

Sustav ECO-SANDWICH - održivi predgotovljeni zidni panelni sustav od recikliranog agregata

Ivana Banjad Pečur, Nina Štirmer, Bojan Milovanović

Građevinski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

Sažetak

ECO-SANDWICH je ventilirani predgotovljeni zidni panel izrađen od betona s recikliranim agregatom te sloja mineralne vune proizvedene primjenom inovativne i održive Ecosse® tehnologije, kako bi se smanjila upotreba energije za grijanje i hlađenje u zgradama. Inovativni sustav ECO-SANDWICH nastao je kao rezultat suradnje hrvatskih znanstvenih institucija i industrije provođenjem intenzivnih istraživanja s ciljem razvoja novog proizvoda te unapređenja proizvodnje i gospodarstva. Projekt ECO-SANDWICH preporučen je za financiranje u okviru programa CIP Eco-Innovation 2011.

Ključne riječi: vanjska ovojnica zgrade, reciklirani agregat, predgotovljeni zidni panel, građevinski otpad, ušteda energije

ECO-SANDWICH system, sustainable prefabricated wall panel system made of recycled aggregates

Abstract

ECO-SANDWICH is ventilated prefabricated wall panel system made from concrete with recycled aggregate and innovative and sustainable Ecosse® mineral wool in order to reduce energy needed for heating and cooling in buildings. The innovative ECO-SANDWICH system has been developed as a result of cooperation of Croatian scientific institutions and industry after an extensive research has been conducted. The main goal of this cooperation was to develop an entirely new product for the market and thus to improve production and economy. The project ECO-SANDWICH is recommended for financing through the program CIP Eco-Innovation 2011.

Key words: buildings external envelope, recycled aggregate, prefabricated wall panels, construction and demolition waste, energy efficiency

1 Uvod

U današnje je vrijeme građevinski otpad kao nusprodukt dnevne i/ili gospodarske aktivnosti postao nezaobilazan problem. To je uzrokovano procesom onečišćenja okoliša koje se događa brže od procesa prirodne obnove, a sve kao posljedica nerazboritog industrijskog, tehnološkog te gospodarskog razvoja koji sve više poprima neodržive značajke. Promatranjem problema odlagališta otpada (divljih odlagališta) kao i povećanjem količine otpada kao takvog, zbog povećanja potrošnje i broja stanovnika, dolazi se do logičnog zaključka da nekad male lokacije, beznačajnog ili samo estetskog utjecaja na okoliš, postaju lokacije sa značajnim zagađenjem [1, 2, 3].

Zbog velikog potencijala za recikliranje i ponovnu upotrebu, građevinski je otpad prepoznat i određen od strane Europske komisije kao jedan od prioritetnih smjerova za financiranje, odnosno prepoznat je kao jedan od prioritetnih problema za rješavanje. Doista, odgovarajuće upravljanje građevinskim otpadom rezultiralo bi djelotvornim i učinkovitim korištenjem prirodnih resursa i ublažavanjem utjecaja graditeljstva na okoliš. Okvirna direktiva o otpadu (Waste Framework Directive – WFD) zahtijeva od zemalja članica (kojima će se pridružiti i Republika Hrvatska od srpnja 2013. godine) da poduzmu sve nužne korake kako bi se postigli zahtjevi da se do 2020. godine za ponovno korištenje, recikliranje i druge vrste uporabe materijala iz neopasnog građevinskog otpada (uključujući i postupke zatrpavanja u kojima se otpad koristi kao zamjena za druge materijale) poveća na najmanje 70 % mase ukupnog građevinskog otpada koji se generira [4].

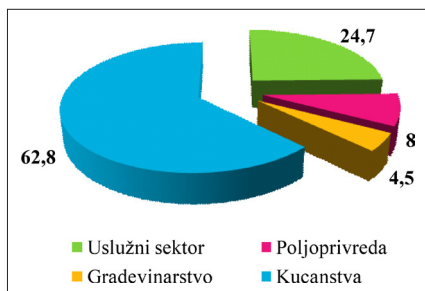
S druge strane, industrija betona je najveći potrošač prirodnih resursa i jedan od najvećih proizvođača otpada. Iako se beton, u usporedbi s drugim građevnim materijalima, smatra ekološki prihvatljivim materijalom, njegove komponente i proizvodna tehnologija to nisu. Pri proizvodnji betona upotrebljavaju se velike količine prirodnih resursa, a prema nekim autorima smatra se da je industrija cementa odgovorna za 7 % emisija stakleničkih plinova [5, 6]. Beton će se nedvojbeno koristiti u znatnoj mjeri i u budućnosti zbog svojih brojnih prednosti te činjenicom da inženjeri i znanstvenici razvijaju mnoge tehnologije koje poboljšavaju održivost betona.

Jedan od osnovnih ciljeva održivosti definiran u dokumentu Agenda 21 on Sustainable Construction, smanjenje je upotrebe neobnovljivih sirovina [7]. U istraživanjima u području tehnologije betona napravljen je iskorak u smjeru uporabe recikliranog agregata te se on može koristiti kao zadovoljavajuća zamjena za agregat iz prirodnih izvora. Poznavanjem mehaničkih i trajnosnih svojstava betona izrađenih od recikliranog agregata mogu se pronaći prikladni načini njegove primjene, a time bi se povećala vrijednost materijalu koji zasad služi za zatrpavanje ili se odbacuje na odlagališta otpada.

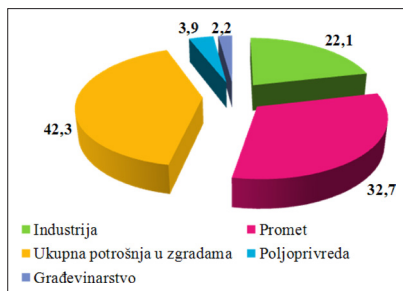
Jedan od načina primjene recikliranog betonskog loma i reciklirane opeke ili pak miješanog recikliranog agregata u betonu jest zasigurno u zgradarstvu, gdje je utjecaj okoliša na njegovu trajnost znatno manji, a zahtjevi za velikim mehaničkim svojstvima nisu izraženi kao primjerice u mostogradnji [8, 9].

Postojeće zgrade predstavljaju velik potencijal za smanjenje potrošnje energije, odnosno ekonomske uštede, a sve zbog činjenice da postoje brojne zgrade koje imaju minimalnu ili uopće nemaju toplinsku zaštitu. Ilustrativni je primjer ove tvrdnje u tome da 83 % svih zgrada u Hrvatskoj koristi za grijanje 150 do 200 kWh/m² energije za grijanje [10]. Kako je vidljivo iz slika 1 i 2, najveći je udio, 62,8 %, potrošnje kućanstava u dijelu opće potrošnje u Republici

Hrvatskoj tijekom 2010. godine, dok je udio ukupne potrošnje u zgradarstvu tijekom 2010. godine u ukupnoj potrošnji konačne energije jednak 42,3%.



Slika 1. Udio kućanstava i usluga u sektoru opće potrošnje u Republici Hrvatskoj tijekom 2010. [11]



Slika 2. Udio ukupne potrošnje u zgradarstvu atijekom 2010. u ukupnoj potrošnji konačne energije [11]

U zemljama EU27 zgrade troše oko 40 % energije, što uzrokuje 36 % emisije CO_{2eq} plinova zemalja EU [11]. Zbog toga su, zemlje EU odlučile implementirati planove za poboljšanje energetske učinkovitosti u svoje energetske strategije te razviti zakonodavni okvir za realizaciju tih planova [12]. Republika Hrvatska je kao zemlja pristupnica u procesu usklađivanja svojeg zakonodavstva s Direktivama Europske komisije prihvatila sve obveze te je u procesu njihova ispunjavanja.

Iz svega navedenog, a može se zaključiti da su zgrade jedan od najvećih potrošača energije i da zgrade imaju velik utjecaj na okoliš, ne samo zbog potrošnje energije nego i zbog značajnog utjecaja građevnih materijala tijekom proizvodnje (značajna količina ugrađene energije - embodied energy) i odlaganja. Energetska učinkovitost, održiva gradnja te korištenje recikliranih resursa zajedno s obnovljivim izvorima energije postaju prioritetni smjerovi suvremenog procesa gradnje.

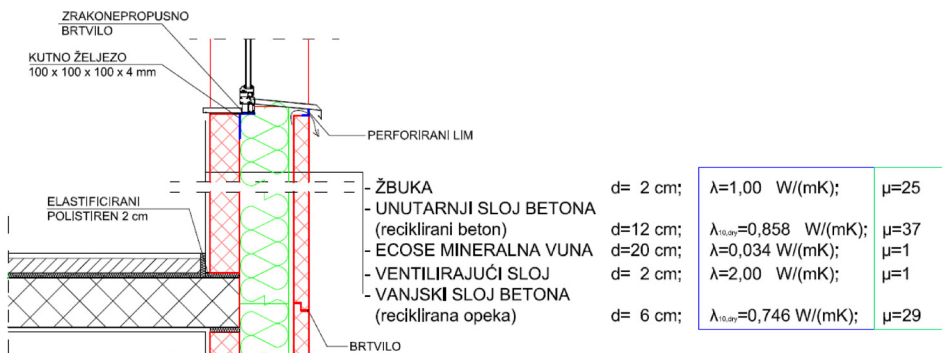
ECO-SANDWICH, predgotovljeni ventilirani zidni panelni sustav koji je opisan u ovom radu, ima velik potencijal znatno poboljšati energijsko svojstvo postojećih zgrada, a time bi se omogućilo lakše ostvarivanje ciljeva 20-20-20 do 2020. godine. Nadalje, njegovom bi se implementacijom stvorio novi smjer poslovnih mogućnosti, a sve uz promicanje inovativnog i tzv. zelenog gospodarstva.

Primjena ECO-SANDWICH zidnih panela u gradnji novih zgrada, kao nosivih građevnih dijelova ili obložnih elemenata stambenih zgrada, obiteljskih kuća, skladišta, proizvodnih hala, uredskih zgrada, škola, farmi itd., vrlo je jednostavna.

2 Predgotovljeni zidni panelni sustav

Zidni panel ECO-SANDWICH sastoji se od dva sloja betona koji su međusobno povezani rešetkastim nosačima od nehrđajućeg čelika (slika 3.). Od ukupne količine agregata potrebnog za izradu betona, 50 % je zamijenjeno s recikliranim agregatom dobivenim iz građevinskog otpada. Unutarnji, nosivi sloj betona izrađen je od recikliranog betonskog loma, dok je vanjski fasadni sloj izrađen od reciklirane opeke kao agregata u betonu. Kao toplinskoizolacijski materijal koristi se novorazvijena mineralna vuna izrađena primjenom Ecosse® tehnologije koja

umjesto formaldehida koristi prirodne smole kao vezivo. Pažljivim projektiranjem i izvođenjem spojeva i načina pričvršćenja zidnih panela može se utjecaj toplinskih mostova svesti na najmanju moguću mjeru.



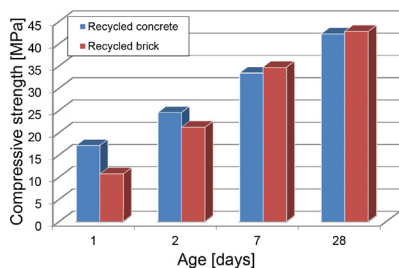
Slika 3. Presjek zidnog panela s opisom i karakteristikama slojeva

Temeljeno na analizi stanja područja i postojećim spoznajama o obradi građevinskog otpada, betonskog loma i reciklirane opeke [13, 14], na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu provedena su opsežna istraživanja [15, 16, 17] te su odabrane dvije mješavine betona (tablica 1.) koje su se prema svojim svojstvima u svježem i očvrslom stanju pokazale optimalnima za izvođenje zidnih panela ECO-SANDWICH.

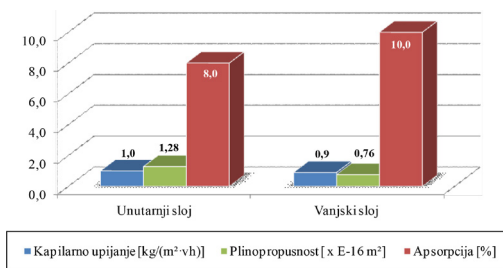
Tablica 1. Sastavi betona za vanjski i unutarnji sloj zidnih panela ECO-SANDWICH

Komponenta		Cement [kg]	Voda (L)	Super - plastifikator [kg]	Pijesak 0/4 mm [kg]		Reciklirani agregat 4/8mm [kg]		Reciklirani agregat 8/16mm [kg]	
					prirodni	drobljeni	beton	opeka	beton	opeka
Mješavina	Reciklirana opeka	380,00	160,00	1,14	462,00	486,00	211,00	—	600,00	—
	Reciklirani beton	400,00	170,00	1,14	462,00	486,00	—	211,00	—	600,00

Kao kemijski dodatak upotrijebljen je superplastifikator na bazi modificiranih polikarboksilnih eter (PCE) polimera. Tehnologija proizvodnje zidnih panela ECO-SANDWICH zahtijevala je određeni stupanj razvoja tlačne čvrstoće za obje mješavine betona (slika 4.). Svojstva vodoupojnosti (kapilarnog upijanja), plinopropusnosti betona i apsorpcije vode prikazana su na slici 5. Zbog velike vodoupojnosti, zaključeno je da je potrebno dodatno zaštititi vanjski sloj betona kako bi se izbjegli mogući problemi uslijed pojave smrzavanja i odmrzavanja.



Slika 4. Razvoj tlačne čvrstoće betona tijekom vremena



Slika 5. Trajnosna svojstva betona

Mineralna vuna proizvedena primjenom Ecosse® tehnologije odabrana je između drugih vrsta održivih toplinskoizolacijskih materijala (npr. mineralne vune, celuloze, pamuka i dr.) zbog toga što se oni u Hrvatskoj mogu pronaći u malim količinama ili ih uopće nema. Tako se na primjeru ovčje vune može pokazati da se u Hrvatskoj proizvede otprilike 1200 tona godišnje, ali se ona ne prerađuje u toplinskoizolacijski materijal već se većina odlaze u prirodu. Tehnologija proizvodnje, u ovom radu prikazanog zidnog panela ECO-SANDWICH, može se uz male promjene modificirati na način da se koristi ovčja vuna ili drugi prirodni materijali kao toplinska izolacija, dajući time proizvodu još veću dodanu vrijednost, odnosno još manju ugrađenu energiju. Ecosse® mineralna vuna proizvodi se od recikliranih staklenih boca, otpadnog stakla, otpada nastalog u samoj proizvodnji mineralne vune, što ukupno čini do 85 % sirovina koje se koriste, dok ostatak čini silicijski pijesak iz prirodnih pozajmišta. Prema stručnjacima BRE Green Guide-a [18], odnosno BREEAM sustavu, materijal ne sadrži štetne tvari poput formaldehida, fenola, pentana, butana i akrila te je za proizvodnju potrebno do 70 % manje energije nego u slučaju tradicionalne mineralne vune koja koristi veziva na bazi nafte (tablica 2). Dodatno, svojstva Ecosse® mineralne vune ne smanjuju se tijekom vremena, ona ne sadrži umjetna bojila te se može u potpunosti reciklirati.

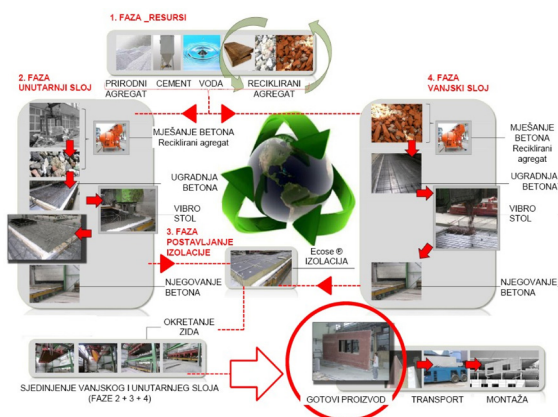
Tablica 2. Ocjena Ecosse® mineralne vune [18]

Izolacijski materijal od staklene vune – gustoća 32 kg/m³		
Utjecaj na okoliš	Jedinica mjere	Ocjena
Emisija CO _{2eq}	kg CO _{2eq} (100 god.)	B
Korištenje vode	m³ pitke vode	A+
Korištenje prirodnih resursa	t mineralnih resursa	A+
Degradacija ozonskog sloja	kg CFC _{eq}	A+
Toksičnost za čovjeka	kg 1,4 diklorobenzena (1,4-DB) eq.	A+
Toksičnost za pitku vodu	kg 1,4 diklorobenzena (1,4-DB) eq.	A+
Nuklearni otpad	mm³ utrošenog nuklearnog goriva	A+
Toksičnost za tlo	kg 1,4 diklorobenzena (1,4-DB) eq.	E
Odlaganje otpada	t	A+
Korištenje fosilnih goriva	toe (tonnes of oil eq.)	A+
Eutrofikacija	kg fosfata (PO ₄) eq.	A+

Potencijal fotokemijskog stvaranja ozona	kg etilena (C ₂ H ₄) eq	A+
Potencijal stvaranja kiselih kiša	kg sumpor dioksida (SO ₂) eq.	A+
Ukupna ocjena	-	A+

Između sloja Ecosse® mineralne vune i vanjskog sloja betona nalazi se 2 cm ventilirajućeg sloja zraka kojemu je svrha sprječavati vlaženje izolacijskog materijala. Unutarnji i vanjski sloj betona međusobno su povezani rešetkastim nosačima od nehrđajućeg čelika. Unutarnji sloj betona je povezan s nosivom konstrukcijom zgrade (stupovima, zidovima) pomoću sustava priključaka od nehrđajućeg čelika.

Inovativno rješenje betoniranja vanjskog sloja predgotovljenog zidnog panela ECO-SANDWICH razlikuje opisani od sličnih proizvoda. Nakon očvršćivanja unutarnjeg sloja, postavlja se sloj toplinske izolacije, zatim se oba sloja okrenu za 180° oko uzdužne horizontalne osi, te se umoči u prethodno izliveni vanjski sloj betona na način da se između ostavi ventilirajući sloj zraka. Cijeli element se zatim njeguje u klimatizacijskoj komori. Shematski prikaz proizvodne linije prikazan je na slici 6.



Slika 6. Shematski prikaz proizvodne linije zidnog panela ECO-SANDWICH

3 Razmatranja održivosti

Utjecaj na okoliš zidnih panela ECO-SANDWICH i preliminarno je ocijenjen promatrajući cjelokupni životni ciklus njegovih komponenti (betona i izolacije) i zidnog panela kao cjeline. Za ocjenu je korišten računalni program ECO-it, koji omogućuje modeliranje životnog ciklusa proizvoda i njegovo opterećenje na okoliš, odnosno kvantificiranje ekološkog opterećenja pojedinih materijala i procesa na okoliš. Pri ocjenjivanju je korištena baza utjecaja na okoliš najčešće upotrijebljenih građevnih materijala, procesa i energije, izrađena prema ReCiPe metodi [19]. Temeljem rezultata laboratorijskih istraživanja i provedene analize utjecaja na okoliš opisanog zidnog panela ECO-SANDWICH, u okviru programa CIP Eco innovation 2011, pod istim nazivom prijavljen je projekt.



Slika 7. Principi održivosti zidnog sustava ECO-SANDWICH

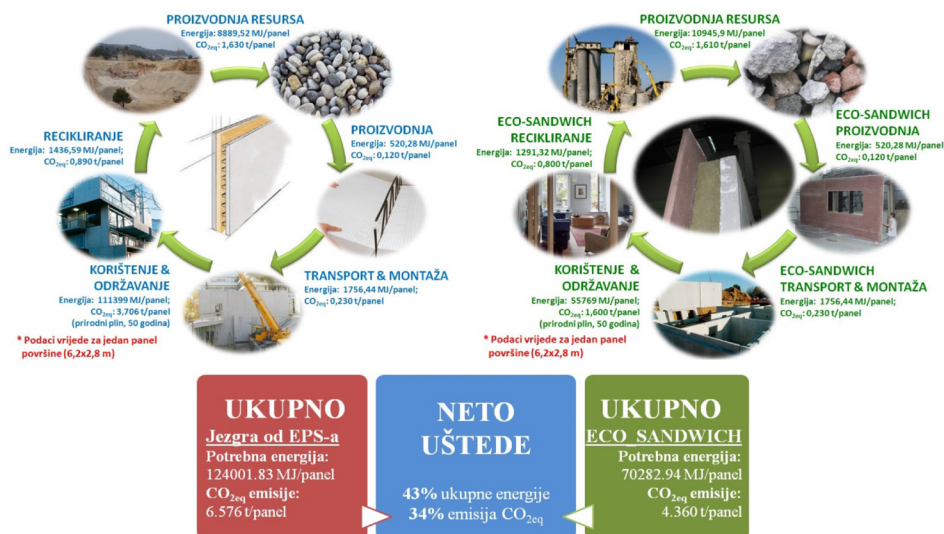
Projekt ECO-SANDWICH fokusiran je na pokušaj rješavanja tri glavna problema: smanjenje emisije stakleničkih plinova povećanjem energetske učinkovitosti u zgradama, povećanje učinkovitog korištenja resursa uporabom građevinskog otpada pri proizvodnji panela (50 % ukupne količine potrebnog agregata zamjenjuje se građevinskim otpadom) te smanjenjem korištenja reguliranih kemikalija kao što su fenoli i formaldehidi u proizvodnom procesu toplinskoizolacijskih materijala (slika 7.).

U usporedbi s drugim rješenjima koja postoje na tržištu, pretpostavljajući jednaku debljinu toplinske izolacije (iako takvi proizvodi nisu trenutačno dostupni), zidni paneli ECO-SANDWICH imaju povoljnije karakteristike u pogledu troškova životnog ciklusa i svojstava, a istodobno postižu znatno niži stupanj utjecaja na okoliš.

Na primjer, ugrađena energija zidnih panela ECO-SANDWICH 33,8 % manja je nego u slučaju laganih kompozitnih izolacijskih panela kao što su oni izrađeni od aluminija ili pocinčanog lima, a ispunjeni poliuretanskom toplinskom izolacijom. Nadalje, u radu opisani zidni paneli posjeduju veći toplinski kapacitet, čime je moguće optimizirati povoljne učinke dobivanja od Sunca, čime se smanjuje potreba za energijom za 2 do 15 % te se uz to smanjuju amplitude promjene temperature na unutarnjoj površini zida, čime je moguće smanjiti dnevnu potrebu za hlađenjem prostora do 50 %. Uz uštede energije za grijanje i hlađenje prostora, koje posljedično smanjuju i emisiju stakleničkih plinova, zidne panele ECO-SANDWICH moguće je ponovno iskoristiti i u cijelosti reciklirati.

Detaljna analiza tržišta pokazuje prisutnost različitih rješenja konstrukcijskih izoliranih panela (structural insulated panels – SIP) i konstrukcijskih betonskih izoliranih panela (structural concrete insulated panels – SCIP). SIP paneli su vrlo lagani, imaju vrlo malu emisiju CO₂eq i malu ugrađenu energiju, no imaju nedostatak u vrlo maloj površinskoj masi, odnosno malom toplinskom kapacitetu (što uzrokuje probleme u toplim klimatskim uvjetima tijekom ljetnih mjeseci – povećana potrošnja energije za hlađenje prostora). S druge strane, SCIP paneli su napravljeni od betona koji koristi samo agregat iz prirodnih izvora (riječni ili drobljeni) te sadrže toplinsku izolaciju od ekspandiranog EPS ili ekstrudiranog polistirena XPS, koji koriste naftu kao sirovinu za proizvodnju. Nadalje, debljina slojeva izolacije panela SIP i SCIP na tržištu iznosi se od 8 cm do najviše 20 cm, dok početna debljina sloja izolacije kod panela ECO-SANDWICH iznosi 20 cm čime se omogućuje veća energetska učinkovitost zgrada.

Osim toga, stiren je prema IARC Tehničkom izvještaju broj 42 [21] svrstan među tvari koje su najvjerojatnije kancerogene i za koje se preporučuju daljnja opsežna istraživanja. EPS i XPS se kao otpad relativno lako recikliraju i ponovno upotrebljavaju, no ako je njihovo odlaganje nepravilno, mogu biti štetni za okoliš jer se pri propadanju oslobađaju aditivi štetni za okoliš. Utjecaj na okoliš zidnih panela ECO-SANDWICH uspoređen je s predgotovljenim zidnim panelima s integriranom toplinskom izolacijom od EPS-a i s betonom bez recikliranog agregata. Analiza potrošnje energije i uštede u emisiji CO_{2eq} tijekom cjelokupnog životnog ciklusa temelji se na podacima iz baze ECO-it te literaturnim podacima koji su dostupni za predgotovljene panele s izolacijom od EPS-a debljine 10 cm, što je prema sadašnjim hrvatskim propisima dovoljno za gradnju u gotovo svim lokacijama u Hrvatskoj (slika 8.). Uzimajući u obzir da mehaničko recikliranje i drobljenje građevinskog otpada troši samo malu količinu energije u odnosu na onu koja se troši tijekom uporabe panela, te da su toplinska svojstva betona izrađenog s recikliranim agregatom bolja od deklariranih literaturnih vrijednosti za betone slične gustoće (tablica 3.), iskazuje se prednost panela ECO-SANDWICH u odnosu na slične sustave s običnim betonom.



Slika 8. Uštede zidnog sustava ECO-SANDWICH (desno) u usporedbi sa zidnim panelom s izolacijom EPS-a debljine 10 cm (lijevo) tijekom životnog ciklusa od 50 godina

Toplinska provodljivost betona s recikliranim agregatom je 36 %, a betona s recikliranom opekom 45 % manja u odnosu na literaturne vrijednosti za beton iste gustoće. Potrebno je napomenuti i da su betoni koji se koriste u sličnim panelima obično gustoće 2400 kg/m³, što im daje toplinsku provodljivost od 2,00 W/mK [22].

Tablica 3. Koeficijent toplinske provodljivosti betona korištenog u panelu ECO-SANDWICH i literaturne vrijednosti betona slične gustoće

Materijal	Beton s recikliranim betonskim lomom	Beton s recikliranom opekam	Literaturne vrijednosti za betone [22]
Gustoća (kg/m ³)	2105	1971	2000
Toplinska provodljivost $\lambda_{10,dry}$ (W/mK)	0,858	0,746	1,35

Povoljna toplinska svojstva betona s recikliranim agregatom u kombinaciji s Ecose® mineralnom vunom pridonose tome da je vrijeme povrata uložene energije u proizvodnju iz ušteda energije tijekom uporabe panela ECO-SANDWICH 22 mjeseca. Uštede su određene u odnosu na SCIP panele s EPS-om debljine 10 cm.

Osim što pridonosi postizanju načela održivosti, panel ECO-SANDWICH kroz svoju primjenu nosi dodatne prednosti stvaranjem novih radnih mjesta u proizvodnji samih panela, ali i u proizvodnji recikliranog agregata te obnovi postojećih zgrada.

4 Zaključak

Poštujući moto "najbolja energija je uštedena energija", predgotovljeni zidni paneli ECO-SANDWICH pridonose održivom, zdravijem okolišu i ugodnom životnom prostoru za korisnike zgrada koje su tako izgrađene. Opisani zidni sustav slijedi načele hijerarhije upravljanja otpadom jer se upotrebljava reciklirani građevni otpad i reciklira otpad pri proizvodnji Ecose® mineralne vune, objedinjujući ih u inovativni, ekološki i održivi proizvod.

Zbog svoje usklađenosti s Direktivom o energijskom svojstvu zgrada (Energy performance of Building Directive – EPBD 2002-91-EC) i EPBD II (2010-31-EC) te Okvirnom direktivom o otpadu (2008-98-EC), zidni sustav ECO-SANDWICH olakšat će njihovu primjenu u graditeljskoj praksi. Stvara se tržište za građevinski otpad kao sirovinu, umjesto njegova odlaganja u prirodu, te se znatno smanjuju potrebe energije za grijanje i hlađenje u postojećim zgradama ili u slučaju gradnje novih zgrada upotrebom predgotovljenih zidnih panela sustava ECO-SANDWICH.

Zbog svega toga projekt ECO-SANDWICH predložen je za financiranje kroz program CIP Eco-Innovation 2011.

Za daljnje usavršavanje proizvoda potrebno je provesti istraživanja u smjeru zamjene nosača (spojnica vanjskog i unutarnjeg sloja betona) od nehrđajućeg čelika s onima od kompozitnih materijala kako bi se dodatno smanjila ugrađena energija panela te energija tijekom korištenja panela. Također, valja obratiti pozornost na osiguranje primjerena agregata iz građevinskog otpada, odnosno načinu izdvajanja nečistoća iz agregata kako bi se osigurala betonske mješavine ujednačene kvalitete i ujednačenih svojstava. Proizvodnja samozbijajućeg betona s recikliranim agregatom osigurala bi dodatno smanjenje ugrađene energije zidnog panela ECO-SANDWICH.

Dodatna istraživanja pripomogla bi u određivanju granične količine recikliranog agregata koja se može koristiti u betonu, a da se zadovolje svi potrebni zahtjevi nosivosti, uporabljivosti, trajnosti, ali i tehnologije gradnje.

Zahvala

Autori zahvaljuju Ministarstvu znanosti, obrazovanja i sporta na financijskoj potpori preliminarnih istraživanja provedenih na recikliranom agregatu za beton, koje je provedeno kroz projekte "Od nano do makrostrukture betona", br. 082-0822161-2990, te "Razvoj novih materijala i sustava zaštite betonskih konstrukcija", br. 082-0822161-2159. Posebnu zahvalu upućuju Europskoj komisiji na potpori financiranju projekta "Energy Efficient, Recycled Concrete Sandwich Facade Panel – ECO-SANDWICH" kroz program CIP-EIP-Eco-Innovation-2011, čime se omogućilo daljnje istraživanje i usavršavanje zidnih panela ECO-SANDWICH.

Literatura

- [1] Bjegović, D., Mikulić, D., Pavošević, D. and Štirmer, N.: Quality Management in Projects of Construction Waste Sorting as Part of "Wild" Dumpsites Remediation Project in Croatia, in Proceedings of International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, pp. 299-307, 2007.
- [2] Projekt LIFE05 TCY/CRO/000114 CONWAS: Razvoj održivog sustava upravljanja građevinskim otpadom u Hrvatskoj, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2006-2008.
- [3] Bjegović, D., Mikulić, D., Štirmer, N., Prutki Pečnik, G.: Razvijanje sustava gospodarenja građevinskim otpadom u Republici Hrvatskoj, IX. međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom, Zagreb 2006., Milanović, Zlatko (ur.), Gospodarstvo i okoliš, 2006. 109-118
- [4] The Waste Framework Directive, 2008/98/EC
- [5] Popović, K., Rosković, R. i Bjegović, D.: Proizvodnja cementa i održivi razvoj, Građevinar 55, 4; pp. 201-206, 2003.
- [6] Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M., Concrete: Microstructure, Properties and Materials, The McGraw-Hill Companies, Inc., USA, 2006.
- [7] International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Agenda 21 on Sustainable construction, CIB Report Publication 237, Rotterdam, 1999.
- [8] Bjegović, D., Štirmer, N., Mikulić, D.: Construction and Demolition Waste Usage Possibilities, Fifth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-V), "Collaboration and Integration in Engineering, Management and Technology", Istanbul, Turkey, May 20-22, 2009
- [9] Bjegović, D., Štirmer, N., Šprajc, H., Serdar, M.: Preporuke za primjenu recikliranog agregata, X. međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom Zagreb 2008, Milanović, Zlatko (ur.), Gospodarstvo i okoliš, 643-653, 2008.
- [10] Studija primjenjivosti alternativnih izvora energije kod novih i postojećih zgrada, Ministarstvo zaštite okoliša prostornog uređenja i graditeljstva, Zagreb, 2009.
- [11] 2010, Energija u Hrvatskoj, godišnji energetske pregled, Republika Hrvatska, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 2012.
- [12] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union L153/13-35
- [13] Kesegić, I, Bjegović, D., Netinger, I.: Upotreba reciklirane opeke kao agregata za beton, Građevinar, Vol. 61, Br.1, 2009.

- [14] Miličević, I., Štirmer, N., Bjegović, D.: Optimizing the Concrete Mixture made with Recycled Aggregate Using Experiment Design, 9th IASME/WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE'11), Firenca, 23-25.08. 2011., Lazard, M.; Buikis, A.; Shmaliy, Y. S.; Revetria, R. ; Mastorakis, N. (ur.), WSEAS Press, www.wseas.org, 110-115
- [15] Kovač, D.: Beton od recikliranog agregata, magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2008.
- [16] Sironić, H.: Primjena recikliranih materijala u proizvodnji betona, magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2010
- [17] Banjad Pečur, I, Štirmer, N: Primjena recikliranog agregata u betonu - iskustva u Hrvatskoj, 19. slovenski kolokvij o betonih - Doseganje posebnih betonov z uporabo odpadlih materialov, Ljubljana, 23.05.2012
- [18] BRE Green Guide, www.bre.co.uk, 14.07.2012.
- [19] Goedkoop M.J., Heijungs R, Huijbregts M., De Schryver A., Struijs J., Van Zelm R.: ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterisation; 6 January 2009
- [20] European Commission, Directorate-General for Energy and Transport (DG TREN): EU energy in figures 2010, Statistical Pocketbook 2010, European Union, 2010.
- [21] International Agency for Research on Cancer (IARC): Technical Publication No 42 - Identification of research needs to resolve the carcinogenicity of high-priority IARC carcinogens, Publications of the World Health Organization, Lyon, France, 2010.
- [22] Willems, W.M., Dinter, S., Schild, K.: Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 1; Verlag: Vieweg; 1. Auflage, 2006