





Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik
Dušan Jukić
prof. dr. Matjaž Mikoš
IZS MSG: **Gorazd Humar**
mag. Mojca Ravnikar Turk
dr. Branko Zadnik
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**
UM FG: **doc. dr. Milan Kuhta**
ZAG: **doc. dr. Matija Gams**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

950 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

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 23,16 EUR; za študente in upokojence 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

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

UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;

spletna izdaja ISSN 2536-4332.

Ljubljana, oktober 2017, letnik 66, str. 233-264

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) 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 ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. 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.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

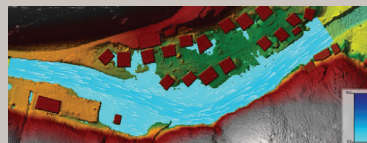
stran **234**

Anja Črep, mag. inž. grad.

doc. dr. Janja Kramer Stajniko, univ. dipl. inž. grad.

PRIMERJAVA 1D-, 2D- IN KOMBINIRANEGA HIDRAVLICNEGA 1D/2D-MODELA NA IZBRANEM ODSEKU VODOTOKA S PROGRAMOM HEC-RAS

COMPARISON OF 1D, 2D AND COMBINED 1D/2D HYDRAULIC MODEL OF SE-
LECTED RIVER SECTION USING HEC-RAS



stran **241**

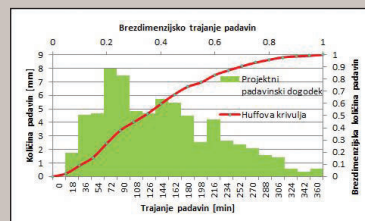
asist. dr. Nejc Bezak, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. grad.

prof. dr. Matjaž Mikoš, univ. dipl. inž. grad.

VPLIV PADAVIN NA PROJEKTNE PRETOKE

THE INFLUENCE OF RAINFALL ON THE DESIGN DISCHARGE



stran **249**

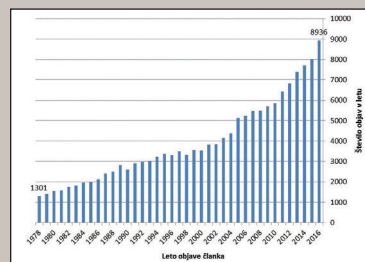
Blaž Hribar, dipl. inž. grad.

Mirjam Britovšek, univ. dipl. inž. kem. inž.

doc. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.

PROIZVODI IZ POLISTIRENA IN MOŽNI VPLIVI NA ŽIVLJENJSKO OKOLJE

POLYSTYRENE PRODUCTS AND POSSIBLE IMPACTS ON LIVING ENVIRONMENT



Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditiv

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Gradnja armiranobetonske, lesene in jeklene konstrukcije stanovanjskaga objekta v Medvodah, foto: Janez Duhovnik

PRIMERJAVA 1D-, 2D- IN KOMBINIRANEGA HIDRAVLIČNEGA 1D/2D-MODELA NA IZBRANEM ODSEKU VODOTOKA S PROGRAMOM HEC-RAS

COMPARISON OF 1D, 2D AND COMBINED 1D/2D HYDRAULIC MODEL OF SELECTED RIVER SECTION USING HEC-RAS

Anja Črep, mag. inž. grad.

crep.anja@gmail.com

doc. dr. Janja Kramer Stajniko, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo,
janja.kramer@um.si

ZNANSTVENI ČLANEK

556.166:532.5(078.9)

Povzetek | Pri ugotavljanju poplavne varnosti vodotoka kot tudi načrtovanju ureditvenih ukrepov je treba izdelati hidrološko-hidravlično študijo, s katero se predvidi vpliv visokih voda na obravnavanem območju vodotoka. Za izdelavo hidravlične študije je danes na voljo mnogo programov, ki omogočajo preračune toka s prosto gladino za različne vrste in režime toka. V prispevku je prikazana uporaba programa HEC-RAS, ki je bil razvit pri ameriški vojski in omogoča preračune stalnega, nestalnega, enakomernega in neenakomernega toka, pri tem pa daje podporo tako 1D- kot tudi 2D- ter kombiniranim 1D/2D-modelom. V članku so za izbrani odsek vodotoka predstavljene štiri različne hidravlične analize, na podlagi njihovih rezultatov pa so ugotovljene prednosti in pomanjkljivosti posameznega modela.

Ključne besede: hidravlična analiza, HEC-RAS, tok s prosto gladino

Summary | When estimating the flood safety and regulation of a stream, the hydrologic-hydraulic analysis is necessary in order to predict the influences of high water in a selected area. There are many available computer programs that enable the hydraulic analysis of open channel flow for different flow types and regimes. In the present paper the program HEC-RAS is used, which was developed by American army and allows calculations for steady, unsteady, uniform and non-uniform flow, using 1D and 2D as well as a combination of 1D/2D models. The paper presents the results of four hydraulic analyses and a summary of main advantages and disadvantages of each model.

Key words: hydraulic analysis, HEC-RAS, free surface flow (open channel flow).

1 • UVOD

Za izdelavo hidrološko-hidravličnih študij so se v preteklosti največ uporabljali enodimenzionalni (1D) modeli, v zadnjih letih pa z razvojem vedno bolj zmogljivih računalnikov v ospredje prihajajo dvo- (2D) in tridimenzionalni (3D) modeli. Ti za razliko od 1D-modelov omogočajo natančnejše napovedovanje dogodkov ob nastopu visokih voda, saj se tok vode pri 2D-modelih računa v dveh oz. pri

3D-modelih v treh smereh, pri 1D-modelih pa je račun omejen zgolj na smer glavnega toka. Poleg izbire modela imamo na voljo tudi možnosti preračuna različnih vrst toka (stalni, nestalni, enakomerni, neenakomerni tok). Stalni in enakomerni tok se v naravi pojavljata le redko, najdemo ju zgolj v umetno narejenih kanalih s konstantnim prerezom. V naravnih vodotokih se praviloma pojavlja

nestalni neenakomerni tok, redkeje nestalni enakomerni tok.

V članku je predstavljen del hidravličnih analiz izbranega odseka vodotoka Lučnica s programom HEC-RAS, ki je bil podrobneje obravnavan v sklopu magistrske naloge (Črep, 2017). Predstavljene so analize za modele 1D stalnega toka, 1D nestalnega toka, 2D nestalnega toka in kombinirani model 1D/2D nestalnega toka. Na podlagi primerjave rezultatov analiz so povzete končne ugotovitve o primernosti posameznega modela kot tudi učinkovitosti z vidika porabe računskega časa za posamezno analizo.

2 • TEORETIČNE OSNOVE

Tok v naravnih vodotokih je tok s prosto gladino oziroma gravitacijski tok, katerega gonilna sila je gravitacija. Fizikalno gledano, je to tok realne tekočine, pri katerem lahko predpostavimo, da je voda nestisljiva, nima površinske napetosti, ne ustvarja pare, prav tako ne ponuja upora strižnim in nateznim silam, njen volumen pa ni odvisen od temperature (Steinman, 1999). Poznamo štiri možne kombinacije toka s prosto gladino:

- stalni (stacionarni) enakomerni tok,
- stalni neenakomerni tok,
- nestalni (nestacionarni) enakomerni tok,
- nestalni neenakomerni tok.

Pri vseh možnih kombinacijah se pojavljajo tudi različni režimi toka. Karakteristika toka v odprtih vodotokih je močno odvisna od razmerja med hitrostjo vode in hitrostjo potovanja vala. To razmerje opišemo z brezdimenzijskim Froudovim številom (Fr), ki ponazarja razmerje med vztrajnostnimi silami in gravi-

tacijsko silo. Za odprte vodotoke poznamo tri režime toka:

- mirni tok (tok vode s povprečno hitrostjo, ki je manjša od kritične hitrosti; $Fr < 1$);
- deroči tok (tok vode s povprečno hitrostjo, ki je večja od kritične hitrosti; $Fr > 1$);
- kritični oziroma mešani tok (nastaja takrat, ko so vzpostavljene pretočne razmere, pri katerih je za določeno specifično energijo pretok največji ali pri katerih je specifična energija za dani pretok najmanjša; $Fr = 1$). (Steinman, 1999)

Teorija toka s prosto gladino temelji na osnovnih zakonih fizike, in sicer zakona ohranitve mase (kontinuitetna enačba), zakona ohranitve energije in zakona ohranitve gibalne količine. Oblika uporabljenih enačb je odvisna od lastnosti toka in s tem povezanih predpostavk, ki jih privzamemo za obravnavani tok. Vse teoretične osnove matematičnega modela so podrobneje podane v priročniku programa

HEC-RAS (Brunner, 2016) in jih v tem prispevku opuščamo. Pri tem je treba omeniti, da je uporabljena verzija programa 5.0.3., ki poleg 1D-modelov daje podporo 2D- in kombiniranim 1D/2D-modelom. Dvodimenzionalni pretočni modeli predstavljajo območje modela, znotraj katerega je preračunan tok z algoritmom dvodimenzionalnega pretoka. Algoritem je bil razvit za uporabo strukturirane oz. nestrukturirane računske mreže, kar pomeni, da je lahko mreža sestavljena iz tri- do osemstranih celic. Najpogosteje uporabljene numerične metode so metoda končnih razlik, metoda končnih volumnov in hibridna diskretizacija. Metoda končnih razlik je najbolj ustrezna pri sistemih z ortogonalno mrežo, metoda končnih volumnov pa pride v poštev pri neortogonalnih sistemih in v primerih nastopa vrtnične viskoznosti. Ta implicitna metoda, v nasprotju z eksplicitnimi, dovoljuje uporabo večjih računskih korakov. Program pa največkrat uporabi kombinacijo vseh treh metod, saj velikokrat naletimo na tak sistem, kjer ena metoda sama po sebi ni dovolj učinkovita (Brunner, 2016).

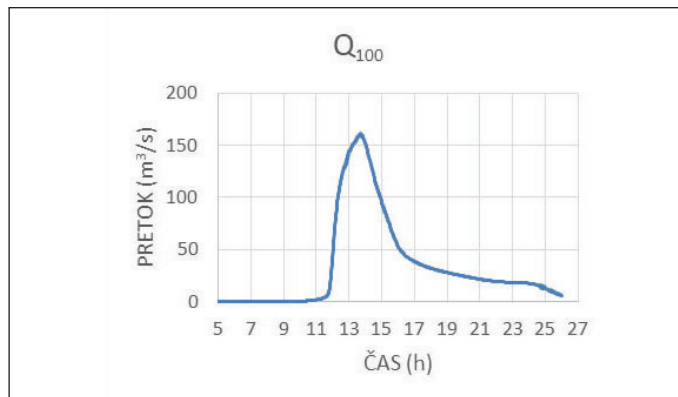
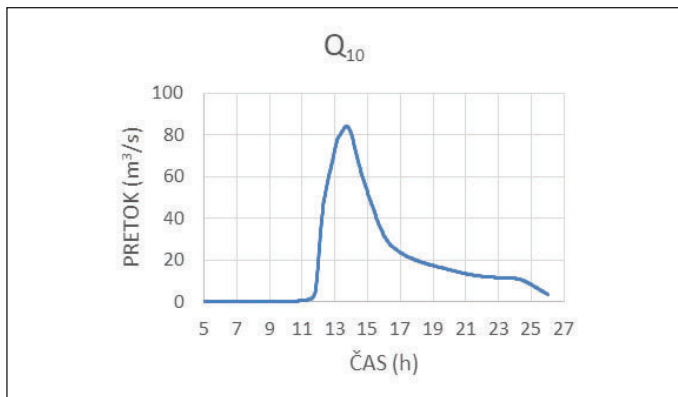
3 • MATEMATIČNI MODEL

Obravnavani vodotok predstavlja ca. 340 m dolg odsek vodotoka Lučnica v naselju Luče. Vodotok ima 0,7-% povprečni padec, leva brežina je poseljena, desna pa se dviga v visok teren (slika 1).

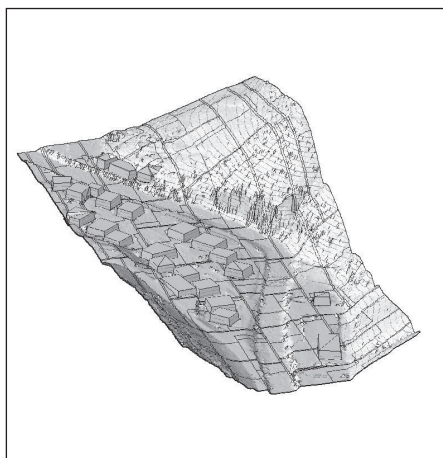
Matematično modeliranje je potekalo v dveh stopnjah. Najprej se je ustvaril hidrološki model, kjer se je natančno določilo celotno prispevno območje Lučnice. Na podlagi hidroloških podatkov o povratnih dobah (ARSO, 2013) sta se pridobila podatka o pretoku Q_{10} in Q_{100} za vodotok Lučnica, ki sta predstavljala maksimalen pretok obravnavanih valov in vel-



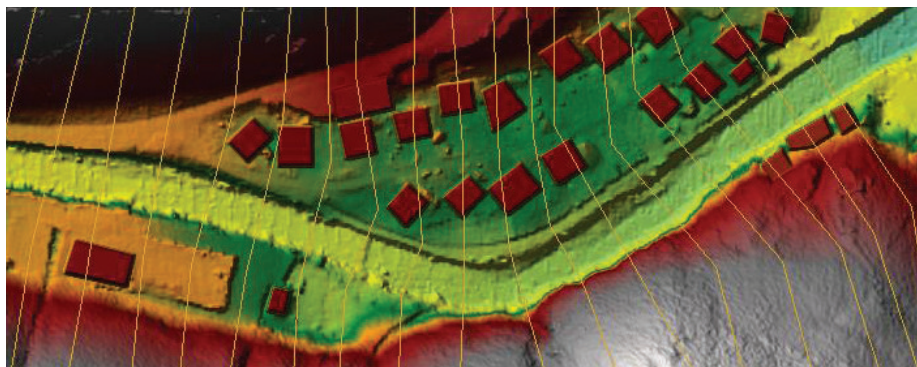
Slika 1 • Obravnavani odsek vodotoka Lučnica (ARSO, 2016).



Slika 2 • Hidrograma valov na Lučnici s konicama Q_{10} in Q_{100} .

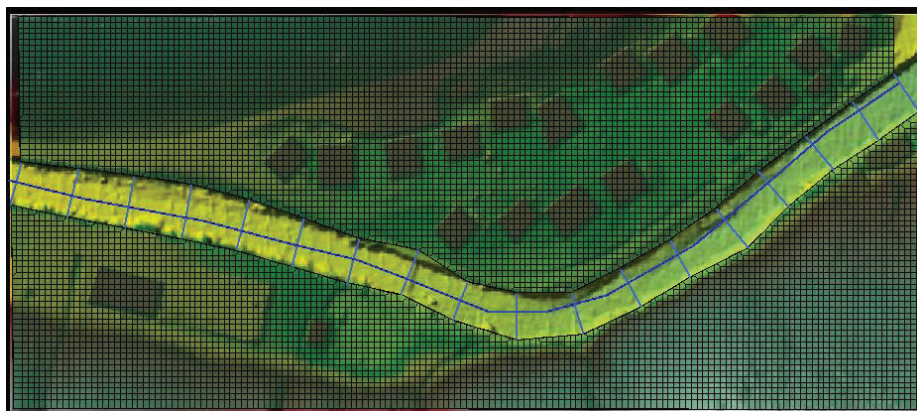


Slika 3 • 3D-model terena.

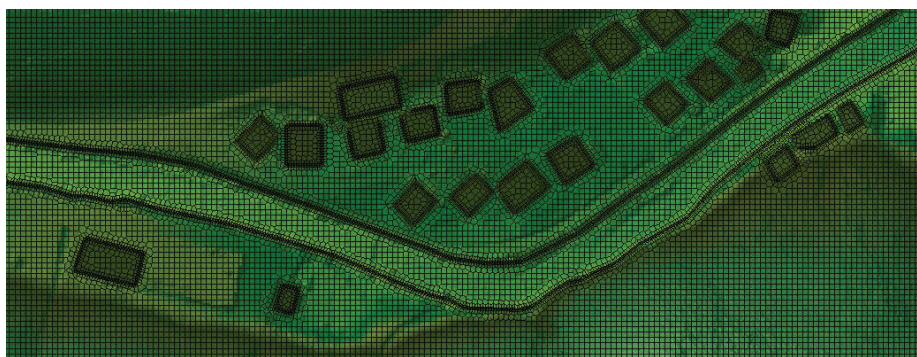


Slika 4 • Geometrija 1D-modela.

jala kot omejitev za izdelavo karakterističnih pretokov. Nato so se s pomočjo programa Hydraflow, implementiranega znotraj programa AutoCAD Civil 3D, za vsako posamezno prispevno območje določili njegova velikost, povprečni padec terena, dolžina najbolj oddaljene točke od vodotoka in odtočni koeficient CN. Hidrološki podatki so se povzeli po analizi povratnih dob ekstremnih padavin (Povratne dobe, 2009) za merilno postajo Solčava, ki predstavlja najbližjo točko obravnavanemu območju. Vnesli so se podatki o času trajanja naliva 24 ur za povratno dobo deset in sto let. Na podlagi teh podatkov sta se ustvarila končna pretoka visokih voda, in sicer pretok Q_{10} , ki znaša $84,3 \text{ m}^3/\text{s}$, in Q_{100} , ki znaša $161 \text{ m}^3/\text{s}$, prikazana v grafih na sliki 2. Sledila je izdelava hidravličnega modela, kjer se je ustvaril 3D-teren območja s pomočjo DMR-podatkov, pridobljenih na spletni strani Atlasa okolja, ki vsebujejo le podatke o terenu, ročno pa so se na podlagi ortofoto posnetka (ARSO, 2016) dodali podatki o okoliških stanovanjskih zgradbah (slika 3).



Slika 5 • Geometrija 1D/2D-modela.



Slika 6 • Geometrija 2D-modela.

3.1 Vhodni podatki

Opravili smo štiri različne hidravlične analize (preračun 1D stalnega, 1D nestalnega, 2D nestalnega in kombinirani 1D/2D-model nestalnega toka) in pri vseh uporabili enak 3D-model terena, torej smo pri vseh analizah imeli enako geometrijo. Pri vsaki analizi smo uporabili enak Manningov koeficient hrapavosti in enak režim toka. Pri 1D-modelih smo geometrijo območja določili z 18 prečnimi profili na medsebojni razdalji 20 metrov (slika 4). Geometrija kombiniranega modela je enaka geometriji 1D-modela, le da so prečni profili primerno skrajšani in preko bočne konstrukcije povezani na 2D-območja (slika 5). Pri 2D-modelu smo celotno območje zamrežili (slika 6).

V preglednicah 1 do 4 so predstavljeni podrobni vhodni podatki za vsako posamezno analizo:

– 1D-analiza stalnega neenakomernega toka (Preglednica 1).

Pri preračunu stalnega toka se je upoštevala le maksimalna vrednost hidrogramov visokih voda, pri preračunu nestalnega toka pa se je vnesel celoten hidrogram. V ta namen robni pogoj pri stalnem toku predstavlja kritična globina, pri nestalnem toku pa je robni pogoj na gorvodnem koncu hidrogram pretoka, na dolvodnem pa normalna gladina. Časovni korak pri preračunu nestalnega toka je 0,1 s.

– 1D-analiza nestalnega neenakomernega toka (Preglednica 2).

– 2D-analiza nestalnega neenakomernega toka (Preglednica 3).

Pri 2D- in kombinirani analizi nestalnega toka se je uporabil časovni korak 2 s. Ta časovni korak se je izkazal za najustreznejšega, saj so rezultati pri manjši izbiri koraka ostali enaki, le čas računanja analize se je povečal.

– 1D/2D-kombinirana analiza nestalnega neenakomernega toka (Preglednica 4).

Q_{10}		84,3 m ³ /s
Q_{100}		161,0 m ³ /s
Režim toka		Mešan
Robni pogoji		Kritična globina
Koeficient hrapavosti n_g	Struga	0,04 s/m ^{1/3}
	Poplavne ravnice	0,08 s/m ^{1/3}

Preglednica 1 • Vhodni podatki 1D-analize stalnega neenakomernega toka.

Q_{10}		84,3 m ³ /s
Q_{100}		161,0 m ³ /s
Režim toka		Mešan
Robni pogoji		Gorvodno: hidrogram pretoka Dolvodno: normalna globina
Koeficient hrapavosti n_g	Struga	0,04 s/m ^{1/3}
	Poplavne ravnice	0,08 s/m ^{1/3}

Preglednica 2 • Vhodni podatki 1D-analize nestalnega neenakomernega toka.

Q_{10}		84,3 m ³ /s
Q_{100}		161,0 m ³ /s
Režim toka		Mešan
Robni pogoji		Gorvodno: hidrogram pretoka Dolvodno: normalna globina
Koeficient hrapavosti n_g	Struga	0,04 s/m ^{1/3}
	Brežini s poplavnima ravnicama	0,08 s/m ^{1/3}
Velikost celic		2 m × 2 m
Število celic območja		11479

Preglednica 3 • Vhodni podatki 2D-analize nestalnega neenakomernega toka.

Q_{10}		84,3 m ³ /s
Q_{100}		161,0 m ³ /s
Režim toka		Mešan
Robni pogoji		Gorvodno: hidrogram pretoka Dolvodno: normalna globina
Koeficient hrapavosti n_g	Struga	0,04 s/m ^{1/3}
	Brežini s poplavnima ravnicama	0,08 s/m ^{1/3}
Velikost celic		2 m × 2 m
Število celic	Leva ravnica	4940
	Desna ravnica	3965

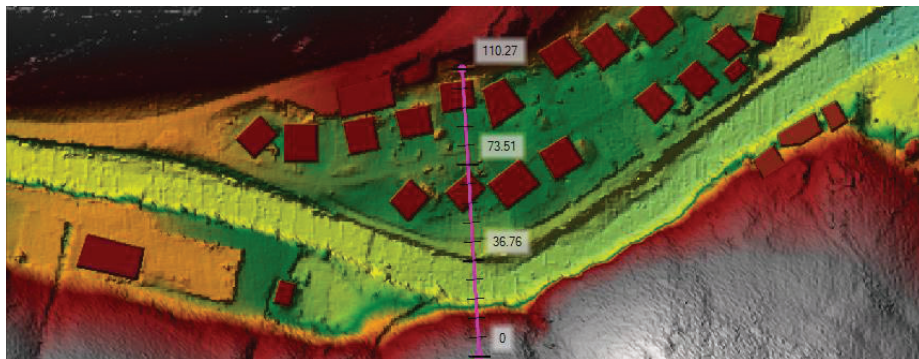
Preglednica 4 • Vhodni podatki 1D/2D-analize nestalnega neenakomernega toka.

4 • REZULTATI IN DISKUSIJA

Rezultati globlin in hitrosti vode so prikazani za en profil vodotoka Lučnica, prikazan na sliki 7. Graf na sliki 8 prikazuje prečni prerez profila. Rezultati so prikazani za desetletne (Q_{10}) in stoletne (Q_{100}) visoke vode.

Grafa na slikah 9 in 10 prikazujeta višino vode na obravnavanem profilu v primeru pojava Q_{10} in Q_{100} . Pri desetletnih vodah opazimo, da se največje vrednosti globine vode pojavijo pri 1D-hidraulični analizi stalnega toka. Sledita ji 1D- in kombinirana analiza nestalnega toka, najmanjše vrednosti daje 2D-analiza. Enaka situacija se pojavi pri pretoku Q_{100} , največje vrednosti nam daje 1D-analiza stalnega toka, najmanjše pa 2D-analiza nestalnega toka. Grafa na slikah 11 in 12 pa prikazujeta vrednosti hitrosti vode. Grafi hitrosti vode se ob upoštevanju Manningove enačbe odražajo obratno sorazmerno od grafov globlin vode. Tako se največje hitrosti pojavijo pri 2D-analizah nestalnega toka, najmanjše pa pri 1D-analizi stalnega toka.

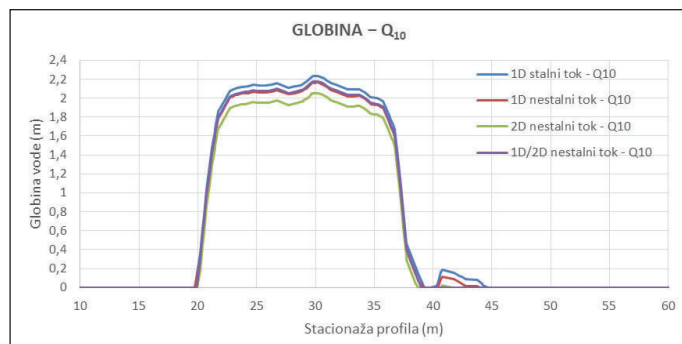
Preglednica 5 prikazuje maksimalne vrednosti globlin in hitrosti vode v obravnavanem profilu pri maksimalnem pretoku ($Q_{10} = 84,3 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q_{100} = 161 \text{ m}^3/\text{s}$). Z rdečo barvo so prikazane



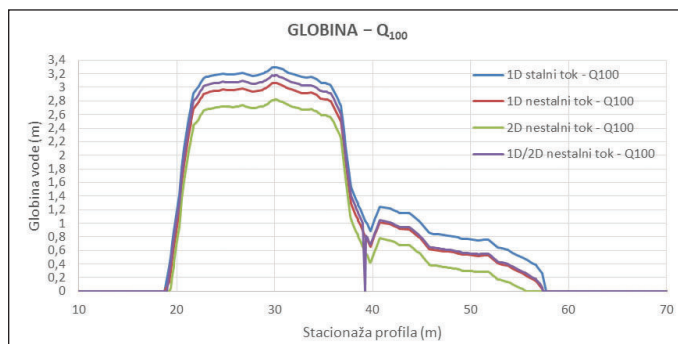
Slika 7 • Profil, za katerega so prikazani rezultati globine in hitrosti vode.



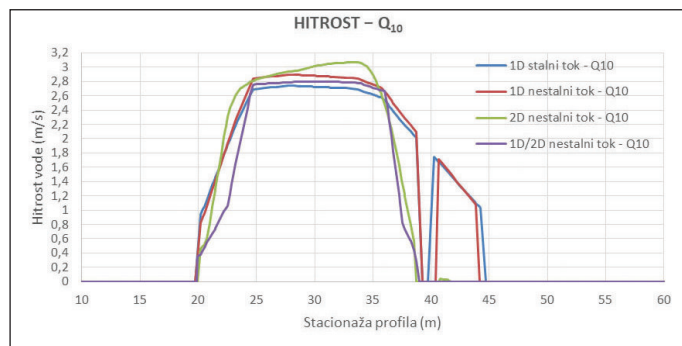
Slika 8 • Prečni prerez obravnavanega profila.



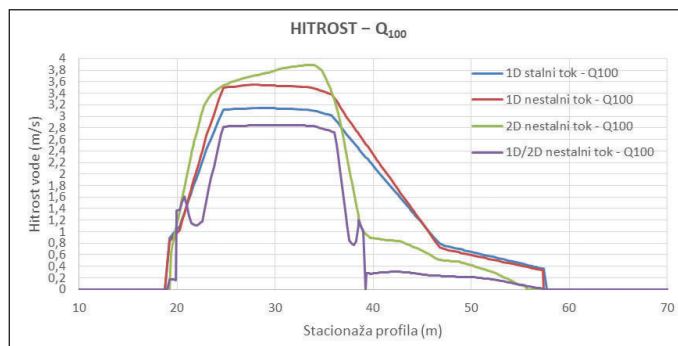
Slika 9 • Graf globine vode za Q_{10} .



Slika 10 • Graf globine vode za Q_{100} .



Slika 11 • Graf hitrosti vode za Q_{10} .



Slika 12 • Graf hitrosti za Q_{100} .

največje vrednosti, zelena barva pa ponazarja najmanjše vrednosti.

Iz rezultatov je razvidno, da najmanjše vrednosti globin sledijo iz 2D-modela nestalnega toka, sledi 1D-model nestalnega toka, največje vrednosti globin pa sledijo iz 1D-modela stalnega toka. Analiza kombiniranega sistema se glede na vrednosti izračunanih globin uvršča med 1D-analizo nestalnega toka in stalnega toka.

Rezultati, predstavljeni v preglednici 5, predstavljajo največje vrednosti, ki pa se seveda pojavljajo na lokaciji struge, kjer je najnižja obravnavana točka našega reliefa. Za izbiro najustreznejše analize moramo gledati celotno sliko analize, ne samo podatkov, pridobljenih na enem prečnem profilu. V ta namen so na slikah 13–16 prikazana celotna poplavna območja visokih voda, kjer je prikazano območje v primeru pojava Q_{100} .

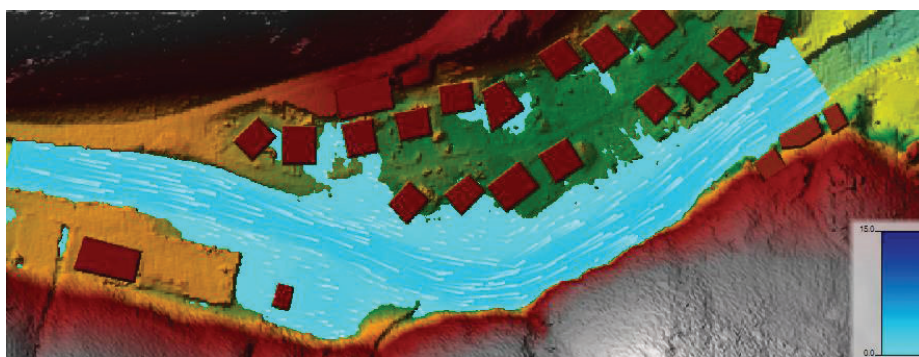
Največje poplavno območje se pojavi pri 1D-analizi stalnega toka, zmanjša se pri izbiri nestalnega toka. Na slikah 13 in 14 vidimo, da vodotok prestopi obe brežini, na levi poplavni ravnici pa opazimo manjše otočke vode. Ti otočki so odraz slabosti analiz 1D-sistemov. Na teh lokacijah je namreč kota reliefa manjša od okoliškega reliefa. Voda se je na teh lokacijah pojavila ob dovolj velikem pretoku in ni nikoli prepotovala poti od struge ter se tam zadržala. 1D-sistemi te nižje lokacije v vsakem primeru zapolnijo z vodo, čeprav se voda na teh lokacijah ne pojavi.

Manjša poplavna območja se pojavijo pri 2D- (slika 15) in kombinirani analizi (slika 16). 2D-analiza ima v nasprotju s kombinirano manjša poplavna območja. Vzrok je v velikosti računskih celic 2D-mreže. Čeprav so velikosti celic pri obeh analizah določene na $2\text{ m} \times 2\text{ m}$, pri kombinirani analizi opazimo precej večje poplavno območje. Vzrok za to je razlika v geometrijskem definiranju struge. Pri 2D-analizi je celotna struga zamrežena s temi celicami, pri kombiniranem sistemu pa je definirana s prečnimi profili na medsebojni razdalji 20 m.

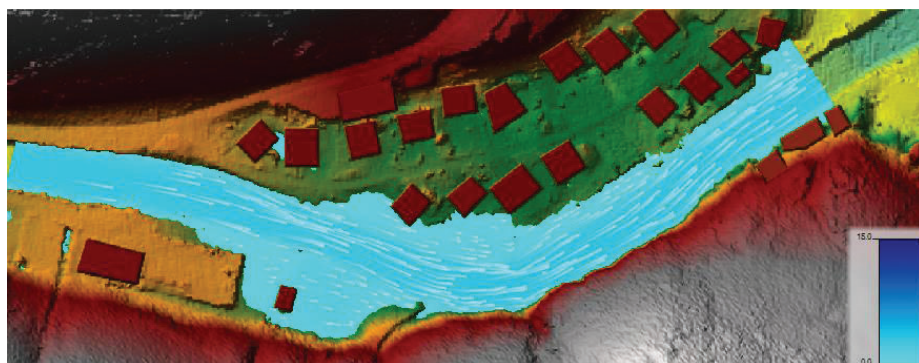
Glede na medsebojno primerjavo različnih modelov je razvidno, da najnižje vrednosti globin in najmanjše poplavno območje sledi iz 2D-modela, največje pa iz 1D-modela stalnega toka. Bistvena slabost 1D-modela je predvsem nenatančen opis geometrije poplavnih ravnin, saj je ta omejen na izbrano gostoto prečnih profilov. Rezultati jasno kažejo, da iz geometrijskega opisa izpuščena mesta podajo nerealno sliko poplavljenega območja, kar je treba pozneje smiselno interpretirati.

Analiza model/tok	Visoka voda	Profil	
		Globina (m)	Hitrost (m/s)
1D stalni tok	Q_{10}	2,233	2,740
	Q_{100}	3,294	3,148
1D nestalni tok	Q_{10}	2,163	2,895
	Q_{100}	3,061	3,545
2D nestalni tok	Q_{10}	2,053	3,072
	Q_{100}	2,816	3,895
1D/2D nestalni tok	Q_{10}	2,176	2,795
	Q_{100}	3,175	2,847

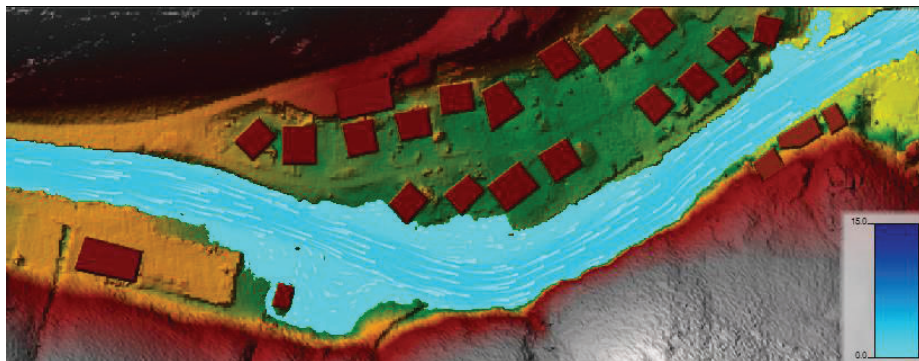
Preglednica 5 • Maksimalne vrednosti pri maksimalnem pretoku Q_{10} in Q_{100} .



Slika 13 • Poplavno območje 1D-analize stalnega toka – Q_{100} .

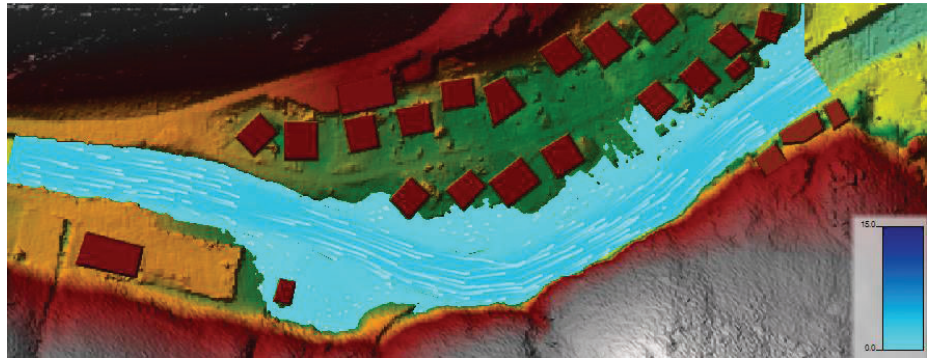


Slika 14 • Poplavno območje 1D-analize nestalnega toka – Q_{100} .



Slika 15 • Poplavno območje 2D-analize nestalnega toka – Q_{100} .

Zaradi relativno natančnega opisa geometrije poplavlne ravnice pri 2D-modelu je slika poplavljenega območja bolj realna, vendar je ključna slabost te analize, da je z vidika porabe računskega časa zelo potratna, poleg tega je problematičen tudi opis geometrije struge, saj je potrebna natančna batimetrija. Kombinirani 1D/2D-model nestalnega toka je z vidika modeliranja in porabe računskega časa bolj optimalen, rezultati pa kažejo nekoliko višje vrednosti globlin in poplavljenih površine kot 2D-model.



Slika 16 • Poplavno območje 1D/2D-analize nestalnega toka – Q_{100} .

5 • SKLEP

Glede na opravljene in zgoraj opisane hidravlične analize so končne ugotovitve naslednje:

- 1D-modeli so primerni za hidravlične preračune znotraj glavne struge za ravne rečne odseke in na mestih, kjer se v strugi pojavljajo objekti (mostovi, jezovi, prepusti ...).
- Analiza stalnega toka daje največje vrednosti globlin vode in najmanjše vrednosti hitrosti vode.
- 1D-analize stalnega toka zahtevajo najmanj računskega časa, pri njih ne potrebujemo hidrograma poteka vala na vodotoku, ampak zgolj maksimalni pretok.
- Čeprav rezultati preračuna stalnega toka najbolj odstopajo, so te vrednosti na varni – pozitivni strani.
- Celotne 2D-analize so najbolj primerne za preračune poplavnih ravnin, z njimi ne moremo opraviti hidravličnih analiz, kjer se na strugi pojavljajo premostitveni objekti.
- Kombinirane analize so najbolj primerne za preračune na poplavnih ravninah in strugo, kjer se pojavljajo premostitveni objekti.

		Velikost celic računske mreže		
		10 m × 10 m	5 m × 5 m	2 m × 2 m
Število celic		455	1820	11479
Računski čas celotne simulacije				
Časovni korak simulacije	10 min	1 s	4 s	36 s
	1 min	4 s	13 s	1 min 24 s
	10 s	12 s	48 s	5 min 45 s
	5 s	18 s	1 min 20 s	9 min 16 s
	1 s	1 min 44 s	6 min	36 min 2 s
	0,5 s	3 min 35 s	12 min 10 s	180 min
	0,1 s	15 min 30 s	59 min 35 s	5 ur 50 min

– 2D-analize so zaradi zamrežitve celotnega območja z vidika porabe računskega časa najbolj časovno potratne.

Za konec dodajamo še preglednico 6, ki prikazuje razlike v računskem času 2D-hidravlične analize za različne velikosti celic računske mreže. Čas računanja se poveča s

povečanjem gostote mreže in zmanjšanjem časovnega koraka simulacije. Analize so bile opravljene na domačem prenosnem računalniku:

- Windows 7 Ultimate;
- Procesor i5-3210M, 2,50 GHz;
- 64-bitni operacijski sistem.

6 • LITERATURA

ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje, Atlas okolja, http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso, 20. 6. Ljubljana, 2016.

ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje, Povratne dobe velikih in malih pretokov za merilna mesta državnega hidrološkega monitoringa površinskih voda, <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/Povratne%20dobe%20Qvk%2CQnp.pdf>, Urad za hidrologijo in stanje okolja, Ljubljana, 2013.

ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje, Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi, http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf, Ljubljana, 2009.

Brunner, G. W., HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 5.0, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>, California, 2016.

Črep, A., Hidrološko-hidravlična študija odseka vodotoka Lučnica v naselju Luče s programom HEC-RAS 2D, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, magistrsko delo, <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=65501&lang=slv>, Maribor, 2017.

Steinman, F., Hidravlika, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 1999.

VPLIV PADAVIN NA PROJEKTNE PRETOKE

THE INFLUENCE OF RAINFALL ON THE DESIGN DISCHARGE

asist. dr. Nejc Bezak, univ. dipl. inž. grad.

nejc.bezak@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. grad.

mojca.sraj@fgg.uni-lj.si

prof. dr. Matjaž Mikoš, univ. dipl. inž. grad.

matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 556.121:627.82(078.9)

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Povzetek | Različni hidrotehnični objekti (pregrade, akumulacije, jezovne zgradbe, hudourniške pregrade ...) in vodarske ureditve (ureditve vodotokov ...) so zasnovani ob upoštevanju hidravlične obtežbe, na katero dimenzioniramo objekt ali ureditev, najpogosteje izraženo v obliki projektnih pretokov. Projektne pretoke različnih povratnih dob najpogosteje določamo iz merjenih pretokov s statističnimi analizami. V nemerjenih porečjih ali ko ne razpolagamo z dovolj dolgimi serijami merjenih podatkov o pretokih z vodomernih postaj uradnega državnega hidrološkega monitoringa, ki ga izvaja Agencija Republike Slovenije (ARSO), je določitev projektnega padavinskega dogodka eden najpomembnejših korakov pri določanju projektnih hidrogramov (časovnega diagrama pretokov) oziroma konic projektnih pretokov za načrtovanje hidrotehničnih objektov in vodarskih ureditev. Za določitev projektnega padavinskega dogodka potrebujemo informacije o dolžini padavinskega dogodka, količini padavin in razporeditvi padavin med dogodkom. V prispevku je prikazan vpliv trajanja padavinskega dogodka in razporeditve padavin znotraj dogodka na hidrogram površinskega odtoka in konico pretoka. Ugotovljeno je bilo, da ta dva parametra projektnega padavinskega dogodka lahko izrazito vplivata na projektne hidrograme, tako na obliko, čas nastopa konice kot tudi na velikost konice projektnega pretoka. Za zagotavljanje varnejšega dimenzioniranja hidrotehničnih objektov v prihodnosti so predlagane usmeritve za določitev projektnih padavinskih dogodkov z uporabo krivulj intenziteta-trajanje-povratna doba (ITP) in Huffovih krivulj, ki opisujejo porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka. Te krivulje so prosto dostopne projektantom hidrotehničnih objektov in vodarskih ureditev za 30 padavinskih postaj na območju Slovenije.

Ključne besede: hidrološko modeliranje, hidrotehnični objekti, Huffove krivulje, nemerjena porečja, projektne padavine, projektni pretoki

Summary | Different hydraulic structures (dams, accumulations, weirs, torrent check dams, ...) and water management systems (river engineering works,...) are designed by taking into account hydraulic loads. The hydraulic load on a structure or system is most often expressed in the form of design floods (discharges). The design floods (discharges) of different return periods are most often determined from measured discharges applying statistical analyses. In ungauged catchments or when long enough measured data on flows from gauging stations of the Slovenian national monitoring

network, executed by the Slovenian Environment Agency (ARSO), are not available, the determination of design storms or design hyetographs is one of the most important steps in determining design hydrographs or design peak discharges for planning hydraulic structures and water management systems. For the design storm definition one needs to define rainfall duration, rainfall amount and internal rainfall distribution. The paper shows the influence of rainfall duration and temporal rainfall distribution on surface runoff hydrograph and peak discharge. The results indicate that these two parameters can have significant impact on the determined design hydrograph, namely on hydrograph shape, time to peak value and design peak discharge value. In order to ensure safer design of hydraulic structures in the future, guidelines are proposed for the design storm definition using intensity-duration-frequency (IDF) curves and Huff curves that can be used to describe the temporal rainfall distribution. These curves are freely available to designers of hydraulic structures and water management systems for 30 precipitation stations in Slovenia.

Key words: design hyetograph, design discharge, ungauged catchments, Huff curves, hydrological modelling, hydrotechnical structures.

1 • UVOD

Pri načrtovanju različnih hidrotehničnih objektov, kot so pregrade, jezovne zgradbe, prepusti ali drče, in načrtovanju vodarskih sistemov, kot so ureditve daljših odsekov vodotokov ali obsežnejše protipoplavne ureditve večjih poplavljenih območij, potrebujemo med drugimi strokovnimi podlagami tudi podatek o konici projektnega pretoka oziroma v nekaterih inženirskih primerih celo podatek o celotnem projektnem hidrogramu za prečni prerez ali odsek vodotoka, na katerem načrtujemo hidrotehnični objekt oziroma ga po potrjeni projektni dokumentaciji pozneje tudi gradimo. Celoten projektni hidrogram (časovni potek projektnega pretoka) potrebujemo tudi za numerično modeliranje razlivanja rečne vode na poplavna območja in seveda za rekonstrukcijo poplavnih dogodkov (npr. hidravlično modeliranje nestalnega toka) – v zadnjem desetletju npr. poplav v večjem delu Slovenije septembra 2007 (Kobold, 2008) in na reki Dravi novembra 2012 (Klaneček, 2013) –, ki še čaka na sodni epilog. Za numerično (dvo)dimenzijsko modeliranje takega poplavnega dogodka je nujno uporabiti nestalni numerični hidravlični model in ga umeriti z dejanskim hidrogramom pretokov oziroma nivogramom. Če razpolagamo z meritvami pretokov, lahko te uporabimo za določitev projektnih pretokov, denimo za izvedbo statističnih analiz (t. i. verjetnostne analize; *angl.* flood frequency analysis), npr. ((Šraj, 2012), (Martinkova, 2013), (Bezak, 2014)), ali za umerjanje in validacijo hidrološkega modela, npr. ((Šraj, 2010), (Martinkova, 2013)). Pogosto pa merjenih podatkov ni na razpolago (t. i. nemer-

jena porečja; *angl.* ungauged catchments). V teh primerih lahko uporabimo katero izmed obstoječih metod, njihov pregled so naredili Blöschl in sodelavci (Blöschl, 2013). Nekatere izmed teh metod so za praktično inženirsko uporabo precej zamudne, saj zahtevajo veliko predznanja o hidrologiji ter pogosto tudi dobro poznavanje statistike in matematike. Tak primer so regionalne verjetnostne analize (*angl.* regional flood frequency analysis), s katerimi lahko določimo projektne pretoke na izbranem nemerjenem vodotoku na podlagi obstoječih merjenih podatkov s hidrološko analizo podobnih porečij, npr. (Blöschl, 2013). Del takšnih analiz za območje Slovenije prikazujeta Zabret in Brilly (Zabret, 2014). Zaradi kompleksnosti omenjenih metod se v inženirski praksi projektne konice pretokov oziroma celotni projektni hidrogrami v primeru nemerjenih porečij pogosto določajo z upoštevanjem projektnih padavinskih dogodkov (sintetičnih padavin) in hidrološkim modeliranjem. Še posebno je ta praksa primerna za manjša nemerjena porečja, kjer večinoma nimamo merjenih podatkov o pretokih. Pri tem postopku je poleg ustreznih parametrov hidrološkega modela treba oceniti oziroma določiti tudi t. i. projektni padavinski dogodek, kar pomeni, da moramo izbrati trajanje padavinskega dogodka, razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka in povratno dobo padavinskega dogodka (UACE, 2000). Ta je večinoma določena glede na tip hidrotehničnega objekta, ki ga načrtujemo. Razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka moramo določiti na podlagi preteklih

merjenih padavinskih dogodkov, trajanje padavinskega dogodka pa ocenimo na podlagi hidroloških značilnosti porečja (časa koncentracije), ki ga analiziramo. Del te tematike je bil v Gradbenem vestniku v preteklosti že obravnavan. Tako sta Dirnbek in Šraj (Dirnbek, 2010) prikazala vpliv histograma padavin na hidrogram površinskega odtoka s poudarkom na različnih metodah, ki jih lahko uporabimo za izračun padavinskih izgub, ki zajemajo prestrežanje padavin zaradi vegetacije, infiltracijo v tla in zadrževanje padavin na površini. Dolšak s sodelavci (Dolšak, 2015b) pa je prikazal metodologijo za določitev t. i. Huffovih krivulj ((Huff, 1967), (Huff, 1970), (Huff, 1990)), s katerimi lahko opišemo razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka. Te krivulje so bile pred kratkim izdelane za 30 padavinskih postaj (Dolšak, 2016), ki so relativno enakomerno razporejene na območju Slovenije in so tudi javno dostopne v delu, ki ga je pripravil Dolšak (Dolšak, 2015a). Zavedati se moramo, da je natančnost podajanja padavinskih dogodkov v hidrološke modele ključnega pomena, saj so hidrološki modeli zelo občutljivi za padavine, s tem pa imajo seveda velik vpliv na rezultate modeliranja ((El-Jabi, 1991), (Ball, 1994), (Danil, 2005), (Kobold, 2005), (Dolšak, 2015a)). To posledično pomeni, da morajo biti padavine v hidroloških modelih podane čim bolj natančno z vidika količine padavin, trajanja padavin in razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka. Enako velja za hidrološke prognostične modele, ki služijo za napovedi poplav oz. možnega poteka poplavnega dogodka in sisteme zgodnjega opozarjanja. Napačna napoved kateregakoli izmed prej omenjenih elementov padavinskega dogodka

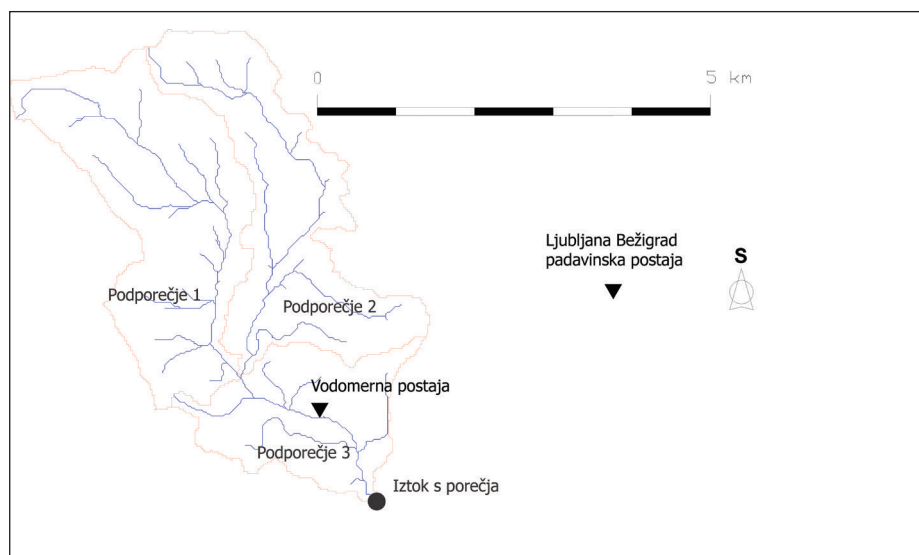
lahko privede do napačnega opozorila pred poplavami ali pa to sploh ni podano. Zgolj z natančno napovedjo padavinskega dogodka relativno zanesljivo lahko napovemo tudi potek poplavnega dogodka (Kobold, 2005). Opisana problematika nakazuje, da gre za pomembno tematiko, in ker je bilo v pretek-

losti ugotovljeno, da ima izbira projektnega padavinskega dogodka oziroma projektnega sintetičnega histograma padavin, npr. ((Ball, 1994), (Šraj, 2010)), velik vpliv na hidrogram površinskega odtoka, bo ta vsebina v članku nekoliko podrobneje analizirana in ovrednotena. V prispevku so na praktičnem

primeru porečja Glinščice prikazani predvsem vpliv trajanja padavinskega dogodka in razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka na hidrogram odtoka oziroma na projektne visokovodne konice ter celotne projektne hidrograme, kar je pomemben korak pri načrtovanju različnih hidrotehničnih objektov.

2 • METODE IN PODATKI

Za preučevanje vpliva trajanja padavinskega dogodka in razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka je bil uporabljen hidrološki model porečja Glinščice, ki je bil postavljen, umerjen, preverjen in uporabljen že v prejšnjih študijah ((Dirnbek, 2010), (Šraj, 2010)). Porečje Glinščice je eno izmed eksperimentalnih porečij v Sloveniji ((Šraj, 2008), (Bezak, 2013)). Gre za porečje s prispevnim območjem v velikosti 16,85 km², ki je umeščeno zahodno od Ljubljane. Reka Glinščica je del porečja Gradaščice, ki se v Ljubljani izliva v Ljubljanico. Nadmorska višina območja sega od 590 m.n.m.g. do 209 m.n.m.g. (Šraj, 2010). Gozdovi pokrivajo približno 50 % celotne površine porečja Glinščice, kmetijska zemljišča približno 25 % in urbana območja približno 20 % celotnega porečja, preostalih 5 % pa predstavljajo manj zastopani tipi uporabe tal (Šraj, 2010). Zemljinjo glede na lastnosti lahko uvrstimo v tip C oziroma D glede na klasifikacijo Soil Conservation Service (SCS) (SCS, 1986) z relativno nizko stopnjo infiltracije (Šraj, 2010). Porečje Glinščice v velikosti 16,85 km² je bilo za namen hidrološkega modeliranja razdeljeno na tri manjša podporečja (Šraj, 2010). Slika 1 prikazuje porečje Glinščice in umestitev postaje Ljubljana Bežigrad, ki je bila uporabljena za določitev projektnih padavinskih dogodkov. Hidrološko modeliranje je bilo izvedeno s prosto dostopnim programom HEC-HMS 4.2.1 (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>). Površinski odtok je bil modeliran z uporabo teorije hidrograma enote (metodologija, uporabljena za transformacijo padavin v površinski odtok), kjer je bil hidrogram enote določen na podlagi meritev, ki so bile opravljene v porečju Glinščice med letoma 2003 in 2004 (Šraj, 2010). Če ne razpolagamo z meritvami pretokov, lahko določimo sintetični hidrogram enote na podlagi podatkov o lastnostih porečja, kot sta povprečni naklon in dolžina vodotoka, izvednotimo pa jih lahko z uporabo lidarskih podatkov, ki so na voljo za celotno

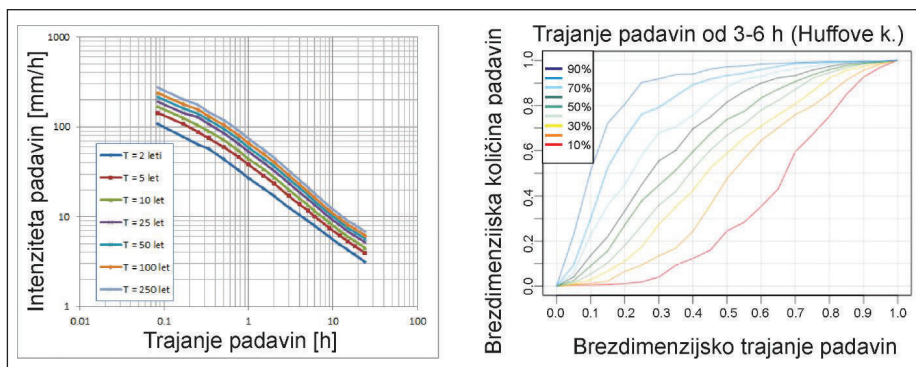


Slika 1 • Porečje Glinščice je razdeljeno na tri podporečja; povzeto po (Dirnbek, 2010).

območje Slovenije (<http://evode.arso.gov.si/indexd022.html?q=node/12>). Za izračun padavinskih izgub smo uporabili metodo SCS, ki je ena najbolj pogosto uporabljenih metod v inženirski praksi in je v prejšnjih študijah, ki so bile narejene na porečju Glinščice, podala najboljše rezultate v primerjavi z nekaterimi drugimi metodami ((Dirnbek, 2010), (Šraj, 2010)). Na podlagi podatkov o vrsti zemljin in prisotnih tipih uporabe tal je bil ocenjen tudi parameter Curve Number (CN) za vsa tri podporečja ((Dirnbek, 2010), (Šraj, 2010)), ki ga potrebujemo za izračun padavinskih izgub z metodo SCS (SCS, 1986). Dodatne informacije o modeliranju površinskega odtoka in uporabljenih metodah podajata Brilly in Šraj (Brilly, 2006). Za propagacijo hidrograma (med sotočjem podporečij 1 in 2 ter iztokom s porečja) smo v hidrološkem modelu uporabili Muskingumovo metodo, pri čemer sta bila parametra K in X enaka 0,5 in 0,2. Več informacij o Muskingumovi metodi podajata Brilly in Šraj (Brilly, 2006). Za določitev projektnih padavinskih dogodkov, s katerimi nato z uporabo umerjenega in

potrjenega) hidrološkega modela izračunamo projektne pretoke, potrebujemo krivulje intenziteta-trajanje-povratna doba (ITP; *angl.* intensity-duration-frequency curves), ki jih lahko izvednotimo na podlagi preteklih merjenih podatkov o padavinah, npr. (Goranc, 2012). Te krivulje so že izračunane za več postaj na območju Slovenije in so prosto dostopne na spletnih straneh Agencije RS za okolje (ARSO, 2014). V tej študiji so bili uporabljeni podatki z meteorološke postaje Ljubljana Bežigrad, kjer so bile ITP-krivulje določene na podlagi padavinskih podatkov, merjenih med letoma 1948 in 2012 (ARSO, 2014). Poleg ITP-krivulj za določitev projektnih padavinskih dogodkov potrebujemo podatke o razporeditvi padavin znotraj padavinskega dogodka. To lahko opišemo s Huffovimi krivuljami, npr. (Huff, 1967), ki so za več kot 20 meteoroloških postaj v Sloveniji na voljo v delu, ki ga je pripravil Dolšak (Dolšak, 2015a). Huffove krivulje so bile pripravljene za različna trajanja padavinskih dogodkov, in sicer 3–6 ur, 6–12 ur, 12–24 ur ter več kot 24 ur (Dolšak, 2015a). Na sliki 2 so prikazani ITP-krivulje za

postajo Ljubljana Bežigrad (levo) in primer Huffovih krivulj za trajanje padavinskih dogodkov od 3 do 6 ur na tej isti postaji (desno). Dolšak (Dolšak, 2015a) in Dolšak s sodelavci (Dolšak, 2015b) opisuje metodologijo določitve Huffovih krivulj. Tako za posamezno postajo in določeno trajanje padavinskih dogodkov razpolagamo z različnimi centilnimi krivuljami (od 10 do 90 %). 10-centilna krivulja pomeni, da je 10 % padavinskih dogodkov manjših, 90 % pa večjih od te krivulje. 50-% krivulja tako predstavlja mediano.



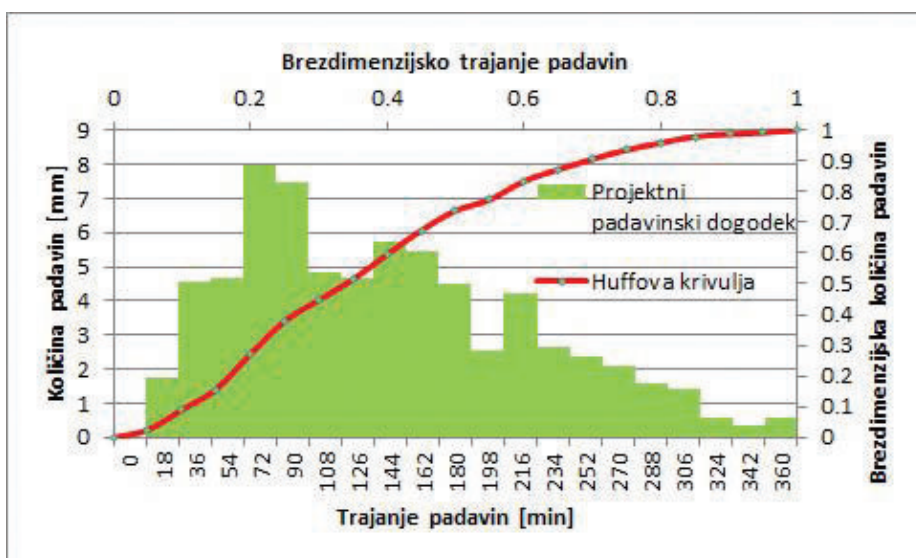
Slika 2 • ITP-krivulje, levo povzeto po (ARSO, 2014), in Huffove krivulje za trajanje padavinskega dogodka od 3 do 6 ur, desno povzeto po (Dolšak, 2015a), za postajo Ljubljana Bežigrad.

3 • REZULTATI IN RAZPRAVA

Z uporabo umerjenega in potrjenega hidrološkega modela porečja Glinščice ((Dirnbek, 2010), (Šraj, 2010)) smo v raziskavi analizirali vpliv trajanja padavinskega dogodka in razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka na hidrogram površinskega odtoka.

3.1 Vpliv trajanja padavinskega dogodka

Za določitev projektne padavinskega dogodka smo uporabili Huffove krivulje in ITP-krivulje. Slika 3 prikazuje primer transformacije Huffove krivulje v projektne padavinske dogodke z upoštevanjem količine padavin in trajanja padavinskega dogodka. Količina padavin različnega trajanja je določena na podlagi ITP-krivulj za postajo Ljubljana Bežigrad (slika 2). Za primer, prikazan na sliki 3, smo izbrali 10-letno povratno dobo in trajanje padavin 6 ur, kar pomeni, da je količina padavin enaka 70 mm (slika 2, levo). Razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka pa smo določili na podlagi 50-centilne krivulje za trajanje padavin od 3 do 6 ur za postajo Ljubljana Bežigrad (slika 2, desno). Podoben postopek transformacije lahko uporabimo tudi za druge Huffove verjetnostne krivulje. V prvem koraku smo analizirali vpliv trajanja padavinskega dogodka na površinski odtok. V ta namen smo izbrali za vsa trajanja enako tipično razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka za meteorološko postajo Ljubljana Bežigrad in uporabili podatke ITP-krivulje z 10-letno povratno dobo (slika 2). Določili smo projektne padavine z različnim trajanjem in količino padavin (2 h: 55 mm, 4 h: 64 mm, 6 h: 70 mm, 9 h: 79 mm, 12 h: 84 mm, 15 h: 90 mm ter 24 h: 108 mm). Slika 4 prikazuje primer razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka za trajanja 2 uri, 4 ure



Slika 3 • Primer transformacije Huffove krivulje v projektne padavinske dogodke z upoštevanjem količine padavin (70 mm) in trajanja padavinskega dogodka (6 ur).

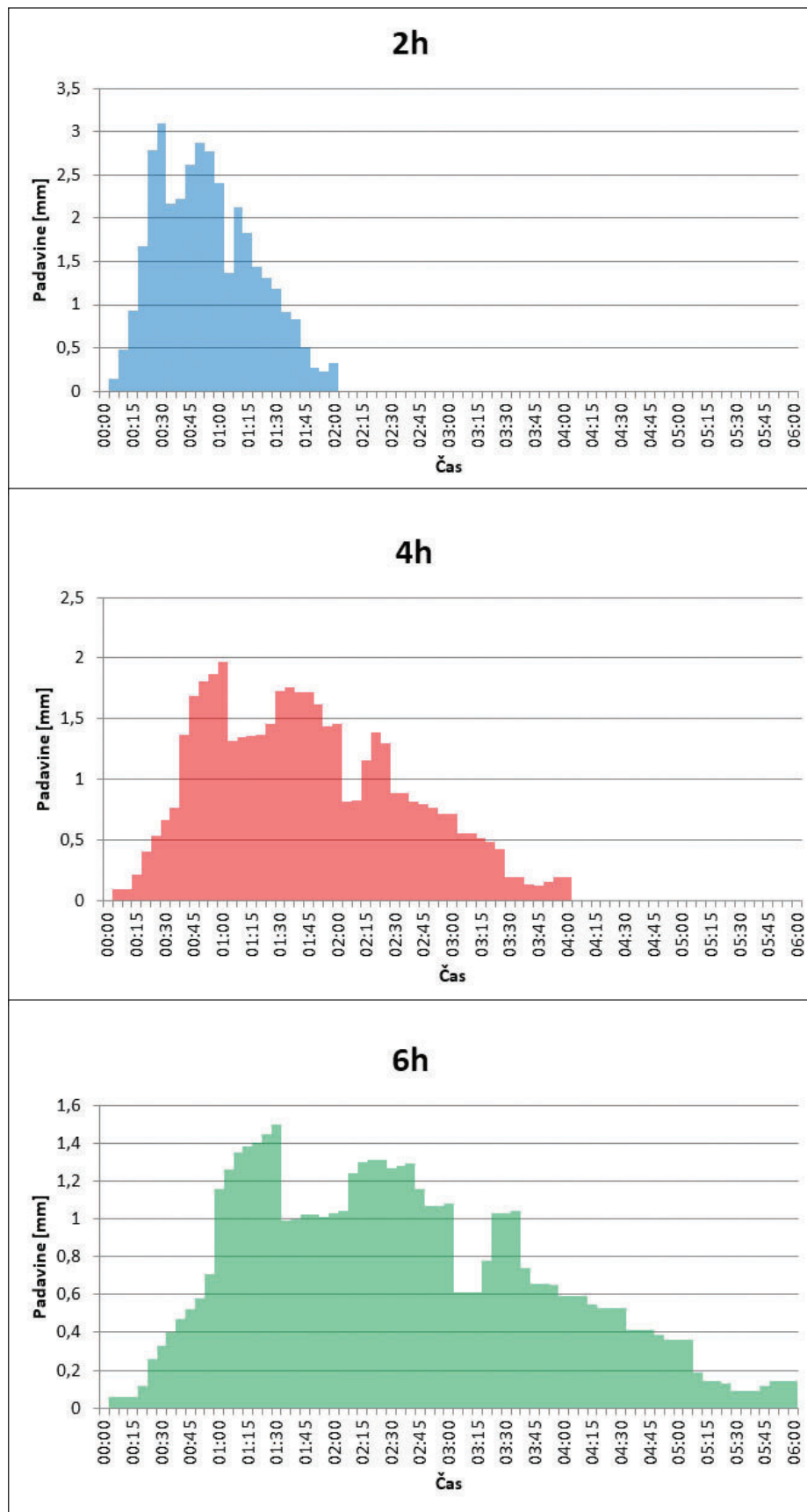
in 6 ur. Identično razporeditev in daljše trajanje smo uporabili tudi pri trajanjih padavinskega dogodka 9, 12, 15 in 24 ur, vendar jih na sliki 4 ne prikazujemo. Z uporabo omenjenih projektne padavinske dogodke smo nato z umerjenim in potrjenim hidrološkim modelom izračunali površinski odtok na iztoku z obravnavanega porečja. Slika 5 prikazuje modelirane vrednosti pretokov za iztočni profil z uporabo projektne padavinske dogodke z različnim trajanjem (od 2 do 24 ur). Vidimo lahko, da so razlike med posameznimi primeri relativno velike, tako je bila najmanjša konica pretoka izračunana pri padavinskem dogodku s trajanjem 24 ur (17,7 m³/s), največja konica pa je bila značilna za dogodek s trajanjem 6 ur (21,6 m³/s). To pomeni, da je razlika v

konici pretoka za ta primer skoraj 20%, pri večjih vrednostih povratnih dob (npr. 100-letna povratna doba) pa so razlike še večje. Poleg tega lahko opazimo različne oblike hidrogramov in tudi razlike v značilnostih hidrogramov, kot so trajanje naraščajočega dela hidrograma, čas nastopa konice pretoka in trajanje padajočega dela hidrograma. Nadalje s slike 5 lahko razberemo, da je čas koncentracije obravnavanega porečja približno 6 ur, saj pri takšnem trajanju padavinskega dogodka lahko dobimo največjo vrednost konice pretoka. Čas koncentracije je eden izmed najpogosteje uporabljenih konceptov v hidrologiji in predstavlja čas, ki ga potrebujejo učinkovite padavine, da z najbolj oddaljene točke prispevnega območja prispejo do iztočnega profila

porečja, oz. čas od konca učinkovitih padavin do konca površinskega dela odtoka, npr. (Brilly, 2006). To posledično pomeni, da bodo padavinski dogodki s trajanjem, krajšim od časa koncentracije porečja, povzročili manjše konice pretokov, dogodki z daljšim trajanjem pa bodo povzročili hidrogram z relativno dolgim trajanjem (Thompson, 2003). Tako je oblika hidrograma, ki smo jo dobili z uporabo 24-urnih padavin, neznatna za območja velikostnega razreda do 20 km². Zaradi tega se v praksi pogosto uporablja trajanje padavinskega dogodka, ki je enako času koncentracije porečja, ki je v našem primeru 6 ur, kar se da razbrati tudi iz rezultatov, prikazanih na sliki 6. Čas koncentracije lahko ocenimo na podlagi časa zakasnitve, ki predstavlja razdaljo med težiščem histograma učinkovitih padavin in konico pretoka. V našem primeru (slika 6) je čas zakasnitve enak približno 4 ure. Čas zakasnitve pa je približno 60 % časa koncentracije, npr. ((U.S. Army Corps of Engineers, 2000), (Brilly, 2006)), kar pomeni, da je čas koncentracije porečja Glinščice po tej metodi enak približno 6 ur. Na sliki 6 so prikazane tudi padavinske izgube, ki so bile določene z uporabo SCS-metode, ki se je na primeru porečja Glinščice izkazala za najustreznejšo (Šraj, 2010). Izbira metode za izračun padavinskih izgub je eden izmed parametrov, ki imajo lahko velik vpliv na projektne hidrograme.

3.2 Vpliv razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka

V naslednjem koraku smo analizirali vpliv razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka na vrednosti površinskega odtoka. Pri tem smo se osredotočili na 6-urno trajanje padavin, kolikor znaša čas koncentracije obravnavanega porečja Glinščice, in povratno dobo 10 let. Najprej smo z uporabo različnih centilnih Huffovih krivulj določili projektne padavinske dogodke s pripadajočo razporeditvijo padavin znotraj padavinskega dogodka. Slika 7 prikazuje rezultate hidrološkega modeliranja v iztočnem profilu porečja Glinščice za izbrane Huffove krivulje različnih verjetnosti. Tako največjo razliko v konici pretoka lahko opazimo med 50-centilno in 90-centilno Huffovo krivuljo (2,5 m³/s oziroma več kot 10 %). Poleg razlik v konici pretoka lahko opazimo tudi razlike v času nastopa konice pretoka, ki pri 50-centilni krivulji nastopi več kot 2 uri pred konico pretoka, ki je značilna za 10-centilno krivuljo. Nadalje je konica pretoka pri 90-centilni krivulji nastopila manj kot 5 ur po začetku padavinskega dogodka. V splošnem lahko torej opazimo relativno velik vpliv razporeditve



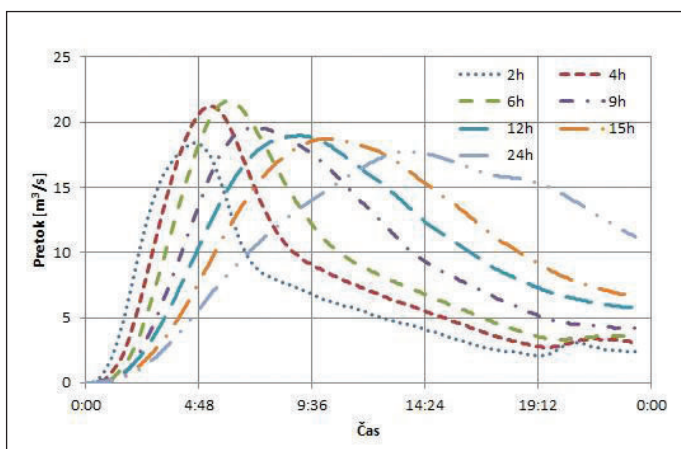
Slika 4 • Primer projektne padavinskega dogodka z različnim trajanjem (2, 4 in 6 ur) in z identično razporeditvijo padavin znotraj padavinskega dogodka s povratno dobo 10 let.

padavin znotraj padavinskega dogodka na obliko hidrograma, čas nastopa konice pretoka in tudi velikost konice pretoka.

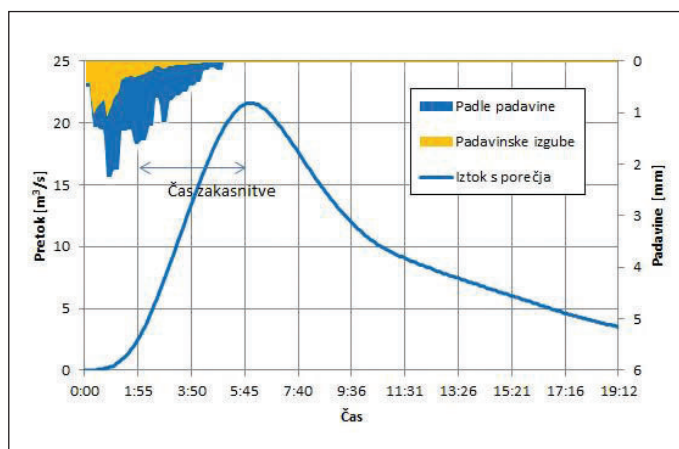
Slika 8 prikazuje primerjavo med površinskim odtokom, ki je bil določen z upoštevanjem 50-centilne Huffove krivulje in nekaterimi drugimi metodami, ki jih lahko uporabimo za določitev razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka. Za primerjavo smo izbrali enakomerno razporeditev padavin med dogodkom in tri primere, kjer je največja intenziteta padavin postavljena na 25 %, 50 % in 75 % trajanja dogodka, padavine pa so razporejene po verjetnostni metodi izbrane povratne dobe (*angl.* Frequency Storm Method), ki temelji na podatkih ITP-krivulj, kjer je razporeditev padavin v vsakem časovnem

intervalu (npr. 5 min., 10 min., 15 min.) enaka vrednosti, določeni na podlagi ITP-krivulje (USACE, 2000). To posledično pomeni, da gre za relativno ekstremno razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka. To se odraža tudi v modeliranih vrednostih površinskega odtoka (slika 8), kjer smo z uporabo verjetnostne metode ne glede na lokacijo maksimalne intenzitete dobili večje vrednosti maksimalnih pretokov kot pri 50-centilni Huffovi krivulji. Nadalje lahko opazimo tudi razlike glede na položaj maksimalne intenzitete padavin, kjer je največja konica pretoka izračunana za primer, ko je največja intenziteta padavin postavljena na 75 % trajanja padavinskega dogodka. Razlog za to je večja predhodna namočenost, ki posledično pomeni bolj neugodne razmere z

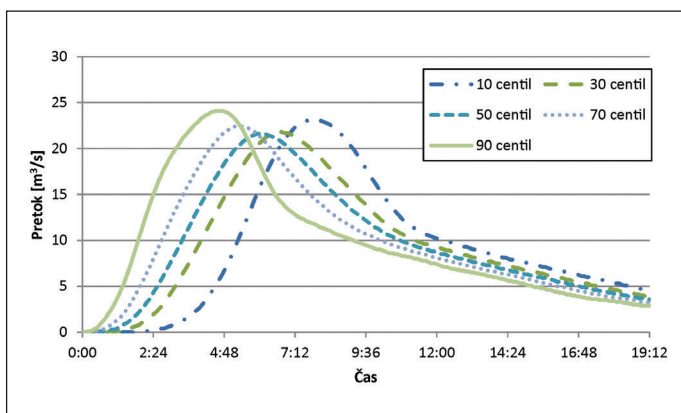
vidika površinskega odtoka (manjša infiltracija in večji površinski odtok). Po drugi strani pa smo najmanjšo konico pretoka dobili z enakomerno razporeditvijo padavin znotraj padavinskega dogodka, in sicer je bila ta za približno 7 % manjša kot pri razporeditvi padavin po 50-centilni Huffovi krivulji. Nekatere raziskave so pokazale, da so razlike med posameznimi metodami razporeditve padavin lahko tudi velikostnega razreda do 50 %, npr. ((Ball, 1994), (Singh, 1997), (Šraj, 2010)). Relativno velike razlike, na primer oblika in čas nastopa konice pretoka, pa so značilne tudi za druge lastnosti hidrograma, kjer so razlike med posameznimi prikazanimi metodami v našem primeru tudi več kot 4 ure.



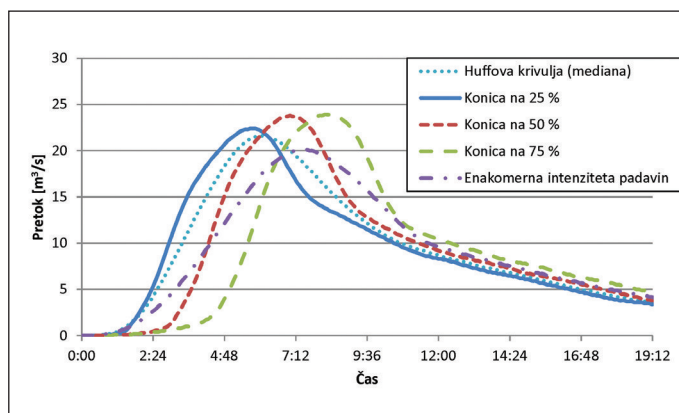
Slika 5 • Vpliv trajanja padavinskega dogodka na hidrogram površinskega odtoka v iztočnem profilu obravnavanega porečja Glinščice.



Slika 6 • Primer projektne padavinskega dogodka s trajanjem 6 ur (10-letna povratna doba in količina padavin 70 mm), s padavinskimi izgubami, izračunanimi z uporabo metode SCS, ter hidrogramom površinskega odtoka na iztočnem profilu porečja Glinščice.



Slika 7 • Vpliv razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka, opisan s različnimi Huffovimi krivuljami, na hidrogram v iztočnem profilu porečja Glinščice.



Slika 8 • Primerjava različnih razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka na modelirane vrednosti površinskega odtoka (50-centilna Huffova krivulja, enakomerna razporeditev padavin in verjetnostna metoda razporeditve padavin, kjer konica padavin nastopi na 25 %, 50 % in 75 % trajanja padavinskega dogodka).

4 • ZAKLJUČKI

V prispevku so prikazani vpliv trajanja padavinskega dogodka in razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka na hidrogram površinskega odtoka. Predstavljene so metode, ki jih lahko uporabimo za določanje projektnih hidrogramov in konic projektnih pretokov v primerih, ko ne razpolagamo z merjenimi podatki o pretokih ali je teh premalo za statistično obravnavo. V slednjem primeru moramo razpoložljive merjene podatke o pretokih uporabiti za umerjanje in validacijo hidrološkega modela. Večinoma je pomanjkanje merjenih podatkov o pretokih značilnost manjših prispevnih območij v velikostnem razredu do 30 km². Prispevek prikazuje primer določitve hidrograma projektnega pretoka za izbrano 10-letno povratno dobo, vendar identičen postopek lahko uporabimo tudi pri daljših povratnih dobah. Na podlagi analize primera lahko predlagamo usmeritve za določitev projektnih padavinskih dogodkov za manjša, nemerjena porečja (do 30 km²): Na podlagi lokacije območja izberemo reprezentativno padavinsko postajo (glede

na oddaljenost ali glede na tip podnebja), za katero so na voljo tako ITP-krivulje kot tudi Huffove krivulje.

Na podlagi časa koncentracije območja izberemo trajanje padavinskega dogodka in na podlagi zahtev hidravličnega modeliranja oziroma načrtovanja hidrotehničnega objekta ali vodarskega sistema določimo še povratno dobo padavinskega dogodka. S pomočjo obeh podatkov z uporabo ITP-krivulj določimo količino padavin, ki je značilna za izbrani projektni padavinski dogodek.

Z uporabo 50-centilne Huffove krivulje (glede na ustrezno trajanje padavinskega dogodka) določimo tipično razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka. Za upoštevanje intervalov zaupanja lahko uporabimo npr. 20- in 80-centilno Huffovo krivuljo.

Z upoštevanjem projektnih padavinskih dogodkov (mediana in interval zaupanja) določimo vrednosti površinskega odtoka (konica pretoka, oblika hidrograma) za obravnavano območje. Vselej pa je v hidrološke analize poplavnih dogodkov in v hidrološke študije kot strokovno

podlago za dimenzioniranje hidrotehničnih objektov in vodarskih ureditev smiselno vključiti merjene podatke o pretokih, če ti obstajajo. Rezultati opravljene analize primera kažejo, da je v praksi smiselno upoštevati dejansko razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka, ki je opisana s Huffovimi krivuljami, saj so lahko razlike med posameznimi primeri (drugačne definicije projektnih padavinskih dogodkov) velike. Nadalje strokovno odsvetujemo, da bi v hidroloških študijah in analizah poplavnih dogodkov še naprej uporabljali zakoreninjeno predpostavko o enakomerni razporeditvi padavin znotraj posameznega izbranega projektnega padavinskega dogodka in izbirali trajanja projektnih padavinskih dogodkov, ki izrazito presegaajo čas koncentracije analiziranega območja – o tem problemu smo pisali v Gradbenem vestniku že pred leti (Dirnbek, 2010). Tudi druge podobne študije kažejo, da je natančnost podajanja padavinskega dogodka v hidrološke modele ključnega pomena za verodostojne rezultate modeliranja in s tem določitve bistvenih projektnih pretokov ((El-Jabi, 1991), (Ball, 1994), (Faurès, 1995), (Singh, 1997), (Danil, 2005), (Kobold, 2005), (Dolšak, 2015b)).

programa Vodarstvo in geotehnika: orodja in metode za analize in simulacije procesov ter razvoj tehnologij, P2-0180. Zahvaljujemo se Agenciji RS za okolje za posredovane podatke.

5 • ZAHVALA

Raziskava je nastala pri raziskovalnem projektu J2-7322 z naslovom Modeliranje hidrološkega odziva nehomogenih povodij. Fi-

nancira ga Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS), raziskava je bila delno sofinancirana iz raziskovalnega

6 • LITERATURA

- ARSO, Krivulje intenziteta-trajanje-povratna doba z uporabo Gumbelove porazdelitve, http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2014.doc, 2014.
- Ball, J. E., The influence of storm temporal patterns on catchment response, *J. Hydrol.*, 158, 285–303, 1994.
- Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M., Comparison between the peaks over threshold method and the annual maximum method for flood frequency analyses, *Hydrological sciences journal* 59(5), 959–977, <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.831174>, 2014.
- Bezak, N., Šraj, M., Rusjan, S., Kogoj, M., Vidmar, A., Sečnik, M., Brilly, M., Mikoš, M., Primerjava dveh sosednjih eksperimentalnih hudourniških porečij: Kuzlovec in Mačkov graben, *Acta hydrotechnica* 26(45), 85–97, <ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a45nb.pdf>, 2013.
- Blöschl, G., Sivapalan, M., Wagener, T., Viglione, A., Savenije, H. (Editors), *Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales*, United Kingdom, Cambridge University Press, 2013.
- Brilly, M., Šraj, M., Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS, UL FGG, Ljubljana, 2006.
- Danil, E. I., Michas, S. N., Lazaridis, L. S., Hydrologic modeling for the determination of design discharges in ungauged basins, *Global NEST Journal* 7(3), 296–305, 2005.
- Dirnbek, L., Šraj, M., Hidrološko modeliranje: Vpliv histograma padavin na hidrogram površinskega odtoka, *Gradbeni vestnik* 59(3), 48–56, <http://www.zveza-dgits.si/213/pdf/3-2010-85sg.pdf>, 2010.
- Dolšak, D., Algoritem za analizo časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka, magistrska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, <http://drugg.fgg.uni-lj.si/5161/>, 2015a.

- Dolšak, D., Bezak, N., Šraj, M., Pomembnost poznavanja časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka v vodarski praksi, *Gradbeni vestnik* 64(10), 231–28, 2015b.
- Dolšak, D., Bezak, N., Šraj, M., Temporal characteristics of rainfall events under three climate types in Slovenia, *Journal of Hydrology* 541(B), 1395–1405, 2016.
- El-Jabi, N., Sarraf, S., Effect of maximum rainfall position on rainfall-runoff relationship, *ASCE Publ.*, 117(5), 681–685, 1991.
- Faurès, J.-M., Goodrich, D. C., Woolhiser, D. A., Sorooshian, S., Impact of small-scale spatial rainfall variability on runoff modeling, *Journal of Hydrology* 173, 309–326, 1995.
- Goranc, N., Izdelava in primerjava ITP-krivulj z različno izbiro porazdelitev, diplomska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, http://drugg.fgg.uni-lj.si/3803/1/VKI_0186_Goranc.pdf, 2012.
- Huff, F., Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms, *Water Resources Research* 3, 1007–1019, 1967.
- Huff, F., Rainfall evaluation studies, Final report, part 1 – summary, Urbana, Illinois, University of Illinois, Illinois State Water Survey, 1970.
- Huff, F., Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois, Illinois State Water Survey, Champaign, Circular 173, 1990.
- Klaneček, M., Poplave 5. novembra 2012 v porečju, *Ujma* 27, 52–61, <http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2013/052.pdf>, 2013.
- Kobold, M., Katastrofalne poplave in visoke vode 18. septembra 2007, *Ujma* 22, 65–75, <http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2008/065.pdf>, Ljubljana, 2008.
- Kobold, M., Sušelj, K., Padavinske napovedi in njihova nezanesljivost v hidrološkem prognoziranju, Zbornik Raziskave s področja geodezije in geofizike 2004, 61–75. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2005/SZGG_05_Kobold_Suseelj.pdf, 2005.
- Martinkova, M., A review of applied methods in Europe for flood-frequency analysis in a changing environment, Floodfreq COST action ES0901: European procedures for flood frequency estimation, Centre for Ecology & Hydrology on behalf of COST, Wallingford, U. K. <http://opus.bath.ac.uk/36915/>, 2013.
- SCS, Soil Conservation Service, Urban hydrology for small watersheds, Technical reference manual 55, USDA, Springfield, VA, ftp://ftp.odot.state.or.us/techserv/Geo-Environmental/Hydraulics/Hydraulics%20Manual/Chapter_07/Chapter_07_appendix_G/Urban_Hydrology_for_Small_Watersheds.pdf, 1986.
- Singh, V. P., Effect of spatial and temporal variability in rainfall and watershed characteristics on stream flow hydrograph, *Hydrological Processes* 11, 1649–1669, 1997.
- Šraj, M., Rusjan, S., Petan, S., Vidmar, A., Mikoš, M., Globevnik, L., Brilly, M., The experimental watersheds in Slovenia, *IOP Conference Series* 4, 1–13, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/4/1/012051/pdf>, 2008.
- Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., Vpliv izbire metode na rezultate verjetnostnih analiz konic, volumnov in trajanj visokovodnih valov Save v Litiji, *Acta hydrotechnica* 25(42), 41–59. <ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a42ms.pdf>, 2012.
- Šraj, M., Dirnbek, L., Brilly, M., The influence of effective rainfall on modeled runoff hydrograph, *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 58(1), 3–14, http://drugg.fgg.uni-lj.si/4501/1/Sraj_JHH_2010_The_Influence_k.pdf, 2010.
- Thompson, B. D., Xing, F., Gharty-Chhetri, O. B., Synthesis of TxDOT storm drain design, Center for Multidisciplinary Research in Transportation, Department of Civil Engineering, Texas Tech University, 2003.
- USACE, U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual, [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_\(CPD-74B\).pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf), 2000.
- Zabret, K., Brilly, M., Hidrološka regionalizacija verjetnostnih analiz visokovodnih konic v Sloveniji, *Acta hydrotechnica* 27(47), 139–156, <ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a47kz.pdf>, Ljubljana, 2014.

PROIZVODI IZ POLISTIRENA IN MOŽNI VPLIVI NA ŽIVLJENJSKO OKOLJE

POLYSTYRENE PRODUCTS AND POSSIBLE IMPACTS ON LIVING ENVIRONMENT

Blaž Hribar, dipl. inž. grad.

Sveča Planina 8, Trbovlje

Mirjam Britovšek, univ. dipl. inž. kem. inž.

Mestna občina Velenje, Titov trg 1, 3320 Velenje

doc. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.

mdovjak@fgg.uni-lj.si

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 502/504:678.746.2

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana,

Povzetek | Polistiren je ena najbolj vsestransko uporabljenih plastik. Uporablja se v gradbeni, živilski avtomobilski, računalniški industriji in v drugih vejah. Zaradi tako pestre uporabe je odpadni polistiren velik onesnaževalec okolja in lahko vpliva na zdravje ljudi tako v grajenem kot širšem življenjskem okolju. Namen raziskave je s sistematičnim pregledom literature preučiti problematiko polistirena v naravnem in grajenem okolju ter raziskati možen negativen vpliv izpostavljenosti polistirenu oziroma osnovnemu gradniku stirenu. Zahtevane in/ali priporočene mejne vrednosti smo primerjali z izmerjenimi koncentracijami iz pregledanih raziskav. Na osnovi ugotovitev smo predlagali ukrepe, s katerimi lahko zmanjšamo možen vpliv polistirena v življenjskem okolju. Sistematičen pregled literature je pokazal, da je lahko polistiren problematičen tako v naravnem kot v grajenem okolju. Po navedbah International Agency for Research on Cancer spada stiren, ki je osnovni gradnik polistirena, v skupino 2B, kar pomeni, da je potencialno rakotvoren za človeka. Raziskave v delovnem okolju so pokazale, da se pri zaposlenih v tovarnah s proizvodnjo polistirena pogosto pojavijo povišane koncentracije stirena, ki lahko povzročijo negativen vpliv na zdravje delavcev. Polistiren je problematičen v celotnem življenjskem ciklu, tudi v ekstremnih razmerah, kot je požar. Je lahko vnetljiv material, ki pri gorenju pri nizkih temperaturah sprošča ogljikove saje in številne nevarne hlapne spojine, katerih tvorba je odvisna od temperature gorenja. Kot najpogosteje uporabljeni zaviralec gorenja v izolacijskem polistirenu se je v preteklosti uporabljal HBCD (heksabromociklododekan), ki je zelo strupena, obstojna in bioakumulativna kemikalija. Z njegovo prepovedjo v letu 2015 uporabljajo proizvajalci druge zaviralce gorenja, ki so lahko prav tako problematični za zdravje in okolje. Številne raziskave so se ukvarjale z vplivom stirena, ki migrira iz embalaže za živila v hrano in s tem na ljudi. Izsledki študij niso enotni o možnem vplivu na zdravje, predlagajo pa preprečevanje izpostavljenosti izdelkom iz stirena, ki so v stiku s hrano. Pregled raziskav je pokazal, da odpadni polistiren pomeni velik problem za okolje, saj se odpadna plastika kopiči v naravnem okolju, predvsem na obalah. Ti odpadki so nevarni za človeka in živali, ker predstavljajo leglo patogenih mikroorganizmov. Za ustrezno reševanje problemov, ki jih prinaša vsestranska uporaba polistirena, je treba poznati celoten življenjski cikel proizvoda in ustrezno ukrepati na vseh nivojih. V fazi proizvodnje je treba izvajati ukrepe za zaščito, varnost in zdravje zaposlenih ter zamenjati škodljive snovi z manj nevarnimi. Za izdelke, ki so v stiku s hrano, je treba

najti primerne alternative. Potrebna sta skrb za odpadke in povečana stopnja recikliranja. Vse skupaj pa bi moralo biti postavljeno v dobro pripravljen zakonodajni okvir.

Ključne besede: polistiren, stiren, proizvodi, zdravje, okolje, mejne vrednosti

Summary | Polystyrene is one of the most widely utilized plastics. It is used in construction, food industry, car industry, IT and other fields. Polystyrene is a big pollutant due to its wide use. It can represent a health hazard for people both in built and natural environment. The purpose of this research is to study the problems caused by polystyrene in built and natural environment and to determine the possible negative effects of exposure to polystyrene and its building block styrene. This is done by thoroughly reviewing existing literature on the matter. We compared the maximum allowed concentrations and recommended exposure limits with the concentrations, measured in the reviewed studies. We propose a set of measures to reduce the possible effect of polystyrene in living areas. The literature shows that polystyrene can indeed be the source of problems in built and natural environment. According to the International Agency for Research on Cancer, styrene, the building block of polystyrene, falls into the 2B group, which is classified as possibly carcinogenic to humans. Research carried out in work environment shows that workers in polystyrene production plants experience elevated styrene concentrations, which can have negative health effects. Polystyrene is problematic throughout its life cycle, including in the extreme circumstances such as fire. The material is highly flammable. The side products of its incineration at low temperatures are carbon soot and a complex mixture of volatile compounds, many of them hazardous to health. In the past, the most commonly used flame retardant in polystyrene was HBCD (hexabromocyclododecane), which is a substance with persistent bioaccumulative and toxic characteristics. Since the ban on its use in 2015, other flame retardants are utilized, many of which are also a hazard to health and environment. A lot of research has been done on polystyrene migrating from food containers to food and consequently to people. The results show that the concentrations present are small and do not present a health risk for humans. The overview of the research shows that the polystyrene waste represents a huge environmental problem because the plastics accumulate in the natural environment, especially on the shores. Plastic debris are reservoirs of pathogens, harmful to humans. To successfully solve the problems with polystyrene and its wide use cause, it is essential to take into account the whole polystyrene lifecycle and take action during all of the stages. During the production phase, the suitable protective measures must be taken to protect the health of the workers. The toxic substances should be replaced by less hazardous ones. The polystyrene food containers should be substituted by suitable alternatives. It is crucial to improve the ways the waste is handled and to increase the level of recycling. A better legislation on the matter would also be of great importance.

Key words: polystyrene, styrene, products, health, environment, exposure limits

1 • UVOD

1.1 Splošna predstavitev polistirena

Polistiren je aromatski polimer stirena, ki je derivat benzena. Pri sobni temperaturi je trdna brezbarvna plastika, če pa ga dovolj segrejemo, se njegovo agregatno stanje spremeni v tekoče, in ga lahko poljubno oblikujemo (ACC, 2012).

Polistiren je odkril nemški lekarnar Eduard Simon leta 1839. Njegova proizvodnja se je začela leta 1931 v Nemčiji v podjetju IG Farben. Že kmalu zatem je proizvodnja dosegla razcvet, ko so odkrili postopek za nastanek ekstrudiranega polistirena (Inventors.about, 2011). Danes se v svetovnem merilu proizvede več milijonov ton na leto. Leta 2004 se je na primer proizvedlo okoli 11,5 tone (Maul, 2007). Proizvodnja polistirena se iz leta v leto povečuje in tak trend (okoli 2-% rast na leto) se pričakuje tudi v prihodnosti (CEH, 2014). Glavni proizvajalec in porabnik polistirena je Kitajska, ki je leta 2014 proizvedla 50 % in porabila 46 % vsega polistirena na svetu (CEH, 2014).

Polistiren je ena najbolj vsestransko uporabljenih plastik in predstavlja več kot dve tretjini vse prodane plastike (Rosato, 2005). Uporablja se za različne embalaže, za ovitke CD-jev, plastični jedilni pribor, platenke, plastične modelčke in podobno. V gradbeni industriji sta najpogosteje uporabljeni obliki polistirena ekspandirani polistiren (EPS) in ekstrudirani polistiren (XPS), ki se uporabljata predvsem

za toplotno izolacijo stavb (ACC, 2012). Polistirenske plošče se pogosto uporabljajo tudi za zvočno izolacijo, predvsem za plavajoče pode. Takšne plošče je treba s posebnim postopkom v proizvodnem procesu elastificirati (elastificirani polistiren), da postanejo prožnejše in zato bolje absorbirajo udarni zvok (DID, 2007).

Polistiren se lahko oblikuje z brizganjem, vakuumskim oblikovanjem ali ekstrudiranjem. Proizvajajo se tudi kopolimeri, ki poleg stirena vsebujejo še enega ali več drugih monomerov. V zadnjih letih se proizvajajo tudi ekspandirani kompozitni polistireni s celulozo in škrobom. Uporablja se tudi pri nekaterih polimerno vezanih eksplozivih (PBX) ((Doroudiani, 2004), (Doroudiani, 2002), (Mihai, 2007)).

Pri proizvodnji polistirenske pene se uporabljajo plini za razpihovanje kroglic, kar je lahko nevarno za nastanek požara (Mazi, 1998). Zavrnjen polistiren se v naravi ne razgradi več sto let in je odporen proti fotolizi (Bandyopadhyay, 2007). Posledica široke uporabe je tudi velika količina odpadkov, ki lahko predstavljajo velik problem za naravo, živali in ljudi (Hofer, 2008). Večine izdelkov iz polistirena se trenutno ne reciklira, saj za to ni interesa. Ker ima polistirenska pena majhno gostoto, njeno zbiranje ni ekonomično (PPC, 2009). Polistiren se široko uporablja kot embalaža za hrano in pijačo. Stiren, ki je osnovni gradnik polistirena, pa je snov, ki lahko povzroči raka

(NTP, 2011). Oligomeri stirena v posodah iz polistirena lahko migrirajo v hrano (Sakamoto, 2000). Tako kot vse druge organske spojine je tudi polistiren gorljiv, ima oznako B3, kar pomeni, da je lahko vnetljiv. V gradbeništvu se zato ne sme uporabljati, če ni primerno zaščiten (DIN 4102, 1998).

Uporaba polistirena je v gradbeništvu zelo vsestranska, zato bomo ob pregledu relevantne literature preverili, ali je ta snov (oziroma gradbeni proizvodi iz polistirena) v svojem celotnem življenjskem ciklu kakorkoli nevarna za človeka, druga živa bitja in okolje. Namen raziskave je s sistematičnim pregledom literature preučiti problematiko polistirena v naravnem in grajenem okolju ter preveriti možen negativen vpliv izpostavljenosti polistirenu oziroma osnovnemu gradniku stirenu. Raziskali bomo njegovo kemijsko sestavo in fizikalne lastnosti. Analizirali bomo zakonske omejitve in priporočene mejne vrednosti izpostavljenosti stirenu. Vzporedno bomo poiskali in preučili obstoječe raziskave, ki so bile narejene na tem področju. Rezultate različnih raziskav bomo med seboj primerjali in jih ovrednotili. Na osnovi ugotovitev bomo predlagali nekaj ukrepov, s katerimi se lahko zavarujemo pred negativnimi vplivi polistirena, in nekaj ukrepov, ki bi zmanjšali vpliv polistirena na okolje.

Zahtevane ali priporočene mejne vrednosti koncentracij smo primerjali z izmerjenimi koncentracijami iz raziskav. Na osnovi ugotovitev smo predlagali ukrepe, s katerimi lahko zmanjšamo možen vpliv polistirena na življenjsko okolje.

2 • TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Fizikalne in kemične lastnosti polistirena

Kemijska sestava polistirena je $(C_8H_8)_n$. Vsebuje torej kemijska elementa ogljik in vodik. Nastane s polimerizacijo, ko se med seboj povežejo monomeri stirena. Pri polimerizaciji v vinilni skupini razpade dvojna ogljikova vez, t. i. pi vez, in nastane nova enojna ogljikova vez, t. i. sigma vez, ki veže novi monomer stirena na verigo. Novonastala sigma vez je veliko močnejša kot razpadla pi vez, zato je polistiren zelo težko depolimerizirati (EB, 2015). Lastnosti materiala so določene s kratkimi Van der Waalsovimi vezmi med verigami polimerov. Ker so molekule dolge verige ogljikovodikov, ki vsebujejo na tisoče atomov, je skupna privlačna sila med molekulami velika. Med segrevanjem so verige sposobne

Ime po IUPAC	poli(1-feniletan)
Kemijska formula	$(C_8H_8)_n$
CAS No.:	9003-53-6
Gostota	0,96–1,04 g/cm ³
Temperatura tališča	~ 240 °C (zmehča se že pri temperaturi okoli 95 °C)
Toplotna prevodnost	0,033 W/(mK) (pena z gostoto 0,05 g/cm ³)

Preglednica 1 • Fizikalno-kemične lastnosti polistirena ((PPD, 2015), (Wunsch, 2000), (Haynes, 2016))

prevzeti obliko višje stopnje in zdrsejše ena mimo druge. Ta medmolekularna šibkost daje materialu prožnost in elastičnost ((EB, 2015), (PPD, 2015)).

Polistiren je termoplast, kar pomeni, da ni odporen proti povišanim temperaturam. Pri sobni temperaturi je trdna brezbarvna plastika, ob segretju (nad 95 °C) najprej

postane plastičen, primeren za oblikovanje, nato pa tekoč, primeren za brizganje. Po ohlaiditvi talina otrdi in obdrži dano obliko. Procesi oblikovanja so reverzibilni, kar pomeni, da polistiren lahko recikliramo (ACC, 2012).

Polistiren je zelo lahek glede na svoj volumen, njegova gostota je okoli 1,0 g/cm³. Polistiren je kemično zelo inertna snov. Je odporen proti kislinam in bazam, je pa lahko raztopljiv s številnimi klorovimi in aromatskimi ogljikovodikovimi topili (PPD, 2015).

Če je sežiganje polistirena nepopolno (pri nizkih temperaturah), se izločajo ogljikove saje in številne zdravju škodljive hlapne spojine. Identificiranih je bilo že več kot 90 produktov gorenja polistirena (policiklični aromatski ogljikovodik (PAH), alkil benzen, benzoperilen, benzaldehid, naftalen, azulen in drugi), katerih tvorba je odvisna od temperature gorenja (BASF, 1989). Fizikalne in kemijske lastnosti so navedene v preglednici 1.

2.2 Vrste polistirena za proizvode

2.2.1 Uliti polistiren

Uliti polistiren se uporablja za proizvodnjo pribora za enkratno uporabo, ovitkov za CD-je, dimne detektorje, okvirje registrskih tablic, različnih plastičnih modelov in veliko drugih predmetov, kjer je zaželen poceni toga plastika. Proizvodne metode vključujejo tako vakuumsko oblikovanje kot tudi oblikovanje z brizganjem (Norton, 2008).

2.2.2 Penjeni polistiren

Polistirenske pene ali penjeni polistiren je zelo dober toplotni izolator, zato ga zelo pogosto srečamo kot toplotnoizolacijski gradbeni material. Čeprav imajo pene (EPS in XPS) zaprte celice, niso popolnoma vodoodporne ali paroneprepusne (Neotherm, 2016).

2.2.2.1 Ekspandirani polistiren (EPS)

Ekspandirani polistiren (stiropor) je toga, močna zaprtocelična pena. Po navadi je bel in narejen iz vnaprej ekspandiranih kroglic polistirena, ki se med seboj zlepijo pri visoki temperaturi. Lahko ga tudi vlijemo s posebnim postopkom. Zaradi svojih tehničnih lastnosti, kot so majhna teža, togost in lahka možnost oblikovanja, je EPS zelo vsestransko uporaben. Najpogosteje se uporablja kot toplotna izolacija stavbnega ovoja. Če v stiropor vgradimo grafit, aluminij ali ogljikova vlakna, še izboljšamo njegove izolacijske sposobnosti (Čavić, 2013). Stiropor se uporablja tudi pri cestogradnji kot jedro v nasipih ali pri nenosilnih in nosilnih gradbenih elementih, kot so ICF (ang. *Insulated Concrete Forms*) in SIPS (ang. *Structured Insulated Panel System*) (GPSM, 2012). Stiropor zelo dobro blaži udarce, zato se veliko uporablja za različne embalaže. Uporaba stiropora ni primerna na vlažnih območjih, saj lahko voda, kljub njegovi zaprtocelični sestavi, prodre med zaprte celice in s tem močno zmanjša toplotnoizolativne lastnosti stiropora (Gnip, 2007).

2.2.2.1 Ekstrudirani polistiren (XPS)

Ekstrudirani polistiren je zgrajen iz zaprtih celic, ki omogočajo izboljšano hrapavost površine, večjo togost in manjšo toplotno prevodnost v primerjavi z EPS-om. Ima večjo odpornost proti difuziji vodne pare kot EPS, zato je primernejši za uporabo v bolj namočenih okoljih. Zelo radi ga uporabljajo arhitekti za izdelovanje različnih predstavitvenih modelov (Fragmat, 2016).

2.2.3 Kopolimeri

Kopolimeri poleg stirena vsebujejo tudi enega ali več drugih monomerov. Te dodajamo zato, da izboljšamo določene lastnosti polistirena. Da se dodani monomeri uspešno vežejo na stiren, jih je treba dodati v času polimerizacije. Postopek se imenuje kopolimerizacija. Najpogosteje se dodajajo polibutadien (HIPS), akrilonitril in butadien (ABS) ter divinilbenzen ((Doroudiani, 2004), (Doroudiani, 2002), (Mihai, 2007)).

2.2.4 Usmerjeni polistiren

Usmerjeni polistiren (ang. *Oriented polistiren*, OPS) se izdeluje z raztezanjem ekstrudirane folije polistirena. S tem izboljšamo prosojnost materiala in povečamo togost. OPS se uporablja za različne embalaže, pri čemer proizvajalci želijo, da uporabniki vidijo izdelek skozi embalažo. Prednost OPS je, da je cenejši kot druge podobne plastike (PP, PET, HIPS), glavna pomanjkljivost pa, da je krhek in zato hitro razpoka (Multi-plastics, 2016).

Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, MAK Commission, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Environmental Protection Agency (EPA), World Health Organization (WHO) in Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHA).

S sistematičnim pregledom literature želimo:

1. preučiti zakonske zahteve in mejne vrednosti koncentracij izpostavljenosti,
2. preučiti problematiko polistirena v naravnem in grajenem okolju,
3. primerjati priporočene in zahtevane mejne vrednosti koncentracij z izmerjenimi koncentracijami iz raziskav,
4. preučiti možen negativen vpliv na zdravje ljudi, živali in okolje s pomočjo pregleda raziskav,
5. definirati ukrepe, s katerimi lahko zmanjšamo vpliv polistirena na grajeno in naravno okolje.

3 • METODA

Sistematičen pregled literature smo opravili v iskalnih bibliografskih, faktografskih in drugih bazah podatkov, kot so Science Direct, Pub Med, Cobiss, Dimdi, Eric, Biosis, Svarog, Espacenet, US Patent and Image Fulltext Database, Toxnet, Hazardous Chemicals Database in NIST Chemistry WebBookChemIDPlus. Relevantno literaturo smo iskali tudi na drugih spletnih naslovih tujih in domačih vladnih in nevladnih organizacij, kot so World Health Organization (WHO), European Commission, International Labour Organization (ILO), Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Eurostat, Statistični urad RS (SURs), Uradni list EU, Uradni list RS, Ministrstvo za zdravje RS, Ministrstvo za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti RS, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS in Min-

istrstvo za okolje in prostor RS. Iskalni niz smo izdelali v slovenščini in angleščini: »Polistiren« ter »Polistiren IN zdravje IN vpliv IN okolje«, angleško »Polystyrene« in »Polystyrene AND health AND impact AND environment«. Pregledali smo literaturo, objavljeno med letoma 1978 in 2016. Starejša literatura ni relevantna za ta članek. Vključitveni kriterij so bili recenzirani članki, monografije, pravni akti, priručniki in druga strokovna literatura, ki je obravnavala tematiko vpliva polistirena na okolje in zdravje ljudi. Zajeli smo celoten življenjski cikel. Izključitveni kriterij so bili nerecenzirani članki in področja, ki niso bila predmet našega preučevanja. Mejne vrednosti smo iskali na različnih spletnih naslovih, kot so American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), DFG Commission for the

4 • REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 Zakonodajni okvir

Uredba (EU) št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov navaja, da morajo biti vsi gradbeni objekti načrtovani in zgrajeni tako, da ne ogrožajo varnosti ljudi, živali ali imetja ter ne škodujejo okolju (Uredba (EU) št. 305/2011). Osnovni zahtevi številka 3 (Higiena, zdravje in okolje) in številka 7 (Trajnostna raba naravnih virov) Uredbe (EU) št. 305/2011 še podrobneje opredelita zahteve, ki jih morajo gradbeni proizvodi izpolnjevati med celotnim življenjskim ciklom. Predvsem pa ne sme biti ogrožena higiena ali zdravje v zaprtih prostorih. Poleg tega ta uredba določa uporabo oznake CE na gradbenih proizvodih. Oznaka CE se namesti na tiste gradbene proizvode, za katere je proizvajalec pripravil izjavo o zmogljivosti, ki vsebuje navedene lastnosti gradbenega proizvoda v zvezi z bistvenimi značilnostmi, vključno s podatki o vsebnosti nevarnih snovi. Informacije o vsebovanih nevarnih snoveh bi se morale na začetku omejevati na snovi iz REACH (31., 33. čl., Uredba ES 1907/2006) in CLP 1272/2008.

Polistiren sam po sebi ni nevaren za človeka, nevaren je stiren, ki je osnovni gradnik polistirena. Stiren pa preko izpostavljenosti človeka s polistirenom (embalaža za hrano, pri proizvodnji, s pitjem vode ...) lahko vstopi v človeško telo (WHO, 1996). Vpliv je odvisen od odmerka, časa izpostavljenosti, vrste snovi in individualnih značilnosti oseb (Yassi, 2001). Uživanje stirena lahko povzroči slabost in bruhanje (NIOSH, 2007) ter drugo nelagodje (NIOSH, 1978).

Omejiti porabo polistirenskih pen je prioriteta številnih mednarodnih okoljskih organizacij. Veliko je bilo vloženega truda, da bi našli alternativne materiale, predvsem za polistirenske pene, uporabljene v prehrabni industriji. Leta 1988 je Suffolk County v New Yorku postal prvi kraj v Združenih državah Amerike, ki je prepovedal uporabo polistirena za predmete, ki prihajajo v stik z živili (NYT, 1988). V številnih državah so prepovedali uporabo polistirena v živilski industriji ((Herron, 2006), (Sanchez, 2013), (Ordinances, 2012)). Kitajska je leta 1999 prepovedala uporabo posode iz ekspaniranega polistirena (Sun, 2013). Podobno sta naredili tudi Indija in Tajvan leta 2007 (Quan, 2006). Od 1. januarja 2020 bo v Evropi prepovedan ekstrudirani polistiren, ki bo vseboval fluorirane ogljikovodike, ki imajo

Predpisane mejne vrednosti (ppm, mg/m ³) ¹	
Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, MAK ² (CIHCCWA, 2003)	20 ppm (86 mg/m ³) TWA ³
	600 mg/g kreatinina BAT ⁴
Priporočene mejne vrednosti (ppm, mg/m ³ , mg/L) ¹	
NIOSH ⁵ (NIOSH, 2016)	50 ppm (215 mg/m ³) TWA
	100 ppm (425 mg/m ³) ST ⁶
OSHA ⁷ (OSHA, 1994)	100 ppm (425 mg/m ³) TWA
	200 ppm (850 mg/m ³) C ⁸ (maksimalna vrednost),
	600 ppm (2550 mg/m ³), s 5-minutnim maksimumom vsake tri ure
OEHA ⁹ (OEHA, 1999)	90 ppm (21 mg/m ³) Akutna REL ¹⁰ v zraku
	3,9 ppm (0,9 mg/m ³) Kronično vdihavanje REL
	0,0005 mg/L Ciljna koncentracija v pitni vodi

Preglednica 1 • Predpisane in priporočene mejne vrednosti stirena v bivalnem in delovnem okolju (CIHCCWA, 2003), (NIOSH, 2016), (OSHA, 1994), (OEHA, 1999)

- 1 Pretvorba pri temperaturi 25 °C in tlaku 1 atm.
- 2 MAK – Maximum Workplace Concentration (maximale Arbeitsplatz-Konzentration), maksimalna dovoljena koncentracija na delovnem mestu.
- 3 TWA – Time Weighted Average, časovno uteženo povprečje za 8-urni delavnik in 40-urni delovni teden.
- 4 BAT – Biological Tolerance Value, biološka tolerančna vrednost.
- 5 NIOSH – The National Institute for Occupational Safety and Health, Nacionalni inštitut za zdravje in varnost pri delu.
- 6 ST – Short Term Exposure, kratkotrajna izpostavljenost.
- 7 OSHA – Occupation Safety and Health Administration, Administracija za zdravje in varnost pri delu.
- 8 C – Maksimalna vrednost.
- 9 OEHA – Office of Environmental Health Hazard Assessment, Urad za presojo vplivov na zdravje okolja.
- 10 REL – Recommended Exposure Limits, priporočena mejna vrednost izpostavljenosti.

potencial za globalno segrevanje, 150 ali več, razen če bo izpolnjeval zahteve v nacionalnem standardu za varnost (Direktiva 517/2014/EU).

Da bi preprečili negativen vpliv na zdravje, so svetovne zdravstvene organizacije določile predpisane in priporočene mejne vrednosti, v glavnem za delovna okolja, ki pri izpostavljeni populaciji povzročajo negativen vpliv na zdravje v odvisnosti od časa izpostavljenosti (vnos z inhalacijo) (preglednica 2).

Področje varovanja in zaščite delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti stirenu v fazi proizvodnje in obdelave obravnava Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu

(Ur. l. RS, št. 100/2001, 39/2005, 53/2007, 102/2010, 43/2011, 38/2015). V prilogi 3 Pravilnika je navedeno, da so prepovedane proizvodnja, izdelava ali uporaba kemičnih snovi in dejavnosti, ki vključujejo na seznamu navedene kemične snovi, na katerem je tudi stiren. Prepoved ne velja, če je kemična snov prisotna v drugi kemični snovi ali če je sestavni del odpadkov, kolikor je vsebnost posamične kemične snovi nižja od določenega masnega odstotka. Prepovedane kemične snovi se izjemoma lahko uporabljajo, ko sta edini namen uporabe znanstvena raziskava in preizkušanje, za dejavnosti, ki so namenjene odstranjevanju kemičnih snovi, prisotnih v obliki stranskih proizvodov ali odpadnih

proizvodov, in za proizvodnjo polizdelkov, ki predstavljajo tveganje za zdravje. Delodajalec mora preprečiti izpostavljenost delavcev kemičnim snovem (stirenu) tako, da se proizvodnja in čimprejšnja uporaba takih kemičnih snovi kot polizdelkov izvaja v zaprtem sistemu, iz katerega se lahko kemične snovi odstranijo samo, če je to potrebno za nadzorovanje procesa ali popravilo sistema (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu, Ur. l. RS, št. 100/2001, 39/2005, 53/2007, 102/2010, 43/2011, 38/2015).

4.2 Pregled raziskav

4.2.1 Raziskanost področja

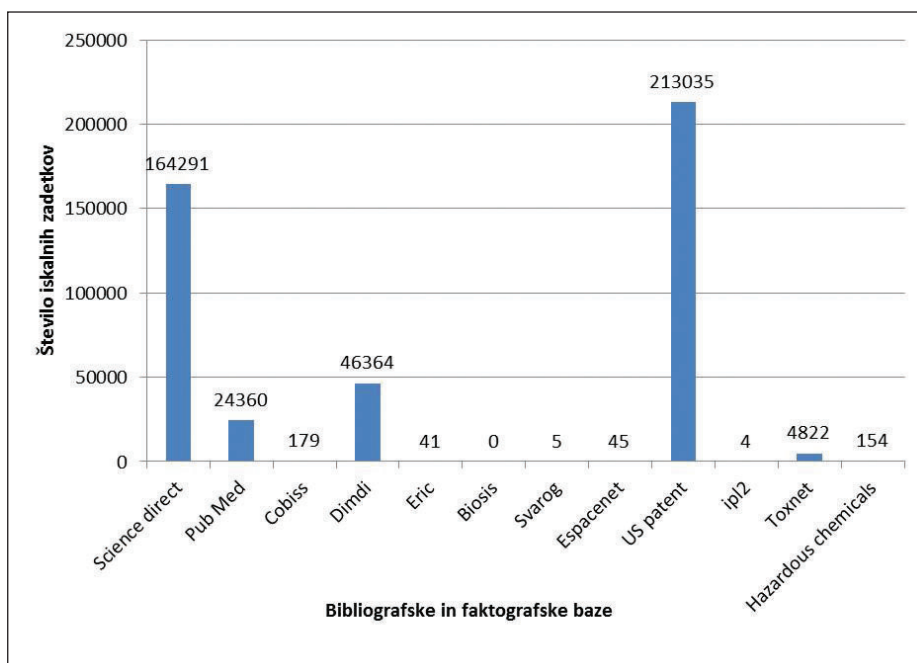
Pregled literature je pokazal, da sta vpliv polistirena na zdravje ljudi in vpliv na okolje v svetu relativno dobro raziskana. V Sloveniji je to področje slabo raziskano. Rezultati števila zadetkov po posameznih bazah (slika 1) so pokazali, da sta največ zadetkov dali spletni strani Science Direct (164.291 zadetkov) in US Patent (213.035 zadetkov), so pa tudi baze podatkov, ki niso dale nobenega rezultata (Biosis). Slika 2 prikazuje raziskanost področja v bazi Science Direct na dan 20. 10. 2016. Raziskave o polistirenu segajo v leto 1935, relevantne raziskave, ki smo jih preučili v sklopu tega članka, pa segajo v leto 1978. Z leti se je število raziskav povečevalo, kar pomeni, da je to področje še vedno zelo aktualno. V pregled je bilo vključenih več kot 40 raziskav.

4.2.2 Vplivi na okolje

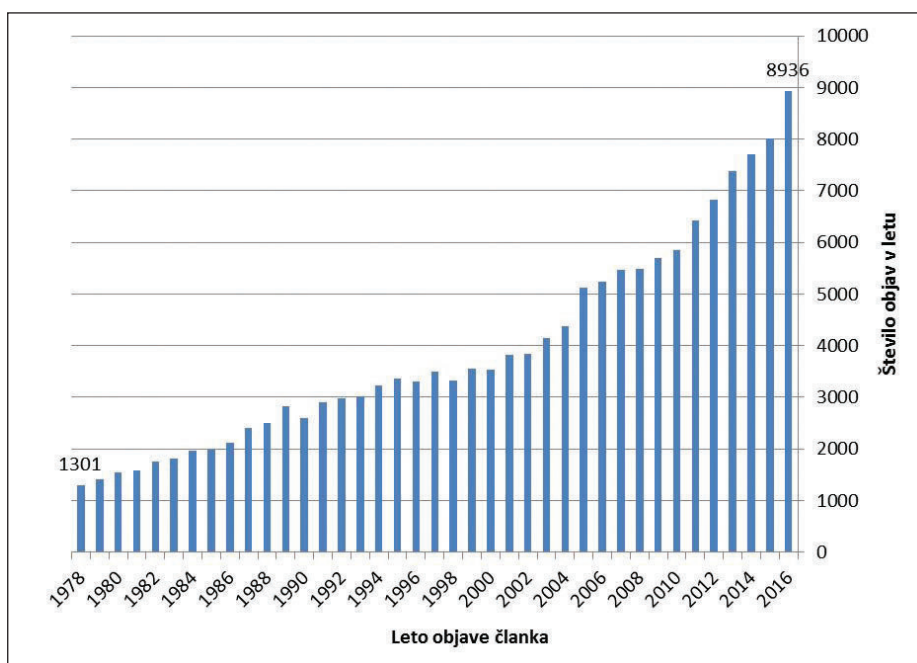
Svetovna produkcija in poraba plastike narašča eksponentno. Že leta 2014 je produkcija plastike preseгла 300 milijonov ton na leto (Crawford, 2017). Od tega predstavlja polistiren več kot dve tretjini vse prodane plastike (Rosato, 2005). Glavni trije svetovni proizvajalci plastike so Kitajska (26 %), Evropa (20 %) in Severna Amerika (19 %). V Evropi je na prvem mestu Nemčija (24,9 %), sledita ji Italija (14,3 %) in Francija (9,6 %) (Crawford, 2017). Polistiren se v naravi zelo počasi razgraja, zato pogosto sproža polemiko med okoljevarstveniki. V obliki odpadka oziroma smeti se vse pogosteje pojavlja v zunanjem okolju, še posebno ob obalah in vodnih poteh, najpogosteje v penjeni obliki, ki plava na vodi (Kwon, 2014). V oceanih letno konča kar 10 % vse proizvedene plastike (Crawford, 2017).

4.2.2.1 Proizvodnja

Pri proizvodnji polistirenske pene se uporabljajo plini za razpihovanje kroglic polis-



Slika 1 • Število zadetkov po bazah za iskalni profil: Polystyrene



Slika 2 • Časovni prikaz raziskanosti področja v bazi Science Direct na dan 20. 10. 2016.

tirena v peno. Pri ekspanziranih polistirenih se najpogosteje uporabljajo ogljikovodiki, na primer pentan. Ti lahko povzročijo požar v tovarni v času izdelave ali v skladišču s svežim (novim) stiroporom, vendar imajo relativno blag vpliv na okolje (Mazij, 1998). Pri izdelavi ekstrudiranega polistirena se najpogosteje uporabljajo fluorirani ogljikovodiki

(HFC-134a), ki imajo približno od 1000- do 1300-krat večji potencial za globalno segrevanje kot ogljikov dioksid ((Earth Resource Foundation, 2016), (EPA, 2016)). To se bo v prihodnosti spremenilo, saj so se 15. oktobra 2016 pogajalci iz 197 držav zbrali na srečanju Programa Združenih narodov za okolje (United Nations Environment Programme) v Kigaliju v

Ruandi in dosegli pravno zavezujoče soglasje o opustitvi fluoriranih ogljikovodikov. Postopek naj bi začele razvite države (Evropa, Amerika in druge) z letom 2019 (BBC News, 2016).

4.2.2.2 Razgradljivost v naravi

Zavržen polistiren se v naravi ne razgradi več sto let in je odporen proti fotolizi (kemijski proces, kjer se snovi razgradijo pod vplivom ultravijolične svetlobe, v nekaterih primerih tudi vidne svetlobe, zaradi cepjenja vezi v molekulah) (Bandyopadhyay, 2007). Tega se zavedajo številni proizvajalci, ki že izdelujejo okolju prijaznejšo plastiko ((Singh, 2016), (Mehdi, 2016)).

4.2.2.3 Odpadki

Odpadni polistiren lahko povzroči velik problem. Količina mikroplastike v sedimentu narašča, prav tako količina v tekočih vodah in oceanih ((Saido, 2014), (Hong, 2016)). Več kot 80 odstotkov plastike v oceanih izvira s kopnega, ki priteče po rekah in se s stalnimi morskimi tokovi prenaša po vsem svetu (da Costa, 2016). Živali ne prepoznajo polistirena kot umetnega materiala in ga lahko celo zamenjajo za hrano. Kroglice polistirenske pene se zaradi svoje male teže lahko prenašajo z vetrom in plavajo na vodi. To lahko povzroči resne težave pri zdravju ptic in morskih živali, ki pogoltnjejo velike količine kroglic stiropora ((Nasser, 2016), (Hofer, 2008)). Najpogostejša oblika odpadne plastike so majhni delčki in peleti, ki jih je zelo težko počistiti (Lozoya, 2016). Onesnaženje s plastiko je vseprisotno, vendar je to področje slabo raziskano (Driedger, 2015). Treba bi bilo uvesti enotne metode za spremljanje onesnaženja s plastiko ((Van Cauwenberghe, 2015), (Giacomo, 2016), (Kopper, 2010)).

4.2.2.4 Recikliranje

Na splošno polistiren ni sprejet v program ločenega zbiranja odpadkov in se ne ločuje posebej in ne reciklira, z izjemo Nemčije, kjer se. Večina izdelkov iz polistirena se trenutno ne reciklira, saj za to ni interesa. Ker ima polistirenska pena majhno gostoto, njeno zbiranje ni ekonomično, čeprav so stisnjeni odpadki polistirena zelo zaželeni pri proizvajalcih recikliranih plastičnih peletov (Zhen, 1997). Ostanke ekspaniranega polistirena se zlahka dodajajo k različnim materialom EPS (na primer izolacijske plošče EPS), ki se uporabljajo v gradbeništvu (Pol, 2010). Vendar kot je bilo že omenjeno, je problematično zbiranje odpadnega polistirena. Odpadni polistiren se uporablja za izdelavo različnih produktov, kot so

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Skладиščenje blokov iz ekspaniranega polistirena (Mazij, 1998)	Preveriti nevarnosti pri skladiščenju polistirena	Plini za razpihanje polistirena lahko povzročijo požar v skladišču s svežim polistirenom.
Plastics (Rosato, 2005)	Splošen pregled plastike	Obstaja več vrst plastik, polistiren predstavlja več kot dve tretjini vse prodane plastike.

Preglednica 3 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z vplivi polistirena na okolje v času proizvodnje

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Integrated Plastic Waste Management: Environmental and Improved Health Approaches (Singh, 2016)	Potreba po upravljanju plastičnih odpadkov	Zavedanje, da je treba upravljati odpadno plastiko in razvijati okolju prijazne plastične izdelke.
Biodegradation of Bioplastic in Natural Environments (Mehdi, 2016)	Razgradnja plastike v naravnem okolju	Plastika se v naravi zelo počasi razkroja, tega se zavedajo številni proizvajalci, ki izdelujejo okolju prijaznejšo plastiko.

Preglednica 4 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z razgradljivostjo polistirena v naravi

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
New analytical method for the determination of styrene oligomers formed from polystyrene decomposition and its application at the coastlines of the North-West Pacific Ocean (Saido, 2014)	Postaviti in preveriti novo analitično metodo za determinacijo oligomerov stirena, nastalih pri razgradnji polistirena	Oligomeri stirena lahko izvirajo iz kemijske razgradnje polistirena, koncentracije stirena so večje v pesku kot v morski vodi.
Are styrene oligomers in coastal sediments of an industrial area aryl hydrocarbon-receptor agonists? (Hong, 2016)	Ali so oligomeri stirena v obalnih sedimentih na industrijskem območju agonisti arila ogljikovodikovih receptorjev?	Najdene so bile velike koncentracije oligomerov stirena (SO) v celinskih potokih na industrijskih območjih, vzpostavljene so bile potencialne vrednosti SO.
Plastics in the Environment – Sources, fates, and Effects (da Costa, 2016)	Določiti vire, usodo in vpliv plastike na okolje	Število raziskav o usodi plastike hitro narašča, več kot 80 % plastike v oceanih izvira s kopnega, plastika pride v oceane po rekah in se s stalnimi tokovi prenaša po svetu.
Secreted protein eco-corona mediates uptake and impacts of polystyrene nanoparticles on <i>Daphnia magna</i> (Nasser, 2016)	Vpliv polistirena na plankton	Polistiren ima vpliv na plankton, vpliva na sproščanje beljakovin in sposobnost hranjenja.
Marine pollution: new research (Hofer, 2008)	Vpliv polistirena na morse in obmorske živali	Živali ne prepoznajo polistirena kot umetnega materiala in ga lahko zamenjajo za hrano.
Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este: Unseen critical residents? (Lozoya, 2016)	Plastika na obalah Urugvaja	Količina plastike v Urugvaju je primerljiva s količinami po vsem svetu, najpogostejše oblike so majhni delčki in peleti, vir onesnaženja sta kopno kot tudi morje, manjše delčke je težje počistiti kot večje.
Plastic debris in the Laurentian Great Lakes (Driedger, 2015)	Pregled in razvrstitev plastičnih odpadkov v Lavrencijevih Velikih jezerih	Plastični odpadki so velik okoljski izziv, veliko je še nejasnosti, saj je to področje slabo raziskano.
Microplastics in Sediments: A Review of Techniques, Occurrence and Effects (Van Cauwenberghe, 2015)	Splošni pregled problema mikroplastike v sedimentih	Količina mikroplastike v sedimentih po svetu, potreba po standardizaciji tehnik ekstrakcije.
Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat (Giacomo, 2016)	Pregled onesnaženosti oceanov s plastiko	Onesnaženje s plastiko je vseprisotno, vendar še vedno ni nobene kvantitativne ocene, treba bi bilo uvesti enotne metode za spremljanje onesnaževanja s plastiko.
Food packaging legislation: Sanitary aspects (Kopper, 2010)	Razprava o zakonodaji o materialih, ki so v stiku s hrano	Regulativa, ki jo je ustvaril Codex Alimentarius Commission, je dobra; med zakonodajo v ZDA in v EU so velike razlike.

Preglednica 5 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z odpadki polistirena

obešalniki za obleke, klopi v parkih, cvetlični lončki, igrače, ravnila, ogrodja spenjačev, posode sadik, okvirji slik, arhitekturni ulitki ... (PPC, 2009). Uporablja se tudi kot dodatek v betonu, s čimer se izboljšajo toplotnoizolativne lastnosti (Saikia, 2012). Trenutno se v Veliki Britaniji reciklira 100 ton ekspaniranega polistirena vsak mesec (Eccleston and Hart Polystyrene, 2016). Raziskava Arvanityonnisa, 2013, opozarja, da biorazgradljivi polimeri niso najboljša zamenjava klasičnih polimerov, saj je njihova razgradnja zelo odvisna od okolja razgradnje in pripadajočih pogojev (Arvanityonniss, 2013).

4.2.2.5 Sežiganje

Če polistiren pravilno sežigamo (temperature do 1000 °C, veliko zraka), so produkt pri gorenju voda, ogljikov dioksid in morda majhne količine ostankov halogenskih spojin, ki so bile dodane kot zaviralci gorenja. Če pa je sežiganje nepopolno (pri nizkih temperaturah), se izločajo ogljikove saje in mešanica hlapnih spojin. Identificiranih je bilo že več kot 90 produktov gorenja (polciklični aromatski ogljikovodik (PAH), alkil benzen, benzoperilen, benzaldehid, naftalen, azulen in drugi), katerih tvorba je odvisna od temperature gorenja ((BASF, 1989), (Argonne, 2011), (ACC, 2009), (Hawley-Fedder, 1984)). Sežiganje plastike bi lahko zamenjala piroliza (Verma, 2016).

4.3. Vpliv na zdravje človeka

Izsledki raziskav o uporabi polistirena v živilski industriji in možnem vplivu na zdravje niso enotni. Na strani *Plastic Food Service Products*, American Chemistry Council (ACC, 2010-2011), je navedeno, da so na podlagi epidemioloških raziskav, ki so potekale več kot petdeset let (ACC, 2010-2011), vladne organizacije za zdravje določile, da uporaba polistirena v živilski industriji ni nevarna. Med letoma 1999 in 2002 je 12 znanstvenikov z različnih področij (toksikologije, medicine, analize tveganj, farmakokinetike ...) naredilo celovit pregled morebitnih zdravstvenih tveganj zaradi izpostavljenosti stirenu (ACC, 2010-2011). Raziskava je pokazala, da je stiren v naravi prisoten v hrani, kot so jagode, govedina, začimbe, in se naravno proizvaja v pridelavi izdelkov (na primer vino ali sir). Preverili smo vse objavljene podatke o količini stirena, ki se lahko pojavi v prehrani, in ugotovili, da je treba preprečiti izpostavljenost izdelkom iz stirena, ki so v stiku s hrano (embalaže in posoda iz polistirena), še posebno če so ti izdelki namenjeni grelju v mikrovalovni pečici (Cohen, 2002). Miranda

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Reclamation of styrene monomer from waste polystyrene plastics by catalytic degradation (Zhen, 1997)	Pridobivanje stirena iz odpadnega polistirena	V laboratorijskem stanju znaša donos tekočega proizvoda, ki vsebuje 55,5% stirena, 97,6%; predelava odpadne plastike je torej lahko dobičkonosna
Upcycling: converting waste plastics into paramagnetic, conducting, solid, pure carbon microspheres (Pol, 2010)	Recikiranje plastike	Predstavitvev okolju prijaznega postopka (brez uporabe topil), ki pretvarja različno odpadno plastiko v kroglice ogljika, ta pa ima veliko industrijsko vrednost.
Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation (Saikia, 2012)	Uporabnost plastike v betonu	Plastiko lahko uporabimo kot nadomestni del agregata v betonu, tako dobimo lažji beton, njegova tlačna trdnost se le malo zmanjša, tak beton je bolj odporen v kemijsko zahtevnih območjih, ima večjo odpornost proti zmrzal (+EPS).
Waste management for polymers in food packaging industries (Arvanityonniss, 2013)	Pregled in predstavitev biorazgradljivih polimerov za embalažo za živila	Biorazgradljivi polimeri niso najboljša zamenjava klasičnih polimerov, njihova razgradnja je zelo odvisna od primernosti okolja razgradnje.

Preglednica 6 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z recikliranjem polistirena

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Products obtained during combustion of polymers under simulated incinerator conditions II. Polystyrene (Hawley-Fedder, 1984)	Definirati produkte gorenja polistirena	Identificirani produkti gorenja polistirena v odvisnosti od temperature gorenja.
Toxic pollutants from plastic waste (Verma, 2016)	Pregled strupenih polutantov iz plastičnih odpadkov	Pri gorenju plastike se v ozračje sproščajo strupene snovi, sežiganje plastike bi lahko zamenjala piroliza.

Preglednica 7 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo s sežiganjem polistirena

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
A comprehensive evaluation of the potential health risks associated with occupational and environmental exposure to styrene (Cohen, 2002)	Ocena tveganja zdravja zaradi izpostavljenosti stirenu	Migracija stirena iz plastične embalaže v hrano je večja, če so bili izdelki v mikrovalovni pečici.
Are we eating plastic-ingesting fish? (de A. Miranda, 2016)	Mikroplastika, ki jo zaužijejo ribe, s katerimi se prehranjujemo	Plastični peleti so bili najdeni v 22 % rib v pristanišču, kraljeva skuša 62,5 %, ostronosi morski pes 33 %, plastika se bioakumulira in biomagnificira po prehranjevalni verigi.

Preglednica 8 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo s polistirenom (stirenom) v hrani

(de A. Miranda, 2016) je v svoji raziskavi našel plastične pelete v kar 22 % pristaniških rib (ostronosi morski pes 33 %, kraljeva skuša 62,5 %). Plastika se v živalih biološko kopiči (bioakumulacija) in koncentracija poveča po prehranjevalni verigi (biomagnifikacija) (de A. Miranda, 2016). Glede na neenotnost raziskav

so potrebne dodatne raziskave o možnih vplivih stirena na zdravje ljudi, poleg tega je treba izvesti ukrepe za preprečevanje izpostavljenosti stirenu.

Kot je bilo omenjeno, se polistiren veliko uporablja kot embalaža za hrano in pijačo. Po navedbah IARC (International Agency for

Research on Cancer) spada stiren, ki je osnovni gradnik polistirena, v skupino 2B (IARC, 2002), kar pomeni, da je potencialno rakotvoren za človeka. Uredba (ES) št. 1272/2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi razvršča stiren v naslednje razrede nevarnosti: vnetljiva tekočina kategorije 3 (plamenišče ≥ 23 °C in ≤ 60 °C), akutna strupenost kategorije 4 (kjer je ocena akutne strupenosti (ATE): $300 < ATE \leq 2000$ za oralen način izpostavljenosti (mg/kg telesne teže), $1000 < ATE \leq 2000$ za dermalen način izpostavljenosti (mg/kg telesne teže), $2500 < ATE \leq 20000$ za izpostavljenost plinom (ppmv), $10 < ATE \leq 20$ za izpostavljenost hlapom (mg/l) in $1 < ATE \leq 5$ za izpostavljenost prahu in meglicam (mg/l)), dražilno za oči kategorije 2 (snov po nanosu na oči živali povzroči vsaj pri dveh testnih živalih od treh pozitiven učinek na motnost roženice, iritis, pordelost veznice ali edem veznice, izračunan kot srednji rezultat po ocenjevanju 24, 48 in 72 ur po namestitvi testne snovi in ki se v celoti popravi med opazovanjem 21 dni) in jedko za kožo kategorije 2 (Uredba GHS, 2008). Skrb ostaja, čeprav količina stirena v potrošniških izdelkih ne sme presegati enega odstotka (0,5 % za maščobna živila) ((Gardiner, 2011), (FDA, 2014), (Genualdi, 2014)). Bilo je namreč ugotovljeno, da oligomeri stirena v posodah iz polistirena lahko migrirajo v hrano (Sakamoto, 2000). V raziskavi Sakamate so bile uporabljene različne komercialne embalaže za živila, za topilo, ki stimulira hrano, pa je bilo uporabljeno rastlinsko olje. Stiren je migriral v hrano (olje) po uporabi embalaže v mikrovalovni pečici (3 min.) in tudi, če je bila embalaža samo skladiščena (1 dan pri 20 °C). Količina stirena v hrani narašča s kvadratom časa izpostavljenosti (Murphy, 2006). V tej raziskavi je bilo opazovano migriranje stirena v olje za kuhanje. Japonska raziskava Yanagibe (2008) je na miših pokazala, da lahko stiren, ki je v embalaži hrane za hitro pripravo, poveča raven hormonov v ščitnici (Yanagiba, 2008). Miši so bile 4 dni hranjene z različnimi količinami stirena (0, 32 ali 64 $\mu\text{mol/kg}$). Raziskava Marchettija (2014) je pokazala, da zadostna količina nanodelcev polistirena (uporabljeni sta bili velikosti 50 nm in 100 nm) vpliva na absorpcijo vitamina D, katerega glavna naloga je imunska obramba (zlasti proti inhalacijskim mikrobov), v pljučni tekočini (Marchetti, 2014). Venet (2015) je v svoji raziskavi iz leta 2015 ugotovil, da stiren okrepi negativne učinke impulznega hrupa na organizem. Raziskava je bila opravljena na podganah, ki so bile izpostavljene 600 ppm

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Enironmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition (Lithner, 2011)	Identificirati nevarne kemikalije v proizvodnji polimerov	Klasifikacija 55 polimerov; stiren je eden najnevarnejših kopolimerov, čeprav se vsestransko uporablja in je rakotvoren.
Updated evaluation of the migration of styrene monomer and oligomers from polystyrene food contact material to foods and food simulants (Genualdi, 2014)	Količina stirena v hrani, ki je v stiku s polistirenom	Koncentracija monomera stirena je bila določena v 24 izdelkih iz polistirena, koncentracije monomera stirena v hrani so bile 2,66 do 163 ng/g, vse vrednosti so bile pod mejnimi (USFDA).
Quantitative Analysis of Styrene Dimer and Trimers Migrated from Disposable Lunch Boxes (Sakamoto, 2000)	Analiza migracije stirena iz embalaže za živila	Oligomeri stirena v posodah za živila iz polistirena lahko migrirajo v hrano.
Styrene migration from general-purpose and high-impact polystyrene into food-simulating solvents (Murphy, 2006)	Migracija stirena v živila	Več ko je stirena v polistirenu, več ga migrira v hrano, količina stirena v hrani narašča s kvadratom časa izpostavljenosti.
Styrene Trimer May Increase Thyroid Hormone Levels via Down-Regulation of the Aryl Hydrocarbon Receptor (AhR) Target Gene UDP-Glucuronosyl-transferase (Yanagiba, 2008)	Vpliv stirena na raven hormonov	Stiren, ki je v embalaži hrane za hitro pripravo, lahko zviša raven hormonov v ščitnici.
Adsorption of surfactant protein D from human respiratory secretions by carbon nanotubes and polystyrene nanoparticles depends on nanomaterial surface modification and size (Marchetti, 2014)	Vpliv polistireniovih nanodelcev na adsorpcijo vitamina D v pljučih	Velikost in koncentracija nanodelcev polistirena vplivata na adsorpcijo vitamina D v pljučni tekočini.
The tonotopicity of styrene-induced hearing loss depends on the associated noise spectrum (Venet, 2015)	Vpliv izgube sluha zaradi stirena v povezavi s spektrom hrupa	Impulzni hrup je bolj škodljiv kot trajajoči hrup, stiren okrepi učinke impulznega hrupa.

Preglednica 9 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z vplivi stirena na zdravje pri splošni populaciji

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Monitoring of workers exposure to low levels of airborne monomers in a polystyrene production plant (Samimi, 1982)	Izpostavljenost delavcev polistirenu	Največja koncentracija stirena je bila 14,8 ppm, kar je pod mejnimi vrednostmi (časovno uteženo povprečje 50 ppm).
Determinating of styrene in the urine of workers manufacturing polystyrene plastics (Dolara, 1984)	Koncentracije stirena v urinu delavcev v proizvodnji polistirena	Koncentracije stirena v urinu so bile med 0,7 in 4,1 mg/l, opaziti ni bilo nobenih znakov mutagenega dejavnika.
Health status of styrene-polystyrene polymerization workers (Lorimer, 1978)	Zdravstveno stanje delavcev s polistirenom	Rezultati so pokazali, da ni bistvenih sprememb v izpostavljeni skupini.
Monitoring of workers exposure to low levels of airborne monomers in a polystyrene production plant (Samimi, 1982)	Izpostavljenost delavcev polistirenu	Največja koncentracija stirena je bila 19,8 ppm, kar je pod mejnimi vrednostmi (časovno uteženo povprečje 50 ppm).

Preglednica 10 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z vplivi stirena na zdravje delavcev v tovarnah s proizvodnjo polistirena

stirena v zraku in hrupu širine ene oktave s središčem pri 8 kHz ter ekvivalentno stalno ravno hrupa 80 dB povprečno na 8 ur.

Po navedbah (Samimi, 1982) je približno 90.000 delavcev v različnih tovarnah po svetu s proizvodnjo polistirena izpostavljenih stirenu. Izpostavljenost stirenu pa lahko povzroči glavobole, utrujenost, omotičnost, zmedenost, zaspanost, splošno slabo počutje, težave pri koncentraciji in občutek zastripitve (OSHA, 2016). Številne raziskave so se ukvarjale s količino vdihanega stirena delavcev v tovarnah s polistirenom ((Samimi, 1982), (Dolara, 1984), (Lorimer, 1978), (Samimi, 1982)). Vse raziskave so merile dejansko koncentracijo stirena na vzorcu izpostavljenih delavcev (preglednica 10). Koncentracije vdihanega stirena delavcev so bile povišane, vendar vse pod mejnimi vrednostmi, določenimi pri zdravstvenih organizacijah (50 ppm glede na celoten delavnik) (NIOSH, 2016). Z namenom zaščite zaposleni, bi bilo treba opraviti dodatne raziskave na tem področju in spodbuditi preventivne ukrepe.

Velika onesnaženost okolja z odpadno plastiko ima vpliv tudi na ljudi. Plastični odpadki so potencialno leglo človeku nevarnih patogenov. Ker ima plastika zelo dolgo dobo uporabnosti, zelo dolgo lahko potuje po naravnem okolju in tako prenaša povzročitelje bolezni tudi pri daljših razdaljah. Mikrobi, povezani s plastiko, so na onesnaženih plažah lahko škodljivi za kopalce ((Keswani, 2016), (Turner, 2016)). Prav tako onesnaženost na obalnih območjih vpliva na upad turizma (Williams, 2016).

4.4 Požarna nevarnost

Tako kot vse druge organske spojine je tudi polistiren gorljiv. Polistiren ima oznako B3, kar pomeni, da je lahko vnetljiv (DIN 4102, 1998). V gradbeništvu se zato ne sme uporabljati, če ni primerno zaščiteno. Pri fasadah ga na primer zaščitimo s cementnim lepilom in zaključnim slojem, dodani so tudi zaviralci gorenja. Vnetje polistirena lahko povzroči požar, kar se je v preteklosti že zgodilo. Na primer na letališču v Düsseldorfu in v predoru pod Rokavskim prelivom, kjer se je vnel vlak, ki je prevažal polistiren (Bistra, 2016). Obstajajo primeri, ko so se vnele fasade iz polistirena, čeprav so bile zaščitene, in povzročile veliko materialne škode (Monte Carlo, 2008, Palace Station, 1998, hotel Eldorado, 1997) (Evans, 2014). Poznamo primere, ko so se vnele polistirenske obloge v nočnih klubih, na primer v Kiss Night Clubu (Brazilija, 2013, 242 žrtev), Station Night Clubu (Rhode Island, 2003, 100 žrtev), Argentine Night Clubu (Argentina, 2004,

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Microbial Hitchhikers on Marine Plastic Debris: Human Exposure Risks at Bathing Waters and Beach Environmets (Keswani, 2016)	Ali so plastični odpadki v pristaniščih človeku nevarni?	Plastični odpadki so potencialno leglo človeku nevarnih patogenov, plastika zaradi svoje dolge dobe trajnosti lahko prenaša povzročitelje bolezni pri daljših razdaljah, mikrobi, povezani s plastiko, so lahko škodljivi za kopalce, to področje je slabo raziskano.
The Environmental Impacts and Health Hazard of Abandoned Boats in Estuaries (Turner, 2016)	Vpliv zapuščenih čolnov in ladij v izlivih na zdravje in okolje	Problem zapuščenih ladij se poglablja, poleg plastike so prisotni še drugi škodljivi materiali (elektronika, gume, plinske cisterne, kovine ...), zapuščeni čolni so vir onesnaženja, ki predstavlja nevarnost za ljudi in živali.
Litter Impacts on Scenery and Tourism on the Colombian North Caribbean coast (Williams, 2016)	Vpliv odpadkov na videz obale in turizem	Obiskovalci imajo zelo radi lepe in očiščene plaže, te pa v resnici velikokrat niso take.

Preglednica 11 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z vplivom odpadkov polistirena na zdravje človeka

194 žrtev), in terjale številne žrtve (Evans, 2014).

Da polistiren, ki se uporablja za toplotno izolacijo, izpolni stroge požarnovarnostne zahteve po zaščiti stavb in njihovih uporabnikov, se dodajajo zaviralci gorenja (EPA, 2014). Najpogosteje uporabljeni zaviralec gorenja v izolacijskem polistirenu je HBCD (heksabromociklododekan) (XPSA, 2012). HBCD je zelo strupena, obstojna in bioakumulativna kemikalija (Pharos Project, 2013). Pogosto je najdena v ljudeh, živalih in okolju, je strupena za vodne organizme in nevarna za zdravje ljudi (Stamm, 2015). O toksičnosti HBCD in njegovem ogrožanju okolja se je v preteklosti veliko razpravljalo. Zaradi tega se je 28. oktobra 2008 Evropska komisija za kemikalije (European Chemicals Agency) odločila, da HBCD uvrsti na seznam s snovmi SVHC (Substances of Very High Concern), ki vzbujajo veliko zaskrbljenost (ECHA, 2011). 18. februarja 2011 je bil HBCD uvrščen v prilogo XIV k uredbi REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals). Snovi, ki so navedene v prilogi XIV, ni mogoče uporabljati ali ponuditi na trgu, razen če je bilo izdano dovoljenje za posebno uporabo. Prepoved HBCD je bila v celoti uvedena 21. avgusta 2015. Proizvajalci zdaj uporabljajo druge zaviralce gorenja, nekaj najprimernejših

je identificirala EPA v poročilu z naslovom Flame Retardant Alternatives for HBCD, ki je bilo objavljeno junija 2014 (benzen, etenil-1, polimer z 1,3 butadienom, bromiran, benzen, 1,1-(1-metiletiliden) in tetrabromobisfenol A bis (2,3-dibromopropil) eter) (EPA, 2014). Glede na to, da je bila prepoved HBCD uvedena šele pred nekaj leti, predvidevamo, da je HBCD še vedno v večini že vgrajenih gradbenih proizvodih!

Če je gradbeni proizvod zajet v harmoniziranem standardu ali ustreza evropski tehnični oceni, ki je bila zanj izdana, mora proizvajalec v skladu z Uredbo (EU) št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov pripraviti izjavo o lastnostih za proizvod (EPD – *Environmental Product Declaration*), ki vsebuje predvsem podatke o tipu proizvoda, o referenčni številki in datumu izdaje harmoniziranega standarda ali evropske tehnične ocene, ki sta bila uporabljena pri ocenjevanju posamezne bistvene značilnosti, ter o sistemu ocenjevanja in preverjanju nespremenljivosti lastnosti gradbenega proizvoda, ko je ta ponujen trgu (Uredba (EU) št. 305/2011). V spodnji preglednici 12 je prikazanih nekaj izjav o vplivu proizvodov iz polistirena na okolje. Predstavljeni so trije različni proizvodi iz polistirena (EPS, XPS in NEOPOR) treh različnih proizvajalcev.

Proizvod in proizvajalec	Vpliv na zdravje ljudi in okolje med proizvodnjo	Vpliv na zdravje ljudi in okolje med uporabo	Požarna varnost	Emisije VOC-ov
EPS, Industrieverband Hartschaum e.V (EPS EPD, 2009)	Nobeni posebni dodatni ukrepi poleg splošnih ukrepov za zdravje in varnost pri delu niso potrebni.	Negativnih vplivov na ljudi, živali in okolje ni; brez CF-C ¹ -jev.	Razred E po EN 13501-1, izdelki vsebujejo od 1 do 2 % HBCD ² zaviralca gorenja.	Po 28 dneh (pri 23 °C) ni bilo zaznanih nobenih rakotvornih snovi, emisije hlapnih organskih spojin so bile pod mejnimi (TVOC ³ < 50 µg/m ³ , SVOC ⁴ < 5 µg/m ³), HBCD ni bil zaznan.
XPS, EXIBA – European Extruded Polystyrene Insulation Board Association (XPS EPD, 2014)	Ni potrebne po nobenih dodatnih ukrepih poleg predpisanih za proizvodna podjetja.	V vsej dobi trajnosti se iz produkta ne sprošča veliko snovi.	Razred E po EN 13501-1, izdelek ne vsebuje HBCD.	Po 28 dneh ni bilo zaznanih nobenih rakotvornih snovi, emisije hlapnih organskih spojin so bile pod mejnimi (TVOC 0–1000 µg/m ³ , SVOC 0–100 µg/m ³).
NEOPOR (EPS z infrardečimi absorberji), EUMEPS – Expanded Polystyrene Foam Insulation (NEOPOR EPD, 2014)	Ni potrebe po nobenih dodatnih ukrepih za proizvodna podjetja; za razpihovanje ni uporabljena nobena ozonu škodljiva snov, kot sta CFC ali HCFC ⁵ .	Proizvodi so po navadi vgrajeni tako, da niso v neposrednem stiku z okoljem ali z notranjim zrakom.	Izdelki običajno dosegajo požarni razred E po EN 13501-1, vsebuje HBCD	Emisije VOC-ov so bile pod mejnimi, emisije HBCD v času dobe trajnosti so zanemarljive.

Preglednica 12 • EPD treh različnih proizvodov iz polistirena

- ¹ CFC – chlorofluorocarbon, klorofluorogljiki (tudi freoni)
- ² HBCD – hexabromocyclododecane, heksabromociklododekan
- ³ TVOC – total volatile organic compounds, skupne lahke organske spojine
- ⁴ SVOC – semi volatile organic compounds, polhlapne organske spojine
- ⁵ HCFC – hydrochlorofluorocarbons, halogenirani fluoroklorogljikovodiki

5 • SKLEP

Sistematičen pregled literature je pokazal, da zakonodaja to področje zelo slabo obravnava. Večinoma so na voljo le priporočila, ki podajajo mejne vrednosti koncentracij izpostavljenosti stirenu v delovnem okolju.

Pregled raziskav je pokazal, da problem polistirena in rezultate raziskav lahko razvrstimo v tri skupine. Glavne skupine so povečane koncentracije stirena v delavcih v tovarnah s polistirenom, migriranje stirena iz embalaže za živila iz polistirena v hrano in možen vpliv na ljudi ter problem plastičnih odpadkov na okolje.

Nekaj relevantnih raziskav se je ukvarjalo s koncentracijo stirena, ki ga zaužijejo delavci v tovarnah s polistirenom. Vse raziskave so merile dejansko koncentracijo na vzorcu izpostavljenih delavcev ((Samimi, 1982), (Dolara, 1984), (Lorimer, 1978), (Samimi, 1982)). Vrednosti koncentracije vdihanega stirena so se minimalno spreminjale, vendar so bile vse izmerjene vrednosti pod mejnimi dovoljenimi, ki znašajo 50 ppm, gledano na časovno uteženo povprečje (celoten delavnik) (NIOSH, 2016). Kljub temu so potrebne dodatne

raziskave in celoviti ukrepi za obvladovanje kemijskih dejavnikov tveganja izpostavljenosti stirenu. Ukrepe je treba izvesti hierarhično in naj zajamejo celoten življenjski cikel proizvoda. Za zaščito zaposlenih je treba izvajati vse ukrepe varstva pred kemijskimi tveganji, ki vključujejo tudi zamenjavo škodljivih kemikalij za neškodljive, učinkovit sistem prezračevanja, hermetično zaprte procese z odsesavanjem in drugo.

Po navedbah IARC (International Agency for Research on Cancer) spada stiren, ki je osnovni gradnik polistirena in ga uporabljamo za proizvodnjo embalaže za živila, v skupino 2B (IARC, 2002), kar pomeni, da je potencialno rakotvoren za človeka. Uredba (ES) št. 1272/2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi razvršča stiren v naslednje razrede nevarnosti: vnetljiva tekočina kategorije 3, akutna strupenost kategorije 4, dražilno za oči kategorije 2 in jedko za kožo kategorije 2 (Uredba GHS, 2008). Raziskave kažejo ((Sakamoto, 2000), (Murphy, 2006), (Yanagiba, 2008), (Marchetti, 2014), (Venet, 2015)), da stiren v stiku s hrano lahko mi-

grira iz embalaže v živila. Izsledki raziskav niso enotni, poudarjen je vidik preprečevanja izpostavljenosti stirenu.

Vse raziskave ((Bandyopadhyay, 2007), (Saido, 2014), (Hong, 2016), (da Costa, 2016), (Nasser, 2016), (Hofer, 2008)), ki so se ukvarjale z odpadno plastiko, so prišle do podobnih zaključkov o kopičenju odpadne plastike v naravnem okolju (predvsem na obalah). Njen izvor je na kopnem in v morju. Ti odpadki so nevarni za človeka in živali, saj so leglo patogenih mikroorganizmov. Morske živali, ki lahko zaužijejo manjše koščke polistirena, so del naše vsakodnevne prehrane. Količina zaužitega polistirena se v morskih živalih veča s procesi bioakumulacije in biomagnifikacije. Raziskave so potekale predvsem na obalah, na različnih koncih sveta. Problem z odpadno plastiko je prisoten povsod, saj stalni tokovi v oceanih prenašajo odpadke, ki se zelo počasi razgrajujejo, po vsem svetu. Avtorji raziskav so si edini, da bi bilo treba odpadno plastiko zbirati in reciklirati. Z aktivnim iskanjem novih načinov uporabe odpadne plastike bi lahko pomembno pripomogli k zmanjšanju količine odpadkov. O problemu odpadne plastike bi morali ozaveščati že otroke v šoli. Na plažah in tudi drugje bi moralo biti nameščenih

več smetnjakov, lahko bi se najeli delavci, ki bi pobirali odpadno plastiko, ali pa bi vsak dobil plačilo, če bi prinesel na primer kilogram odpadne plastike (podobno kot imajo organizirano na Hrvaškem s povratno embalažo). Lahko bi uveljavili tudi stroge kazni za onesnaževanje ali celo prepovedali uporabo vrst plastik, ki imajo zelo negativen vpliv na okolje. Potrebne so dodatne raziskave, ki bi preučevale možne vplive stirena na ljudi na

vseh področjih njegove uporabe. Upoštevajoč načela trajnostnega razvoja, bi bilo treba analizirati tako gradbene proizvode kot tudi celotne konstrukcijske skope v življenjskem ciklu ((Krainer, 2008), (Hudobivnik, 2016)) z vidika zdravlja in okolja.

Vzpostavljena in implementirana zakonodaja bi morala obravnavati celoten življenjski cikel vseh materialov in zajeti tako čas proizvodnje in uporabe kot tudi zbiranje, ločevanje,

reciklažo in ponovno uporabo odpadkov. Treba bi bilo vzpostaviti zahteve, ki bi se nanašale na recikliranje odpadnega polistirena ter iskanje zdravju in okolju prijaznejših alternativ, ki se v praksi že pojavljajo. Čeprav se splošna in strokovna javnost načeloma zavedata problemov, povezanih s polistrenom, v praksi ni konkretnih sistemskih ukrepov, ki bi učinkovito vključevali nadzor nad izdelki v celotnem življenjskem ciklu.

6 • LITERATURA

- ACC, American Chemistry Council, Inc., Common Plastic Resins Used in Packaging. Introduction to Plastics Science Teaching Resources, povzeto 20. 10. 2016 po: <https://plastics.americanchemistry.com/Education-Resources/Hands-on-Plastics/Introduction-to-Plastics-Science-Teaching-Resources/History-of-Polymers-Plastics-for-Teachers.html>, 2012.
- ACC, American Chemistry Council, Inc., Ease of Disposal, povzeto 20. 11. 2016 po: https://www.americanchemistry.com/PageNotFound/?404;https://www.americanchemistry.com:443/s_plastics/sec_pfpag.asp?CID=1434&did=5226, 2009.
- ACC, American Chemistry Council, Inc., Q and A on the Safety of Polystyrene Foodservice Products, povzeto 24. 10. 2016 po: <https://plasticfoodservicefacts.com/main/Safety/Californias-Proposition-65/Q-A-on-the-Safety-of-Polystyrene-Foodservice-Products.GMEditor.html>, 2010–2011.
- Argonne, Polystyrene Foam Burning Danger, Newton.dep.anl.gov., povzeto 2. 11. 2016, po: <http://www.anl.gov/education/learning-center/classroom-resources>, 2011.
- Arvanitoyannis, S. I., Waste management for polymers in food packaging industries, *Plastic Films in Food Packaging*, str. 249–310, 2013.
- Bandyopadhyay, A., Chandra, B., Studies on photocatalytic degradation of polystyrene. *Materials Science and Technology*, št. 23, str. 307–317, 2007.
- BASF Technische Information, Verwertungs- und Beseitigungsverfahren gebrauchter Schaumstoff-Verpackungen aus Styropor, 1989.
- BBC News, Climate change: Monumental deal to cut HFCs, fastest growing greenhouse gases, povzeto 10. 4. 2017 po: <http://www.bbc.com/news/science-environment-37665529>, 2016.
- Bistra, povzeto 28. 10. 2016 po: http://www.bistra.com.tr/eng_kdetay.asp?ha=121, 2016.
- Boh, 2002, Boolovi operatorji, povzeto 22. 10. 2016 po: <http://ucilnica1617.fgg.uni-lj.si/mod/resource/view.php?id=2839>, 2002.
- CEH, Chemical Economics Handbook, Polystyrene, povzeto 5. 4. 2017 po: <https://www.ihs.com/products/polystyrene-chemical-economics-handbook.html>, 2014.
- CIHHCCWA, Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, List of MAK and BAT Values 2012, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527666034.oth01/pdf>, 2012.
- Cohen, J. T., Carlson, G., Charnley, G., Coggon, D., Delzell, E., Graham, J. D., Greim, H., Krewski, D., Medinsky, M., Monson, R., Paustenbach, D., Petersen, B., Rappaport, S., Rhomberg, L., Ryan, P. B., Thompson, K., A comprehensive evaluation of the potential health risks associated with occupational and environmental exposure to styrene, *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B: Critical Reviews*, št. 5, str. 1–265, 2002.
- Crawford, C. B., Quinn, B., Plastic production, waste and legislation, *Microplastic Pollutants*, str. 39–56, 2017.
- da Costa, P. J., S.M. Santos, P., C. Duarte, A., Rocha-Santos, T., *Plastics in the Environment – Sources, fates, and Effects*, *Science of The Total Environment*, str. 566-567, str. 15–26, 2016.
- Čavić, D., Uporaba ekspandiranega polistirena pri geotehničnih gradnjah, *Diplomska naloga*, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Čavić): 97 f., 2013.
- DID, Deloindom.si, Za toplotno in zvočno izolacijo, povzeto 6. 4. 2017 po: <http://www.deloindom.si/enostanovanjske-hise/za-toplotno-zvocno-izolacijo>, 2007.
- DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, 1998.
- Direktiva 517/2014/EU Evropskega parlamenta in sveta z dne 16. aprila 2014 o fluoriranih toplogradnih plinih in razveljavitvi regulative (EC) 842/2006. Uradni list Evropske unije, 22. 10. 2016.
- Dolara P., Caderni G., Santoni Mlodovici G., Salvadori M., Baroni A., Determinating of styrene in the urine of workwrs manufacturing polystyrene plastics, *Annals of Occupational Hygiene* št. 28, str. 195–199, 1984.
- Doroudiani, S., Chaffey, C. E., Kortschot, M. T., Sorption and diffusion of carbon dioxide in wood-fiber/polystyrene composites, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, št. 40, str. 723–735, 2002.

- Doroudiani, S., Kortschot M. T., Expanded Wood Fiber Polystyrene Composites: Processing-Structure-Mechanical Properties Relationships, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, št. 17, str. 13–30, 2004.
- Driedger, G. J. A., Duerr, H. H., Mitchell, K., Van Cappellen, P., Plastic debris in the Laurentian Great Lakes, *Journal of Great Lakes Research* št. 41, str. 9–19, 2015.
- Earth Resource Foundation, Polystyrene Foam Report, povzeto 22. 10. 2016 po: <http://www.earthresource.org/campaigns/capp/capp-styrofoam.html>, 2016.
- EB, Enciclopedia Britannica, Polymerization, povzeto 10. 11. 2016 po: <https://www.britannica.com/science/polymerization>, 2015.
- Eccleston and Hart Polystyrene, EPS recycling, povzeto 1. 11. 2016 po: <http://ecclestons.com/expanded-polystyrene-recycling.htm>, 2016.
- ECHA, European Chemicals Agency, povzeto 2. 11. 2016 po: https://echa.europa.eu/chem_data/candidate_list_table_en.asp, 2011.
- EPA, Environmental Protection Agency, Flame Retardant Alternatives for Hexabromocyclododecane (HBCD), povzeto 2. 11. 2016 po: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/hbcd_report.pdf, 2014.
- EPA, Environmental Protection Agency, Global Warming Potentials of ODS Substitutes, povzeto 30. 10. 2016 po: <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection>, 2016.
- EPS EPD, Expanded Polystyrene Foam Insulation, Environmental Product Declaration according to ISO 14025, povzeto 16. 4. 2017 po: http://styropor.basf.us/files/pdf/NEOPOR_EPS-EPD-IVH-2009211-EN.pdf, 2009.
- Evans, D. H., Hirschler, M. M., Foam Plastics in Building Construction, 2014 NFPA Conference and Expo, povzeto 28. 10. 2016 po: www.nfpa.org/~media/6722c1b139ce4597a962c5696ceaf697.pdf, 2014.
- FDA, U.S. Food and Drug Administration, Food and Drugs, Food for Human Consumption, povzeto 2. 11. 2016 po: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=177.1640>, 2014.
- Fragmat, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.fragmat.si/si/gradbni-program/izdelki>, 2016.
- Gardiner, H., Government Says 2 Common Materials Pose Risk of Cancer, *New York Times*, povzeto 22. 10. 2016 po: <http://www.nytimes.com/2011/06/11/health/11cancer.html>, 2011.
- Genualdi S., Nyman P., Begley T., Updated evaluation of the migration of styrene monomer and oligomers from polystyrene food contact material to foods and food simulants, Food additives and Contaminants, povzeto 1. 11. 2016 po: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?/~temp/~lqm1pT:7:@od@/cgi-bin/sis/search2/d?./temp/~ziAOtu:0@>, 2014.
- Giacomo A. C., Gorbi, S., Regoli, F., Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat, *Marine Environmental Research*, 2016.
- Gnip, I., Long-term water absorption of expanded polystyrene boards, Institute of Thermal Insulation of Vilnius Gediminas Technical University, 2007.
- GPMS, Green Passive Solar Magazine, How Styrofoam is Used in Building, povzeto 30. 10. 2016 po: <https://greenpassivesolar.com/2012/10/how-styrofoam-is-used-in-building/>, 2012.
- Hawley-Fedder, R. A., Parsons, M. L., Karasek, F. W., Products obtained during combustion of polymers under simulated incinerator conditions II. Polystyrene, št. 315, str. 201–210, 1984.
- Haynes, str. 12-214, povzeto 10. 11. 2016 po: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>, 2016.
- Herron, Z. J., Styrofoam food packaging banned in Oakland, *San Francisco Chronicle*, povzeto 21. 10. 2016 po: <http://www.sfgate.com/news/article/Styrofoam-food-packaging-banned-in-Oakland-2516522.php>, 2012.
- Hofer, T. N., *Marine pollution: new research*. New York: Nova Science Publisher, str. 59, 2008.
- Hong, S., Lee, J., Lee, C., Joon Yoon, S., Jeon, S., Kwon, B., Lee, J., P. Giesy, J., Seong Khim, J., Are styrene oligomers in coastal sediments of an industrial area aryl hydrocarbon-receptor agonists?, *Environmental Pollution* št. 213, str. 913–921, 2016.
- Hudobivnik, B., Pajek, L., Kunič, R., Košir, M. FEM thermal performance analysis of multi-layer external walls during typical summer conditions considering high intensity passive cooling, *Applied energy*, št. 178, str. 363–375, 2016.
- IARC, International Agency for Research on Cancer, List of Classifications, volumes 1-117, povzeto 4. 4. 2017 po: http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php, 2002.
- Inventors.about.com, The history of plastics, povzeto 21. 10. 2016 po: <http://inventors.about.com/od/pstartinvtions/a/plastics.htm>, 2011.
- Keswani, A., M. Oliver, D., Gutierrez, T., S. Quilliam, R., Microbial Hitchhikers on Marine Plastic Debris: Human Exposure Risks at Bathing Waters and Beach Environments, *Marine Environmental Research* št. 118, str. 10–19, 2016.
- Kopper, G., Ariosti, A., Ensuring Global Food Safety, str. 227–261, 2010.
- Krainer, A. Passivhaus contra bioclimatic design = Dedicated to em. Univ.-Prof. Dr. Ing. habil. Dr.h.c. mult. Karl Gertis on the occasion of his 70th birthday. *Bauphysik*, št. 30, 6: str. 393–404, 2008.
- Kwon, B. G., Regional distribution of styrene analogues generated from polystyrene degradation along the coastlines of the North-East Pacific Ocean and Hawaii, *Environmental Pollution*, št. 188, str. 45–49, 2014.
- Lithner, D., Larsson, A., Dave, G., Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition, *Science of The Total Environment* št. 409, str. 3309–3324, 2011.

- Lorimer, W. V., Lillis, R., Fischbein, A., Daum, S., Anderson, H., Wolff, M. S., Selikoff, I. J., Health status of styrene-polystyrene polymerization workers, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, povzeto 25. 10. 201 po: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?/temp/~Wmt7mD:7>, 1978.
- Lozoya, J. P., Teixeira de Mello, F., Carrizo, D., Weinstein, F., Olivera, Y., Cedres, F., Pereira, M., Fossati, M., Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este: Unseen critical residents?, *Environmental Pollution*, št. 218, str. 931–941, 2016.
- Marchetti M., Shaffer M.S., Zambianchi M., Chen S., Superti F., Schwander S., Gow A., Zhang J.J., Chung K.F., Ryan M.P., Porter A.E., Tetley T.D., Adsorption of surfactant protein D from human respiratory secretions by carbon nanotubes and polystyrene nanoparticles depends on nano-material surface modification and size, *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, povzeto 12. 11. po: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25533095>, 2014.
- Maul, J., Frushour, B. G., Kontoff, J. R., Eichenauer, H., Ott, K. H., Schade, C., Polystyrene and Styrene Copolymers, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Wiley-VCH, Weinheim*, 2007.
- Mazij, A., Skladiščenje blokov iz ekspaniranega polistirena, *Diplomska naloga*, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo (samozaložba A. Mazij): 101 f., 1998.
- Mehdi, S. E., Biodegradation of Bioplastic in Natural Environments. *Waste Management*, št. 11, 2016.
- Mihai, M., Huneault, M. A., Favis, B. D., Foaming of Polystyrene/Thermoplastic Starch Blends, *Journal of Cellular Plastics*, št. 43, str. 215–236, 2007.
- Miranda, de A. D., de Carvalho-Souza, F. G., Are we eating plastic-ingesting fish?, *Marine Pollution Bulletin*, št. 103, str. 109–114, 2016.
- Multi-plastics, povzeto 20. 10. 2016 po: <http://www.multi-plastics.com/ops-sheet-oriented-polystyrene/>, 2016.
- Murphy P.G., Mac Donald D.A., Lickly T.D., Styrene migration from general-purpose and high-impact polystyrene into food-simulating solvents, *Food and Chemical Toxicology*, povzeto 2. 11. 2016 po: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?/temp/~lqm1pT:11:@od@@/cgi-bin/sis/search2/d?/temp/~ziAOtu:0@>, 2006.
- Nasser, F., Secreted protein eco-corona mediates uptake and impacts of polystyrene nanoparticles on *Daphnia magna*, *Journal of Proteomics*, št. 137, str. 45–51, 2016.
- NEOPOR EPD, Extruded Polystyrene Foam Insulation with infra red absorbers, *Environmental Product Declaration according to ISO 14025*, povzeto 16. 4. 2017 po: http://www.neopor.basf.us/files/pdf/neopor_EPD_20kg.pdf, 2014.
- Neotherm Ltd., povzeto 22. 10. 2016 po: http://www.neotherm.ie/neographite_031_graphite_enhanced_polystyrene.html, 2016.
- NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0571.html>, 2016.
- NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health, Occupational Health Guideline for Styrene, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0571.pdf>, 1978.
- NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health, Styrene, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0073.html>, 2007.
- Norton, J., Blue Foam, Pink Foam and Foam Board, *Antenociti's Workshop*, 2008.
- NTP, National Toxicology Program, 12th Report on Carcinogens, povzeto 29. 10. 2016 po: <https://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/roc/index.html>, 2011.
- NYT, The New York Times, Suffolk Votes A Bill to Ban Plastic Bags, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.nytimes.com/1988/03/30/nyregion/suffolk-votes-a-bill-to-ban-plastic-bags.html>, 1988.
- OEHHA, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Styrene, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://oehha.ca.gov/chemicals/styrene>, 1999.
- Ordinances, Chapter 33 styrofoam ordinances, povzeto 22. 10. 2016 po: http://www.freeportmaine.com/inc/scripts/file.php?file_id=1060, 2012.
- OSHA, Occupational Safety and Health Administration, Styrene, povzeto 24. 10. 2016 po: <https://www.osha.gov/SLTC/styrene/index.html>, 2016.
- OSHA, Occupational Safety and Health Administration, Styrene, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/100425.html>, 1994.
- Pharos Project, Hexabromocyclododecane, povzeto 3. 11. 2016 po: <https://www.pharosproject.net/material/show/2004475>, 2013.
- Pol V.G., Upcycling: converting waste plastics into paramagnetic, conducting, solid, pure carbon microspheres, *Environmental Science and Technology*, 2010.
- PPC, Polystyrene packaging council, Polystyrene recycling, povzeto 26. 10. 2016 po: <http://pspc.intoweb.co.za/index.php?page=recycle1>, 2009.
- PPD, Polymer Properties Database, Polystyrenes, povzeto 10. 11. 2016 po: <http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polystyrene%20type.html>, 2015.
- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu, *Ur. l. RS*, št. 100/2001, 39/2005, 53/2007, 102/2010, 43/2011, 38/2015.
- Rosato, V. D., Rosato, V. D., *Plastics, Reinforced Plastics Handbook*, str. 109–211, 2005Quan, J., Letter to Public Works Committee, povzeto 28. 10. 2016 po: <http://clerkwebsvr1.oaklandnet.com/attachments/13659.pdf>, 2006.

- Saido, K., Koizumi, K., Sato, H., Ogawa, N., Bum Gun Kwon, Cung, Y., Kusui, T., Nishimura, M., Kodera, Y., New analytical method for the determination of styrene oligomers formed from polystyrene decomposition and its application at the coastlines of the North-West Pacific Ocean, *Science of The Total Environment*, str. 473–474, str. 490–495, 2014.
- Saikia, N., de Brito, J., Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation, *Construction and Building Materials*, št. 34, str. 385–401, 2012.
- Sakamoto, H., Matsuzawa, A., Itoh, R., Tohyama, Y., Quantitative Analysis of Styrene Dimer and Trimers Migrated from Disposable Lunch Boxes, *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, št. 41, str. 200–205, 2000.
- Samimi, B., Falbo, L., Monitoring of workers exposure to low levels of airborne monomers in a polystyrene production plant, *American Industrial Hygiene Association Journal*, št. 43, str. 858–862, 1982.
- Samimi B., Falbo L., Monitoring of workers exposure to low levels of airborne monomers in a polystyrene production plant, *American Industrial Hygiene Association Journal*, povzeto 21. 10. 2016 po: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~Wmt7mD:1>, 1982.
- Sanchez, K., San Jose Approves Styrofoam Ban, NBC, povzeto 21. 10. 2016 po: <http://www.nbcbayarea.com/news/local/San-Jose-Set-to-Ban-Styrofoam-221354051.html>, 2013.
- Schröter, W., Lautenschläger, K. H., Bibrack, H., Schnabel, A., Kemija splošni priročnik, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 1993.
- Singh, P., Sharma, V. P., Integrated Plastic Waste Management: Environmental and Improved health Approaches, *Procedia Environmental Science*, št. 35, str. 692–700, 2016.
- Sun, Y., Toloken, N., Chona moves to end its ban on PS food packaging, *Plastic News*, povzeto 26. 10. 2016 po: <http://www.plasticsnews.com/article/20130321/NEWS/130329979/china-moves-to-end-its-ban-on-ps-food-packaging>, 2013.
- Stamm, R., More Impending Changes in the Insulation Market, povzeto 3. 11. 2016 po: <https://www.pharosproject.net/blog/show/203/polystyrene-changes>, 2015.
- Turner, A., Rees, A., The Environmental Impacts and Health Hazard of Abandoned Boats in Estuaries, *Regional Studies in Marine Science* št. 6, str. 75–82, 2016.
- Uredba (EU) št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS.
- Uredba GHS, Uredba (ES) št. 1272/2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi, o spremembi in razveljavitvi direktiv 67/548/EGS in 1999/45/ES ter spremembi Uredbe (ES) št. 1907/2006.
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., R. Janssen, C., Microplastics in Sediments: A Review of Techniques, Occurrence and Effects, *Marine Environmental Research*, št. 111, str. 5–17, 2015.
- Venet, T., Campo, P., Thomas, A., Cour, C., Rieger, B., Cosnier, F., The tonotopicity of styrene-induced hearing loss depends on the associated noise spectrum, *Neurotoxicology and Teratology* št. 48, str. 56–63, 2015.
- Verma, R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., Gowda, A. N. S., Toxic pollutants from plastic waste, *Procedia Environmental Science* št. 35, str. 701–708, 2016.
- WHO, World Health Organisation, povzeto 28. 10. 2016 po: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/styrene/en/, 1996.
- Williams, T. A., G. Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G., Cervantes, O., M. Botero, C., Litter Impacts on Scenery and Tourism on the Colombian North Caribbean coast, *Tourism Management*, št. 55, str. 209–224, 2016.
- Wunsch, J. R., Polystyrene – Synthesis, Production and Applications, iSmithers Rapra Publishing, str. 15, 2012.
- XPSA, Extruded Polystyrene Foam Association, Q and A on flame retardants and XPS foam insulation, povzeto 3. 11. 2016, po: http://www.xpsa.com/pdf/XPSA_QA_on_HBCD_and_DfE_Report_Final.pdf, 2012.
- XPS EPD, Extruded Polystyrene Foam Insulation, Environmental Product Declaration according to ISO 14025 and EN 15804, povzeto 16. 4. 2017 po: http://italy.ediltec.com/upload/pdf/EXIBA_EPD_XPS.pdf, 2014.
- Yanagiba, Y., Ito, Y., Yamanoshita, O., Zhang, S. Y., Watanabe, G., Taya, K., Li, C. M., Inotsume, Y., Kamijima, M., Gonzalez, F. J., Nakajima, T., Styrene Trimer May Increase Thyroid Hormone Levels via Down-Regulation of the Aryl Hydrocarbon Receptor (AhR) Target Gene UDP-Glucuronosyl-transferase, *Environmental Health Perspectives*, št. 116, str. 740–5, 2008.
- Yassi, A., Kjellström, T., de Kok, T., Guidotti, T., Basic Environmental Health, Oxford, Oxford University Press, 2001.
- Zhen, Y., Yong, J., Songting, G., Huizhu, Z., Reclamation of styrene monomer from waste polystyrene plastics by catalytic degradation, *Huanjing Kexue*, str. 43–45, str. 93–94, 1997.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA - VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Andraž Kovačič, Račun požarne odpornosti aluminijastih konstrukcij, mentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96501>

Anita Kaplan, Ukrepi za izboljšanje prometne varnosti ceste R2 419-1204 in v križišču z LC 394011, mentor doc. dr. Peter Lipar, somentor asist. dr. Niko Čertanc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=94554>

Helena Pavlin, Vpliv obdobja gradnje na energetske učinkovitost stavb, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96487>

Dejan Bizjak, 2D-toplotna analiza stavbnega ovoja na podlagi 3D-modela, mentor doc. dr. Mitja Košir; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96484>

Nejc Podjed, Energetska obnova kulturno zaščitene stavbe na Spodnjem Brniku, mentor doc. dr. Roman Kunič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95445>

Dejan Savanovič, Preverba že izračunane energetske izkaznice večstanovanjske stavbe s predlogi izboljšanja izolativnosti stavbnega ovoja, mentor doc. dr. Roman Kunič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96499>

Janez Breznikar, Ocena potresne odpornosti montažne armiranobetonske hale, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek, somentor dr. Anže Babič; <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=105176&lang=slv>

I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Nina Košnik, Cene zemljišč na različnih razvojnih stopnjah v Zasavski statistični regiji, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač, somentor asist. mag. Matija Polajnar; <https://repozitorij.uni-lj.si/info/index.php/slo/>

Sara Bečirevič, Vpliv oblikovanja stavbnega volumna na energetske bilanco in osončenost ovoja, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96494>

Marko Jagodič, Analiza odseka Viške ceste v Ljubljani z namenom izboljšanja prometne varnosti, mentor doc. dr. Peter Lipar, somentor asist. dr. Niko Čertanc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95586>

Maksimilijan Burger, Eksperimentalno podprto določanje vlažnosti cementnih estrihov z uporabo neporušnih metod, mentor prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor doc. dr. Jure Kokalj; <https://repozitorij.uni-lj.si/info/index.php/slo/>

Andrej Turk, Prenova stavbe v skladu s trenutno zakonodajo in zahtevami po skoraj nič-energijski stavbi, mentor doc. dr. Roman Kunič, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/info/index.php/slo/>

Klemen Strle, Analiza in izboljšanje prometne varnosti na cestah in križiščih v vasi Matena, mentor doc. dr. Peter Lipar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95013>

Simon Arčan, Mehansko obnašanje toplotno izoliranih temeljev, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentor doc. dr. Boštjan Pulko; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=94831>

Urban Bračko, Ureditev prometa ob skalalnici v Šiški, mentor doc. dr. Peter Lipar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95048>

Ana Likovič, Nosilnost hladno oblikovanih jeklenih opogibnih nosilcev, mentor doc. dr. Primož Može; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96489>

Domen Štihec, Analiza energetskih izkaznic pred in po prenovi eno in večstanovanjskih stavb v Pomurski regiji, mentor doc. dr. Roman Kunič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95438>

Uroš Jotanovič, Ureditev umiritive prometa na območju Zelene jame, mentor doc. dr. Peter Lipar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95581&lang=slv>

Benjamin Cerar, Razpokanost natezno obremenjenega armiranobetonskega elementa, mentor doc. dr. Drago Saje, somentor izr. prof. dr. Sebastjan Bratina; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96483>

Luka Mehle, Analiza cestnega omrežja v občini Grosuplje, mentor doc. dr. Tomaž Maher; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96473>

Marko Nusdorfer, Toplotna prevodnost gradbenih materialov, mentor prof. dr. Zvonko Jagličič, somentor asist. dr. David Antolinc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95434>

Luka Gradišar, Uporaba BIM za aplikacije virtualne resničnosti v gradbeništvu, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96474>

Ivan Ribežl, Projekt jeklene hale s preprostim konstrukcijskim sistemom, mentor doc. dr. Primož Može; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96481>

Blaz Božič, Pregled porušnih mehanizmov natezno obremenjenih bukovih desk, mentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan, somentorja doc. dr. Aleš Straže in strok. sod. Mitja Plos; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95444>

Aleksander Felc, Projektna rešitev detajla stika medetažne plošče z monolitnim opečnim zidom, mentor prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. dr. David Antolinc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96492>

Jaka Jerala, Normativi za kanalizacijska dela, mentorica prof. dr. Jana Šelih, somentorja Ivan Rus in viš. pred. dr. Aleksander Srdić; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96486>

Matija Majhen, Nedestruktivno razvrščanje lesa in trdnostne razrede, mentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan, somentor strok. sod. Mitja Plos; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95447>

Tim Mikuletič, Raba kemijskih dodatkov za pospešitev konsolidacije morskih muljev, mentorica izr. prof. dr. Ana Petkovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95116&lang=slv>

Matija Mugerli, Statična analiza večetažne zidane stavbe v Hrpeljah, mentor izr. prof. dr. Sebastjan Bratina; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96482>

Jan Pribošek, Račun energetskih parametrov hidroelektrarne, mentor doc. dr. Andrej Kryžanowski; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95443>

Jernej Radakovič, Izbrina optimalne rešitve za priključitev OPPN za obrtno cono Trebnje na R1-215/1162, mentor doc. dr. Tomaž Maher; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96472>

Jure Starc, Izdelava računalniškega programa za dimenzioniranje naknadno prednapetih betonskih nosilcev, mentor doc. dr. Jože Lopatič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95446>

Gašper Mauko, Predlog ureditve sanitarij in informacijske poti na Zdravstveni fakulteti Univerze v Ljubljani po načelih univerzalnega načrtovanja, mentorica doc. dr. Mateja Dovjak, somentorica mag. Alenka Plemelj; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96493>

I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Rok Indihar, Sanacija odtočnih razmer na jezu na Tržiški Bistrici, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor viš. pred. dr. Gašper Rak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95588>

Timotej Jurček, Račun odtoka s površnega dela Gradaščice, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentor asist. dr. Nejc Bezak; <https://repozitorij.uni-lj.si/Iskanje.php?lang=slv>

Jure Mlekuž, Določanje stabilnosti valobrana po metodi Sainflou, mentor izr. prof. dr. Dušan Žagar, somentor izr. prof. dr. Janko Logar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=94834>

Mirko Krsmanovič, Uporaba metode sledenja delcev za širjenje mikroplastike v Severnem Jadranu, mentor izr. prof. dr. Dušan Žagar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95580>

Borut Mavc, Račun vala vsled morebitne porušitve pregrade Loče, mentor prof. dr. Matjaž Četina; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96480>

Rebeka Rošar, Analiza sestave in vrednosti gospodinjske porabe vode in njihove prognoze, mentor prof. dr. Franc Steinman, asist. dr. Daniel Kozelj; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95587>

Katarina Vodeb, Primerjava obstoječe mehansko-biološke čistilne naprave z rastlinsko čistilno napravo, mentor doc. dr. Mario Krzyk; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95115>

Klavdija Golja, Obvladovanje onesnaževanja voda z območij izvajanja gradbenih del, mentor doc. dr. Simon Rusjan, somentor prof. dr. Matjaž Mikoš; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95111>

Urška Maček, Analiza trendov evapotranspiracije v Sloveniji, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentor asist. dr. Nejc Bezak; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96479>

Urban Perme, Makroekonomski učinki poplav, mentor doc. dr. Primož Banovec, somentorica prof. dr. Polona Domadenik; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96491>

Miha Došler, Simulacija toka v Slivniškem jezeru z dvodimenzionalnim matematičnim modelom, mentor prof. dr. Matjaž Čefina; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96488>

Tina Hostinger, Pristopi k decentraliziranemu gospodarjenju z vodo: primer objekta AMASIKO, Uganda, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentorica doc. dr. Nataša Aтанасова; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96498>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

David Pukšič, Požarna varnost industrijskih objektov, mentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan, somentor Janko Merc; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=94886>

Gregor Žvab, Hidravlična analiza vtočnih razmer črpalk za hladilne stolpe, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor mag. Franci Vehar; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95440>

Lucija Strmšek, Primerjava standardnih in naprednih metod preiskav cementnih kompozitov pri zgodnjih starostih, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor dr. Gregor Trtnik; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96466>

Samo Saje, Globalna parametrizacija modelov BIM za infrastrukturne objekte, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96468>

Matic Skajla, Sistemi za odvzem električne energije v napravah za izkoriščanje energije morskih valov, mentor izr. prof. dr. Dušan Žagar, somentor dr. Andreas Kortenhaus; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=94811>

Martin Hostnik, Numerično modeliranje brizganega betona z uporabo naprednih konstitutivnih modelov, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentorja dr. Jure Klopčič in dr. Jurij Karlovšek; <https://repositorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=105135&lang=slv>

Lenart Ugovšek, Umestitev in analiza delovanja poplavnih zadrževalnikov na reki Dreti, mentor doc. dr. Simon Rusjan, somentor prof. dr. Mitja Brilly; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95477>

Nika Šubic, Izboljšanje akustične klime prostorov v vzgojno varstvenih ustanovah z upoštevanjem psihofizičnega odziva uporabnikov, mentor doc. dr. Roman Kunič, somentorica doc. dr. Mateja Dovjak; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96463>

Adis Sinanović, Projekt 30 etažne jeklene stavbe, mentor doc. dr. Primož Može; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96469>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Tilen Koranter, Načrtovanje ukrepov za zagotovitev prehodnosti za vodne organizme na Savi Bohinjki pri jezu HE Soteska, mentor doc. dr. Andrej Kryžanowski, somentorja mag. Zoran Stojčič in viš. pred. mag. Jošt Sodnik; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95435>

Petra Šinkovec, Izdelava detajlnega hidravličnega modela Ljubljanske odseku ob Špici, mentor doc. dr. Simon Rusjan, somentorja viš. pred. dr. Gašper Rak in viš. pred. mag. Andrej Vidmar; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95436>

Manca Petek, Analiza erozivnosti padavin v Sloveniji, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor asist. dr. Nejc Bezak; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=96389>

Miha Kračun, Modeliranje transporta sedimentov v plitvi akumulaciji za oceno vpliva sedimentov na njeno sposobnost zadrževanja visokih voda, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentorja doc. dr. Primož Banovec in viš. pred. dr. Gašper Rak; <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=95439>

III. STOPNJA - DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Gašper Rak, Topološka struktura vodne gladine na sotočju pri deročem toku, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor prof. dr. Marko Hočevar; <https://repositorij.uni-lj.si/Iskanje.php?lang=slv>

Anže Babič, Potresni obremenitveni test za montažne armiranobetonske hale, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek; <https://repositorij.uni-lj.si/Iskanje.php?lang=slv>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO

I. STOPNJA - VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Fitim Vežaj, Organizacija gradbišča, tehnološki procesi in terminsko planiranje gradnje trgovskega objekta v Zrečah, mentor izr. prof. dr. Uroš Klanšek, somentor asist. Zoran Pučko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=68096>

Gabrijel Vourj, Mehanska odpornost opečnih zidov in omejitve pri načrtovanju večjih eno volumenskih objektov, mentor doc. dr. Mojmir Uranjek, somentor doc. dr. Iztok Peruš; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=68157>

1. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Študij so zaključili z diplomskim izpitom:

Nastja Belak, Josipa Blažeka, Dejan Brečko, Manca Fale, Nina Ratnik, Jure Tacer, Rok Varga, Urška Žuran

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Amanda Jus, Uporaba, potenciali in izzivi informacijskega modeliranja gradenj (BIM) v Sloveniji, Avstriji, Nemčiji in Švici, mentor doc. dr. Andrej Tibaut, somentorica Associate Prof. Dipl. Ing. Dr. tech. Iva Kovačič; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=68150>

Mateja Kovačič, Primerjalna analiza med armiranobetonskim in sovprežnim mostom, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor Aljoša Klobučar, univ. dipl. inž. grad.; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67993&lang=eng>

Vid Lešič, Vpliv modeliranja polnil v analizi potresnega obnašanja armiranobetonskih okvirjev, mentor izr. prof. dr. Matjaž Skrinar, somentor doc. dr. Iztok Peruš; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67988>

Alenka Pirc, Celostno informacijsko modeliranje projekta za izgradnjo kanalizacijskega sistema v Krškem, mentorica doc. dr. Nataša Šuman, somentor asist. Zoran Pučko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=68040>

Iztok Videmšek, Sedemetažni jekleni poslovno-komercialni objekt 20 m x 20 m x 30 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentorja doc. dr. Tomaž Žula in doc. dr. Simon Šilih; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67561&lang=slv>

Tadej Vidnar, Analitični in numerični izračun faktorja varnosti nasipov iz armirane zemljine za MSN, mentor doc. dr. Borut Macuh, somentor Dipl.-Ing. Dr. Christian Lackner; <https://dk.um.si/>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

1. STOPNJA - INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

Študij so zaključili z diplomskim izpitom:

Tamara Bračko, Matias Iskra, Jernej Lončarič, Matic Reberčnik, Aleš Šegula, Špela Tropenauer, Anže Zdravce

2. STOPNJA - INTERDISCIPLINARNI MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

Gašper Lužnic, Zasnova in izgradnja armiranobetonske skladiščne hale ter stroškovna upravičenost investicijskega projekta, mentorja red. prof. dr. Andrej Štrukelj in izr. prof. dr. Karin Širec, somentor doc. dr. Bojan Čas; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67710>

Maša Rožej, Investicijska študija energetske prenove stavbe zdravstvenega doma Ravne na Koroškem, mentorica doc. dr. Nataša Šuman in izr. prof. dr. Karin Širec; somentorica asist. Maja Žigart; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67937>

Hana Sovič, Vrednotenje vseživljenjskih stroškov pri trajnostni prenovi večstanovanjske stavbe, mentorja doc. dr. Nataša Šuman in izr. prof. dr. Matjaž Denac; <https://dk.um.si/>

Dejan Žizek, Investicijska študija graditve enodružinskih hiš v naselju Rakičan, mentorja doc. dr. Nataša Šuman in doc. dr. Igor Vrečko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67712>

Rubriko ureja • Eva Okorn, gradb.zveza@siol.net

KOLEDAR PRIREDITEV

10.11.2017

18. Šukljetov dan

Brdo pri Kranju, Slovenija

<http://sloged.si/>

20.-22.11.2017

ICCEN 2017 – 6th International Conference on Civil Engineering

Brisbane, Avstralija

www.iccen.org/

21.11.2017

ICE TAM 2017 - ICE Transport Asset Management 2017

London, Anglija

www.ice-tam.com

22.-23.11.2017

24th international conference Concrete Days 2017

Litomyšl, Češka

www.cbsbeton.eu/en/seminars/odborne-akce/blog

23.11.2017

11. mednarodna konferenca o predorih in podzemnih objektih

Ljubljana, Slovenija

www.ifa-slovenia.si

30.11.2017

39. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

Ljubljana, Slovenija

www.sdgk.si

30.11.-1.12.2017

16. kolokvij o asfaltnih, bitumnih in voziščih

Bled, Slovenija

<http://zdruzenje-zas.si/kolokvij/>

6.12.2017

28. Mišičev vodarski dan 2017

Maribor, Slovenija

www.vgb.si/p/si/srecanja-in-dogodki/miscev-vodarski-dan.php

6.-8.12.2017

2017 ABC Conference – 2017 National Accelerated Bridge Construction Conference

Miami Florida, Združene države Amerike

<https://abc-utc.fiu.edu/>

11.-13.12.2017

ICAMC 2017 – 3rd International Conference on Architecture, Materials and Construction

Amsterdam, Nizozemska

www.icamc.org/

25.-26.1.2018

ICCEBM 2018 – 20th International Conference on Civil Engineering and Building Materials

Pariz, Francija

www.waset.org/conference/2018/01/paris/ICCEBM

8.-10.3.2018

ICACE 2018 – International Conference on Architecture and Civil Engineering 2018

Hong Kong, Kitajska

<http://icace.coreconferences.com/>

11.-13.3.2018

ICCUE 2018 – 5th International Conference on Civil and Urban Engineering

Barcelona, Španija

<http://www.iccue.org/>

15.-16.3.2018

ICCEABME 2018: 20th International Conference on Civil Engineering, Architecture, Building Materials and Environment

Pariz, Francija

www.waset.org/conference/2018/03/paris/ICCEABME

8.-10.4.2018

ICESDP'18-3rd International Conference on Environmental Sustainability, development, and Protection

Budimpešta, Madžarska

<http://icesdp.com/>

8.-10.4.2018

ICGRE'18-3rd International Conference on Geotechnical Research and Engineering

Budimpešta, Madžarska

<http://icgre.org/>

6.-10.5.2018

IAS/PCA – 2018 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference

Nashville, Texas, Združene države Amerike

www.cementconference.org/

22.-24.5.2018

S.ARCH 2018 – The 5th International Conference on Architecture and Built Environment with AWARDS

Benetke, Italija

<http://s-arch.net/>

28.-31.10.2018

IALCCE 2018 – The 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering

Genf, Belgija

www.ialcce2018.org/#/home

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net