

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„Мрежа – КГ“ – Софтвер за симулацију рада топлотно дистрибутивног система Града Крагујевца

Аутори техничког решења

- Др Милун Бабић, редовни професор, дипл. маш. инж.
- Др Добрица Миловановић, редовни професор, дипл. маш. инж.
- Др Душан Гордић, банредни проф., дипл. маш. инж.
- Дубравка Јелић, дипл. маш. инж.
- Давор Кончаловић, дипл. маш. инж.

Наручилац техничког решења

- Министарство науке и технолошког развоја Р. Србије, у оквиру пројекта „Унапређење енергетске ефикасности и техничко – технолошких карактеристика система за производњу и дистрибуцију топлоте града Крагујевца“

Корисник техничког решења

- „Енергетика“ д.о.о. Крагујевац

Година када је техничко решење урађено

- 2009. година

Област технике на коју се техничко решење односи

- Машинство, Енергетска ефикасност

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Техничко решење је фокусирано на обезбеђивање услова за квалитетно, енергетски и економски ефикасно функционисање система за производњу и дистрибуцију топлоте града Крагујевца као и даљи успешан развој предузећа Енергетика д.о.о.

Ово техничко решење се ослања на резултате постигнуте техничким решењем **„БАЗА – КГ“ – база података о топлотно дистрибутивном систему Града Крагујевца** и, у великој мери, представља његов наставак.

Техничко решење је фокусирано на решавање проблема балансирања топоводно дистрибутивне мреже града Крагујевца (у даљњем тексту ТДС-К) кроз:

- замену постојећих или увођење нових циркулационих пумпи (на истом месту или широм дистрибутивне мреже),
- анализу утицаја више извора грејног флуида унутар система,
- анализу утицаја замене појединачних цевовода цевоводима другог пречника и/или материјал тј. хрпавости,
- процену утицаја прикључења нових корисника на расподелу грејног флуида

са коначним циљем постизања оптимално (енергетски и економски) балансиране топоводне мреже.

Детаљније, ова методологија је приказана у наставку текста.

2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

Ово техничко решење је, из корена, развијено за потребе „Енергетике“ д.о.о. и према информацијама којима располажу аутори, не постоји сличан приступ у овој области.

Разлоге за ово треба тражити у специфичном положају домаћих комуналних компанија, у овом случају компаније која је задужена за даљинско грејање града Крагујевца. Специфичност се, када је у питању дистрибутивна компонента компаније „Енергетика“ д.о.о., огледа у недостатку планирања тј. непостојању дугорочне стратегије ширења мреже и (што је резултовало неадекватно димензионисаним цевоводом, избором неадекватних пумпи, повезивањем појединих тачака мреже најкраћим могућим путем и низом других неправилности). Непланско ширење мреже (узроковано ширењем града, тј. повећањем броја корисника) је имплицирало неколико проблема, а пре свега високу неефикасност и неравномерно загревање потрошача (термички комфор).

Уз ове појаве, појављују се још неки проблеми чији су корени друге природе:

- топловодна мрежа је стара преко 20 година (цевоводи су, изузев неколико новијих деоница, дотрајали; изолација је у врло лошем стању а поједине, углавном краће деонице потпуно су неизоловане);
- око 90% свих цевовода је у каналима, изолација код ових цевовода је, због воде или влаге у каналима, у врло лошем стању;
- старији предизоловани цевоводи, такође, се нису показали као добро и дуготрајно решење;
- недостатак катодне заштите на појединим местима са већом концентрацијом струјних и телефонских каблова врло негативно утиче на век цевовода, те се исти смањује на само 5 година;
- правило је да се цевоводи мењају тек кад дође до хаварија, а тек у новије време, измене се врше превентивно и плански;
- вентили на појединим водовима су, такође, дотрајали, врло често су у таквом стању да се не могу затворити, кад је то, из било ког разлога, потребно.

Сам софтвер за прорачун и симулацију рада система даљинског грејања постоји у неколико различитих извођења реномираних светских компанија. У питању су комерцијални производи које, у тренутку стварања овог техничког решења, „Енергетика“ д.о.о. из Крагујевца, а због њихове високе цене, није могла приуштити.

3. Суштина техничког решења

Досадашња пракса „Енергетике“ д.о.о. се сводила на искуствене покушаје балансирања мреже што је често резултовало прегревањем појединих корисника зарад остваривања минималног термичког комфора корисника који су распоређени по ободима дистрибутивних мрежа. Техничко решење циља на повећање ефикасности кроз квалитетнију дистрибуцију грејног флуида унутар појединачних мрежа а која, последично, смањује неравномерно загревање корисника (повећава термички комфор корисника).

Вођени потребама, аутори овог техничког решења су развили функционалан софтвер за хидрауличну анализу. По спровођењу хидрауличне анализе, приступило се тумачењу резултата моделирања и провери валидности тих резултата у, за то одабраним, типичним топлотним подстаницама. На овај начин потврђени резултати анализе отварају могућности промене радних параметара и визуализације решења при планирању како реконструкција тако и ширења система ка новим корисницима.

4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)

Почетно одређење приликом постављања циљева пројекта „Унапређење енергетске ефикасности и техничко – технолошких карактеристика система за производњу и дистрибуцију топлоте града Крагујевца“ је био спровођење хидраулично термодинамичке анализе дистрибутивне мреже са минималним бројем улазних података, при чему се водило рачуна да поузданост алата за нумеричку симулацију не буде угрожена. У складу са тим, почетним захтевима и накнадно развијеном методологијом, софтвер за предвиђање и/или праћење понашања ТДС-К се подацима снабдева из:

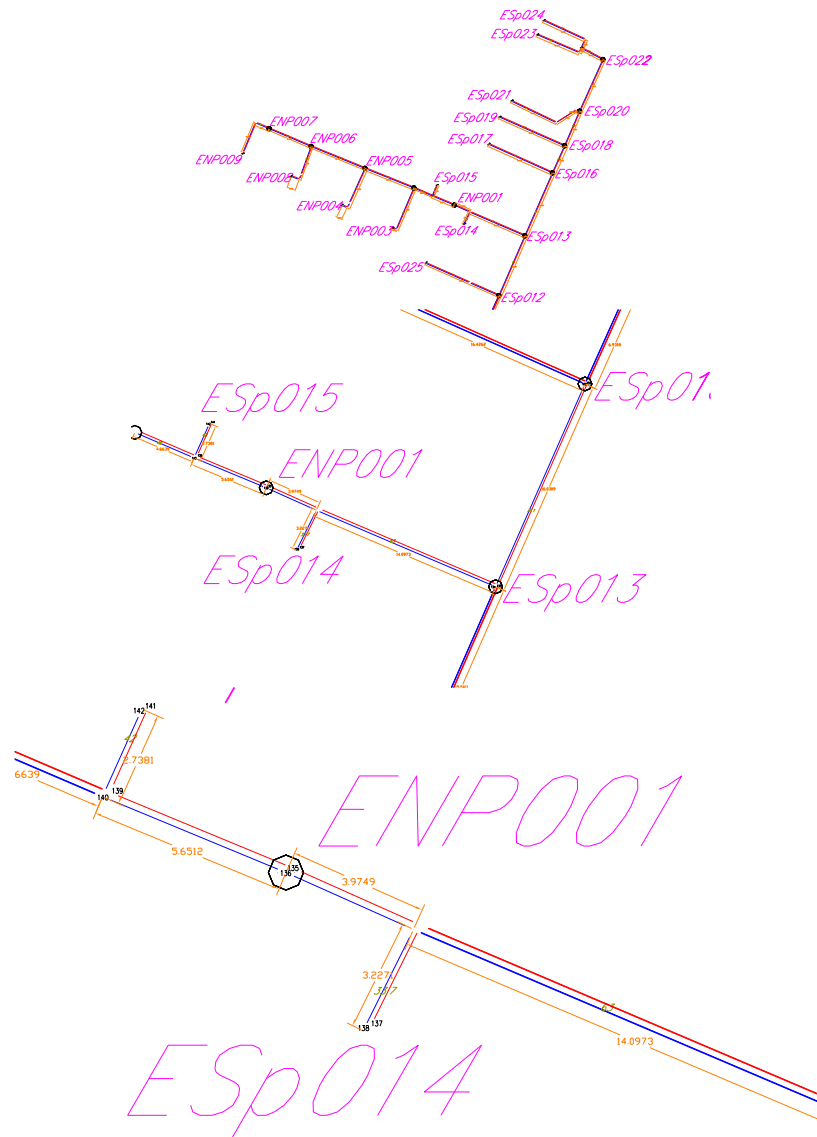
- дигиталне AutoCad мапе топлководне мреже;
- базе података „База – КГ“ оформљене у Microsoft Access-у (слика 1);

A	B	C	D	E	G	H	K	L	M	N	O	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AV	AW																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000

Слика 1. Подаци припремљени за хидрауличну анализу

а при чему је калибрација самог софтвера урађена уз помоћ података о протоку и паду притиска у релевантном броју типичних топлотних подстанца као и о подацима о укупном протоку на излазу из појединих котларница а о чему ће бити речи касније.

По прикупљању и систематизацији података са терена, оформљена је база података која, уз прилагођавања, представља улаз у прорачун.



Слика 2. AutoCAD мапа припремљена за унос података у софтвер за хидрауличну анализу

Вођени потребама, аутори овог техничког решења су развили функционалан софтвер за хидрауличну анализу. Паралелно са развојем софтвера, урађена је анализа расположивих програма на тржишту са циљем компаративног поређења тј. поређења квалитета излазних резултата и перформанси појединачних програма. Програм који се са више аспеката показао као одговарајући за потребе поређења резултата је EPANET. Његове предности, у светлу пројектних потреба, су:

- бесплатан програм;
- тачност у складу са пројектним захтевима;
- нема ограничења у погледу броја чворова (за пројектне потребе број чворова је већи од 10 000);

- брзина извођења симулације;
- једноставност коришћења као и графички приказ.

Управо је последња тачка, тј. графички приказ (тј. могућност брзе промене сценарија), била пресудна за одабир EPANET-а, при чему је развијени софтвер искоришћен за потребе термодинамичког прорачуна.

На самом почетку треба напоменути да је EPANET бесплатан програм који се може слободно копирати и дистрибуирати. Развијен је од стране америчке агенција за очување животне средине - EPA (Environmental Protection Agency) – прецизније, од одељења за водне ресурсе (Water Supply and Water Resources Division).

EPANET је рачунарски програм који изводи хидрауличну као и симулацију квалитета воде унутар одређене цевне мреже. Мрежа се може састојати од цеви, чворова (спој цеви), пумпи, вентила, резервоара или складишта воде. EPANET се може искористити за праћење протока воде кроз сваку цев, праћење притиска у сваком чвору, висине воде у складиштима воде - водоторњевима, као и за праћење концентрације појединачних хемијских једињења широм мреже.

Првобитно, EPANET је осмишљен као алат за истраживање и побољшавање нашег разумевања дистрибуције воде за пиће као и хемијских састојака унутар самог дистрибуцијског система. Данас се EPANET може користити за различите апликације тј. анализе различитих дистрибутивних система.

Анализа, поред праћења протока и притисака у појединим деоницама/чворовима укључује:

- замену постојећих или увођење нових циркулационих пумпи (на истом месту или широм дистрибутивне мреже),
- анализу утицаја више извора грејног флуида унутар система,
- анализу утицаја замене појединачних цевовода цевоводима другог пречника и/или материјал тј. храпавости,
- процену утицаја прикључења нових корисника на расподелу грејног флуида

тј., као коначан циљ– дефинисање начина за оптимално балансирање топоводне мреже.

Покренут под Windows оперативним системом, EPANET пружа окружење за унос података о мрежи, анализу и графички приказ хидрауличне симулације, те омогућава преглед резултата у различитим форматима. Они укључују бојама означене мапе мреже, табеларни преглед података, временске графиконе као и контуре земљишта.

Тачан хидраулички модели је предуслов за ефикасну анализу. У EPANET су укључени врло напредни механизми за анализу са следећим особинама:

- нема ограничења у погледу величине мреже која је предмет анализе;
- успутни губици на трење се могу одредити помоћу формула Hazen – Williams-а, Darcy – јеве формуле, или Chezy – јеве формуле;

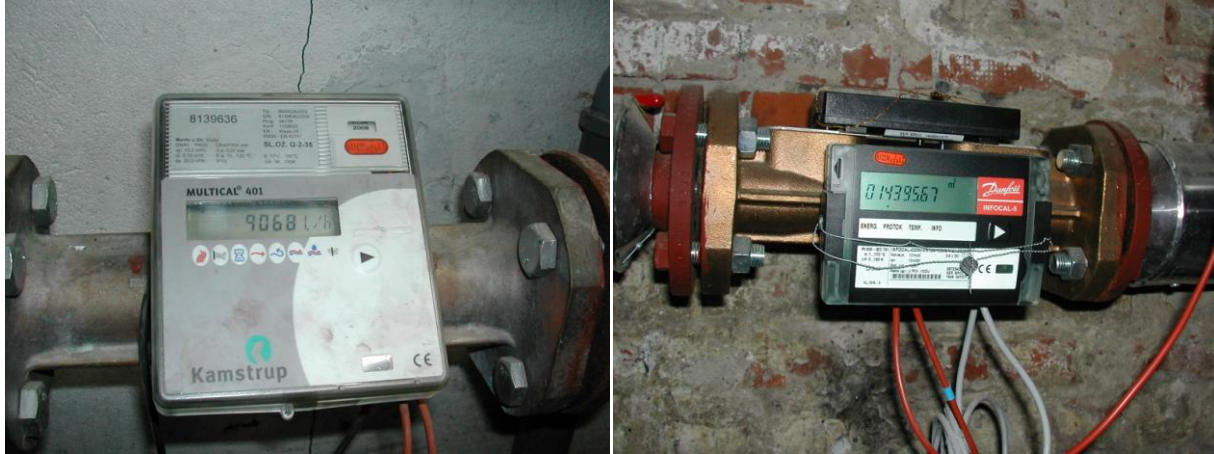
- модел укључује локалне падове притиска кроз коефицијенте локалног отпора за колена, проширења, различите вентиле и сл.;
- модел може симулирати употребу пумпе/и које имају могућност промене броја обртаја;
- модел рачуна трошкове за енергију која се користи за покретање пумпи;
- праћење промене понашања система услед старења цевовода тј. промене релативне храпавости цеви.

Моделирање и спровођење анализе се спроводи кроз следеће кораке:

- Полаз у моделирању је скица мреже (која представља дистрибутивни систем) или се основни опис мреже смешта у текстуалну датотеку;
- Објектима који чине систем се додају одговарајућа својства – атрибути;
- Наредни корак се састоји од објашњења како систем ради тј. како се њим управља;
- Одабира се математички модел (који ће се користити) заједно са осталим својствима за анализу;
- Покреће се хидраулична анализа;
- Приказују се и тумаче резултате анализе.

По спровођењу претходно наведених корака, аутори овог техничког решења су приступили тумачењу резултата математичког моделирања и провери валидности тих резултата у, за то одабраним, типичним топлотним подстаницама. Проток је измерен на уграђеним стационарним ултразвучним протокомерима тако да је:

- измерен притисак на улазу у подстану и на излазу из подстанице (тј. пад притиска у подстаници) у 10 одабраних подстаница при томе водећи рачуна:
- да су одабране подстанице правилно распоређене у мрежи Ердоглија (да нису суседне подстанице),
- да је у 5 - 7 подстаница цевни размењивач топлоте,
- да се приликом мерења пада притиска обухвати комплетна арматура (вентили, скупљачи нечистоће, размењивач итд.) на примарној страни подстанице и
- да је приликом мерења коси регулациони вентил (или равни запорни вентил тамо где коси регулациони не постоји) у потпуно отвореном положају.
- измерен проток у тим подстаницама (при потпуно отвореним свим вентилима у подстаници).



Слика 3. Ултразвучни протокомери у топлотним подстаницама

Такође, провера модела је урађена и на излазним топлководима из сваке од котларница у систему Енергетике. За потребе калибрације модела уређено је следеће:

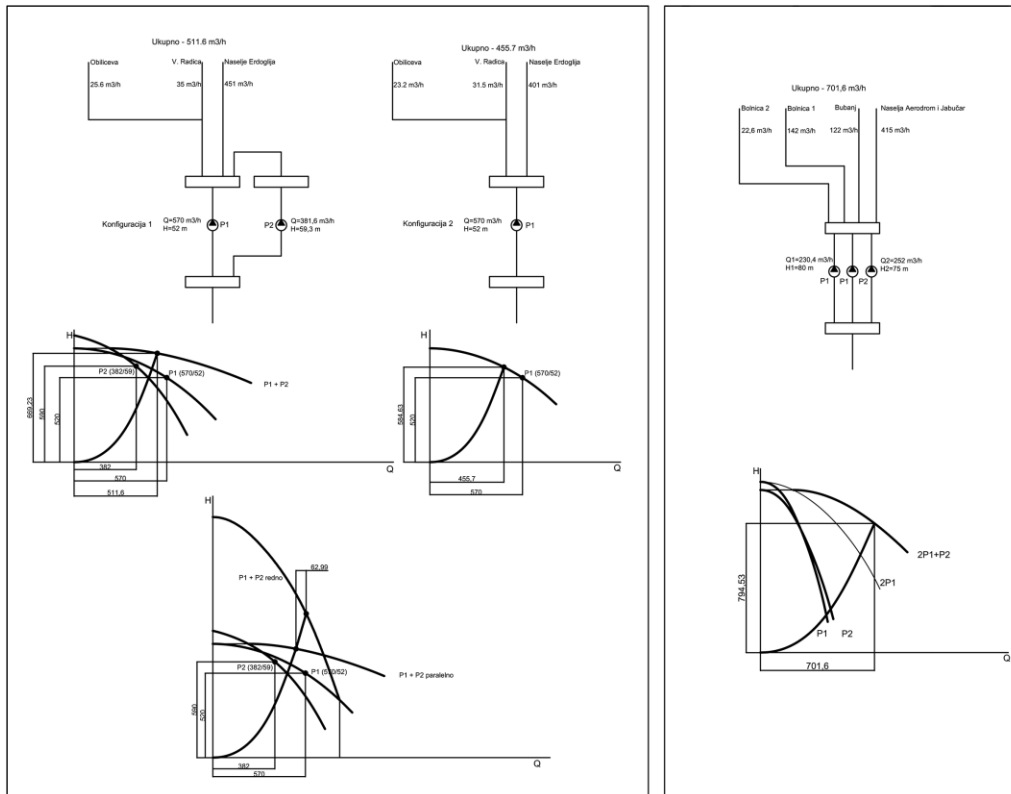
- шема постојећег пумпног постројења са карактеристикама свих пумпи које се налазе у њему,
- дате су карактеристике свих пумпи које су распоређене широм дистрибутивне мреже,
- одређени су укупни протоци на излазу из котларница као и
- притисци на излазу из котлова тј. притисци на улазу у пумпно постројења.

Мерења као и резултати мерења су приказани на следећим сликама.



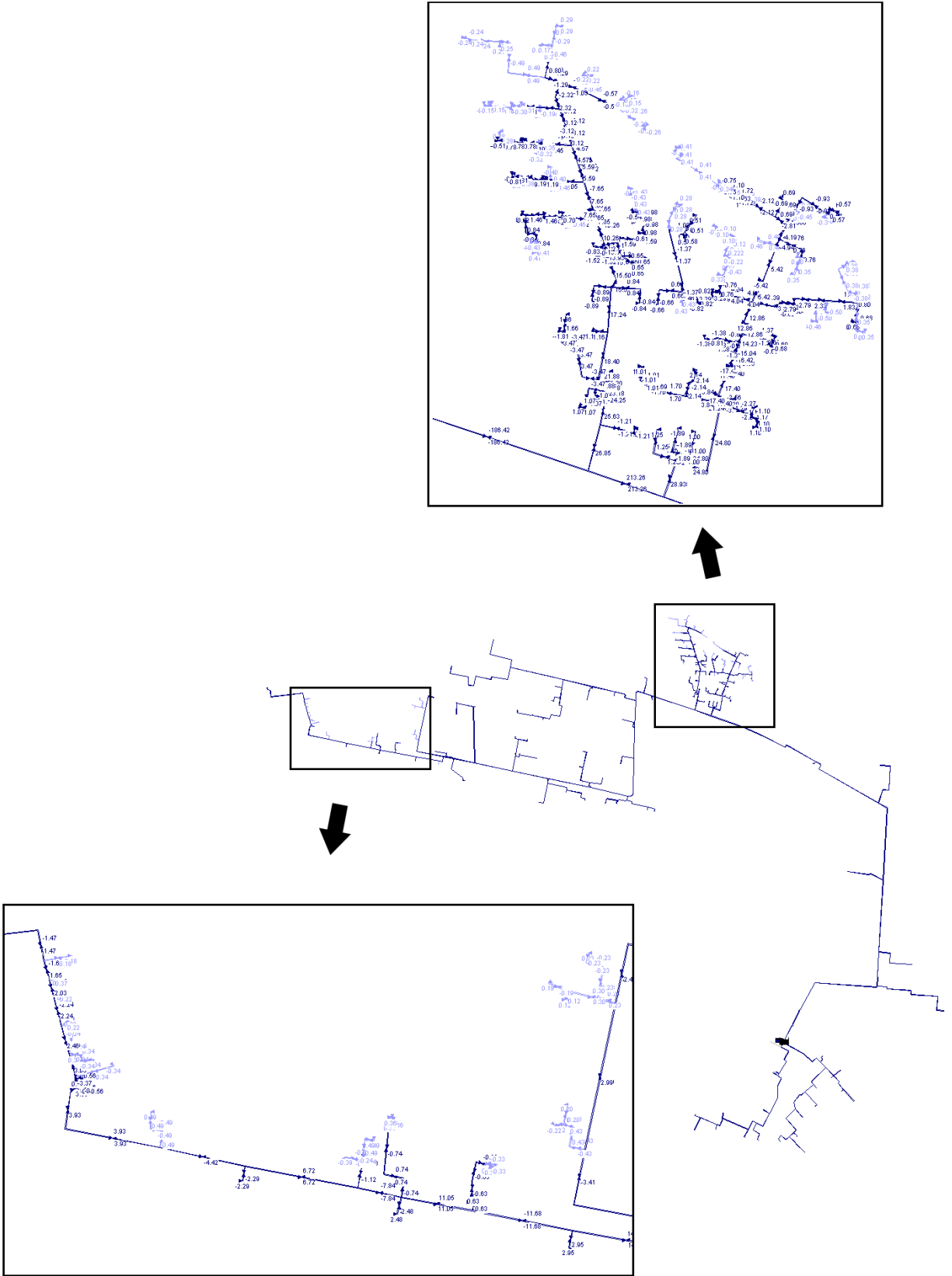


Слика 4. Мерење протока ултразвучним портабл протокомером

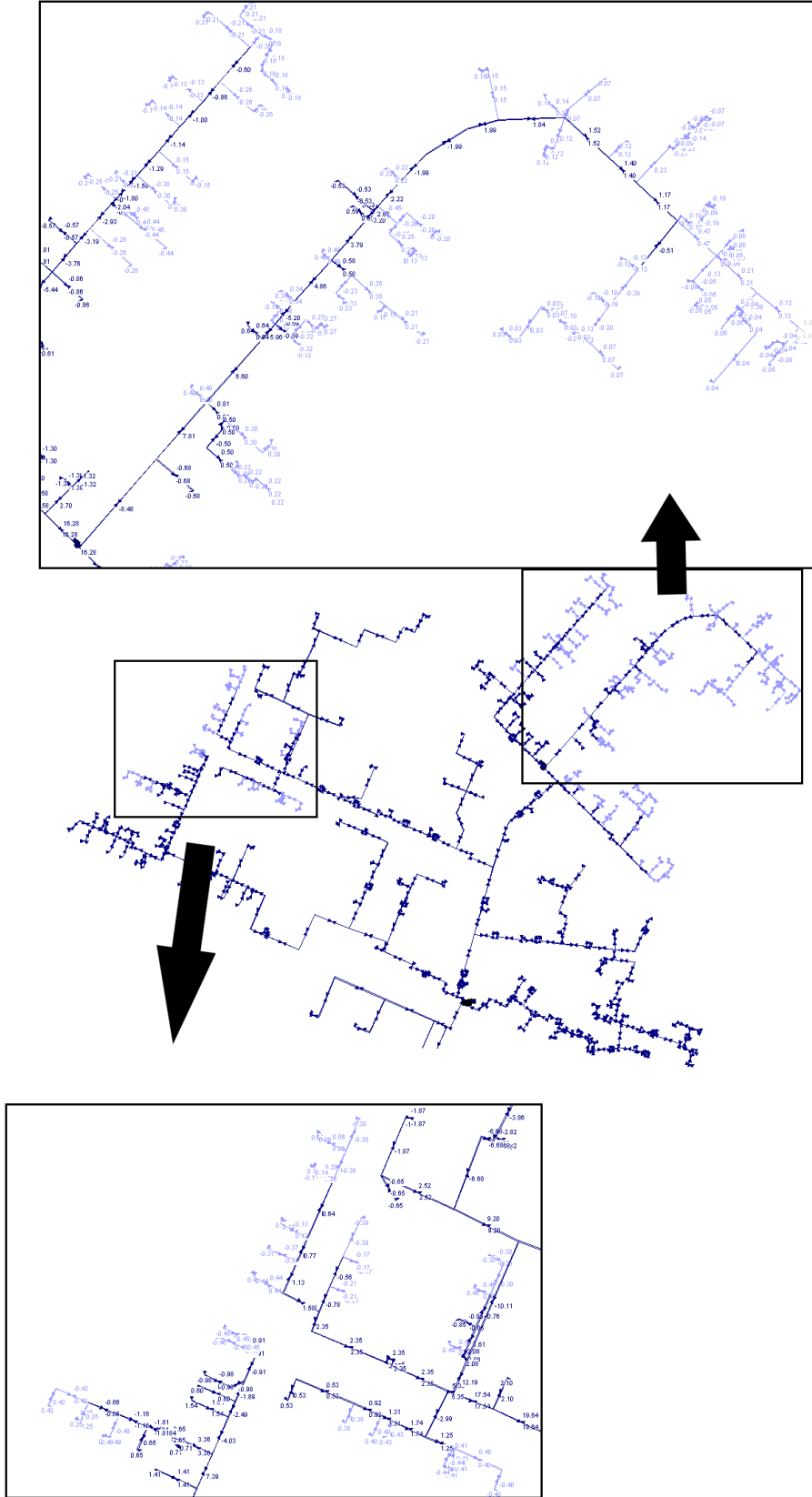


Слика 5. Резултати мерења протока

Анализа спроведена након калибрације модела је јасно указала на поједина критична места са аспекта расположивог протока у топлотним подстаницама. На наредним страницама су приказана нека од тих места са подсистема Ердоглија и Аеродром са протоцима приказаним у кубним метрима на сат.



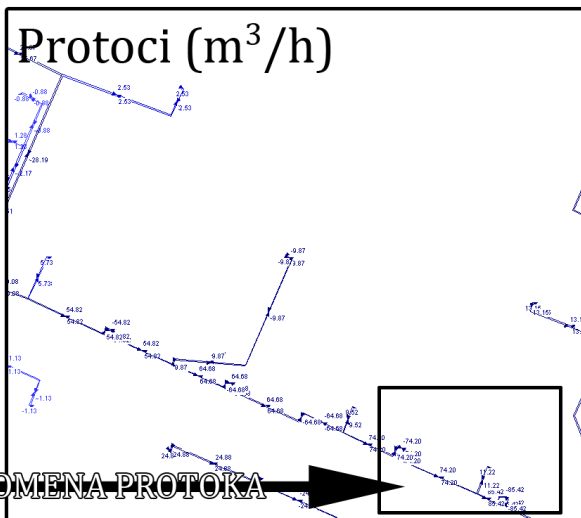
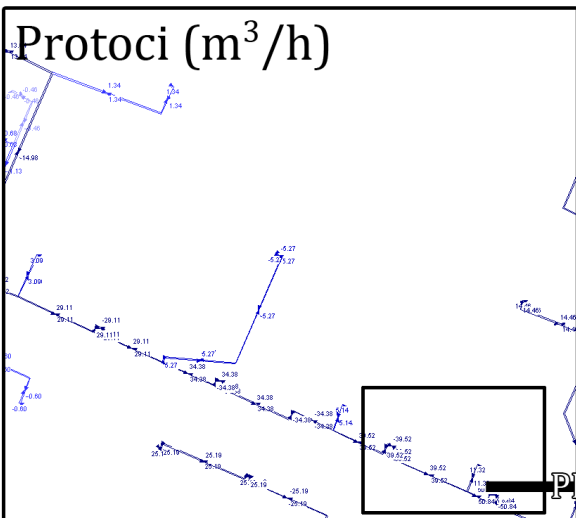
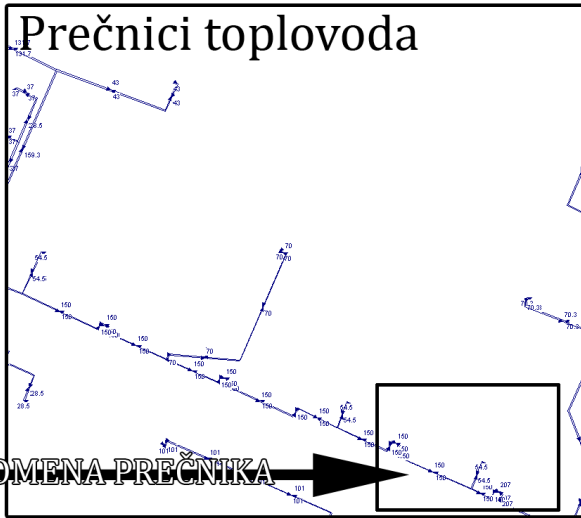
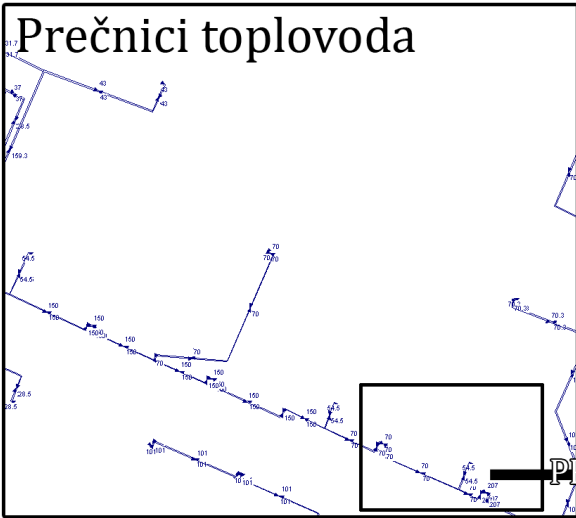
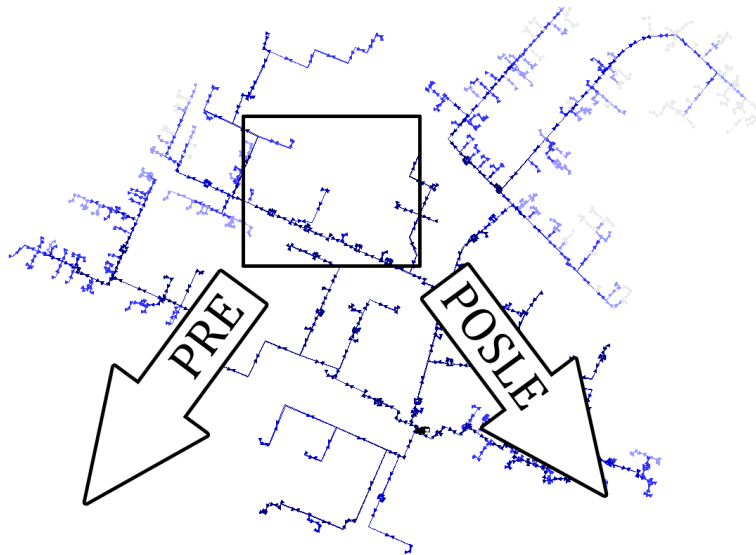
Слика 6. Преглед критичних потрошача који припадају подсистему Аеродром



Слика 7. Преглед критичних потрошача који припадају подсистему Ердоглија

Модел мреже даљинског грејања је указао на појединачне кориснике као и групе корисника који не могу да остваре пројектовани/потребни проток кроз топлотну подстану. Нпр. улица Словачких побуњеника у насељу Ердоглија, доњи део улице Драгољуба Миловановића Бене (део који се напаја из котларнице Ердоглија), делови насеља Јабучар И и Јабучар ИИ који су удаљени од магистралног топловода, део улице Љубе Вучковића као и улице Лазара Мићуновића (напајане из котларнице Болница) и сл. Сва побројана места су од раније позната Енергетици д.о.о. као места са којих пристиже највећи број жалби на квалитет грејања.

На слици 8 је приказана „реконструкција“ дела цевовода и утицај исте на проток у одабраној грани. Ова слика илуструје могућности овде приказаног приступа у прикупљању, класификовању и обради података.

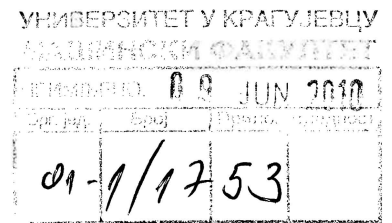


Слика 8. „Реконструкција“ дела ценовода и утицај реконструкције на проток у одабраној грани

5 Литература

1. М. Бабић, Д. Кончаловић, Д. Јелић, Н. Петровић, Б. Милосављевић, Д. Милошевић, Д. Миловановић, Д. Гордић, Н. Јовичић, В. Шустершич, М. Деспотовић, Б. Павловић: Истраживање стања и могућности за унапређење топлотно-дистрибутивног система града Крагујевца, КГХ, Београд, децембар 2008

2. Кончаловић Д., Бабић М., Милосављевић Б., Гордић Д., Јовичић Н., Богићевић В., Николић В., О научно – истраживачким активностима за повећање енергетске ефикасности система за дистрибуцију топлоте у Крагујевцу, Енергија, Лист Савеза енергетичара: Енергија, економија, екологија , Бр. 1-2, Година IX, март 2007, стр. 202-207



Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу бр 01-1/1128-14 од 22. априла 2010 године именовани смо за рецензенте техничког решења „Мрежа – КГ“ – Софтвер за симулацију рада топлотно дистрибутивног система Града Крагујевца“ аутора *Др Милун Бабић, редовни професор, дипл. маш. инж., Казимир Даријевић, дипл. маш. инж., Др Добрица Миловановић, редовни професор, дипл. маш. инж. Др Душан Гордић, банредни проф., дипл. маш. инж., Дубравка Јелић, дипл. маш. инж., Давор Кончаловић, дипл. маш. инж.*

На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Мрежа – КГ“ – Софтвер за симулацију рада топлотно дистрибутивног система Града Крагујевца“ аутора *Др Милун Бабић, редовни професор, дипл. маш. инж., Др Добрица Миловановић, редовни професор, дипл. маш. инж. Др Душан Гордић, банредни проф., дипл. маш. инж., Дубравка Јелић, дипл. маш. инж., Давор Кончаловић, дипл. маш. инж.,* реализовано 2008. године, приказано је на 14 страница формата А4, писаних Cambria фонтом, стандардним проредом, садржи 8 слика. Састављено је следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже) и
5. Литература.

Наручилац техничког решења је Министарство науке и технолошког развоја Р. Србије.

Примена предложеног техничког решења реализована је у предузећу „Енергетика“ д.о.о. из Крагујевца.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Мрежа – КГ“ – Софтвер за симулацију рада топлотно дистрибутивног система Града Крагујевца“ су јасно приказали и теоријски обрадили комплетну структуру техничког решења.

Приказано техничко решење је фокусирано на обезбеђивање услова за квалитетно, енергетски и економски ефикасно функционисање система за производњу и дистрибуцију топлоте града Крагујевца као и развој предузећа Енергетика д.о.о.

Ово техничко решење се ослања на резултате постигнуте техничким решењем „БАЗА – КГ“ – база података о топлотно дистрибутивном систему Града Крагујевца и, у великој мери, представља његов наставак.

Техничко решење је фокусирано на решавање проблема балансирања топоводно дистрибутивне мреже кроз:

- замену постојећих или увођење нових циркулационих пумпи (на истом месту или широм дистрибутивне мреже),
- анализу утицаја више извора грејног флуида унутар система,
- анализу утицаја замене појединачних цевовода цевоводима другог пречника и/или материјал тј. храпавости,
- процену утицаја прикључења нових корисника на расподелу грејног флуида са коначним циљем постизања оптимално (енергетски и економски) балансиране топоводне мреже.

Са задовољством предлагемо да се експериментално техничко решење решења „Мрежа – КГ“ – Софтвер за симулацију рада топлотно дистрибутивног система Града Крагујевца“ прихвати као ново техничко решење.

9. јун 2010. године, у Крагујевцу


Др Младен Стојковић, дипл. маш. инж.


Др Небојша Јевтић, дипл. маш. инж.



Универзитет у Крагујевцу
Машински факултет у Крагујевцу
Број : **ТР-33/2010**
10. 06. 2010. године
Крагујевац

Наставно-научно веће Машинског факултета у Крагујевцу на својој седници од 10. 06. 2010. године на основу члана 200. Статута Машинског факултета, донело је

О Д Л У К У

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „„Мрежа-КТ“ – Софтвер за симулацију рада топлотно дистрибутивног система Града Крагујевца“, аутора Др Милуна Бабића, др Добрице Миловановића, др Душана Гордића, Дубравке Јелић и Давора Кончаловића.


Решење припада класи **M85**, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, ("Сл. гласник РС", бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. Др Младен Стојиљковић, ред. проф., Машински факултет Ниш
2. Др Небојша Јовичић, ванредни проф., Машински факултет Крагујевац

Достављено:
Ауторима
Архиви

ДЕКАН МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА



Др Мироелав Бабић, ред. проф.