	0,06	57
12	4987	5203	1,4	70,3	0,00388	0,37	89 672	0,01422	0,044	3367	0,03	41
14	53 075	55 379	15,4	131,7	0,01362	1,13	513 058	0,00759	0,035	14147	0,14	163
15	17 882	18 658	5,2	82,5	0,00535	0,97	275 885	0,01212	0,041	28009	0,28	224
16	11 897	12 414	3,4	82,5	0,00535	0,64	182 027	0,01212	0,041	3512	0,04	98
17	3562	3717	1,0	70,3	0,00388	0,27	65 437	0,01422	0,044	1684	0,02	22
18	1425	1487	0,4	54,5	0,00233	0,18	33 820	0,01835	0,049	2094	0,02	14
19	6056	6318	1,8	70,3	0,00388	0,45	109 061	0,01422	0,044	2186	0,02	61
20	3206	3345	0,9	70,3	0,00388	0,24	58 166	0,01422	0,044	3455	0,03	17
21	6697	6987	1,9	70,3	0,00388	0,50	121 179	0,01422	0,043	6961	0,07	73
22	23 652	24 679	6,9	107,1	0,00901	0,76	280 611	0,00934	0,037	9180	0,09	96
23	3562	3717	1,0	70,3	0,00388	0,27	65 437	0,01422	0,044	1006	0,01	22
24	3562	3717	1,0	54,5	0,00233	0,44	82 671	0,01835	0,048	3677	0,04	82
25	7837	8177	2,3	82,5	0,00535	0,42	119 455	0,01212	0,041	630	0,01	42
26	5272	5501	1,5	70,3	0,00388	0,39	94 520	0,01422	0,044	3239	0,03	46
30	2137	2230	0,6	41,8	0,00137	0,45	64 847	0,02392	0,053	9228	0,09	123
31	74 875	78 125	21,7	131,7	0,01362	1,59	721 913	0,00759	0,035	16098	0,16	322

u tom čvoru te konačno kontrolni maksimalni pad tlaka za cjelokupnu vrelovodnu mrežu s ispisom kritičnog čvora. Za svaki čvor dodatno se kontrolira raspoloživi tlak polaznog cjevovoda u skladu s ranije usvojenim maksimalnim dopuštenim padovima tlaka u sustavu. U slučaju kada tlak polaznog vrelovoda u određenom čvoru padne ispod minimalnog dopuštenog, korisnik se automatski izvješćuje o grešci i upućuje na izmjenu dimenzija kritičnih dionica vrelovoda.

Apsolutna hrapavost postaje vrelovodne mreže procijenjena je na 1 mm, što potvrđuje poklapanje rezultata matematičkog modela sa stvarnim stanjem izmjerenoj tlaku u određenim čvorovima - pojedinim toplinskim podstanicama.

Analiza rezultata

Datoteke '4. Proračun pada tlaka po dionicama vrelovoda' i '5. Tlak u čvorovima vrelovodne mreže' (tj. tablice 2 i 3) kreirane su tako da pružaju jednostavan pregled pojedinih dionica i čvorova razmatranog sus-

tava, ali i cjeline. Iz njih se općenito iščitava postojeće stanje vrelovodne mreže Tvrđe i s hidrauličkog aspekta karakteriziraju činjenice da sustav funkcioniра s približno 55% ukupnog planiranog toplinskog konzuma te je oko 40% krakova sekundarne mreže predimenzionirano s jediničnim padovima tlaka koji na pojedinim dionicama ne zadovoljavaju minimalne kriterije. Međutim, uzimajući u obzir planirano povećanje toplinskog konzuma i željenu potpunu toplifikaciju Tvrđe, te će predimenzionirane dionice imati svoju punu funkciju nakon završetka ukupne toplifikacije.

ZAKLJUČAK

Izloženi model hidrauličkog proračuna vrelovodne mreže ukazuje na praktički neograničenu složenost strukture matematičkog modela koji se može provesti uporabom tabličnog kalkulatora. To je samo jedna kap u oceanu mogućih zadataka i tehničkih izazova s kojima se inženjeri raznih struka svakodnevno susreću, a pri čemu takvi matematički modeli bivaju od neizmjerne pomoći.