

Novi materijal primijenjen u tehnologiji aditivne proizvodnje kroz revalorizaciju otpada iz kamenoloma mramora s malim utjecajem na okoliš

David Caparrós-Pérez

Centro Tecnológico del Mármol, david.caparros@ctmarmol.es

Víctor Martínez-Pacheco

Cementos La Cruz, S.L., vmartinez@cementoslacruz.com

Pilar Hidalgo

Cementos La Cruz, S.L., phidalgo@cementoslacruz.com

Juana Llorente

Centro Tecnológico del Mármol, juana.llorente@ctmarmol.es

Sažetak: Trenutno u nekim kamenolomima mramora količina otpada iznosi i do 80%. Istraživački projekt ReValoMur imao je za cilj stvoriti potrebna znanja za proizvodnju novog cementnog materijala, temeljenog na plastičnom otpadu iz poljoprivrede i otpadu dobivenom iz eksploatacije i/ili prerade prirodnog kamena, kao sredstva valorizacije ovih industrijskih sektora u Regiji Murcia, kako bi se razvio optimalni materijal više ekološke razine unutar proizvodnog asortimana, usmjeren na aditivnu proizvodnju kao potencijalnu tehnologiju za racionalizaciju i ponovnu upotrebu otpada, odnosno nedovoljno iskorištenih resursa.

Ključne riječi: aditivna proizvodnja, mali utjecaj na okoliš, revalorizacija, otpad kamenoloma mramora, 3D ispis

A new material applied to additive manufacturing technology through the revaluation of marbe quarry waste with low environmental impact

Abstract: Currently, in some marble quarries, the amount of waste amounts to 80%. The ReValoMur research project aimed to generate the necessary knowledge for the production of a new cementitious material, based on plastic waste from agriculture and waste derived from the extraction and/or transformation of natural stone, as a means of valorisation of these industrial sectors in the Region of Murcia, in order to develop an optimal material of a more ecological scale within the productive range, focused on additive manufacturing as a potential technology for the rationalisation and reuse of waste, that is, underused resources.

Key words: additive manufacturing, low environmental impact, revaluation, marble quarry waste, 3D printing

Caparrós-Pérez, D., Martínez-Pacheco, V., Hidalgo, P., Llorente, J.

Novi materijal primijenjen u tehnologiji aditivne proizvodnje kroz revalorizaciju otpada iz kamenoloma mramora s malim utjecajem na okoliš

1. CILJ

Istraživački projekt ReValoMur ima za cilj stvoriti potrebna znanja za proizvodnju novog cementnog materijala, s prisutnošću plastičnog otpada iz poljoprivrede i/ili otpada dobivenog iz eksploatacije i/ili prerade prirodnog kamena, kao sredstva valorizacije ovih industrijskih sektora u Regiji Murcia, kako bi se razvio optimalni materijal više ekološke razine unutar proizvodnog asortimana, usmjeren na aditivnu proizvodnju kao potencijalnu tehnologiju za racionalizaciju i ponovnu upotrebu nedovoljno iskorištenih resursa (otpada).

U cilju pridonosa rješavanju gore opisanog, glavni ciljevi ovog projekta su bili:

- Razvoj metodologije za razvoj novog cementnog materijala temeljenog na plastičnom otpadu iz poljoprivrede i/ili otpadu dobivenom iz djelatnosti eksploatacije.
- Validacija ove metodologije procjenom njene održivosti u aditivnoj proizvodnji.
- Razvoj novog cementnog materijala za aditivnu proizvodnju kao sredstva valorizacije otpada iz industrijskih sektora u Regiji Murcia.
- Spoznati smanjenje utjecaja na okoliš koje proizlazi iz uporabe novog betona u usporedbi s uporabom klasičnih betona.
- Valorizirati tradicionalne djelatnosti Regije Murcia, na taj način pridonoseći uspostavi modela kružnog gospodarstva.
- Doprinijeti uspostavljanju sinergije međusektorske suradnje između djelatnosti proizvodne strukture Regije Murcia.
- Podići svijest među subjektima uključenim u ciljne sektore o korištenju novih tehnologija i njihovom doprinosu borbi protiv klimatskih promjena, zagađenja i rasipanja sirovina.

2. UVOD

2.1 Stanje najzastupljenijeg plastičnog otpada u poljoprivrednom sektoru regije Murcia za uporabu u cementnim konglomeratima

Jugoistočni dio Španjolske, između Murcije i Almerije, je jedno od najsušnijih područja zemlje, [1]. Međutim, zahvaljujući upotrebi poljoprivredne plastike koja je u razvijenim zemljama uvedena sredinom prošlog stoljeća, ovo područje je danas jedan od najvećih proizvođača voća i povrća u Španjolskoj i većem dijelu Europe, [2].

Sektori plastike i poljoprivrede su usko povezani zbog brojnih prednosti koje upotreba plastike ima u poljoprivredi, ali nije sve prednost, [3]. Korištenje plastike općenito je povezano s potencijalnim negativnim utjecajem na okoliš, i stoga je recikliranje plastike prioritet, [4].

U poljoprivrednom sektoru najčešće korištena plastika je ona koja se koristi za zaštitu usjeva i olakšavanje berbe voća i povrća. Među najčešćim plastičnim zaštitnim elementima su: plastična folija za pokrivanje tla, mreža za zasjenjivanje, plastika za plastenike, vreće za berbu i mreže za zaštitu drveća. U manjim količinama, ali također sa značajnom zastupljenošću, nalazimo plastiku koja se koristi u cijevima i crijevima, plastične vreće za transport većih sadržaja te plastiku za pakiranje fitosanitarnih proizvoda, [5].

Neke od najčešćih vrsta plastike koje se koriste za proizvodnju ovih elemenata su: polietilen niske gustoće (LDPE), polietilen visoke gustoće (HDPE), polikarbonat, polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC) i poliester (PE), [6].

Sve one nakon svog vijeka trajanja mogu postati otpad i imaju veliki utjecaj na okoliš zbog dugog vremena razgradnje. Količina plastičnog otpada koji se odlaže na odlagališta može se smanjiti i ugradnjom recikliranih polimera u maltere, čime se smanjuje njihov utjecaj na okoliš.

Caparrós-Pérez, D., Martínez-Pacheco, V., Hidalgo, P., Llorente, J.

Novi materijal primijenjen u tehnologiji aditivne proizvodnje kroz revalorizaciju otpada iz kamenoloma mramora s malim utjecajem na okoliš

Poljoprivredni sektor je prije nekoliko godina recikliranje uvrstio kao prioritetnu opciju u okviru poslova i procesa koji se provode. Prema ANARPLA-i (Nacionalna udruga djelatnika na recikliranju plastike), u Murciji se godišnje proizvede više od 30.000 tona poljoprivrednog otpada, od čega se 75%-85% reciklira, [7].

Zbog potrebe za pronalaženjem održivijih i ekološki prihvatljivijih načina korištenja plastičnog otpada, jedna alternativa je dodavanje recikliranih polimera malterima, što postaje široko rasprostranjena praksa u građevinskom sektoru, [8], [9].

Dodavanjem mljevenih ili vlaknastih plastičnih čestica malteru tijekom procesa miješanja, uključujući između ostalog poliester, polipropilen i polikarbonat, mogu se poboljšati mehaničke karakteristike maltera, kao što su čvrstoća na tlak i savijanje, [10], kao i njihova trajnost. Također je uočeno da malteri koji sadrže reciklirane polimere imaju manju vodopropusnost i upijanje vode, [11].

2.2 Različite vrste otpada iz djelatnosti eksploatacije i/ili obrade kamena u regiji Murcia za uporabu u mješavinama recikliranog betona i morta

Trenutačno među najvećim problemima s kojima se suočava sektor prirodnog kamena u smislu nastajanja otpada je stvaranje mulja, kamene prašine i kamenih ostataka iz kamenoloma tijekom vađenja kamena, [12], [13].

Mulj od vađenja prirodnog kamena je najčešći otpad koji nastaje tijekom vađenja i obrade prirodnog kamena, [14]. Sastav mulja koji nastaje u industriji kamena može varirati ovisno o vrsti kamena koji se obrađuje, metodi koja se koristi za njegovo vađenje i obradu, kao i mjerama koje su poduzete za smanjenje nastajanja mulja. Međutim, općenito, mulj iz industrije kamena se obično sastoji od mješavine vode i finih kamenih čestica koje nastaju rezanjem, poliranjem i obradom prirodnog kamena, [15]. Te kamene čestice mogu sadržavati različite tvari, uključujući glinu, tinjac, kvarc, željezne okside, feldspat, silicijev dioksid i druge karbonate. Veliki postotak tih muljeva završi na odlagalištima ili se koristi kao ispunja na zemljištu i cestama, ali se ne koristi kao sirovina za proizvodnju novih komercijalnih proizvoda. U malim količinama koriste ga proizvođači cementa za izradu cementa, betona i maltera, a također se koristi i u industriji papira, boja i keramike, [16].

U regiji Murcia, kao i u drugim regijama, djelatnost vađenja i prerade kamena može stvoriti različite vrste otpada koji se može koristiti u mješavinama recikliranog betona i maltera. Oba nusproizvoda mogu se uvesti u ove mješavine nakon što se potpuno osuše i naknadno samelju.

2.3 Stanje u specifičnom području proizvodnje betona na bazi plastičnog i mramornog otpada i njegova primjena u aditivnoj proizvodnji

Istraživanja u građevinskom sektoru s ciljem optimizacije procesa, smanjenja troškova, poboljšanja performansi i uzimanja u obzir ekološke održivosti posljednjih godina su postala sve učinkovitija. Iako građevinski sektor karakterizira vrlo spori napredak u primjeni tehnologije u građevinskim procesima u usporedbi s drugim proizvodnim sektorima, digitalna revolucija je tu i ostaje.

S gledišta utjecaja na okoliš, posljednjih godina su provedena brojna istraživanja o korištenju industrijskog otpada i recikliranih materijala u proizvodnji betona. Istraživanja dodavanja pojedinih materijala dovela su do promjene svojstava betona, smanjenja troškova i specifičnih učinaka ovisno o vrsti materijala i doziranju, [17].

Kako bi se poboljšala svojstva maltera, u njih se na različite načine može ugraditi plastika. Tijekom procesa miješanja, jedna od najpopularnijih metoda je dodavanje plastičnih aditiva u malter, [18]. Kemijske tvari poznate kao plastični aditivi se dodaju malteru kako bi se povećala

Caparrós-Pérez, D., Martínez-Pacheco, V., Hidalgo, P., Llorente, J.

Novi materijal primijenjen u tehnologiji aditivne proizvodnje kroz revalorizaciju otpada iz kamenoloma mramora s malim utjecajem na okoliš

njegova obradivost, plastičnost, čvrstoća i trajnost, [19]. Mogu se koristiti mnoge različite vrste aditiva, uključujući polietere, polikarboksilate i akrilne polimere. Tijekom miješanja maltera, plastični dodatak se sjedinjuje s ostalim sastojcima, uključujući cement, pijesak i vodu. Plastični dodatak djeluje kao sredstvo za smanjenje vode, što znači da smanjuje količinu vode potrebnu za miješanje, čime se povećava čvrstoća maltera i time smanjuje poroznost, [20].

Plastika se može ugrađivati u maltere dodavanjem plastičnih vlakana uz plastične dodatke. Kad se sjedine s ostalim sastojcima maltera, ova vlakna povećavaju čvrstoću maltera na istezanje, savijanje i zamor, [21].

3. ISPITIVANJA

Glavni cilj ovog istraživanja bila je procjena izvedivosti potpune ili djelomične zamjene sitnog dodatka kojeg pruža punilo od vapnenca u smjesama za 3D ispis, kao i moguće ugradnje plastičnog otpada. Ovo je bilo posebno zanimljivo jer, budući da je mulj dobiven iz mramorne prašine, unatoč svom stjenovitom izgledu, to je prašinasta tvorevina koja zahtijeva mljevenje za odvajanje.

Za formulaciju maltera za 3D ispis, cement Cementos Cruz CKLEEN korišten je kao referenca zbog niskog sadržaja klinkera, što omogućuje postizanje duljeg vremena otvaranja za 3D ispis i ograničavanje pucanja uslijed hidratacijske topline. Osim toga, ugrađene su frakcije agregata vapnenca s maksimalnom veličinom čestica od 2 mm i punilo od vapnenca kako bi se povećao postotak sitnih čestica za 11%. VCO (vodocementni odnos) postavljen je na relativno niske postotke, za koje se očekuje da će rezultirati visokim čvrstoćama.

U nastavku mogu se vidjeti različita ispitivanja koja je proveo Cementos Cruz s dozom cementa u bazi, agregata 02 i mramorne prašine na površini.

Tablica 1. Sažetak različitih urađenih mješavina

001_CTM3D CKLEEN Cement Agregat 02 Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode Čvrsta celuloza	002_CTM3D CKLEEN Cement Rezidualni polimer Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode Čvrsta celuloza	003_CTM3D CKLEEN Cement Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode Čvrsta celuloza
004_CTM3D CKLEEN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode Čvrsta celuloza	005_CTM3D CKLEEN Cement Polimerni ostatak Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode Čvrsta celuloza	006_CTM3D CKLEEN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode Čvrsta celuloza
007_CTM3D CKLEEN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 2 Čvrsta celuloza	008_CTM3D CKLEEN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza	009_CTM3D CKLEEN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 4 Čvrsta celuloza

Caparrós-Pérez, D., Martínez-Pacheco, V., Hidalgo, P., Llorente, J.
Novi materijal primijenjen u tehnologiji aditivne proizvodnje kroz revalorizaciju otpada iz kamenoloma mramora s malim utjecajem na okoliš

<p>010_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 5 Čvrsta celuloza</p>	<p>011_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza</p>	<p>012_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza</p>
<p>013_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 3</p>	<p>014_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 4</p>	<p>015_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5</p>
<p>016_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer</p>	<p>017_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer 2</p>	<p>018_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer 3</p>
<p>019_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer 4</p>	<p>020_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 01 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Tekući lignosulfonat</p>	<p>021_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer</p>
<p>022_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer 2</p>	<p>023_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer 3</p>	<p>024_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer 4</p>
	<p>025_CTM3D CKLEĒN Cement Agregat 02 Mramorna prašina Vapnenačko punilo Tekući aditiv za smanjenje vode 3 Čvrsta celuloza 5 Rezidualni polimer 5</p>	

Caparrós-Pérez, D., Martínez-Pacheco, V., Hidalgo, P., Llorente, J.

Novi materijal primijenjen u tehnologiji aditivne proizvodnje kroz revalorizaciju otpada iz kamenoloma mramora s malim utjecajem na okoliš

Polimer koji se najviše koristio u ovom projektu bio je PET, budući da ga najviše ima u poljoprivredi. Napravljene su izmjene formule 008_CTM3D u omjerima od 5, 10, 15, 15, 20 i 25%, pri čemu je najbolji rezultat bila mješavina 021_CTM3D, koja je imala udio PET-a od 5%, ali je još uvijek imala znatno lošije rezultate od uzorka 008_CTM3D.

4. REZULTATI MJEŠAVINA

Nakon što su mješavine napravljene, pristupilo se ispitivanjima kako bi se isključili neki od predloženih sastava. Za to su uzeti u obzir fluidnost u platformi za trešenje, vrijeme otvaranja, vodocementni odnos, a također i kvalitativni testovi, kao npr. da li se mješavina fluidizira s energijom a ne fluidizira bez nje. Također, kao što se može vidjeti u nastavku, pištoljem za prskanje i s dijelovima paste izvedeno je ispitivanje mogućnosti slaganja u visinu.

Nakon ispitivanja 20 formulacija u svježem stanju, 4 kandidata su odabrana zbog svog dobrog tiksotropnog ponašanja u svježem stanju, što ih čini dobrim kandidatima za 3D ispis.

Rezultati uzoraka za svježe stanje koji su dali najbolje reološke rezultate, te su stoga odabrani za daljnje ispitivanje, odgovaraju formulama 005, 008, 015 i 020.

Tablica 2. Karakterizacija mješavina s najboljim učinkom

SVJEŽE STANJE_CTM3D	005_CTM3D	008_CTM3D	015_CTM3D	020_CTM3D
VRIJEME OTVARANJA	65 min	80 min	70 min	90 min
TIKSOTROPIJA	Vrlo dobra	Odlična	Vrlo dobra	Dobra
MOGUĆNOST SLAGANJA U VISINU (POKUS ŠTRCALJKOM)	5 slojeva	12 slojeva	7 slojeva	4 sloja
DEZINTEGRIRANI IZGLED	Homogen	Homogen	Homogen	Homogen
ADHEZIJA	Pravilna	Pravilna	Visoka	Prevelika

Nakon provođenja različitih formulacija i pokusa pištoljem za špricanje, većina mješavina temeljenih na ponovnoj uporabi različite plastike iz poljoprivrednog otpada morala je biti odbačena jer nisu dale dobre rezultate. Jedino je mješavina 005_CTM, koja nije sadržavala agregat, dala prihvatljive rezultate s polimerima u svom sastavu.

Napravljene su ostale mješavine počevši od smjese 008_CTM, koja je a priori bila ona s najboljim ponašanjem u svježem stanju. U mješavine je uveden PET otpad u omjerima od 5, 10, 15, 15, 20 i 25%. Onaj koji je dao najbolji rezultat bio je onaj koji je sadržavao 5% (021_CTM) i njegovo ponašanje je bilo znatno lošije od ponašanja 008_CTM.

Konačno su napravljeni trostruki odljevi od 4 odabrane formule, 005_CTM, 008_CTM, 015_CTM i 020_CTM. Ovi odljevi su ostavljeni da očvršćavaju 28 dana, nakon čega su provedena ispitivanja čvrstoće na savijanje i tlak.

U nastavku su prikazani rezultati dobiveni nakon podvrgavanja odabranih uzoraka ispitivanjima savijanja i kompresije.

Tablica 3. Rezultati ispitivanja savijanja i tlačenja uzoraka izrađenih s različitim mješavinama

SVJEŽE STANJE_CTM3D	005_CTM3D	008_CTM3D	015_CTM3D	020_CTM3D
SAVIJANJE (28 DANA)	3.2 MPa	8.6 MPa	4.6 MPa	2.8 MPa
KOMPRESIJA (28 DANA)	31 MPa	46 MPa	23 MPa	19 MPa

Caparrós-Pérez, D., Martínez-Pacheco, V., Hidalgo, P., Llorente, J.

Novi materijal primijenjen u tehnologiji aditivne proizvodnje kroz revalorizaciju otpada iz kamenoloma mramora s malim utjecajem na okoliš

Nakon uvida u ove rezultate, zaključeno je da je formula 008_CTM3D najprikladnija za procjenu u 3D ispisu u punoj razmjeri zbog svog dobrog ponašanja u svježem i očvrstnutom stanju te je odlučeno da se procijeni stvarna mogućnost ispisa mješavine 008_CTM3D pomoću kartezijanskog pisača 3DLAB-a tvrtke Cementos Cruz.

Komponente mješavine 008_CTM3D detaljnije izražene u postocima se mogu pronaći u nastavku.

Tablica 4. Sastav mješavine s najboljim učinkom

008_CTM3D	% TEŽINE U SMJESI	% FINE MJESAVINE
CKLEEN Cement	29.07	29.07
Agregat 02	54.40	9.25
Mramorna prašina	11.20	11.20
Vapnenačko punilo	5.30	5.30
Tekući aditiv za smanjenje vode 4	0.03	0
Cvrsta celuloza	0.10	0
VCO	25	

5. REZULTATI ISPISA

Kako se ne bi oslanjali samo na dobivene laboratorijske podatke, odlučeno je izvršiti ispis kako bi se osigurala učinkovitost odabrane smjese. Kao što se može vidjeti u nastavku, ispis je bio uspješan.



Slika 1. 3D ispis s mješavinom 008_CTM

LITERATURA

1. Romero, María José Romacho, and José Jaime Capel Molina. Introducción fitoclimática del sureste ibérico. Universidad Complutense de Madrid, 1997.
2. Grau, Luis García. "Los plásticos en la agricultura." Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera 708 (1991): 630-631.
3. de Pedro, Félix Robledo. "Los plásticos en la agricultura española: análisis, estadísticas y nuevos desarrollos." Rev Plast Modern 332 (1984): 161-170.
4. Pedraza, Agustín Caballero, Asunción Romero Díaz, and Inmaculada Espinosa Soto. "Cambios paisajísticos y efectos medioambientales debidos a la agricultura intensiva en la

Caparrós-Pérez, D., Martínez-Pacheco, V., Hidalgo, P., Llorente, J.

Novi materijal primijenjen u tehnologiji aditivne proizvodnje kroz revalorizaciju otpada iz kamenoloma mramora s malim utjecajem na okoliš

- Comarca de Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia)." *Estudios geográficos* 76.279 (2015): 473-498.
5. Ariza, A. M. L. (2004). *Materiales plásticos para uso agrícola*.
6. Scarascia-Mugnozza, Giacomo, Carmela Sica, and Giovanni Russo. "Plastic materials in European agriculture: actual use and perspectives." *Journal of Agricultural Engineering* 42.3 (2011): 15-28.
7. <https://www.anarpla.com/>
8. Meyer, Christian. "The greening of the concrete industry." *Cement and concrete composites* 31.8 (2009): 601-605.
9. Awoyera, P. O., and Adeyemi Adesina. "Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective." *Case Studies in Construction Materials* 12 (2020): e00330.
10. Mayta Huamán, Maritza. "Mejoramiento de la resistencia a la compresión del concreto $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, reforzado con fibras de Tereftalato de polietileno (PET) utilizando materiales de las canteras, de Hatun Rumiyoc II y Cordova (Huambutio)." (2016).
11. Ramli, Mahyuddin, and Amin Akhavan Tabassi. "Effects of polymer modification on the permeability of cement mortars under different curing conditions: a correlational study that includes pore distributions, water absorption and compressive strength." *Construction and Building Materials* 28.1 (2012): 561-570.
12. Paulo, Hélio Bruno Luís. *Aprovechamiento de las escombreras en la cantera de mármol Botichino I como áridos para la construcción*. Diss. Departamento de Minería, 2017.
13. Quintero, Efraín Casadiego, et al. "Manejo estratégico de la producción de residuos estériles de minería sustentable, utilizando prácticas mineras eco-eficientes en Colombia." *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 8.2 (2017): 107-118.
14. Almeida, Nuno, Fernando Branco, and Jose Roberto Santos. "Recycling of stone slurry in industrial activities: Application to concrete mixtures." *Building and Environment* 42.2 (2007): 810-819.
15. Careddu, Nicola, and Giovanna Antonella Dino. "Reuse of residual sludge from stone processing: differences and similarities between sludge coming from carbonate and silicate stones—Italian experiences." *Environmental Earth Sciences* 75 (2016): 1-9.
16. Santos Ruiz, Jaime. "Estudio para tratar de identificar posibles aplicaciones industriales para los residuos generados en el proceso de corte y elaboración de piedra natural, en concreto del mármol, analizando su viabilidad técnica y económica." (2004).
17. Zahera, Manuel. "La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y el desarrollo de productos." (2012).
18. Kosmatka, Steven H., William C. Panarese, and Manuel Santiago Bringas. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.
19. Narrea Vilchez, Jeffrey Fernando, and Dario Gonzalo Roncal Araujo. "Aditivo superplastificante basado en copolímero para mejorar las propiedades del concreto de alta resistencia." (2020).
20. Valadez Solís, Alan. *Mejora en las propiedades de morteros y hormigones mediante la combinación de aditivos superplastificantes y anti retracción*. MS thesis. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
21. Sharma, Raju, and Prem Pal Bansal. "Use of different forms of waste plastic in concrete—a review." *Journal of Cleaner Production* 112 (2016): 473-482.