

НЕДЕСТРУКТИВНО ТЕСТИРАЊЕ НА МАТЕРИЈАЛИ СО ПОМОШ НА ВРТЛОЖНИ СТРУИ

~ Во овој труд сакаме да направиме еден соопштение осврќи на појавите, методите, начините и резултатите кои се добиваат од неdestructивното испитување на немагнетните материјали со помош на вртложни струи. Ќе покажеме дека овој метод е високо ефективен, брз и сигурен во голем број на практични случаи каде другите методи не можат ефикасно или пак воопшто не можат да се употребаат. Ќе се запознаеме со физичките основи на овој метод, неговите можности за апликација, видови на проби како и нивните предности и недостатоци. На крај ќе дадеме и неколку насоки во смисол на подобрување на квалитетот на резултатите како и можни правци за развој и испитувања во оваа област.



Д-р Влатко Чингоски
Сектор за развој и инвестиции,
Електростопанство на Македонија

**Nondestructive Material Testing
Using Eddy-Currents**

Vlatko Cingoski, Ph.D. E.E.
Electric Power Company of Macedonia,
Department of Development and
Investments

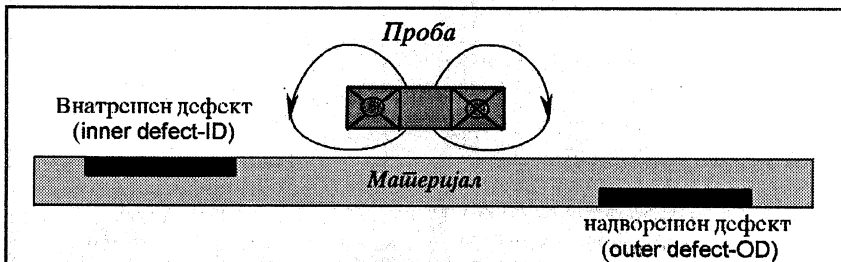
In this paper, a brief overview of the necessities, methods, procedures and obtained results for the nondestructive evaluation of the nonmagnetic materials using eddy-currents is presented. We show that this evaluation method is highly effective, fast and secure for a large scale of practical problems where other methods are not as efficient or they are even not applicable at all. We present the physical foundations for this method, its application possibilities, types of probes (sensors), as well as their advantages and disadvantages. Finally, few remarks for improving the quality and accuracy of the testing results and some possible directions for future research in this area are also presented.

продолжение од минатиот број

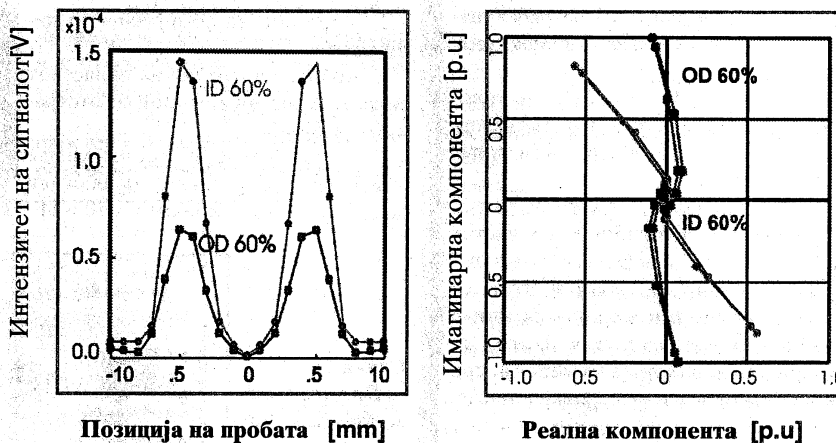
4.2. Дефекти со различна позиција (ID и OD дефекти)

Една од основните карактеристики кои треба да се дефинираат при неdestructивното тестирање е местоположбата и позицијата на евентуалниот дефект. Постојат два типа на основни видови на дефекти: внатрешни дефекти и надворешни

дефекти. Категоризацијата на дефектите е условна и се дефинира според соодносот меѓу пробата и страната на цевката каде се наоѓа дефектот: ако се од иста страна станува збор за внатрешен дефект (inner defect - ID), или ако се од спротивна страна, тогаш станува збор за надворешен дефект (outer defect - OD) (види Сл. 6). На Сл. 7 прикажани се два



Слика 6: Дефиниција на внатрешен и надворешен дефект.



а) Амплитудна карактеристика
б) Фазна карактеристика
Слика 7: Типични сигнали за надворешен и внатрешен дефект од 60%

типични сигнали добиени со помош на пробата со ротационо поле кои одговараат на еден внатрешен и еден надворешен дефект. И двата дефекта се со иста дебелина кој во случај на неdestructивна анализа на високопритисни цевки најчесто се изразува во проценти од дебелината на цевката. Во конкретниот случај се работи за два дефекта кои имаат дебелина од 60 % во однос на дебелината на цевката.

На Сл. 7 се прикажани т.н. аплитудната и фазната карактеристика за два сигнала, еден внатрешен и еден надворешен, добиени за иста дебелина на дефект од 60 %, во однос на дебелината на цевката. Веднаш може да се забележи дека постои голема разлика меѓу двата сигнала, внатрешниот сигнал има поголема амплитуда за повеќе од два пати во однос на надворешниот сигнал. Во однос на фазната карактеристика може да се види дека аголот под кој се појавуваат овие карактеристики е сосема различен. Треба да се напомене и како се добиваат овие карактеристики. Веќе рековме дека сигналот се придвижува со константна брзина над површината на испитуваниот материјал (во нашиот случај пробата се движи во внатрешноста на цевката). Нултата точка на двата графика се поклопува со центарот на дефектот кој има должина од 10 мм.

Пробата се движи паралелно со насоката на дефектот. Секоја точка од кривата одговара за поместување на пробата за 1 мм. Треба да се забележи дека максимална амплитуда на сигналот се добива околу краевите на дефектот. Овој факт ќе го искористиме покасно кога ќе го анализираме влијанието на должината на дефектот врз формата на сигналот. Очигледно е дека со едноставно проследување на сигналот можно е да се изврши систематизација и класификација на дефектот на внатрешен или надворешен де-

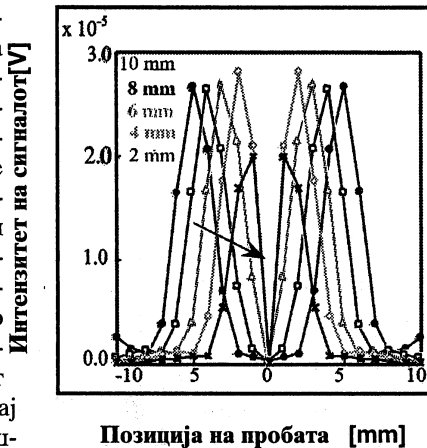
фект.

4.3. Дефекти со различна должина

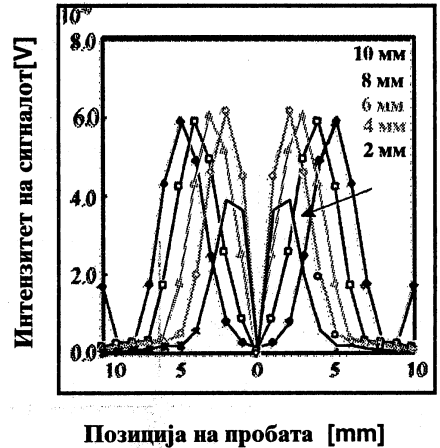
Најважните карактеристики кои ја дефинираат сериозноста на дефектот се неговата големина, должина и длабочина. Заради тоа најпрво ќе се запознаеме, како се дефинира должината на дефектот според добиениот сигнал од неdestructивната проба. За да го прикажеме тоа, направен е тест со помош на неколку дефекти со различна должина од 2 мм па се до 10 мм. Добиените сигнали за надворешен и внатрешен тип на дефекти се прикажани на сл. 8.

Веднаш може да се забележи дека формата на сигналите е многу слична како за

време да врши детекција и класификација меѓу повеќе сигнали по должината на дефектите и нивната позиција. Покрај овие заклучоци се наметнува уште еден многу важен. Ако го погледнеме сигналот кој одговара на дефектот од 2 мм, ќе видиме дека неговата форма е деформирана и не е во склад со останатите сигнали. Тоа укажува на уште еден многу важен фактор: димензиите на пробата мора да бидат усогласени со големината на дефектите кои се бараат, или со други зборови, најмал дефект кој може да се детектира со една проба, е со мерка на големина еднаква со големината на пробата. Ова го наметнува проблемот со детекција на многу мали дефекти што во овој момент не е доволно точно решен со помош на современите проби, напротив изискува



а) Внатрешен дефект 20 %



б) Надворешен дефект 20 %

Слика 8: Зависноста на сигналот во функција од должината на дефектот

внатрешните така и за надворешните дефекти. Но, исто така може да се заклучат и следните две многу важни информации:

Растојанието меѓу пиковите (амплитудите) на секој сигнал поодделно ја дава точно должината на дефектот во мм, и

Амплитудата на сигналот е поголема речиси два пати за внатрешните сигнали во однос на надворешните.

Имајќи ги во предвид овие два заклучока, не е тешко да се изработи едноставен експертски систем кој ќе може во секое

постојано истражување и изнаоѓање на поквалитетни и поусовршени типови на детектори.

4.4. Дефекти со различна длабочина

Диагностицирање на длабочината на дефектите заедно со нивната должина, е едно од најважните особини кои една неdestructивна проба мора да го има. Причината за тоа лежи во фактот што од овие два параметри на дефектот во најголема мерка зависи сериозноста на дефектот и неговото влијание врз сиг-

урноста на процесот кој се одвива. Заради тоа конструирање на проби кои можат со голема точност да направат класификација на дефектите по нивната должина и длабочина, едновремено можат да извршат и нивна класи-

белина. Како што веќе кажавме, длабочината на дефектите обично се изразува во проценти од дебелината на цевката. На сл. 9 дадени се четири графици на кои се прикажани добиените сигнали за шест видови на дефекти: три внатрешни

фазните карактеристики на сигналите.

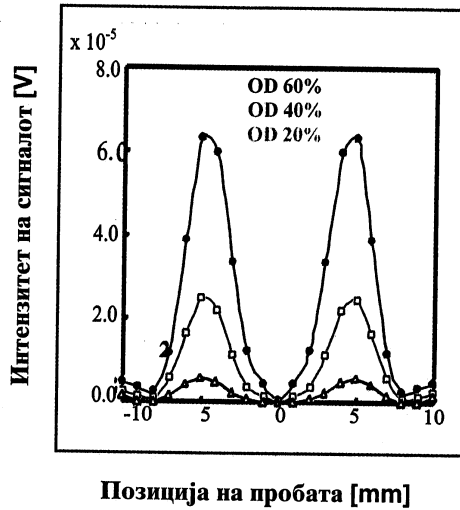
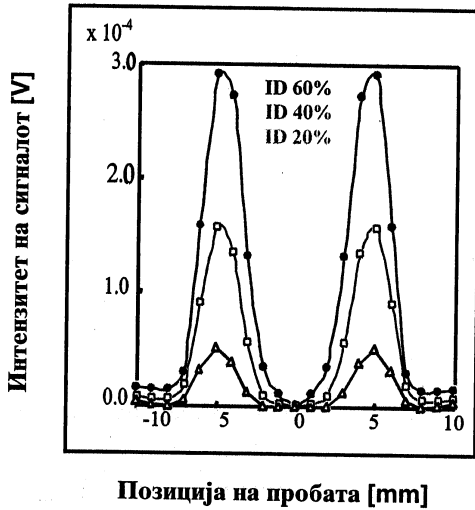
Да погледнеме кои информации може да се добијат од сигналите прикажани на Сл. 9. Најпрво може да се забележи дека амплитудите на сигналот можат да ја дефинираат

длабочината на сигналот, како и видот на дефектот, внатрешен или надворешен. Но, интензитетот на сигналот не може еднозначно да ја дефинира длабочината и позицијата на дефектот затоа што на пример, надворешен сигнал со длабочина од 60% има интензитет на сигналот кој има речиси иста вредност како и сигнал на внатрешен дефект со длабочина од 20%. Тука на помош може да се користи фазната карактеристика која го додефинира сигналот еднозначно. Имено, ако ги погледнеме сл. 9 в) и г) може да заклучиме дека:

с фазните карактеристики кои се добиваат за внатрешни дефекти се поместени во спротивна насока од насоката на стрелките на часовникот со намалување на длабочината на дефектот, и обратно с фазните карактеристики за надворешни сигнали се вртат во насока на стрелките на часовникот со намалување на длабочината на дефектот.

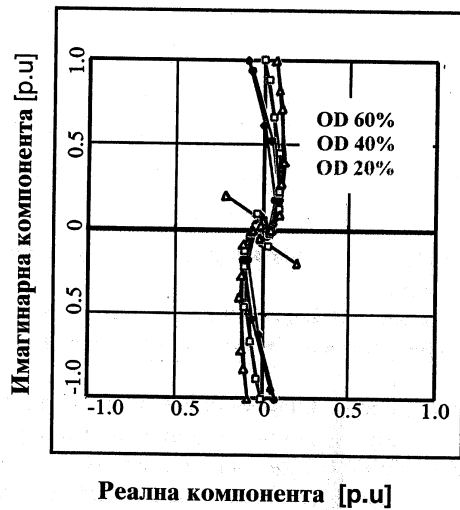
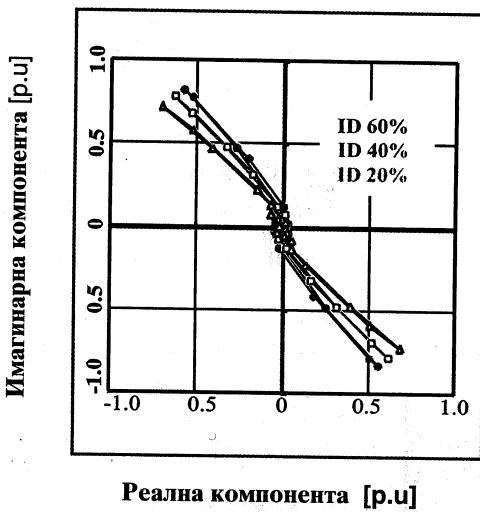
Користејќи ги овие две карактеристики, можно е еднозначно да се

дефинира големината, должината, длабочината и позицијата на дефектот со што е овозможена неговата точна детекција и систематизација. Да напомене дека во горенаведениот случај третирали се дефекти со иста



а) внатрешни дефекти

б) надворешни дефекти



Реална компонента [p.u.]

Реална компонента [p.u.]

а) внатрешни дефекти

б) надворешни дефекти

Слика 9: Амплитудни и фазни карактеристики на сигналите за внатрешни и надворешни дефекти со различна дебелина.

фикација по нивната опасност. Пробата со ротирачко поле која овде ја разгледуваме дава извонредно прецизни резултати врз основа на кои може да се изврши детекција, а со тоа и класификација на дефекти со различна де-

трешни сигнали со три различни дебелини (ID20%, ID40% и ID60%), и три надворешни дефекти со истите дебелини (OD20%, OD40% и OD60%). Сл. 9 а) и б) ги даваат амплитудните карактеристики, додека сликите в) и г)

должина (10 мм) што може веднаш да се забележи од амплитудната карактеристика. Кај сите сигнали амплитудите на сигналот се јавуваат во крајните точки од дефектот (+/- 5 мм) што укажува на фактот дека вистинската должина на дефектот е точно 10 мм.

4.5. Дефекти со различна форма (профил)

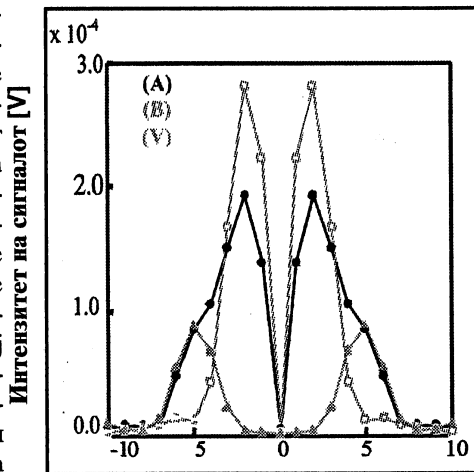
Детекцијата на формата (профилот) на дефектот е еден од најголемите проблеми при неструктуривната анализа на квалитетот на материјалот. Со оглед на важноста на точното определување на профилот на дефектот, особено внимание се посветува на конструирање на проби кои можат што поточно да го дефинираат тој профил врз основа на добиениот сигнал. Овде ќе прикажеме само еден типичен пример за дефект кој има скалест профил. На сл. 9 а) прикажани се три типични сигнали, скалест профил (А), длабок и краток внатрешен дефект (Б) и плиток и долг дефект (В). Да напоменеме дека дефектот со скалест профил (А) може да се добие како комбинација на дефектите со профили (Б) и (В). На сл. 9 б) се прикажани и добиените сигнали за сите три дефекти. Веднаш може да се заклучи дека слично на начинот на добивање на дефектот (А) како суперпозиција од дефектите (Б) и (В), исто така и сигналот добиен за дефектот (А), може да се добие како суперпозиција на сигналите добиени за дефект (Б) и (В): имено надворешниот дел од сигналот за профилот (А) одговара на истиот тој дел од сигналот за профилот (В), и обратно во централниот дел на сигналот имаме соодветен сигнал кој одговара на централниот сигнал добиен за профилот (Б). Накратко кажано, со помош на искуство

или соодветно конструиран експертен систем, детекцијата на комплексни дефекти е сепак возможна.

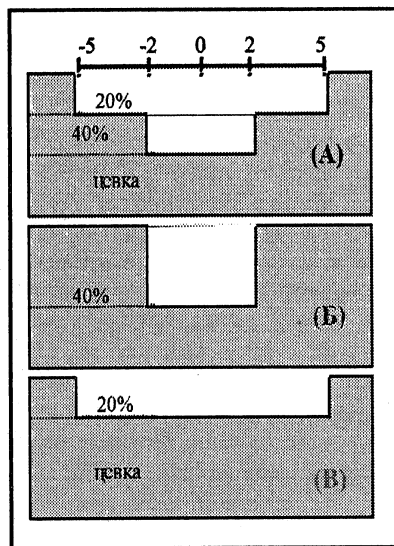
5. Што и како понатака?

Се поставува пршањето дали при постоење на вака софистицирани проби за неструктуривна анализа на материјалите, има простор за поната-

Но, како што овде прикажавме, процесот на детекција е брз, сигурен и точен само во случај на геометриски и материјално "чисти" испитни материјали. Што тоа значи во пракса? Ние овде третиравме релативно едноставни форми на испитен материјал - најголемата комплицираност доаѓаше од фактот што материјалот не беше рамна плоча туку цевка. Тука мора, комплицира-



Позиција на пробата [mm]



Слика 10: Сигнали добиени за неколку различни профили на внатрешни дефекти.

мошен нивен развој и ако постои, во кои правци би се одвивал тој развој. Веднаш да кажеме дека методологијата на неструктуривни тестови е сеуште многу далеку од својот зенит и дека постојат уште многу интересни и корисни идеи кои треба да се опфатат при идните истражувања во оваа област. Овде во овој параграф, накратко ќе се запознаеме со некој од овие можни области за истражување.

Веќе неколку пати напоменавме дека методата на неструктуривно тестирање со помош на вртложни струи има една многу важна особина, а тоа е можноста да се вршат профилатички испитувања како и детекција на квалитетот на материјалот речиси во работни услови.

носта на испитуваниот материјал да се усложни и доведе до реалност. За таа цел потребно е да се земат во предвид следните неколку фактори:

попречниот пресек на цевката не е константен по целата должина на испитуваниот материјал. Ова може да биде резултат како на потребите во технолошкиот процес (на пример, за зголемување или намалување на притисокот на пареата или топлата вода што протекува низ цевката), така и на несовршеноста на изработката. И двата случаеви резултираат со зголемен интензитет на бука во сигналот (noise) што доведува до грешки во мерењата, а со тоа и до грешки во детекцијата и естимацијата. За жал треба да се наведе дека



токму тие делови на цевката каде таа се проширува или стеснува се најкритични за појавата на дефекти во материјалот поради зголемените напрегања на материјалот во тој предел.

цевките најчесто не се самоносиви, туку се прицврстени или потпрени со или врз други делови кои помалку или повеќе се магнетни (челик) или немагнетни (бакар). Овие потпорни делови доведуваат до големи грешки при детекцијата на сигналите и мора да бидат адекватно земени во предвид. За жал се уште не се појавиле сензори (проби) кои можат да прават селекција на сигналите во зависност од нивниот извор.

цевките не се изведени од еден ист материјал туку најчесто станува збор за крути споеви изведени со заварување. Секој заварен спој е потенцијален извор на дефекти, шуплини во материјалот и сл. Од друга страна, термичките удари врз материјалот како резултат на заварувањето во голема мерка ја менуваат структурата на материјалот во делот на варот. Според тоа, сите параметри што важат за еден тип на материјал, по правило не можат да се земат истоветно и за дел од материјалот кој е заварен.

на крај да кажеме дека при анализата на дефектите прикажани во овој труд, ние третираме дефекти со конечни димензии, должина, длабочина и позиција на дефектот. Но, во реална ситуација, најчесто дефектите се премногу мали за да можат да им се припишуваат

овие димензионални карактеристики. Според тоа, потребни се проби или сензори кои ќе можат да работат со дефекти без дебелина, или дефекти со инфинитивно мала дебелина. Ова пак значително ги усложнува условите за детекција.

Кога на сето горенаведено ќе се додадат и барањата за што побрзо тестирање, особено кога се работи за големи објекти каде бројот и должината на цевките е значајно голем, како и фактот дека сензорите (пробите) мора да бидат релативно лесни (по габарит) и лесни за употреба дури и на релативно непрофесионален тим на испитувачи, тогаш веднаш доаѓаме до заклучокот дека потребата од понатамошни истражувања во оваа насока е значителна. Користењето на нови и експертски системи базирани на неуро-мрежи, генетски алгоритми, fuzzy-logic системи и вештачка интелигенција стануваат се подоминантен дел и заземаат главен простор при конструкцијата и изработката на модерните проби за неструктурна детекција.

6. Заклучок

Во овој труд се обидовме да направиме рекапитулација на методите за неструктурна анализа на електрично проводни материјали со помош на вртложни струи. Најпрво дадовме краток историски преглед на методот и се осврнавме на неговите предности и недостатоци во однос на некои други методи. Се запознавме со некои видови на проби кои имаат повеќе историско отколку апликативно значење, за потоа подетално да се запознаеме со еден типичен претставник на модерните видови на проби, т.н. проба со ротирачко поле. Видовме на што се базира

нејзиниот принцип на работа, а исто така и научивме како се читаат и анализираат резултатите (сигналите) кои се добиваат со помош на овој вид на проба. Анализираме неколку типични случаи каде беа анализирани и класифицирани повеќе типови на дефекти кои најчесто се јавуваат во обичниот живот, а тоа се дефекти со различна должина, длабочина, профил како и позиција во однос на сензорот и материјалот кој се испитува. На крајот на трудот дадовме и неколку насоки каде истражувањата во оваа област се концентрираат во последните години со идеи за идните истражувачи кои би сакале да се обидат во ова поле. Покажавме дека станува збор за многу перспективна област како за истражување така и за практична примена со што би се постигнала многу посигурна работа на процесите кои денес се третираат како процеси со висок ризик како што се процесите во гасната и нафтената индустрија, а особено во нуклеарната техника.

Благодарност

Авторот сака да ја искиже својата благодарност на Проф. Д-р Хидео Јамашита со кого поголем дел од овие истражувања авторот ги вршеше за време на својот престој на Универзитетот во Хирошима, Јапонија. Исто така сакам да се заблагодарам на колегите при Јапонското Друштво за Применета Електромагнетика (JSEAM - Japan Society for Applied Electromagnetics) со кои заеднички е конструирана пробата со ротирачко поле која е користена во овој труд. На крај, благодарност и за компанијата за нуклеарна технологија при Јапонската корпорација (Mitsubishi Nuclear Fuels) која го финансираше овој проект во целост.

Литература

- [1] R. Collins et al., (Eds.) "Nondestructive Testing of Mate-

rials", ISBN: 90 5199 2394, IOS Press, Amsterdam, 1995.

[2] T. Takagi et al., "Banchmark Models of Eddy Current Testing for Steam Generator Tube: Exprimment and Numerical Analysis", International Journal of Applied Electromagnetics in Materials, 5 (1994), 149-162.

[3] Z. Badic, Y. Matsumoto, S. Kojima, Y. Usui, K. Aoki, F. Nakayasu and A. Kurokawa, "Electromagnetic Nondestructive Evaluation", IOS Press, pp. 303-309, 1997.

[4] M. Hashimoto et al., "ECT

Research Activities in JSAEM - Banchmark Models of Eddy Current Testing for Steam Generator Tube - Part 2", ISBN: 90 5199 2394, IOS Press Amsterdam, 1995, 313-260.

[5] M. Hayakawa, V. Cingoski, K. Kaneda and H. Yamashita, "Evaluation of Two Types of Edge Finite Elements for 3D Nondestructive Eddy Current Testing Compuation", Proceedings of the Asian Joint Seminar on Applied Electromagnetics, Tokyo (1997).

[6] V. Cingoski, M. Hayakawa, K. Kaneda and H. Yamashita, "On the Properties of Mixed ConsistenTly and Non-Con-sis-

tently First Order Edge Finite Elements", Proceeding of the IGTE'98 Conference, Graz, Austria (1998).

[7] H. Hosokawa and K. Ogawa, "Eddy Current Testing Probe using Rotating Direction Eddy Current", The Japanese Society for Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 3, No. 3, (1995), 36-42.

[8] M. Hayakawa, V. Cingoski, K. Kaneda and H. Yamashita, "Evaluation of Characteristics of a Rotating Eddy-Current Probe for ECT using Edge FEM", Electromagnetic Nondestructive Evaluation (II), R. Albanese et al. (Eds), IOS Press, (1998), 170-17

ЦЕНТРАЛНО ГРЕЕЊЕ И ЗА ЧАИР, ТОПАНСКО ПОЛЕ И СКОПЈЕ СЕВЕР

Топланата Скопје Север ќе се тестира во септември

Проблеми може да се јават доколку мнозинството од домаќинствата не се согласат нивната зграда да се приклучи на централното греење, затоа што во тој случај приклучувањето нема да биде исплатливо

Изградбата на топланата Скопје-Север, преку која од идната грејна сезона жителите на населбите Топанско поле, Скопје-Север и Чаир во своите домови ќе добијат топли радијатори, е во завршна фаза. Потребната опрема за про- функционирање на топланата веќе се монтира и се очекува да се комплетира до средината на септември кога и овој објект пробно ќе се пушти во работа. Досега се изведени околу 5,5 километри од магистралната и секундарната топлификациона мрежа, поточно до населбите Скопје Север и Топанско Поле, а во тек е поставувањето на водовите на улицата Цон Кенеди.

На оваа топлана ќе може да се приклучат само колективните стамбени објекти, додека индивидуалните засега не се опфатени со овој проект. Околу условите и начинот за приклучување на топлификационата, мрежа заинтересираните, преку претставници на кукните совети, можат да се информираат во АД "Топлификација". За да можат жителите од населбите Скопје Север, Топанско Поле и Чаир полесно да дојдат до информации во врска со приклучувањето на топлификационата мрежа, Топлификацијата обезбеди стручно лице на кое ќе може да му се обратат. Претставник на оваа претпријатие секој работен ден ќе се наоѓа во просториите на Месната заедница Рајко Жинзифов, и од 17 до 19 часот ќе контактира со сите оние кои се заинтересирави да се приклучат на централното греење.

Истовремено со изведбата на магистралната и секундарната мрежа, моментно се работи и на поставување на приклучоци од приклучните шахти до потстаниците на објектите кои веќе имаат внатрешна инсталација. Тоа се колективните објекти кои се наоѓаат на улиците Боро Менков, Гоце Стојчески и Тале Христов. Поради тоа, за да се монтираат приклучоците што побрзо, во интерес и на станарите на овие објекти е да им овозможат на нашите екипи непречен пристап до визбените простории, вели Рисо Спировски, помошник-директор за развој во "Топлификација". Дополнителни проблеми може да се јават доколку мнозинството од домаќинствата не се сложат нивната зграда да се приклучи на централното греење. Во таков случај, додава Спировски, тој објект нема да се поврзе на топлификационата мрежа; бидејќи тоа нема да биде економски исплативо. Доколку, пак, помал дел од станарите не сакаат да се приклучат, треба само да дозволат цевките за централното греење да минуваат преку нивните станови.

Инаку станарите на овие згради во кои има поставено внатрешна инсталација, за поврзување од приклучната шахта до потстаницата треба да платат по 200 германски марки за метар должина, а вкупната цена потоа се дели на бројот на домаќинствата што ќе се приклучат. Оние, пак, кои во своите домови немаат внатрешна инсталација, за нејзино поставување ќе треба да платат по 50 германски марки за квадратен метар стамбена површина.

T.M