

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2014/57



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-4069
Naslov projekta	Uporaba nedestruktivne ultrazvočne metode za določitev začetka vezanja materialov s cementnim vezivom v praksi
Vodja projekta	27666 Gregor Trtnik
Tip projekta	Zg Podoktorski projekt za gospodarstvo
Obseg raziskovalnih ur	3400
Cenovni razred	A
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2013
Nosilna raziskovalna organizacija	235 IGMAT Inštitut za gradbene materiale, d.d.
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.01 Gradbeništvo 2.01.03 Konstrukcije v gradbeništvu
Družbeno-ekonomski cilj	13.02 Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.01 Gradbeništvo

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Materiali s cementnim vezivom (cementne paste, malte in betoni, v nadaljevanju »MCV«) so sestavljeni iz cementa, vode, agregata in različnih kemijskih in mineralnih dodatkov. Slednji pomembno vplivajo na potek hidratacije in formiranja strukture MCV in s tem na vse lastnosti MCV, tako v svežem kot v strjenem stanju. Osnovni namen projekta je bil tako analizirati možnost uporabe dveh ultrazvočnih (»UZ«) metod, in sicer metode prehoda vzdolžnih UZ valov (»USWT«) in metode odboja strižnih

UZ valov (»USWR«) za določitev vpliva posameznih kemijskih in mineralnih dodatkov v MCV in določitev lastnosti MCV v svežem stanju s poudarkom na natančni določitvi začetka in konca vezanja MCV.

Projekt je bil razdeljen na dva glavna sklopa - obsežnejši eksperimentalni ter krajši numerični del. V okviru eksperimentalnega dela so bile pripravljene številne testne mešanice, ki so se razlikovale glede na tip MCV ter vrsto in količino kemijskega in/ali mineralnega dodatka v materialu. Na vseh mešanicah je bil s posebej razvitim UZ inštrumentom in pripadajočo programsko opremo merjen prehod vzdolžnih UZ P-valov in odboj strižnih UZ S-valov skozi testne preskušance, izvedene pa so bile tudi številne sekundarne preiskave.

Ugotovljena je bila velika občutljivost obeh omenjenih UZ tehnik na prisotnost vseh vrst dodatkov v MCV. Tako je prisotnost pospeševalcev pospešila razvoj hitrosti vzdolžnih UZ valov v_p in strižnega odbojnega koeficienta Δr , prisotnost superplatifikatorjev pa je časovni razvoj omenjenih dveh UZ parametrov upočasnila. Podobne študije so bile izvedene za druge kemijske in mineralne dodatke, npr. pospeševalce pri nizkih temperaturah, tuf, siliko, elektrofiltrski pepel ipd.

Kot ključno ugotovitev izvedenega projekta ocenjujemo razvoj popolnoma nove UZ tehnike merjenja hidratacijskega procesa MCV na podlagi analize celotne oblike UZ signala P-valov vključno s frekvenco in amplitudo nihanja in ne le hitrosti v_p . Ugotovljeno je bilo, da se ob ustrezni pretvorbi UZ signala s Fourierovo transformacijo v vsakem časovnem koraku zgodnjega obdobja hidratacije v frekvenčnem spektru UZ P-valov pojavita dve izraziti frekvenci valovanja, nizka in visoka. Amplituda teh dveh frekvenc se tekom hidratacije spreminja. V začetku so prisotne le nizke frekvence, ki se s časom dušijo, pojavljajo pa se visoke frekvence. Po določenem času sta amplitudi nizkih in visokih frekvenc izenačeni, s časom pa nizke izginjajo in ostajalo le visoke. Na podlagi teh ugotovitev je bil definiran t.i. *TG* parameter, katerega merjenje v vsakem časovnem koraku rezultira v krivulji *TG* – *t*. Karakteristične točke in faze na *TG* – *t* krivulji omogočajo nedvoumno in natančno določitev obdobja vezanja, vključno z začetkom in koncem vezanja, ne glede na prisotnost različnih vrst in količine kemijskih in mineralnih dodatkov v MCV.

Pomembnost in izvirnost rezultatov izvedenega projekta se odraža v petih znanstvenih prispevkih, objavljenih v najprestižnejših svetovnih znanstvenih revijah s tega področja (točka 6).

ANG

Cement based materials (cement pastes, mortars, and concretes, in the following »CBM«) are composed of cement, water, aggregate, and chemical and mineral admixtures. These influence hydration and formation of structure process of CBMs significantly and therefore influence properties of early age and hardened CBMs. The main focus of the project was to analyze possibility of using two ultrasonic (»US«) techniques, namely US wave transmission (»USWT«) and US wave reflection (»USWR«) technique to detect the influence of various chemical and mineral admixtures and to determine properties of fresh and hardened CBMs with the focus on determining initial and final setting times of CBMs.

The project was composed of two main parts – a comprehensive experimental and shorter numerical part. During experimental work, numerous CBMs were prepared which differed mainly in the type of the material and type and amount of chemical or/and mineral admixture in the CBM's composition. Using special US apparatus and the

developed PC software, transmission of US P-waves and reflection of US S-waves were measured. Additionally, several supplementary techniques were used.

Both US techniques were found to be extremely sensitive to the presence of all admixtures in CBMs. The incorporation of accelerators resulted in a more rapid evolution of both velocity of US P-waves v_p and shear wave reflection coefficient Δr . Analogically, the presence of superplasticizers resulted to a slower evolution of both v_p and Δr . Moreover, several other admixtures were analyzed and the results were logical.

The main contribution of the project presents the development of a new US technique for measuring hydration process of CBMs using complete signal of US P-waves, including the signal's frequency and amplitude. Using Fast Fourier Transformation procedure, two dominant frequencies (i.e. low and high frequency) were found to appear in the frequency spectrum of US P-waves. Amplitudes of these frequencies change during hydration – at very early ages, only low frequencies are present in the spectrum and high frequencies are completely damped. With the ongoing hydration, high frequencies begin to develop and at a certain moment, the amplitude of low frequency equals to amplitude of high frequency. Next, low frequencies vanish and high frequencies dominate the spectrum. On the basis of these findings, *TG* parameter has been defined and evaluating *TG* parameter at every time step results to a *TG* – *t* curve. Several characteristic points and stages can be unambiguously defined on the *TG* – *t* curve, allowing clear and accurate determination of setting period, including initial and final setting time, regardless of the presence of different types and amounts of chemical and mineral admixtures in CBMs.

Importance and relevancy of the project's results can be clearly recognized from 5 scientific papers, published in world's leading journals dealing with this subject (point 6).

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

1.0 Motivacija in osnovni cilji

Podoktorski projekt Z2-4096 je predstavljal logično nadaljevanje doktorskega dela vodje projekta dr. Gregorja Trtnika (ARRS št. 27666). V okviru doktorskega dela je vodja projekta izvajal študije možnosti uporabe dveh ultrazvočnih (UZ) metod za spremljanje razvoja strukture materialov s cementnim vezivom MCV (cementnih past, malt in betonov), pri čemer je meril dve najpogosteje uporabljeni fizikalni veličini, in sicer hitrost prehoda vzdolžnega UZ valovanja skozi MCV v_p (metoda prehoda vzdolžnih UZ valov – USWT) in vrednost strižnega odbojnega koeficienta Δr (metoda odboja strižnih UZ valov). Ugotovljeno je bilo, da omenjena UZ parametra dobro opišeta razvoj formiranja strukture MCV, v primeru cementnih past pa omogočata zadovoljivo oceno predvsem začetka vezanja materiala.

Vse študije, izvedene v okviru doktorskega dela so predstavljale predvsem razvoj teoretičnih osnov uporabe UZ metode za spremljanje formiranja strukture MCV in so bile tako zaradi enostavnosti izvedene na **materialih brez dodatkov**, ki pa se v vsakdanji gradbeniški praksi praktično ne uporabljajo. Dodatki betonu namreč pomembno vplivajo na številne lastnosti materiala, tako v svežem kot strjenem stanju, saj neposredno vplivajo na hitrost in potek hidratacijskega procesa in formiranja strukture MCV. **Primarni cilj podoktorskega projekta je**

bil tako *analizirati primernost uporabe UZ metod za spremljanje razvoja formiranja strukture MCV z različnimi dodatki oziroma določiti občutljivost UZ metod na prisotnost različnih dodatkov v sestavi MCV.*

V okviru doktorskega dela je bila razvita UZ procedura za določitev začetka vezanja cementnih past, katere natančnost pa se je v primeru malt in betonov zaradi prisotnosti večjih agregatnih zrn občutno zmanjšala. Še večje težave je predstavljala ocena konca vezanja MCV. **Drugi glavni cilj podoktorskega projekta** je bil tako *razviti novo, univerzalno UZ metodo za nedvoumno določitev tako začetka kot konca vezanja vseh MCV, ne glede na prisotnost agregata ter kemijskih in mineralnih dodatkov v materialu.*

Tretji in četrti cilj projekta sta bila na podlagi pridobljenih lastnih eksperimentalnih rezultatov *razviti uporabniku prijazno orodje za UZ spremljanje procesa formiranja strukture MCV ter analizirati možnost priprave numeričnega modela za oceno začetka in konca vezanja MCV.*

2.0 Pomembni rezultati podoktorskega projekta Z2-4096

2.1 Prvi glavni cilj projekta – analiza občutljivosti UZ metod na prisotnost različnih dodatkov v sestavi MCV

Prvemu cilju projekta je bila posvečena prva polovica eksperimentalnega dela. Pridobili smo številne kemijske in mineralne dodatke različnih proizvajalcev ter različne vrste cementa in pripravili več testnih mešanic, ki so se razlikovale glede na vrsto in količino uporabljenega dodatka, vrsto uporabljenega cementa ter tip materiala (cementne paste, malte, betoni). Posebno pozornost smo posvetili analizi občutljivosti USWT metode na prisotnost različnih vrst superplastifikatorjev (SP) v MCV, ki so v praksi (daleč) najpogosteje uporabljeni dodatki v MCV.

Ugotovljena je bila velika občutljivost USWT metode na prisotnost vseh vrst kemijskih in mineralnih dodatkov v sestavi MCV. Tako je prisotnost pospeševalcev rezultirala v hitrejšem, prisotnost zaviralcev pa v počasnejšem naraščanju hitrosti v_p skozi MCV. Ugotovljeno je bilo, da so pospeševalci, ki se uporabljajo pri nizkih temperaturah, dejansko bolj učinkoviti pri nižjih temperaturah kot pa pri običajnih, laboratorijskih pogojih.

Prisotnost SP je pomembno vplivala na razvoj procesa hidratacije in formiranja strukture MCV in s tem na razvoj hitrosti v_p skozi MCV. Vsi SP-ji so imeli zavlačevalni učinek, ki se je odražal v počasnejšem naraščanju hitrosti v_p zlasti med najintenzivnejšem hidrationskem obdobju. Pri tem je bil zavlačevalni učinek SP-jev nove generacije (t.i. polikarboksilatnih SP-jev PCE) precej izrazitejši od vpliva naftalenskih SP-jev. Občutna razlika je nastala predvsem v obdobju intenzivnega vezanja, kjer se je hitrost v_p skozi materiale s PCE SP-ji za daljše časovno obdobje povsem umirila. Omenjeni rezultati so izjemnega pomena ne le za razvoj in aplikacijo UZ tehnik za merjenje zgodnjega hidrationskega procesa MCV temveč tudi za nadaljnji razvoj SP-jev in

tehnik ugotavljanja njihovega vpliva na zgodnjo hidratacijo in vezanje MCV. Pomembnost teh rezultatov se odraža v znanstvenem prispevku, ki ga je avtor projekta objavil v najprestižnejši mednarodni znanstveni reviji s tega področja *Cement and Concrete Research* (točka 6.2).

2.2 Drugi glavni cilj projekta – razvoj nove, univerzalne UZ metode za neovumno določitev poteka vezanja različnih MCV

Zgoraj nevedenu cilju je bila posvečena duga polovica eksperimentalnega dela projekta. V ta namen smo pripravili številne testene mešanice, ki so se razlikovale glede na vrsto in količino uporabljenega dodatka, vrsto uporabljenega cementa ter tip materiala (cementne paste, malte, betoni). Posebno pozornost smo posvetili pripravi mešanic z različnimi velikostmi agregata, saj je bil cilj razviti UZ metodo za določitev poteka vezanja, ki bo neobčutljiva na prisotnost agregata v MCV.

Ugotovili smo, da hitrost v_p kot najpogosteje uporabljen UZ parameter ne daje dovolj zanesljive ocene vezanja MCV, še posebej ob prisotnosti večjih agregatnih zrn v materialu. Tako smo analizirali možnost spremljanja celotne oblike signala UZ P-valov, t.j. poleg same hitrosti tudi frekvenco in obliko valovanja. V ta namen smo razvili UZ inštrument in z njim v vnaprej podanih, poljubno majhnih časovnih korakih beležili in shranjevali podatke o celotni obliki UZ valovanja skozi MCV. Tako dobljene signale smo s Fourierjevo transformacijo ustrezno preoblikovali in dobili frekvenčni spekter UZ valovanja v vsakem časovnem koraku. Ugotovili smo, da se v vsakem časovnem koraku zgodnjega obdobja hidratacije v frekvenčnem spektru UZ P-valov pojavita dve izraziti frekvenci valovanja, nizka in visoka, amplituda teh dveh frekvenc pa se tekom hidratacije pomembno spreminja. V začetku so prisotne le nizke frekvence, ki se s časom dušijo, pojavljajo pa se visoke frekvence. Po določenem času sta amplitudi nizkih in visokih frekvenc izenačeni, s časom pa nizke izginjajo in ostajalo le visoke. Na podlagi teh ugotovitev je bil definiran t.i. *TG* parameter kot razmerje maksimalnih amplitud dveh prevladujočih frekvenc v frekvenčnem spektru. *TG* parameter zavzame vrednosti med -1 in 1, pri čemer vrednost -1 pomeni, da so v spektru le nizke frekvence, vrednost 1 pa, da so v spektru le visoke frekvence. Merjenje *TG* parametra v vsakem časovnem koraku rezultira v krivulji *TG – t*, karakteristične točke in faze na *TG – t* krivulji pa omogočajo nedvoumno določitev obdobja vezanja, vključno z začetkom in koncem vezanja, ne glede na prisotnost različnih vrst in količine kemijskih in mineralnih dodatkov v MCV. Čas začetka vezanja MCV se namreč odlično ujema s časom, ko začne vrednost *TG* parametra naraščati, čas konca vezanja MCV pa s časom, ko se vrednost *TG* parametra umiri in doseže maksimalne vrednosti. Omenjene ugotovitve veljajo ne glede na prisotnost agregata in različnih dodatkov v sestavi MCV in tako, skupaj z izjemno natančnostjo in nedvoumnostjo določitve omenjenih karakterističnih točk, predstavljajo izjemen doprinos k razvoju in aplikaciji UZ tehnik za merjenje zgodnjega hidratacijskega procesa

MCV, predvsem obdobja vezanja. Pomembnost teh rezultatov se odraža v dveh znanstvenih prispevkih, ki jih je avtor projekta objavil v najprestižnejši mednarodni znanstveni reviji s tega področja *Cement and Concrete Research* (točki 6.1 in 6.3).

2.3 Tretji cilj projekta – razvoj uporabniku prijaznega orodja za spremljanje procesa formiranja strukture MCV

Tretjemu cilju projekta je bila posvečena prva polovica numeričnega dela projekta. Na podlagi rezultatov eksperimentalnega dela smo razvili uporabniku prijazno računalniško aplikacijo, ki omogoča kontinuirno UZ spremljanje formiranja strukture in vezanja različnih MCV, ne glede na prisotnost agregata in kemijskih ter mineralnih dodatkov v materialu. Aplikacija deluje v programskem okolju Matlab in omogoča spremljanje in časovni razvoj TG parametra, hitrosti v_p in njenega odvoda, temperature materiala ter oblike celotnega UZ signala P-valov. Aplikacija omogoča popolno kontrolo UZ instrumenta, t.j. izvajanje osnovnih nastavitvev (frekvence nihanja, dolžine merjenja UZ signala, št. korakov merjenja in časovnega razmika med njimi ipd.).

Izgled aplikacije z navedenimi glavnimi funkcijami je prikazan na sliki v priponki št. 2.

2.4 Četrty cilj projekta – razvoj numerične procedure za napoved časa vezanja MCV iz rezultatov UZ meritev

Četrtemu cilju projekta je bila posvečena druga polovica numeričnega dela projekta. Na podlagi rezultatov eksperimentalnega dela smo razvili numerično proceduro, s katero natančno in enostavno določimo ne le posamezne karakteristične čase vezanja MCV, temveč celotni potek časovnega spreminjanja globine penetracije Vicatove igle v material d_p , kar je standardna metoda določanja vezanja MCV. Pri tem smo uporabili rezultate metode odboja strižnih UZ valov oz. razvoj strižnega odbojnega koeficienta Δr .

Na podlagi velikega števila eksperimentalnih mešanic ter merjenja časovnega razvoja strižnega odbojnega koeficienta Δr in globine penetracije Vicatove igle v material d_p je bilo ugotovljeno, da v obdobju vezanja MCV obstaja jasna linearna povezava med naraščanjem vrednosti Δr in d_p za vse cementne paste, ne glede na sestavo in temperaturo okolice. Kot rezultat te pomembne ugotovitve je bila razvita numerična procedura, s katero na podlagi vrednosti Δr in d_p v dveh poljubnih časih natančno napovemo poljubno točko v fazi vezanja MCV, vključno z začetkom in koncem vezanja materiala. Ker zveza $\Delta r - d_p$ ni enolična in se za posamezne mešanice razlikuje, je za dosego želene natančnosti potrebno omenjeno proceduro izvesti za vsako mešanico posebej, odvisno od njene sestave. Izvedena je bila tudi podrobna statistična analiza zanesljivosti razvite procedure.

Pomembnost teh rezultatov se odraža v znanstvenem prispevku, ki ga

je avtor projekta objavil v eni izmed najprestižnejših mednarodnih znanstvenih revij s področja neporušnega preskušanja materialov *NDT&E International* (točka 6.4).

2.5 Pomembnejši dodatni dosežki

Merjenje procesa formiranja strukture ter določanje različnih lastnosti MCV v zgodnjem obdobju z uporabo UZ tehnik je v svetu v fazi naglega razvoja in predstavlja osnovno raziskovalno tematiko mnogih svetovnih raziskovalcev. To se odraža v številnih mednarodnih znanstvenih konferencah, simpozijih in delavnicah, organiziranih na to tematiko ter v objavah številnih znanstvenih prispevkov v najuglednejših mednarodnih znanstvenih revijah.

Avtor projekta je v okviru izvajanja projekta pripravil podroben pregled najpomembnejših dosežkov svetovnih raziskovalcev in njegovih lastnih dosežkov. Kot rezultat tega dela je izdelal pomemben pregledni znanstveni prispevek, ki je bil objavljen v prestižni mednarodni znanstveni reviji s področja UZ Ultrasonics (točka 6.5).

3.0 Sodelovanje s drugimi raziskovalci in raziskovalnimi organizacijami

V okviru projekta smo sodelovali s številnim raziskovalnimi organizacijami, npr.:

- UL, Fakulteta za promet in pomorstvo (točka 6.4),
- UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (točki 6.2 in 6.4),
- Zavod za gradbeništvo Slovenije ZAG (točke 6.1, 6.3 in 6.5).

Poleg tega je bil vodja projekta povabljen tudi k sodelovanju v mednarodni znanstveni skupini COST z naslovom "Towards the next generation of standards for service life of cement-based materials and structures".

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

V nadaljevanju podajamo osnovne zastavljene cilje raziskovalnega projekta Z2-4096 ter oceno stopnje realizacije le-teh.

Osnovni cilji eksperimentalnega dela:

- 1.) Določitev primernosti UZ metode za merjenje procesa formiranja strukture MCV z dodatki:

Izvedena je bila obsežna eksperimentalna študija primernosti UZ metode za spremljanje formiranja strukture MCV z dodatki. Ugotovljena je bila velika občutljivost UZ metode na prisotnost različnih kemijskih in mineralnih dodatkov. Kot rezultat omenjene

študije sta bila v reviji *Cement and Concrete Research* objavljena dva znanstvena članka, navedena pod točkama 6.1 in 6.2.

- 2.) Analiza primernosti UZ metod za identifikacijo posameznih faz v procesu formiranja strukture MCV z dodatki.

Na podlagi obsežne eksperimentalne študije je bila ugotovljena primernost in natančnost UZ metod za analizo vpliva različnih dodatkov v MCV na trajanje karakterističnih faz hidratacijskega procesa (indukcijsko obdobje, obdobje vezanja oziroma pospešene hidratacije, obdobje pojemajoče hidratacije). Kot rezultat omenjene študije so bili v reviji *Cement and Concrete Research* objavljeni trije znanstveni članki, navedeni pod točkami 6.1., 6.2 in 6.3.

- 3.) Možnost uporabe UZ metode za oceno začetka in konca vezanja MCV z različnimi dodatki in novimi vrstami cementa

Dosego omenjenega cilja ocenjujemo kot najpomembnejši rezultat izvedenega podoktorskega projekta. Razvili smo popolnoma novo UZ proceduro, ki deluje na podlagi analize celotne oblike UZ signala, vključno s frekvenco in amplitudo valovanja. Omenjena procedura omogoča jasno, nedvoumno in natančno identifikacijo intenzivnega obdobja vezanja MCV, vključno z začetkom in koncem vezanja, ne glede na prisotnost agregata in različnih kemijskih ter mineralnih dodatkov v MCV. Kot rezultat omenjene študije sta bila v reviji *Cement and Concrete Research* objavljena dva znanstvena članka, navedena pod točkama 6.1 in 6.3.

Osnovni cilji numeričnega dela:

- 1.) Razvoj numeričnega modela za merjenje razvoja strukture ter začetka in konca vezanja MCV z dodatki

Na podlagi obsežnega eksperimentalnega dela je bilo pripravljeno uporabniku prijazno programsko orodje, ki omogoča kontinuirno UZ spremljanje procesa formiranja strukture poljubnih MCV v realnem času ne glede na njihovo sestavo. Aplikacija deluje v programskem okolju Matlab in omogoča spremljanje in časovni razvoj TG parametra, hitrosti v_p in njenega odvoda, temperature materiala ter oblike celotnega UZ signala P-valov. Izgled aplikacije z navedenimi glavnimi funkcijami je prikazan na sliki v priponki št. 2.

Na podlagi rezultatov USWR metode je bila razvita tudi numerična procedura, ki omogoča enostavno določitev poljubne točke v procesu vezanja cementnih past, vključno z določitvijo začetka in konca vezanja. Procedura se izvede za vsak tip materiala posebej. Kot rezultat omenjene študije je bil v reviji *NDT&E International* objavljen znanstveni članek, naveden pod točko 6.4.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Do (bistvenih) sprememb v programu raziskovalnega projekta ni prišlo, prav tako ni prišlo do povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	1920103	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Uporaba frekvenčnega spektra ultrazvočnih P-valov za spremljanje procesa vezanja cementnih past
		<i>ANG</i>	The use of frequency spectrum of ultrasonic P-waves to monitor the setting process of cement pastes
	Opis	<i>SLO</i>	V prispevku je predstavljena možnost uporabe frekvenčnega spektra ultrazvočnih P-valov za spremljanje formiranja strukture cementnih past v zgodnjem obdobju. Definiran je nov UZ parameter, imenovan TG faktor, ki predstavlja razmerje maksimalnih amplitud dveh prevladujočih frekvenčnih območij v frekvenčnem spektru ultrazvočnih signalov. Na krivulji, ki prikazuje časovno spreminjanje TG parametra, je moč določiti štiri faze in tri karakteristične točke, ki potrjujejo, da je časovni razvoj TG parametra močno povezan s procesom vezanja materiala. Na podlagi primerjave časovnega razvoja TG parametra, hitrosti P-valov in temperature materiala so bili identificirani številni pomembni mejniki v procesu formiranja strukture, npr. obdobje zmanjšane obdelavnosti in obdobje intenzivnega vezanja. Sočasno merjenje hitrosti prehoda P-valov in TG parametra tako predstavlja napredno, natančno in zanesljivo ultrazvočno metodo za spremljanje procesa vezanja cementnih past.
		<i>ANG</i>	In this paper, a possibility of using a frequency spectrum of ultrasonic P-waves to monitor the formation of structure of cement pastes at early ages is studied. A new parameter, labeled as a TG parameter, is defined as a dimensionless ratio between maximum amplitudes of two dominant frequency ranges that appear in a frequency spectrum of received ultrasound signals. Four stages and three characteristic points can be identified on the TG-vs.-time graphs, indicating that the development of the frequency spectrum is closely related to the setting phenomena. By comparing the TG parameter with the P-wave velocity and temperature evolutions in time, important milestones in the process of formation of microstructure were identified, such as the time of reduced workability and a period of intensive setting. The combined use of P-wave velocity and TG parameter results in a comprehensive ultrasonic method that gives a more complete picture of setting.
	Objavljeno v	Pergamon Press.; Cement and concrete research; 2013; vol. 43, issue 1; str. 1-11; Impact Factor: 3.112; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.001; A': 1; WoS: FA, PM; Avtorji / Authors: Trtnik Gregor, Gams Matija	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	6235233	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Vpliv superplastifikatorjev na razvoj hitrosti ultrazvočnih P-valov skozi cementne paste v zgodnjem obdobju
		<i>ANG</i>	Influence of superplasticizers on the evolution of ultrasonic P-wave velocity through cement pastes at early age
		Prispevek prikazuje možnost uporabe metode prehoda vzdolžnih ultrazvočnih valov za študijo vpliva superplastifikatorjev na formiranje strukture cementnih past v zgodnjem obdobju. V primerjavi s cementnimi pastami brez dodatka je bila v primeru cementnih past z dodatkom	

Opis	SLO	superplastifikatorja opazna nižja hitrost prehoda P-valov skozi material, kar kaže na zaviralni učinek superplastifikatorjev pri procesu formiranja strukture cementnih past. V primerjavi s sultonatno-naftalenskimi superplastifikatorji je bil v primeru superplastifikatorjev na bazi polikarboksilatnih etrov (PCE) zaviralni učinek bistveno bolj izrazit in se je odražal v pojavu platoja na krivulji razvoja hitrosti P-valov s časom, predvsem v obdobju intenzivnega vezanja. Dolžina platoja je bila proporcionalna količini PCE dodatkov in obratno sorazmerna s specifično površino nastajajočih hidratacijskih produktov, kar dokazuje pomemben vpliv specifične površine trdne faze na obnašanje PCE dodatkov v materialu. Pravilnost in natančnost rezultatov je bila dokazana na podlagi spremljanja razvoja temperature v posameznih materialih.	
	ANG	The paper discusses a possibility of using an ultrasonic wave transmission method to study the influence of superplasticizers on the formation of structure of cement pastes at early ages. When compared to mixtures without additives, lower P-wave velocity was found through superplasticized cement pastes, indicating that superplasticizers prevent formation of a solid network frame. Comparing to sulfonate naphthalene-formaldehyde superplasticizers, polycarboxylate ether (PCE) admixtures retarded the solid network frame development more intensively, resulting in a plateau on a P-wave velocity curve during the setting period. The length of the plateau is proportional to the dosage of the PCE and inversely proportional to the specific surface area of the hydration products developed, proving that the specific surface area of a solid phase affects the performance of the PCEs. Validation of ultrasonic results was determined on the basis of the temperature evolution of the material in time.	
	Objavljeno v	Pergamon Press.; Cement and concrete research; 2013; št. 51; str. 22-31; Impact Factor: 3.112; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.001; A': 1; WoS: FA, PM; Avtorji / Authors: Trtnik Gregor, Turk Goran	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	1967207	Vir: COBISS.SI
Opis	Naslov	SLO	Nova UZ procedura za določitev obdobja vezanja cementnih past, malt in betonov
		ANG	A new US procedure to determine setting period of cement pastes, mortars, and concretes
		SLO	Prispevek predstavlja novo metodo določitve obdobja spreminjanja cementnih materialov iz tekočega v trdno stanje, definirane kot obdobje vezanja. Metoda temelji na merjenju TG parametra, ki predstavlja razmerje med maksimalnima amplitudama dveh prevladujočih frekvenčnih območij v frekvenčnem spektru ultrazvočnih P-valov. Pokazana je jasna in nedvoumna korelacija med časovnim razvojem TG parametra in odpornosti materiala proti penetraciji, ne glede na tip materiala oziroma vrsto agregata v materialu. Omenjena korelacija kaže, da je TG parameter jasno povezan z razvojem trdnih povezav med posameznimi hidratacijskimi produkti. Omenjena ultrazvočna metoda je neodvisna od sestave materiala, njena neporušna narava in neobčutljivost na večja agregatna zrna pa predstavlja pomembno prednost te metode v primerjavi s standardnimi penetracijskimi metodami in ostalimi ultrazvočnimi metodami določanja vezanja materialov s cementnim vezivom.
			The paper presents a new method to determine the transition of different cementitious materials from liquid to solid state, usually defined as a setting period. The method is based on a ratio between maximum amplitudes of two dominant frequency ranges that appear in the frequency spectrum of ultrasonic (US) P-waves, called a TG parameter. Clear and

		<p>unambiguous correlation between characteristic points in the evolution of TG parameter and penetration resistance in time is established on samples with different material composition during the early hydration process. The correlation indicates that TG parameter detects the development of rigid bonds between hydrating cement particles. The ability and accuracy of the method to determine setting period is unaffected by the material composition. Non-destructive nature and insensitivity of the method to aggregate size gives it an advantage over penetration methods and other US methods in determining the setting period of cement pastes, mortars, and concretes.</p>
	Objavljeno v	Pergamon Press.; Cement and concrete research; 2013; Vol. 53; str. 9-17; Impact Factor: 3.112; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.001; A': 1; WoS: FA, PM; Avtorji / Authors: Gams Matija, Trtnik Gregor
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	6202721 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Merjenje procesa vezanja cementnih past z neporušno tehniko odboja strižnih ultrazvočnih valov</p> <p><i>ANG</i> Measurement of setting process of cement pastes using non-destructive ultrasonic shear wave reflection technique</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Prispevek prikazuje razvoj novega merilnega inštrumenta in možnost uporabe metode odboja strižnih ultrazvočnih valov za spremljanje procesa vezanja in strjevanja materialov s cementnim vezivom, razvite posebej za uporabo direktno na terenu. Meritve se izvajajo na dva načina, t.j. z delno potopitvijo merilne sonde v material ali z namestitvijo posebnega kalupa na glavo merilne sonde. Za ugotovitev ustreznosti razvite metode so bile uporabljene številne cementne paste različnih sestav pri različnih pogojih okolja. Ugotovljene so bile pomembne razlike v razvoju spremembe strižnega odbojnega koeficienta Δr s časom med posameznimi mešanici, ki potrjujejo primernost razvite metode za spremljanje formiranja strukture cementnih past. Omenjena metoda omogoča identifikacijo številnih pomembnih fenomenov v razvoju strukture cementnih past, linearna zveza med strižnim odbojnim koeficientom Δr in odpornostjo materiala proti penetraciji dP pa omogoča razvoj enostavne procedure določitve začetka in konca vezanja materiala.</p> <p><i>ANG</i> In the paper a new setup for measuring setting and hardening process of cementitious materials, using a non-destructive ultrasonic shear wave reflection technique and designed with the objective to be easily used in-situ, is described. Using the developed setup, the measurements can be performed by slight deepening of a measuring head into a paste in a mold or by placing the paste into a mold fixed on a measuring head. To test the proposed methodology, cement pastes with different compositions were prepared and exposed to different curing temperatures. Significant differences in the evolution of a change of a shear wave reflection coefficient Δr in time were observed, indicating ability of the method to monitor setting process of cement pastes. Moreover, some interesting phenomena in the solidification process of the materials can be identified. A linear relationship between development of the Δr and penetration resistance dP values in time was found, allowing development of a simplified procedure to determine both initial and final setting times of the material.</p>
	Objavljeno v	Butterworth-Heinemann; NDT & E International; 2013; Letn. 56; str. 65-75; Impact Factor: 1.744; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.757; A'': 1; A': 1; WoS: QF; Avtorji / Authors: Trtnik Gregor, Valič Marko, Turk Goran
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

5.	COBISS ID	1972839	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Zadnji dosežki na področju ultrazvočnega preskušanja cementnih materialov v zgodnjem obdobju	
	ANG	Recent advances of ultrasonic testing of cement based materials at early ages	
Opis	SLO	Za potrebe povzetka najpomembnejših znanstvenih ugotovitev s področja ultrazvočnega preskušanja materialov s cementnim vezivom v zgodnjem obdobju je pripravljen pregledni znanstveni članek, ki se osredotoča na metodo prehoda vzdolžnih in metodo odboja strižnih ultrazvočnih valov. Prispevek jasno kaže sposobnost obeh omenjenih metod za spremljanje procesa vezanja in zaznavanje različnih pomembnih fenomenov v procesu formiranja strukture materialov s cementnim vezivom. Jasna fizikalna osnova, visoka natančnost in neporušna narava metode obetajo, da bi omenjene ultrazvočne metode v bližnji prihodnosti lahko postale standardne.	
	ANG	To summarize some of the most important findings in the field of ultrasonic (US) testing of early age hydration and formation of structure of different cement based materials (CBMs), a review of literature with focus on US P-wave transmission and S-wave reflection methods is presented in this paper. The review shows a great ability of both US techniques to observe setting phenomena and to determine different milestones during the early age formation of CBM's microstructure. Clear physical basis, high accuracy, and non-destructive nature of the method indicate that US methods could become standardized in the near future.	
Objavljeno v	Butterworth Scientific Limited; Ultrasonics; 2013; Vol. 54, issue 1; str. 66-75; Impact Factor: 2.028; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.308; A': 1; WoS: AA, VY; Avtorji / Authors: Trtnik Gregor, Gams Matija		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	6238561	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Nelinearna analiza masivnega betona pri postopni gradnji	
	ANG	Non-linear analysis of massive concrete at successive construction	
Opis	SLO	Vodja projekta Gregor Trtnik je bil somentor pri izdelavi doktorske disertacije Anke Ilc z naslovom "Nelinearna analiza masivnega betona pri postopni gradnji"	
	ANG	The leader of the project Gregor Trtnik was Co-supervisor of Anka Ilc's PhD thesis entitled "Non-linear analysis of massive concrete at successive construction"	
Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom		
Objavljeno v	[A. Ilc]; 2013; XXI, 105 str.; Avtorji / Authors: Ilc Anka		
Tipologija	2.08 Doktorska disertacija		
2.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
Naslov	SLO	Član uredniškega odbora mednarodne znanstvene revije "Advances in Concrete Construction"	
	ANG	Member of Editorial board of an international scientific journal entitled "Advances in Concrete Construction"	

Opis	SLO	Član uredniškega odbora mednarodne znanstvene revije "Advances in Concrete Construction"	
	ANG	Member of Editorial board of an international scientific journal entitled "Advances in Concrete Construction"	
Šifra	C.06	Članstvo v uredniškem odboru	
Objavljeno v	ni objave		
Tipologija	3.25	Druga izvedena dela	
3.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
Naslov	SLO	Razvoj programske opreme za ultrazvočno spremljanje procesa vezanja in formiranja strukture materialov s cementnim vezivom	
	ANG	Development of PC software for monitoring setting process and formation of structure of cement based materials	
Opis	SLO	Na podlagi rezultatov eksperimentalnega dela je bila razvita uporabniku prijazna računalniška aplikacija, ki omogoča kontinuirno UZ spremljanje formiranja strukture in vezanja različnih MCV, ne glede na prisotnost agregata in kemijskih ter mineralnih dodatkov v materialu. Aplikacija deluje v programskem okolju Matlab in omogoča spremljanje in časovni razvoj TG parametra, hitrosti vP in njenega odvoda, temperature materiala ter oblike celotnega UZ signala P-valov. Aplikacija omogoča popolno kontrolo UZ instrumenta, t.j. izvajanje osnovnih nastavitvev (frekvence nihanja, dolžine merjenja UZ signala, št. korakov merjenja in časovnega razmika med njimi ipd.).	
	ANG	On the basis of the results of the experimental work, a user-friendly PC software was developed for continuous US monitoring formation of structure of different CBMs regardless of the presence of aggregates and admixtures in the composition of the material. The application is prepared within Matlab programming environment and allows simultaneous monitoring of TG, vP, vP time derivative, material's temperature, and complete shape of US P-waves development in time. Moreover, application allows adjustment of basic settings of US apparatus, namely transducers frequencies, time frame, number of time steps, duration of measurement, etc.	
Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
Objavljeno v	ni objave		
Tipologija	3.25	Druga izvedena dela	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Ocenjujemo, da imajo rezultati izvedenega podoktorskega projekta pomemben vpliv na razvoj znanosti. Le-ta se odraža predvsem v:

- razvoju nove, neporušne UZ procedure, ki omogoča natančno in nedvoumno identifikacijo obdobja vezanja poljubnih MCV, ne glede na prisotnost agregata in različnih kemijskih in mineralnih dodatkov v materialu (točki 6.1 in 6.3)
- razvoju nove neporušne UZ metode, ki omogoča spremljanje vpliva različnih tipov superplastifikatorjev na potek hidratacijskega procesa in procesa formiranja strukture MCV

(točka 6.2),

- ugotovitvi primernosti metode odboja strižnih UZ valov za spremljanje hidratacijskega procesa in formiranja strukture MCV ter razvoju numerične procedure za določitev začetka in konca vezanja cementnih past na podlagi rezultatov omenjene UZ metode (točka 6.4),
- pripravi preglednega znanstvenega članka, ki svetovnim raziskovalcem omogoča pregled nad v zadnjem obdobju najpomembnejšimi dosežki na področju UZ preskušanja MCV (točka 6.5).

ANG

It is estimated that the results of the project have several important impacts on the development of science, such as:

- development of a new, non-destructive procedure, allowing accurate and unambiguous identification of setting period of arbitrary CBM, regardless of the presence of aggregates and chemical and mineral admixtures in the material's composition (points 6.1 and 6.3),
- Development of a new, non-destructive US technique, allowing analyzing the influence of various types of superplasticizers on the development of the hydration and formation of structure process of CBMs (point 6.2),
- proving adequacy of the US wave reflection method for monitoring hydration and formation of structure process of CBMs and development of a numerical procedure for determination of initial and final setting time of cement pastes on the basis of the experimental results of the performed US method (point 6.4)
- preparation of a review article, summarizing the most important findings in the field of US testing of early age hydration and formation of structure of different CBMs (point 6.5)

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Ocenjujemo da rezultati izvedenega podoktorskega projekta predstavljajo velik pomen za razvoj Slovenije, predvsem z razvito novo, univerzalno metodo določitve različnih pomembnih lastnosti MCV v zgodnjem obdobju, s katero je moč na podlagi enostavnega merjenja prehoda UZ valov skozi material učinkovito in natančno sočasno določiti številne lastnosti MCV v zgodnjem obdobju. Kot taka je razvita UZ metoda uporabna na številnih področjih:

- Industrija cementne proizvodnje: nova univerzalna metoda za spremljanje fenomenov formiranja strukture, vezanja in ostalih lastnosti različnih vrst cementov,
 - Industrija proizvodnje dodatkov: nova metoda za določanje vpliva prisotnosti dodatkov na proces formiranja strukture, vezanja in ostalih lastnosti različnih MCV,
 - Raziskovalni laboratoriji, univerze: nova metoda za določanje vpliva različnih parametrov sestave MCV na različne fenomene formiranja strukture in zgodnje lastnosti MCV,
 - Testna metoda neposredno na terenu: neporušna, enostavna in natančna metoda za določitev različnih karakteristik MCV neposredno na terenu, brez izdelave testnih preizkušancev.
- Zaradi navedenega ocenjujemo, da bodo rezultati predlaganega projekta pripomogli k izboljšanju tehnologije izdelave MCV in razvoju novih vrst osnovnih materialov, predvsem pa omogočili izvedbo trajnejših konstrukcij. Neporušna narava predlagane UZ metode bo pomembno prispevala k zmanjšanju obremenjevanja okolja (predvsem v fazi proizvodnje cementa) ter pospešila in pocenila samo gradnjo, posledično pa pripomogla k boljši kondiciji gradbenih podjetij. To je ključnega pomena za gospodarstvo, predvsem v obdobju recesije, kateremu smo v Sloveniji priča v zadnjih letih.

ANG

We estimate that the results of the postdoc project present an important impact for the development of Slovenia, especially due to the development of a new, universal technique, allowing determination of various early age properties of CBMs simultaneously and continuously on the basis of relatively simple measurements of transmission of US P-waves through hydrating CBM. Consequently, the method would be applicable to various fields in civil engineering:

- Cement manufacturing: a new universal advanced technique for monitoring various phenomena that appear during the formation of structure process, setting, and other essential properties of new cement types,
- Chemical and mineral admixtures manufacturing: a new universal advanced technique to analyze the influence of different admixtures on the rate of formation of structure process, setting, and other essential properties of different CBMs,
- Research laboratories, universities: a new universal advanced technique to determine the

influence of the CBM's composition on various formation of structure phenomena and the development of early age properties of CBMs,

- In-situ testing method: a new, advanced, non-destructive, and accurate method to determine different characteristics of CBMs directly in-situ without performing additional test specimens. Therefore, the results of the proposed project could have an important impact and will improve the design of CBMs' mixtures, contribute to the development of new materials, and allow performing more durable structures. Due to improved CBMs as well as higher quality of construction, the results will reduce the pollution of the environment (especially during the production of cement) and will contribute to a better construction scheduling. Consequently, the results will contribute to a more economical, more durable construction of higher quality, which will help civil engineering companies. This is of importance in a recession time as a slump in industrial production, investment, and construction in Slovenia continues.

**10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni**

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih

F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

--

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Osnačite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					

G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

Rezultati izvedenega podoktorskega projekta pomembno vplivajo na številna področja znanosti, gospodarstva in družbe, predvsem za razvito novo, neporušno testno metodo in pripadajočo programsko opremo za spremljanje hidratacije, formiranja strukture in vezanja različnih materialov s cementnim vezivom, ne glede na njihovo sestavo in prisotnost različnih kemijskih in mineralnih dodatkov v materialu. Kot taka je razvita UZ metoda uporabna predvsem na naslednjih področjih:

- Industrija cementne proizvodnje: nova univerzalna metoda za spremljanje fenomenov formiranja strukture, vezanja in ostalih lastnosti različnih vrst cementov,
- Industrija proizvodnje dodatkov: nova metoda za določanje vpliva prisotnosti dodatkov na proces formiranja strukture, vezanja in ostalih lastnosti različnih MCV,
- Raziskovalni laboratoriji, univerze: nova metoda za določanje vpliva različnih parametrov sestave MCV na različne fenomene formiranja strukture in zgodnje lastnosti MCV,
- Testna metoda neposredno na terenu: neporušna, enostavna in natančna metoda za določitev različnih karakteristik MCV neposredno na terenu, brez izdelave testnih preizkušancev.

Pomembnost rezultatov izvedenega projekta se jasno kaže v objavi petih znanstvenih prispevkov v prestižnih mednarodnih znanstvenih revijah (točka 6), ki se neposredno nanašajo na tematiko izvedenega projekta.

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer		
1.	Naziv		
	Naslov		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	
		1.	
		2.	
		3.	
		4.	
		5.	
	Komentar		
	Ocena		

13. Izjemni dosežek v letu 2013¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Dosežek omogoča neporušno in avtomatsko ultrazvočno spremljanje razvoja strukture in določitve obdobja vezanja cementnih past ter podaja numerično proceduro za oceno vezanja cementnih past.

Dosežek je opisan v točki 6.4 in predstavljen v prilogi 1.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Na podlagi rezultatov eksperimentalnega dela je bila razvita uporabniku prijazna računalniška aplikacija, ki omogoča kontinuirno UZ spremljanje formiranja strukture in vezanja različnih materialov s cementnim vezivom, ne glede na prisotnost agregata in kemijskih ter mineralnih dodatkov v materialu.

Dosežek je opisan v točki 7.3 in predstavljen v prilogi 2.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

IGMAT Inštitut za gradbene
materiale, d.d.

Gregor Trtnik

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	8.4.2014
-----------	----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/57

- ¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
- ² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- ⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
- ⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- ⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
- ⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
- ⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
- ¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priložitev/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2014 v1.03
52-6A-84-72-C3-F1-98-44-7B-D0-47-45-A1-46-F6-9C-81-14-08-7C

Priloga 1

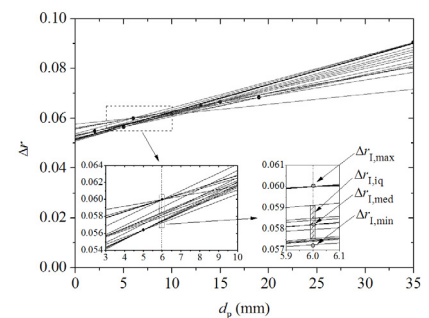
TEHNIKA

Področje: 2.01 – Gradbeništvo

Dosežek 1: MEASUREMENT OF SETTING PROCESS OF CEMENT PASTES USING NON-DESTRUCTIVE ULTRASONIC SHEAR WAVE REFLECTION TECHNIQUE

Vir: *NDT&E International*, 2013, vol. 56, 65-75; JCR IF (2013): 1.744; A";
Avtorji/Authors: Gregor Trtnik, Marko I. Valič, Goran Turk

Dosežek omogoča neporušno in avtomatsko ultrazvočno spremljanje razvoja strukture in določitve obdobja vezanja cementnih past ter podaja numerično proceduro za oceno vezanja cementnih past



Prispevek prikazuje razvoj novega merilnega inštrumenta in možnost uporabe metode odboja strižnih ultrazvočnih valov (USWR metoda) za spremljanje procesa vezanja in strjevanja materialov s cementnim vezivom, razvite posebej za uporabo direktno na terenu. Meritve se izvajajo na dva načina, t.j. z delno potopitvijo merilne sonde v material ali z namestitvijo posebnega kalupa na glavo merilne sonde. Za ugotovitev ustreznosti razvite metode so bile uporabljene številne cementne paste različnih sestav pri različnih pogojih okolja. Ugotovljene so bile pomembne razlike v razvoju spremembe strižnega odbojnega koeficienta Δr s časom med posameznimi mešanici, ki potrjujejo primernost razvite metode za spremljanje formiranja strukture cementnih past.

Glavne odlike predstavljene metode se kažejo predvsem v njeni neporušni naravi, kontinuirnem merjenju, možnosti uporabe neposredno na terenu, in sposobnosti identifikacije številnih pomembnih fenomenov v razvoju strukture cementnih past, ugotovljena linearna zveza med strižnim odbojnim koeficientom Δr in odpornostjo materiala proti penetraciji d_p pa omogoča razvoj enostavne procedure določitve začetka in konca vezanja materiala.

Priloga 2

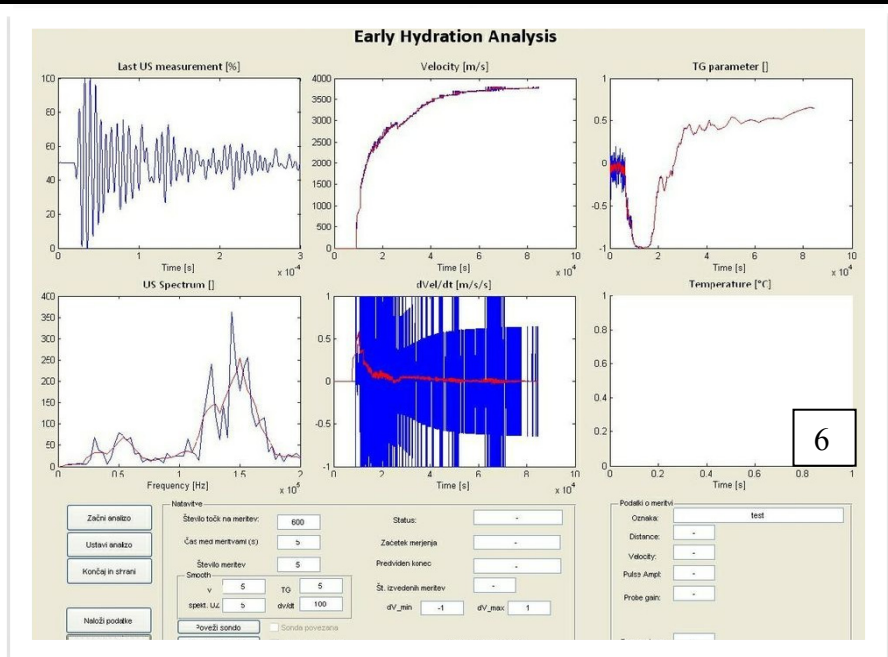
TEHNIKA

Področje: 2.01 – Gradbeništvo

SLO: Razvoj programske opreme za ultrazvočno spremljanje procesa vezanja in formiranja strukture materialov s cementnim vezivom

ANG: Development of PC software for monitoring setting process and formation of structure of cement based materials

Dosežek omogoča kontinuirno neporušno in avtomatsko ultrazvočno spremljanje razvoja strukture in določitve obdobja vezanja različnih cementnih materialov v realnem času



Na podlagi rezultatov eksperimentalnega dela je bila razvita uporabniku prijazna računalniška aplikacija, ki omogoča kontinuirno UZ spremljanje formiranja strukture in vezanja različnih materialov s cementnim vezivom, ne glede na prisotnost agregata in kemijskih ter mineralnih dodatkov v materialu. Aplikacija deluje v programskem okolju Matlab in omogoča spremljanje in časovni razvoj TG parametra, hitrosti v_P in njenega odvoda v_P' , temperature materiala T ter oblike celotnega UZ signala P-valov. Aplikacija omogoča popolno kontrolo UZ instrumenta, t.j. izvajanje osnovnih nastavitvev (frekvence nihanja, dolžine merjenja UZ signala, št. korakov merjenja in časovnega razmika med njimi ipd.).

Pomen posameznih okencev na sliki je sledeč:

- 1 - prikaz celotnega UZ signala v posameznem časovnem koraku,
- 2 - prikaz razvoja hitrosti v_P s časom (krivulja $v_P - t$),
- 3 - prikaz razvoja TG parametra s časom (krivulja $TG - t$),
- 4 - prikaz frekvenčnega spektra UZ signala v posameznem časovnem koraku,
- 5 - prikaz odvoda hitrosti v_P s časom (krivulja $v_P' - t$),
- 6 - prikaz razvoja temperature materiala s časom (krivulja $T - t$)