

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA ODRĐENIH TERMO-FIZIČKIH I MEHANIČKIH SVOJSTAVA EPS BETONA

EXPERIMENTAL TESTING OF CERTAIN THERMO-PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF EPS CONCRETE

Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ

STRUČNI RAD
UDK: 666.973 = 861

1 UVOD

EPS beton je lakoagregatni kompozit spravljen na bazi granula ekspaniranog polistirena (stiropora) i klasičnih komponentnih materijala za beton: cementa i vode, sa odgovarajućim specifičnim hemijskim dodacima. U poslednjih pedeset do šezdeset godina u svetu je razvijeno i koristi se više različitih varijanti ovakvih lakoagregatnih betona, pod različitim komercijalnim nazivima [1]. Jedan od predstavnika predmetnih kompozita je i Simprolit, koji je patentiran i uspešno se koristi u Srbiji i Ruskoj Federaciji [4]. Svojstva ovog materijala su ispitivana, u više navrata, u Laboratoriji za materijale Građevinskog fakulteta u Beogradu. Ovom prilikom biće prikazani rezultati sopstvenih eksperimentalnih ispitivanja Simprolita, kao reprezentata grupe termoizolacionih materijala tipa EPS betona. Konkretno, radi se o specifičnim ispitivanjima iz oblasti građevinske fizike - sistema odvođenja vodene pare sa ravnih krovova, zatim kapilarnog upijanja i otpornosti EPS kompozita u uslovima niskih temperatura.

Kao što je poznato, da bi bili kompetitivni na tržištu, savremeni termoizolacioni materijali moraju da ispune mnoge oštre zahteve, kao što su:

- niska zapreminska masa, odnosno velika poroznost;
- zadovoljavajuća mehanička svojstva;
- malo upijanje vode;
- dobra termoizolaciona svojstva;
- zadovoljavajuća propustljivost za vazduh i gasove;

Prof. dr Dragica Jevtić, dipl.inž.tehn.
Asis. mr Dimitrije Zakić, dipl.inž.građ.
Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet
Bul. kralja Aleksandra 73, Beograd, Srbija

1 INTRODUCTION

EPS concrete is a lightweight composite material made of expanded polystyrene (styrofoam) grains and classic concrete component materials: cement and water, with addition of special chemical admixtures. In the last fifty to sixty years many different varieties of this type of lightweight concrete have been developed and applied, under different commercial names [1]. One of the representatives of such composite materials is Simprolit, which has been patented and successfully applied both in Serbia and in Russian Federation [4]. The properties of this material have been tested, in several occasions, in the Laboratory for materials at the Faculty of Civil Engineering in Belgrade. In this paper, the results of own experimental research of Simprolit - being a representative of EPS concrete as a thermoinsulation material, will be presented. In particular, specific tests regarding Civil engineering physics will be discussed - steam conduction system for flat roofs, capillary absorption and frost resistance of EPS composite materials.

In order to be competitive at the market, contemporary thermo-insulating materials must fulfill lots of strict demands including:

- Low density, i.e. high porosity;
- Satisfactory mechanical properties;
- Low water absorption;
- Good thermo-insulating properties;
- Satisfactory steam and gas permeability;

Dragica Jevtić, PhD
Dimitrije Zakić, Assist. prof., MSc, Assist.
Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade
Bul. kralja Aleksandra 73, Belgrade, Serbia

- otpornost na dejstvo mraza;
 - hemijska i biološka otpornost;
 - vatrootpornost;
 - netoksičnost;
- prihvatljiva cena [2].

Prvi uslov, koji se odnosi na veliku poroznost termoizolacionih materijala zasniva se na postojanju pora u obliku veoma sitnih vazдушnih mehurića ili veoma tankih slojeva vazduha. Krupnije vazdušne šupljine nisu dozvoljene, jer bi se na taj način povećala toplotna provodljivost usled efekata konvekcije i radijacije. Karakter (tip) pora, kao i njihova uniformna rapodela, takođe su veoma značajni. Osnovna zamisao je u tome da se naprave materijali sa veoma malim, zatvorenim porama ("ćelijama"). U takvim porama vazduh se ne kreće, što doprinosi boljim termoizolacionim efektima. Takođe, pore ovog tipa ne "komuniciraju" između sebe što, kao rezultat ima niže vrednosti upijanja vode i bolju otpornost na dejstvo mraza.



Slika 1. Struktura Simprolita
Figure 1. The structure of Simprolit

Zadovoljavajuća mehanička svojstva (pre svega čvrstoće pri pritisku i pri savijanju) takođe su značajne za očuvanje integriteta materijala tokom transporta, ugradnje i eksploatacije.

Simprolit karakteriše relativno niska vrednost zapreminske mase ($150-300 \text{ kg/m}^3$) i veoma nizak koeficijent toplotne provodljivosti ($0,055-0,085 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$), koji praktično ne zavisi od vlažnosti materijala. Veličina paropropustljivosti kreće se između $0,110-0,135 \text{ mg/m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa}$, što zidovima napravljenim od Simprolita omogućava da normalno "dišu". Predmetni materijal poseduje takođe i dobra zvukoizolaciona svojstva. Tako na primer, moguće je sniziti nivo buke i do 40 dB – u zavisnosti od debljine primenjenog kompozita [3].

Visoka otpornost na dejstvo mraza takođe karakteriše Simprolit: nakon 50 ciklusa smrzavanje-odmrzavanje (između $+15\text{°C}$ i -20°C), pad čvrstoće iznosio je svega 1,5% - 1,8% [5].

Većina napred navedenih svojstava Simprolita ispitana je u okviru Instituta za materijale i konstrukcije na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Između ostalog, program ispitivanja obuhvatio je i određivanje veličine kapilarnog upijanja vode. Prilikom tih ispitivanja, srednja vrednost visine kapilarnog penjanja

- Frost resistance;
- Chemical and biological resistance;
- Fireproofing;
- Non-toxic;
- Acceptable price [2].

The first condition concerning high porosity of thermo-insulating materials is based on the existence of pores in the shape of tiny air cells or very thin air layers. Larger air voids are not allowed because of the heat conductivity increase due to the convection and radiation effects. The character (type) of the pores as well as their uniform distribution is also very important. The idea is to make materials with very small closed - airtight pores ("cells"). In these pores the air doesn't move, which leads to better thermo-insulation effects. Also, pores of this type are not "communicating" with each other giving, as a result, lower water absorption and higher frost resistance.

Satisfactory values of mechanical properties (compressive and flexural strength) are also significant for keeping the integrity of the material during transport, construction and exploitation.

Simprolit is characterized by relatively low density ($150-300 \text{ kg/m}^3$) and very low heat conductivity coefficient ($0,055-0,085 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$), which practically does not depend on the moisture content. Steam permeability ranges between $0,110-0,135 \text{ mg/m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa}$, which gives the opportunity to the walls made of Simprolit to "breathe" normally. This material also possesses good soundproofing properties. For example, it is possible to reduce noise level up to 40 dB depending on the composite thickness [3].

High frost resistance also characterizes Simprolit: at 50-cycle freeze-thaw test (from $+15\text{°C}$ to -20°C), loss of strength varies only from 1,5% - 1,8% [5].

Most of the above-mentioned properties of Simprolit were tested at the Institute for materials and structures - Faculty of Civil engineering in Belgrade. Among other laboratory tests, the investigation program also consisted of capillary water absorption determination. The mean value of the height of absorbed water was less than 4 cm for all samples, which was very good in

vode iznosila je manje od 4 cm, što predstavlja veoma dobar rezultat s obzirom na ukupnu visinu uzoraka od 20 cm. Naredna fotografija (slika 2) prikazuje uzorke Simprolita nakon pomenutog testiranja [8].

comparison with the complete sample height of 20 cm. The next picture (Fig. 2) shows the samples after testing [8].



Slika 2. Visina upijanja vode nakon testa kapilarnog penjanja
Figure 2. The height of absorbed water after capillary absorption test

Simprolit se koristi za proizvodnju različitih elemenata od lakog betona, kao što su: termoizolacioni fasadni paneli, blokovi za spoljašnje zidove, blokovi za pregradne zidove, prefabrikovani pregradni zidni paneli, međuspratne ploče, krovne ploče, sistemi za odvođenje vodene pare, itd. Neki od pomenutih elemenata i sistema ispitivani su na Građevinskom fakultetu u Beogradu - u okviru Instituta za materijale i konstrukcije. Između ostalog, obavljena su laboratorijska ispitivanja u cilju određivanja ponašanja pod opterećenjem pojedinih elemenata, kao i celokupnog Simprolit sistema za termoizolaciju i odvođenje vodene pare koji se primenjuje na ravnim krovovima. Takođe, izvršeni su i testovi na osnovu kojih se može izvesti zaključak o otpornosti na dejstvo mraza Simprolit blokova ispunjenih svežim betonom. Rezultati predmetnih eksperimentalnih istraživanja prikazani su u okviru ovog rada [7, 9].

2 SISTEM ZA TERMOIZOLACIJU I ODVOĐENJE VODENE PARE KOD RAVNIH KROVOVA

Jedan od osnovnih zadataka koje treba rešiti tokom izvođenja ravnih krovova predstavlja odvođenje vodene pare iz višeslojnih termoizolacionih i hidroizolacionih sistema. Ovi sistemi se obično sastoje od sledećih elemenata: (1) krovna ploča (od betona ili čeličnog lima), (2) parna brana sa ili bez sistema za odvođenje pare, (3) termoizolacija, (4) sloj za izravnanje, (5) podloga za hidroizolaciju, (6) hidroizolacija, (7) sloj za zaštitu hidroizolacije (kod prohodnih krovova).

Osnovni problem kod ovakvih sistema vezan je za redosled slojeva, a naročito za poziciju sloja za izravna-

Simprolit is used for production of various light-concrete elements, such as: thermo-insulation facade panels, blocks for outer walls, blocks for partition walls and facade casing, pre-fabricated partition wall panels, insulation panels, slabs, roof plates, steam conduction systems, etc. Several of these products were tested at the Faculty of Civil Engineering - Institute for materials and structures in Belgrade, Serbia. Among other experiments, laboratory tests were conducted in order to determine the behavior under load of different elements, as well as the behavior of the whole Simprolit thermo-insulation and steam conduction system for flat roofs. Also, some tests were made in order to examine the frost resistance of Simprolit blocks filled with fresh concrete. The results of these experimental investigations are presented in this paper [7, 9].

2 THERMO-INSULATION AND STEAM CONDUCTION SYSTEM FOR FLAT ROOFS

One of the main tasks to be solved during flat roofs' construction is the conduction of steam from the multi-layered thermo-insulation and hydro-isolation systems. These systems usually consist of the following elements: (1) roof plate (concrete or corrugated tin sheet), (2) steam-isolation with or without the steam conduction system, (3) thermo-insulation, (4) leveling layer, (5) base layer for hydro-isolation, (6) hydro-isolation, (7) hydro-isolation protection layer (for transient roofs).

The general problem concerning such systems is related to the arrangement of layers, especially to the position of the leveling layer. An experienced designer

nje. Iskusan projektant će taj sloj uvek postaviti ispod hidroizolacije, ili čak ispod termoizolacije, tako da se u slučaju oštećenja ili propuštanja hidroizolacije voda može odvesti sa najniže tačke krova. U suprotnom, ukoliko voda prođe kroz hidroizolaciju, to će svakako dovesti do oštećenja izolacije, pa čak i do degradacije celokupne krovne konstrukcije, naročito nakon većeg broja ciklusa smrzavanje-odmrzavanje.

Takođe, prisutan je i klimatski faktor (tačnije vlažnost vazduha i padavine) na koje se ne može uticati niti ih možemo predvideti tokom faze projektovanja. Naime, parna brana, izvedena sa ili bez sistema za odvođenje vodene pare, a koja je postavljena direktno iznad krovne ploče služi kao zaštita od pare koja dolazi odozdo. S druge strane, hidroizolacija koja predstavlja završni sloj na ravnom krovu, štiti krovnu konstrukciju od atmosferske vode ali takođe služi i kao parna brana štiteći termoizolacione slojeve od pare koja bi mogla doći odozgo.

Međutim, problem vlage zarobljene između parne brane i hidroizolacije (unutar termoizolacionog sloja) na ovaj način ostaje nerešen. Ta vlaga se obično javlja kao posledica padavina nastalih tokom izvođenja ravnog krova. Šanse da će do takve situacije stvarno doći rastu sa povećanjem površine i produženjem perioda izgradnje krova [6, 8].

Mere koje izvođač obično preduzima u cilju izbegavanja pomenutih problema najčešće ne daju zadovoljavajuće rezultate. To se dešava zato što uobičajena tehnologija građenja u ovakvim slučajevima zahteva deljenje površine krova na manje sekcije, čije se izvođenje može završiti u okviru jednog radnog dana tokom koga se izvode svi projektovani slojevi, počev od parne brane, preko sloja za izravnjanje, termoizolacije i konačno hidroizolacije, uključujući i obaveznu bočnu hidroizolaciju za zaštitu svake od pojedinačnih sekcija.

Ovakvu proceduru, međutim, poštuje retko koji izvođač, iz razloga čestih prekida radova i teškoća prilikom izvođenja sloja za izravnjanje. Takođe, primena predmetne procedure sobom povlači i povećanje cene ravnog krova, praktično do nivoa koji nijedan investitor ne želi da plati, naročito imajući u vidu da se ovakvi poslovi obično plaćaju po m² izvedenog krova.

S druge strane, čak i ukoliko se slojevi ravnog krova izvedu uz primenu korektnog tehnološkog postupka, problem slobodne vlage unutar sloja za izravnjanje termoizolacije ostaje i dalje prisutan. Iako je ovu vlagu moguće eliminisati primenom specijalnih tehnoloških metoda, to takođe podrazumeva dodatno produženje rokova izgradnje, kao i višu cenu konstrukcije ravnog krova.

Teoretski posmatrano, moguće rešenje ovog problema bilo bi postavljanje paropropusne hidroizolacije, koja bi propuštala paru koja dolazi odozdo, istovremeno sprečavajući prodor vode koja dolazi odozgo. Iako je kvalitetna paropropusna hidroizolacija relativno retka, a pri tome obično dosta skupa i zahteva ugradnju dodatnog zaštitnog sloja (zbog svoje slabe otpornosti na mehaničke uticaje i direktno dejstvo sunčevih zraka), ovakav tip rešenja je sigurniji sa aspekta funkcionalnosti i trajnosti [9].

Drugo, znatno češće primenjivano rešenje istog problema, predstavlja ugradnja parnih konduktora duž cele površine krova. U tom slučaju, međutim, može se javiti problem vezan za proračun potrebnog tačnog rastojanja između pojedinačnih konduktora. Naime,

will always place the leveling layer under the hydro-isolation, even under the thermo-insulation, so that the water could be drained from the lowest point in case of hydro-isolation damage or leaking. Otherwise, if the water gets through the hydro-isolation it will certainly lead to deterioration of the isolation and even to the degradation of the whole roof structure, especially after numerous freeze-thaw cycles.

Also, there is the climate factor (more precisely air humidity and precipitation) that can not be influenced or predicted during the design stage of the project. Namely, the vapor barrier, designed with or without the steam conduction system and placed directly over the roof plate, serves as protection from the steam coming from beneath. On the other hand, the hydro-isolation as the final layer on the flat roofs, protects the roof structure from the atmospheric water, but also serves as the vapor barrier over the thermo-insulation layers stopping the steam coming from above.

However, the problem of the moisture trapped between the vapor barrier and the hydro-isolation (inside the thermo-insulation layer) remains unsolved. This moisture usually appears as a result of the rainfall during the construction of the flat roof. The chance that such situation will occur rises with the increment of the roof's surface and the prolongation of the construction works [6, 8].

The measures taken by the contractor in order to avoid such problems usually don't give satisfactory results. This happens because of the fact that such construction technology requires division of the roof's surface into smaller sections, which can be finished within one working day making all the necessary layers, from the steam-isolation, leveling layer, thermo-insulation and finally hydro-isolation, including the obligatory lateral hydro-isolation protection of each section.

However, this is the procedure that almost none of the contractors follow, because of the frequent work interruptions and the difficulties in the construction of the leveling layer. It also drastically increases the price of the flat roof structure, to the extent that almost no investor is willing to pay, especially because of the fact that this type of work is usually paid per m² of the finished flat roof.

On the other hand, even when the layers of the flat roof are made using the correct technology, the problem of the free moisture from the leveling layer still remains unsolved. Although it is possible to eliminate such moisture using special technological methods, it also means the prolongation of the construction deadlines and higher total price of the flat roof structure.

Theoretically, one of the possible solutions for this problem could be the fitting of a steam permeable hydro isolation, which lets through the steam coming from beneath, but doesn't let through the water coming from above. Although the quality steam permeable hydro isolation is relatively rare, usually expensive and requires the additional protection layer (because of its poor resistance to mechanical influence and direct sun rays), this type of solution is safer regarding the aspects of functionality and durability [9].

Another and more often applied solution is the installation of steam conductors along the whole surface of the roof. However, a practical problem may arise during calculation of the exact distance between steam conductors. Namely, the following basic condition must

prilikom tog proračuna mora se poštovati sledeći uslov: otpor horizontalnom kretanju vodene pare kroz termoizolacioni sloj (na dužini izraženoj u metrima) mora biti manji nego otpor vertikalnom kretanju vodene pare kroz termoizolacioni sloj (na dužini izraženoj u centimetrima) povećanom vrednošću adhezije između sloja hidroizolacije i podloge, pri čemu su svi ovi faktori u relaciji sa temperaturom vazduha, stepenom izloženosti površine krova sunčevim zracima, atmosferskim pritiskom, vlažnošću vazduha, itd. Oštećenja koja se najčešće javljaju kod ovakvih sistema mogu da nastanu kao posledica jednog od sledeća dva problema:

- Ili su parni konduktori postavljeni predaleko jedan od drugog, tako da se para širi i odvaja hidroizolacioni sloj od podloge, pre nego što bude sprovedena kroz konduktore,

- Ili su parni konduktori postavljeni isuviše blizu jedan drugom, formirajući «sito» na površini krova, što kao logičnu posledicu ima oštećenja i procurivanje hidroizolacije, naročito u blizini samih konduktora; ovo se dešava ili zbog uticaja većeg broja ciklusa smrzavanje-zagrevanje, ili zbog otklizavanja slojeva snega sa krova, uticaja vetra, mehaničkih oštećenja, itd.

Kombinacijom svih povoljnih rešenja ovog problema i eliminisanjem svih napred navedenih negativnih aspekata, Simprolit sistem za ventilisane ravne krovove učinio je mogućim potpuno uklanjanje vodene pare iz izolacionog sloja, istovremeno povećavajući njegovu trajnost, kao i trajnost ostalih slojeva ravnog krova.

Ovaj sistem je veoma efikasan, naročito u slučajevima kada ostali sistemi dosegnu svoje granice ili postanu potpuno neprimenjivi u konkretnom slučaju, kao na primer kod izvođenja ravnih krovova kod električnih centrala, toplana, zatvorenih bazena i ostalih objekata u kojima vladaju povišene temperature (preko 50°C) visok stepen vlažnosti (čak i preko 90%), u prostoru neposredno ispod krovne konstrukcije.

2.1 Laboratorijska ispitivanja

Simprolit sistem za termoizolaciju i odvođenje vodene pare se generalno sastoji od sledećih elemenata: "SPBS60" blokovi (dimenzije: 60x12x19cm), "SOP3" jednoslojne Simprolit termoizolacione ploče (debljine 3cm), Simprolit monolit, ploče i ulošci od stiropora, PVC folije i cevi (parni konduktori). Međutim, prilikom laboratorijskih ispitivanja tretirani su samo noseći elementi sistema. Imajući ovo u vidu, sledeći tipovi uzoraka su odabrani kao reprezentativni:

- "SPBS60" blok (dimenzija: 60x12x19cm) bez uložaka stiropora;

- "SPBS60" blok (dimenzija: 60x12x19cm) sa ulošcima stiropora umetnutim u šupljine u središtu bloka;

- "SOP3" jednoslojna Simprolit termoizolaciona ploča (debljine 3cm);

- kompletan Simprolit sistem sa tri horizontalna sloja, koja se sastoje od dva "SPBS60" bloka sa ulošcima stiropora i jedne "SOP3" ploče.

Srednja vrednost zapreminske mase ispitivanih Simprolit blokova iznosila je 195 kg/m³. Na slici 3 prikazani su Simprolit blok "SPBS60" i jednoslojna termoizolaciona Simprolit ploča "SOP3".

be obeyed: the resistance to the horizontal motion of the steam through the thermo-insulation layer (at the length measured in meters) must be smaller than the resistance to the vertical motion of the steam through the thermo-insulation layer (at the length measured in centimeters) increased by the adhesion value between the hydro isolation and the base layer, all these factors being in relation to the air temperature, exposure of the roof's surface to the sun, atmospheric pressure, air humidity, etc. The most frequent damages of this type of protection system occur because of one of the next two problems:

- either the steam conductors are placed to far away one from another, so that the steam expands and detaches the hydro isolation layer before it is evacuated through the conductors,

- or the steam conductors are placed to close, making a «sieve» from the roof surface, which results as a logical consequence in damaging and leaking of the hydro isolation, especially in the area near the conductors; this happens either because of the freeze-thaw cycles' influence on the hydro isolation, or because of the snow sliding down the roof, wind effect, mechanical damages, etc.

Combining all the good solutions of this problem, and eliminating the above mentioned negative aspects, Simprolit system for ventilated flat roofs makes it possible to completely remove steam from the hydro isolation layer, improving at the same time its durability as well as the durability of other layers.

It is very effective, especially in cases when other systems reach their limits or become totally inapplicable, for instance - construction of flat roofs in power plants, heating plants, indoor swimming pools and all other places with high temperature (over 50°C) and high air humidity (even over 90%) in the area directly under the roof structure.

2.1 Laboratory Testing

Simprolit system for thermo-insulation and steam conduction generally consists of the following elements: "SPBS60" blocks (dimensions: 60x12x19cm), "SOP3" single-layer Simprolit thermo-insulation plates (3cm thick), Simprolit monolith, Styrofoam plates and pads, PVC sheets and pipes (steam conductors). However, only the bearing elements of the system were considered during the laboratory testing. Having this in mind, the following representative types of testing specimens were chosen:

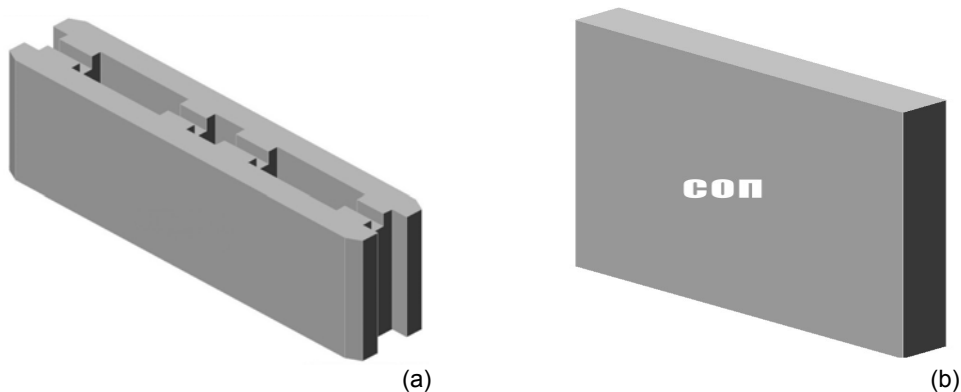
- "SPBS60" block (dimensions: 60x12x19cm) without styrofoam pads;

- "SPBS60" block (dimensions: 60x12x19cm) with styrofoam pads inserted into the cavities in the middle of the block;

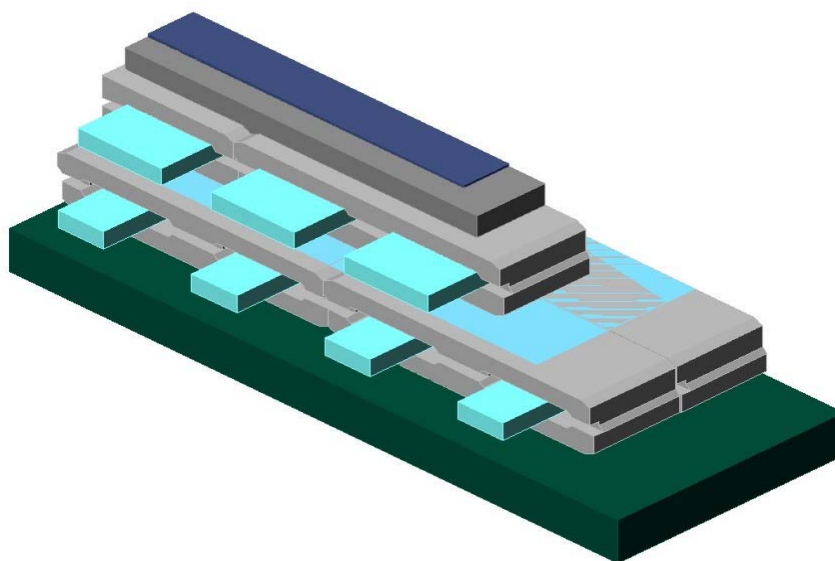
- "SOP3" single-layer Simprolit thermo-insulation plate (3cm thick);

- the whole Simprolit system with three horizontal layers, consisting of two "SPBS60" blocks with styrofoam pads and one "SOP3" plate.

The average density of tested Simprolit blocks was 195 kg/m³. Figure 3 shows both "SPBS60" Simprolit block and Simprolit "SOP3" single-layer thermo-insulation plate.



Slika 3. Simprolit blok "SPBS60" (a) i jednoslojna termoizolaciona ploča "SOP3" (b)
 Figure 3. Simprolit block "SPBS60" (a) and single-layer thermo-insulation plate "SOP3" (b)



Slika 4. SIMPROLIT sistem za termoizolaciju i odvođenje vodene pare
 Figure 4. SIMPROLIT SYSTEM for thermo-insulation and steam conduction

Ulošci koji su korišćeni za ispunjavanje šupljina unutar blokova bili su isečeni iz ploča stiropora (zapreminska masa $\gamma \cong 30 \text{ kg/m}^3$). Na slici 4 vidi se da je sistem formiran tako da su šupljine u donjem redu blokova ispunjene samo delimično stiroporom, u cilju obezbeđenja uspešnog odvođenja vodene pare iz sistema. S druge strane, šupljine u okviru blokova koji se nalaze u gornjem redu ispunjene su u potpunosti ulošcima stiropora [11].

2.2 Postupak ispitivanja i eksperimentalni rezultati

Ispitivanje svih napred navedenih karakterističnih tipova uzoraka - koji predstavljaju elemente Simprolit sistema za termoizolaciju i odvođenje vodene pare sa ravnih krovova, vršeno je prema dispoziciji prikazanoj na narednoj fotografiji - tj. na slici 5. Očigledno, uzorci su ispitivani na pritisak pri čemu je merena veličina sile (P), ali istovremeno i deformacije - odnosno vertikalna

The pads used for filling of blocks' cavities were cut out of styrofoam plates (density of styrofoam $\gamma \cong 30 \text{ kg/m}^3$). Figure 4 shows that the system is formed in such manner that the cavities of the lower row of blocks are filled only partially with styrofoam, in order to provide successful conduction of the steam out of the system. On the other hand, the cavities of the upper row of blocks are completely filled with styrofoam pads [11].

2.2 The Testing Procedure and the Experimental Results

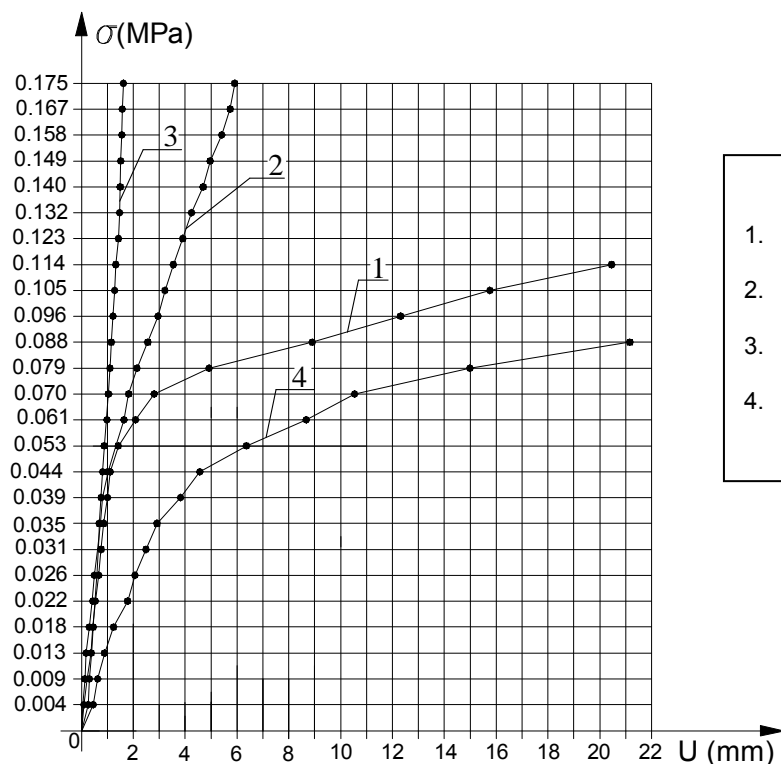
The testing of all the above mentioned characteristic types of specimens - representing the elements of Simprolit thermo-insulation and steam conduction system for flat roofs, was conducted according to the disposition shown at the following photo - Figure 5. Obviously, the specimens were tested under pressure measuring the force value (P), but at the same time the

pomeranja ugaonih tačaka, pomoću četiri ugibomera: U1, U2, U3 i U4. Istovremeno sa registrovanjem veličine sile P (u daN) i vertikalnih deformacija U (u mm), računate su i odgovarajuće vrednosti napona σ (u MPa).

deflections - i.e. vertical movements of the corner points were also measured, using four deflectometers: U1, U2, U3 and U4. Together with force values P (in daN) and vertical deflections U (in mm), the corresponding stress values σ (in MPa) were calculated.



Slika 5. Dispozicija ispitivanja Simprolit sistema
Figure 5. Testing disposition of the system



- LEGENDA:
1. SPBS60 blok bez uložaka stiropora
SPBS60 block without styrofoam pads
 2. SPBS60 blok sa ulošcima stiropora
SPBS60 block with styrofoam pads
 3. Simprolit SOP3 termoizolaciona ploča
Simprolit SOP3 thermo-insulation plate
 4. SIMPROLIT sistem
SIMPROLIT system

Slika 6. Komparativni dijagram Napon - Vertikalni ugibi za sva 4 tipa uzoraka
Figure 6. Comparative diagram Stress vs. Vertical deflection for all 4 specimen types

Na istom dijagramu (slika 6), predstavljena je σ -U zavisnost za sva četiri reprezentativna tipa ispitivanih uzoraka [10].

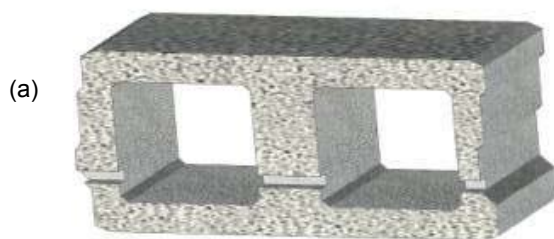
3 OTPORNOST NA DEJSTVO MRAZA SIMPROLIT BLOKOVA

Kao što je već naglašeno, Simprolit je materijal koji karakteriše visoka otpornost na dejstvo mraza. Tako na primer, nakon izlaganja smrzavanju-odmrzavanju tokom 50 ciklusa, pri čemu je temperatura varirana od $+15^{\circ}\text{C}$ do -20°C , zabeleženi pad čvrstoće iznosio je svega 1,5% - 1,8%. Prilikom jednog drugod ispitivanja, izvršenog u okviru Naučno-istraživačkog Instituta Ruske Akademije za Građevinarstvo, Simprolit blokovi su bili testirani takođe na 50 ciklusa smrzavanja-odmrzavanja pri temperaturama $+70^{\circ}\text{C}$ i -30°C , nakon čega nije zabeležen gubitak integriteta niti termoizolacionih svojstava.

Sledeći korak u istraživanju ponašanja Simprolit blokova izloženih ekstremnim klimatskim uslovima načinjen je u Laboratoriji za materijale pri Institutu za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Imajući na umu činjenicu da Simprolit blokovi namenjeni za izvođenje spoljašnjih fasadnih zidova poseduju otvore (šupljine), koji se tokom građenja zidova ispunjavaju svežim betonom, odlučeno je da se ispita sposobnost ovih blokova da efikasno zaštite beton od smrzavanja tokom početnog perioda njegovog očvršćavanja.

Generalno, Simprolit blokovi za spoljašnje zidove proizvode se u debljinama od 20cm, 25cm i 30cm i sa 2 ili 4 podužne šupljine, koje mogu da imaju dno ili da budu potpuno otvorene. Za konkretno ispitivanje, odabran je Simprolit blok "SBD 25" – koji je prikazan na slici 7a. Njegove spoljne dimenzije iznose $50 \times 25 \times 19$ cm i, kao što se sa slike može videti, ima 2 podužne šupljine (dimenzija svake šupljine: $14 \times 17 \times 19$ cm) koje su potpuno otvorene.

Pre ispunjavanja šupljina svežim betonom, u svaku od šupljina postavljeni su ulošci stiropora debljine 3 cm, čija je namena bila da služe kao dodatna termoizolacija svežeg betona (kao što je prikazano na slici 7b).



At the same diagram (Fig. 6), the σ -U relations for all of the four representative types of testing specimens are shown [10].

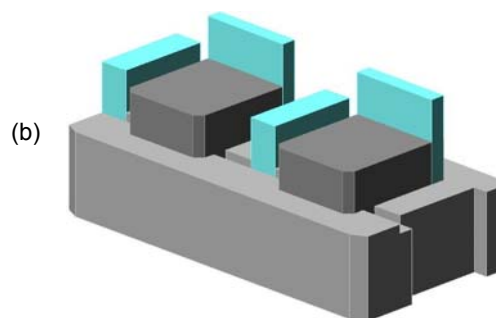
3 FROST RESISTANCE OF SIMPROLIT BLOCKS

As it was already pointed out, Simprolit is a material which is characterized by high frost resistance. For instance, when subjected to 50-times repeated cycle of heating-freezing, from $+15^{\circ}\text{C}$ to -20°C , its loss of strength was only 1,5% - 1,8%. At another test, performed in the Scientific-research Institute of the Russian Academy of Civil Engineering, Simprolit blocks were tested at 50 freeze-thaw cycles under temperatures ranging between $+70^{\circ}\text{C}$ and -30°C , and there was no loss of integrity or thermo-insulation properties.

The next step in the research of behavior of Simprolit blocks under extreme climate conditions was taken in the Laboratory of the Institute for materials and structures at the Faculty of Civil Engineering in Belgrade, Serbia. Having in mind the fact that Simprolit blocks for outer façade walls have hollow spaces (cavities) which are filled up with fresh concrete during construction of the walls, the researchers decided to test the ability of Simprolit blocks to act as efficient protection for concrete against freezing during early stages of its hardening period.

Generally, Simprolit blocks for outer facade walls are produced in 20cm, 25cm and 30cm thickness and with 2 or 4 longitudinal cavities, which may be completely hollow or with the bottom. For this investigation, Simprolit block type "SBD 25" was chosen – which is presented at the next Figure 7a. Its outer dimensions are $50 \times 25 \times 19$ cm and, as it can be seen, it has 2 longitudinal cavities ($14 \times 17 \times 19$ cm each) which are completely hollow.

Before filling of the cavities with fresh concrete, 3 cm thick Styrofoam pads were inserted into each one of the cavities, acting as additional insulation (as shown at Figure 7b).



Slika 7. Simprolit blok "SBD 25" bez (a) i sa ugrađenim betonom i ulošcima stiropora (b)
Figure 7. Simprolit block "SBD 25" without (a) and with fresh concrete and Styrofoam pads (b)

Svež beton je spravljen sa 320 kg/m^3 portland cementa (oznake CEM II, klase 42.5R), sa rečnim agregatom (maksimalno zrno 31,5mm) i toplom vodom (zagrejanom na 55°C). Temperatura sveže mešavine

Fresh concrete was made using 320 kg/m^3 of Portland cement (CEM II, class 42.5R), river aggregate (with maximum grain size 31,5mm) and warm water (pre-heated at 55°C). The temperature of the mix before

neposredno pre ugrađivanja u Simprolit blokove iznosila je 30°C. Ukupno je napravljeno 18 uzoraka: od toga je 9 uzoraka negovano pod normalnim laboratorijskim uslovima (temperatura vazduha 20±2°C i vlažnost 60%), dok je preostalih 9 uzoraka stavljeno u klima-komoru gde je bilo izloženo specijalnom režimu nege. Ovaj režim usvojen je kao simulacija oštrih zimskih uslova i sastojao se od dva periodično ponavljana ciklusa: tokom prvih 12 časova temperatura u klima-komori iznosila je -26°C, a tokom drugih 12 časova ova temperatura iznosila je -12°C. Uzorci su bili stavljani u komoru neposredno nakon ugrađivanja svežeg betona u šupljine Simprolit blokova. U cilju sprečavanja smrzavanja svežeg betona (do čega bi bez sumnje došlo veoma brzo na temperaturi od -26°C), pre ubacivanja blokova u klima-komoru sa gornje i donje strane svakog bloka postavljene su table stiropora debljine 5 cm.

Takođe, napravljene su i betonske kocke dimenzija 15x15x15cm u cilju određivanja čvrstoće pri pritisku (klase) ugrađenog betona. Predmetne kocke negovane su u vodi temperature 20±2°C. Svi uzorci (blokovi negovani na vazduhu u normalnim laboratorijskim uslovima, blokovi izloženi cikličkom smrzavanju i betonske kocke negovane u vodi) ispitivani su pri starostima od 7, 14 i 28 dana. Kao mera otpornosti na dejstvo mraza i termoizolacione sposobnosti Simprolit blokova usvojena je razlika između čvrstoća pri pritisku ostvarenih pri različitim režimima nege. Rezultati predmetnog eksperimentalnog istraživanja prikazani su u tabeli 1. Dati rezultati predstavljaju srednje vrednosti dobijene na bazi ispitivanja 3 uzorka.

filling the Simprolit blocks' cavities was 30°C. Altogether 18 specimens were made: 9 of them were cured at normal laboratory conditions (air temperature 20±2°C and humidity 60%) and the other 9 were put into the thermo-regulation chamber and subjected to a special curing regime. This regime was adopted as a simulation of hard winter conditions and it consisted of two cycles: during the first 12-hour cycle the temperature inside the chamber was -26°C, and during the second 12-hour cycle the temperature was -12°C. The specimens were put into the chamber just several minutes after the fresh concrete was poured into the blocks' cavities. In order to avoid freezing of the fresh concrete (which would undoubtedly occur very quickly at -26°C), 5cm thick Styrofoam plates were put both on the upper and the lower side of each block before they were placed into the chamber.

Also, 15x15x15cm concrete cubes were made in order to determine the compressive strength (class) of concrete. These cubes were cured in water at the temperature of 20±2°C. All specimens (blocks cured at normal air conditions, blocks subjected to freezing cycles and concrete cubes cured in warm water) were tested at the age of 7, 14 and 28 days. The difference between compressive strength values obtained during different curing conditions was adopted as a measure of the frost resistance and thermo-insulation ability of Simprolit blocks. The results of this experiment are presented in the table 1. All results that are given below represent average values based on testing of 3 specimens.

Tabela 1 Čvrstoća pri pritisku uzoraka (u MPa)
Table 1 Compressive strength of specimens (in MPa)

Starost	7 dana	14 dana	28 dana
Tip uzorka			
"SBD 25" Blok ¹⁾	18,8	21,3	27,2
"SBD 25" Blok ²⁾	9,9	18,6	24,8
Betonske kocke (a=15cm)	37,6	42,8	48,6

Napomene: 1) Blokovi ispunjeni svežim betonom i negovani na vazduhu temperature 20±2°C i vlažnosti 60%.

2) Blokovi ispunjeni svežim betonom i negovani u komori na temperaturi između -26 i -12°C

Remarks: 1) Blocks filled with fresh concrete and cured at air temperature 20±2°C and humidity 60%.

2) Blocks filled with fresh concrete and cured at temperatures between -26 and -12°C.



(a) Punjenje blokova svežim betonom
Filling with fresh concrete



(b) Negovanje u termo-komori
Curing in the thermo-chamber



(c) Ispitivanje čvrstoće pri pritisku
Compressive strength testing

Slika 8. Testiranje otpornosti na dejstvo mraza Simprolit blokova (a, b i c)
Figure 8. Testing of frost resistance of Simprolit blocks (a, b and c)

Prema rezultatima ispitivanja betonskih kocki, ostvarena je klasa betona C35/45 (u skladu sa EN206 standardom). Fotografije snimljene tokom predmetnih ispitivanja date su na slici 8.

4 ZAKLJUČCI

Uzimajući u obzir sve napred navedene rezultate eksperimentalnih istraživanja, može da se izvede generalni zaključak po kome Simprolit sistem za termoizolaciju i odvođenje vodene pare sa ravnih krovova ima zadovoljavajuću nosivost, a njegove deformacije koje odgovaraju eksploatacionim opterećenjima ne premašuju dozvoljene granice za ovaj tip elemenata konstrukcije. Takođe, može se uočiti da postoji dobra korelacija između rezultata ostvarenih prilikom ispitivanja pojedinačnih elemenata i rezultata za Simprolit sistem kao celinu.

Prema prikazanim eksperimentalnim rezultatima, može se izvući još jedan zaključak: da pri uobičajenim nivoima opterećenja (ispod 500 kg/m^2 , odnosno $0,005 \text{ MPa}$) vertikalne deformacije Simprolit sistema za ravne krovove iznose svega nekoliko desetih delova milimetra, dok za maksimalne vrednosti opterećenja u eksploataciji ($3500\text{-}4000 \text{ kg/m}^2$, odnosno $0,035\text{-}0,040 \text{ MPa}$), te deformacije ne prelaze 3 mm .

Imajući u vidu sve napred navedeno, očigledno je da Simprolit sistem za termoizolaciju i odvođenje vodene pare zadovoljava neophodne uslove za primenu prilikom izvođenja ravnih krovova – kako sa aspekta nosivosti, tako i sa aspekta građevinske fizike.

Što se tiče ispitivanja otpornosti na dejstvo mraza, dobijeni rezultati pokazuju da Simprolit blokovi opremljeni dodatnim ulošcima stiropora predstavljaju veoma efikasno rešenje u smislu termički izolovane oplata. Iako su uzorci bili izloženi izuzetno niskim temperaturama (između -26 i -12°C) nije došlo do smrzavanja svežeg betona. Šta više, ukoliko uporedimo rezultate ispitivanja čvrstoće pri pritisku Simprolit blokova koji su negovani u normalnim uslovima sa rezultatima blokova negovanih na niskim temperaturama, možemo da zaključimo da je ostvarena razlika niža od one koju bismo mogli da očekujemo (s obzirom na oštar režim negovanja uzoraka). Naime, nakon 7 dana ta razlika iznosila je 47% , nakon 14 dana bila je 13% , a nakon 28 dana svega 9% .

Na bazi napred prezentovanih činjenica, ali takođe imajući u vidu i druge relevantne eksperimentalne rezultate, može se izvući generalni zaključak po kome Simprolit - kao predstavnik EPS lakoagregatnih betona na bazi portland cementa, granula ekspaniranog polistirena i specijalnih aditiva, zadovoljava visoke zahteve koji se postavljaju pred savremene termoizolacione paropropusne materijale. Ovaj kompozit karakteriše relativno niska zapreminska masa, visoke termoizolacione performanse, kao i visok stepen otpornosti na dejstvo mraza [12].

According to the results of cube testing, the applied class of concrete was C35/45 (according to EN206 standard). The photos taken during these tests are given at Figure 8.

4 CONCLUSIONS

Taking all the above presented experimental results into account, the general conclusion can be drawn that the tested Simprolit thermo-insulation and steam conduction system for flat roofs has satisfactory bearing ability, as well as that the deflections corresponding to the exploitation compressive load do not exceed the limits allowed for this type of construction elements. It can be noticed that there is also a good correlation between the results obtained during testing of individual elements and the results for Simprolit system as a whole.

According to the presented experimental results, another conclusion can be made: that the vertical deflections of Simprolit thermo-insulation and steam conduction system for flat roofs for usual load values (under 500 kg/m^2 , i.e. $0,005 \text{ MPa}$) amount to just a few tenths of a millimeter, and for maximum possible load values during exploitation ($3500\text{-}4000 \text{ kg/m}^2$, i.e. $0,035\text{-}0,040 \text{ MPa}$) these deflections do not exceed 3 mm .

Having in mind all the above stated facts, it is obvious that Simprolit thermo-insulation and steam conduction system for flat roofs satisfies the necessary requirements for application in flat-roof construction from the aspect of Civil Engineering Physics.

As the testing of the frost resistance is concerned, the obtained results show that Simprolit blocks equipped with additional styrofoam pads represent very efficient type of thermally insulated formwork. Although subjected to extremely hard environmental conditions (temperatures between -26 and -12°C) fresh concrete did not freeze. Even more, if we compare the compressive strength testing results of Simprolit blocks that were cured in normal conditions with the results of those cured at low temperatures, we can conclude that the difference was smaller than expected. Namely, after 7 days this difference amounted to 47% , after 14 days it amounted to 13% and after 28 days it was just 9% .

Based on the above-mentioned facts, but also having in mind other relevant experimental research data, a general conclusion can be made that Simprolit - light concrete made of Portland cement, expanded polystyrene granules and special additives - as a representative of EPS satisfies high demands necessary for contemporary thermo-insulation and steam conduction materials. This composite material is characterized by relatively low density and high performance thermo-insulation properties, as well as high frost resistance [12].

5 LITERATURA

- [1] Muravljev M., Jevtić D.: Građevinski materijali 2, Građevinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1999.
- [2] Muravljev M, Jevtić D, Zakić D., Dević M. : Testing of different types of "Simplolit" plates - an example, 10th International Symposium of MASE, Ohrid, Macedonia, September 25-27. 2003., pp. 393-400.
- [3] Dević M., Jevtić D., Zakić D.: Simplolit Building Elements - a Complex Approach to Keep the Buildings Warm, Conference "Contemporary Civil Engineering Practice 2003", FTN and DGiTNS, Proceedings - pp. 199-215, Novi Sad, 27.-28. March 2003.
- [4] Bikbay M.Y.: Lecture presented at the Second International Conference on Roof Structures and Insulation of Civil Engineering Objects and Communications, Moscow, 2002.
- [5] Zakić D., Jevtić D, Živković S., Dević M.: Testing of "Simplolit" Thermo-insulation and Steam Conduction System for Flat Roofs, 11th International Symposium of MASE, Ohrid, Macedonia, September 25-27. 2005., pp. 393-400.
- [6] Jevtić D, Zakić D., Dević M., Markičević J.: Application of Polystyrene-Based Concrete as a High-Performance Thermo-Insulation Composite, 5th International Conference RADMI 2005, Vrnjačka Banja, Serbia, pp. 710-715.
- [7] SIMPRO katalogi proizvodnje i primene.

REZIME

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA ODREĐENIH TERMO-FIZIČKIH I MEHANIČKIH SVOJSTAVA EPS BETONA

*Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ*

U ovom radu prikazani su rezultati sopstvenih eksperimentalnih ispitivanja nekih od važnijih svojstava lakoagregatnih kompozita tipa EPS betona - sa stanovišta građevinske fizike. Akcenat je stavljen na aktuelne probleme termoizolacije, odvođenja vodene pare, kapilarnog upijanja i ponašanja materijala u uslovima niskih temperatura spoljašnje sredine. Nakon obavljenih brojnih laboratorijskih testova, autori su došli do zaključka da Simplolit - kao reprezent grupe EPS betona spravljenih na bazi portland cementa, granula ekspaniranog polistirena i specijalnih aditiva - zadovoljava visoke zahteve koji se postavljaju pred savremene termoizolacione i paropropusne materijale. Ovaj kompozit karakterišu relativno niska zapreminska masa i dobre termoizolacione performanse, kao i visoka otpornost na dejstvo mraza. Simplolit sistem za termoizolaciju odvođenje vodene pare sa ravnih krovova ispunjava neophodne uslove - kako sa aspekta nosivosti, tako i sa aspekta građevinske fizike.

Ključne reči: EPS beton, termo-fizička svojstva, mehanička svojstva, odvođenje vodene pare, otpornost na dejstvo mraza, kapilarno upijanje, nosivost.

5 REFERENCES

- [8] Zakić, D., Jevtić, D., Dević, M.: Simplolit-sistema - Éffektivnoe rešenje dlja ob'ektov, podvergajušihsja vozdejsstvu nizkih temperatur v processe stroitel'stva i ékspluatácii, NII Stroitel'noj fiziki Raasn - 50 let, Stroitel'naja fizika v XXI veke, Materialy naučno-tehničkoj konferencii, Moskva, 2006, ISBN 5-902630-03-07.
- [9] Jevtić D., Zakić D.: Application of Simplolit Systems In Order to Improve Thermo-Physical Performance of Contemporary Buildings, RADMI 2006, Budva, septembar 2006., Zbornik radova, CD, ISBN 86-83803-21-X (HTMS)
- [10] Jevtić D., Zakić, D., Savić, A.: Testing of Different Types of "Simplolit" Plates - Lightweight Concrete Elements, 1st International Congress of Serbian Society of Mechanics, 10-13th April, 2007, pp. 393-399 Kopaonik, ISBN 978-86-909973-0-5.
- [11] Muravljev, M., Jevtić D., Zakić, D., Dević, M.: Simplolit sistem za utopljanje fasada i zaštitu građevinskih objekata od požara, IV savetovanje SGITS-a "Ocena stanja, održavanje i sanacija građevinskih objekata i naselja", Zlatibor, 25-28. aprila 2005, str. 433-440., Zbornik radova.
- [12] Živković S., Jevtić D., Radonjanin V.: Istraživanje na području materijala i njihove primene, Materijali i konstrukcije 48 (2005) 4, (str. 9-24), generalni izveštaji i prikaz radova, YU ISSN 0543-0798.

SUMMARY

EXPERIMENTAL TESTING OF CERTAIN THERMO-PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF EPS CONCRETE

*Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ*

In this paper the experimental results obtained during testing of certain important properties of EPS concrete as a type of lightweight composite material - regarding Civil engineering physics are presented. Most of the attention has been paid to actual problems of thermo-insulation, steam conduction, capillary absorption and behavior of the material when exposed to low temperatures. After numerous laboratory tests, the authors concluded that Simplolit - as a represent of the EPS group of light concrete composites made of Portland cement, expanded polystyrene granules and special additives - satisfies high demands necessary for contemporary thermo-insulation and steam conduction materials. This composite material is characterized by relatively low density and good thermo-insulation properties, as well as high frost resistance. Simplolit system for thermo-insulation and steam conduction fulfils all the required conditions - both from the aspects of bearing capacity and Civil engineering physics.

Key words: EPS concrete, thermo-physical properties, mechanical properties, steam conduction, frost resistance, capillary absorption, bearing capacity.