

UPORABA ODPADNEGA PAPIRNIŠKEGA MULJA V GRADBENIŠTVU

PAPER MILL SLUDGE UTILIZATION IN CONSTRUCTION

▶ ▶ ▶ ▶ ▶ Primož PAVŠIČ¹, Breda OGOREVC², Danijel OŠTIR³

IZVLEČEK

V okviru proizvodnje vlaknin po deinking postopku (DIP) v tovarni papirja VIPAP VIDEM KRŠKO d.d. dnevno nastajajo velike količine odpadnega papirniškega mulja. Nastali izžeti papirniški mulj uporabljajo kot gorivo na kurilni napravi podjetja. Nastali ostanki kurjenja (pepel in žindra) delno predstavljajo odpadni produkt proizvodnje, delno pa jih predelajo v material za manj zahtevno uporabo v gradbeništvu (za konstrukcijske nasipe in zasipe, ki niso podvrženi dinamičnim obremenitvam, pri gradnji cest...) ali pa se uporabljajo kot vezivo za stabiliziranje pri nekaterih zemeljskih delih. Del nastalega papirniškega mulja se poleg uporabe kot gorivo, v manjši meri predeluje tudi v absorbent za primere razlitij.

V okviru projekta »T2–Razvoj izolativnih materialov in izdelkov z visoko dodano vrednostjo iz odpadnih surovin«, ki ga izvaja družba ZEL-EN d.o.o. in je delno financiran z EU sredstvi, v katerem sodelujejo tudi strokovnjaki GI-ZRMK d.o.o., so potekale tudi raziskave v smeri razvoja postopkov za možnosti uporabe papirniškega mulja pri pripravi izolacijskih in/tali konstrukcijskih plošč z uporabo hidravličnega veziva (hidratizirani produkti), kot tudi v proizvodnji asfaltnih zmesi.

Takšna koristna izraba odpadnega papirniškega mulja bi tako lahko omogočila znižanje stroškov ravnanja z odpadki v podjetju VIPAP VIDEM KRŠKO d.d., omogočila dodatne razvojne usmeritve, potencialno znižala ceno nekaterih gradbenih proizvodov oziroma asfaltnih zmesi, predvsem pa pozitivno vplivala na varovanje okolja in trajnostno gradnjo.

Ključne besede: papirniški mulj, trajnostna gradnja, gradbeni proizvodi

ABSTRACT

In a paper mill VIPAP VIDEM KRŠKO d.d., a large quantities of waste paper sludge from recycled fibre deinking process (DIP) are produced on daily basis. The produced dewatered paper sludge is used as fuel in the combustion process for energy production in the company. The resulted combustion residues (ash and slag) represent a waste product of the production. These are partially processed into the construction material for less demanding applications (material for construction dams and dikes, which are not subjected to dynamic loads in road construction...), or as a binder in earthworks. Part of the resulting paper sludge is to a lesser extent processed also in spill absorbent material. Within the framework of the project "T2–The development of insulating materials and products with high added value from waste materials" implemented by ZEL-EN d.o.o with cooperation of experts from GI-ZRMK d.o.o., which is partly financed by EU funds, research towards the development of procedures for the possible use of paper sludge in the preparation of isolation and / or structural panels using a hydraulic binder (hydrated products), as well as the additive in the production of asphalt mixtures were carried out.

Such beneficial use of waste paper sludge could lead to the reduction of the VIPAP VIDEM KRŠKO d.d. waste management costs, potentially decrease the production costs of certain construction products and asphalt mixtures and in particular, had a positive impact on the environmental protection and implementation of sustainable construction practices.

Key words: paper sludge, sustainable construction, construction products

1 UVOD

V Sloveniji nastane 4,5 milijonov ton industrijskih in gradbenih odpadkov letno [1], vendar pa je velik del teh odpadkov možno koristno izrabiti in s tem zmanjšati obremenitve okolja. Glede na količine potrebnih naravnih virov, ki bi jih bilo mogoče nadomestiti z uporabo recikliranih in sekundarnih ter odpadnih surovin, močno izstopa področje gradbeništvu. Gradbeništvu in industrija gradbenih izdelkov sta namreč nadvse prikladni panogi za absorbiranje velikih količin materialov [2] zaradi česar so raziskave, ki bi lahko

omogočile nadomestitev naravnih surovin z recikliranimi materiali v gradbeništvu tudi osnova trajnostnega razvoja [3].

Kot za gradbeništvu zelo zanimiva surovina se tako izkazuje tudi odpadni papirniški mulj [4, 5], ki nastaja v okviru proizvodnje vlaknin pri predelavi odpadnega papirja. Samo v tovarni papirja VIPAP VIDEM KRŠKO d.d. dnevno nastaja okoli 100 ton papirniškega mulja po deinking postopku (DIP). Nastali izžeti papirniški mulj sicer trenutno uporabljajo kot gorivo na kurilni napravi podjetja

in ne predstavlja direktnega odpadnega materiala, vendar pa nastali ostanki kurjenja (pepel in žindra) delno predstavljajo odpadni produkt proizvodnje, del pa jih že sedaj predelajo v material za manj zahtevno uporabo v gradbeništvu (za konstrukcijske nasipe in zasipe, ki niso podvrženi dinamičnim obremenitvam, pri gradnji cest...) ali pa se uporabljajo kot vezivo za stabiliziranje pri nekaterih zemeljskih delih. Del nastalega papirniškega mulja se poleg uporabe kot gorivo, v manjši meri predeluje tudi v absorbent za primere razlitij [6].

Nekaj načinov trajnostnega reševanja problematike odpadnega papirniškega mulja je tako že vzpostavljenih, vendar pa bi se z razvojem dodatnih novih postopkov koristne izrabe, še posebno z izdelavo novih gradbenih izdelkov z dodano vrednostjo oziroma z uporabo v obliki dodatka v gradbeništvu, lahko dodatno znižali stroški ravnanja z odpadki v podjetju, pozitivno vplivalo na varovanje okolja in omogočilo dodatne razvojne usmeritve.

V okviru projekta »T2–Razvoj izolativnih materialov in izdelkov z visoko dodano vrednostjo iz odpadnih surovin«, ki ga izvaja družba ZEL-EN d.o.o. in je delno financiran z EU sredstvi, v katerem sodelujejo tudi strokovnjaki GI-ZRMK d.o.o., so tako potekale raziskave v smeri razvoja postopkov za možnosti uporabe papirniškega mulja pri pripravi izolacijskih in/ali konstrukcijskih plošč z uporabo hidravličnega veziva (hidratizirani produkti), kot tudi v proizvodnji asfaltnih zmesi [7].

2 MATERIALI IN METODE

V raziskavah je bil uporabljen papirniški mulj, ki nastaja pri proizvodnji vlaknin po deinking postopku (DIP) v tovarni papirja VIPAP VIDEM KRŠKO d.d.. Odpadne vode, ki se izločajo v procesu predelave odpadnega papirja se združujejo v rezervoarju za mulje, od kjer se prečrpavajo na izžemanje. Papirniški mulj se najprej izžema na gravitacijski mizi s čimer nastane suspenzija z okoli 10 % suhe snovi, nato pa se dodatno izžame na vijačni stiskalnici. Tako pridobljeni papirniški mulj, ki je zmes pretežno grobih lesovinskih in celuloznih vlaken in polnil z dodatkom premazov in tiskarskih barv in vsebuje okoli 70 % suhe snovi.

2.1 Uporaba v proizvodnji hidratiziranih produktov

Za preučitev možnosti uporabe odpadnega papirniškega mulja za pripravo izolacijskih in/ali konstrukcijskih vlaknenih plošč različnih debelin za uporabo v suhomontažne namene oziroma kot izolacijski material, smo pripravili mešanice izžetega papirniškega mulja z različnim dodatkom hidravličnega veziva (cement, pepel ali kombinacija obeh) ter dobljenim produktom določili osnovne mehanske karakteristike. Pripravljenim ploščam smo tako določili tlačno in upogibno trdnost po 28 dneh vezanja (SIST EN 1015–11) in jih primerjali z lastnostmi običajne mavčne plošče za suhomontažno gradnjo debeline 13 mm. Preskušancem smo za preveritev občutljivosti na vlago določili še karakteristike po izpostavljenosti vodi

(preizkušanci pred preiskavo po SIST EN 1015–11 za 4 h potopljeni v vodi). Za mešanico, pri pripravi katere smo kot vezivo uporabili pepel in cement, smo preverili tudi okoljsko sprejemljivost kompozita. Tako smo preverili vsebnosti anorganskih parametrov glede na Uredbo o odlaganju odpadkov na odlagališčih (Ur.l. 61/11) v izlučku (SIST EN 1744–3, SIST EN ISO 17294–2, SIST EN ISO 12846 (modificiran), ISO 10359–1 in



Slika 1: Plošča OPMIS–2 (še v kalupu – vidna zgornja stran)
Figure 1: Hydraulically bound fiberboard OPMIS–2 (in mold–upper side is visible)

SIST EN ISO 10304–1) in jih primerjali z mejnimi vrednostmi za inertne odpadke.

2.2 Uporaba v proizvodnji asfaltnih zmesi

V proizvodnji nekaterih vrst asfaltnih zmesi, kot so drobirji z bitumenskim mastiksom (SMA – stone mastic asphalt) in drenažni asfalti (PA – porous asphalt), se kot dodatek za stabiliziranje oziroma preprečevanje odtokanja veziva, uporabljajo celulozna vlakna, ki pa so poleg polnil tudi glavna sestavina papirniškega mulja. Osušen in razvlaknjen papirniški mulj, ki se pripravlja za izdelavo absorbentov, bi tako lahko deloval kot dodatek za stabiliziranje bitumna v specifičnih asfaltnih zmesih.

Da bi preverili uporabnost papirniškega mulja kot stabilizacijskega dodatka v asfaltnih zmesih, smo izvedli aplikativne raziskave, ki so zajele laboratorijsko pripravo in poskusno proizvodnjo na asfaltnem obratu Smodinovec podjetja Trgograd d.o.o.,



Slika 2: Plošča OPMIS–3 (po razkalupljenju iz »strukturnega« kalupa)
Figure 2: Hydraulically bound fibreboard OPMIS–3 (after taken from "structural" mold)

Preglednica 1: Sestava posameznih preskušancev hidratiziranega papirniškega mulja
Table 1: The composition of the hydrated paper sludge specimens

Oznaka recepture	Papirniški mulj	pepel	dodana voda	cement	Razmerje voda/vezivo (pepel+cement)
	%				
OPMIS-1	19,7	40,0	40,3	0,0	1,30
OPMIS-2	19,7	25,0	40,3	15,0	1,30
OPMIS-3	19,7	0,0	40,3	40,0	1,30

Preglednica 2: Rezultati preiskav trdnosti preskušancev hidratiziranega papirniškega mulja
 Table 2: Flexural and compressive strength of hydrated fibreboard and plasterboard samples

Preskušavec	Upogibna trdnost (MPa)		Tlačna trdnost (MPa)	
	suh	zasičen z vodo	suh	zasičen z vodo
OPMIS-1	0,28	0,04	1,3	0,1
OPMIS-2	0,97	0,03	4,3	0,15
OPMIS-3	0,99	0,04	4,5	0,2
Mavčna plošča	1,71	/	7,5	/

kot tudi vgradnjo asfaltne zmesi SMA 8 PmB 45/80-65 A2 (SMA 8). Poskusni asfaltni zmesi smo določili osnovne lastnosti (delež topnega veziva po SIST EN 12697-1, zrnavostna sestava po SIST EN 12697-2, vsebnost votlin v asfaltni zmesi in volumska zapolnjenost z bitumnom po SIST EN 12697-8, stabilnost, tečenje in togost po SIST EN 12697-34, odtekanje veziva po SIST EN 12697-18) in jih primerjali z lastnostmi asfaltne zmesi pripravljene z uporabo uveljavljenega dodatka Viatop Premium. V okviru raziskav je bil pri pripravi laboratorijske mešanice uporabljen osušen in razdrobljen mulj, pri proizvodnji na asfaltnem obratu pa mulj predelan za potrebe priprave absorberjev (osušen in razvlaknjen), ki so ga pripravili v podjetju TOC d.o.o.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 Hidratizirani produkti

Za pripravo hidravlično vezanih vlaknenih plošč smo izžeti papirniški mulj, ki je vseboval okoli 70 % suhe snovi, razmešali z dodatkom vode, tako da smo pridobili viskozno mešanico z okoli 13 % suhe snovi. V pripravljeno mešanico papirniškega mulja smo dodali 40 % hidravličnega veziva in iz dobljene mase ročno pripravili preskusne vlaknene plošče (sliki 1 in 2).

Izdelane so bile tri recepture z različno sestavo veziva za katerega je bil uporabljen pepel iz kotla K5 podjetja VIPAP Videm Krško d.d. in gradbeni cement. Sestava pripravljenih mešanic je podana v preglednici 1, rezultati določitve trdnosti pripravljenih hidratiziranih vlaknenih plošč in primerjalne mavčne plošče pa so prikazani v preglednici 2.

Iz rezultatov je razvidno, da plošči, pri katerih je bil kot vezivo uporabljen tudi cement (OPMIS-2 in OPMIS-3) dosegata okoli 60 % trdnosti mavčne plošče, medtem ko v primeru uporabe le pepela kot veziva, pripravljen material dosega le okoli 15 % trdnosti mavčne plošče. Za doseganje željene trdnosti bi bilo tako potrebno v

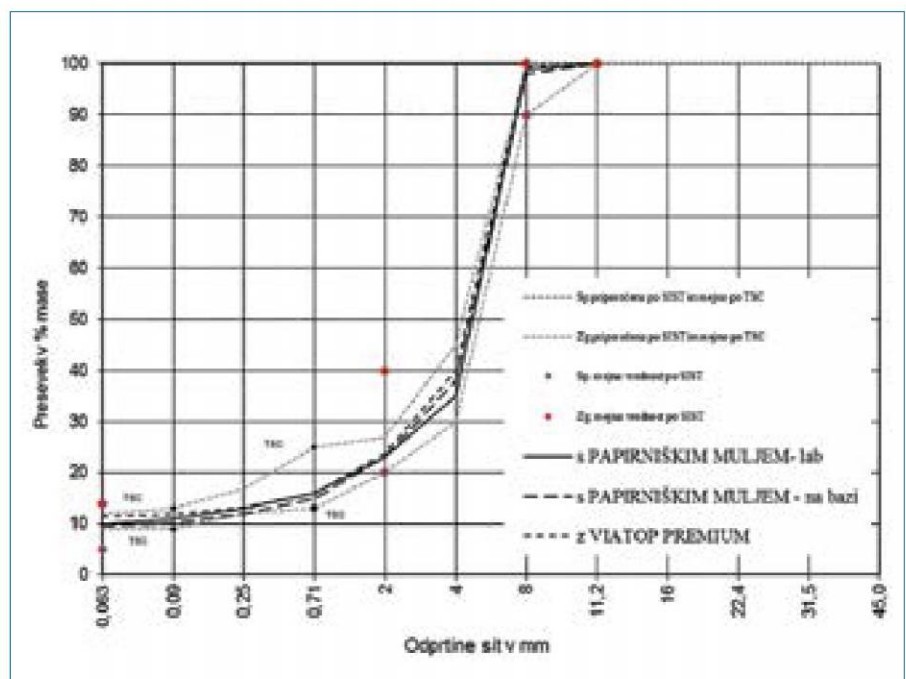
Preglednica 3: rezultati preiskav izlužka OPMIS-2
 Table 3: Results of determination of selected inorganic parameters for OPMIS-2 sample eluate

Parameter	Enota	Rezultat (L/S= 10 L/kg)	Mejne vrednosti po Ur.L. RS 61/11* inertni odpadki (L/S = 10 L/kg)
pH	/	11,05	/
Elektroprevodnost	mS/m	32,2	/
Arzen (As)	mg/kg s.s	<0,02	0,5
Barij (Ba)	mg/kg s.s	<0,80	20
Kadmij (Cd)	mg/kg s.s	<0,0050	0,04
Celotni krom (Cr)	mg/kg s.s	0,13	0,5
Baker (Cu)	mg/kg s.s	0,17	2
Živo srebro (Hg)	mg/kg s.s	<0,0005	0,01
Molibden (Mo)	mg/kg s.s	0,14	0,5
Nikelj (Ni)	mg/kg s.s	<0,01	0,4
Svinec (Pb)	mg/kg s.s	<0,05	0,5
Antimon (Sb)	mg/kg s.s	<0,006	0,06
Selen (Se)	mg/kg s.s	<0,01	0,1
Cink (Zn)	mg/kg s.s	<0,010	4
Kloridi (Cl-)	mg/kg s.s	84,1	800
Fluoridi (F-)	mg/kg s.s	2,3	10
Sulfati (SO42-)	mg/kg s.s	118	6000

Opomba: * »Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih« Priloga 3

Preglednica 4: Lastnosti preiskovanih proizvedenih asfaltnih zmesi SMA 8 PmB 45/80-65 A2
 Table 4: Characteristics of the tested SMA 8 PmB 45/80-65 A2 asphalt mixtures

Značilnost	Enota	Rezultat			(zahteve po SIST EN 1038-5 in TSC 06.412)
		s papirniškim muljem - laboratorij	s papirniškim muljem - na bazi	z Viatop Premium	
Delež topnega veziva	m.-%	6,6	6,6	6,6	B _{min} 9,5%
Vseb. votl. v asf. zmesi	%	4,0	4,0	4,0	2,5 - 4,5
Stabilnost pri 60°C	kN	7,9	/	9,7	/
Tečenje pri 60°C	mm	2,4	/	4,1	/
Togost pri 60°C	kN/mm	3,3	/	2,4	/
Volu. zapolnjenost z bit.	%	78,9	79,4	79,9	74 - 89
Odtekanje veziva	%	0,02	0,34	0,2	<0,6



Slika 3: Zrnavostna sestava preiskovanih vzorcev SMA 8 PmB 45/80-65 A2
 Figure 3: Particle size distribution of the tested SMA 8 PmB 45/80-65 A2 samples

nadaljnjih raziskavah optimizirati vrsto in količino potrebnega veziva. Tako pripravljene kompoziti so se izkazali tudi z okoljskega vidika kot sprejemljivi, saj tudi v potencialno najbolj neugodni kombinaciji z uporabo pepela v izlučkih ne presegajo mejnih koncentracij za inertne odpadke (preglednica 3) in so tako z okoljskega vidika primerni za uporabo kot gradbeni proizvod.

3.2 Asfaltne zmesi

Sestava poskusnih mešanic SMA 8 PmB 45/80-65 A2 Z3, tako laboratorijsko pripravljene, kot tudi na asfaltnem obratu proizvedene asfaltne zmesi, je temeljila na že vzpostavljeni recepturi za SMA 8 PmB 45/80-65 A2, spremenjen je le delež in vrsta dodanega stabilizacijskega sredstva (celuloznih vlaken). Pri laboratorijski pripravi asfaltne mešanice SMA 8 smo predvideli 0,5 % dodatek papirniškega mulja. Takšna količina je nekoliko višja od običajnega uveljavljenega dodatka celuloznih vlaken (npr. Viatop Premium oz. Arbocel), ki je navadno 0,35 – 0,45 %. Rezultati izvedenih preiskav (SIST EN 12697–1, SIST EN 12697–2, SIST EN 12697–8, SIST EN 12697–34, SIST EN 12697–18) pripravljene asfaltnih zmesi z dodatkom papirniškega mulja in primerjalno z dodatkom Viatop Premium, so podani v preglednici 4 in na sliki 3.

Izkazalo se je, da za stabiliziranje bitumenskega veziva v zmesi ni potreben tako visok dodatek celuloznih vlaken papirniškega mulja saj smo zabeležili le 0,02 % odtekanje veziva, kar je bistveno pod predpisano zgornjo mejno vrednostjo po SIST 1038-5, ki znaša 0,6 %. Primerno stabilizacijo veziva (odtekanje < 0,6 %) lahko tako zagotovimo tudi z nižjim dodatkom papirniškega mulja. Zaradi tega je bil v poskusni proizvodnji na asfaltnem obratu uporabljen dodatek 0,3 %.

Ob poskusnem vgrajevanju, ki je bilo izvedeno na območju asfaltnega obrata Smodinovec se je izkazalo, da je zmes homogena, pri vgradnji ni bilo zaznanih težav, zmes se je dobro zgoščala, meritve zgoščenosti z elektromagnetno sondo TransTech PQ1380, kot tudi preiskave odvzetega jedra pa so pokazale ustrezno stopnjo zgoščenosti vgrajene plasti (v povprečju 98,5 %).

4 ZAKLJUČEK

Odpadni papirniški mulj je kot vhodna surovina za pripravo hidratiziranih produktov zelo zahteven material. V samem odpadnem papirniškem mulju (tudi odcejenem) je že prisotna precejšnja količina vode, ki bi sama po sebi zadostovala za pripravo kompozita, vendar pa je zadržana v vlaknih. Tako je mešanica ob dodatku veziva »presuha«.

V okviru raziskav se je izkazalo, da je za klasično pripravo kompozitnega materiala potrebno zagotoviti precejšnjo vsebnost vode in s tem visok v/c faktor (razmerje med vodo-v in vezivom-c), saj je le na ta način možno doseči primerno konsistenco in obdelavnost. Tako visok v/c faktor pa negativno vpliva na trdnost pripravljenega kompozita. Da bi zagotovili čim boljše lastnosti kompozita, bi bilo potrebno proizvodnjo produkta prilagoditi tako, da bi v procesu hidratacije izkoristili v samem papirniškem mulju (odcejenem) prisotno vodo in je med pripravo ne bi več dodajali, v postopku izdelava hidratiziranih produktov pa bi lahko uporabili tudi osušen in razvlaknjen papirniški mulj. Z vzpostavitvijo primerne v/c faktorja bi tako zagotovili boljše mehanske lastnosti, vendar pa bi bilo potrebno postopek proizvodnje še optimizirati in prilagoditi obliki vhodnega papirniškega mulja inkonsistenci sveže mešanice.

Raziskave na področju proizvodnje asfaltnih zmesi so pokazale, da primerno pripravljen papirniški mulj lahko uporabimo kot nadomestek za uveljavljene stabilizacijske dodatke na osnovi celuloznih vlaken za stabiliziranje bitumna v asfaltnih zmesih. Na ta način lahko pridobimo ustrezno asfaltno zmes, podobnih lastnosti kot jih imajo klasično proizvedene tovrstne zmesi. Kot nekoliko problematično se je izkazal le princip doziranja papirniškega mulja v proizvodnji na asfaltnem obratu, saj je njegova uporaba v takšni obliki kot je sedaj (raztreseno stanje) na novjših asfaltnih bazah otežena. Uporaba v vrečah je navadno možna le še na starejših napravah, medtem ko se na novjših uporabljajo različni avtomatski sistemi za katere pa trenutna oblika papirniškega mulja ni prilagojena.

Papirniški mulj se je tako izkazal kot zanimiva sekundarna surovina oziroma dodatek v gradbeništvu tako pri izdelavi hidratiziranih produktov, kot tudi v proizvodnji asfaltnih zmesi. Za uveljavitev in širšo uporabo v gradbeništvu, pa bo potrebno posvetiti še dodatno pozornost postopkom priprave papirniškega mulja kot vhodne surovine, kot tudi načrtovanju proizvodnih procesov, ki bodo omogočali njegovo učinkovito izrabo na področju gradbeništvu.

Takšna koristna izraba odpadnega papirniškega mulja bi tako lahko omogočila znižanje stroškov ravnanja z odpadki v podjetju VIPAP VIDEM KRŠKO d.d., potencialno znižala proizvodno ceno nekaterih gradbenih proizvodov oziroma asfaltnih zmesi, predvsem pa pozitivno vplivala na varovanje okolja in trajnostno gradnjo.

LITERATURA

- [1] Gradbeni in industrijski odpadki – vir surovin za gradbeništvo, Finance, 2014, št. 73, str. 17.
- [2] Ducman, V., Legat, A., Makarovič, M., Mladenovič, A., Pavšič, P., Sever Škapin, A. in Šelih, J. Možnosti uporabe odpadkov v gradbeništvu in industriji gradbenih materialov. Materiali in tehnologije, 2004, vol. 38, št. 1/2, str. 79–86.
- [3] Pavšič, P. Stabiliziranje odpadnih blat s pepelom biomase in uporabnost dobljenega materiala v gradbeništvu: doktorska disertacija. Ljubljana, 2013, 153 str.
- [4] Bajpai, P. Management of Pulp and Paper Mill Waste. Springer International Switzerland, 2015, 197 str.
- [5] Kujala, A., Papermaking sludges and possibilities of utilization as material: Bachelor Seminar of Environmental Technology. Lappeenranta, 2012, 68 str. Dostopno na spletu: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/73980/Kujala%20Asta_Kandidaatinty%C3%B6.pdf?sequence=1.
- [6] Likon, M., Černeck, F. in Oštir, D. Trajnostna tehnologija CAPS za pretvorbo papirniškega mulja v visoko učinkovit absorbent za čiščenje vodnih površin. Gospodarjenje z okoljem, 2009, vol. 18, št. 72, str. 13-15.
- [7] Pavšič, P., Despotovič, G. Poročilo o uporabnosti odpadnega papirniškega mulja v gradbeništvu – dodatne raziskave. Ljubljana: GI-ZRMK d.o.o. in ZEL-EN d.o.o., 2013, 19 str.

¹ GI-ZRMK d.o.o., Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

² ZEL-EN d.o.o., Hočevarjev trg 1, 8270 Krško

³ VIPAP VIDEM KRŠKO d.d., Tovarniška ulica 18, 8270 Krško

Dr. Primož Pavšič, univ. dipl. kem.
Breda Ogorevc, inž. kem. teh.
Danijel Oštir, univ. dipl. inž. prof. kem.