



Center za fizikalne meritve

Laboratorij za meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov

Oznaka: LMSAR-20210042

Revizija: 2. faza

Datum: 3.11.2021

Študija identifikacije in primernosti gradbenega materiala za uporabo z vidika izpostavljenosti naravnim radionuklidom

2. faza: Poročilo o meritvah

Naročnik: Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje
Uprava RS za jedrsko varnost
Litostrojska cesta 54
1000 Ljubljana

Kontaktna oseba: dr. Polona Tavčar

Pogodba: številka C2553-21-430013 z dne 5.7.2021
Projektna naloga št. 430-13/2021/1 z dne 24.5.2021

Meritve in vzorčenje: Manca Podvratnik
Peter Jovanovič
dr. Marko Giacomelli

Prejeli: Dokument je izdelan v elektronski obliki, vsebuje skupaj 35 strani. Objava, posredovanje in uporaba kakršnih koli podatkov iz dokumenta je dovoljena le ob predhodnem soglasju naročnika!
→ naročnik (gp.ursjv@gov.si)
→ Arhiv ZVD
Pokažite skrb za okolje in ne tiskajte dokumenta, če ni potrebno.



Izdelala: MANCA PODVRATNIK, univ. dipl. fiz., mag. med. fiz.

Pregledal: dr. MARKO GIACOMELLI, univ. dipl. fiz.

0 | Kazalo

1	Uvod	4
1.A	Program meritev	5
2	Analiza trga in ponudnikov	6
2.A	Opeka za gradnjo in predelne stene	6
2.B	Notranji ometi	9
2.C	Keramika	11
3	Vzorčenje	14
4	Opis merilne metode	16
4.A	Priprava vzorcev	16
4.B	Metoda visokoločljivostne spektrometrije gama	16
4.C	Skladnost s standardom SIST-TS CEN/TS 17216:2019	16
5	Rezultati	18
6	Primerjava rezultatov z literaturo	31
7	Zaključek	34
8	Reference	35

1 | Uvod

Pri izdelavi gradbenega materiala se uporabljajo naravne surovine in industrijski stranski proizvodi, ki vsebujejo naravne radioaktivne izotope, ki so prisotni v zemeljski skorji. To so predvsem radioaktivni izotop kalija K-40 ter izotopi uranove U-238 in torijeve Th-232 razpadne verige. Radionuklidi v gradbenih materialih lahko povzročajo obsevanost ljudi, ki bivajo v zaprtih prostorih, bodisi preko direktnega obsevanja bodisi preko vdihavanja kratkoživih potomcev radona (v manjši meri tudi torona). Po eni strani zaprti prostori nudijo zaščito pred zunanjim (kozmičnim) sevanjem, po drugi strani pa so gradbeni materiali sami vir sevanja. Kadar vsebujejo povišane koncentracije radionuklidov, so v prostorih povišane tudi ravni sevanja ali koncentracije radona in povzročajo sevalne obremenitve prebivalstva.

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1 [1]) v 64. členu ureja zunanjo izpostavljenost ionizirajočemu sevanju, ki izvira iz gradbenih materialov, in ukrepe za zmanjšanje izpostavljenosti njihovem sevanju. Zakon določa, da je pred prosto prodajo gradbenega materiala z meritvami potrebno določiti specifične aktivnosti naravnih radionuklidov, ki jih vsebuje, kar je v slovenski pravni red uvedla Direktiva Sveta 2013/59/Euratom o določitvi temeljnih varnostnih standardov za varstvo pred nevarnostmi zaradi ionizirajočega sevanja [2]. Referenčno raven za gradbene materiale in metodologijo za odločanje o primernosti uporabe teh materialov določa Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji (uredba UV2 [3]). Okvirni seznam vrst surovin za gradbene materiale, ki lahko povzročijo čezmerno izpostavljenost ionizirajočemu sevanju, je naveden v prilogi UV2:

- Materiali v naravni obliki
 - **skrilati glinavci**, vrsta kamnine, ki so nastale s sprijetjem gline
 - **granitoidi**, generični izraz za raznoliko kategorijo grobozrnate magmatske kamnine, na primer graniti, sienit in ortognajs
 - **porfir**, skupno ime za magmatske kamnine z velikim deležem ortoklaza in obarvanih mineralov, s porfirsko strukturo (se lahko uporablja pri izdelavi šamota)
 - **tuf**, sprijeta sedimentna kamnina, ki nastane v procesu strjevanja pod velikim pritiskom iz zelo majhnih delcev
 - **pucolan**, pucolanski pepel, finoiznat vulkanski pepel
 - **lava**
- Materiali z ostanki iz industrij, ki predelujejo naravno prisoten radioaktivni material, kot so:
 - **elektrofiltrski pepel**, pepel, ki nastaja kot stranski proizvod pri proizvodnji električne energije, v preteklosti se je uporabljal pri proizvodnji različnih gradbenih izdelkov, npr. opečnih zidakov,
 - **fosforna sadra**, nastaja kot stranski produkt pri proizvodnji fosforne kisline, vsebuje primesi, sadra se uporablja kot dodatek portlandskemu klinkerju za proizvodnjo cementa, pri proizvodnji mavca, ometov, malte, izravnalnih mas, mavčnih plošč, zidakov, estrihov
 - **fosforna žlindra**, žlindra je stranski produkt taljenja rude, s katerim se loči zelene kovinske frakcije od neželenih, fosforna žlindra je stranski proizvod pri proizvodnji fosforja
 - **kositrna žlindra**, stranski proizvod pri proizvodnji kositra
 - **bakrova žlindra**, stranski proizvod pri proizvodnji bakra
 - **rdeče blato**, ostanek pri proizvodnji aluminija

– ostanki pri proizvodnji jekla

Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV) v Sloveniji izvaja nadzor splošne radioaktivnosti v okolju. Za leto 2021 so izdelali Projektno nalogo številka 430-13/2021/1: *Študija identifikacije in primernosti gradbenega materiala za uporabo z vidika izpostavljenosti naravnim radionuklidom*, ki predvideva meritev 40 vzorcev gradbenega materiala z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Meritve po tej nalogi lahko izvajajo pooblaščen izvedenci varstva pred sevanji, ki so za izvajanje teh meritev pridobili pooblastilo po zakonu, ki ureja varstvo pred ionizirajočimi sevanji in jedrsko varnost [1]. Podobna projektna naloga je bila izvedena tudi v letu 2008, rezultati pa so predstavljeni v poročilu IJS-DP-10050: *Radioaktivnost gradbenih materialov in gradbenih elementov v visoki gradnji v Sloveniji* [4], kjer so pregledali gradbene materiale, ki so se proizvajali ali uporabljali na področju Slovenije takrat in v preteklosti. Z metodo visokoločljivostne spektrometrije gama so določili specifične aktivnosti radioizotopov pri 69 vzorcih zidakov, strešnikov, materialov za oblaganje in naravnih kamnov ter 16 vzorcev vhodnih surovin kot so pesek, cement, apno.

1.A | Program meritev

Namen projektne naloge 430-13/2021/1 je identificirati gradbeni material, ki se uporablja pri nas in ki bi, glede na okvirni seznam iz priloge UV2, lahko vseboval presežene vrednosti naravnih radionuklidov. Za vzorce gradbenih izdelkov je potrebno določiti primernost za splošno uporabo in ukrepe za zmanjšanje obsevanosti ljudi pri uporabi teh materialov. Iz študije je izvzet že vgrajeni material.

Projektna naloga je razdeljena v dve fazi. V okviru prve faze je potrebno narediti raziskavo trga in identificirati gradbeni material, ki bi lahko vseboval presežene vrednosti naravnih radionuklidov. Druga faza pa vključuje vzorčenje, pripravo vzorcev za analizo in analizo vzorcev ter izdelavo končnega poročila. Program meritev je opisan v projektni nalogi, in obsega meritve :

- 20 vzorcev opeke za gradnjo in predelne stene,
- 15 vzorcev keramike za notranjo uporabo,
- 5 vzorcev notranjih ometov.

Iz analize so bili izvzeti nekateri drugi gradbeni proizvodi, ki bi tudi lahko vsebovali povišane ravni naravnih sevalcev (kot npr. izdelki iz naravnega kamna, kamena volna), saj so bili vključeni v drugih nedavnih projektih nadzora naravne radioaktivnosti, ki jih izvaja URSJV [5][6][7][8].

Na podlagi analize vzorcev je potrebno podati oceno primernosti predvidene uporabe posameznega materiala. Mejne vrednosti vsebnosti naravnih radionuklidov obravnava UV2, in sicer v 28. in 29. členu določa mejno koncentracijo za K-40 3.000 Bq/kg, Ra-226 300 Bq/kg in Th-232 200 Bq/kg. V uranovi razpadni verigi so za obsevanost najpomembnejši izotopi od radija Ra-226 naprej, zato se namesto mejne vrednosti za U-238 uporablja mejna vrednost za Ra-226. Uredba UV2 tudi določa način izračuna indeksa specifične aktivnosti za zmesi radionuklidov:

$$\text{indeks} = \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_K}{3000} \quad (1)$$

Indeks specifične aktivnosti za gradbeni material ne sme preseči 1, za materiale za oblaganje pa vrednosti 6.

2 | Analiza trga in ponudnikov

Pri vzorčenju gradbenega materiala, ki smo ga vključili v analizo in ki se uporabljajo za gradnjo stanovanjskih objektov v Sloveniji, smo se osredotočili na izdelke, ki so trenutno dobavljivi na slovenskem trgu. Izdelki, ki so se v preteklosti vgradili v stanovanjske objekte vendar niso več dobavljivi, niso bili vključeni v izbiro vzorcev.

2.A | Opeka za gradnjo in predelne stene

Analize trga ponudnikov gradbenega materiala smo se lotili sistematično, in sicer s pregledom vseh podjetij, ki imajo registrirano dejavnost trgovina na debelo z lesom, gradbenim materialom in sanitarno opremo (na portalu bizi.si) Filtrirali smo izbor na samo tista podjetja, ki prodajajo tudi zidake in imajo več kot 10 zaposlenih. Seznam podjetij je v tabeli 1, poleg so zapisani tudi poglobitvi izdelki, ki so predmet te študije. Trgovin, ki prodajajo zidake za gradnjo bivalnih objektov, je v Sloveniji razmeroma veliko, manj pa je proizvajalcev zidakov. Večinoma trgovci ponujajo podoben nabor izdelkov oziroma imajo enake dobavitelje. V tabeli delujejo povezave na spletne strani trgovcev.

Tabela 1 | Seznam podjetij, ki se ukvarjajo s prodajo gradbenega materiala na debelo

	TOPDOM d.o.o. https://topdom.si/ Dol pri Ljubljani, 50 do 99 zaposlenih Držijo zidake: Goriške opekarne, Wienerberger Ormož, Ytong, Cementni izdelki Gorec, Oblak (vir: spletna stran, obisk prodajaln)
	TERRA - R.B., d.o.o. https://terra-rb.si/ Škofljica, 50 do 99 zaposlenih Držijo zidake: Goriške opekarne, Wienerberger Ormož, Ytong, Cementni izdelki Gorec (vir: telefonski pogovor)
	OBNOVA, Ljubljana, d.o.o. https://www.obnova.si/ Ljubljana, 50 do 99 zaposlenih Držijo zidake: Goriške opekarne, Wienerberger Ormož, Ytong, Cementni izdelki Gorec, Oblak (vir: spletna stran, obisk prodajaln)
	OPEKA, d.o.o. https://www.opeka.si/ Kranj, 20 do 49 zaposlenih Držijo zidake: Goriške opekarne, Wienerberger Ormož, Ytong, Cementni izdelki Gorec (vir: telefonski pogovor)
	APIA d.o.o. https://www.apia.si/sl/ Nova Gorica, 20 do 49 zaposlenih Držijo zidake: Goriške opekarne, Wienerberger Ormož, Ytong, polni iz fasadni zidaki IBL (vir: spletna stran)
	MIX d.o.o. http://www.mix.si/ Ljubljana, 20 do 49 zaposlenih Držijo zidake: Goriške opekarne, Wienerberger Ormož, Ytong, Cementni izdelki Gorec, Cementni izdelki Rojec (vir: telefonski pogovor)
	SEJATEH, d.o.o. https://www.sejateh.si/portal/ Ormož, 10 do 19 zaposlenih Držijo zidake: Wienerberger Ormož, porobeton proizvajalca Porfix (vir: spletna stran, telefonski pogovor)



STIREKS d.o.o.

<https://stireks.si/>

Kamnik, 10 do 19 zaposlenih

Držijo zidake: Goriške opekarne, Wienerberger Ormož, Ytong, Cementni izdelki Gorec, silikatni zidaki Sendwix KM Beta po naročilu (vir: spletna stran, telefonski pogovor)

Daleč največji tržni delež v Sloveniji pokriva podjetje Topdom d.o.o., ki kot krovno podjetje pod svojim okriljem vključuje tudi podjetji Obnova in Domtrade, prodajalne pa imajo v vseh delih Slovenije. Ponudbo različnih trgovcev oziroma posrednikov smo preverili s pregledom njihovih spletnih strani, s telefonskimi pogovori in z obiskom trgovin ter pogovorom s prodajalci. Obiskali smo tudi nekatere manjše trgovce, ki zastopajo tudi druge na slovenskem trgu manj zastopane dobavitelje, z namenom pokriti čim širši nabor izdelkov, in sicer Merkur (Ljubljana), Vsegrad (Novo mesto), Gramat Gril (Grosuplje), Trgoup (Velike Lašče), Tehnoles (Pesnica pri Mariboru), MIT gradnje (Ptuj).

Iz pogovorov lahko povzamemo, da se za veliko večino klasičnih novogradenj v Sloveniji danes uporabljajo opeke Wienerberger Ormož, opeke Goriških opekarn ali zidaki iz porobetona Ytong. V izbor smo vključili tudi betonske zidake, ki se uporabljajo za pozidavo kleti ali kot vogalniki pri klasični gradnji. Veliko novogradenj danes je seveda tudi montažnih, kjer je glavni konstrukcijski material les, različne vrste izolacije, mavčne plošče in ometi. Namen naloge je identificirati gradbene materiale, kjer pričakujemo večjo vsebnost naravnih radioizotopov, zato smo se pri vzorčenju osredotočili predvsem na opečnate zidake, betonske zidake, zidake iz porobetona, ki se izdelujejo iz različnih surovin iz zemeljske skorje (glina, kamnine). Seznam zbranih vzorcev je v tabeli 2.

Tabela 2 | Vzorci opeke za gradnjo in predelne stene

Koda	Opis vzorca	Okvirna sestava	Proizvajalec in mesto vzorčenja
RV3660921 	Go Modul 29-19, modularni opečni zidak, 29x19x19 cm, Goriške opekarne (spletna povezava)	Termično obdelana glina (iz opekarn v Renčah Slovenija)	Goriške opekarne (Renče, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3670921 	Šamotna opeka P3, OGM Vrhnika, 250x125x32 mm (spletna povezava, povezava 2)	Glina, kremenov pesek, visok delež silicijevih in aluminijevih oksidov	OGM Vrhnika (Vrhnika, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3690921 	Šamotna opeka NF-2, OGM Vrhnika, 250x125x65 mm (spletna povezava, povezava 2)	Glina, kremenov pesek, visok delež silicijevih in aluminijevih oksidov	OGM Vrhnika (Vrhnika, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3700921 	Go Max 15 PU, zidak, 500x150x190 mm, Goriške opekarne (spletna povezava)	Termično obdelana glina (iz opekarn v Renčah Slovenija)	Goriške opekarne (Renče, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3710921 	Betonski blok Gorec 20 cm, 190x390x190 mm (spletna povezava, povezava 2)	Pesek, voda, cement	Cementni izdelki Gorec (Velika Loka, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)

nadaljevanje na naslednji strani

Tabela 2 | Vzorci opeke za gradnjo in predelne stene - nadaljevanje s prejšnje strani

Koda	Opis vzorca	Okvirna sestava	Proizvajalec in mesto vzorčenja
RV3720921 	Opažni H-blok Gorec 25 cm, 240x400x190 mm (spletna povezava, povezava 2)	Pesek, voda, cement	Cementni izdelki Gorec (Velika Loka, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3730921 	Modularni zidak iz porobetona ZB30, 30 cm, Ytong, 300x625x200 mm (spletna povezava, povezava 2)	Kremenčev pesek, apno, cement, andrihid/mavec in voda	Ytong, Xella porobeton SI, d.o.o. (Kisovec, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3740921 	Pregradni zidak iz porobetona ZP15, 15 cm, Ytong, 150x625x200 mm (spletna povezava, povezava 2)	Kremenčev pesek, apno, cement, andrihid/mavec in voda	Ytong, Xella porobeton SI, d.o.o. (Kisovec, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3750921 	Opečno-betonski vogalnik 20 cm, Gorec, 190x190x390 cm (spletna povezava, povezava 2)	Pesek, voda, cement, glina	Cementni izdelki Gorec (Velika Loka, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3760921 	Polna opeka, 24x11,8x7,1 cm, Wienerberger Ormož (spletna povezava)	Termično obdelana glina (iz opekarne v Ormožu)	Wienerberger Slovenija (Ormož, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3770921 	Polna opeka, 12x26x6,5 cm, Goriške opekarne (spletna povezava)	Termično obdelana glina (iz opekarne v Renčah Slovenija)	Goriške opekarne (Renče, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV3780921 	Modulblok, modularni zidak, Wienerberger Ormož, 19x29x19 cm (spletna povezava)	Termično obdelana glina (iz opekarne v Ormožu)	Wienerberger Slovenija (Ormož Slovenija), Merkur, Ljubljana (4.8.2021)
RV3800921 	Porotherm 25 S Plus, opečni zidak, Wienerberger Ormož, 37,5x25x23,8 cm (spletna povezava)	Termično obdelana glina (iz opekarne v Ormožu)	Wienerberger Slovenija (Križevci pri Ljutomeru, proizvodnja zidne opeke v Ormožu), Merkur, Ljubljana (4.8.2021)
RV3810921 	Betonski zidak ZB20, GIC gradnje, 190x190x390 mm (spletna povezava, povezava 2)	Pesek, voda, cement	GIC Gradnje (Betonski izdelki Pristava, Pristava pri Mestinju, Slovenija), Merkur, Ljubljana (4.8.2021)
RV3820921 	Opečni zidak Uniblok Mega, Unitherm Hrvaška, 290x500x190 mm (spletna povezava)	Termično obdelana glina (iz Ciglarne Cerje Tužno na Hrvaškem)	Unitherm, Ciglarne Cerje Tužno, Hrvaška (Hrvaška), Vsegrad, Novo mesto (11.8.2021)

nadaljevanje na naslednji strani

Tabela 2 | Vzorci opeke za gradnjo in predelne stene - nadaljevanje s prejšnje strani

Koda	Opis vzorca	Okvirna sestava	Proizvajalec in mesto vzorčenja
RV3830921 	Zidak iz porobetona, Thermostone 100x200x600 mm (spletna povezava, povezava 2)	Kremenčev pesek, apno, cement, voda, dodatki	Thermo Stone d.o.o. (Novska, Hrvaška), Gramat Gril, Grosuplje (11.8.2021)
RV3870921 	Betonski blok BB 20 N, Cementni izdelki Rojec, 390x190x190 mm (spletna povezava)	Pesek, voda, cement	Cementni izdelki Rojec (Ivančna Gorica, Slovenija), Gramat Gril, Grosuplje (11.8.2021)
RV3840921 	Betonski opažnik 25, Cementni izdelki Rojec, 500x200x190 mm (spletna povezava)	Pesek, voda, cement	Cementni izdelki Rojec (Ivančna Gorica, Slovenija), Trgoup, Velike Lašče (12.8.2021)
RV3860921 	Opečni zidak Uniblok 5.4/1, Unitherm Hrvaška, 290x190x190 mm (spletna povezava)	Termično obdelana glina (iz Ciglarne Cerje Tužno na Hrvaškem)	Unitherm, Ciglarne Cerje Tužno, Hrvaška (Hrvaška), MIT gradnje d.o.o., Ptuj (18.8.2021)
RV3850921 	Zidak iz porobetona, Porifex, 500x250x50 mm (spletna povezava)	Kremenčev pesek, apno, cement, voda, dodatki	Porifex (Zemianske Kostolany, Slovaška), Tehnoles, Pesnica pri Mariboru (18.8.2021)

Poleg slike in kratkega opisa se v tabeli nahajajo tudi spletne povezave. S klikom na povezavo se odpre proizvajalčeva oziroma trgovčeva spletna stran s podatki o posameznem izdelku. V tabeli smo navedli tudi okvirno sestavo vzorca po specifikacijah proizvajalca, ki je v nekaterih primerih bolj natančna v drugih pa bolj splošna, odvisno od dostopnosti podatkov. Opečni zidaki se izdelujejo večinoma iz gline in vode, ki jo oblikujejo v končne izdelke in termično obdelajo. Pri betonskih zidkih med vhodne surovine naštevajo pesek, cement, voda in razni dodatki. Porobeton se izdeluje iz kremenčevega peska, apna, cementa, mavca, vode in dodatkov. Pri vseh zidkih se zaradi uporabe sestavin, ki so na tak ali drugačen način pridelane iz naravnih rudnin, pričakuje vsebnost naravnih radionuklidov. Med vzorce smo vključili tudi dva vzorca šamotne opeke, za katere je znano, da vsebujejo nekoliko večji delež radioaktivnih elementov.

2.B | Notranji ometi

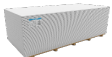
Med vzorce notranjih ometov smo vključili apno, cement, grobe omete, fine omete, gradbeno mivko, estrihe, talne in stenske izravnalne mase. To so izdelki, ki se uporabljajo za ometavnje / izravnavanje / oblaganje notranjosti bivalnih objektov in ki bi tudi lahko prispevali k obsevanosti njihovih prebivalcev. Na področju gradbene kemije je na slovenskem trgu prisotnih relativno veliko ponudnikov: Kema, Baumit, Roefix, Salonit Anhovo, ipd. Zato je vzorčenje potekalo z naključno izbiro vzorcev: z izbiro smo poskušali pokriti več vrst izdelkov in čim več proizvajalcev. Izdelke smo izbrali po posvetu s prodajalci, ki so nam svetovali, kateri izdelki se po njihovih izkušnjah najbolje prodajajo. V to kategorijo smo vključili tudi vzorec mavčne plošče, ki se danes vgrajujejo v praktično vseh novih objektih. Seznam vzorcev je v tabeli 3.

Tabela 3 | Vzorci notranjih ometov

Koda	Opis vzorca	Okvirna sestava	Proizvajalec in mesto vzorčenja
RV2920921 	Cement Cemex, Dalmacija cement, Split, 25 kg (spletna povezava, povezava 2)	Cementni klinker in gips (70 - 78 odstotkov), žindra (21 - 35 odstotkov), dodatki (do 5 odstotkov)	Cemex, Dalmacija cement (Split, Hrvaška), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV2930921 	Zidarski cement (Maltit), Salonit Anhovo, 25 kg (spletna povezava)	25 odstotkov portlandskega cementnega klinkerja, 75 odstotkov mešanega mineralnega dodatka, regulator vezanja – sadra, kemijski dodatki za aeriranje	Salonit Anhovo (Deskale, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV2910921 	Fini ometi Primo 1, Baumit, 25 kg (spletna povezava, povezava 2)	Hidrirano apno, portland cement, apnenčev pesek, dodatki	Baumit (Sežana, Slovenija), Topdom Logatec (3.8.2021)
RV2940921 	Grobi omet Omet-G, suha matna mešanica, Gradbeni materiali d.o.o., Črna na Koroškem (spletna povezava)	Apno, cement, grobi pesek 0 - 4 mm, fini pesek 0 - 1 mm, dodatki	Gradbeni materiali d.o.o. (Črna na Koroškem, Slovenija), Trgoup, Velike Lašče (12.8.2021)
RV2950921 	Hidratizirano apno, Grigolin (spletna povezava, povezava 2)	Kalcijev hidroksid	Grigolin Italija (Nervesa della Battaglia, Italija), Trgoup, Velike Lašče (12.8.2021)
RV2960921 	Mivka, Gradbeni materiali d.o.o., Črna na Koroškem (spletna povezava)	Svetlosiv dolomitiziran apnenec	Gradbeni materiali d.o.o. (Črna na Koroškem, Slovenija), Trgoup, Velike Lašče (12.8.2021)
RV2970921 	Talna izravnalna masa Kema Linea 810 SL (spletna povezava)	Cementno vezana s polimeri obogatena malta	Murexin, gradbeni materiali, d.o.o. (Puconci, Slovenija), Trgoup, Velike Lašče (12.8.2021)
RV2980921 	Knauf Uniflott, izravnalna masa (spletna povezava)	Izravnalna masa na osnovi mavca (kalcijev sulfat v različnih hidratnih fazah)	Knauf Gips KG, Nemčija (Iphofen, Nemčija), Trgoup, Velike Lašče (12.8.2021)
RV2990921 	Kalcitna mivka, Calcit d.o.o. (spletna povezava)	Bel granulirani iz naravnega kalcijevega karbonata	Calcit d.o.o. (Stahovica, Slovenija), Trgoup, Velike Lašče (12.8.2021)

nadaljevanje na naslednji strani

Tabela 3 | Vzorci notranjih ometov - nadaljevanje s prejšnje strani

Koda	Opis vzorca	Okvirna sestava	Proizvajalec in mesto vzorčenja
RV3000921 	Mavčna plošča, Norgips, tip A, navadna bela, debelina 15,2 mm (spletna povezava)	Mavec, karton, dodatki za vodoodpornost	Knauf Belchatow, Poljska (Opole, Poljska), Suga, Vrhnika (10.8.2021)

V tabeli so navedene sestave vzorcev, ki jih navajajo proizvajalci. Med vzorci je nekaj vrst cementa, ki se izdeluje s termično obdelavo apnenca, gline (oziroma laporja) z različnimi dodatki. Med vhodnimi sestavinami so tudi mavec, apno, pesek, mivka, dodatki. Poleg opisa vzorcev delujejo povezave do proizvajalčevih spletnih strani s podatki o izdelku. V analizo smo vključili 10 vzorcev, kar je več, kot predvideva projektna naloga. Priprava vzorcev notranjih ometov je enostavnejša, kot pri kosovnih izdelkih. Tako smo lahko pokrili malenkost širši izbor izdelkov, ki jih je na trgu izjemno veliko.

2.C | Keramika

Izbira izdelkov sanitarne keramike oziroma keramike za notranjo uporabo na slovenskem in tudi tujih trgih je zelo velika. Zaradi velikega nabora izdelkov ni mogoče določiti tistih, ki imajo največji tržni delež oziroma so najbolj prodajane. Poleg tega je na slovenskem trgu zelo veliko število ponudnikov oziroma salonov keramike, seznam podjetij na slovenskem trgu, ki imajo pod dejavnost navedene Keramika in keramični izdelki je več 100. Izbira vzorcev keramike je zato potekala z naključnim izborom. Izbrali smo več ponudnikov keramičnih ploščic na različnih delih Slovenije in jih prosili za model ploščice, ki se dobro prodaja. Daleč največ ploščic prodanih v Sloveniji je izdelanih v Italiji, bistveno redkeje se prodajo ploščice iz Slovenije (Gorenje Keramika) in Španije. Seznam vzorcev je v tabeli 4.

Tabela 4 | Vzorci keramičnih ploščic

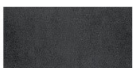
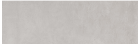
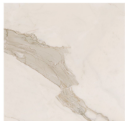
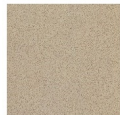
Koda	Opis vzorca	Okvirna sestava	Proizvajalec in mesto vzorčenja
RV3350921 	Keramična ploščica, neglazirane granitogres ploščice, proizvajalec Palazzo (Italija), model: Ambiente, barva: črna, dimenzija 60 cm x 30 cm (spletna povezava)	Porcelanska keramika (bela glina, kremenov pesek, dodatki)	Palazzo (Italija), Bauhaus, Ljubljana (9.8.2021)
RV3360921 	Keramična ploščica, proizvajalec: Gorenje keramika, model: Linen; barva: beige, dimenzija 25 cm x 60 cm (spletna povezava, povezava 2)	Glina, kremenov pesek, dodatki	Gorenje keramika (Gorenje 1/b, Šmartno ob Paki, Slovenija), Bauhaus, Ljubljana (9.8.2021)
RV3370921 	Ploščice iz porcelanske keramike, glazirane, proizvajalec: Ceramiche di Sassuolo, model: Betulla, dimenzije 60 cm x 30 cm, videz lesa (spletna povezava, povezava 2)	Porcelanska keramika (bela glina, kremenov pesek, dodatki)	Ceramiche di Sassuolo (Italija), Bauhaus, Ljubljana (9.8.2021)
RV3380921 	Glazirana ploščica, proizvajalec: Gorenje keramika, model: Dream, dimenzija 33 cm x 33 cm (spletna povezava, povezava 2)	Glina, kremenov pesek, dodatki	Gorenje keramika (Gorenje 1/b, Šmartno ob Paki, Slovenija), Bauhaus, Ljubljana (9.8.2021)

Tabela 4 | Vzorci keramičnih ploščic - nadaljevanje s prejšnje strani

Koda	Opis vzorca	Okvirna sestava	Proizvajalec in mesto vzorčenja
RV3390921 	Keramična ploščica, proizvajalec: Supergres, model: Medley, barva: Sugar, dimenzija 25 x 75 cm (spletna povezava)	Glina, kremenov pesek, dodatki	Ceramiche Supergres (Italija), Trgocev, Logatec, Slovenija (29.3.2021)
RV3400921 	Ploščica iz bele gline, proizvajalec: Supergres, model: Art, barva: Pearl, dimenzija 91,5 x 30,5 cm (spletna povezava)	Bela glina, kremenov pesek, dodatki	Ceramiche Supergres (Italija), Trgocev, Logatec, Slovenija (29.3.2021)
RV3410921 	Keramična ploščica, Azteca Ceramica, model: Calacatta, barva: Gold Lux, 60 x 60 cm (spletna povezava, povezava 2)	Porcelanska keramika (bela glina, kremenov pesek, dodatki)	Azteca Ceramica (Alcora, Španija), Bauhaus, Ljubljana (10.6.2021)
RV3590921 	Keramična ploščica, proizvajalec: Ascot, model: Joy, barva: Avorio, dimenzija 25 x 60 cm (spletna povezava)	Glina, kremenov pesek, dodatki	Ascot Everytile, Italija (Solignano di Castelvetro, Italija), Metis, Ajdovščina (11.8.2021)
RV3580921 	Granitogres keramika, proizvajalec: Casalgrande Padana, model: Granito-1, barva: Sahara, dimenzija: 30 x 30 cm (spletna povezava)	Porcelanska keramika (bela glina, kremenov pesek, dodatki)	Casalgrande Padana, Italija (Casalgrande, Italija), Metis, Ajdovščina (11.8.2021)
RV3600921 	Gres porcelanirana keramika, proizvajalec: CIR, model: Biarritz, barva: Cognac, dimenzija: 20 x 40 cm (spletna povezava)	Glina, kremenov pesek, dodatki	CIR Manifatture Ceramiche, Italija (Casalgrande, Italija), Metis, Ajdovščina (11.8.2021)
RV3610921 	Ploščica, proizvajalec: Emil Ceramica, model/barva: Sement grey, dimenzija: 60 x 60 cm (spletna povezava)	Glina, kremenov pesek, dodatki	Emil Ceramica, Italija (Fiorano Modenese, Italija), Mavi, Maribor (13.8.2021)
RV3620921 	Keramična ploščica, proizvajalec: IMSO Ceramiche, model: Hermitage, barva: Ivory, dimenzija: 60 x 60 cm (spletna povezava)	Glina, kremenov pesek, dodatki	IMSO Ceramiche, Italija (Casalgrande, Italija), Mavi, Maribor (13.8.2021)
RV3630921 	Keramična ploščica, proizvajalec: Codicer 95, model: Heritage, dimenzija: 25 x 25 (spletna povezava)	Porcelanska keramika (bela glina, kremenov pesek, dodatki)	Codicer 95, Španija (Castellon, Španija), Bauhaus, Ljubljana (13.8.2021)
RV3640921 	Keramična ploščica, Tuscania Ceramiche, model: Beton, barva: blanc, 60 x 60 cm (spletna povezava, povezava 2)	Glina, kremenov pesek, dodatki	Tuscania Ceramiche (Serramazzoni, Italija), Kamnoseštvo Žunko, Pragersko (18.8.2021)

nadaljevanje na naslednji strani

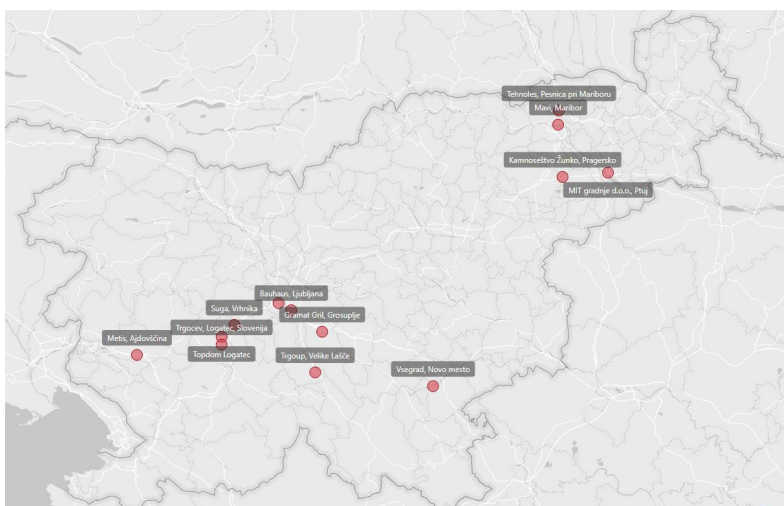
Tabela 4 | Vzorci keramičnih ploščic - nadaljevanje s prejšnje strani

Koda	Opis vzorca	Okvirna sestava	Proizvajalec in mesto vzorčenja
RV3650921 	Keramična ploščica, Tuscania Ceramiche, model: Tehnica, barva: antracite, 60 x 60 cm (spletna povezava, povezava 2)	Glina, kremenov pesek, dodatki	Tuscania Ceramiche (Serramazzone, Italija), Kamnoseštvo Žunko, Pragersko (18.8.2021)

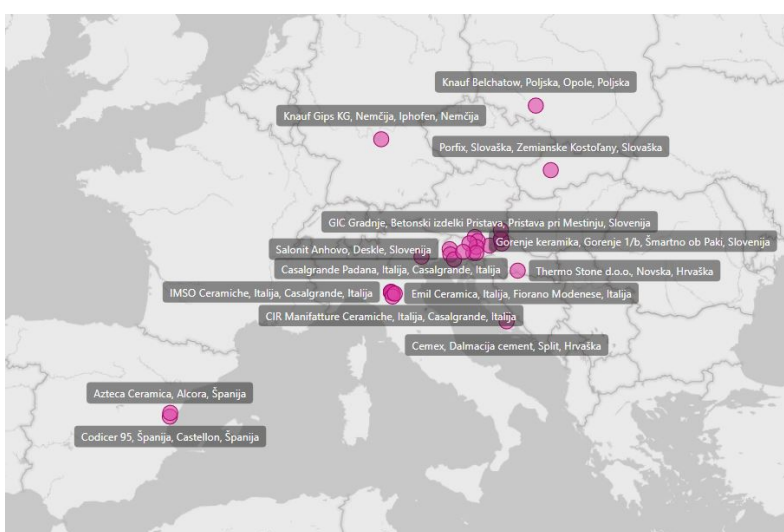
V tabeli poleg opisa izdelka delujejo povezave do proizvajalčevih spletnih strani, kjer je mogoče dobiti več podatkov o izdelku. Natančne sestave izdelkov so večinoma nedostopne, saj so spletne strani usmerjene bolj v predstavitev estetskih lastnosti ploščic in manj v tehnične podrobnosti. Največ ploščic smo kupili v trgovinah Bauhaus, nekaj v podjetju Trgocev (Logatec), Mavi (Maribor), nekaj so nam jih podarili v podjetju Metis (Ajdovščina) in Kamnoseštvo Žunko (Stražgonjca, Pragersko).

3 | Vzorčenje

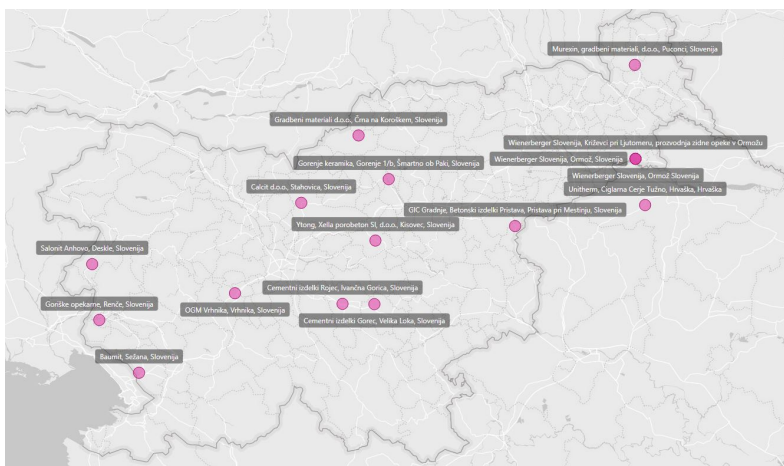
Projektna naloga zajema gradbene izdelke, ki so trenutno dobavljivi na slovenskem trgu. Zato smo izdelke vzorčili z nakupom v trgovinah z gradbenim materialom oziroma sanitetno keramiko. Večino vzorcev iz poglavja 2 smo pridobili v fazi analize trga, saj je bilo to časovno najbolj smiselno. Pripravo in analizo vzorcev smo izvedli za število vzorcev, ki so predvideni v obsegu projektne naloge, čeprav se je vzorcev nabralo več. Izjema je le kategorija notranjih ometov, kjer smo zaradi enostavnejše priprave vzorcev izvedli pet meritev več. Večino izdelkov smo nabavili pri največjih dveh ponudnikih gradbenega materiala in sanitetne keramike v Sloveniji, in sicer v prodajalnah Topdom in Bauhaus, ki s svojimi trgovinami pokrivata celotno področje Slovenije z enotno ponudbo oziroma naborom izdelkov. Zemljevid z označenimi lokacijami vzorčenja so prikazani na sliki 1. Nekoliko več trgovin smo zaradi geografske bližine obiskali na področju Ljubljane, trudili pa smo se pokriti tudi ostale regije. Sliki 2 in 3 prikazujeta lokacije porekla izdelkov oziroma njihove proizvodnje.



Slika 1 | Lokacije vzorčenja



Slika 2 | Lokacije porekla izdelkov



Slika 3 | Lokacije porekla izdelkov iz Slovenije

4 | Opis merilne metode

Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih gradbenega materiala smo določili z visokoločljivostno spektrometrijo gama, pri kateri na podlagi karakterističnih žarkov gama določimo lahko koncentracije radioaktivnih elementov v vzorcu. Vzorce smo pripravili in merili v skladu z odobrenimi delovnimi postopki za vzorčenje, pripravo vzorcev in izvajanje meritev specifičnih aktivnosti gama v vzorcih iz življenjskega okolja [9–12].

4.A | Priprava vzorcev

V okviru projektne naloge je bilo potrebno pripraviti skupaj štirideset vzorcev različnih gradbenih materialov. Vzorce zidakov in keramike je bilo pred meritvijo potrebno zmleti v prah, ki je primeren za meritve z visokoločljivostnimi detektorji gama sevanja. Izbrali smo 35 vzorcev zidakov in keramičnih ploščic, ki so jih zmleli na Zavodu za gradbeništvo v Ljubljani (ZAG). Za mletje vzorcev imajo primeren mlin, ki zdrobi vzorce na delce manjše od 2 mm. Vzorci notranjih ometov niso potrebovali posebne priprave na meritev, saj gre za fini suh prah, ki ne potrebuje dodatnega mletja ali sušenja. Vzorce smo merili v posodicah iz polietilena z visoko gostoto (HDPE) in zaprtih z lepilom, ki preprečuje izhajanje radona iz posodice. Posodica z vzorcem je prikazana na sliki 4.



Slika 4 | Posodica z merjencem

4.B | Metoda visokoločljivostne spektrometrije gama

Meritve z metodo visoko ločljivostne spektrometrije gama ZVD izvaja po akreditirani metodi po standardu SIST EN ISO/IEC 17025:2017 (Slovenska akreditacija, priloga k listini LP-032). Za izvajanje meritev smo uporabljali polprevodniške detektorje iz čistega germanija, ki so vstavljeni v ščit iz železa ali svinca, s katerim zmanjšamo sevanje gama iz okolja. Za analizo izmerjenih spektrov smo uporabili programski paket Genie 2000, Canberra (v 3.4.1). V vzorcih smo določali naravne radionuklide iz uranove razpadne verige (U-238, Ra-226, Pb-210), torijeve razpadne verige (Ra-228, Th-228) ter K-40. Specifične aktivnosti posameznih izotopov smo določili s pomočjo njihovih karakterističnih energij gama in karakterističnih energij njihovih potomcev. Vsebnost drugih naravnih ali umetnih radioizotopov je bila manjša od merske negotovosti, oziroma je bila neznatna.

4.C | Skladnost s standardom SIST-TS CEN/TS 17216:2019

Standard SIST-TS CEN/TS 17216:2019 *Določanje koncentracije aktivnosti radija Ra-226, torija Th-232 in kalija K-40 v gradbenih proizvodih s polprevodniško gama spektrometrijo* [13] opisuje in

standardizira pripravo in meritve vzorcev gradbenega materiala za potrebe določanja primernosti proizvoda za prodajo oziroma uporabo. Naša metoda vzorčenja, priprave in merjenja vzorcev se večinoma ujema z zahtevami standarda 17216:2019.

Vzorčenje in priprava merjenja je potekala skladno z zahtevami standarda. Vzorci so bili pred meritvijo zmleti v prah s frakcijo manjšo od 2 mm (zahtevana je frakcija manjša od 5 mm). Vzorci so bili merjeni v posodici iz HD polietilena, pokrov pa zatesnjen z lepili ter vzorci starani 3 tedne pred meritvijo, da bi preprečili izhajanje radona iz posodice.

Meritev s spektrometrijo gama je bila izvedena z detektorji proizvajalca Canberra s pripadajočo elektroniko in večkanalnim analizatorjem (MCA) ter zajeta s programskim paketom Genie 2000, kot je opisano v prejšnjem poglavju.

Analiza izmerjenega spektra je bila izvedena s pomočjo programske opreme Genie 2000, pri izračunih se odšteva spekter naravnega ozadja, energijska umeritev merilnega sistema se izvaja periodično z znanimi viri sevanja, umeritev izkoristka detektorja je bila izvedena z meritvijo standardnega vzorca Eckert Ziegler.

Izračun specifičnih aktivnosti in negotovosti je bila izvedena s pomočjo programskega paketa Genie 2000, izračun specifičnih aktivnosti, njihovih negotovosti ter spodnje meje detekcije je dokumentiran v uporabniškem priročniku.

Poročilo z rezultati meritev poskuša pokriti vse zahtevane podatke, ki jih predvideva standard.

5 | Rezultati

V tabelah 5 do 13 prikazani rezultati analize opisanih vzorcev. Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih so preračunane na datum vzorčenja. Število podano za znakom $\pm$ je skupna standardna negotovost in se nanaša na interval zaupanja z 68% zanesljivostjo. Število podano za znakom $<$ je spodnja meja aktivnosti, ki jo lahko določimo za dani izotop in se nanaša na interval zaupanja z 68% zanesljivostjo. Aktivnosti navedene v tabelah z rezultati se nanašajo le na izmerjeni vzorec in ne na celotni vzorčeni material.

V tabelah smo izračunali tudi indeks specifične aktivnosti gradbenega materiala po enačbi iz poglavja 1.A. Specifično aktivnost torija Th-232 določimo na podlagi energij pri razpadu njegovih potomcev Ra-228 in Ac-228, ki sta v sekularnem ravnovesju, za aktivnost C_{Th} pa lahko privzamemo, da je enaka aktivnosti potomcev. Specifična aktivnost torija Th-228 v tabelah je bila izračunana po enaki metodi na podlagi razpadnih energij njegovega potomca talija Tl-209, uran U-238 pa je bil izračunan na podlagi karakterističnih energij torija Th-234 pri 63,3 keV in 92,6 keV.

Pri vzorcih opečnih zidakov iz tabel 5 in 6 so specifične aktivnosti posameznih radioizotopov primerljive. V vzorcih so prisotni med 500 in 800 Bq/kg K-40, med 30 in 60 Bq/kg Ra-226 ter med 40 in 80 Bq/kg Ra-228. Indeks specifične aktivnosti se za opečne zidake giblje tako med 0,50 in 0,80. Šamotne opeke v tabeli 6 vsebujejo več Ra-226 in Ra-228, vendar nekoliko manj K-40. Šamotne opeke so med vsemi vzorci vsebovale največje specifične aktivnosti radioizotopov, izračunani indeks specifične aktivnosti za vzorce šamotne opeke se giblje okoli vrednosti 1. Šamotna opeka se tipično ne uporablja kot primarni gradbeni material temveč za oblaganje peči, kaminov, zato za njih upoštevamo mejno vrednost 6. Betonski zidaki iz tabele 7 so bistveno manj aktivni, vsebujejo le komaj zaznavne količine sevanja, indeksi specifičnih aktivnosti pa so bili vsi manjši od 0,10. Nekoliko več kot betonski zidaki pa so aktivni zidaki iz porobetona iz tabele 8, vendar indeksi ne presegajo vrednosti 0,30.

Vzorci notranjih ometov sicer niso končni gradbeni izdelki temveč jim je večinoma potrebno dodati vodo (pesek, mivko). Največji delež naravnih radioizotopov smo v tej kategoriji izdelkov izmerili pri cementu hrvaškega proizvajalca Cemex, oziroma Dalmacija cement, kjer je indeks specifične aktivnosti znašal 0,31 (tabela 9). Drugi izdelki so bili manj aktivni, najmanj radioaktivnih elementov smo izmerili pri vzorcu kalcitne mivke (tabela 10).

Rezultati meritev vzorcev keramike so predstavljeni v tabelah 11, 12 in 13. Ploščice se obravnavajo kot materiali za oblaganje, za katere velja mejna vrednost indeksa specifične aktivnosti 6. Najvišji indeks smo izmerili pri eni od ploščic italijanskega proizvajalca v tabeli 12, in sicer 0,87, ostale vrednosti pa se za keramične ploščice gibljejo okoli vrednosti 0,6 ali 0,7.

Na slikah 5, 6 in 7 rezultate prikazujemo tudi grafično. Na posameznih grafih so prikazani radioaktivni izotopi uranove razpadne verige, torijeve verige ter kalija K-40. Iz slik lahko vidimo, da imajo vzorci znotraj iste skupine izdelkov podobne specifične aktivnosti posameznih izotopov. Velikost posameznih točk na grafu je sorazmerna njihovi merilni negotovosti.

Tabela 5 | Rezultati meritev opečnih zidakov - 1

Koda vzorca	RV3660921	RV3700921	RV3770921	RV3760921	RV3780921	RV3800921
Slika						
Opis vzorca	opeka	opeka	opeka	opeka	opeka	opeka
Model	Go Modul 29-19	Go Max 15 PU	Polna opeka	Polna opeka	Modulblok 19x29x19 cm	Porotherm 25 S Plus
Proizvajalec	Goriške opekarne	Goriške opekarne	Goriške opekarne	Wienerberger Slovenija	Wienerberger Slovenija	Wienerberger Slovenija
Masa vzorca	8,2 kg	11,2 kg	3,4 kg	3,0 kg	7,2 kg	15,9 kg
Mesto vzorčenja	Logatec	Logatec	Logatec	Logatec	Ljubljana	Ljubljana
Datum vzorčenja	3.08.2021	3.08.2021	3.08.2021	3.08.2021	4.08.2021	4.08.2021
Datum meritve	20.09.2021	23.09.2021	22.09.2021	22.09.2021	22.09.2021	22.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
Ra-226	35,5 ± 0,9	32,2 ± 0,7	39,0 ± 1,2	43,2 ± 1,1	63,9 ± 1,3	61,5 ± 1,3
U-238	26,4 ± 6,4	39,9 ± 7,7	33,5 ± 8,7	40,4 ± 8,6	55,7 ± 10,6	56,2 ± 11,0
Pb-210	35,8 ± 5,1	22,7 ± 3,5	42,4 ± 7,0	39,5 ± 6,2	56,6 ± 6,5	62,2 ± 7,3
Ra-228	44,7 ± 1,6	43,7 ± 1,5	43,7 ± 2,1	43,4 ± 1,7	68,9 ± 2,2	74,2 ± 2,2
Th-228	45,5 ± 2,0	43,5 ± 1,8	42,9 ± 2,4	43,7 ± 2,1	63,9 ± 2,6	67,0 ± 2,6
K-40	701 ± 33	666 ± 37	643 ± 33	531 ± 30	570 ± 28	602 ± 33
Indeks	0,58	0,55	0,56	0,54	0,75	0,78

Tabela 6 | Rezultati meritev opečnih zidakov - 2

Koda vzorca	RV3820921	RV3860921	RV3670921	RV3690921
Slika				
Opis vzorca	opeka	opeka	šamotna opeka	šamotna opeka
Model	Uniblok Mega	Uniblok 5.4/1	P3	NF-2
Proizvajalec	Unitherm, Ciglarina Cerje Tužno, Hrvaška	Unitherm, Ciglarina Cerje Tužno, Hrvaška	OGM Vrhnika	OGM Vrhnika
Masa vzorca	18,6 kg	7,6 kg	2,0 kg	4,2 kg
Mesto vzorčenja	Novo mesto	Ptuj	Logatec	Logatec
Datum vzorčenja	11.08.2021	18.08.2021	3.08.2021	3.08.2021
Datum meritve	22.09.2021	28.09.2021	20.09.2021	21.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
Ra-226	54,0 ± 1,0	59,7 ± 1,6	107,4 ± 1,9	125,1 ± 2,3
U-238	51,4 ± 9,5	60,0 ± 13,2	97,5 ± 17,5	128,8 ± 22,9
Pb-210	47,6 ± 5,1	43,1 ± 8,6	106,2 ± 9,7	120,9 ± 10,7
Ra-228	63,6 ± 1,8	60,7 ± 2,5	94,1 ± 2,6	99,7 ± 2,9
Th-228	58,8 ± 2,1	55,1 ± 3,1	89,7 ± 3,1	95,3 ± 3,6
K-40	747 ± 35	644 ± 38	249 ± 15	235 ± 15
Indeks	0,75	0,72	0,91	0,99

Tabela 7 | Rezultati meritev betonskih zidakov

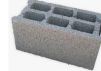
Koda vzorca	RV3710921	RV3720921	RV3750921	RV3810921	RV3870921	RV3840921
Slika						
Opis vzorca	zidak	zidak	zidak	zidak	zidak	zidak
Model	Betonski blok 20 cm	H-blok 25 cm	Vogalnik 20 cm	ZB20	BB 20 N	Opažnik 25
Proizvajalec	Cementni izdelki Gorec	Cementni izdelki Gorec	Cementni izdelki Gorec	GIC Gradnje	Cementni izdelki Rojec	Cementni izdelki Rojec
Masa vzorca	17,5 kg	14,5 kg	13,0 kg	17 kg	18 kg	16 kg
Mesto vzorčenja	Logatec	Logatec	Logatec	Ljubljana	Grosuplje	Velike Lašče
Datum vzorčenja	3.08.2021	3.08.2021	3.08.2021	4.08.2021	18.08.2021	12.08.2021
Datum meritve	22.09.2021	23.09.2021	21.09.2021	23.09.2021	28.09.2021	27.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
Ra-226	13,9 ± 0,4	12,3 ± 0,3	12,9 ± 0,4	14,6 ± 0,4	10,7 ± 0,4	8,4 ± 0,3
U-238	12,5 ± 3,2	13,8 ± 3,1	8,0 ± 2,8	11,0 ± 3,1	11,0 ± 2,9	7,0 ± 2,6
Pb-210	7,0 ± 2,2	11,6 ± 2,4	10,6 ± 3,1	13,1 ± 2,5	7,7 ± 2,1	4,5 ± 2,2
Ra-228	1,8 ± 0,5	2,5 ± 0,4	1,7 ± 0,6	2,3 ± 0,5	2,4 ± 0,5	2,7 ± 0,5
Th-228	2,6 ± 0,6	2,8 ± 0,4	1,7 ± 0,5	2,0 ± 0,5	1,5 ± 0,6	2,5 ± 0,6
K-40	16,7 ± 3,3	22,8 ± 3	7,1 ± 3,3	29,1 ± 3,7	15,9 ± 3,3	8,5 ± 3,1
Indeks	0,06	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04

Tabela 8 | Rezultati meritev zidakov iz porobetona

Koda vzorca	RV3730921	RV3740921	RV3830921	RV3850921
Slika				
Opis vzorca	porobeton	porobeton	porobeton	porobeton
Model	ZB30	ZP15	Thermostone 10x20x60 cm	Porfix 50x25x5 cm
Proizvajalec	Ytong, Xella porobeton SI, d.o.o.	Ytong, Xella porobeton SI, d.o.o.	Thermo Stone d.o.o., Hrvaška	Porfix, Slovaška
Masa vzorca	22,5 kg	11,2 kg	5,5 kg	4,3 kg
Mesto vzorčenja	Logatec	Logatec	Grosuplje	Pesnica pri Mariboru
Datum vzorčenja	3.08.2021	3.08.2021	12.08.2021	18.08.2021
Datum meritve	21.09.2021	21.09.2021	28.09.2021	27.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
Ra-226	22,1 ± 0,6	21,1 ± 0,9	14,1 ± 0,7	21,0 ± 0,8
U-238	21,9 ± 4,5	15,7 ± 7,3	< 20,6	25,2 ± 7,2
Pb-210	22,8 ± 2,9	31,5 ± 6,6	9,4 ± 4,8	32,3 ± 7,3
Ra-228	8,3 ± 0,7	11,2 ± 1,5	10,1 ± 1,1	19,8 ± 1,4
Th-228	7,1 ± 0,8	11,0 ± 1,6	11,0 ± 1,3	21,2 ± 1,6
K-40	109 ± 8	112 ± 12	129 ± 10	397 ± 24
Indeks	0,15	0,16	0,14	0,30

Tabela 9 | Rezultati meritev notranjih ometov - 1

Koda vzorca	RV2920921	RV2930921	RV2910921	RV2940921	RV2950921	RV2960921
Slika						
Opis vzorca	cement	cement	omet	cement	apno	mivka
Model	Strukto	Maltit	Primo 1	Omet-G	Microcalce	Mivka
Proizvajalec	Cemex, Dalmacija cement	Salonit Anhovo	Baumit	Gradbeni materiali d.o.o.	Grigolin Italija	Gradbeni materiali d.o.o.
Masa vzorca	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	20 kg	25 kg
Mesto vzorčenja	Logatec	Logatec	Logatec	Velike Lašče	Velike Lašče	Velike Lašče
Datum vzorčenja	3.08.2021	3.08.2021	3.08.2021	12.08.2021	12.08.2021	12.08.2021
Datum meritve	2.09.2021	2.09.2021	2.09.2021	2.09.2021	6.09.2021	2.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
Ra-226	51,5 ± 1,4	33,4 ± 0,8	15 ± 0,6	13,4 ± 0,3	11,7 ± 0,6	8,7 ± 0,4
U-238	47,1 ± 6,4	28,1 ± 5,7	9,5 ± 3,2	11,6 ± 2,3	9,6 ± 5,1	7,2 ± 2,5
Pb-210	18,0 ± 5,2	35,7 ± 4,2	9,0 ± 3,9	7,8 ± 1,2	11,5 ± 4,2	5,2 ± 3,0
Ra-228	16,9 ± 1,6	11,9 ± 0,9	3,9 ± 1,1	< 2,6	4,6 ± 1,4	1,1 ± 0,7
Th-228	15,5 ± 1,8	14,2 ± 1,1	2,8 ± 1,0	2,3 ± 0,3	< 4,9	2,9 ± 0,8
K-40	161 ± 15	178 ± 11	21 ± 6,0	12 ± 2	< 26	< 15
Indeks	0,31	0,23	0,08	0,06	0,07	0,04

Tabela 10 | Rezultati meritev notranjih ometov - 2

Koda vzorca	RV2970921	RV2980921	RV2990921	RV3000921
Slika				
Opis vzorca	cement	omet	mivka	gips (plošča)
Model	Kema Linea 810 SL	Uniflott	Mivka	Norgips plošča tip A
Proizvajalec	Murexin, gradbeni materiali, d.o.o.	Knauf Gips KG, Nemčija	Calcit d.o.o.	Knauf Belchatow, Poljska
Masa vzorca	25 kg	25 kg	25 kg	7,1 kg/m ²
Mesto vzorčenja	Velike Lašče	Velike Lašče	Velike Lašče	Vrhnika
Datum vzorčenja	12.08.2021	12.08.2021	12.08.2021	10.08.2021
Datum meritve	3.09.2021	3.09.2021	2.09.2021	3.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
Ra-226	25,6 ± 1,1	3,6 ± 0,2	2 ± 0,3	17,1 ± 0,8
U-238	27,6 ± 5,4	< 4,5	< 11,3	52,6 ± 7,0
Pb-210	11,4 ± 5,6	< 4,3	< 14,2	27,7 ± 5,9
Ra-228	15,6 ± 1,7	1,1 ± 0,3	< 5,5	6,8 ± 1,4
Th-232	14,0 ± 2,0	0,8 ± 0,3	1,1 ± 0,6	5,0 ± 1,4
K-40	55 ± 10	40 ± 3	< 14	85 ± 10
Indeks	0,18	0,03	0,02	0,12

Tabela 11 | Rezultati meritev keramičnih ploščic za notranjo uporabo - 1

Koda vzorca	RV3350921	RV3360921	RV3370921	RV3380921	RV3390921
Slika					
Opis vzorca	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica
Model	Ambiente, črna	Linen, Beige	Betulla	Dream	Medley
Proizvajalec	Palazzo	Gorenje keramika	Ceramiche di Sassuolo	Gorenje keramika	Ceramiche Supergres
Masa vzorca	3,6 kg	2,2 kg	3,1 kg	1,9 kg	2,7 kg
Mesto vzorčenja	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Logatec
Datum vzorčenja	9.08.2021	9.08.2021	9.08.2021	9.08.2021	29.03.2021
Datum meritve	15.09.2021	15.09.2021	16.09.2021	16.09.2021	15.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)					
Ra-226	67,5 ± 1,8	73,6 ± 1,3	53,4 ± 2,2	79,7 ± 2,2	71,6 ± 2,9
U-238	74,6 ± 14,7	61,2 ± 10,9	26,6 ± 12,1	73,6 ± 15,4	49,3 ± 13,4
Pb-210	64,1 ± 8,2	62,9 ± 5,6	42,3 ± 11,3	78,5 ± 9,9	< 62,9
Ra-228	64,7 ± 2,8	55,5 ± 1,6	52,0 ± 3,8	61,1 ± 3,1	41,4 ± 4,0
Th-228	56,9 ± 3,2	53,3 ± 1,9	47,9 ± 4,3	63,2 ± 4,0	38,4 ± 4,3
K-40	671 ± 37	644 ± 30	566 ± 40	588 ± 36	673 ± 50
Indeks	0,77	0,74	0,63	0,77	0,67

Tabela 12 | Rezultati meritev keramičnih ploščic za notranjo uporabo - 2

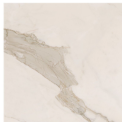
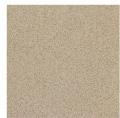
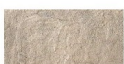
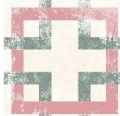
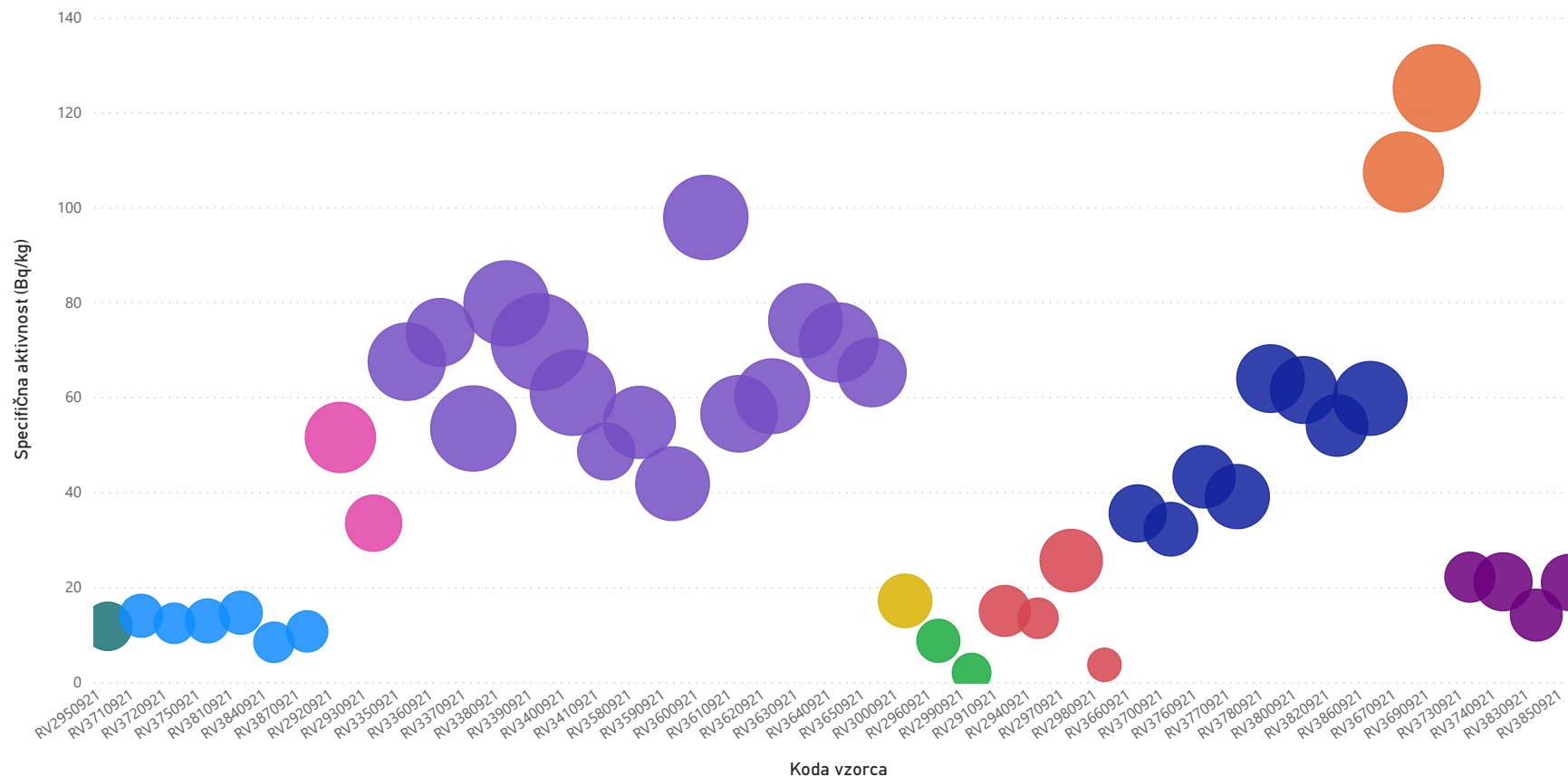
Koda vzorca	RV3400921	RV3410921	RV3590921	RV3580921	RV3600921
Slika					
Opis vzorca	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica
Model	Art	Calacatta, Gold Lux	Joy, Avorio	Granito-1, Sahara	Biarritz, Cognac
Proizvajalec	Ceramiche Supergres	Azteca Ceramica	Ascot Everytile, Italija	Casalgrande Padana, Italija	CIR Manifatture Ceramiche, Italija
Masa vzorca	4,0 kg	6,9 kg	2,2 kg	1,6 kg	1,9 kg
Mesto vzorčenja	Logatec	Logatec	Ajdovščina	Ajdovščina	Ajdovščina
Datum vzorčenja	29.03.2021	10.06.2021	11.08.2021	11.08.2021	13.08.2021
Datum meritve	16.09.2021	16.09.2021	21.09.2021	21.09.2021	21.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)					
Ra-226	60,9 ± 2,2	48,6 ± 0,9	41,8 ± 1,6	54,7 ± 1,5	97,8 ± 2,2
U-238	59,1 ± 15,2	47,9 ± 8,5	30,7 ± 10,5	57,1 ± 11,9	88,2 ± 16,8
Pb-210	72,5 ± 12,8	44,8 ± 4,1	51,1 ± 9,6	49,2 ± 7,2	89,4 ± 10,3
Ra-228	53,8 ± 3,9	50,1 ± 1,4	28,9 ± 2,5	51,6 ± 2,5	58,4 ± 2,5
Th-228	41,5 ± 4,3	45,5 ± 1,6	33,2 ± 2,9	58,1 ± 3,2	47,1 ± 2,7
K-40	652 ± 50	646 ± 29	501 ± 32	491 ± 32	759 ± 40
Indeks	0,69	0,63	0,45	0,60	0,87

Tabela 13 | Rezultati meritev keramičnih ploščic za notranjo uporabo - 3

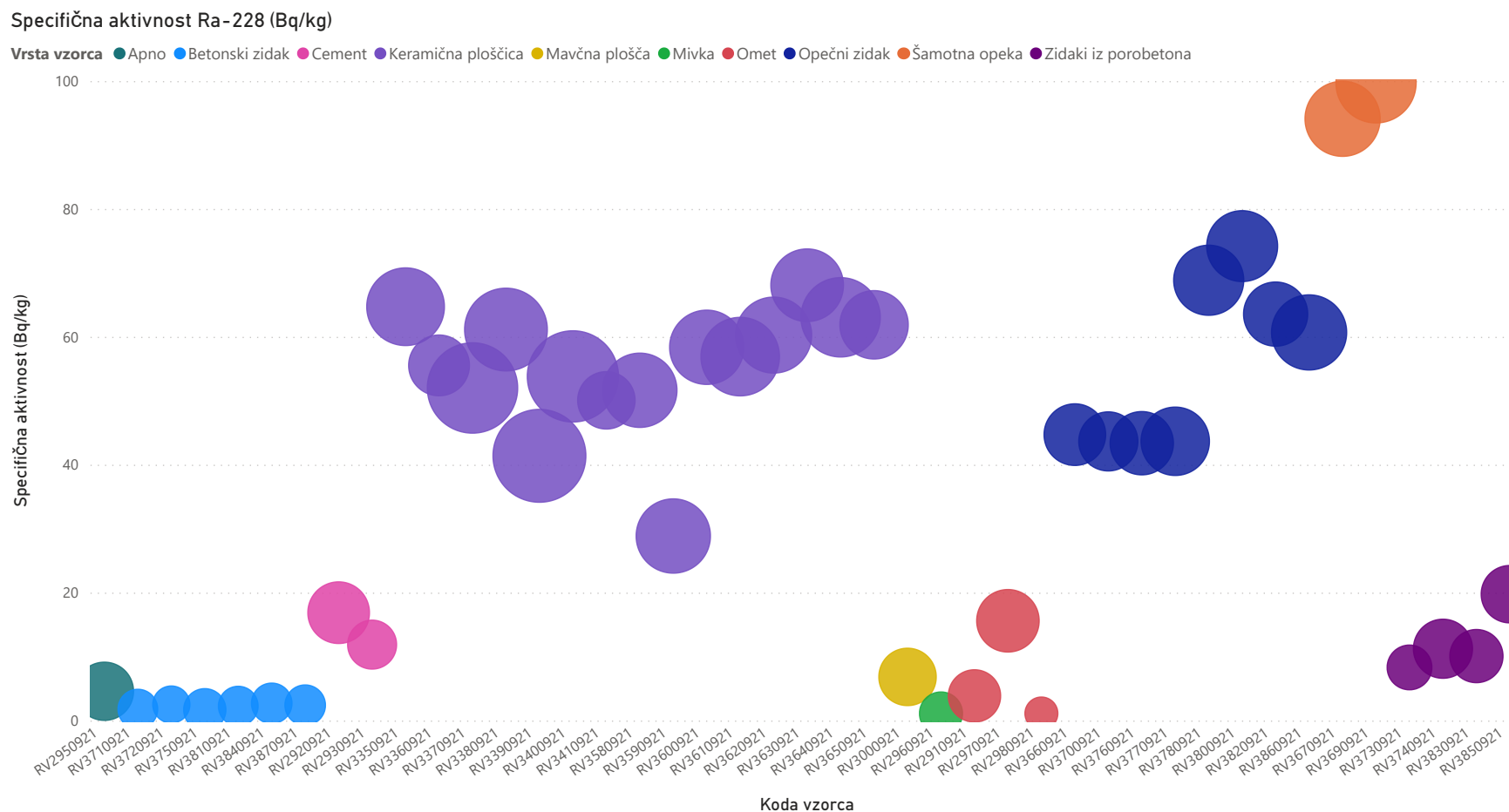
Koda vzorca	RV3610921	RV3620921	RV3630921	RV3640921	RV3650921
Slika					
Opis vzorca	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica	keramična ploščica
Model	Sement, Grey	Hermitage, Ivory	Heritage	Beton, Blanc	Tehnica, Antracite
Proizvajalec	Emil Ceramica, Italija	IMSO Ceramiche, Italija	Codicer 95, Španija	Tuscania Ceramiche	Tuscania Ceramiche
Masa vzorca	7,9 kg	8,0 kg	1,3 kg	7,6 kg	7,6 kg
Mesto vzorčenja	Maribor	Maribor	Ljubljana	Pragersko	Pragersko
Datum vzorčenja	13.08.2021	13.08.2021	13.08.2021	18.08.2021	18.08.2021
Datum meritve	21.09.2021	21.09.2021	21.09.2021	21.09.2021	20.09.2021
SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)					
Ra-226	56,5 ± 1,7	60,2 ± 1,6	76,1 ± 1,6	71,5 ± 1,9	65,2 ± 1,3
U-238	46,5 ± 11,8	88,3 ± 17,7	69,6 ± 13,2	94,6 ± 18,8	67,5 ± 12,5
Pb-210	37,7 ± 9,5	60,4 ± 9,6	64,2 ± 7,4	62,4 ± 9,5	58,6 ± 6,2
Ra-228	56,9 ± 2,8	60,3 ± 2,6	68,1 ± 2,4	63,1 ± 2,9	61,9 ± 2,1
Th-228	52,7 ± 3,4	56,0 ± 3,2	59,6 ± 2,7	61,2 ± 3,5	55,6 ± 2,4
K-40	529 ± 34	543 ± 33	462 ± 25	529 ± 31	541 ± 31
Indeks	0,65	0,68	0,75	0,73	0,71

Specifična aktivnost Ra-226 (Bq/kg)

Vrsta vzorca: Apno, Betonski zidak, Cement, Keramična ploščica, Mavčna plošča, Mivka, Omet, Opečni zidak, Šamotna opeka, Zidaki iz porobetona



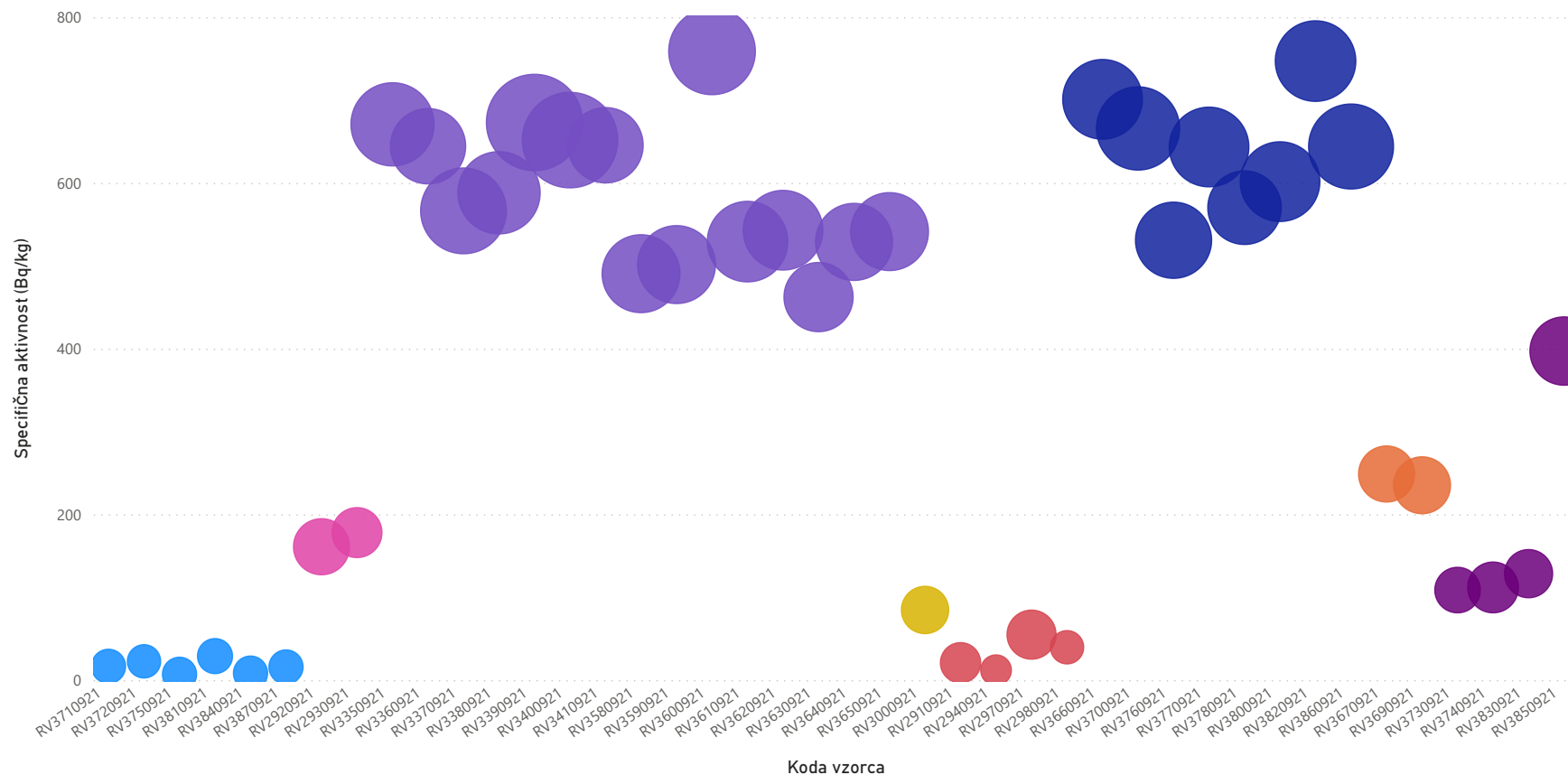
Slika 5 | Rezultati meritev izotopa radija Ra-226 v vzorcih, mejna vrednost specifične aktivnosti za Ra-226 znaša 300 Bq/kg.



Slika 6 | Rezultati meritev izotopa radija Ra-228 v vzorcih, mejna vrednost specifične aktivnosti za Ra-228 znaša 200 Bq/kg.

Specifična aktivnost K-40 (Bq/kg)

Vrsta vzorca: Betonski zidak, Cement, Keramična ploščica, Mavčna plošča, Omet, Opečni zidak, Šamotna opeka, Zidaki iz porobetona



Slika 7 | Rezultati meritev izotopa radija K-40 v vzorcih, mejna vrednost specifične aktivnosti za K-40 znaša 3000 Bq/kg.

6 | Primerjava rezultatov z literaturo

Svetovne povprečne koncentracije radioaktivnega radija Ra-226, torija Th-232 in kalija K-40 v zemeljski skorji znašajo okvirno 40 Bq/kg, 40 Bq/kg in 400 Bq/kg [14]. Meritve vzorcev gradbenih materialov, ki smo jih v okviru te projektne naloge uspeli nakupiti na slovenskem trgu, se gibljejo okoli tega velikostnega reda. Nikjer v vzorcih nismo zaznali prisotnosti umetnih radioaktivnih virov.

Za primerjavo je bila v letu 2008 izvedena podobna študija z naslovom *Radioaktivnost gradbenih materialov in gradbenih elementov v visoki gradnji v Sloveniji* [4]. V študiji so z visokoličljivostno spektrometrijo gama pomerili aktivnost večjega števila gradbenih surovin in izdelkov, od cementa, peska, apna, gline, elektrofiltrskega pepela, sadre, žlindre do večjega števila opečnih zidakov, strešnikov, naravnega kamna. Med vzorci so bili tudi zidak iz porobetona, mavčna plošča, steklena volna, kamena volna. V študiji iz 2008 so izbirali že vgrajene vzorce po različnih geografskih delih Slovenije, v tej študiji pa smo se osredotočili na izdelke, ki so trenutno dobavljivi na slovenskem trgu, kar je pomembna razlika med študijama.

Če primerjamo izmerjene specifične aktivnosti v opečnih zidkih z rezultati iz leta 2008, lahko povzamemo, da so si rezultati precej podobni. V 2008 so se tipične specifične aktivnosti Ra-226 v opečnih zidkih gibale okoli 60 Bq/kg, kar je podobno vrednostim v tabelah 5 in 6. Izjema so bili EFE zidaki, ki so bili izdelani iz elektrofiltrskega pepela, kjer so bile izmerjene koncentracije Ra-226 v 2008 tudi nad 400 Bq/kg. Podobno kot v tej študiji so imeli vzorci opečnih zidakov tipično med 40 in 80 Bq/kg Ra-228 ter okoli 600 Bq/kg K-40 [4].

Z študijo iz leta 2008 lahko primerjamo še vzorce cementa, kjer so pri treh vzorcih izmerili med 30 in 90 Bq/kg Ra-226, med 10 in 30 Bq/kg Ra-228 ter okoli 200 Bq/kg K-40. Največje aktivnosti so izmerili pri cementu iz Trboveljskega podjetja LaFarge, ki na tej lokaciji cementa ne proizvaja več. Rezultati meritev vzorcev cementa iz tabele 9 se gibljejo znotraj vrednosti povzetih iz študije iz 2008. Podobno pa oba vzorca apna (iz 2008 in vzorec iz 2021) vsebujeta zelo majhen delež naravnih radioaktivnih elementov. Primerjavo med rezultati iz leta 2008 in 2021 smo povzeli na slikah 8 in 9 za vse tiste kategorije izdelkov, ki so se nam zdele primerljive. Večjih odstopanj med meritvami v obeh študijah ni opaziti.

Slika 8 | Primerjava med rezultati meritev v študijama iz 2008 in iz 2021 za opečnate zidake.

Vrsta vzorca	Leto	Vzorec	A (Bq/kg) Ra-226		A (Bq/kg) Ra-228		A (Bq/kg) K-40	
Opečni zidak	2008	P08GM1SI51 rdeča opeka, Ljubljana, Švabičeva u...		58,3		43,1		705
		P08GM1SI52 rdeča opeka, Ljubljana, Vogelna ulica		57,7		38,1		591
		RG08GM100SI71 modularni opečni blok 1974, Lj...		70,2		64,1		769
		RG08GM100SI91 opečni zidak (1950), Ljubljana, ...		88,9		72,4		598
		RG08GM131SI61 opečni zid (1950), Sodražica pri...		98,5		70,9		437
		RG08GM136SI71 fasadni opečni zidak, Vrhnika, ...		127,2		58,5		545
		RG08GM228SI82 Opečni zidak (1973), Stoperce, ...		89,5		68,8		626
		RG08GM320SI71 klinker opeka (1978), Celje, Lju...		98,1		72,1		892
		RG08GM320SI81 opečnati mrežasti nosilec (198...		70,2		57,6		611
		RG08GM422SI81 domača opeka (1960), Dolenja ...		99,9		48,5		528
		RG08GM523SI61 opečni zid (1950), Čezsoča pri ...		24,7		11,7		145
		RG08GM529IT81 Modularni blok (1969), Renče, ...		62,6		45,2		382
		RG08GM529SI87 navadna opeka NF (1975), Ren...		58,1		42,7		563
		RG08GM529SI88 navadna opeka NF, ročno izdel...		56,6		47,8		653
		RG08GM529SI89 opečni zidak, blok (1955) (prvi i...		61,7		46,8		615
		RG08GM529SI8A opečni zidak, blok (1973) (hote...		63,3		46,4		588
		RG08GM529SI8B dvojni zidak (1987), Renče, Gori...		64,9		47,1		629
		RG08GM529SI8C opečni zidak MBV (1998) (najp...		62,7		49,7		564
		RG08GM529SI8D porolit (1985), Renče, Goriške ...		63,6		48,2		622
		RG08GM800SI72 opečni zidak, Novo mesto, glin...		87,6		62,4		256
		RG08GM800SI73 opečni zidak, Novo Mesto, ON...		82,9		75,5		434
		RV1740708 glinena opeka - 60 let, Radomlje		44,0				576
		RV1750708 glinena opeka - 30 let, Opekarna Ra...		44,0				750
		RV3251107 opečni zidak, Renče, Goriške opekar...		29,7		48,6		647
	2021	RV3660921 Go Modul 29-19, modularni opečni z...		35,5		44,7		701
		RV3700921 Go Max 15 PU, zidak, 500x150x190 ...		32,2		43,7		666
		RV3760921 Polna opeka, 24x11,8x7,1 cm, Wiene...		43,2		43,4		531
		RV3770921 Polna opeka, 12x26x6,5 cm, Goriške ...		39,0		43,7		643
		RV3780921 Modulblok, modularni zidak, Wiener...		63,9		68,9		570
		RV3800921 Porotherm 25 S Plus, opečni zidak, ...		61,5		74,2		602
		RV3820921 Opečni zidak Uniblok Mega, Unither...		54,0		63,6		747
		RV3860921 Opečni zidak Uniblok 5.4/1, Unither...		59,7		60,7		644

Slika 9 | Primerjava med rezultati meritev v študijama iz 2008 in iz 2021 za ostale izdelke in surovine razen opečnih zidakov.

Vrsta vzorca	Leto	Vzorec	A (Bq/kg) Ra-226	A (Bq/kg) Ra-228	A (Bq/kg) K-40
Apno	2008	RV1810708 apno, Solkanska industrija apna	17,3		
	2021	RV2950921 Hidratizirano apno Microcalce, Grigo...	11,7	4,6	
Cement	2008	RV1370607 cement, Primorje, Ajdovščina	32,6	15,4	219
		RV1640708 cement, Trbovlje	86,2	25,3	267
		RV1820708 cement, Anhovo	27,9	11,5	171
	2021	RV2920921 Cement Cemex, Dalmacija cement, S...	51,5	16,9	161
		RV2930921 Zidarski cement (Maltit), Salonit Anh...	33,4	11,9	178
EFE zidak	2008	P08GM3342SI21 zidak EFE, Gornji Grad, privatni ...	539,3	49,3	506
		RG08GM332SI92 zidak iz elektrofiltrskega pepel...	455,3	39,2	422
		RG08GM334SI91 zidak iz elektrofiltrskega pepel...	240,6	33,6	323
		RG08GM825SIA1 zidak iz elektrofiltrskega pepel...	110,8	56,1	410
Mavčna plošča	2008	RV1780708 Gips plošča Knauf, Ljubljana	12,3	6,6	151
	2021	RV3000921 Mavčna plošča, Norgips, tip A, navad...	17,1	6,8	85
Mivka	2008	RG08GM125SI71 gradbeni material mivka, Mora...	13,4	4,6	42
	2021	RV2960921 Mivka, Gradbeni materiali d.o.o., Črn...	8,7	1,1	
		RV2990921 Kalcitna mivka, Calcit d.o.o.	2,0		
Šamotna opeka	2008	RG08GM100SI72 šamotna opeka (1978), Neznan...	90,0	71,7	820
	2021	RV3670921 Šamotna opeka P3, OGM Vrhnika, 25...	107,4	94,1	249
		RV3690921 Šamotna opeka NF-2, OGM Vrhnika, ...	125,1	99,7	235
Zidak iz porobetona	2008	RV1760708 Siporex, Zagorje ob Savi	27,0	11,4	195
	2021	RV3730921 Modularni zidak iz porobetona ZB30...	22,1	8,3	109
		RV3740921 Pregradni zidak iz porobetona ZP15,...	21,1	11,2	112
		RV3830921 Zidak iz porobetona, Thermostone 1...	14,1	10,1	129
		RV3850921 Zidak iz porobetona, Porfix, 500x250...	21,0	19,8	397

7 | Zaključek

V okviru študije identifikacije in primernosti gradbenega materiala za uporabo z vidika izpostavljenosti naravnim radionuklidom smo poskušali zbrati vzorce najpogosteje prodajanih gradbenih izdelkov oziroma surovin, ki se uporabljajo pri gradnji bivalnih objektov v Sloveniji in vplivajo na izpostavljenost prebivalstva ionizirajočemu sevanju. Izbirali smo izdelke, ki so trenutno dobavljivi oziroma dobro prodajani na slovenskem trgu, izvzeli pa smo že vgrajene gradbene materiale.

Izbrali smo skupaj 45 vzorcev zidakov, notranjih ometov in keramike za notranjo uporabo ter z metodo visokoločljivostne spektrometrije gama določili vsebnost naravnih radioaktivnih elementov uranove in torijeve razpadne verige ter kalija K-40. Umetnih radioaktivnih izotopov nismo zaznali v nobenem od vzorcev. Vsebnost naravnih izotopov je bila v vseh vzorcih pod mejnimi vrednostmi za posamezne izotope iz uredbe UV2, prav tako je bil pri vseh vzorcih izpolnjen pogoj za zmesi: indeks specifične aktivnosti je bil pri vseh analiziranih vzorcih pod vrednostjo 1 (oziroma pod 6 za materiale za oblaganje).

Posebna obravnava oziroma ocena obsevanosti ni bila potrebna za katerega koli izmed preverjenih izdelkov, so pa rezultati meritev lahko osnova za izračun obsevanosti. Za tipične koncentracije radija, torija in kalija v bivalnih objektih (40 Bq/kg, 30 Bq/kg in 400 Bq/kg) se ocenjuje, da oseba, ki prebiva v objektu, prejme dodatnih 0,25 mSv zaradi zunanjega obsevanja na leto zaradi gradbenih materialov poleg ostalega naravnega sevanja[14]. Pri izračunu je predpostavljeno, da so vse stene, strop in tla iz gradbenih materialov, ki vsebujejo zgornje povprečne specifične aktivnosti, ter da se oseba v zaprtem prostoru zadržuje 7.000 ur na leto. K hitrosti doze v prostoru pa glede privzete specifične aktivnosti Ra-226, Th-232 in K-40 vsi izotopi oziroma razpadne verige prispevajo primerljivo raven sevanja.

Iz meritev, ki so bile opravljene v okviru te študije, lahko povzamemo, da gradbeni materiali zajeti v študiji ne predstavljajo bistvenega povišanja tveganja za zdravje ljudi zaradi sevalcev gama, ki jih vsebujejo.

8 | Reference

- [1] Državni zbor RS. Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti. Ur. list RS št. 76/2017 in 26/2019, 2019.
- [2] Evropski svet. Direktiva sveta 2013/59/Euratom z dne 5. decembra 2013 o določitvi temeljnih varnostnih standardov za varstvo pred nevarnostmi zaradi ionizirajočega sevanja in o razveljavitvi direktiv 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom in 2003/122/Euratom. Off. Journal EU L13, 2014, 2014.
- [3] Vlada RS. Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji. Ur. list RS, št. 18/2018, 2018.
- [4] et. al. dr. Benjamin Zorko. Radioaktivnost gradbenih materialov in gradbenih elementov v visoki gradnji v sloveniji. IJS delovno poročilo, 2008.
- [5] ZVD. Poročilo o izvajanju programa sistematičnega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja zaradi naravnih virov sevanja za leto 2016. LMSAR-20160038-PJ, 2016.
- [6] ZVD. Poročilo o izvajanju programa sistematskega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja zaradi naravnih virov sevanja za leto 2017. LMSAR-20170029, 2017.
- [7] ZVD. Poročilo o izvajanju programa sistematskega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja zaradi naravnih virov sevanja za leto 2018. LMSAR-20180040, 2018.
- [8] ZVD. Izvajanje programa sistematskega pregledovanja delovnega okolja v dejavnostih z materiali, ki vsebujejo naravno prisotne radionuklide, poročilo za leto 2020. LMSAR-20200059, 2020.
- [9] ZVD. Sistem evidentiranja vzorcev za gamaspektrometrične in radiokemijske meritve ter spremljanje vzorcev. DP-LMSAR-01, v 24, 2019.
- [10] ZVD. Vzorčenje, pakiranje in pošiljanje vzorcev iz biosfere, hrane in drugih bioloških vzorcev. DP-LMSAR-02, v 8, 2019.
- [11] ZVD. Priprava bioloških in nebioloških vzorcev za gamaspektrometrično in radiokemijsko analizo. DP-LMSAR-03, v 13, 2018.
- [12] ZVD. Izračun aktivnosti in napaka meritve. DP-LMSAR-07, v 8, 2014.
- [13] SIST-TS CEN/TS 17216:2019. Gradbeni proizvodi - ocenjevanje sproščanja nevarnih snovi - določanje koncentracije aktivnosti radija ra-226, torija th-232 in kalija k-40 v gradbenih proizvodih s polprevodniško gama spektrometrijo. SIST-TS CEN/TS 17216:2019, 2019.
- [14] European Commission. Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Radiation Protection 112, 1999.