



Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovska 3, 1000 Ljubljana, telefon/faks 01 422 4622 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
izr. **prof. dr. Matjaž Mikoš**
Jakob Presečnik
MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. Branko Zadnik
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**
FG Maribor: **Milan Kuhta**
ZAG: **prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektorica:

Alenka Raič Blažič

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3000 izvodov

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na <http://www.zveza-dgits.si>.

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5500 SIT; za študente in upokojene 2200 SIT; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 40.687,50 SIT za en izvod revije; za naročnike iz tujine 100 USD. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
02017-0015398955

Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, april 2005, letnik 54, str. 85-112

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

- Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
- Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
- Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
- Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnimi presledki med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ..., naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.
- Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
- Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

stran **86**

mag. Karmen Ribič Rep, univ. dipl. inž. kem. teh.,
izr. prof. dr. Boris Kompare, univ. dipl. inž. grad.

NAČRTOVANJE ČISTILNE NAPRAVE GLEDE NA KAKOVOST ODVODNIKA WASTEWATER TREATMENT PLANT DESIGN ACCORDING TO QUALITY OF THE RECEIVING WATER

stran **95**

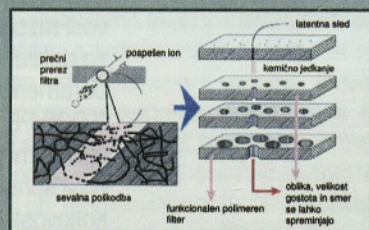
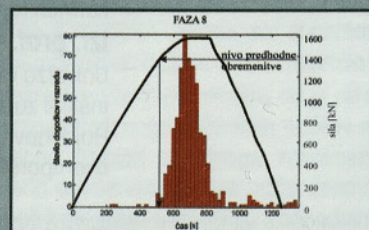
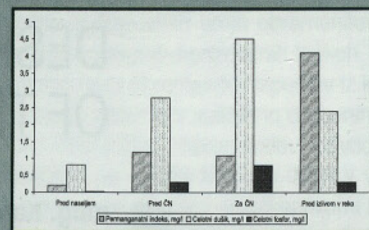
mag. Žiga Bajt, univ. dipl. inž. str.,
doc. dr. Andraž Legat, univ. dipl. inž. fiz.,
doc. dr. Jana Šelih, univ. dipl. inž. grad.

SPREMLJANJE NAPREDOVANJA POŠKODB UPOGIBNO OBREMENJENIH ARMIRANOBETONSKIH ELEMENTOV Z ANALIZO AKUSTIČNE EMISIJE MONITORING OF DAMAGE PROPAGATION IN FLEXURALLY LOADED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS BY MEANS OF ACOUSTIC TECHNIQUE

stran **103**

Katarina Jelen, univ. dipl. gosp. inž.,
Matjaž Tanjšek, univ. dipl. inž. grad.,
mag. Lucija Hanžič, univ. dipl. inž. grad.,
mag. Andrej Ivanič, univ. dipl. inž. grad.,
dr. Radomir Ilić, univ. dipl. inž. metal.

UPORABNOST IONSKIH FILTROV IZ CR-39 V GRADBENIŠTVU UTILIZATION OF CR-39 ION FILTERS IN CIVIL ENGINEERING



Novice iz društev in ZDGITS

Slovensko društvo za zaščito voda
ZDGITS je v letu 2004 poslovala uspešno
Posebno obvestilo

Novi diplomanti gradbeništva

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Spremljanje upogibnega preskusa prednapetega mostnega nosilca z metodo akustične emisije, foto: Matjaz Zupanc

NAČRTOVANJE ČISTILNE NAPRAVE GLEDE NA KAKOVOST ODVODNIKA WASTEWATER TREATMENT PLANT DESIGN ACCORDING TO QUALITY OF THE RECEIVING WATER

mag. Karmen RIBIČ REP, univ. dipl. inž. kem. teh.

Nigrad d.d., Zagrebška cesta 30, 2000 Maribor
karmen.rep@nigrad.si

izr. prof. dr. Boris KOMPARE, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Inštitut za zdravstveno hidrotehniko
Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana
bkompore@fgg.uni-lj.si

Strokovni članek

UDK 628.32:628.11

Povzetek | Pri sedanjem načinu načrtovanja odvajanja in čiščenja odpadnih vod je kakovost površinskih vod v Sloveniji ogrožena. Za povirne, majhne in celo srednje velike dele vodotokov je doseganje zakonsko predpisanih emisijskih koncentracij onesnaževal na iztoku iz čistilne naprave praviloma preohlapen kriterij za dimenzioniranje. Količino in kakovost razbremenjene in čiščene odpadne vode je treba načrtovati z upoštevanjem pogojev za dobro kakovost sprejemnika. Nujnost uvedbe novega pristopa utemeljujemo z analizo obremenitev vodotoka za realno kanalizacijsko omrežje in čistilno napravo kapacitete 2 000 PE. Občutno in stalno čezmerno obremenjevanje potoka je glede na okoljske (imisijske) mejne vrednosti prisotno tako v deževnih kot v sušnih pogojih. Samočistilna sposobnost sprejemnika ne zadošča za prevzem onesnaženja in sočasno izboljšanje njegovega kakovostnega razreda. V prispevku bomo pokazali, da bi s sanacijo stanja do nivoja doseganja mejnih vrednosti za kakovost iztoka iz čistilne naprave nadaljevali s čezmernim obremenjevanjem potoka. Sanacijo bo zato treba načrtovati na podlagi imisijskih mejnih vrednosti z upoštevanjem največjih dopustnih dnevnih obremenitev (NDDO), saj bomo le tako lahko v doglednem času zagotovili dobro kakovost odvodnika.

Summary | The surface water quality of the Slovenian watercourses is at risk due to the present policy of wastewater collection and treatment. Especially spring areas, small- to medium-sized creeks and rivers cannot bear the loads of even treated wastewater that fulfills the present legislative maximal concentration limits on the discharge to the watercourse. Thus, also the total load and not only the concentration in the effluent of the overflows or treated wastewater must be taken into account to obtain a good quality of the water body. The urgent need to implement this approach is demonstrated with an analysis of a small creek that receives combined sewers overflows and treated wastewater from a wastewater treatment plant (WWTP) of 2 000 PE. Permanent and significant overloading of the creek is evident taking into account environmental criteria either in dry or wet weather. The self purification capacity is far too low to overcome the load and, and at the same time, to improve the quality status of the creek. The paper shows that following only the emission standards for the outlet from the WWTP the creek receives too high daily loads. The sanitation measures will have to be designed in accordance with total maximum daily loads (TMDL), because this is the only way how to improve the watercourse's quality on a long run.

SEZNAM OKRAJŠAV

BPK₅ – biokemijska potreba po kisiku v petih dneh • ČN – čistilna naprava • KPK – kemijska potreba po kisiku • PE – populacijski ekvivalent • WFD – Water Framework Directive • WWTP – Wastewater Treatment Plant

1 • UVOD

Z razbremenjevanjem in z iztoki iz čistilnih naprav odvajamo v okolje precejšnje količine onesnaženja. Količina ter kakovost izpuščene odpadne vode je odvisna od pravilne zasnove in dimenzioniranja kanalizacije, zadrževalno razbremenilnih objektov in čistilnih naprav.

Izredno pomembna je usklajenost teh objektov z zmogljivostjo in tehnologijo čistilne naprave ter s samočistilno sposobnostjo odvodnika. V praksi pogosto ugotavljamo neuskklajenost, do katere je prišlo predvsem zaradi nesočasnega načrtovanja, različnih metod dimenzioniranja in različnih izvajalcev posameznih segmentov načrtovanja. Prav ta neuskklajenost je po naši presoji najpomembnejši razlog slabega delovanja in majhnih učinkov čiščenja čistilnih naprav ter posledičnega preseganja emisijskih in imisijskih mejnih vrednosti. Čezmerne koncentracije onesnaževal v izpustih iz teh objektov imajo za posledico čezmerno obreme-

njevanje vodotokov in slabšanje njihovega kakovostnega stanja.

Odvajanje in čiščenje odpadne vode je treba obravnavati kot celovit, skladno delujoč sistem. Zavedati se moramo, da je teoretično odvajanje in čiščenje končano šele z ustrežno stopnjo čiščenja odpadne vode in namenjeno predvsem higienizaciji življenjskega in naravnega okolja ter prilagajeno zahtevam za varovanje odvodnika (Rep, 2000). Dejansko pa je odvajanje in čiščenje končano šele v naravi s procesi samočiščenja, ki jih je treba upoštevati, ne smemo pa jih preceniti.

Pomen celovitega in sistematičnega načrtovanja nameravamo prikazati na primeru realnega sistema odvajanja in čiščenja odpadnih voda. Pri tem izhajamo iz podatkov spremljanja obratovanja kanalizacijskega sistema, čistilne naprave ter spremljanja obremenitve odvodnika. Izmerjene vrednosti vred-

notimo glede na zahteve zakonodaje za emisije, imisije ter glede na kriterije za pričetek evtrofikacije v počasi tekočih vodotokih.

Da bi se čimbolj približali dejanskim obremenitvam vodotoka, kar je še posebej pomembno pri razbremenjevanju surove odpadne vode, izhajamo iz dopustnih urnih obremenitev potoka na posameznih opazovanih točkah. Tako računamo urno obremenitev izpustov iz kanalizacijskega sistema v sušnih in deževnih razmerah. Posledično obremenitev odvodnika primerjamo na celotni trasi do izliva v večjo reko z dopustnimi urnimi obremenitvami zaradi doseganja ciljnega kakovostnega razreda. Na podlagi sklepov te primerjave oblikujemo okvirne sanacijske ukrepe za obravnavano kanalizacijsko omrežje in čistilno napravo.

S prispevkom želimo pokazati, da je pri načrtovanju kanalizacije in čistilnih naprav nujno potrebno izhajati iz ciljnega kakovostnega razreda odvodnika. Na tak način želimo prispevati k celovitemu ravnanju z odpadnimi vodami in k hitrejšemu obvladovanju kakovosti površinskih in podzemnih voda.

2 • METODA DELA

Na področju upravljanja in vzdrževanja javne kanalizacije in čistilnih naprav (ČN) so najbolj pereči problemi povezani z velikimi obratovalnimi stroški in s čezmernimi emisijami, ki povzročajo preseganje imisijskih vrednosti v površinskih vodotokih ali v podtalnici. Sanacija kanalizacijskega omrežja in čistilne naprave je povezana z velikimi investicijami, praksa pa kaže, da je verjetnost doseganja ciljev sanacije negotova.

Doslej smo probleme čezmernih emisij in stroškov praviloma reševali vsakega zase. Rešitve so bile lahko optimalne za obravnavani del sistema, vendar mnogokrat niso prinesle želenega izboljšanja njegovega delovanja. Izkušnje kažejo, da se je namesto na del sistema potrebno osredotočiti na celoten sistem in določiti optimalne pogoje njegovega obratovanja. Sočasno je treba optimizirati emisije uporabnikov, objekte javne kanalizacije in ČN. Pri tem je treba upoštevati želeni kakovostni razred odvodnika. Kanalizacijski sistem in ČN je treba upravljati celovito, kar nam v nasprotju s prej navedenim pristopom omogoča optimalne investicije, obratovalne parametre in obratovalne stroške. (Ribič Rep, 2004).

Slovenska zakonodaja jasno navaja, da je ustrezno čiščenje odpadne vode tisti obseg

čiščenja, ki zagotavlja s predpisi na področju kakovosti površinskih in podtalnih voda določeno kakovost odvodnika. Za presojo uresničenosti navedene zahteve naredimo posnetek stanja kakovosti vodotoka na odzemnem mestu, kjer ni možnosti za njegovo onesnaženje. Kvaliteto vodotoka na tem mestu primerjamo z njegovo kvaliteto za točkami razbremenjevanja in za izpustom ČN. Glede na sedanjo in potencialno rabo vodotoka, njegove hidravlične in morfološke lastnosti ter potencialni vpliv na kakovost podtal-

nice, sprejmemo skupaj s pristojnimi organi odločitev o kakovostnem razredu, ki je potreben za obravnavani vodotok. S tem so določene maksimalne koncentracije škodljivih snovi v vodotoku. Tem vrednostim moramo prilagoditi obseg obremenjevanja vodotoka pri razbremenjevanju in pri odvajanju čiščenih odpadnih vod iz ČN.

Šele na podlagi rezultatov navedenih celovitih raziskav določimo največje emisijske vrednosti oziroma zgornje robne pogoje obremenjevanja vodotoka, ki mu sledi presoja tehnologije razbremenjevanja in čiščenja odpadnih voda ter možnosti doseganja teh pogojev z obstoječo tehnologijo in regulacijo strojne opreme.

3 • EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Realni sistem odvajanja in čiščenja odpadne vode

V nadaljevanju podajamo osnovne značilnosti in tehnične karakteristike realnega sistema odvajanja in čiščenja odpadnih vod oziroma tistih objektov in procesov, ki bistveno vplivajo na obremenjevanje odvodnika.

V letu 1979 je bil za obravnavano podeželsko naselje zasnovan del javne kanalizacije in čistilna naprava za čiščenje odpadnih vod (IB MB, 1979b). Gravitacijsko območje načr-

tovanega sistema je zajemalo približno 70 hektarov površin, ki se raztezajo med reko in pobočjem hribovja.

V nižinskih predelih je tedaj živelo približno 1 200 prebivalcev, za katere je bila predvidena priključitev na javno kanalizacijo. V obravnavo so bile vključene odpadne vode tedajnjega podjetja za proizvodnjo kurilnih naprav ter bencinske črpalke s pralnico in gostinskim lokalom. Ugotovljeno je bilo, da sta omenjeni podjetji predvsem vir komunalnih odpadnih

vod. Za morebitne tehnološke odpadne vode je bila izpostavljena splošna zahteva po predčiščenju pred izpustom v javno kanalizacijo.

Glede na značilnosti gravitacijskega območja je projektant izbral tehnologijo nizkoobremenjene biološke čistilne naprave z aerobno stabilizacijo blata, ki zagotavlja zaradi enostavnosti tehnologije in opreme tudi maksimalno obratovalno varnost.

Načrtovana končna kapaciteta ČN je bila 4 000 PE. V povezavi z velikostjo naselja je projektant predvidel velika nihanja v dotoku. Tehnologija je bila izbrana tako, da bi bila sposobna prevzeti sunkovite hidravlične in biokemijske obremenitve brez bistvenega poslabšanja kakovosti iztoka ČN, saj ima odvodnik zelo nizke pretoke, še posebej v poletnem času. Izbrana tehnologija omogoča visoko kakovost izpusta odpadne vode.

Čistilno napravo sestavljajo objekti, izvedeni v zaporedju: dotok z razbremenjevanjem, črpališče, grablje, peskolov, prezračevalni bazen, sekundarni usedalnik, iztok v odvodnik. Stabilizacija blata se izvaja na sušilnih gredah. Glede na tedanje zahteve zakonodaje je bila ČN izvedena predvsem za odstranjevanje ogljikovih spojin. Eliminacija celotnega dušika in fosforja ni bila predvidena. Izbran je bil fazni pristop k izgradnji.

Objekti so bili z nekaterimi izjemami izvedeni od prve faze z zmogljivostjo 2 000 PE. Gradbeni objekt prezračevalnega bazena je bil izveden do kapacitete 3 600 PE. V črpališču sta bili vgrajeni črpalke za odpadno vodo in povratno blato v svoji končni kapaciteti. Kljub pravilnemu načrtovanju pri izvedbi ni bila realizirana potreba po večjem razbremenjevanju na čistilni napravi, in to kljub graditvi mešanega kanalizacijskega sistema skozi deloma močvirni teren ter ne glede na hribovito zaledje.

Odvodnik odpadnih vod je manjši potok. Sprejema večjo količino najbolj obremenjenih vod prvega naliva ter razbremenjene in čiščene odpadne vode.

V sušnih obdobjih ima potok na območju naselja počasen tok, značilen za nižinsko konfiguracijo terena. Ob večjem deževju se njegov pretok zaradi dotekanja zalednih in hourniških vod poveča za približno 100-krat. Določitev biološke kakovosti odvodnika je že v času preskusnega obratovanja pokazala, da je potok beta mezo-saproben. V potoku živi majhno število živalskih vrst, zato je ekološko izredno ranljiv.

Glede na emisijske mejne vrednosti čistilna naprava čezmerno obremenjuje potok s kemij-

sko in biološko razgradljivimi snovmi ter z dušikovimi in fosforjevimi spojinami. Z letom 2006 bodo presežene tudi dopustne emisijske mejne vrednosti neraztopljenih snovi. Glede na veljavne imisijske mejne vrednosti za površinske vode, v katerih je mogoče življenje cipridnih rib, je potok čezmerno obremenjen z organskimi snovmi, amonijevim in nitritnim dušikom ter s fosforjevimi spojinami. Vsebnost dušikovih in fosforjevih spojin presega mejne vrednosti, ki pogojujejo pričetek eutrofikacije v tekočih vodah, (Ur. l. RS 31/01).

Razmerje pretoka potoka in pretoka na izpustu ČN je 5:1. Izpust predstavlja 20 % srednjega pretoka odvodnika, ki smo ga določili z enkratnim merjenjem v zimskem (sušnem) obdobju leta. Glede na navedena dejstva povzemamo, da sta slaba obratovalna stabilnost ČN in trajno preseganje maksimalno dopustnih koncentracij v izpustu znatno pripomogla k poslabšanju kakovosti potoka.

3.2 Spremljanje delovanja čistilne naprave

Kakovost in količino odpadne vode v javnem kanalizacijskem sistemu ter ustreznost obstoječe čistilne naprave (ČN) smo določili s pomočjo terenskih meritev in laboratorijskih analiz reprezentativnih vzorcev odpadne vode po standardiziranih metodah (Ribič Rep, 2004), (Ur. l. RS 35/96a).

Obratovalno stanje ČN smo določili na podlagi podatkov spremljanja dotoka, iztoka in aktivnega blata v biološkem reaktorju.

3.2.1 Dotok na čistilno napravo

Vzorčenje dotoka ČN je bilo med letom enakomerno porazdeljeno, s čimer smo želeli zajeti obdobja z različnim deležem tujih vod. Odvzeli smo 24-urne, pretočno sorazmerne vzorce, v razmerah brez dežja. Parametri na dotoku ČN so predstavljeni v preglednici 1 (Nigrad, 2001), (Nigrad, 2002).

3.2.2 Obremenitev dotoka čistilne naprave

Zmogljivost komunalne čistilne naprave je po definiciji (Ur. l. RS 31/01) izmerjena ali izračunana sposobnost čiščenja komunalne odpadne vode pri njeni največji obremenitvi. Za največjo obremenitev čistilne naprave štejemo največjo povprečno tedensko obremenitev v stanju običajnega obratovanja. Čistilna naprava zmora pri tej obremenitvi odpadno vodo očistiti do kvalitete, opredeljene z dopustnimi emisijami na izpustu v okolje (Ur. l. RS 35/96b).

Obremenitev merimo v populacijskih ekvivalentih, PE, ki jih za ČN običajno izražamo s (Roš, 2001), (Imhoff, 1999):

- PE_{W150} : Dnevno količino odpadne vode na prebivalca 150 l/(preb.*d),
- $PE_{K120-150}$: KPK na prebivalca med 120–150 gKPK/(preb.*d),
- PE_{B50-60} : BPK5 na prebivalca med 50–60 g BPK5/(preb.*d)
- PE_{P3-5} : Celotni fosfor med 3–5 g P/(preb.*d), odvisno od uporabe pralnih praškov s fosfati in
- PE_{N12-15} : Celotni dušik med 12–15 g N/(preb.*d), odvisno od sestave prehrane.

Dejansko obremenitev čistilne naprave smo računali na podlagi podatkov iz preglednici 1. Rezultati izračuna so prikazani v preglednici 2. Čistilna naprava spada po vseh opazovanih parametrih razen glede na celotni fosfor med objekte z obremenitvijo, večjo od 2 000 PE. Vendar pa pri izračunani dejanski obremenitvi ČN ne ustreza zahtevam za učinek čiščenja in za emisije v okolje.

3.2.3 Razvrstitev čistilne naprave

Prispevke različnih vrst odpadne vode smo izračunali na podlagi podatkov o:

- povprečnem pretoku in koncentraciji KPK na dotoku čistilne naprave,
- koncentraciji KPK v dotoku komunalnih odpadnih vod na čistilno napravo glede na število

Parameter	Izraženo kot	Enota	Izmerjena vrednost		
			Povprečno	Najmanj	Največ
Količina odpadne vode v času vzorčenja	–	m ³ /dan	805	263	1923
Sušni pretok	–	l/s	9,3	3,0	22,2
Neraztopljene snovi	–	mg/l	175	28,5	353
Amonijev dušik	N	mg/l	19,6	12,3	26,0
KPK	O ₂	mg/l	286	109	576
BPK ₅	O ₂	mg/l	164	35	340
Celotni fosfor	P	mg/l	3,3	2,2	4,9
Celotni dušik	N	mg/l	35,8	23,0	68,1

Preglednica 1 • Parametri na dotoku čistilne naprave

Obremenitev glede na	Izraženo s	Leto	Letna obremenitev v PE		
			Povprečno	Najmanj	Največ
Dnevno količino odpadne vode	PE _{W150}	2001	4004	1933	8800
		2002	7287	1735	12820
KPK	PE _{K120}	2001	1522	840	2774
		2002	2144	419	5977
BPK ₅	PE _{B60}	2001	2138	1474	3275
		2002	895	296	1112
Celotni fosfor	PE _{P5}	2001	336	264	492
		2002	896	514	1071
Celotni dušik	PE _{N13}	2001	1756	1118	2250
		2002	4019	1934	5726

Preglednica 2 • Izmerjena obremenitev čistilne naprave v PE

Vrsta odpadne vode	Obremenitev (KPK), kg/dan	Delež, %
Industrijske in tuje	26,7	13
Komunalne	179,8	87
Skupaj	106,5	100

Preglednica 3 • Snovna obremenitev dotoka čistilne naprave glede na KPK

Parameter	Izraženo kot	Enota	Mejna vrednost	
			do 31. 12. 2005 6. člen Uredbe	po 1. 1. 2006 2 000 do 10 000 PE
Neraztopljeni snovi	–	mg/l	–	60
BPK ₅	O ₂	mg/l	30	25
KPK	O ₂	mg/l	160	125
Amonijev dušik*	N	mg/l	15	10
Celotni fosfor	P	mg/l	10	–

*Mejna vrednost za amonijev dušik velja pri temperaturi odpadne vode 12°C in več na iztoku iz prezračevalnega bazena.

Preglednica 4 • Mejne vrednosti parametrov odpadnih vod za komunalne čistilne naprave

lo priključenih prebivalcev, izračunani iz podatkov spremljanja njenega obratovanja. Pri izračunu v preglednici 3 smo upoštevali, da je 1 PE = 120 kg/KPK.

Glede na parameter KPK znaša obremenitev odpadnih vod, ki jo prispevata industrija in tuje vode, približno 13 %, zato sodi čistilna naprava med komunalne čistilne naprave (Ur. l. RS 35/96c). Njene emisije je treba vrednotiti po zahtevah zakonodaje, ki veljajo za komunalne čistilne naprave.

3.2.4 Vrednotenje učinka čiščenja in emisij v vode

Podlaga za določitev pogostosti vzorčenja odpadnih in čiščenih odpadnih vod je državna zakonodaja, ki predvideva za ČN velikostnega razreda 2 000 PE odvzem najmanj štirih 24 urnih reprezentativnih vzorcev dotoka in iztoka na leto (Ur. l. RS 35/96a).

Izpust obravnavane čistilne naprave vrednotimo do 31. 12. 2005 kot iztok "stare" čistilne naprave po 6. členu Uredbe o emisiji snovi iz komunalnih čistilnih naprav (Ur. l. RS 35/96b). S 1. 1. 2006 mora čistilna naprava na iztoku

dosegati nižje mejne vrednosti, določene v preglednici 4.

Parameter	Izraženo kot	Enota	Izmerjena vrednost		
			Povprečno	Najmanj	Največ
Količina odpadne vode v času vzorčenja	–	m ³ /d	805	263	1923
Neraztopljeni snovi	–	mg/l	62	15	103
Amonijev dušik	N	mg/l	16,34	8,26	25,97
KPK	O ₂	mg/l	113	61	180
BPK ₅	O ₂	mg/l	61	12	130
Celotni fosfor	P	mg/l	2,86	1,15	4,3
Celotni dušik	N	mg/l	32,73	14,08	59,28
Nitrati dušik	N	mg/l	1,46	1	4,45
Nitritni dušik	N	mg/l	0,17	0,02	0,52

Preglednica 5 • Parametri na iztoku čistilne naprave

Parameter	Učinek čiščenja, %		
	Povprečno	Najmanj	Največ
KPK	50	11	84
BPK ₅	55	9	72
Celotni fosfor	11	-27	58
Celotni dušik	7,5	-24	49

Preglednica 6 • Učinek čiščenja čistilne naprave

Rezultati spremljanja kakovosti iztoka so podani v preglednici 5 (Nigrad, 2001), (Nigrad, 2002).

Ugotovljamo, da emisije iz čistilne naprave ne zadovoljujejo mejnih vrednosti za izpust v vodotoke. Glede na zahteve zakonodaje za obdobje do 31. 12. 2005 so mejne vrednosti pogosto presežene pri amonijevem dušiku, KPK in BPK₅. Koncentracija celotnega fosforja je daleč pod dopustnimi emisijskimi mejnimi vrednostmi.

Glede na strožje zahteve zakonodaje, ki bodo priče veljati 1. 1. 2006, so mejne vrednosti pogosto presežene za neraztopljene snovi, KPK in BPK₅ ter praviloma za amonijev dušik. Koncentracija celotnega fosforja ne bo več omejena, čeprav so fosforjeve spojine eden izmed glavnih razlogov za eutrofikacijo površinskih voda.

Predpisi glede na značilnosti obravnavane ČN ne podajajo posebnih zahtev za učinek čiščenja. Zato smo ga vrednotili na podlagi podatkov spremljanja delovanja čistilnih naprav z aerobno stabilizacijo aktivnega blata. Pri optimalnih obratovalnih pogojih in ustreznih lastnostih dotoka dosegajo glede na parametra KPK in BPK₅ učinek med 85 in 95 %.

Povprečni učinki čiščenja opazovane ČN so znašali v letih 2001 in 2002 precej manj od značilnih za dobro delujoče ČN z razpršeno biomaso.

V preglednici 7 prikazujemo obremenitev iztoka čistilne naprave, ki se med dnevom spreminja. Za prikaz obremenitve smo izbrali

Parameter	Izraženo kot	Enota	Izmerjena vrednost		
			Povprečno	Najmanj	Največ
Količina odpadnih vod	–	m ³ /h	33,5	10,9	80,1
Neraztopljene snovi	–	kg/h	2,07	1,01	2,32
Amonijev dušik	N	kg/h	0,55	0,21	1,43
KPK	O ₂	kg/h	3,78	1,78	6,10
BPK ₅	O ₂	kg/h	2,04	0,48	2,63
Celotni fosfor	P	kg/h	0,09	0,02	0,27
Nitrat	N	kg/h	0,05	0,01	0,14
Nitrit	N	kg/h	0,006	0,001	0,021

Preglednica 7 • Obremenitev iztoka čistilne naprave

4 • RAZPRAVA O REZULTATIH

V Evropski skupnosti so v okviru Vodne direktive (WFD, 2000/60/EC) opredeljeni splošni kriteriji za razvrščanje površinskih vodotokov v kakovostne razrede. Vendar v Evropski skupnosti kot tudi v Sloveniji trenutno še ne obstajajo konkretni kriteriji, ki bi omogočali določitev kakovostnih razredov manjših vodotokov (Uredba o kemijskem stanju površinskih voda, (Ur. l. RS 11/02)). Določena pa je kako-

Največja dopustna obremenitev potoka je torej podana z imisijskimi (okoljskimi) mejnimi vrednostmi in s koncentracijami, ki pričnejo pogojevati evtrofikacijo počasi tekočih vodotokov. Mejna koncentracija KPK ni določena, zato smo na podlagi lastnih izkušenj izbrali vrednost 10 mg/l. Sprejemljiva sušna obremenitev vodotoka je prikazana v preglednici 8.

Parameter	Izražen kot	Enota	Vrednost
Količina vode	–	m ³ /h	162
Neraztopljene snovi	–	kg/h	4,05
Amonijev dušik	N	kg/h	0,08
KPK	O ₂	kg/h	1,62
BPK ₅	O ₂	kg/h	0,97
Celotni fosfor	P	kg/h	0,02
Nitrat	N	kg/h	0,32
Nitrit	N	kg/h	0,002

Preglednica 8 • Dopustna obremenitev potoka v sušnih razmerah

vost voda, potrebna za življenje ciprinidnih in salmonidnih sladkovodnih rib (Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih rib, (Ur. l. RS 46/02)), ki smo jo zaradi potencialne rabe potoka za vzrejo ciprinidnih vrst rib privzeli kot ciljni kakovostni razred vodotoka.

Koncentracije onesnaževal na izpustu iz čistilne naprave morajo zagotavljati doseganje kakovostnega razreda vodotoka – sprejemnika čiščenih odpadnih voda, določenega s predpisi na področju kakovosti površinskih voda (ustrezno čiščenje, kot ga definira Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav, (Ur. l. RS 90/98)).

Parameter	Mejna vrednost		Izmerjena vrednost	
	Ciprinidne vode		Apr 2003	Okt 2003
	Príporočilo	Zahteva	Pred naseljem	
Raztopljen kisik, mg/l	50 % ≥ 8; 100 % ≥ 5	50 % ≥ 7; 100 % ≥ 4	11,6	12,35
Motnost, FNU	–	–	43,6	25,6
pH, /	–	6 do 9*	6,7	7,2
Neraztopljene snovi, mg/l	≥ 25	–	< 2,0	–
Permanganatni indeks, mg/l	–	–	0,86	0,2
BPK ₅ , mg/l	≥ 6	–	< 3,0	–
Amonijev dušik, mg/l	≥ 0,156	≥ 0,78	< 0,04	0,01
Nitratni dušik, mg/l	–	–	< 1,0	–
Nitritni dušik, mg/l	≥ 0,014	–	< 0,01	–
Celotni fosfor, mg/l	–	≥ 0,13	< 0,04	0,02

Opomba *: ΔpH mora biti v mejah ± 0,5

Preglednica 9 • Kakovost odvodnika pred naseljem

urne in ne dnevne vrednosti, ker omogočajo realnejše računanje obremenitve potoka, kar je še posebej pomembno pri razbremenjevanju. Podatki v preglednici 7 kažejo z upoštevanjem podatkov iz preglednice 8 prevelike obremenitve izpusta iz čistilne naprave s KPK in BPK₅, celotnim fosforjem in amonijevim dušikom, ki potrjujejo velik vpliv izpusta ČN na kakovost odvodnika. So posledica slabega delovanja ČN in velike količine čiščene odpadne vode glede na vodnatost potoka.

Raziskave, izvedene med preskusnim obratovanjem, kažejo, da je potok na območju naselja in na lokaciji čistilne naprave beta mezosaprobne kakovosti (ZZV MB, 1987). Potok je deloma hudourniški, zato ni bogat z živalskimi in rastlinskimi vrstami. Je zelo ranljiv, njegova samočistilna sposobnost je nizka. Sedanja kakovost odvodnika razbremenjenih in čiščenih odpadnih vod smo določili na različnih lokacijah glede na razporeditev točkovnih virov onesnaževanja. Za presojo sposobnosti samočiščenja odvodnika razbremenjenih in čiščenih odpadnih vod smo izvedli sočasno spremljanje obratovanja čistilne naprave in vzorčenje potoka na naslednjih lokacijah:

- pred naseljem,
 - za razbremenilno zadrževalnim objektom in pred čistilno napravo,
 - za čistilno napravo in
 - pred izlivom odvodnika v reko.
- Vzorčili smo v sušnih razmerah. Rezultati meritev in analiz so prikazani v preglednicah 9 do 15. Vzorci potoka so bili odvzeti v času vzorčenja izpusta iz čistilne naprave.

Pred vstopom v naselje smo spremljali kakovost potoka zaradi določitve naravne obremenjenosti z merjenimi snovmi. Kakovost potoka je dobra, kar je razvidno iz preglednice 9. Niti zahteve niti priporočila, ki opredeljujejo kakovost ciperinidnih površinskih vod (Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih rib, (Ur. l. RS 46/02)), v času merjenja niso bila presežena.

S permanganatnim indeksom smo določili organsko snov, ki se oksidira s šibkim oksidantom (kalijevim permanganatom). V nadaljnjih izračunih smo privzeli vrednost KPK 5 mg/l, ki je na nivoju priporočene vrednosti BPK₅. Obseg prihodnjega onesnaževanja potoka z biokemijsko nerazgradljivimi snovmi želimo zmanjšati na čim manjšo možno raven.

Naravno obremenitev smo v sušnih razmerah izračunali iz podatkov spremljanja vodotoka iz meseca aprila 2003, ko smo izmerili večjo obremenitev potoka, s čimer smo želeli povečati verjetnost doseganja ciljnega kakovostnega razreda (preglednica 10).

Rezultati spremljanja kakovosti potoka pred čistilno napravo in za njo v obdobju od 2001 do 2003 so prikazani v preglednici 11.

Kakovost odvodnika smo spremljali sočasno s spremljanjem delovanja čistilne naprave. Odvzemali smo trenutne vzorce 30 m pred izpustom čistilne naprave in 30 m za njim. Točko vzorčenja smo izbrali na lokaciji, kjer je izpust čistilne naprave popolnoma premešan s potočno vodo. V potoku smo na lokaciji vzorčenja merili temperaturo, raztopljeni kisik,

motnost, elektroprevodnost in trenutni pretok potoka, ki smo ga ocenili na 45 l/s.

Stanje potoka je že pred čistilno napravo precej poslabšano, koncentracije amonijevega dušika in celotnega fosforja občasno presegajo imisijske mejne vrednosti, podane v preglednici 9. Potok je onesnažen s surovimi komunalnimi odpadnimi vodami, saj je prisotno precejšnje število fekalnih bakterij.

Kakovost potoka za čistilno napravo je še slabša. Mejne vrednosti so praviloma presežene pri amonijevem dušiku in celotnem fosforju. Priporočila so konstantno presežena pri nitritnem dušiku in BPK₅. Številnost fekalnih bakterij je glede na stanje pred izpustom čistilne naprave bistveno povečana.

Potok je v toku ob čistilni napravi ravninski, z relativno široko strugo ter plitek, z globino vode približno 10 cm. Izmerjene vrednosti smo ovrednotili glede na orientacijske vrednosti, ki jih določa Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi iz komunalnih čistilnih naprav (Ur. l. RS 31/01), ki omogočajo začetek evtrofikacije počasi tekočih vod ter jih prikazali v preglednici 12. Orientacijske vrednosti, ki jih podaja zakonodaja, smo izrazili na enak način kot pri podajanju rezultatov spremljanja stanja vodotoka.

Že pred čistilno napravo je v potočni vodi takšna koncentracija amonijevega dušika, ki omogoča začetek evtrofikacije. Glede na orientacijske vrednosti, ki jih podaja zakonodaja, so v potoku za čistilno napravo presežene koncentracije dušikovih in fosforjevih spojin. Kljub temu da sta dostopna oba nutrienta v potrebnih koncentracijah, je evtrofikacija slabo izražena. Zasluga za to gre kratkim pretočnim časom, v katerih se alge ne morejo čezmerno razmnožiti.

Sedanjo povprečno urno obremenitev potoka za čistilno napravo podajamo v preglednici 13. Dopustne vrednosti obremenitve so presežene glede na vse parametre, razen glede na KPK.

KPK smo določili z oksidacijo organskih snovi v vzorcu s kalijevim permanganatom, ki je bil prešibek oksidant, da bi z njim oksidirali vse snovi, ki so bile v potočni vodi za čistilno napravo. Obremenitev z BPK₅ je bila zato v nekaterih primerih večja od obremenitve s KPK.

Na podlagi navedenih podatkov ugotavljamo, da je glede na izbrane mejne vrednosti za vrednotenje potoka le-ta v sušnih razmerah čezmerno obremenjen.

V preglednici 14 podajamo obremenitev potoka za čistilno napravo pri obratovanju na nivoju emisijskih mejnih vrednosti, ki bodo

Parameter	Izražen kot	Enota	Izmerjena vrednost
Količina vode	–	m ³ /h	162
Neraztopljene snovi	–	kg/h	0,32
Amonijev dušik	N	kg/h	0,006
KPK	O ₂	kg/h	0,8
BPK ₅	O ₂	kg/h	0,5
Celotni fosfor	P	kg/h	0,006
Nitrat	N	kg/h	0,16
Nitrit	N	kg/h	0,002

Preglednica 10 • Naravna obremenitev potoka pred naseljem v sušnih razmerah

Parameter	Lokacija glede na čistilno napravo	Povprečno	Najmanj	Največ
Raztopljeni kisik mg/l	pred	11,1	9,7	12,2
	za	10,3	7,9	12,9
Motnost FNU	pred	12,7	0,2	39,0
	za	20,6	0,2	43,0
Neraztopljene snovi mg/l	pred	3,0	0,1	8,5
	za	10,2	1,6	18,0
Permanganatni indeks mg/l	pred	0,8	0,1	1,4
	za	8,7	1,4	26,8
BPK ₅ mg/l	pred	3,0	2,3	3,5
	za	8,8	4,6	16,0
Amonijev dušik mg/l	pred	0,9	0,1	3,1
	za	4,1	1,4	9,9
Nitratni dušik mg/l	pred	1,2	1,0	1,5
	za	1,3	1,0	1,6
Nitritni dušik mg/l	pred	0,04	0,04	0,04
	za	0,095	0,04	0,23
Celotni fosfor mg/l	pred	0,085	0,04	0,22
	za	0,9	0,4	1,7
Skupno število kolidiformnih bakterij št./100 ml	pred	16 150	9 300	23 000
	za	5 615 000	230 000	11 000 000
Število fekalnih streptokokov št./100 ml	pred	2 900	600	5 200
	za	95 000	86 000	104 000
Število kolidiformnih bakterij fekalnega izvora, št./100 ml	pred	5 800	2 300	9 300
	za	1 224 000	48 000	2 400 000

Preglednica 11 • Parametri odvodnika pred in za iztokom čistilne naprave

Parameter	Izražen kot	Enota	Mejna vrednost	Potok pred ČN	Potok za ČN	Mejna vrednost – ciperinidne vode
Celotni fosfor	P	mg/l	0,2	0,1	0,9	0,13
Ortofosfat	P	mg/l	0,15	ni podatka	ni podatka	ni omejitve
Amonij	N	mg/l	0,5	0,9	4,1	0,156
Nitrat	N	mg/l	2,0	1,5	1,5	ni omejitve

Preglednica 12 • Orientacijske mejne vrednosti parametrov za pričetek evtrofikacije v počasi tekočih vodah

pričele veljati 1. 1. 2006, ter primerjalno pri sedanjem obratovanju v sušnih razmerah. Obremenitev potoka smo določili na osnovi pretoka potoka na mestu ocenjevanja in na podlagi imisijskih mejnih vrednosti. Razen za neraztopljen snovi je obremenitev večja od dopustne. Obremenjevanje potoka s spojinami fosforja ter z nitritnim in nitratnim dušikom bo nadzorovano.

22-kratna. Skozi čistilno napravo lahko teče največ 52 l/s čiščene odpadne vode z največjimi izmerjenimi koncentracijami onesnaževal v sušnih razmerah, prikazanih v preglednici 5.

Sprejemljiva obremenitev vodotoka ob dežju je (ob predpostavki, da je kakovost potokne vode pri visokih vodah enaka kot pri nizkih) pri 100-krat večjem pretoku potoka 100-krat več-

ja od sprejemljive sušne obremenitve vodotoka, ki je prikazana v preglednici 8.

Ocenjena deževna obremenitev potoka, izračunana na podlagi gornjih predpostavk, je prikazana v preglednici 15. Pri računanju smo predpostavili, da sta koncentraciji nitratnega in nitritnega dušika v komunalni in padavinski odpadni vodi zanemarljivi.

Izračun kaže, da v deževnih razmerah potok čezmerno obremenjujemo precej manj kot v sušnih razmerah (preglednica 13). Ob tem so koncentracije v razbremenjeni odpadni vodi nekoliko višje od imisijskih pri amoniju in pri BPK₅. Bolj kot v sušnih razmerah ga obremenjujemo le s KPK.

V reko se potok izlije tik ob sprehajališčih gostinskega objekta, ki je priljubljena izletniška točka okoličanov. Ustje potoka je gosto zaraščeno močvirnato področje. V poletnih mesecih je pogosto vir neprijetnih vonjav, ki so posledica nizkega sušnega pretoka potoka, procesov razkrajanja čezmerno razrasle vegetacije ter onesnaženosti potoka zaradi izpuščanja surove in slabo čiščene odpadne vode. Kakovostni parametri potoka, ki izhajajo iz enkratnega merjenja osnovnih parametrov, so prikazani v preglednici 16.

Nekateri izmed izmerjenih parametrov na lokaciji gostišča, torej pred izlivom v reko, še vedno presegajo mejne vrednosti, ki omogočajo življenje ciprinidnih vrst rib. Permanenatni indeks, ki je kazalec obremenitve z organskimi snovmi, je približno za polovico nižji kot na lokaciji za čistilno napravo. Koncentracije dušikovih in fosforjevih spojin so 3 do 4-krat nižje od tistih, izmerjenih za čistilno napravo, vendar še vedno presegajo mejne vrednosti.

Slika 1 prikazuje spreminjanje parametrov obremenitve v smeri od izvira proti izlivu potoka. Opazimo povečanje onesnaženosti potoka že na lokaciji pred čistilno napravo.

Parameter	Povprečno	Najmanj	Največ	Dopustno	KP*
Količina vode, m ³ /h	162+33,5=195,5				
Neraztopljen snovi, kg/h	9,41	0,31	39,1	4,05	2,3
Amonijev dušik, kg/h	0,68	0,16	1,93	0,08	8,5
KPK, kg/h	1,37	0,22	5,24	1,62	0,8
BPK ₅ , kg/h	1,72	0,9	3,13	0,97	1,8
Celotni fosfor, kg/h	0,15	0,06	0,34	0,02	7,5
Nitratni dušik, kg/h	0,68	0,20	2,4	0,32	2,1
Nitritni dušik, kg/h	0,02	0,01	0,05	0,002	10

Opomba *: KP – koeficient čezmerne obremenitve: razmerje povprečne vrednosti in dopustne vrednosti.

Preglednica 13 • Obremenitev potoka za čistilno napravo v sušnih razmerah

Parameter	"Emisijska" vrednost od 1. 1. 2006	Sedanja vrednost	Dopustna vrednost po kriteriju evtrofnosti	KP*
Količina vode, m ³ /h	195,5	195,5	195,5	–
Neraztopljen snovi, kg/h	2,33	9,41	4,9	0,5
Amonijev dušik, kg/h	0,34	0,68	0,1	3,4
KPK, kg/h	5,0	1,37	1,95	2,6
BPK ₅ , kg/h	1,34	1,72	1,2	1,1
Celotni fosfor, kg/h	ni omejeno	0,15	0,025	ni omejeno
Nitratni dušik, kg/h	ni omejeno	0,68	0,4	ni omejeno
Nitritni dušik, kg/h	ni omejeno	0,02	0,002	ni omejeno

Opomba *: KP – koeficient čezmerne obremenitve: razmerje »emisijske« vrednosti in dopustne vrednosti.

Preglednica 14 • Obremenitev potoka ob izpolnjevanju zahtev za emisije čistilne naprave

Ob padavinah je pretok skozi čistilno napravo največji, zaradi hidravlične preobremenitve je kakovost izpusta slabša kot v sušnih razmerah, dodatno pa pride še do razbremenjevanja surove odpadne vode neposredno v odvodnik. Če privzamemo podatke iz projektov (IB MB, 1979a), (IB MB, 1979b), se lahko preliva iz razbremenilnika na javni kanalizaciji največ 863 l/s ter iz razbremenilnika na čistilni napravi največ 70,6 l/s mešane komunalne in padavinske odpadne vode. Razredčitev povprečne komunalne odpadne vode, ki doteka na čistilno napravo v sušnih razmerah, je

Parameter	Skupaj (razbremenjevanje, ČN, potok)	Dopustno ob dežju	KP*
Količina vode, m ³ /h	19 748	–	–
Neraztopljen snovi, kg/h	118	405	0,3
Amonijev dušik, kg/h	21	8,1	2,6
KPK, kg/h	227	162	1,4
BPK ₅ , kg/h	139	97,2	1,4
Celotni fosfor, kg/h	2,7	2,1	1,3
Nitratni dušik, kg/h	16,8	32,4	0,5
Nitritni dušik, kg/h	0,3	0,23	1,3

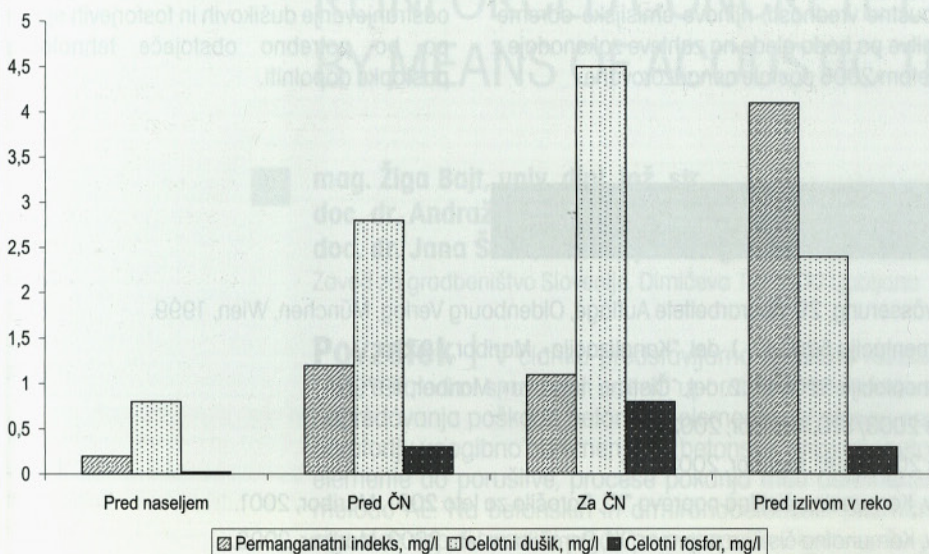
Opomba *: KP je koeficient čezmerne obremenitve: razmerje »skupaj« in dopustne vrednosti ob dežju.

Preglednica 15 • Ocenjena obremenitev potoka za čistilno napravo ob dežju

Parameter	Mejna vrednost*		Izmerjena vrednost
	Ciprinidne vode		Okt. 2003
	Priporočilo	Zahteva	Pred naseljem
Raztopljen kisik, mg/l	50 % ≥ 8; 100 % ≥ 5	50 % ≥ 7; 100 % ≥ 4	12,1
Motnost, FNU	-	-	28,1
pH, /	-	6 do 9	7,3
Permanganatni indeks, mg/l	-	-	4,1
Amonijev dušik, mg/l	≤ 0,156	≤ 0,78	0,9
Celotni fosfor, mg/l	-	≤ 0,13	0,3

Opomba *: ΔpH mora biti v mejah ± 0,5

Preglednica 16 • Kakovost odvodnika pred izlivom v reko



Slika 1 • Spreminjanje obremenitve vzdolž odvodnika

5 • SKLEP

Majhnim in občutljivim slovenskim vodotokom grozi zaradi pospešene sanacije in gradnje premalo učinkovitih sistemov odvajanja odpadnih vod in čistilnih naprav občutno poslabšanje kakovosti. Pri načrtovanju se namreč zaradi nedorečene zakonodaje na področju vrednotenja kakovosti vodotokov upoštevajo le emisijske mejne vrednosti za iztoke iz čistilnih naprav. Za čistilne naprave nad 2 000 PE je omejenih minimalno število osnovnih parametrov. To so BPK₅, KPK, amonijev dušik in celotni fosfor. Ranljivost površinske vode, v katero se čiščene odpadne vode izlivajo, se pri načrtovanju praviloma ne upošteva. Ne upoštevajo se tudi koncentracije drugih pomembnih snovi, ki se odvajajo z razbremenjenimi in čiščenimi odpadnimi vodami in dokazano škodljivo vplivajo na vodni ekosistem ter s tem tudi na človeka.

Nacionalni program spremljanja emisij zajema minimalno število vzorčevalnih mest na večjih vodotokih. Nadzor nad spremljanjem posledic izpuščanja razbremenjene in slabo čiščene odpadne vode v vodotoke se izvaja v pomanjkljivem obsegu. Posledično bo prišlo zaradi točkovnega čezmernega onesnaževanja vodotokov v kratkem času do poslabšanja njihove kakovosti.

V prispevku smo na praktičnem primeru dokazali, da se je prav zaradi ustreznega zavarovanja kakovosti površinskih voda treba lotiti zmanjševanja obsega emisij na sprejemljivo raven. Celostno je treba obravnavati samočistilno sposobnost porečja ter ključne objekte na kanalizacijskih omrežjih (razbremenilniki, zadrževalniki) ter čistilne naprave. Izhajati je treba iz sistematično zastavljenega spremljanja obratovanja objektov in obremenitve odvodni-

ka, kar omogoča dobro analizo in načrtovanje realnega sistema odvajanja in čiščenja odpadnih voda ter spremljanje spreminjanja samočistilne sposobnosti vodotoka med obratovanjem objektov. Tak pristop je poznan npr. v ZDA kot TMDL (Total Maximum Daily Load), kjer se upošteva dnevna dinamika delovanja čistilne naprave in pretokov v vodotoku ter samočistilna sposobnost vodotoka. Dopuslno obremenitev vodotoka smo določili z analizo urnih obremenitev, kar je zlasti pomembno pri razbremenjevanju odpadne vode, katere obremenitev se s časom hitro spreminja.

Analizirali smo slabo delujoč sistem odvajanja in čiščenja odpadnih vod velikosti 2 000 PE s prispevnim območjem 70 ha, ki je bil načrtovan leta 1979. Čistilna naprava je bila zgrajena kot nizkoobremenjena biološka čistilna naprava z aerobno stabilizacijo blata. Ugotovili smo, da je treba zmanjšati emisije (organskih) ogljikovih spojin iz čistilne naprave že zaradi uskladitve z emisijskimi mejnimi vrednostmi. Zaradi čezmernega obremenje-

Onesnaženost s surovo odpadno vodo potrjujejo povečan permanganatni indeks, celotni dušik in celotni fosfor. Identificirali smo številne fekalne bakterije. Za čistilno napravo se poveča koncentracija dušikovih in fosforjevih spojin. Kisik se pospešeno porablja za razgradnjo preostanka biokemijsko razgradljivih snovi, ki jih emitira čistilna naprava. Poveča se motnost potočne vode. Permanganatni indeks je nižji kot pred čistilno napravo, kar je verjetno posledica povečane koncentracije snovi, ki jih s kalijevim permanganatom nismo mogli oksidirati. Pravilnejši rezultat bi dobili z uporabo močnejšega oksidanta (npr. kalijevega dikromata). Permanganatni indeks in koncentracija raztopljenega kisika se na lokaciji izliva potoka v reko povečata, ostali parametri pa se opazno zmanjšajo. Glede na stanje za čistilno napravo je bil v vzorcu z lokacije izliva potoka v reko povečan delež raztopljenih snovi. Te so se sicer oksidirale s kalijevim permanganatom, vendar niso bile biokemijsko razgradljive. Ob povečanju permanganatnega indeksa se je namreč povečala koncentracija raztopljenega kisika in zmanjšala motnost. Pojav je lahko delno posledica samočistilne sposobnosti vodotoka (močvirje), zaradi katere se je zmanjšala koncentracija biokemijsko razgradljivih snovi, delno pa ga je mogoče pripisati učinku usedanja neraztopljenih snovi. Možno je tudi mešanje in razredčevanje z rečno vodo.

ka, kar omogoča dobro analizo in načrtovanje realnega sistema odvajanja in čiščenja odpadnih voda ter spremljanje spreminjanja samočistilne sposobnosti vodotoka med obratovanjem objektov. Tak pristop je poznan npr. v ZDA kot TMDL (Total Maximum Daily Load), kjer se upošteva dnevna dinamika delovanja čistilne naprave in pretokov v vodotoku ter samočistilna sposobnost vodotoka. Dopuslno obremenitev vodotoka smo določili z analizo urnih obremenitev, kar je zlasti pomembno pri razbremenjevanju odpadne vode, katere obremenitev se s časom hitro spreminja.

Analizirali smo slabo delujoč sistem odvajanja in čiščenja odpadnih vod velikosti 2 000 PE s prispevnim območjem 70 ha, ki je bil načrtovan leta 1979. Čistilna naprava je bila zgrajena kot nizkoobremenjena biološka čistilna naprava z aerobno stabilizacijo blata. Ugotovili smo, da je treba zmanjšati emisije (organskih) ogljikovih spojin iz čistilne naprave že zaradi uskladitve z emisijskimi mejnimi vrednostmi. Zaradi čezmernega obremenje-

vanja ekološko izredno ranljivega odvodnika s pretokom 45 l/s pa bo potrebno na izpustu iz čistilne naprave dosegati nižje koncentracije onesnaževal, kot jih predvideva zakonodajalec. Parametri odvodnika so na območju razbremenjevanja in odvajanja čiščene odpadne vode povečani in presegajo mejne vrednosti za življenje ciprinidnih vrst rib. Dejanska obremenitev potoka je tudi do 10-krat večja od dopustne v sušnih razmerah in do 2,6-krat v deževnih razmerah. Samočistilna sposobnost potoka forej ne zadošča za ohranjanje njegovega kakovostnega razreda. Zlasti previsoke so koncentracije dušikovih in fosforjevih spojin. Občutno in stalno čezmerno obremenjevanje potoka je glede na okoljske (imisijske) mejne

vrednosti prisotno tako v deževnih kot v sušnih pogojih. Če bi izvedli sanacijo samo do te mere, da bi iztok iz čistilne naprave zadovoljeval mejne vrednosti za emisije, bi bila okoljska, tj. imisijska obremenitev potoka za čistilno napravo za vse parametre, razen za neraztopljene snovi, še vedno precej večja od dopustne. Največje je 3,4-kratno preseganje dopustne okoljske obremenitve z amonijevim dušikom. Pomembne čezmerne obremenitve smo izračunali glede na parametra KPK in BPK₅. Obremenjevanje potoka z nitrinim in nitrinim dušikom ter s celotnim fosforjem pri sedanjem režimu obratovanja presega dopustne vrednosti, njihove emisijske obremenitve pa bodo glede na zahteve zakonodaje z letom 2006 postale nenadzorovane.

Osnova za sanacijo obstoječih objektov in za novogradnje morajo biti imisijske mejne vrednosti odvodnika in ne emisijske mejne vrednosti, ki veljajo za izpust iz čistilne naprave. Na podlagi dopustnih obremenitev potoka je treba najprej določiti največje sprejemljive emisije pri razbremenjevanju odpadne vode in na iztoku čistilne naprave, ki bodo šele predstavljale pravo podlago za načrtovanje sanacije obravnavanega sistema odvajanja in čiščenja odpadne vode. Zmanjšanje sedanjih čezmernih obremenitev potoka bomo v konkretnem primeru dosegli s sanacijo obstoječe tehnologije, za odstranjevanje dušikovih in fosforjevih spojin pa bo potrebno obstoječe tehnološke postopke dopolniti.

6 • LITERATURA

- Imhoff, K., Imhoff, K. R., Taschenbuch der Stattenwässerung, 29. überarbeitete Auflage, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1999.
- IB MB, Inženiring biro p.o. Maribor, Projektna dokumentacija 520047, 1. del, "Kanalizacija", Maribor, 1979a.
- IB MB, Inženiring biro p.o. Maribor, Projektna dokumentacija 520047, 2. del, "Čistilna naprava", Maribor, 1979b.
- Nigrad d.d., Monitoring potoka "Y", Interno poročilo 2003/810, Maribor, 2003a.
- Nigrad d.d., Monitoring potoka "Y", Interno poročilo 2003/896, Maribor, 2003b.
- Nigrad d.d., Obratovalni monitoring čistilnih naprav, Komunalna čistilna naprava "X", Poročilo za leto 2001, Maribor, 2001.
- Nigrad d.d., Obratovalni monitoring čistilnih naprav, Komunalna čistilna naprava "X", Poročilo za leto 2002, Maribor, 2002.
- Rep, S., Rep, K., Bunderla, S., Integration in sewage systems control, V: Jamnik, B. (ur.), Voda 2000: za kakšno ceno?: mednarodni strokovni posvet: At what price?: international conference, Portorož, Slovenija, 2000.
- Ribič Rep, K., Optimizacija čistilne naprave glede na kakovost odvodnika, Magistrsko delo, Ljubljana, 2004.
- Roš, M., Biološko čiščenje odpadne vode, GV Založba, Ljubljana, 2001.
- Ur. l. RS 35/96a, Uradni list RS št. 35/96, Pravilnik o izvajanju prvih meritev in obratovalnega monitoringa odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje.
- Ur. l. RS 35/96b, Uradni list RS št. 35/96, Uredba o emisiji snovi iz komunalnih čistilnih naprav.
- Ur. l. RS 35/96c, Uradni list RS št. 35/96, Uredba o emisiji snovi in toplote iz virov onesnaževanja.
- Ur. l. RS 46/02, Uradni list RS št. 46/02, Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib.
- Ur. l. RS 11/02, Uradni list RS št. 11/02, Uredba o kemijskem stanju površinskih voda.
- Ur. l. RS 90/98, Uradni list št. RS 90/98, Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav.
- Ur. l. RS 31/01, Uradni list RS št. 31/01, Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav.
- WFD, 2000/60/EC, Directive of the European Parliament and of the Council Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy.
- ZZV MB, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, Zapisnik o dokončanju poskusnega obratovanja "čistilne naprave X" s predlogom konca poskusnega obratovanja, Maribor, 1987.

Opomba: Pri navajanju nekaterih virov so zaradi zaupnosti podatki nadomeščeni z znakom X.

SPREMLJANJE NAPREDOVANJA POŠKODB UPOGIBNO OBREMENJENIH ARMIRANOBETONSKIH ELEMENTOV Z ANALIZO AKUSTIČNE EMISIJE

MONITORING OF DAMAGE PROPAGATION IN FLEXURALLY LOADED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS BY MEANS OF ACOUSTIC TECHNIQUE

mag. Žiga Bajt, univ. dipl. inž. str.
doc. dr. Andraž Legat, univ. dipl. fiz.
doc. dr. Jana Šelih, univ. dipl. inž. grad.

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 620.179.1:693.55.04

Povzetek | V članku predstavljamo rezultate raziskav analize akustične emisije (AE), s katerimi smo želeli oceniti uporabnost te metode za zaznavanje in spremljanje napredovanja poškodb betonskih elementov. V sklopu opravljenih preskusov smo v laboratoriju upogibno obremenjevali betonske, armiranobetonske in prednapete gradbene elemente do porušitve, procese pokanja med obremenjevanjem pa smo spremljali z metodo AE. Na betonskih in armiranobetonskih prizmah smo na podlagi izmerjenih signalov uspeli zaznati pojav prve razpoke v betonu, še preden je bila vidna s prostim očesom. Med cikličnim upogibnim preskusom prednapetega mostnega nosilca smo z analizo AE uspeli detektirati nivo obremenitve predhodnega obremenilnega cikla ter določiti obremenitev, pri kateri so se v elementu začele pojavljati poškodbe.

Dobljeni rezultati kažejo, da je analiza AE obetavna metoda za zgodnje odkrivanje razpok na betonskih gradbenih elementih. Največji potencial za uporabo v gradbeništvu ima metoda pri sledenju stanja in napredovanja poškodovanosti gradbenih objektov med njihovo življenjsko dobo. Glavna ovira za njeno učinkovito uporabo na realnih konstrukcijah je občutljivost metode za zunanje motnje in velika količina podatkov, ki jih je potrebno analizirati. Določeno pomanjkljivost predstavlja tudi dejstvo, da rezultatov analize AE med seboj ni mogoče primerjati v absolutni skali, temveč le relativno.

Summary | The paper presents the results of an experimental study of the acoustic emission (AE) analysis and its applicability for detection and monitoring of damage progression in concrete elements. Concrete, reinforced concrete and a pre-stressed element were flexurally loaded up to their failure. Cracking events were monitored by the AE method during the loading. It was established that the appearance of the first crack can be detected by this method much earlier as it was seen by the naked eye or drop of the load. The level of previous maximum load and the loading level, at which cracks were initiated, were detected by the AE method during the cyclic bending test of a prestressed bridge beam.

The results of our experiments proved that the AE analysis is a promising method for early crack detection in concrete elements. In the field of construction, its largest potential lies in the monitoring of condition and damage propagation in structures during their service life. The main obstacle for its efficient use is relatively high sensitivity of the method to the external disturbances and a large amount of data that have to be analysed. It should also be mentioned that the results of AE analysis measurements cannot be directly, but only relatively compared.

1 • UVOD

Zaradi vse bolj agresivnih vplivov okolja in povečanih mehanskih obremenitev opažamo, da znaten del armiranobetonskih objektov izkazuje nezadosten nivo obnašanja pred iztekom predvidene življenjske dobe (COST 521, 2003). Dosežena življenjska doba teh objektov je torej krajša od načrtovane, kar vodi v potrebo po predčasni sanaciji. Prevladujoča vzroka za skrajšanje življenjske dobe armiranobetonskih konstrukcij sta propadanje in pojav razpok v betonu, ki lahko vplivata tudi na konstrukcijsko varnost. Pravočasno odkrivanje obsega in lokacije poškodb je torej ključnega pomena za načrtovanje sanacijskih in vzdrževalnih del, ki omogočajo povečanje varnosti in podaljšanje življenjske dobe gradbenih elementov (COST 521, 2003). Detekcija in spremljanje razvoja razpok in z njimi povezanih poškodb naj bi bila čim bolj neinvazivna, zato mednarodna strokovna javnost posveča vse večjo pozornost

razvoju in študiju uporabnosti različnih neporušnih metod.

Ena od obetavnih neporušnih metod, ki bi se lahko uporabljala za spremljanje razvoja poškodb v gradbenih elementih, je analiza akustične emisije (AE). Metoda temelji na zaznavanju hitro sproščene elastične energije zaradi majhnih porušitev strukture, do katerih prihaja v obremenjenem materialu (Vallen, 2002). Pakete sproščene energije (dogodke akustične emisije) lahko registriramo poljubno dolgo časovno obdobje, zato je metoda primerna za zgodnje odkrivanje mikro- in makro- porušitev različnih materialov ter tudi spremljanje pokanja do končne porušitve (Sachse, 1991). Metoda zato omogoča le spremljanje aktivnih razpok, ne pa tudi ocenjevanja že obstoječih poškodb.

Na Zavodu za gradbeništvo Slovenije smo zato želeli raziskati možnosti, ki jih nudi ana-

liza AE za spremljanje razvoja razpok v različnih gradbenih elementih. V okviru magistrskega študija prvega avtorja smo z izbrano metodo opazovali tri elemente: natezno obremenjeno jekleno žico v korozivnem okolju, upogibno obremenjene betonske in armiranobetonske elemente ter upogibno obremenjen prednapeti mostni nosilec. Želeli smo detektirati samo porušitev in jo tudi napovedati, oziroma glede na AE aktivnost približno določiti nivo obremenitve. Pri različnih vrstah preskusov smo želeli določiti območja z večjo gostoto dogodkov akustične emisije in izvore teh dogodkov. Ugotoviti smo želeli povezavo med stanjem elementa in njegovim AE odzivom ter na temelju tega postaviti izhodiščne točke za spremljanje AE odziva realnih konstrukcij in tudi morebitno napoved preostale življenjske dobe elementov. Zaradi obsežnosti opravljenega dela se bomo v tem članku omejili na predstavitev rezultatov uporabe obravnavane metode na upogibno obremenjenih armiranobetonskih elementih in prednapetem nosilcu.

2 • EKSPERIMENTALNO DELO

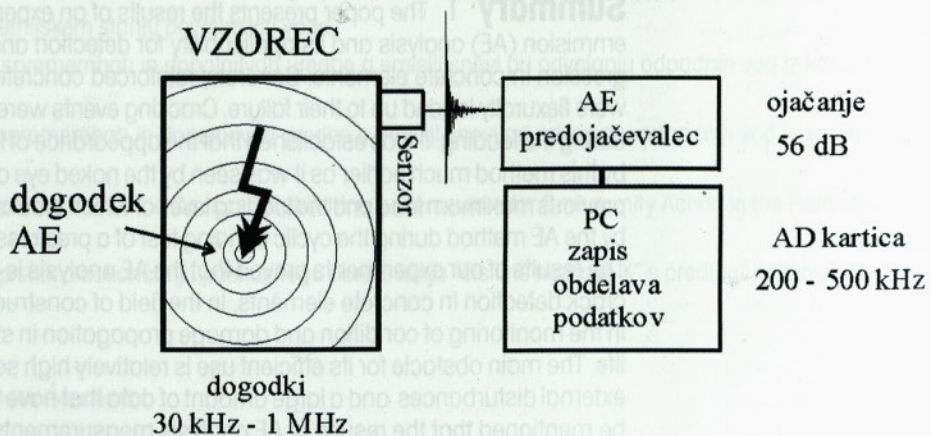
Procese pokanja smo spremljali med upogibnim preskusom na armiranobetonskih vzorcih dimenzij 100 x 150 x 800 mm in prednapetem mostnem nosilcu dolžine 10 m v laboratorijskih pogojih. Meritve akustične emisije smo izvajali istočasno z meritvami sile in pomika. V vseh preskusih smo določali območja z večjo gostoto dogodkov akustične emisije (AE), na podlagi primerjave rezultatov metode AE in meritev pripadajočih mehanskih količin pa smo poskušali identificirati izvire teh dogodkov.

2.1 Opis metode

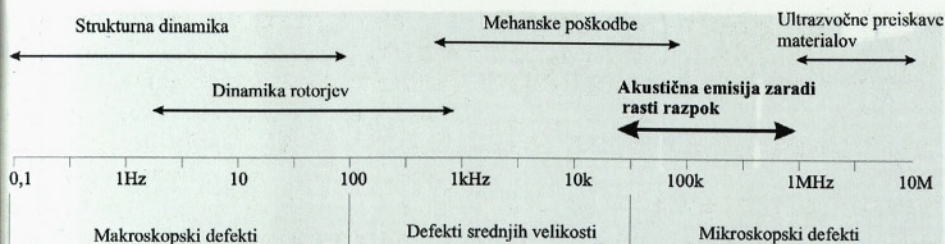
Analiza akustične emisije je metoda za nedestrukтивne preiskave pri ugotavljanju razvoja poškodb na elementih, ki so izpostavljeni obremenitvi. Kot je bilo že omenjeno, temelji na zaznavanju hitro sproščene elastične energije zaradi majhnih porušitev vezi znotraj obremenjenega materiala (Nichols, 1976). Elastična energija, ki se sprosti v materialu tik ob mikro pretrgu, generira dogodek akustične emisije (AE). Elastični valovi se širijo po materialu, zato jih lahko zaznavamo z ustreznimi senzorji in kasneje analiziramo (Sotirios, 1999). Analiza signalov običajno obsega število in lastnosti skupkov dogodkov ter njihovo pogostost v različnih časovnih intervalih.

Tako lahko določimo lokacijo izvora signalov in delno tudi osnovni mehanizem porušitev. Osnovni koncept metode akustične emisije je prikazan na sliki 1. Senzor, ki je v neposrednem stiku s preskušancem, registrirane elastične valove spremeni v napetost, ojačan in delno obdelan signal pa se nato shrani v računalniku. Primarni izvori AE so mikrovibracije zaradi sproščene elastične energije (npr. dinamične deformacije, porušitve), trenje, udarci, fazne spremembe, magnetni procesi. V osnovi ločimo dve vrsti signala AE: prehodne signale ali

izbruhe ter kontinuirane signale. Izbruhi imajo dobro viden začetek in konec, zato se taki signali bistveno ločijo od motenj iz ozadja. Pri kontinuiranem signalu se spremembe amplitude ali frekvence pojavljajo približno periodično. Signali te vrste so večinoma motnje iz okolice oziroma šum, ki ga generirajo mehanski ali električni dogodki. Za sledenje napredovanja poškodb konstrukcijskega elementa so pomembni izbruhi, ki jih generirajo trenutni dogodki, kot sta nastanek in rast razpoke (Williams, 1980). Tak karakterističen skupek AE signalov, ki ga zaznamo na izhodu AE senzorja, običajno nosi informacijo v relativno širokem frekvenčnem območju od nekaj kHz do 1 MHz (slika 2).



Slika 1 • Osnovni koncept analize akustične emisije (AE)



Slika 2 • Območja vibracij in zvoka različnih neporušnih preiskav

Če izmerjene motnje iz okolice niso peri-odične oziroma se ne razlikujejo bistveno od merjenih dogodkov, jih je relativno težko ločiti od koristnih signalov. Ostale slabosti in prednosti, ki jih ima ta metoda v primerjavi z drugimi neporušnimi metodami preiskave konstrukcij, so podane v preglednici 1.

nice grafitne mine tehničnega svinčnika (Nichols 1976). AE signal zlomljene grafitne konice tehničnega svinčnika je prikazan na sliki 3, pri čemer je ojačanje 56.45 dB, mina ima trdoto HB in premer 0.5 mm, frekvenca vzorčenja pa je 500 kHz. Glede na višino izmerjenega signala AE pri lomljenju grafitne

Akustična emisija	Večina drugih tehnik
zahteva zunanje obremenitve	ne zahtevajo zunanjih obremenitev
preskušamo celo konstrukcijo naenkrat	preiskujemo posamezne detajle
zaznamo aktivne premike defektov	zaznamo geometrijo defektov
ni takojšnje ponovljivosti	takojšnja ponovljivost
zahteva dostopnost samo ob senzorjih	zahteva dostopnost vseh preiskovanih področij
težave so pogojene s šumom	težave so geometrijsko pogojene

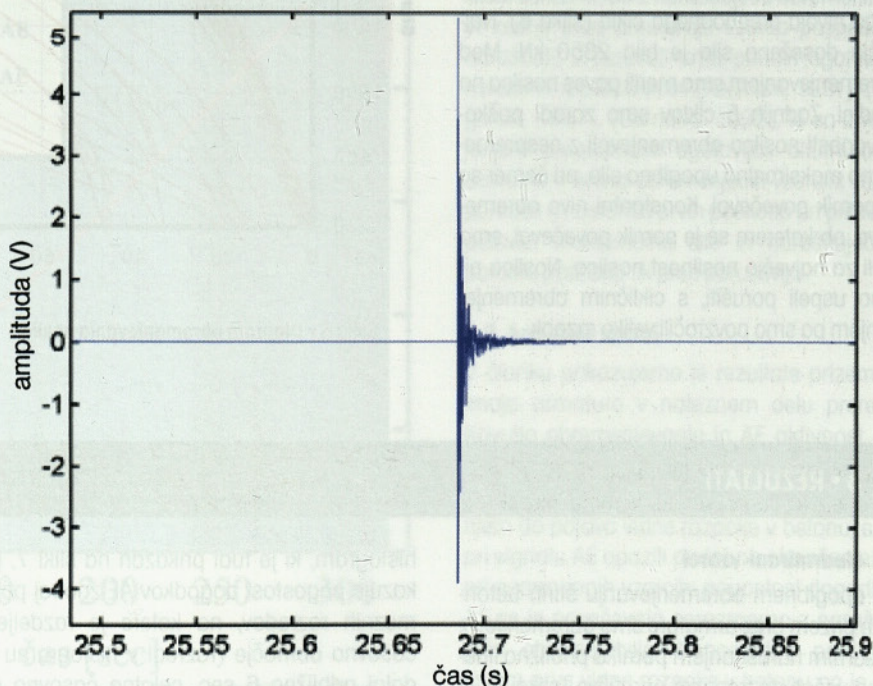
Preglednica 1 • Primerjava AE z ostalimi neporušnimi metodami preiskave konstrukcij

2.2 Merilna veriga AT

Osnovni merilni sistem sestoji iz AE senzora, predojačevalnika in programske opreme za zajemanje in analizo signalov. Pri naših eksperimentih smo uporabljali senzor Valen-Systeme VS 150-M z resonančno frekvenco 150 kHz. Za potrebe meritev AE smo razvili inovativen predojačevalnik, ki je dvestopenjski, ima vhodno impedanco 10 M Ω in baterijsko napajanje 2 x 15 V. Osnovno ojačanje je 56 dB, sicer pa je ojačanje nastavljivo od 10 dB do 100 dB. Največja amplituda signala na izhodu je 12 V. Nizkofrekvenčne motnje (šum mehanskih in električnih dogodkov, ki niso povezani z eksperimentom) smo odfiltrirali pod frekvenco 50 kHz. Signal iz predojačevalca smo digitalizirali z A/D pretvornikom/kartico BMC PCI BASE 500. Zajemanje podatkov in njihovo shranjevanje na disk smo krmilili s programskim paketom LabView 6.1. Iz zapisanih podatkov smo izločili električne in mehanske motnje ter nato določili karakteristične vrednosti koristnih signalov: čas prihoda, amplitudo dogodka, pogostost dogodkov.

Za kalibriranje merilnega sistema smo uporabili enostavno in zanesljivo metodo kalibracije merilnega sistema z lomljenjem ko-

mine dobimo merilo za vrednotenje ostalih dogodkov AE med eksperimentom oziroma okvirno preverimo delovanje celotnega sistema AE.



Slika 3 • Signal zlomljene konice grafitne mine tehničnega svinčnika

2.3 Vzorci in obremenitve

V predstavljenem sklopu raziskav smo do porušitve upogibno obremenjevali naslednje vrste preskušancev:

- betonske prizme z armaturo in brez armature ter
- prednapet mostni nosilec.

V prvem sklopu preskusov smo upogibno porušili skupno 14 betonskih oziroma armiranobetonskih prizem dimenzij 100 x 150 x 800 mm. Povprečna tlačna trdnost betona, ugotovljena na 3 vzorcih po 28 dneh, je znašala 42 MPa. 4 vzorci so bili nearmirani, 5 vzorcev je imelo armaturo na sredini prereza, prav tako 5 vzorcev pa na tretjini višine v nateznem delu prereza. V armiranih vzorcih je bila vgrajena rebrasta armatura \varnothing 8 mm (RA 8), ki je segala čez celotno dolžino vzorca. Upogibne preskuse smo izvajali na upogibno – trgalnem stroju INSTRON 1195 (slika 4). Razmak podpor pod betonsko prizmo je bil 600 mm. Hitrost pomika pri nearmiranih vzorcih je bila konstantna in je znašala 0,1 mm/min. Armirane vzorce smo obremenjevali s tremi različnimi hitrostmi: v prvem delu eksperimenta (do pojava razpoke v betonu) s hitrostjo 0,1 mm/min, po pojavu razpoke v betonu s hitrostjo 1 mm/min, približno pri največji sili pa smo hitrost povečali na 2 mm/min. Med preskusom smo spremljali AE aktivnost betonskih prizem, beležili smo čas, pomik in upogibno silo.

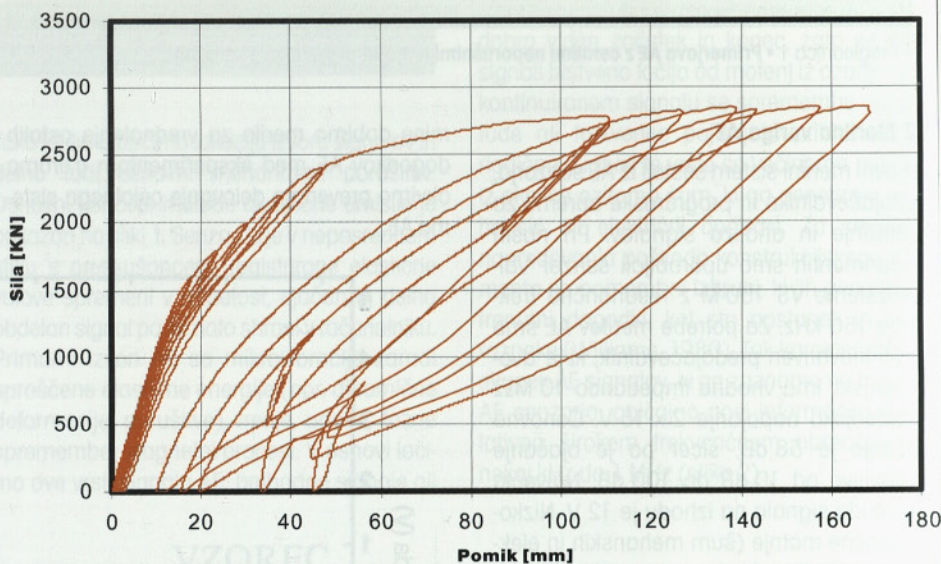


Slika 4 • Natezno upogibni stroj Instron 1195 med upogibnim preskusom betonske prizme



Slika 5 • Preskuševališče za upogib prednapetega nosilca

V drugem sklopu preskusov smo upogibno obremenjevali prototip prednapetega mostnega nosilca dolžine 10 m, širine 1,4 m in višine 1 m (slika 5). Izvedli smo 18 obremenilnih ciklov, med katerimi smo upogibno obremenitev konstantno povečevali do izbranega maksimalnega nivoja cikla, potem pa smo nosilec ponovno razbremenili. Maksimalni nivo vsakega cikla je bil za 200 kN večji od maksimalnega nivoja predhodnega cikla (slika 6). Največja dosežena sila je bila 2850 kN. Med obremenjevanjem smo merili povos nosilca na sredini. Zadnjih 5 ciklov smo zaradi poškodovanosti nosilca obremenjevali z nespremenjeno maksimalno upogibno silo, pri čemer se je pomik povečeval. Konstantni nivo obremenitve, ob katerem se je pomik povečeval, smo šteli za največjo nosilnost nosilca. Nosilca nismo uspeli porušiti, s cikličnim obremenjevanjem pa smo povzročili veliko razpok.



Slika 6 • Diagram obremenjevanja nosilca

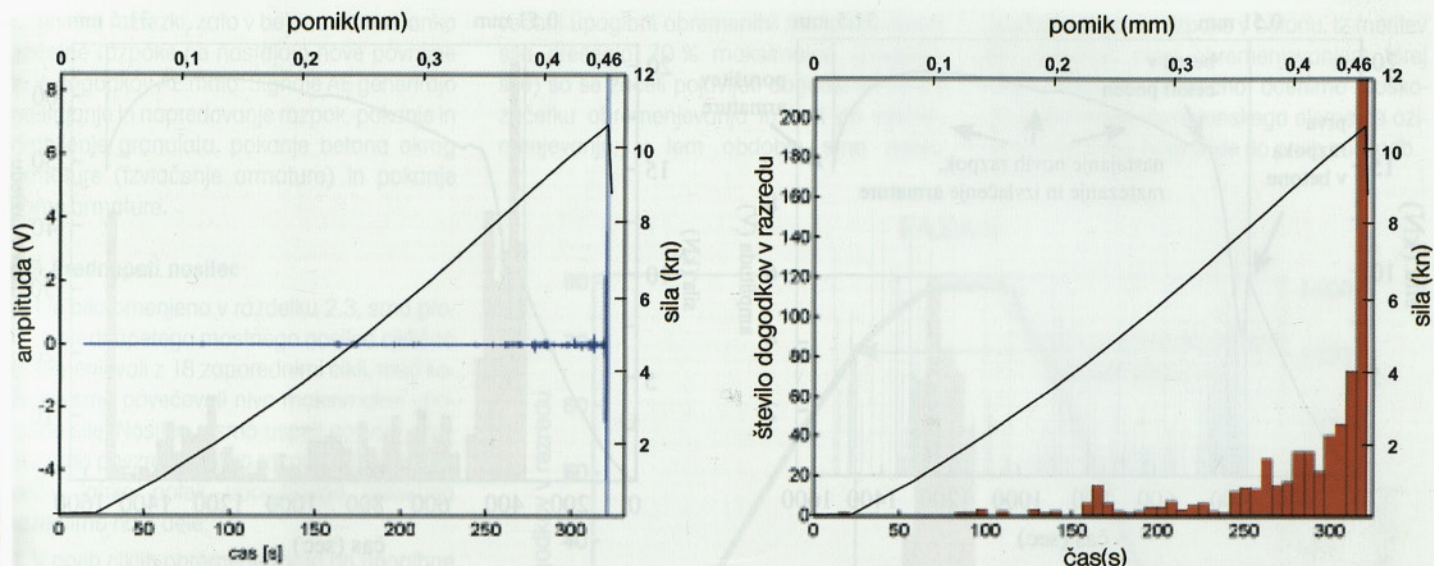
3 • REZULTATI

3.1 Nearmirani vzorci

Pri upogibnem obremenjevanju štirih betonskih prizem brez armature smo obremenitev z linearnim naraščanjem pomika približno linearno večali do trenutka porušitve (slika 7), ki je viden kot nenaden padec sile. Pripadajoč

histogram, ki je tudi prikazan na sliki 7, prikazuje pogostost dogodkov AE znotraj posameznih razredov, na katere je razdeljeno časovno območje (razredi v histogramu so dolgi približno 6 sec, celotno časovno območje je razdeljeno na 50 delov). Vidimo

lahko, da je pogostost dogodkov AE majhna v prvi polovici obremenjevanja vzorca in da se z naraščajočo obremenitvijo postopno povečuje. Tik pred porušitvijo vzorca je pogostost AE dogodkov, ki je poleg višine signalov glavno merilo za AE aktivnost, močno narasla in dosegla svoj maksimum v času porušitve vzorca.



Slika 7 • Krivulja obremenjevanja (prirast sile v odvisnosti od pomika) in pripadajoča pogostost (histogram) dogodkov AE pri nearmirani betonski prizmi

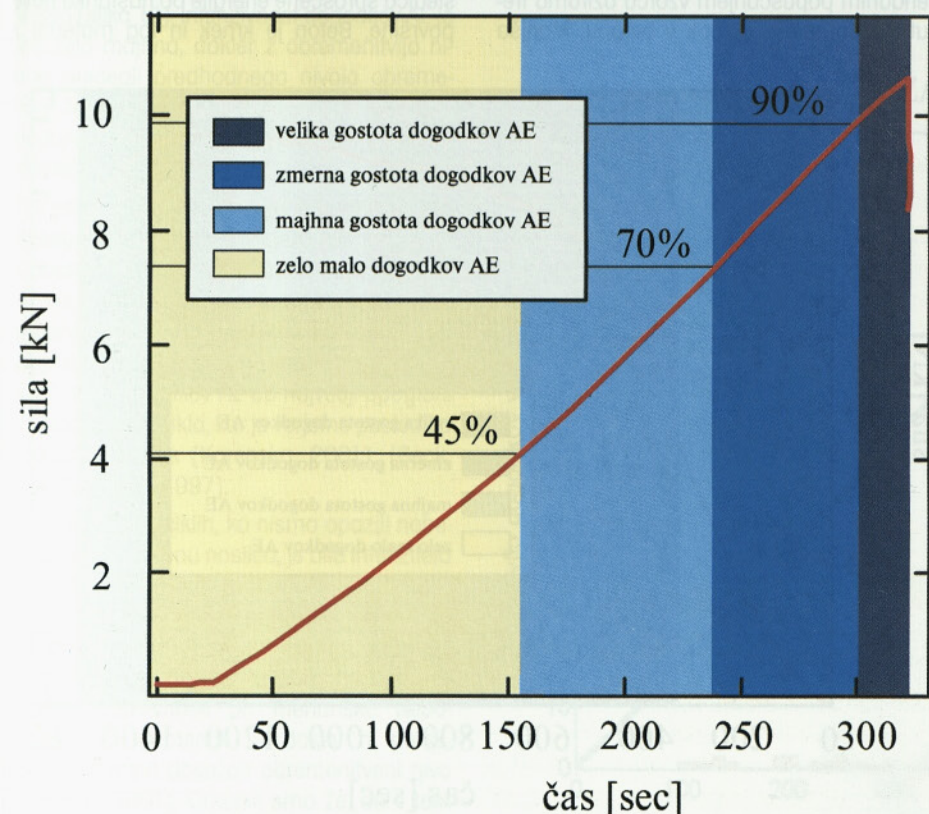
Po analizi signalov, izmerjenih pri porušitvah vseh štirih vzorcev brez armature, smo ugotovili, da lahko območje obremenjevanja glede na AE aktivnost razdelimo na 4 dele (slika 8). Značilnosti odziva na posameznih intervalih so:

1. Do približno 45 % največje obremenitve je začetni šum verjetno povzročen z izničevanjem zračnosti in stiskanjem betonske matrice.
2. Od približno 45 % do približno 70 % največje obremenitve pogostost dogodkov AE raste približno linearno z obremenitvijo. Pred-

videvamo, da se v tej fazi v betonu zelo verjetno pojavljajo posamične mikrorazpoke.

3. Pri približno 70 % porušne obremenitve se prične pogostost dogodkov AE močno povečevati. V tem obdobju se sistem mikrorazpok verjetno začne med seboj povezovati.

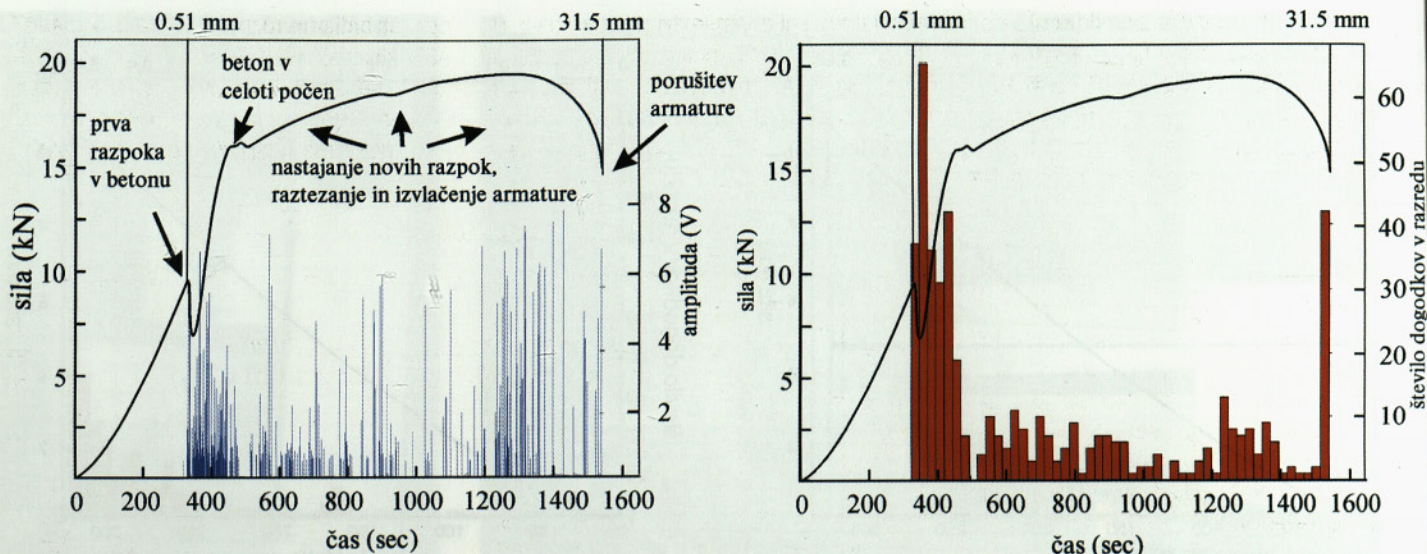
4. Po približno 90 % porušne obremenitve se pogostost dogodkov AE pospešeno povečuje. Razpoka se veča do končne porušitve vzorca. Diagram na sliki 8 kaže na to, da se gostota dogodkov AE med upogibnim preskusom veča skladno z akumulacijo poškodb. AE aktivnost raste sorazmerno z naraščajočo obremenitvijo in začne pred porušitvijo vzorca pospešeno naraščati. Z rezultati smo potrdili ugotovitve nekaterih raziskovalcev (Kermani, 1991), (Nagataki, 1987), (Samaha, 1992), ki so z merjenjem prepustnosti ugotavljali akumulacijo poškodb v tlačno obremenjenih vzorcih: vsi so poročali o nastanku prvih poškodb pri približno polovici maksimalne sile in naraščajočem porastu poškodb tik pred porušitvijo.



Slika 8 • Odvisnost upogibne sile in aktivnosti AE od časa (barvna območja predstavljajo različne aktivnosti AE - nearmirani betonski vzorci)

3.2 Armirani vzorci

V članku prikazujemo le rezultate prizem, ki imajo armaturo v nateznem delu prereza. Krivulja obremenjevanja in AE aktivnost (histogram dogodkov AE) sta prikazani na sliki 8. V prvem delu meritve, med obremenjevanjem do pojavnosti vidne razpoke v betonu, smo pri signalu AE opazili podobno obnašanje kot pri nearmiranih vzorcih: pogostost dogodkov AE se je povečevala sorazmerno z naraščajočo obremenitvijo. Neposredno pred pojavom prve vidne razpoke v betonu pa je pogostost AE dogodkov pospešeno narasla, kar



Slika 9 • Krivulja obremenjevanja (prirast sile v odvisnosti od pomika) in pripadajoča pogostost (histogram) dogodkov AE pri armirani betonski prizmi (vzorec z armaturo v nateznem področju)

lahko povežemo z nastajanjem, večanjem in združevanjem mikrorazpok v betonu (slika 9). Vidna razpoka je nastala nenadoma in je na krivulji poteka obremenitve vidna kot izrazit padec sile (oznaka 'prva razpoka v betonu'). Razpoka na vzorcu je v tej fazi preskusa segala približno do višine vgrajene armature. Ob nadaljnjem obremenjevanju se je razpoka razširila čez celoten presek, nato pa so ob hkratnem raztezanju armature začele nastajati nove razpoke, ki so se širile iz obstoječe razpoke, ali nastajale vzporedno. V tem območju so se izmenjavala obdobja z različnimi pogostostmi dogodkov AE, odvisno od intenzivnosti širjenja razpok oziroma raztezanja armature (Vojvodič, 2002), (Wang, 1993). Končni pretrg armature in s tem tudi porušitev vzorca je generiral veliko število AE dogodkov. Na podlagi analize signalov AE, izmerjenih na betonskih vzorcih z vgrajeno armaturo, lahko glavne značilnosti AE odziva armiranih prizem pri upogibnem obremenjevanju razdelimo na 4 intervale (slika 10). Značilnosti odziva na posameznih intervalih so:

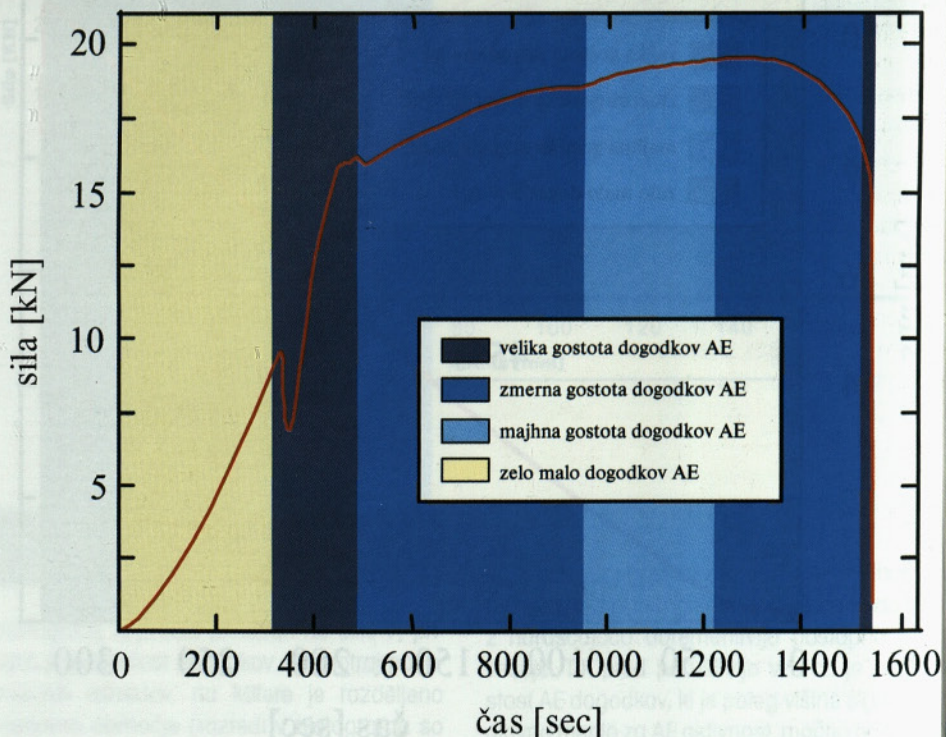
1. Prva vidna razpoka se pojavi nenadoma pri določeni obremenitvi približno na sredini vzorca na natezno obremenjenem delu. Pri povečevanju pomika se razpoka počasi širi približno do višine armature. Pri tem sila na vzorcu trenutno pade, istočasno pa se generira velik skupek dogodkov AE.
2. Sila z večanjem pomika začne ponovno naraščati, razpoka pa se širi do zgornjega roba preskušanca. Togost elementa se v primerjavi z začetno zmanjša. Gostota AE dogodkov je v

tem območju relativno visoka in se ujema s povečevanjem razpoke v betonu.

3. Obremenitev prevzame armaturna žica, ki se najprej elastično in nato plastično razteza, hkrati pa v betonu nastajajo nove razpoke. Povečana aktivnost AE se večinoma ujema z nenadnim popuščanjem vzorca oziroma trenutnim porastom razpok v betonu. Manjša

aktivnost AE se ujema s področjem konstantne togosti preseka, ki je prisotna med raztezanjem armature.

4. Porušitev armature in posledična porušitev vzorca generira kratek in visok signal AE. Z metodo detektiramo signale AE, ki so posledica sproščene energije ob nastanku nove površine. Beton je krhek in tog material z



Slika 10 • Odvisnost upogibne sile in aktivnosti AE od časa (barvna območja označujejo različne nivoje aktivnosti AE) pri betonskih vzorcih z armaturo v nateznem področju

majhnimi raztezki, zato v betonu do nastanka začetne razpoke ne nastajajo nove površine in je dogodkov AE malo. Signale AE generirajo nastajanje in napredovanje razpok, pokanje in drobljenje granulata, pokanje betona okrog armature (izvlačenje armature) in pokanje same armature.

3.3 Prednapeti nosilec

Kot je bilo omenjeno v razdelku 2.3, smo prototip prednapetega mostnega nosilca ciklično obremenjevali z 18 zaporednimi cikli, med katerimi smo povečevali nivo maksimalne upogibne sile. Nosilca nismo uspeli porušiti, vendar smo povzročili veliko razpok. Glede na AE odziv lahko potek upogibnega preskusa razdelimo na 3 dele:

1. V prvih ciklih obremenjevanja do upogibne sile približno 1000 kN oziroma 35 % največje sile (cikel št. 5) se je generiralo zelo malo dogodkov AE, ki jih večinoma ni bilo mogoče povezati s trenutnim nivojem sile.

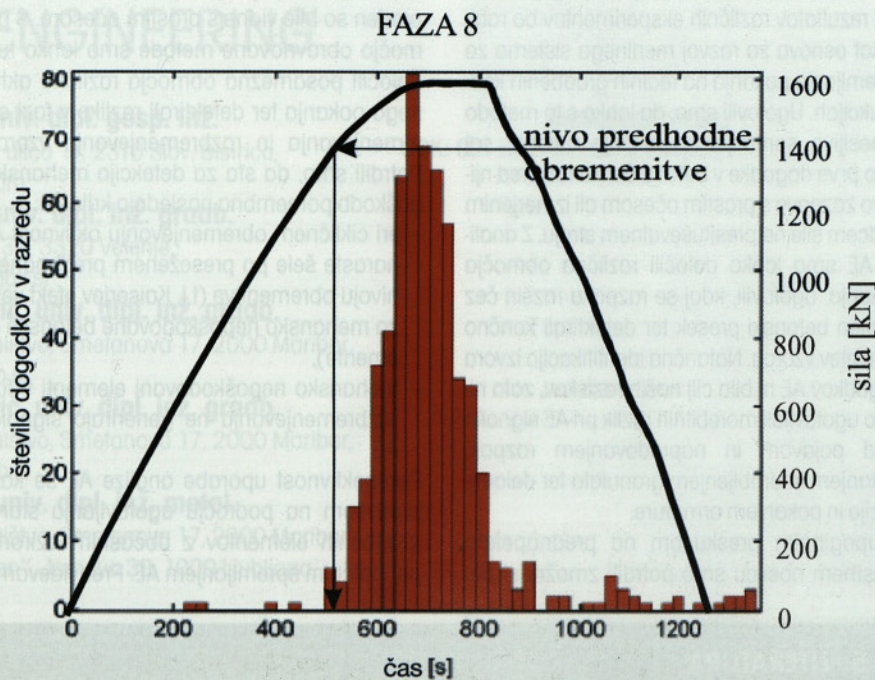
2. S cikličnim naraščanjem upogibne obremenitve (približno do cikla 10), dokler je bila upogibna sila manjša od 2000 kN oziroma 70 % največje dosežene sile, se je intenzivnost dogodkov AE z naraščanjem obremenitve povečevala in v vsakem ciklu dosegla najvišji nivo, ko smo dosegli najvišjo upogibno silo (slika 10). Intenzivnost dogodkov AE je bila zelo majhna, dokler z obremenitvijo nismo presegli predhodnega nivoja obremenitve. Na sliki 11 je tudi razvidno, da je bila intenzivnost dogodkov AE zelo nizka v času razbremenjevanja nosilca.

3. V obremenilnih ciklih, kjer je upogibna sila presegla 70 % maksimalne upogibne sile, se je pojavljala precejšnja intenzivnost dogodkov AE ob maksimalni sili in v fazi razbremenjevanja (slika 12). Intenzivnost dogodkov AE v fazi razbremenjevanja je kmalu presegla intenzivnost dogodkov AE ob največji upogibni sili določenega cikla, kar je verjetno posledica zapiranja razpok (Korenska, 2001), (Beck, 2003), (Shield, 1997).

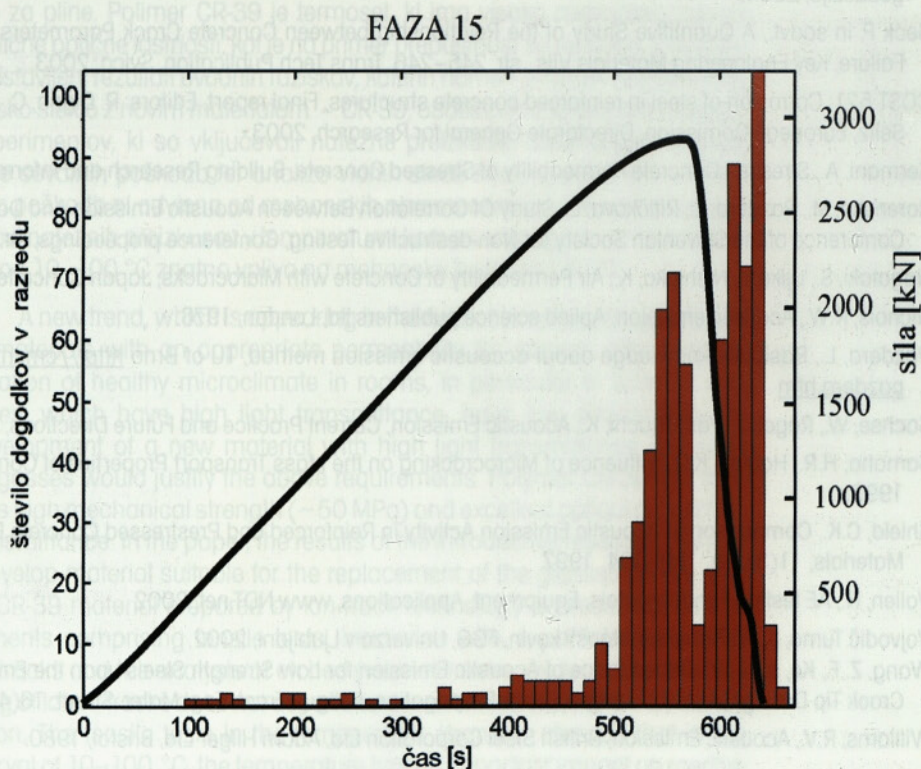
V obremenilnih ciklih, ko nismo opazili nobenih razpok v betonu nosilca, je bila intenziteta dogodkov AE zelo majhna, dokler z obremenitvijo nismo presegli predhodnega nivoja obremenitve. Ti rezultati so v skladu s Kaiserjevim efektom, ki velja za homogene materiale: AE aktivnosti pri mehansko nepoškodovanih elementih ni, dokler ni presežen predhodno dosežen obremenitveni nivo (Pazdera, 2001). Omenili smo že, da v tem obdobju tudi nismo izmerili praktično nobene AE aktivnosti pri razbremenjevanju. Pri po-

večani upogibni obremenitvi (ko je upogibna sila presegla 70 % maksimalne upogibne sile) so se začeli pojavljati dogodki AE že pri začetku obremenjevanja in tudi pri razbremenjevanju; v tem obdobju smo začeli

opaziti tudi prve razpoke v betonu. Iz meritev AE aktivnosti med obremenjevanjem torej lahko relativno natančno ocenimo poškodovanost armiranobetonskega elementa oziroma določimo, kdaj pride do prvih poškodb.



Slika 11 • Krivulja obremenjevanja in histogram AE med fazo 8 prednapetega mostnega nosilca



Slika 12 • Krivulja obremenjevanja in histogram AE med fazo 15 prednapetega mostnega nosilca

4 • SKLEP

Osnovni cilj dela je bil raziskati uporabnost analize AE za detekcijo pokanja izbranih gradbenih elementov v laboratorijskih pogojih. Analiza rezultatov različnih eksperimentov bo rabila kot osnova za razvoj merilnega sistema za spremljanje pokanja na realnih gradbenih konstrukcijah. Ugotovili smo, da lahko s to metodo zanesljivo spremljamo pokanje betona, saj smo prve dogodke v betonu detektirali pred njihovo zaznavo s prostim očesom ali izmerjenim padcem sile na preskuševalnem stroju. Z analizo AE smo lahko določili različna območja pokanja, ugotovili, kdaj se razpoka razširi čez celoten betonski presek ter detektirali končno porušitev vzorca. Natančna identifikacija izvora dogodkov AE ni bila cilj naših raziskav, zato nismo ugotavljali morebitnih razlik pri AE signalih med pojavom in napredovanjem razpok, pokanjem in drobljenjem granulata ter delaminacijo in pokanjem armature.

Z upogibnim preskusom na prednapetem mostnem nosilcu smo potrdili zmožnost de-

tekcije pokanja betona z analizo AE na večjih armiranobetonskih elementih: tudi tu smo uspeli zaznati pojav prvih razpok v betonu, še preden so bile vidne s prostim očesom. S pomočjo obravnavane metode smo lahko tudi določili posamezna območja različno aktivnega pokanja ter detektirali razlike v fazi obremenjevanja in razbremenjevanja vzorca. Potrdili smo, da sta za detekcijo mehanskih poškodb pomembna naslednja kriterija:

- pri cikličnem obremenjevanju aktivnost AE naraste šele po preseženem predhodnem nivoju obremenitve (t.i. Kaiserjev efekt velja za mehansko nepoškodovane betonske elemente),
- mehansko nepoškodovani elementi v fazi razbremenjevanja ne generirajo signalov AE.

Perspektivnost uporabe analize AE se kaže predvsem na področju ugotavljanja stanja gradbenih elementov z občasnim oziroma periodičnim spremljanjem AE. Predvidevamo,

da se z AE odzivom pri obremenjevanju in razbremenjevanju elementa lahko dobi informacijo o poškodovanosti elementa; poškodovani elementi pri obremenjevanju generirajo bistveno več signalov AE kot nepoškodovani, pri razbremenjevanju pa signale AE generirajo samo poškodovani elementi. Tako bi lahko s to metodo podprte ponovitve obremenitvenih preskusov pripomogle k sledenju stanja poškodovanosti konstrukcij.

Problem pri uporabi analize AE na realnih konstrukcijah predstavlja občutljivost metode za zunanje motnje in težavno vrednotenje oziroma medsebojna primerljivost rezultatov. Pri meritvah zajemamo velike količine podatkov, ki jih je potrebno zapisati na disk in smiselno obdelati. AE signale različnih meritev je težko neposredno primerjati med seboj. Vsak element je zaradi obremenitev, dimenzije, strukture (kovine, beton, kombinacija) in lastnosti (dušenje) specifičen generator signalov AE, zato jih je možno primerjati samo v relativnih razmerjih.

5 • LITERATURA

- Bajt, Ž., Detekcija pokanja gradbenih elementov s pomočjo akustične tehnike, magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2004.
- Beck P. in soavt., A Quantitive Study of the Relationship between Concrete Crack Parameters and Acoustic Emission Energy Released during Failure, *Key Engineering Materials Vols.*, str. 245–246, Trans Tech Publication, Švica, 2003.
- COST 521: Corrosion of steel in reinforced concrete structures, Final report, Editors: R. Cigna, C. Andrade, U. Nuernberger, R. Polder, R. Weydert, E. Seitz, European Comission, Directorate-General for Research, 2003.
- Kermani, A., Stressed Concrete Permeability of Stressed Concrete, *Building Research and Information*, 19(6), str. 360–366, 1991.
- Korenska, M., Pazdera, L., Ritičkova, L., Study Of Correlation Between Acoustic Emission And Damaging Of Reinforced Concrete, 6th International Conference of the Slovenian Society for Non-destructive Testing, Conference proceedings, str. 181–185, 2001.
- Nagataki, S., Ujike, I., Nishioka, K., Air Permeability of Concrete with Microcracks, *Japan Concrete Institute, Proceedings*, 1(9), 1987.
- Nichols, R.W., *Acoustic emission*, Aplied science publishers ltd, London, 1976.
- Pazdera, L., Basically knowledge about accoustic emission method, TU of Brno <http://cmsnt.fme.vutbr.cz/uk/odbory/vav/AE2001/contrib/pazdera.htm>
- Sachse, W., Roget, J., Yamaguchi, K., *Acoustic Emission, Current Practice and Future Directions*, ASTM, 1991.
- Samaha, H.R., Hoover, K.C., Influence of Microcracking on the Mass Transport Properties of Concrete, *ACI Materials Journal*, 89(4), str. 416–424, 1992.
- Shield, C.K., Comparison of Acoustic Emission Activity in Reinforced and Prestressed Concrete Beams under Bending, *Construction and Building Materials*, 11(3), str. 189–194, 1997.
- Vallen, H., *AE testing Fundamentals, Equipment, Applications*, www.NDT.net, 2002
- Vojvodič Tuma, J., *Mehanske lastnosti kovin*, FGG, Univerza v Ljubljani, 2002.
- Wang, Z. F., Ke, J. Li. W., Dependence of Acoustic Emission for Low Strength Steels upon the Embrittlement and the Plastic Zone Reduction at the Crack Tip During Corrosion Fatigue Crack Propagation, *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 16(4), str. 441–451, 1993.
- Williams, R.V., *Acoustic Emission*, British Steel Corporation Ltd, Adam Hilger Ltd, Bristol, 1980.

UPORABNOST IONSKIH FILTROV IZ CR-39 V GRADBENIŠTVU

UTILIZATION OF CR-39 ION FILTERS IN CIVIL ENGINEERING

Katarina Jelen, univ. dipl. gosp. inž.

Temat d.o.o., Ribiška ulica 11, 2310 Slov. Bistrica,
katarinajelen@siol.com

Matjaž Tajnšek, univ. dipl. inž. gradb.

Vegrad d.d., Stari trg 35, 3320 Velenje,
matjaz.tajnsek1@email.si

mag. Lucija Hanžič, univ. dipl. inž. gradb.

Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova 17, 2000 Maribor,
lucija.hanzic@uni-mb.si

mag. Andrej Ivanič, univ. dipl. inž. gradb.

Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova 17, 2000 Maribor,
andrej.ivanic@uni-mb.si

dr. Radomir Ilič, univ. dipl. inž. metal.

Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova 17, 2000 Maribor
in Institut "Jožef Štefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana,
radomir.ilic@ijs.si

Znanstveni članek

UDK: 691.615 : 678.072 (043.2)

Povzetek | Nova težnja, ki se pojavlja na področju gradbene fizike, je ustvariti primer-
no prepustnost materialov za pline, ki bi omogočala zdravo mikroklimo v bivalnih prostorih,
predvsem šol, bolnišnic itd. Stekla, ki imajo visoko prepustnost za svetlobo, imajo nizko pre-
pustnost za pline. Pokazala se je potreba za razvoj novega materiala z visoko prepustnost-
jo za svetlobo in za pline. Polimer CR-39 je termoset, ki ima visoko mehansko trdnost
(~50 MPa) in odlične optične lastnosti, kot je na primer prepustnost za svetlobo. V pričujo-
čem delu so predstavljeni rezultati uvodnih raziskav, katerih namen je razviti material, ki bi
nadomestil okensko steklo z novim materialom – CR-39, obdelanim z ionsko tehnologijo.
Na podlagi eksperimentov, ki so vključevali natezne preizkuse, obsevanje z α -delci,
kemično jedkanje sevalnih poškodb ter analizo vidnih sledi, smo ugotovili, da kinetika
jedkanja sevalnih poškodb ni odvisna od mehanskih obremenitev CR-39 pred ali po ob-
sevanju. Na osnovi nateznih preizkusov v temperaturni komori smo ugotovili, da temper-
atura v intervalu od 10–100 °C znatno vpliva na mehanske lastnosti CR-39.

Summary | A new trend, which is appearing in the field of construction physics, is
the creation of materials with an appropriate permeability for gasses, which would
enable the formation of healthy microclimate in rooms, in particular in schools and
hospitals. Glasses, which have high light transmittance, have low permeability for
gasses. The development of a new material with high light transmittance and high
permeability for gasses would justify the above requirements. Polymer CR-39 is a ther-
moset, which has high mechanical strength (~50 MPa) and excellent optical properties,
such as light transmittance. In the paper, the results of the introductory research, the aim
of which is to develop material suitable for the replacement of the glasses for the win-
dows with new CR-39 material prepared by ion track technology is presented. On the
basis of experiments comprising tensile tests, irradiation with α -particles, chemical
etching of latent tracks and the analysis of etched (visible) tracks, we found out that the
kinetics of etching of latent tracks does not depend on mechanical loads of CR-39 before
or after irradiation. The tensile tests in the temperature chamber showed that in the
temperature interval of 10–100 °C, the temperature has an important impact on mecha-
nical properties of CR-39.

1 • UVOD

Materiali, ki se uporabljajo za gradnjo zidov (pregrad) stanovanjskih objektov, šol, bolnišnic itd., bi naj imeli primerno prepustnost za pline, kar omogoča naravno ventilacijo zraka. V takšnih primerih lahko rečemo, da zidovi "dihajo", to pomeni, da je skozi njih omogočena primerna ventilacija, kar je zelo velikega pomena za stavbne objekte, v katerih zrak ni klimatiziran. Na splošno je prepustnost plinov odvisna od vrste in strukture materiala, predvsem pa od odprte poroznosti (Muravljov, 2000). Izbira kontrole nad prepustnostjo plinov in pare je odvisna od vrste gradnje (montažna, klasična,...). Vedno bolj se uveljavlja težnja, da bi bivalni prostori "dihali" sami po sebi, in to ob minimalnih toplotnih izgubah. Stekla, ki imajo visoko prepustnost za svetlobo, imajo nizko prepustnost za pline. Zatorej se postavlja vprašanje, ali bi bilo steklo možno nadomestiti z materialom, ki ima visoko prepustnost za svetlobo in pline. Eden od možnih materialov je polimer CR-39. Ta termosef ima visoko mehansko trdnost in odlične optične lastnosti, kot je na primer prepustnost za svetlobo. CR-39 je namenjen za izdelavo optičnih elementov, na primer leč v očalih (Perret Opticians, 2005). Uporablja pa se tudi kot detektor nabitih jedrskih delcev (Ilić, 2003) ter na področju nano in mikro tehnologije (Fischer, 1988), (EuNITT, 2005).

Pri prehodu skozi trdno snov hitri nabiti delci puščajo sevalne poškodbe (latentne sledi). Te se kažejo v lokalno spremenjeni strukturi, kemijski sestavi in gostoti snovi. Pri dielektričnih materialih nastane v poškodovanem območju okoli poti delca latentna sled, ki je definirana kot obstojna sevalna poškodba (Fleischer, 1998). Narava sevalnih poškodb je odvisna od vrste snovi. Pri tem je pomembna urejenost atomov, toplotna in električna prevodnost, toplotna kapaciteta in vrsta kemijskih vezi v snovi. Od teh lastnosti je odvisno, ali se v materialu sploh pojavijo latentne sledi. Zlasti polimeri so pokazali največjo občutljivost za različne nabite delce v širokem spektru energij (Fleischer, 1998). Latentne sledi lahko povečamo s kemičnim jedkanjem v vidne sledi oziroma "luknje".

CR-39 ima v primerjavi z drugimi polimernimi materiali boljše občutljivost za nabite delce, nabojsko in energijsko ločljivost in boljše optične lastnosti. Ker je CR-39 zelo homogen, nastanejo s kemičnim jedkanjem latentnih sledi dobro definirane vidne sledi z ostrimi in

kontrastnimi robovi, površina pa ostane gladka tudi po jedkanju (Skvarč, 1997).

V pričujočem delu smo začeli z raziskavami uporabnosti filtrov iz CR-39, dobljenih z ionsko tehnologijo, za izdelavo okenskih šip. Za ta namen smo raziskali odvisnost jedkanih sledi od

2 • PREPUSTNOST MATERIALOV ZA PLINE IN PARO

2.1 Konvencionalni materiali in tehnologije

Trend zgraditi "hermetično zaprta" poslopja, da bi zmanjšali toplotne izgube ter preprečili vlago vdor v materiale obodne konstrukcije, zamenjuje oziroma dopolnjuje nov trend, s katerim želimo na osnovi novih, za pline prepustnih materialov, doseči optimalno klimo v prostorih. Nekoč so gradili hiše, pri katerih se je, tudi pri zaprtih oknih, izmenjeval zrak skozi okenske reže, dandanes pa okna običajno dobro tesnijo in je zato za prezračevanje potrebno okna odpreti. Problem, ki se pojavlja, je naslednji: po eni strani je treba narediti odlično tesno in izolacijsko okno, hkrati pa se tudi s tem zmanjša prezračevanje. Ena izmed rešitev bi bila odlična izolacijska in zelo tesna okna v povezavi s prezračevalnim sistemom. Na trgu se trenutno pojavljajo tesna okna s prezračevalnimi režami v spodnjem delu okvirja, ki omogočajo kontrolirano mehansko uravnavanje prehoda zraka v oziroma iz prostora (Hass dom, 2004).

Po fizikalnih zakonih se plini, torej tudi vodna para, gibljejo iz prostorov, kjer je koncentracija velika (visok parni tlak), v prostore, kjer je koncentracija majhna (nizek parni tlak). Ta pojav opišemo z masnim tokom Φ_m (kg/s), ki je definiran kot masa plina m (kg), ki preide skozi pregrado iz enega prostora v drugega v času t (s). Odvisen je od razlike tlakov Δp (Pa) in od koeficienta prepustnosti pregrade δ (kg/(m Pa s)):

$$\Phi_m = \delta \cdot S \cdot \frac{\Delta p}{a} \quad (1)$$

kjer je S površina (m²), a pa debelina pregrade (m). Koeficient prepustnosti pregrade δ je za različne pline v splošnem različen. Celotni masni tok je torej vsota masnih tokov posameznih komponent; od razlike delnih tlakov posameznih plinskih komponent v plinski mešanici pa je odvisno, kateri plin in koliko letega bo prešlo iz enega v drug prostor.

mehanskih obremenitev materiala pred obsevanjem oziroma po obsevanju in določili mehanske lastnosti CR-39 pri različnih temperaturah. Zaradi izpostavljenosti okenskega stekla različnim temperaturam (od -30 °C do +100 °C) moramo poznati odvisnost mehanskih lastnosti materiala od temperature. Zato smo s pomočjo nateznih preizkusov v temperaturni komori v intervalu 10–100 °C izmerili nekatere mehanske lastnosti CR-39.

Prepustnost za pline in pare je v veliki meri odvisna od strukture materiala, gostote in poroznosti, pri čemer vsekakor igra glavno vlogo odprta poroznost. Obseg prepustnosti je odvisen od upora stenskega materiala na vodno paro. V zvezi s tem se najpogosteje v postopek uvede t.i. faktor upora materiala na vodno paro μ , ki je definiran kot:

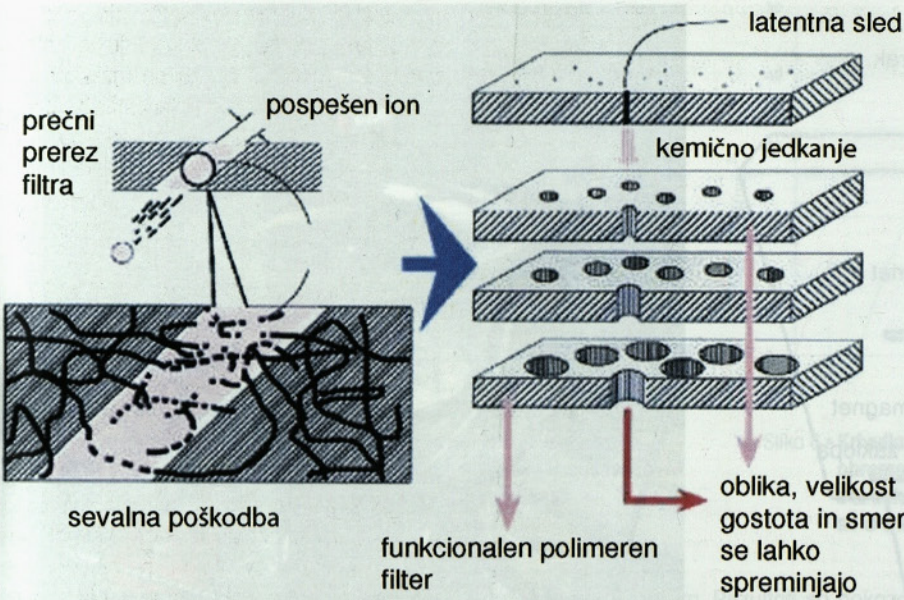
$$\mu = \frac{\delta'}{\delta} \quad (2)$$

kjer je δ' koeficient prepustnosti vodne pare skozi zrak (Premerl, 1983).

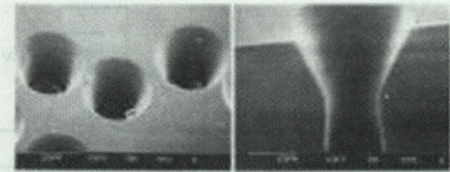
2.2 Ionski mikrofiltri

Kot smo uvodoma omenili, raziskujemo možnost kontrole izmenjavanja plinov skozi okenske šipe objekta. Pri tem bi okensko steklo nadomestili z mikrofiltri iz CR-39, ki jih naredimo s pomočjo ionske mikrotehnologije. Okensko steklo želimo nadomestiti z novim materialom – po posebnem postopku obdelanim CR-39, katerega prepustnost za pline in paro bi bila bistveno večja od stekla. Takšna okenska šipa, neprepustna za tekočo vodo, bi prepuščala pline in paro skozi mikropore v CR-39.

CR-39 pridobivamo s polimerizacijo monomera alil diglikol karbonata. Združuje optične lastnosti stekla z izvrstnimi mehanskimi, termičnimi in kemičnimi lastnostmi. CR-39 spada med toplotno ojačane polimere – termosefe, kjer imajo polimerne verige visoko stopnjo prečne povezanosti in tvorijo tridimenzionalno mrežno strukturo. Ker verige ne morejo rotirati ali drseti, imajo ti polimeri visoko trdnost, togost in trdoto, nizko razteznost in nizko udarno žilavost. Termosefi pa imajo tudi nizko duktilnost. V nateznem preizkusu se termosefi obnašajo podobno kot krhka kovina ali keramika (Askeland, 1998). S povečanjem temperature praviloma pride do znižanja trdnosti, z nižanjem temperature pa do povečanja trdnosti, vendar padca žilavosti.



Slika 1 • Proces nastanka ionskega filtra (JAERI, 2005). Hitri nabiti delci puščajo v trdni snovi sevalne poškodbe oz. latentne sledi. Latentno sled, nastalo z obsevanjem, lahko povečamo s kemičnim jedkanjem, saj je hitrost jedkanja vzdolž sledi večja od hitrosti jedkanja nepoškodovanega materiala. Posledica dveh različnih hitrosti jedkanja je nastanek jamic – jedkanih sledi



Slika 2 • Levo: Alil diglikol karbonat (CR-39) mikrofilter z lijakastimi luknjicami premera 10 μm in maksimalnim premerom lijaka 20 μm . Dolžina luknjice je 90 μm . Desno: Prečni prerez skozi eno luknjico (Spohr, 1990)

in bolj praktično uporabiti polimerne materiale (Fleischer, 1998). Primeren material je poleg polikarbonata in drugih polimerov tudi alil diglikol karbonat (CR-39), ki ima visoko homogenost, katera se kaže v njegovi visoki transparentnosti. Poleg tega je pri tem materialu možno doseči izjemno planparalelne površine in gladkost sten luknjic (slika 2). Tudi v fosfatnih steklih lahko nastanejo sledi, vendar so ta stekla manj občutljiva v primerjavi s polimeri in lahko z njimi zaznamo le delce, ki imajo naboj $> 20\text{ C}$, hkrati pa so ta stekla zelo draga (Tretyakova, 2001).

V nadaljevanju so prikazani uvodni eksperimenti in preliminarni rezultati naših raziskav. Podrobnosti so podane v dveh diplomskih nalogah (Jelen, 2004), (Tajnšek, 2004).

Koncept proizvodnje filtrov na podlagi ionske tehnologije temelji na obsevanju s težkimi ioni in naknadnem kemičnem jedkanju sevalnih poškodb. Osnovni proces nastanka polimerne filtra je prikazan na sliki 1. Naj omenimo, da filtri na podlagi ionskih sledi omogočajo mehanično separacijo majhnih

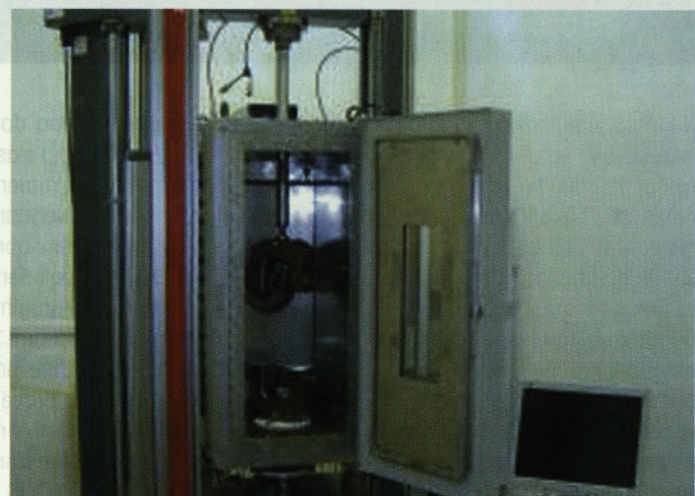
delcev, nahajajočih se v tekočem ali plinastem stanju. Gostota, velikosti in oblike "luknjic" so odvisne od vrste in energije iona, vrste in debeline materiala in pogojev jedkanja (časa, temperature itd.) (Spohr, 1990). Te vrste filtrov so najprej izdelovali iz stekla ali iz sljude, šele nato so odkrili, da je možno

3 • EKSPERIMENT

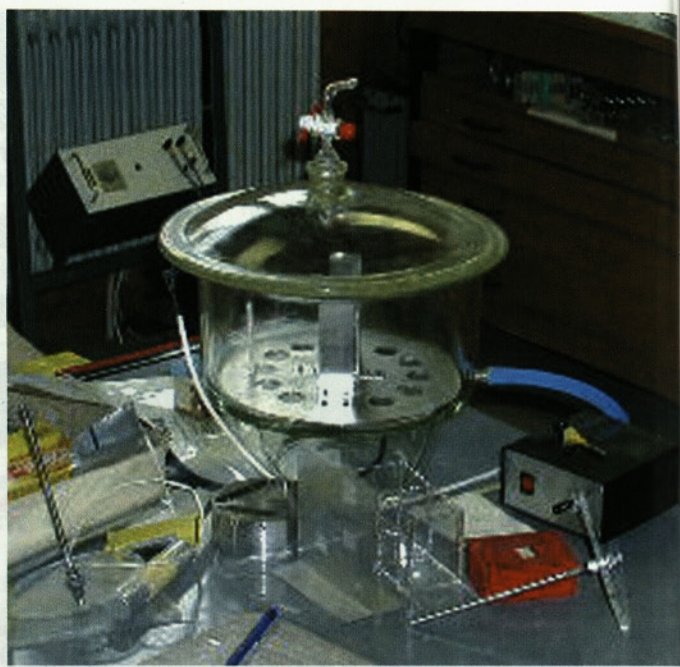
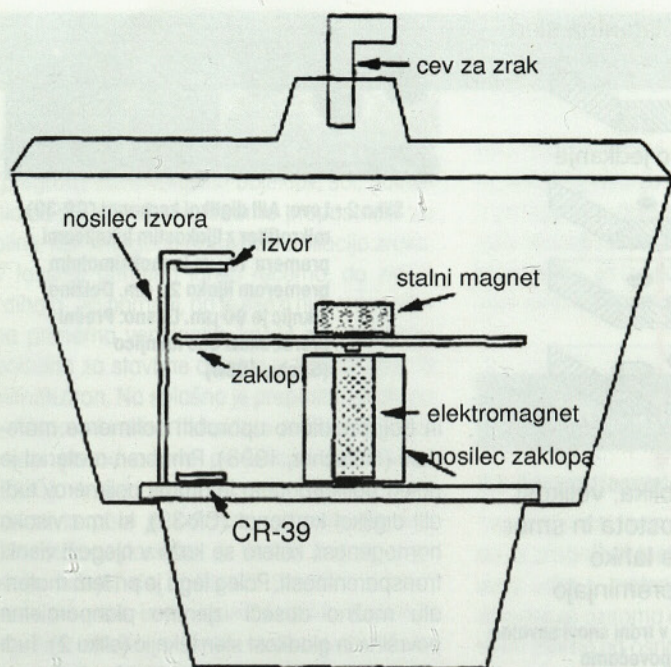
Uporabili smo vzorce iz CR-39, ki ga proizvaja podjetje INTERCAST, Italija. Dimenzije vzorcev so znašale 185/30/0,7 mm. V prvem delu

eksperimenta smo vzorce najprej mehansko obremenili ter nato obsevali z α -delci. V drugem delu eksperimenta smo vzorce najprej

obsevali in nato mehansko obremenili. Ta dva dela eksperimenta smo opravili pri sobni temperaturi. Transformacija latentnih (sevalnih poškodb) v vidne luknje in ovrednotenje vidnih sledi je pri vseh vzorcih potekalo po istem



Slika 3 • Levo: naprava za testiranje materialov Zwick/Roell tip TC-FR010TH.A50 in desno: temperaturna komora na Fakulteti za gradbeništvo Univerze v Mariboru



Slika 4 • Shematska ponazoritev ter fotografija naprave za obsevanje (Skvarč, 1997)

postopku. V tretjem delu eksperimenta smo merili mehanske lastnosti neobsevanega CR-39 pri različnih temperaturah.

Obremenjevanje vzorcev in meritve mehanskih lastnosti oz. natezni preizkus je potekal na napravi za testiranje materialov Zwick/Roell (slika 3). Vzorce smo obremenjevali do določenih napetosti. Med preizkusom je bil torej edini dejavnik, ki smo ga spreminjali, sila.

Preostali del eksperimenta smo izvedli v Reaktorskem centru Inštituta Jožef Štefan, Ljubljana. Obsevanje z α -delci, ki jih seva izvor ^{239}Pu , je

potekalo s pomočjo naprave, prikazane na sliki 4. V stekleni zatesnjeni posodi je nosilec izvora ^{239}Pu , ki je postavljen okoli 10 cm nad ploščico iz CR-39, s čimer dosežemo pravokoten vpad delcev in s tem okrogle sledi. Čas obsevanja je bil 4 minute. Nadalje smo jedkali vse vzorce hkrati, 6 ur v 6,25-molarni raztopini NaOH pri 70 °C v napravi za jedkanje. Po tem smo z avtomatskim sistemom za analizo sledi TRACOS (Skvarč, 1997) izmerili gostoto in velikost sledi. Pri raziskavah odvisnosti mehanskih lastnosti CR-39 od temperature smo vzorce v temperaturni komori temperirali na določeno tem-

peraturo, nato pa jih natežno obremenili do pretrga. Pri temperaturah 10–100 °C smo vzorce obremenjevali na temperaturnih razmakih 10 °C, pri temperaturah 100–180 °C pa vsakih 20 °C. Pri vsaki izbrani temperaturi smo preiskali po tri vzorce. Med preizkusi na temperaturah, višjih od 50 °C, smo vpeti del vzorca dodatno zaščitili z alu folijo in tkanino, saj je pri teh temperaturah pogosto prihajalo do lokalne porušitve v vpetem delu. Ko smo pripravili vzorec, smo ga vpeli v napenjalno glavo ter s temperaturno komoro dosegli temperaturo, na kateri smo vzorec pretrgali.

4 • REZULTATI

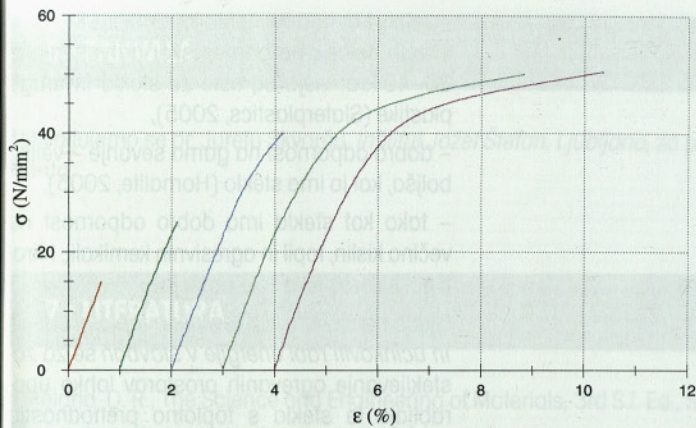
Na sliki 5 je prikazana napetostno-deformacijska krivulja (σ - ϵ) za pet postopno obremenjenih vzorcev pri različni vrednosti končne napetosti. Ti rezultati so pokazali, da povprečna vrednost modula elastičnosti E znaša 2,4 GPa, natezna trdnost pa 50 MPa. Zadnji vzorec smo obremenili do porušitve, to je do 50 MPa. Slika 6 prikazuje napetostno-deformacijske krivulje (σ - ϵ) za vseh pet postopno obremenjenih vzorcev, ki smo jih obsevali z α -delci pred natežno obremenitvijo. Glede na dejstvo, da je bila gostota latentnih sledi pri obsevanih vzorcih majhna, so odzivne funkcije σ - ϵ za neobsevane in obsevane vzorce praktično enake. Iz slik 5 in 6 (vzorca, ki sta

bila obremenjena do porušitve) je razviden pretežno linearno-elastičen odziv, torej gre za pretežno krhek material. Meja plastičnosti je prepoznavna, vendar je plastično območje zelo ozko. V tem območju nastajajo mikrorazpoke. Pri polimerih ločimo med mikrorazpokami, ki v drugih materialih ne nastajajo, in pravimi razpokami. Na mestu mikrorazpoke nastanejo majhne praznine (do 20 μm), ki nato rastejo v prave razpoke (slika 7). Pri določeni napetosti (v našem primeru 50 MPa) pride do porušitve s krhkim lomom.

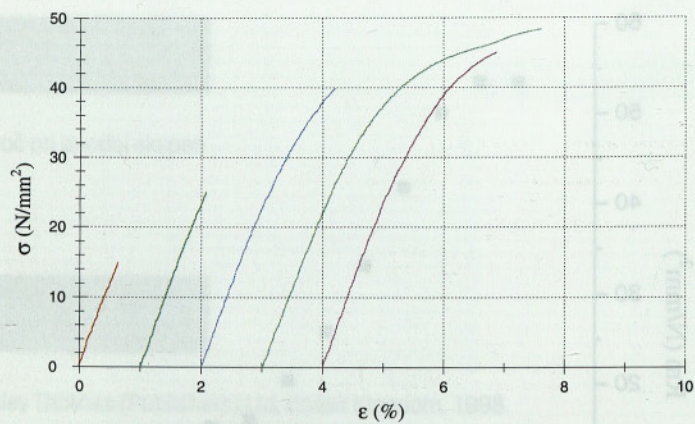
S sistemom TRACOS (Skvarč, 1997) smo na vzorcih izmerili porazdelitev sledi po velikosti. Povprečno vrednost premera vseh sledi

določenega vzorca in standardni odklon smo izračunali na podlagi prilaganja histograma Gaussovi krivulji. Odvisnost povprečnega premera jedkanih sledi D_m od napetosti σ za vzorce, ki smo jih obsevali po nateznem obremenjevanju do različnih končnih napetosti, je prikazana na sliki 8 in za vzorce, ki smo jih obsevali pred nateznim obremenjevanjem, na sliki 9. Analiza rezultatov je pokazala, da je povprečen premer sledi neodvisen od predhodnih obremenitev. Torej lahko trdimo, da obremenitev nasploh, pred obsevanjem ali po njem, nima vpliva na kinetiko jedkanja sevalnih poškodb.

Rezultati meritev mehanskih lastnosti pri različnih temperaturah so povzeti na slikah 10–12. Iz slike 10 je razvidno, da je natezna trdnost neodvisna od temperature do ~20 °C. Z nadaljnjim povečevanjem temperature za-



Slika 5 • Krivulja napetost-deformacija (σ - ϵ) za pet vzorcev, ki smo jih obremenili do različnih velikosti končne napetosti in obevali z α -delci po natezni obremenitvi. Zaradi preglednosti so σ - ϵ krivulje za vzorce 2-5 premaknjene desno



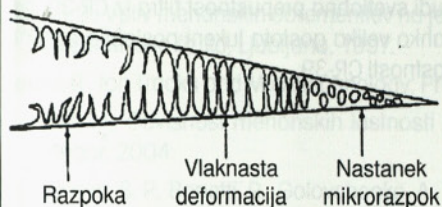
Slika 6 • Krivulja napetost-deformacija (σ - ϵ) za pet vzorcev, ki smo jih obremenili do različnih velikosti končne napetosti in jih obevali z α -delci pred natezno obremenitvijo. Zaradi preglednosti so σ - ϵ krivulje za vzorce 2-5 premaknjene desno

čne natezna trdnost padati, najprej počasi (~ do 30 °C), potem pa hitro (~ do 60 °C). Pri temperaturah > 60 °C natezna trdnost spet počasi pada in se asimptotično približuje minimalni vrednosti. Slika 11 kaže, da največje vrednosti deformacije pri porušitvi dobimo pri temperaturi 30 °C. Elastični modul (slika 12) pri temperaturi 180 °C je približno desetkrat nižji kot pri sobni temperaturi, kar potrjuje močno odvisnost mehanskih lastnosti CR-39 od temperature.

CR-39 ima največje trdnosti pri nižjih temperaturah (~ do 10 °C), vendar se takrat mate-

rial le malo deformira. Rezultati so pokazali, da so se vzorci pri temperaturi 10 °C porušili pri 5,40 % deformaciji in dosegli trdnost 52 MPa ter elastični modul 2,60 GPa, medtem ko pri temperaturi 180 °C pride do

porušitve pri napetosti 3,70 MPa in 1,85 % deformaciji. Elastični modul pri tej temperaturi znaša le 0,22 GPa. V steklasto fazo CR-39 preide pri temperaturi 85 °C (Homalite, 2005).

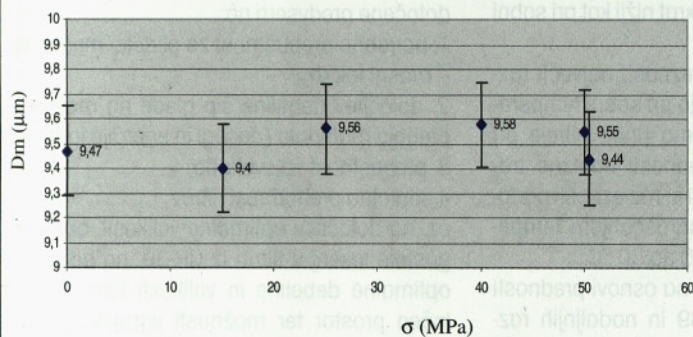


Slika 7 • Nastanek razpoke iz mikrorazpok v polimerih (Askeland, 1998)

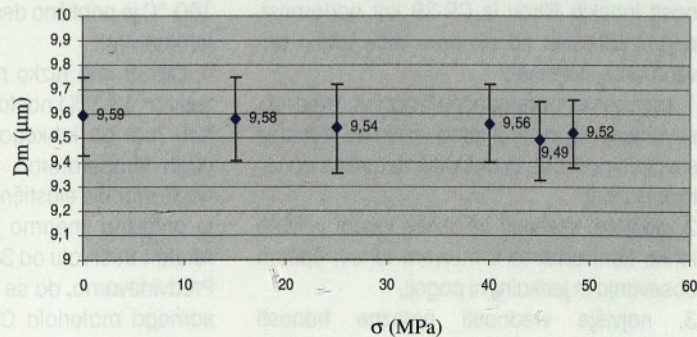
Lastnost	Steklo	CR-39
Gostota (kg/m ³)	2600	1320
Koeficient toplotne prevodnosti λ (W/mK)	0,81	0,21
Koeficient toplotnega prehoda U (W/m ² K)	5,80	
Faktor upora materiala na vodno paro μ	∞^a	
Tlačna trdnost (MPa)	700-950	155
Natezna trdnost (MPa)	30-70 ^b	35-42
Modul elastičnosti E (MPa)	7×10^4	$2,37 \times 10^3$ ^c
Svetlobna prepustnost (%)	min 85 ^d	89-92 ^d
Lomni količnik	1,52 ^e	1,50
Koeficient toplotnega raztezka α_r (°C ⁻¹)	$0,5-9 \times 10^{-6}$	$1-3,2 \times 10^{-4}$

Preglednica 1 • Mehanske in fizikalne lastnosti CR-39 in stekla

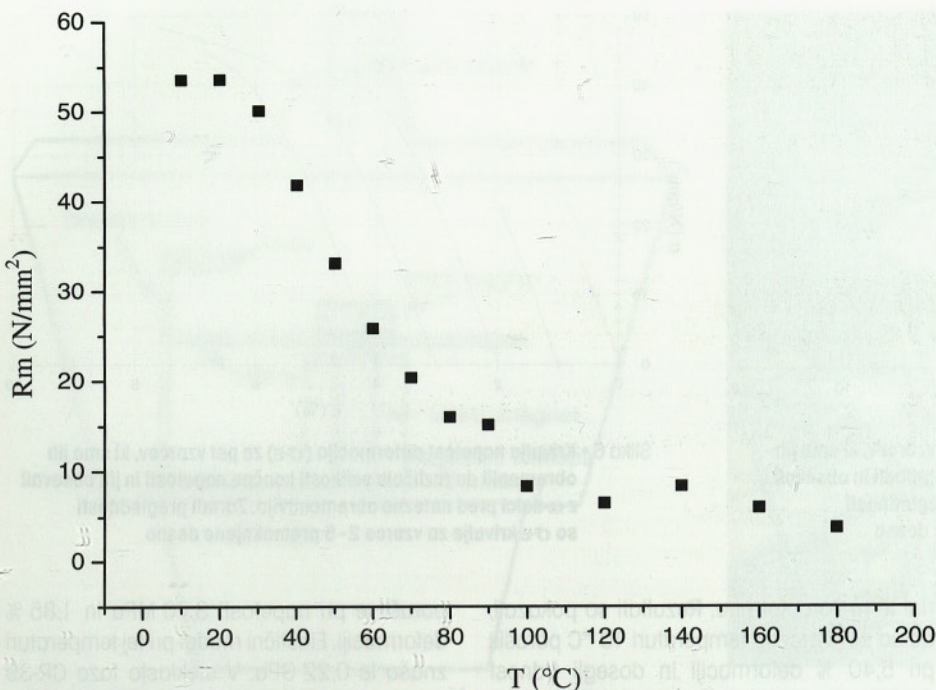
- ^a okensko ravno steklo
- ^b palica premera 10 mm
- ^c podatek je rezultat naše raziskave (poglavje 4)
- ^d pri debelini 6 mm
- ^e običajno belo steklo



Slika 8 • Odvisnost povprečnega premera (D_m) vseh sledi določenega vzorca od napetosti (σ) za vzorce, ki smo jih obevali po nateznem obremenjevanju do različnih končnih napetosti



Slika 9 • Odvisnost povprečnega premera (D_m) vseh sledi določenega vzorca od napetosti (σ) za vzorce, ki smo jih obevali pred nateznim obremenjevanjem do različnih končnih napetosti. Opomba: porušen je bil četrti vzorec, ne peti, pri napetosti 48,38 MPa (Slika 6)

Slika 10 • Odvisnost natezne trdnosti (R_m) od temperature (T)

4.1 Primerjava mehanskih in fizikalnih lastnosti CR-39 ter stekla

Preglednica 1 prikazuje mehanske in fizikalne lastnosti CR-39 in okenskega ravnega stekla.

Ti podatki kažejo, da:

- ima CR-39 približno dvakrat manjšo gostoto kot steklo (Slaterplastics, 2005),
- je CR-39 toplotni izolator, saj je njegova toplotna prevodnost približno štirikrat manjša

od prevodnosti stekla in je primerljiva s toplotno prevodnostjo lesa bukve, hrasta,

- ima CR-39 dobre optične lastnosti – lomni količnik tega materiala je nekoliko nižji od navadnega stekla; svetlobna prepustnost je približno enaka svetlobni prepustnosti optičnega stekla.

Poleg tega CR-39 karakterizira:

- dobra odpornost na toploto (0,91–1,27 mm odstopanja pri 130 °C) (Homalite, 2005),

– odpornost na tvorjenje jamic zaradi vročih letečih delcev, na primer isker pri varjenju je 30–40-krat višja od tiste za stekla in druge plastike (Slaterplastics, 2005),

– dobra odpornost na gama sevanje – veliko boljše, kot jo ima steklo (Homalite, 2005),

– tako kot stekla ima dobro odpornost na večino kislin, topil in agresivnih kemikalij, hkrati pa je korozijsko zelo obstojno.

Glede na slovenski *Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah* se za stekljevanje ogrevanih prostorov lahko uporabljajo le stekla s toplotno prehodnostjo $< 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Reflex, 2005). Najnovejša stekla imajo toplotno prehodnost z vrednostjo $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, ki se z razvojem znižuje. Torej se bodo najmanj takšne vrednosti pričakovale tudi za nov material v oknih. Potrebno bo narediti raziskave tudi na področju prepustnosti filtrov iz CR-39 in odgovoriti na vprašanja, kakšna prepustnost je optimalna glede na različne tipe objektov, kolikšna je potrebna debelina takšnih oken, kako se bodo vgrajevala, itd. Eksperimenti s področja izmenjave plinov za različne zaprte prostornine so pokazali, da tudi s filtri majhnih površin lahko zadovoljimo potrebe po izmenjavi plinov za normalno aktivnost osebkov ali celičnih kultur (Ovchinnikov, 1992). Želena vrednost masnega toka Φ_m določenega plina ali pare bo le delno določevala potrebno gostoto lukenj v šipi. Eden izmed pomembnih dejavnikov je tudi svetlobna prepustnost filtra iz CR-39, saj lahko velika gostota lukenj poslabša optične lastnosti CR-39.

5 • SKLEP

Glavne rezultate uvodnih raziskav o uporabnosti ionskih filtrov iz CR-39 kot nadomestnega materiala za okenske šipe lahko povzamemo, kot sledi:

1. mehanska obremenitev nasploh, pred obsevanjem ali po njem nima vpliva na jedkanje sevalnih poškodb in posledično tudi ne na velikost lukenj,
2. gostoto, velikosti in oblike lukenj v filtrih lahko kontroliramo s fluksom ionov, časom obsevanja in jedkalnimi pogoji,
3. najvišje vrednosti natezne trdnosti ($\sim 50 \text{ MPa}$) in elastičnega modula (2,60 GPa) smo dosegli pri 10 °C, vendar se takrat material le malo deformira ($\sim 5,4 \%$); največje deformacije nastanejo ($\sim 10,2 \%$) pri sobni

temperaturi. Elastični modul pri temperaturi 180 °C je približno desetkrat nižji kot pri sobni temperaturi,

4. CR-39 ima nizko razteznost, največji raztezki ($\sim 10,2 \%$) nastanejo pri sobni temperaturi. Tudi do krhkega loma pride hitreje pri nižjih temperaturah. Vrednosti natezne trdnosti, modula elastičnosti in razteznosti padajo približno linearno z naraščanjem temperature v intervalu od 30 °C do 80 °C.

Predvidevamo, da se bo na osnovi prednosti samega materiala CR-39 in nadaljnjih raziskav zaradi nekaterih izboljšanih fizikalnih lastnosti (prepustnost za pline), ki so velikega tržnega pomena, pokazala upravičenost uporabe novega materiala na nekaterih področjih

gradbeništva. Nadaljnje raziskave bodo osredotočene predvsem na:

1. potrebno prepustnost za plinsko mešanico – masni tok Φ_m
2. določitev debeline šip glede na možnosti preboja materiala (dosegi in energije ionov),
3. prepustnost za svetlobo,
4. toplotno prehodnost filtrov oz. na določitev optimalne velikosti, oblike in gostote lukenj v filtrih iz CR-39, na določitev optimalne debeline in velikosti filtra za določen prostor ter možnosti vgrajevanja teh filtrov v okna. Z našimi raziskavami na področju mehanskih lastnosti smo zasnovali osnovno idejo projekta, o nadaljnjem delu in rezultatih bomo poročali v prihodnje.

6 • ZAHVALA

Zahvaljujemo se dr. Juretu Skvarču, *Inštitut Jožef Štefan, Ljubljana*, za pomoč pri izvedbi eksperimenta.

7 • LITERATURA

- Askeland, D. R., *The Science and Engineering of Materials*, 3rd S.I. Ed., Stanley Thornes (Publishers) Ltd, United Kingdom, 1998.
- Fischer, B. E., Spohr, R., Ion tracks and microstructure technology, *Nucl. Tracks Radiat Meas.* 15, 1–4, str. 75–79, 1988.
- Fleischer, R. L., *Tracks to Innovation*, Springer-Verlag, New York, 1998.
- Haas dom d.o.o., Bohova 78, 2311 Hoče, g. Klasinc, zasebni pogovor, 2004.
- Homalite, <http://www.homalite.com/prop2.htm>, 2005.
- The European Network on Ion Track Technology, <http://www.mst.material.uu.se/EuNITT>, 2005.
- Japan Atomic Energy Research Institute, <http://inisjp.tokai.jaeri.go.jp>, 2005.
- Perret Opticians, <http://www.perret-optic.ch>, 2005.
- Reflex, d.o.o., <http://www.reflex.si>, 2005.
- Slater Plastics, <http://www.slaterplastics.com>, 2005.
- Ilić, R., Durrani, S. A., Solid State Nuclear Track Detectors, In: *Handbook of Radioactivity Analysis*, 2nd ed. (M. F. L'Annunziata, editor), Academic Press, str. 179–237, 2003.
- Jelen, K., *Uporabnost filtrov iz CR-39 v gradbeništvu*, Diplomsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, 2004.
- Muravljov, M., *Građevinski materijali*, IV izdanje, Građevinska knjiga, Beograd, 2000.
- Ovchinnikov, V. V., Belushkina, I. A., Vorobiev, E. D., Shestakov, V. D., Suitability of polyethylene terephthalate heavy-ion track membrane for protecting the environment in clean rooms and sterile closed apparatus, *Sep. Technol.* 2, str. 106–113, 1992.
- Premerl, F., *Gradiva v gradbeništvu*, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 1983.
- Skvarč, J., *Vpliv mehanskih obremenitev na jedkanje sledi nabitih delcev v polimeru CR-39*, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, 1997.
- Spohr, R., *Ion Tracks and Microtechnology: Principles and Applications*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1990.
- Tajnšek, M., *Odvisnost mehanskih lastnosti polimera CR-39 od temperature*, Diplomsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, 2004.
- Tretyakova, S. P., Bonetti, R., Golovchenko, A., Guglielmetti, A., Ilić, R., Mazzocchi, Ch., Mikheev, V., Ogloblin, A., Ponomarenko, V., Shigin, V., Skvarč, J., Study of cluster decay of ^{242}Cm using SSNTD, *Radiat. Meas.* 34, 1–6, str. 241–243, 2001.
- Žarnič, R., *Lastnosti gradiv*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2003.

NOVICE IZ DRUŠTEV in ZDGITS

SLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠČITO VODA

SLOVENIAN WATER POLLUTION CONTROL ASSOCIATION
SLOWENISCHE VEREINIGUNG FÜR GEWÄSSERSCHUTZ
HAJDRIHOVA 19, p.p. 660, 1001 LJUBLJANA, SLOVENIJA



Ljubljana, 24. 3. 2005

Slovensko društvo za zaščito voda (SDZV), ki je bilo ustanovljeno leta 1991 in ima nad 200 članov, se je v zadnjih letih povezal z mednarodnimi združenji, kot so IWA (International Water Association), EWA (European Water Association) in ATV (Abwassertechnische Vereinigung) ter postalo tudi njihov enakopravni član.

Namen društva je:

- združevanje pravnih in fizičnih oseb, ki se ukvarjajo z zaščito voda;
- razvijanje zavesti o pomenu zaščite voda;
- spremljanje, preučevanje in delovanje na področju zaščite in izkoriščanja voda, preskrbe s pitno vodo in ravnanja z uporabljenimi vodami in odpadki;
- informiranje in izobraževanje strokovne, znanstvene in ostale javnosti s publikacijami, predavanji, srečanji, z izmenjavo izkušenj, ekskurzijami, s tečaji in podobnimi aktivnostmi o stanju in dosežkih s področja zaščite voda;
- sodelovanje s podobnimi domačimi, tujimi in mednarodnimi društvi in organizacijami.

Skupščina SDZV je za naslednje petletno obdobje na svoji redni volilni konferenci, ki je bila 7. oktobra 2004 v Velenju, izvolila naslednje vodstvo:



RENAULT
USTVARJAMO AVTOMOBILE



Model: Master Generic 1.9 dCi 80 KM. Poraba - kombiniran način vožnje: 8,0 l/100km. Emisija CO₂: 213 g/km.
Model: Traffic Furgon 1.9 dCi 80 KM. Poraba - kombiniran način vožnje: 7,7 l/100km. Emisija CO₂: 205 g/km.
Model: Kangoo Express Generique 1.2 60 KM. Poraba - kombiniran način vožnje: 6,9 l/100km. Emisija CO₂: 163 g/km.

Organ	Ime in priimek	Funkcija
UPRAVNI ODBOR	Milenko Roš Boris Kompare Andreja Drolc Evgen Petrešin, Jana Zagorc-Končan Jože Duhovnik, Bernarda Podlipnik	Predsednik Sekretar Blagajničarka Člana Nadomestna člana
NADZORNI ODBOR	Tatjana Tipler Magda Cotman, Jernej Šoemen, Marjetka Stražar	Predsednik Člani
ČASTNO RAZSODIŠČE	Mihael J. Toman Milan Dular, Jože Panjan Sonja Šostar	Predsednik Člana Nadomestni član

Slovensko društvo za zaščito voda je izdalo vrsto publikacij in organiziralo oziroma so-organiziralo vrsto strokovnih posvetovanj. Najpomembnejša prireditve, ki jo organizira Slovensko društvo za zaščito voda, so VODNI DNEVI, ki jih organiziramo vsako leto že od 1995. Na Vodnih dnevih obravnavamo aktualne teme s področja varovanja in zaščite voda. Ker je postalo srečanje že tradicionalno, smo začeli zadnja leta vabiti tudi mednarodno priznane strokovnjake, ki dajo prireditvi še posebno vrednost. Tako smo v letu 2003 povabili prof. dr. Petra Graua iz Češke, ki je imel dvoje predavanj z naslovoma: "Male čistilne naprave 21. stoletja" in "Šaržni biološki reaktorji za male in srednje velike čistilne naprave".

Letos smo povabili prof. dr. Petra Wildererja iz Nemčije, ki je za svoje delo prejel v letu 2003 nagrado Stockholm Price, ki je največja nagrada na področju čiščenja in zaščite voda na svetu. Naslov njegovega predavanja bo "Water Supply and Sanitation – A Major Challenge for Europe".

Letos bodo Vodni dnevi posvečeni kakovosti pitne vode in bomo poleg prof. dr. Wildererja povabili k sodelovanju priznane slovenske strokovnjake s tega področja. Prireditve bo v Portorožu, 12. in 13. oktobra 2005, v hotelu Emona.

V letu 2004 je Ministrstvo za okolje in prostor podelilo SDZV poseben status društva. V Uradnem listu RS 34-1490/2004 je bila objavljena Odločba o podelitvi statusa društva Slovenskemu društvu za zaščito voda: "Slovenskemu društvu za zaščito voda, Hajdrihova 19, Ljubljana, se podeli status društva, ki deluje v javnem interesu na področju ohranjanja okolja."

Vljudno vabimo vse, ki jih delovanje v društvu zanima, da se nam pridružijo. Več o delovanju društva, prijavi in prireditvah, ki jih organizira Slovensko društvo za zaščito voda, lahko najdete na spletni strani <http://www.sdzv-drustvo.si>.

prof. dr. Milenko Roš, predsednik SDZV
Slovensko društvo za zaščito voda
Hajdrihova 19
1000 Ljubljana

Tel.: 01/476-02-00
Fax: 01/476-03-00
E-mail: milenko.ros@ki.si
Spletna stran: <http://www.sdzv-drustvo.si>

Ne-omejena prilagodljivost s prihrankom do 700.000 SIT!



OMEJENE SERIJE LAHKIH GOSPODARSKIH VOZIL RENAULT z neomejeno prilagodljivostjo. Poleg funkcionalne prostornosti in učinkovite prilagodljivosti vas bo presenetila tudi notranost - KLIMA in RADIO s CD-jem. Tako boste za enako ceno prejeli več. Zaradi ugodnih pogojev financiranja in prihranka **do 700.000 SIT** je sedaj najprimernejši čas, da si izberete svojega novega pomočnika. Renault - vodilna znamka lahkih gospodarskih vozil v Evropi. www.renault.si

ZDGITS JE V LETU 2004 POSLOVALA USPEŠNO

Zahvala vsem sodelujočim pri uspešni izvedbi sanacije v zvezi z izdajanjem Gradbenega vestnika

Po petih letih prikazane izgube ob zaključnem računu je ZDGITS zaključila poslovno leto 2004 s pozitivnim finančnim izidom v znesku 3.320.687,00 SIT.

Zaključni račun za leto 2004 je bil sprejet na seji Izvršnega odbora v Celju 29. 03. 2005, na kateri so člani z zadovoljstvom ugotovili, da se ZDGITS počasi izvija iz dolgotrajnih finančnih težav, in da so vsi dolgovi iz preteklih let v skupnem znesku 5.093.816,00 SIT, ki so bremenili predvsem izdajanje Gradbenega vestnika, poravnani.

V letu 2003 sprejeti sanacijski ukrepi v zvezi z izdajanjem Gradbenega vestnika so se tako pokazali kot uspešni. Vsebinsko in oblikovno prenovljeni Gradbeni vestnik je postal privlačnejši za bralce. Z zamenjavo tiskarja, ki skrbi tudi za tehnično urejanje in pripravo za tisk, so se stroški v primerjavi z letom 2003 zmanjšali za 26%. Uspešno finančno sodelovanje z IZS-MSG pri izdajanju revije pa zagotavlja stalno mesečno naklado 3 tisoč izvodov in svoje strokovno glasilo redno prejemajo vsi člani MSG-IZS. Izvršni odbor ZDGITS se zahvaljuje vsem posameznikom, ustanovam in podjetjem, ki so z velikim čutom odgovornosti in pripadnosti stroki prispevali k ohranitvi svoje revije s trdnim zgodovinskim poreklom in ji tako zagotovili nadaljnje izhajanje.

Naslednja skrb, izražena na zadnji seji Izvršnega odbora v Celju, pa je namenjena zagotovitvi ustreznih poslovnih prostorov sedeža ZDGITS, ker sedaj strokovna služba deluje v izredno kritičnih in zdravju škodljivih razmerah. Odborniki so bili enotnega mnenja, da mora stroka v državi imeti svoj center za civilno izražanje in zagotavljanje njenih interesov, za širjenje in prenašanje znanja in izkušenj na nove generacije inženirjev po končanem institucionalnem izobraževanju, skupen naslov, ki bo zastopal strokovne interese slovenskih gradbenikov pred oblastmi in jih zastopal pred partnerji v tujini. Zato je ZDGITS in Gradbeni vestnik potrebno ohraniti, delovanje ZDGITS pa posodobiti in prilagoditi novim zahtevam časa. ZDGITS tako potrebuje nove, za sodobno poslovanje opremljene prostore za svoj administrativni sedež, pri čemer Izvršni odbor znova računa na pomoč iz svojega gospodarskega zaledja. S skupnimi močmi smo že do sedaj prebrodili vse ovire in rešili številne probleme in naša ZDGITS deluje že 54 let. Kar preživi vse ujme in viharje pa je zares dobro.

Ob zaključku uspešnega leta 2004 se zahvaljujemo za konkretno pomoč in sodelovanje naslednjim osebam in institucijam:

- Upravnemu odboru IZS in njegovemu predsedniku, mag. Črtomirju Remcu,
- Upravnemu odboru MSG-IZS in njegovemu dosedanjemu predsedniku Gorazdu Humarju,
- Zavodu za gradbeništvo Slovenije in njegovemu direktorju, prof. dr. Mihi Tomaževiču,
- Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in njenemu dekanu, prof. dr. Bojanu Majesu,
- dosedanjemu Ministrstvu RS za šolstvo, znanost in šport,
- glavnemu in odgovornemu uredniku Gradbenega vestnika, prof. dr. Janezu Duhovniku,
- vsem članom Izdajateljskega sveta Gradbenega vestnika,
- predsedniku ZDGITS, Marjanu Vengustu ter
- vsem podjetjem in ustanovam v Sloveniji, ki s svojimi letnimi prispevki za Gradbeni vestnik znatno pripomorejo k ohranitvi kontinuitete izhajanja naše strokovne revije.

Anka Holobar
Strokovna služba ZDGITS

POSEBNO OBVESTILO

Odgovorne projektante, ki so vpisani v Posebni imenik IZS-MSG, obveščamo, da bo 06. in 07. junija 2005 potekal zadnji seminar za strokovni izpit po ZGO-C v letu 2005!

ZDGITS, Karlovška 3, 1000 Ljubljana, sprejema pisne prijave za udeležbo na seminarju do 20. maja 2005.

Vsa navodila o načinu prijave je mogoče najti na spletni strani ZDGITS:

<http://www.zveza-dgits.si>, v rubriki: »Oglasna deska« in v Gradbenem vestniku – marec 2005 (januar 2005).

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Jasmin Trgo, Idejni načrt rekonstrukcije vodnega vira Rikorvo, mentor izr. prof. dr. Boris Kompare.

Borut Novak, Odvodnjavanje mostovnih konstrukcij – viadukt Šumljak, mentor doc. dr. Jože Panjan.

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Emir Pašalić, Projektiranje potresno odpornih AB okvirjev po prEN 1998-1, mentor prof. dr. Peter Fajfar, somentor asist. dr. Matjaž Dolšek.

Alja Kralj, Sistemi umirjanja prometa na vozišču in cestni mreži, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor asist. dr. Peter Lipar.

Simon Kogoj, Deterministična ocena potresne ranljivosti armiranobetonskih sten pravokotnega prereza, mentor prof. dr. Matej Fischinger.

Dalibor Stanič, Programski sistem za projektiranje ravninskih armiranobetonskih okvirjev s postopkom načrtovanja nosilnosti, mentor prof. dr. Matej Fischinger, somentor viš. pred. mag. Vid Marolt.

Žiga Babšek, Časovni parametri v semaforiziranem križišču, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor Zdenko Breška, prof. mat.

Miha Maslo, Eksperimentalno podprta potresna analiza dvoetažne AB okvirne konstrukcije s kompozitnimi sendvič ploščami, mentor izr. prof. dr. Roko Žarnić, somentor mag. Martin Poljanšek.

Sašo Zaletel, Spremljanje in kontrola izvajanja gradbenega projekta, mentor prof. dr. Žiga Turk, somentor asist. mag. Aleksander Srdić.

Mitja Matelič, Primerjalna analiza nekaterih izhodišč vrednotenja nepremičnin v Republiki Sloveniji in Republiki Italiji, mentorica doc. dr. Maruška Šubic Kovač.

Dejan Batistič, Obnašanje armiranobetonskih nosilcev, ojačanih z oglikovimi trakovi, mentor doc. dr. Boštjan Brank.

Aleš Hostar, Digitalni obrasci v sklopu gradnje, mentor prof. dr. Žiga Turk.

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Milan Šetina, Osnove in pogoji načrtovanja bencinskih servisov, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi.

Boštjan Štuhec, Zgodovina betona in dimenzioniranje AB plošče, mentor pred. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

Bojan Tuš, Prometna obtežba železniških mostov po EC 1-3, mentor pred. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad., somentor Ivo Bojc, univ. dipl. inž. grad.

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Kristijan Krajnc, Trajnostna prenova večstanovanjske zgradbe, mentor doc. dr. Metka Sitar, somentor doc. dr. Dean Korošak.

Rubriko ureja • **Jan Kristjan Juteršek**, univ. dipl. inž. grad.

KOLENDAR PRIREDITEV

26.5.2005

12. Slovenski kolokvij o betonih:

Novosti pri gradnji tlakov

Ljubljana, Trg republike 3
www.irma.si

1.6 - 3.6.2005

**5th European Congress
and Exposition on ITS**

Hannover, Nemčija
www.hgluk.com
b.butter@hgluk.com

5.6 - 8.6.2005

4th European Congress on Traffic

Salzburg, Avstrija
www.oevg.st
office@oevg.st

6.6 - 10.6.2005

**Technologies to Enhance Dam Safety
and the Environment**

Salt Lake City, Utah, ZDA
www.usdams.org
stephens@ussdams.org

8.6 - 13.6.2005

Conference EUROSTEEL 2005

Research, Eurocodes, Design and Construction of Steel Structures
Maastricht, Nizozemska

13.6 - 16.6.2005

**11th Joint CIB International Advantages for Real Estate and
Construction Sector**

Helsinki, Finska
www.ril.fi/cib205
kaisa.venalainen@ril.fi

27.6 - 29.6.2005

2005 RETC

**16th Rapid Excavation & Tunneling
Conference & Exhibit**

Seattle, Washington, ZDA
www.retc.org/retc_CallForPapers.cfm
davis@smenet.org

27.6 - 30.6.2005

ESREL 2005

European Safety and Reliability Conference

Gdynia-Sopot-Gdansk, Poljska
www.esrel2005.am.gdynia.pl
esrel2005@am.gdynia.pl

5.7 - 7.7.2005

**6th International Congress Global
Construction: Ultimate Concrete
Opportunities**

Dundee, Škotska, VB
www.ctucongress.co.uk

19.7 - 21.7.2005

Conference AESE 2005

**Advances in Experimental Structural
Engineering**

Nagoya, Japonska

7.8 - 10.8.2005

2005 ITE Annual Meeting and Exhibit

Melbourne, Victoria, Avstralija
www.ite.org/meetcon/index.html
ite_staff@ite.org

22.8 - 24.8.2005

**Construction Materials (ConMat'05):
Performance, Innovations and
Structural Implications**

Vancouver, Kanada
www.civil.ubc.ca/conmat05

5.9 - 9.9.2005

**E-MRS (European Materials Research
Society) 2005: Fall Meeting**

Varšava, Poljska
www-emrs.c-strasbourg.fr

14.9 - 16.9.2005

**IABSE Annual Meetings and
IABSE Symposium Structures and Extreme Events**

Lisboa, Portugalska
www.iabse.ethz.ch/index.php
iabs.lisbon2005@lnec.pt

19.9 - 22.9.2005

**6th International Symposium on
Cable Dynamics**

Charleston, ZDA
www.conf-aim.skynet.be/cable
info@aim.skynet.be

19.9 - 26.9.2005

**The International Symposium
of High CFRDs**

Yichang, Kitajska
yssdchen@tom.com
yssdchen@msn.com

26.10 - 28.10.2005

**EVACES - Experimental Vibration
Analysis for Civil Engineering Structures**

Bordeaux, Francija
bourgain@mail.enpc.fr

27.10 - 28.10.2005

**The 2004 Forum on Hydropower;
Supply, Security and Sustainability**

Gatineau, Kanada
collug@videotron.ca

22.11 - 25.11.2005

12th World Water Congress

New Delhi, Indija
www.cbip.org
cbip@cbip.prg

12.3 - 15.3.2006

Roadex 2006

Abu Dhabi, Združeni Arabski Emirati
www.roadex-uae.ae
roadex@gec.ae

22.3 - 25.3.2006

Holz-Handwerk 2004

Nürnberg, Nemčija
www.nuernbergmesse.de

4.7 - 7.7.2006

Infrastructure Facilities Asia 2006

Singapore, Singapore
www.infrastructure-asia.com
enquiry@hqinterfama.com

6.8 - 10.8.2006

WCTE 2006

World Conference on Timber

Portland, Oregon, ZDA
www.alexschreyer.de/eng/w_conf.htm
jamie.legoe@oregonstate.edu

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge
za objavo na e-naslov: **msg@izs.si**