

PROSTOR



21 [2013] 1 [45]

ZNANSTVENI ČASOPIS ZA ARHITEKTURU I URBANIZAM  
A SCHOLARLY JOURNAL OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

SVEUČILIŠTE  
U ZAGREBU,  
ARHITEKTONSKI  
FAKULTET  
UNIVERSITY  
OF ZAGREB,  
FACULTY  
OF ARCHITECTURE

ISSN 1330-0652  
CODEN PORREV  
UDK | UDC 71/72  
21 [2013] 1 [45]  
1-234  
1-6 [2013]



Af

POSEBNI OTISAK / SEPARAT | OFFPRINT

ZNANSTVENI PRILOZI | SCIENTIFIC PAPERS

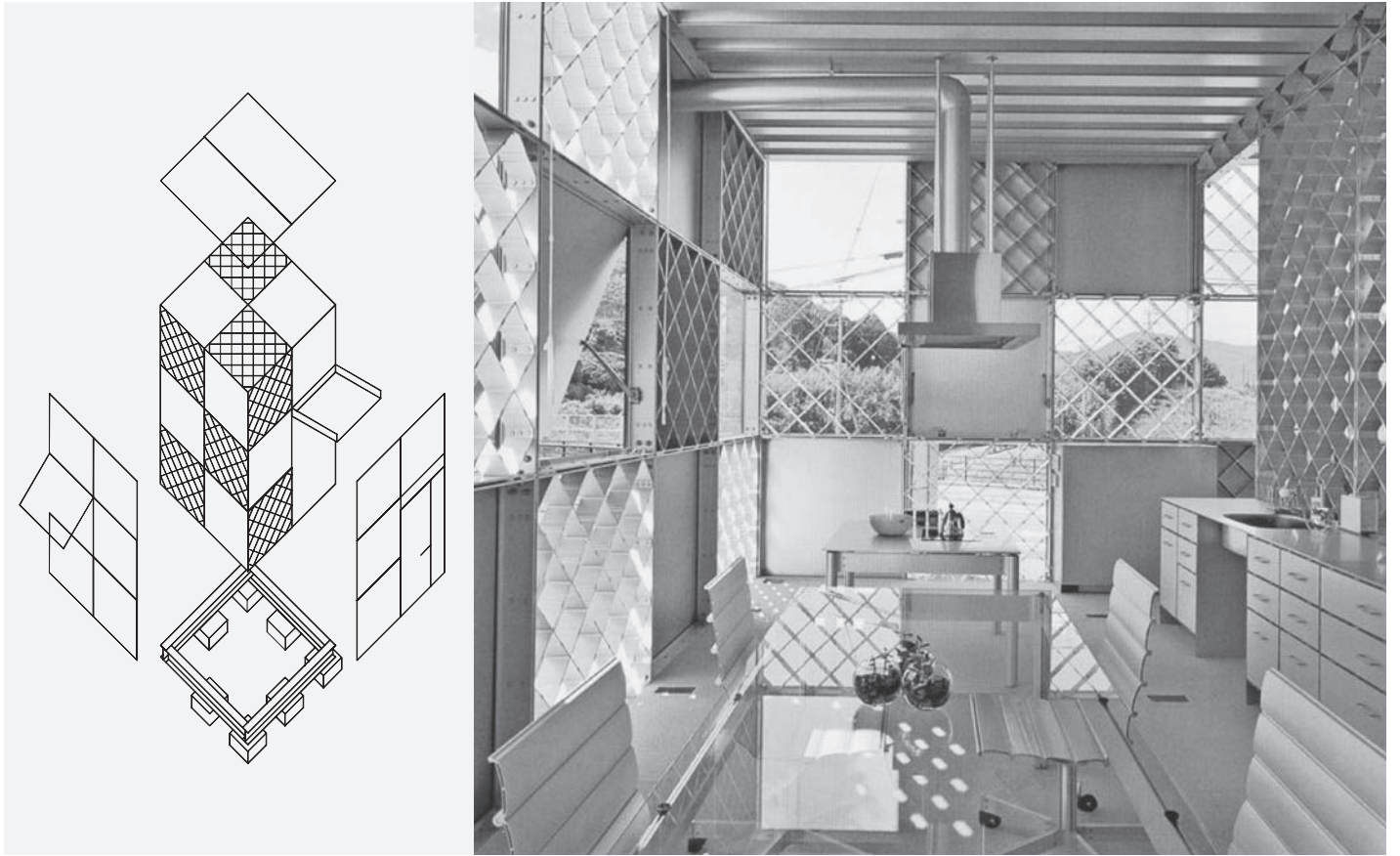
170-181 **DAVOR ANDRIĆ**  
**KRISTINA CAREVA**  
**ARIANA ŠTULHOFER**

PRIMJENA ALUMINIJSKIH  
KONSTRUKCIJA U GRADNJI  
OBITELJSKIH KUĆA

PREGLEDNI ZNANSTVENI ČLANAK  
UDK 72.02:72.036:728

USE OF ALUMINIUM STRUCTURES  
FOR THE CONSTRUCTION OF FAMILY  
HOUSES

SUBJECT REVIEW  
UDC 72.02:72.036:728



SL. 1. RIKEN YAMAMOTO & FIELD SHOP: ECOMS POKAZNA KUĆA, TOSU, 2004.

FIG. 1. RIKEN YAMAMOTO & FIELD SHOP: ECOMS DEMONSTRATION HOUSE, TOSU, 2004

**DAVOR ANDRIĆ, KRISTINA CAREVA, ARIANA ŠTULHOFER**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
ARHITEKTONSKI FAKULTET  
HR – 10000 ZAGREB, KAČIČEVA 26

UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF ARCHITECTURE  
HR – 10000 ZAGREB, KAČIČEVA 26

PREGLEDNI ZNANSTVENI ČLANAK  
UDK 72.02:72.036:728

SUBJECT REVIEW  
UDC 72.02:72.036:728

TEHNIČKE ZNANOSTI / ARHITEKTURA I URBANIZAM  
2.01.03. – ARHITEKTONSKE KONSTRUKCIJE, FIZIKA ZGRADE,  
MATERIJALI I TEHNOLOGIJA GRAĐENJA  
ČLANAK PRIMLJEN / PRIHVACEN: 28. 3. 2013. / 10. 6. 2013.

TECHNICAL SCIENCES / ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING  
2.01.03. – ARCHITECTURAL STRUCTURES, BUILDING PHYSICS,  
MATERIALS AND BUILDING TECHNOLOGY  
ARTICLE RECEIVED / ACCEPTED: 28. 3. 2013. / 10. 6. 2013.

## PRIMJENA ALUMINIJSKIH KONSTRUKCIJA U GRADNJI OBITELJSKIH KUĆA

## USE OF ALUMINIUM STRUCTURES FOR THE CONSTRUCTION OF FAMILY HOUSES

ALUMINIJSKA KUĆA  
GRADNJA ALUMINIJEM  
OBITELJSKA KUĆA

ALUMINIUM HOUSE  
ALUMINIUM BASED CONSTRUCTION  
FAMILY HOUSE

Članak daje opći i informativni pregled gradnji aluminijskih kuća od prve polovice 20. stoljeća do danas. Aluminij je materijal koji se rijetko koristi za izradu glavne nosive konstrukcije zgrada pa aluminijskih kuća u cijelome svijetu ima malo. Odabrane obiteljske kuće prikazane su kroz njihovu konstrukciju i način gradnje u odnosu s tehnologijom oblikovanja aluminija. Zbog čestih inovacija u gradnji značajan ih je broj sačuvan kao muzejski izložci.

The paper presents a general overview of aluminium based construction from the first half of the 20<sup>th</sup> century to the present. Since aluminium is rarely used for load-bearing structures the number of aluminium houses are small. The houses are examined in terms of how their structures and building methods relate to aluminium production technology. Due to their construction innovations a lot of aluminium houses have been preserved as museum exhibits.

## UVOD

### INTRODUCTION

**A**luminij je materijal koji se zasad rijetko koristi za izradu glavne nosive konstrukcije pa izvedenih aluminijskih građevina u cijelome svijetu ima vrlo malo. Međutim, s obzirom na njegova brojna povoljna svojstva u odnosu na čelik, može se očekivati veća zastupljenost aluminijskih konstrukcija u arhitekturi. Pregledom koji slijedi obuhvaćeni su odabrani primjeri obiteljskih kuća kojih je nosiva konstrukcija izvedena iz aluminijskih konstrukcija. Primjeri su organizirani u grupe prema zemljopisnom smještaju, a unutar grupe obrađivani su kronološkim redoslijedom. Teziste analize stavljeno je na tehnike i tehnologije korištene u gradnji, pri čemu je važno naglasiti da je dobar dio njih ostvariv primarno u gradnji aluminijem zbog specifičnosti proizvodnje aluminijskih elemenata.<sup>1</sup>

### ALUMINIJ KAO GRAĐEVNI MATERIJAL U ARHITEKTURI

#### USE OF ALUMINIUM IN ARCHITECTURE

Aluminij je razmjerno 'mlad' materijal, otkriven tek prije dvjestotinjak godina<sup>2</sup>, ali je industrijskom proizvodnjom<sup>3</sup> i smanjenjem proizvodnih troškova ubrzo postao vrlo atraktivan metal za široku uporabu: u industriji pakiranja, avioindustriji, brodogradnji, svemirskoj, automobilskoj i informatičkoj industriji, prijenosu električne energije i građevinarstvu.

- **Prednosti gradnje aluminijem** – Glavni je konkurent danas mnogo zastupljenijem čeli-

ku<sup>4</sup> u izgradnji metalnih konstrukcija, i to iz nekoliko razloga:

- Gustoća mu iznosi oko 1/3 gustoće čelika<sup>5</sup> pa mu je to i najatraktivnija osobina za veću primjenu u arhitekturi: zbog male težine i lakšeg prijevoza vrlo je povoljan za građenja na udaljenim i teže pristupačnim mjestima;
- Treći je element po masenoj zastupljenosti (nakon kisika i silicija) u Zemljinoj kori<sup>6</sup>;
- Ne korodira kao čelik: iako je aluminij prilično reaktivan, na njegovoj površini izloženoj zraku ubrzo nastaje tanak prozirni sloj oksida koji ga štiti od daljnje korozije<sup>7</sup>, a to je velika prednost u održavanju konstrukcije jer nema potrebe za redovitim nanošenjem zaštitnih sredstava;
- Otporan je na djelovanja atmosferskih plinova i nekih kiselina;
- U odnosu na čelik ima manju emisivnost površine<sup>8</sup>: od 0,02 za polirani do 0,3 za jako korodirani aluminij, u odnosu na čelik kojeg emisivnost iznosi od 0,02 za polirani do 0,8 za jako korodirani čelik – to znači da zagrijani aluminij emitira manje topline od čelika za grijanog na istu temperaturu;

**1** Seminarski radovi doktoranda Davora Andrića „Obiteljske kuće od aluminijskih konstrukcija“ (kolegij „Energetski učinkovito građenje“ voditeljice prof. dr.sc. Jasenke Bertol-Vrček) i „Suвременi sustavi lake gradnje obiteljskih kuća“ (kolegij „Istraživanje kroz projekt 3“ voditelja prof. dr.sc. Dražena Juracića) na doktorskome studiju „Arhitektura“ Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu potaknuli su daljnja istraživanja na ovu temu, koja se prikazuju u ovoj članku.

**2** Različiti se podaci o početcima proizvodnje aluminija mogu naći u raznim izvorima, no njihova preciznost nije nužna za potrebe ovog članka, a kao referentan je izvor odabrana enciklopedija koja obrađuje samo ovaj metal „Aluminium 13 element“ [\*\*\* 2007.], iz koje su preuzete ključne osobe i godine: Sir Humphry Davy (1778.-1829.), britanski kemičar i fizičar, 1808. godine prvi put spominje aluminij kao metal. U elementarnom je stanju aluminij prvi put izolirao 1825. godine danski fizičar H. Ch. Ørsted (1777.-1851.). Njegov je rad nastavio njemački kemičar F. Wöhler koji je dobio čisti aluminij.

**3** Godine 1886. istovremeno su Francuz Paul Héroult i Amerikanac Charles Martin Hall razvili proces industrijske proizvodnje aluminija kakav danas poznajemo. Polazna ruda za dobivanje aluminija jest boksit, od kojeg se prociscavanjem dobije aluminijev oksid ili glinica (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Metal aluminij dobivamo elektrolizom.

**4** Bessemerov proces industrijske proizvodnje čelika razvijen je nešto ranije: prvi je put predstavljen 1856., a u siroj je uporabi od 1864. godine.

**5** Aluminij ima gustoću 2700 kg/m<sup>3</sup>, a čelik 7850 kg/m<sup>3</sup>.

**6** Zastupljen je s udjelom od oko 8%, dok je zastupljenost željeza oko 5%.

**7** Ipak, neke legure poput duraluminija korodiraju, ali se one uglavnom rabe za proizvodnju aviona koji se redovito i pomno pregledavaju.

**8** Emisivnost je odnos infracrvenog zračenja zagrijanog materijala u odnosu na idealno zračenje crnog tijela i kreće se od 0,00 (= ne zrači uopće) do 1,00 (= u potpunosti zrači toplinsku energiju), te se mijenja kao funkcija temperature i površinske obrade.

**9** U primarnu proizvodnju jedne tone aluminija prosječno se uloži 170 GJ većinom električne energije, dok se za preradu iste tone uloži oko 10 GJ [http://recycling.world-aluminium.org/home.html (21.1.2013.)].

**10** Recikliranje aluminija u Europi kreće se od 63% aluminija korištenog u limenkama do više od 90% korištenog

– Pogodan je za izdvajanje iz otpada i ponovno korištenje (recikliranje): iako je za proizvodnju primarnog aluminija potrebna velika količina električne energije – a to može biti protuargument energetske učinkovitosti gradnje – tako uložena energija isplati se u njegovoj ponovnoj preradi, za koju je potrebno samo 3-5% energije<sup>9</sup> utrošene u primarnu proizvodnju, pa aluminij možemo smatrati 'energetskom bankom'<sup>10</sup>;

– Bitna tehnološka razlika u proizvodnji čeličnih i aluminijskih profila jest u tome što se čelični profili proizvode valjanjem, a aluminijski primarno ekstrudiranjem<sup>11</sup> pa to ima svoje posljedice u projektiranju: čelični se profili biraju između standardnih profila [IPE, HE, RHS...] i odabrani profili često su nužno predimenzionirani, dok se aluminijski profili mogu projektirati u optimalan potrebni oblik i veličinu (koji ovise o nosivosti, načinu ugradnje, oblikovanju detalja i spojeva...). Općenito, bilo koja serija profila veća od 20 komada isplativa je narudžba za proizvodnju u većini europskih tvornica aluminijskih profila.<sup>12</sup>

u građevinarstvu i prijevozu [http://www.alueurope.eu/key-topics/recycling/ (21.01.2013.)]. Ovi podatci ponešto variraju od studije do studije, ali je za arhitekta važna gotovo 100%-tna mogućnost ponovne uporabe već korištenog aluminija ugrađenog u zgradu koja se uklanja. U praksi taj postotak ide do 98% zbog 1-2% sitnih aluminijskih dijelova koji se izgube u procesu razgradnje [\*\*\* 2004.].

**11** Osim ekstrudiranja tu su još i lijevanje i valjanje. Postupak ekstrudiranja: sirovi se aluminij nakon predgrijavanja reže na komade i ubacuje u prešu što istiskuje plastičnu masu aluminija kroz matricu, nakon čega se materijal hladi i skrćuje u zadani oblik i veličinu. U procesu ekstruzije temperatura se kreće od 480 do 510 °C, tj. ne doseže temperaturu topljenja aluminija (660 °C).

**12** GITTER, 2006.

**13** Najčešći legirajući elementi jesu: bakar, mangan, silicij, cink i magnezij. Njihovi udjeli u legurama variraju pa to rezultira velikim brojem legura različitih svojstava pogodnih za različitu uporabu.

**14** Pri zavarivanju aluminija uz var se oblikuje područje smanjene čvrstoće kao posljedica povišene temperature na mjestu vara (engl. HAZ - heat affected zone). U aluminijskim se kucama spojevi uglavnom izvode pomoću vijaka.

**15** Ovisno o leguri, vrijednosti u zagradi jesu čvrstoće legura koje se koriste za ekstrudiranje. Iako postoje aluminijske legure koje čvrstoćom nadilaze neke čelike, uobičajeno se koriste legure s magnezijem i silicijem kojih vlačna čvrstoća iznosi 140-160 Mpa, a to je manje od običnoga građevnog čelika, ali za većinu primjena u gradnji dostatno [GITTER, 2006: 297].

**16** Ovisno o vrsti, vrijednosti u zagradi jesu za uobičajene građevne čelike.

**17** Modul ima uložak toplinskoizolacijskog materijala na spoju dvaju metalnih elemenata, unutrašnjeg i vanjskog, a smještava se na mjesto toplinske izolacije pročelnih slojeva kako bi se postigla njezina kontinuiranost (kao npr. modul *Schöck Isokorb*).

**18** Pojednostavnjeno možemo reći da pri izloženosti temperaturama od 200 °C čvrstoća aluminijskih legura prosječno pada za trećinu (to odgovara sličnom padu kod čelika pri temperaturi od 500 °C), pri temperaturi od 300 °C za dvije trećine, dok pri temperaturi od 350 °C pada za 90% (za čelik pri 800 °C pad iznosi oko 85%). Do 100 °C računa se da nema pada, a pri 500 °C čvrstoća praktički nema nikakvu vrijednost.

• **Nedostaci gradnje aluminijem** – Korištenje aluminija kao materijala za izradu nosivih konstrukcija u graditeljstvu uz navedene prednosti ima i nedostatke: manju čvrstoću, manju krutost, stvaranje toplinskih mostova, osjetljivost na povišenje temperature i zavarivanje te korodiranje u dodiru s nekim materijalima.

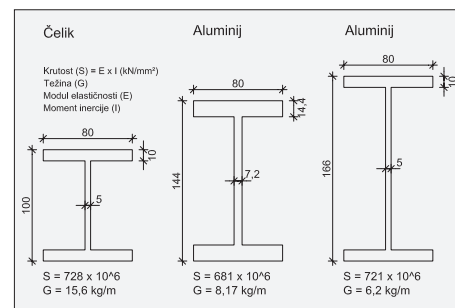
Aluminij je mekana kovina male gustoće i velike rastezljivosti pa u čistom obliku nije dostatno čvrst materijal za uporabu u arhitekturi. Budući da s metalima stvara brojne legure različitih svojstava<sup>13</sup>, moguće je prilagodavanje potrebnih obilježja, a time i velika i raznolika uporaba. Za primjenu aluminija u arhitekturi potrebno je odvojiti one koje su odlike bitne te u skladu s njima koristiti legure potrebnih svojstava: neke se legure mogu zavarivati, dok druge ne<sup>14</sup>; neke korodiraju, a neke ne; neke imaju vrlo visoku čvrstoću, neke su pogodnije za ekstrudiranje, neke za lijevanje, neke za valjanje... Velike razlike u osobinama brojnih legura otežavaju projektiranje aluminijskih konstrukcija, ali i omogućuju najbolji mogući odabir.

Modul elastičnosti aluminija jest 70 GPa, a čelika 190-210 GPa, a to znači manju krutost aluminijskih elemenata u odnosu na čelične, pa je tu u zaostatku za čelikom (Sl. 2.). Ista je stvar i s vlačnom čvrstoćom aluminija koja iznosi 70-700 (150-300) MPa<sup>15</sup>, dok je ona kod čelika 276-2000 (360-510) MPa.<sup>16</sup>

Toplinski mostovi predstavljaju problem kod svih metalnih konstrukcija kojih elementi iz unutrašnjeg prostora prodiru u vanjski. Različiti načini rješenja prekida toplinskog mosta kod aluminijskih konstrukcija istovjetni su kao i kod čeličnih konstrukcija: a) dio konstruktivnog elementa koji prodire u vanjski prostor toplinski se izolira 'oblačenjem' u izolacijski materijal; b) ako je veći dio konstrukcije u vanjskom prostoru, može se dio konstruktivnog elementa koji je u unutrašnjosti građevine obložiti izolacijom; c) moguće je konstrukciju cjelovito smjestiti u unutrašnji prostor; d) moguća je uporaba nekih gotovih tehničkih rješenja, kao npr. predgotovljenih modula za prekid toplinskog mosta.<sup>17</sup>

Požar ne predstavlja značajan problem kod obiteljskih kuća od aluminija zbog njihovih malih visina, malih raspona i opterećenja. Ipak, neka lošija obilježja aluminija – kao što su toplinsko produljenje dvostruko veće u odnosu na čelik, toplinska vodljivost četiri puta veća od vodljivosti čelika, brže smanjenje čvrstoće zbog porasta temperature – treba uzeti u obzir pri projektiranju.<sup>18</sup>

Jedno od svojstava aluminija jest i to da korodira u međusobnom dodiru s nekim drugim metalima i legurama, kao što su bakar, bronca, mesing, mjed, olovo i živa. Kako bi se



Sl. 2. USPOREDBA ODNOSA DIMENZIJA PRESJEKA I TEŽINA ČELIČNE I ALUMINIJSKIH GREDA EKVIVALENTNE KRUTOSTI  
FIG. 2. COMPARISON BETWEEN THE CROSS-SECTION SIZE AND THE WEIGHT OF STEEL AND ALUMINIUM BEAMS OF EQUIVALENT STIFFNESS



Sl. 3. POSLIJERATNE BRITANSKE ALUMINIJSKE KUĆE: MONTAŽA ISPRED TATE MODERN GALERIJE 1945., DEMONTAŽA KUĆE U LLANDINAM CRESCENTU ZA PREMJEŠTAJ U MUZEJ 1998.

FIG. 3. POST-WAR BRITISH ALUMINIUM HOUSES: A HOUSE ASSEMBLED IN FRONT OF THE TATE MODERN GALLERY, 1945; A HOUSE DISASSEMBLED IN LLANDINAM CRESCENT SO AS TO BE MOVED TO A MUSEUM, 1998

sriječio ovaj negativni učinak, aluminij je potrebno odvojiti od navedenih materijala razdjelnim slojem.

• **Inovacije u materijalima na bazi aluminija**  
– Iako su neki novi materijali od aluminija zasad manje dostupni za primjenu u arhitekturi zbog preskupe proizvodnje, ipak njihove raznolike oblikovne mogućnosti te tehnološke i fizikalne prednosti u odnosu na tradicijske građevne materijale najavljuju nove vidove gradnje ovim materijalima budućnosti. Neke od inovacija u razvoju aluminija i proizvoda od aluminija jesu: pjenoaluminij, transparentni aluminij, aluminijske folije za sustave toplinske izolacije i aluminijski protupotresni paneli.

– Pjenoaluminij je patent njemačkog Fraunhofer instituta.<sup>19</sup> To je materijal koji ima visok stupanj apsorpcije udarne energije, dobra toplinskoizolacijska svojstva, veliko prigušenje buke i vibracija, negoriv je te ima razmjerno visoku krutost, pogotovo kod pločastih sendvič-konstrukcija. Metalne pjene mogu se proizvesti iz gotovo svih vrsta metala koji postoje u obliku praha, no zbog ranog stadija istraživanja komercijalno su danas najčešće dostupne metalne pjene na bazi aluminija ili nikla.<sup>20</sup> Proizvodnja limenih panela s jezgrom od pjenoaluminija zasad je vrlo složena jer razvoj visokih temperatura pri oblikovanju aluminijske pjene može dovesti do topljenja limova panela. Trenutačno se ovakvi sendvič-paneli najčešće koriste kao oplate automobila.

– Transparentni aluminij<sup>21</sup> je keramika kristalne strukture koja se sastoji od aluminija, kisika i dušika, a dobiva se tako da se prah aluminijeva oksinitrida u gumenom kalupu željenog oblika izostatski preša pod pritiskom od 1034 atmosfere u spremniku hidrauličke tekućine. Presani je proizvod potrebno ispolirati do providnosti. Ima visoku čvrstoću i razvijen je u vojne svrhe za oklopna vozila. Moguća buduća primjena u arhitekturi jest za providne konstrukтивne elemente i kao zamjena za staklo.

– Aluminijske toplinskoizolacijske folije proizvode se kao višeslojne folije koje osim refleksna aluminijevog sloja mogu sadržavati meke i tvrde toplinskoizolacijske materijale,

folije, mrežice i slično. Primjer najnovijeg proizvoda jest *Skytech* paropropusna obostrano armirana refleksna aluminijevska folija koja kao srednji sloj ima neškodljivu staklenu vunu<sup>22</sup>, ukupne debljine 1 cm, kojom postize ista toplinska svojstva kao npr. izolacija od mineralne vune debljine 26 cm.<sup>23</sup>

– Aluminijevski protupotresni paneli imaju visoku sposobnost rasipanja energije potresa i mogu se primijeniti kod novih ili ugraditi u već postojeće zgrade čelične ili armiranobetonske okvirne konstrukcije.<sup>24</sup>

## PRIMJERI IZVEDENIH ALUMINIJSKIH KUĆA

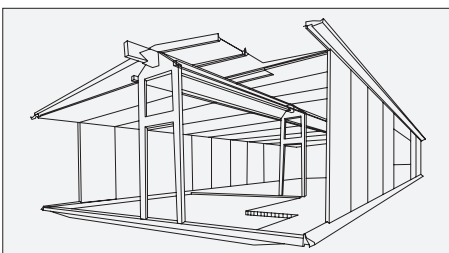
### EXAMPLES OF ALUMINIUM HOUSES

Analiza odabranih primjera obiteljskih kuća ponajprije je usmjerena prema uporabi aluminija u izradi njihove nosive konstrukcije, no naglašena je i njihova važnost u povijesnom i socijalnom trenutku u kojem su nastale. Zemljopisni smještaj izvedenih kuća poslužio je za njihovu grupaciju u cjeline, unutar kojih su pojedine izvedbe navedene kronološkim redoslijedom. Prvu grupu predstavljaju primjeri iz Europe, drugu iz Afrike i Australije, treću iz SAD-a i Brazila, a četvrtu najnoviji japanski primjeri.

#### • Primjeri aluminijevskih kuća u Europi

Po završetku Drugoga svjetskog rata u Europi se javlja potreba brze i efikasne obnove razorenoga stambenog fonda. Kako je industrija klasičnih građevnih materijala bila uništena, Engleska se okrenula izgradnji britanskih privremenih obiteljskih montažnih kuća (Sl. 3.) koje su višestruko nadživjele predviđeni vijek trajanja, a izrađivane su iz viska aluminija pretopljenih borbenih aviona. Jedna od kuća podignuta u Cardiffu preseljena je 1998. godine u Velški muzej na otvorenom u St. Fagansu.<sup>25</sup> U Francuskoj je Jean Prouvé, dizajner, arhitekt i proizvođač aluminijevskog pokucstva, odgovor na rješenje novonastale stambene krize ponudio razrađujući 1944. i 1945. godine projekt jeftine i jednostavno sklopive montažne kuće, koji će se brzo razviti u projekt vojne barake iz čelika i drva. Slijede projekti za montažne kuće s aluminijevskom konstrukcijom u kombinaciji s čelikom, koji

Sl. 4. JEAN PROUVÉ: OSNOVNI MODEL MONTAŽNE KUĆE  
FIG. 4. JEAN PROUVÉ: BASIC MODEL OF A MODULAR HOUSE



<sup>19</sup> [www.fraunhofer.de/en.html](http://www.fraunhofer.de/en.html) (11.9.2012.)

<sup>20</sup> MARIC, FILETIN, KRAMER, 2002.

<sup>21</sup> Proizvod tvrtke Surmet Corporation u Massachusettsu, SAD, pod nazivom ALON.

<sup>22</sup> Klasificirana je kao nekancerogena za ljude.

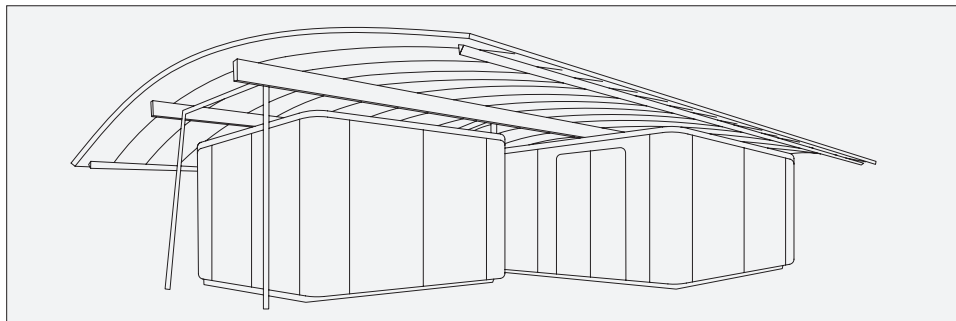
<sup>23</sup> <http://www.winco-tech.com/en/skytech.php> (7.2.2013.)

<sup>24</sup> DE MATTEIS i dr., 2008.

<sup>25</sup> <http://www.museumwales.ac.uk/en/rhagor/article/1865/> (20.04.2012.)

<sup>26</sup> O'DAY, 2009.

<sup>27</sup> O'DAY, 2009.



su ostvareni u naselju obiteljskih kuća Méudon pokraj Pariza. U ovim kućama Prouvé je slijedio koncept postavljen na projektu vojne barake koristeći isto konstruktivno načelo: glavni nosivi elementi, vidljivi u unutrašnjem prostoru, jesu čelični okviri koji su nosili sljemenu gredu na koju su se naslanjale krovne grede i krovne ploče (Sl. 4.). Ploče su se slagale u jednakom rasteru od jednog metra kao i paneli vanjskih zidova.<sup>26</sup> U naselju obiteljskih kuća u Méudonu čelično-aluminijska konstrukcija kata oslanjala se na konstrukciju prizemlja izradenu iz kamena i armiranog betona. Iz tog su se projekta razvile kuća Métropole kao model za francusku i kuća Tropicale kao model za afričko tržište.<sup>27</sup>

Lakoća prijevoza i sastavljanja predgotovljenih aluminijskih kuća i danas se koristi. Jedan od primjera je modularna norveška kuća koju je osmislila podružnica Løvetann arhitektonskog studija Snøhetta, projektirana za jednostavnu isporuku u plosnatim paketima (*flat pack distribution*).

Primjena aluminija u gradnji obiteljskih kuća u Hrvatskoj ograničena je uglavnom na nekonstruktivne elemente (bravarija, obloge pročelja, krovni pokrovi, sendvič-paneli za zidove ispune...). No očekuje se da se usvajanjem suvremenih europskih propisa<sup>28</sup> za gradnju aluminijem primjena proširi na konstruktivne elemente.

#### • Primjeri aluminijskih kuća u Africi i Australiji

Kao i kod europskih primjera, nakon Drugoga svjetskog rata počela je intenzivnija proizvodnja aluminijskih kuća i za druga, kulturo-

loški i klimatski potpuno različita područja. Mnoge tvrtke<sup>29</sup> proizvodile su kuće za vlastita i strana tržišta, a neke od njih za zemlje tropskog i suptropskog pojasa – Afriku, Australiju, Indiju. Međutim, često je ugodnost boravka u drugim vremenskim uvjetima bila posve zanemarena.

Jednostavne jednoslojne aluminijske kolibe građene u Africi i Australiji ne ističu se ni oblikovnim ni tehnološkim karakteristikama, a zbog jednoslojne konstrukcije mikroklimatski su uvjeti u njima bili nepovoljni.<sup>30</sup> Od kvalitetnijih primjera aluminijskih koliba i kuća tvrtki koje su djelovale na području Afrike možemo izdvojiti bungalove za francusku ekvatorijalnu Afriku. Njihov pokrov izveden je iz nebojanog aluminija kako bi što više reflektirao sunčevo zračenje, a prostorna organizacija s dubokom verandom te zaštitnom mrežicom omogućavala je boravak i spavanje na otvorenom.

Osim navedenih tvrtki u Africi je djelovao i Francuz J. Prouvé razvijajući svoje ideje montažnih koliba osmišljenih nakon Drugoga svjetskog rata. Projektirao je i izveo tri primjerka kuće Tropicale: jednu u Niameyu u Nigeru te dvije u Brazzavilleu za zastupništvo i kucu direktora tvrtke Aluminium Français u Kongu.<sup>31</sup> Te su kuće, osmišljene za masovnu proizvodnju i izvedene u modularnom sustavu od 1 m, imale središnje čelične okvire koji su nosili sljemenu gredu na koju su se oslanjali aluminijski krovni paneli. Obodni su plašt činili paneli iste modularne širine od 1 m. Godine 2000. dvije su kongoanske kuće Tropicale rastavljene i preseljene u Francusku na obnovu.<sup>32</sup> Kuće su projektirane tako da se dijelovi mogu ukrcati na teretni avion, da ti dijelovi budu dovoljno lagani kako bi ih mogla sklopiti dva čovjeka te dovoljno uski da se mogu proizvesti na stroju za valjanje aluminijskih limova u Prouvéovoj tvornici.

Od njegovih aluminijskih kuća projektiranih za Afriku zanimljiva je Maison du Sahara za afričke zemlje proizvođače nafte (Sl. 5.).<sup>33</sup> Ta prizemnica iz 1958. godine ima zakrivljenu jedinstvenu krovnu plohu koja lebdi iznad odvojenih zatvorenih prostora. Aluminijsko 'kri- lo' iznad kuće danju zasjenjuje stambene pro-

Sl. 5. JEAN PROUVÉ: MAISON DU SAHARA, 1958.

FIG. 5. JEAN PROUVÉ: MAISON DU SAHARA, 1958

Sl. 6. WILLIAM HAWLEY BOWLUS: AIRSTREAM MOBILNA KUĆA

FIG. 6. WILLIAM HAWLEY BOWLUS: AIRSTREAM MOBILE HOUSE



<sup>28</sup> EN 1999 Eurocode 9

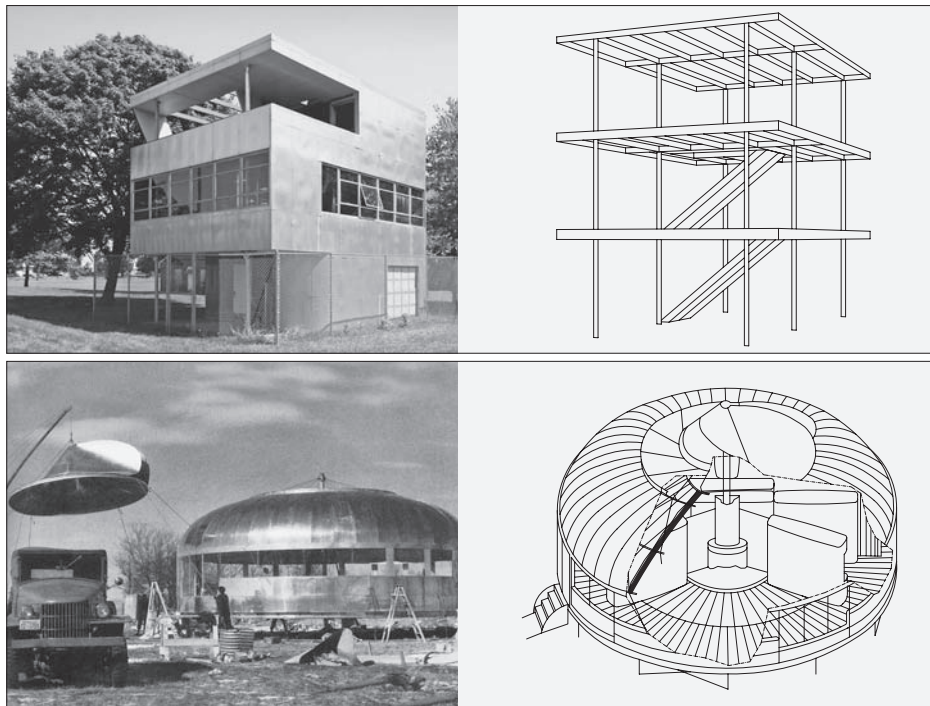
<sup>29</sup> Među njima: A. W. Hawksley Ltd, ALCOA, Structural and Mechanical Development Engineers Ltd., Maycrete Ltd., The Bristol Aeroplane Co. Ltd. dr.

<sup>30</sup> LAUGHREN, 2010.; MEMMOT, 1988.; \*\*\* 1959.

<sup>31</sup> <http://www.lamaisontrropicale.com/www/> (30.11.2012.)

<sup>32</sup> Jednu od njih kupio je američki hotelijer André Balazs na aukciji u New Yorku i posudio muzeju Tate u Londonu za izložbu dok ne pronađe parcelu za njeno trajno preseljenje. [<http://www.andrebalazsproperties.com/special-projects/la-maison-tropicale/> (29.10.2012.)]

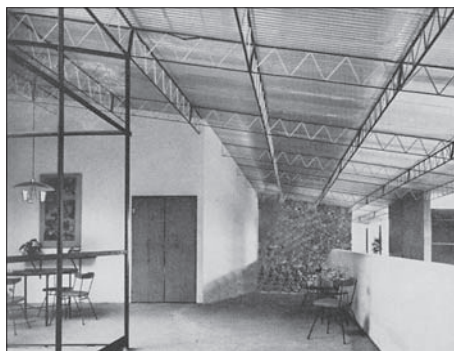
<sup>33</sup> O'DAY, 2009.



SL. 7. ALBERT FREY I ALFRED LAWRENCE KOCHER: SKELET I GOTOVA KUĆA ALUMINAIRE, NEW YORK, 1931.  
FIG. 7. ALBERT FREY AND ALFRED LAWRENCE KOCHER: ALUMINAIRE HOUSE, NEW YORK, 1931, FRAME AND THE COMPLETED HOUSE

SL. 8. BUCKMINSTER FULLER: MONTAŽA KUĆE WICHITA, KANSAS, 1949.  
FIG. 8. BUCKMINSTER FULLER: WICHITA, KANSAS, 1949, A MODULAR HOUSE

SL. 9. SÉRGIO BERNARDES: KUĆA SOARES, OKOLICA PETROPOLISA, 1952.  
FIG. 9. SÉRGIO BERNARDES: SOARES HOUSE, VICINITY OF PETROPOLIS, 1952



store i odbija toplinsko sunčevo zračenje, dok noću zadržava isijavanje topline zemlje odozdo. Ovakva organizacija prostora, inspirirana organizacijom beduinskih šatora, omogućava boravak i na otvorenom i u zatvorenom, ovisno o dobu dana i mikroklimatskim prilikama pa to daje dodatnu kvalitetu stanovanja.

#### • Primjeri aluminijskih kuća u Americi

U Sjedinjenim Američkim Državama tijekom 20-ih godina prošloga stoljeća izuzetno su popularne bile autoprikolice za odmor. Velika gospodarska kriza 1929. natjerala je Amerikance da prikolice počnu koristiti za stanovanje. Njihova je mobilnost pritom imala ključnu ulogu jer su se, u potrazi za poslom, obitelji često selile.<sup>34</sup> Jedan je od najpoznatijih modela bila mobilna aluminijska kuća za odmor Airstream (Sl. 6.) koju je projektirao William Hawley Bowlus, a koja se proizvodila od 1936. pa sve do 1979. godine.

Iako je postojala stalna želja da se u SAD-u industrijski proizvode aluminijske kuće u velikim serijama, proizvedeno je više prototipova i manjih serija kuća. Kucu Aluminaire projektirali su arhitekti Albert Frey<sup>35</sup> i Alfred Lawrence Kocher za izložbu Lige arhitekata u New Yorku 1931. godine. Nakon izložbe kuća je premještena na Long Island gdje je kao vikendica korištena sve do 1986., a zatim je premještena i izložena u Njujorskom tehnološkom institutu. Ova je kuća prva potpuno metalna predgotovljena kuća u SAD-u i među prvima s ozelenjenim krovom.<sup>36</sup> Nosiva se konstrukcija ove trokutnice sastoji od šest

aluminijskih stupova povezanih aluminijskim gredama s čeličnim sekundarnim nosacima međukatne konstrukcije (Sl. 7.). Gradnja kuće trajala je svega 10 dana, a cijena joj je bila samo 3200 dolara.<sup>37</sup>

Među ranije kuće od aluminijske u kombinaciji s čelikom pripada projekt Dymaxion arhitekta Buckminstera Fullera, koji je razvijao od kraja 20-ih do kraja 40-ih godina 20. stoljeća. Volumen heksagonalnog tlocrta bio je odignut od tla i ovješeno o središnji stup koji ga visinom nadmašuje, čime se smanjuju sile u zategama. Poslije, uz pojavu kvalitetnijih čelika i duraluminija<sup>38</sup>, nastaje projekt iz iste serije za kuću Wichita u Kansasu (Sl. 8.). Konstrukciju ponovno obilježava središnji čelični stup, no ovoga je puta njegova visina ostala unutar visine volumena kuće te je na nj ovješena konstrukcija plašta kuće. Kuća, koja je težila 3 tone i stajala oko 6500 američkih dolara, nije se masovno proizvodila, ali su izvedena dva prototipa koja je kupio biznismen i ulagač u tvrtku *Fuller Houses inc.* William Graham, te ih je u djelomično promijenjenu obliku iskoristio za vlastitu obiteljsku kuću u kojoj je živio do 1970. godine.<sup>39</sup> Kuća je bila opremljena rotirajućim policama<sup>40</sup>, automatskim pranjem kupaonice vodenom parom, vrata su bila tekstilna, harmonika načina otvaranja, a obli je oblik krova pridonosio aerodinamičnosti koja smanjuje utjecaj vjetra, u Kansasu vrlo izraženog, na građevinu. Kombinacija oblika kuće – s kojeg i povjetarac učinkovito oduzima toplinu – i krovna rotacijskog otvora za pasivnu ventilaciju pridonosi poboljšanju mikroklimatskih uvjeta u ljetnom razdoblju.

U Južnoj Americi 1952. godine izgrađena je zanimljiva aluminijska kuća Soares arhitekta Sérgioa Bernardesa na teško dostupnoj lokaciji u brazilskoj džungli u okolici Petropolis. Aluminij je ponajprije odabran zbog male težine materijala kako bi gradnja na zahtjevnoj lokaciji bila što lakša i korišten je u kombinaciji s lokalnim materijalima (Sl. 9.). Vrstan spoj niskotehnoloških i suvremenih materijala nagrađen je na Drugom bijenalu Muzeja suvremene umjetnosti u São Paulu 1954. godine.<sup>41</sup>

34 AL ARAYED, 2006.

35 Frey je 1920-ih radio u Le Corbusierovu uredu pa vjerojatno zato oblikovno kuća podsjeća na Le Corbusierovu kuću u naselju Weissenhof u Stuttgartu.

36 Ozelenjena krovna terasa nadoknađuje dio prirodnog terena oduzetog gradnjom kuće [\*\*\* 1932.].

37 SUTTER, 2011.

38 Ovi materijali postali su dostupni zbog viška proizvodnje u industriji borbenih aviona.

39 Njegova je obitelj kuću darovala Fordovu muzeju u Greenfield Villageu, Detroit, Michigan, koji ju je od 1991. do 2001. restaurirao u izvorno stanje iz 1946. godine. [http://www.thehenryford.org/museum/dymaxion.aspx (3.12.2012.)]

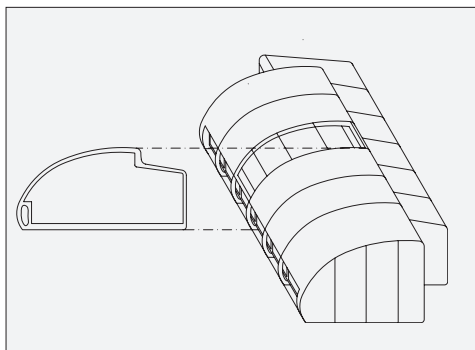
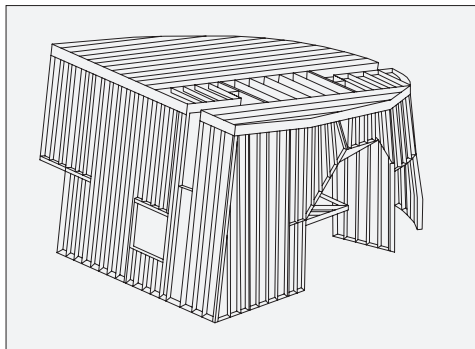


Nedugo nakon toga u SAD-u veću je seriju obiteljskih kuća, njih 23, poznatih pod nazivom ALCOA Care-Free Model Homes, 1957. godine izgradila istoimena tvrtka, inače najveći američki proizvođač aluminija, prema projektu arhitekta Charlesa M. Goodmana. Kuće su vrlo dobro očuvane i danas još uvijek u upotrebi.<sup>42</sup>

Krajem 20. stoljeća aluminijske kuće ulaze u područje naprednoga računalnog projektiranja i modeliranja, poput kuće Turbulence arhitekta Stevena Halla koju ju je projektirao u suradnji s umjetnikom Richardom Tuttleom.<sup>43</sup> Poseban oblik ove dvoetažne kuće u New Mexico osmišljen je kako bi uhvatio i najmanji povjetarac u svoj 'vjetrovni' prolaz za poboljšanje mikroklima u kući (Sl. 10.). Konstrukcija se sastoji od 31 jedinstvenog dijela od aluminija proizvedenog u Teksasu i vijcima spojenog na gradilištu. Trodimenzionalno parametarsko projektiranje pomoću posebna računalnog programa korišteno je za modeliranje i automatsku proizvodnju dijelova konstrukcije.

Tim Sveučilišta u Michiganu 2005. godine predstavio je kuću MISO (Sl. 11.) kao sveučilišni interdisciplinarni projekt za natjecanje *Solar Decathlon*, odnosno samoodrživu kuću. To je primjer građevine jednovolumenske konstrukcije, kakvu inače nalazimo u automobilskoj, željezničkoj i avionskoj industriji. Nosiva rebrasta prednapregnuta konstrukcija izrađena je korištenjem ljepila koja se koriste u spomenutim industrijama i dio je sustava pročelja, dok dvostruka aluminijska opna poboljšava izolacijska svojstva. Kuća je smještena u botanički vrt u Ann Arboru u Michiganu kao izložbeni paviljon u kojem se provode mjerenja vezana za energetska učinkovitost.

Primjer iz 2006. – kuća Loblolly arhitektonskog ureda KieranTimberlake na Taylors Islandu u Marylandu predstavlja dvoetažnu kuću odignutu od tla, projektiranu za jednostavno sastavljanje, rastavljanje i ponovno sastavljanje na drugomu mjestu (Sl. 12.). Kuća je modularna, a dijelovi proizvedeni u radionicama unaprijed su dizajnirani za višekratnu uporabu. Nosiva je konstrukcija izve-



dena iz elemenata standardne aluminijske skele. Pri projektiranju u potpunosti je korištena *Building Information Modelling* [BIM] tehnologija, za primjenu koje njezini su projektanti bili višestruko nagrađivani 2007. godine.<sup>44</sup>

Muzej suvremene umjetnosti u New Yorku [MOMA] 2008. je godine naručio projekt i izradu kuće Cellophane za izložbu „Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling”.<sup>45</sup> Autori ove peterokatnice (Sl. 14.), ponovno iz ureda KieranTimberlake, ovom su projektom nastavili istraživanje mogućnosti i značenja tvornički proizvedenih kuća, započeto na kući Loblolly. U ovome je slučaju predgotovljena proizvodnja razvijana primjenom metoda posuđenih iz automobilske industrije, kao npr. tvorničko povezivanje pojedinačnih dijelova u sklopove različitih veličina i namjena koji se međusobno sklapaju u gotovi proizvod na gradilištu. Na taj se način skraćuje vrijeme

SL. 10. STEVEN HALL: KUĆA TURBULENCE, NEW MEXICO, 2005.

FIG. 10. STEVEN HALL: TURBULENCE HOUSE, NEW MEXICO, 2005

SL. 11. TIM SVEUČILIŠTA U MICHIGANU: KUĆA MISO, ANN ARBOR, MICHIGAN, 2005.

FIG. 11. MICHIGAN UNIVERSITY TEAM: MISO HOUSE, ANN ARBOR, MICHIGAN, 2005

SL. 12. KIERAN TIMBERLAKE ARCH.: KUĆA LOBLLOLY, TAYLORS ISLAND, MARYLAND, 2006. NA AKSONOMETRIJI NOSIVE KONSTRUKCIJE I FOTOGRAFIJI VIDLJIVA JE DRVENA KONSTRUKCIJA PRIZEMLJA KOJA NOSI ALUMINIJSKI SKELET PRVOG I DRUGOG KATA.

FIG. 12. KIERAN TIMBERLAKE ARCH.: LOBLLOLY HOUSE, TAYLORS ISLAND, MARYLAND, 2006. THE AXONOMETRIC VIEW OF THE LOAD-BEARING STRUCTURE AND THE PHOTO SHOW A WOODEN STRUCTURE OF THE GROUND-FLOOR SUPPORTING THE ALUMINIUM FRAME OF THE FIRST AND SECOND FLOORS.

<sup>40</sup> *O-volving* je izraz koji je Fuller koristio za ovaj tip polica zbog njihove ovalne putanje unutar pokretnog mehanizma.

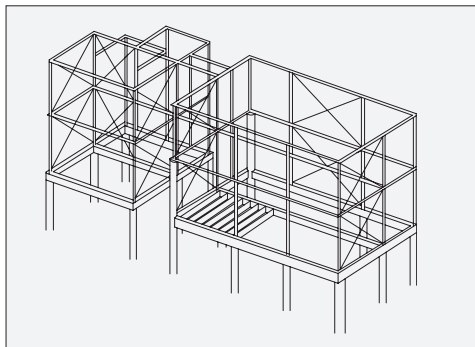
<sup>41</sup> PETER, 1956.

<sup>42</sup> <http://www.midcenturia.com/2012/08/in-january-of-1957-aluminum-company-of.html> [29.9.2012.]

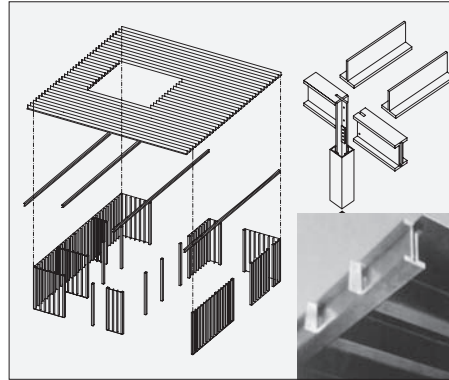
<sup>43</sup> <http://www.stevenhall.com/project-detail.php?type=houses&id=53> (20.1.2013.)

<sup>44</sup> Nagrade u kategorijama *Creating Stellar Architecture Using BIM* i *Outstanding Design for Fabrication Using BIM* u organizaciji udruženja Technology in Architectural Practice američkoga arhitektonskog instituta [AIA TAP].

<sup>45</sup> <http://www.moma.org/visit/calendar/exhibitions/50> (20.01.2013.)



SL. 13. TOYO ITO: KUĆA U SAKURAJOSU, 2000.,  
AKSONOMETRIJA KONSTRUKCIJA PRIZEMLJA I DETALJ  
FIG. 13. TOYO ITO: HOUSE IN SAKURAJOSU, 2000.,  
AXONOMETRIC VIEW OF THE GROUND FLOOR AND A DETAIL



produkcije elemenata kuće u tvornici, kao i njihova sklapanja na gradilištu, uz postizanje visoke vrsnoće izvedbe. Kuća Cellophane, kao i njena prethodnica kuća Loblloly, za glavnu je nosivu konstrukciju koristila sustav aluminijske skele, a autori su 2009. godine i za ovu kuću nagrađeni za primjenu BIM tehnologija.<sup>46</sup>

#### • Primjeri aluminijskih kuća u Japanu

Suvremene aluminijske kuće u Japanu koriste preciznost strojne proizvodnje nosivih elemenata za gradnju kuća atipičnog oblikovanja i načina sklapanja. Kuća u Sakurajosui arhitekta Toya Ita<sup>47</sup> iz 2000. godine izgrađena je tik do armiranobetonske kuće istog arhitekta iz 1975. godine. Aluminijski gredni nosači u glavnom su smjeru presjeka u obliku slova 'I' s dvostrukim hrptom, dok su u drugome smjeru sekundarni obrnutoga 'T' presjeka, a jednostavno se spajaju na tanke stupove '4' presjeka (Sl. 13.).<sup>48</sup> Takav presjek s

dvostrukim hrptom lako je moguće proizvesti upravo ekstrudiranjem.

Ecoms pokazna kuća biroa Riken Yamamota & Field Shopa iz 2004. godine<sup>49</sup> izvedbeni je prototip sastavljen iz aluminijskih panela koji se mogu iznajmljivati na komad i sklupati po potrebi u veće ili manje sklopove. Tvrtka koja proizvodi aluminijsko pokucstvo proizvela je panele za tu kuću i sagradila pokazni primjerak u sklopu tvornice u Tosuu. Zidni paneli izvedeni su u modulu 120×120 cm, a stropni imaju duljinu 360 cm. Na taj način Yamamoto preispituje kuću kao sklop elemenata kojima je omogućena dinamična prilagodba u odnosu na promjene potreba korisnika (Sl. 1.).

Visoki stupanj provodljivosti topline aluminijska, koji je nacerlo jedan od nedostataka u njegovu korištenju za gradbene svrhe, iskorištili su članovi Tekuto Ateliera prilikom projektiranja nekoliko aluminijskih kuća. Osnovna vertikalna nosiva konstrukcija ovih kuća sastoji se od aluminijskih profila međusobno povezanih u snop okvira (Sl. 15.). Osim svojstva nosivosti ona istovremeno služi i kao instalacijski zid i kao grijače i rashladno tijelo povezano u energetske sustav. Smještanjem nosive konstrukcije u unutrašnji prostor izbjegnuto je problem toplinskoga mosta. Uporaba jedinstvenoga aluminijskog profila za izradu nosivih elemenata kuće omogućila je jednostavnu izvedbu korištenjem standardnih stolarskih alata. Najnovija od ovih kuća A-Ring, izvedena 2009. godine, služi kao model gradnje na kojem nadležno japansko ministarstvo<sup>50</sup> provodi mjerenja emisija stakleničkih plinova i potrošnju energije.

SL. 14. KIERAN TIMBERLAKE ARCH.: KUĆA CELLOPHANE, NEW YORK, 2008., AKSONOMETRIJA PROSTORNIH KOMADA ZA SKLAPANJE I FOTOGRAFIJA IZLOŽBENOG PRIMJERKA  
FIG. 14. KIERAN TIMBERLAKE ARCH.: CELLOPHANE HOUSE, NEW YORK, 2008., AXONOMETRIC VIEW OF PREFABRICATED COMPONENTS AND A PHOTO OF THE EXHIBIT ITEM



## ZAKLJUČAK

### CONCLUSION

Iako se tehnologija za industrijsku proizvodnju aluminijskih elemenata pojavila samo 20-ak godina poslije čelika, u drugoj polovici 19. stoljeća, njegova je uporaba u nosivim konstrukcijama zgrada znatno rjeđa, djelomično i zato što je velik broj dostupnih legura različitih svojstava i sustava označavanja otežavao odluku o odabiru ovoga materijala pri projektiranju. Ovim člankom dan je pregled šire primjene aluminijskih elemenata do kuća u potpunosti izvedenih iz aluminijskih elemenata. Za ilustraciju raznolikosti

<sup>46</sup> Outstanding Design for Fabrication Using BIM, [AIA TAP]

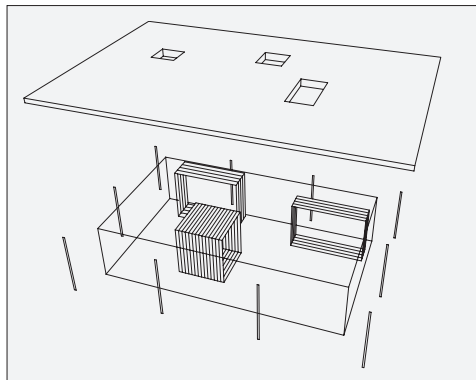
<sup>47</sup> Najnoviji dobitnik nagrade za arhitekturu Pritzker za 2013. godinu.

<sup>48</sup> STAIB i dr., 2008: 86

<sup>49</sup> GEIPEL, 2006.

<sup>50</sup> Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (engl. naziv) najveće je ministarstvo po broju zaposlenih u Japanu i zaduženo je, između ostalog, za prostorno planiranje, urbanizam i stanogradnju.

primjene i mogućnosti koje donosi korištenje tog metala odabrani su karakteristični primjeri obiteljskih kuća. Prikazani oblici gradnje i tehnologije izvedbe elemenata i sustava ovih kuća često potječu iz nearhitektonskog djelovanja, a primjenjivi su i za gradnje namjena različitih od stambene. Prikazan je i jedan dio oblikovnih i konstruktivnih inovacija pri projektiranju alumijskih obiteljskih kuća, kojih je neponovljivost omogućila izvedenim primjercima da postanu muzejski izložci. Norme za gradnju aluminijem, nedavno donesene u Europi i Japanu, olakšat će projektiranje alumijskih konstrukcija i time povećati udio tog materijala u budućim građevinama. Održiva gradnja i energetske učinkovito građenje još su jedan poticaj izboru aluminija, posebno kada se u obzir uzmu visok udio ponovno iskorištenog aluminija u njegovoj proizvodnji, praktički beskonačan broj ciklusa recikliranja, niski troškovi održavanja, mala težina i trajnost. Primjena novih tehnika projektiranja i tehnologija grad-



nje – *Building Information Modelling* [BIM], industrijska proizvodnja, razgradnja i ponovno korištenje gotovih elemenata i sklopova, pojava novih kompozitnih i ‘pametnih’ materijala na bazi aluminija – otvaraju široko polje mogućnosti primjene u projektima alumijskih kuća budućnosti.

SL. 15. TEKUTO ATELIER: KONCEPT SCHEME KONSTRUKCIJE OD SNOPOVA ALUMINIJSKIH OKVIRA I FOTOGRAFIJA INTERIJERA KUĆE A-RING, 2008.

FIG. 15. ATELIER TEKUTO: STRUCTURAL CONCEPT BASED ON ALUMINIUM FRAMES AND A PHOTOGRAPH OF THE A-RING HOUSE INTERIOR, 2008

## LITERATURA

## BIBLIOGRAPHY

1. AL ARAYEDH, SH. G. (2004.), *The Mass Housing Dilemma An Industrial Design Proces in Architecture*, Master of science thesis, Mississippi State University, USA
2. DE MATTEIS, G.; BRANDO, G.; PANICO, S.; MAZZOLANI, F. M. (2008.), *Aluminum Shear Panels for Seismic Protection of Framed Structures: Review of Recent Experimental Studies*, u: *Seismic Engineering Conference*, Conference Proceedings, July 8-11, Vol. 1020: 19-26, American Institute of Physics, Calabria, Italy [http://proceedings.aip.org/resource/2/apcpcs/1020/1/19\_1?isAuthorized=no [2.5.2012.]
3. GEIPEL, J. D. (2006.), *Demonstration House in Tosu-City*, „Detail“, 7/8, München
4. GITTER, R. (2006.), *Aluminium Materials for Structural Ingenieering – Esencial Properties and Selection of Materials*, „Structural Engineering International“, 4: 294-300, IABSE, Zürich
5. KRAUSSE, J.; LICHTENSTEIN, C. (1999.), *Your Private Sky: R. Buckminster Fuller - The Art of Design Science*, Lars Müller Publishers, Baden
6. LAUGHREN, M. (2010.), *Yuendumu Everyday: Contemporary Life in Remote Aboriginal Australia by Yasmine Musharbash*, „Aboriginal History“, 34: 281-290, Aboriginal History Inc and ANU E Press, Canberra, Australia
7. MARIC, G.; FILETIN, T.; KRAMER, I. (2002.), *Metalne pjene – Proizvodnja, svojstva i primjena*, u: *Materijali i tehnologijski razvoj* [ur. Filetin, T.], Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb [http://titan.fsb.hr/~tfiletin/pdf/metalne\_pjene\_tehn\_razvoj.pdf (7.2.2013.)]
8. MEMMOT, P. (1988.), *Aboriginal housing: The state of the art (or the non-state of the art)*, „Architecture Australia“, June: 34-45, Architecture Media, Australia
9. O'DAY, K. (2009.), *Tropical or Colonial? A Reception History of Jean Prouve's Prefabricated Houses for Afrika*, Master of Art, Louisiana State University and Art College, USA
10. PETER, J. (1956.), *Aluminium in Modern Architecture*, Vol. I, Reynolds Metals Company, Louisville, Kentucky
11. STAIB, G.; DÖRRHÖFER, A.; ROSENTHAL, M. (2008.), *House in Sakurajosui*, „Components and Systems“, Edition Detail, Birkhäuser, München
12. SUTTER, M. (2011.), *20<sup>th</sup> Century Design/Build in the United States*, Vermont Architectural History [http://4matdesign.net/2011/12/31/20th-c-designbuild-in-the-united-states/ (13.1.2013.)]
13. \*\*\* (1959.), *Discussion*, „Symposium on Aluminium in Building“, July 9-10: 236-237, London
14. \*\*\* (2004.), *Collection of Aluminium from Buildings in Europe*, A Study by Delft University of Technology, European Aluminium Association, Bruxelles
15. \*\*\* (2007.), *Aluminium 13 element*, OC Rusal, Moskva

## IZVORI

## SOURCES

## INTERNETSKI IZVORI

## INTERNET SOURCES

1. http://pinp.org/conf10/downloads/pdf/presentations/Zahner-presentation.pdf [20.1.2013.]
2. http://proceedings.aip.org/resource/2/apcpcs/1020/1/19\_1?isAuthorized=no [2.5.2012.]
3. http://recycling.world-aluminium.org/home.html [21.1.2013.]
4. http://talleravb.blogspot.com/2009/06/albert-frey-1930-casa-aluminaire.html, [23.3.2013.]
5. http://taubmancollege.umich.edu/resources/research\_outreach\_and\_funding/miso\_house/ [17.12.2012.]
6. http://titan.fsb.hr/~tfiletin/pdf/metalne\_pjene\_tehn\_razvoj.pdf [7.2.2013.]
7. http://4matdesign.net/2011/12/31/20th-c-designbuild-in-the-united-states/ [13.1.2013.]
8. http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiabo81569.pdf [3.5.2013.]
9. http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiabo81572.pdf [3.5.2013.]
10. http://www.airstream.com/company/ [26.3.2013.]
11. http://www.alueurope.eu/key-topics/recycling/ [21.1.2013.]
12. http://www.andrebalazsproperties.com/special-projects/la-maison-tropicale/ [29.10.2012.]
13. http://www.detail-online.com/daily/jean-prouve-214/ [14.2.2013.]
14. http://www.jonashauptman.com/index.php/2011/06/10/future-house-2005/ [5.4.2012.]
15. http://www.lamaisontrropicale.com/www/ [30.11.2012.]
16. http://www.midcenturia.com/2012/08/in-january-of-1957-aluminum-company-of.html [29.9.2012.]
17. http://www.moma.org/learn/resources/press\_archives/1930s/1932 [2.4.2013.]
18. http://www.moma.org/visit/calendar/exhibitions/50 [20.1.2013.]
19. http://www.museumwales.ac.uk/en/rhagor/article/1865/ [20.4.2012.]
20. http://www.stevenhall.com/project-detail.php?type=houses&id=53 [20.1.2013.]
21. http://www.tekuto.com/blog\_eng/wp\_english/wordpress/?p=188 [16.6.2012.]
22. http://www.thehenryford.org/museum/dymaxion.aspx [3.12.2012.]
23. http://www.treehugger.com/modular-design/aluminum-house-by-atelier-tekuto.html [16.6.2012.]
24. http://www.winco-tech.com/en/skytech.php [7.2.2013.]

## DOKUMENTACIJSKI IZVOR

## DOCUMENT SOURCE

1. \*\*\* (1932.), *First all-metal private house in America to be shown at exhibition of modern architecture at Museum of Modern Art*, Museum of Modern Art, 3.2.1932., New York City [http://www.moma.org/learn/resources/press\_archives/1930s/1932 (2.4.2013.)]

## IZVORI ILUSTRACIJA

## ILLUSTRATION SOURCES

- SL. 1. GEIPEL, 2006: 784, 787
- SL. 2. GITTER, 2006: 299 (autorska dorada)
- SL. 3. http://www.museumwales.ac.uk/en/rhagor/article/1865/
- SL. 4. http://www.detail-online.com/daily/jean-prouve-214/ (autorska dorada)
- SL. 5. O'DAY, 2009: 45 (autorska dorada crteža)
- SL. 6. http://www.airstream.com/company/
- SL. 7. http://luciaconejo.blogspot.com/2011/02/analisis-de-viviendas-unifamiliares-ii.html (autorska dorada crteža)
- SL. 8. KRAUSSE, LICHTENSTEIN, 1999: 235, 245 (autorska dorada crteža)
- SL. 9. PETER, 1956: 79
- SL. 10. http://pinp.org/conf10/downloads/pdf/presentations/Zahner-presentation.pdf (autorska dorada crteža); foto: http://www.stevenhall.com/project-detail.php?type=houses&id=53
- SL. 11. http://www.jonashauptman.com/index.php/2011/06/10/future-house-2005/ (autorska dorada crteža); foto: http://taubmancollege.umich.edu/resources/research\_outreach\_and\_funding/miso\_house/
- SL. 12. http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiabo81572.pdf (autorska dorada); foto: http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiabo81572.pdf
- SL. 13. http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiabo81569.pdf (autorska dorada crteža)
- SL. 14. STAIB i sur., 2008: 88
- SL. 15. http://www.treehugger.com/modular-design/aluminum-house-by-atelier-tekuto.html (autorska dorada); foto: http://www.tekuto.com/blog\_eng/wp\_english/wordpress/?p=188

## SAŽETAK

## SUMMARY

## USE OF ALUMINIUM STRUCTURES FOR THE CONSTRUCTION OF FAMILY HOUSES

Shortly after it was discovered, around 200 years ago, aluminium reached a great frequency of use in industrial production that ranged from packaging to space industry. Today it is used in architecture, though rarely for load-bearing structures which are most commonly built from steel. In spite of that, some of the characteristics make aluminium a more suitable material than steel. The advantage is that it is around 2/3 less dense than steel and therefore easier to transport to construction sites (especially those with difficult access). Other favourable characteristics of aluminium in relation to steel are its great abundance in the Earth's crust, resistance to corrosion reinforced by the formation of a thin surface layer of oxide in contact with air, resistance to atmospheric gases and certain acids, smaller surface emission, possibilities of recycling and of design and production of optimal profiles by extrusion. There are also shortcomings of the use of aluminium in construction when compared to steel. It is less strong and stiff, it is sensitive to increased temperature and corrosion in contact with certain materials and it allows for the creation of thermal bridges. The comparison between these two materials indicates the future increase in the use of aluminium for design and construction of load-bearing structures due to its numerous advantages. It is worth mentioning that many new materials or aluminium-based products (aluminium foam, transparent aluminium, aluminium foils for thermal insulation, anti-seismic aluminium panels) herald new architectural application in the future with their favourable new design features and technical and physical characteristics.

Family houses with aluminium load-bearing structures started to be built in Europe after the Second World War and in the midst of the need for a fast and efficient renovation of war-destroyed houses. The awarded project at the British competition for the design of a temporary modular family house was a prototype of a prefabricated house with an aluminium load-bearing structure. The anticipated life span of these houses was around fifteen years, but these estimations have far been exceeded. Aluminium family houses are structures which are in

France often related to Jean Prouvé, an architect, designer and producer of aluminium household furniture. Prouvé explored and elaborated on several types of modular houses among which prominence should be given to the entire Méudon family house are near Paris, the Métropole House as a model for the French market, and the Tropicale and Maison du Sahara Houses as models for the African market. His houses represented great solutions to habitation problems in African climate while, on the other hand, one-layer aluminium huts, also built in Africa, stand for houses with minimal amount of comfort for living.

The development of aluminium house construction in the United States of America is linked with mobile aluminium holiday houses and with Airstream as one of their most long-standing and best known models. The 1930s saw the production of static aluminium houses, such as the Aluminaire House and other works by the great architect Buckminster Fuller: Dymaxion and Wichita House. In the subsequent decades, American aluminium producers launched various types of aluminium family houses which were never produced in great numbers. In Latin America there is a noteworthy example from the early 1950s, the Soarez House where the use of aluminium was particularly suitable since it was built in a jungle and therefore hardly accessible. In the late 20<sup>th</sup> century, aluminium houses were given considerable attention in terms of sophisticated design and modelling which can be attested by the Turbulence House designed by architect Steven Hall and artist Richard Tuttle. They were followed by the MISO House created as a university project of a self-sufficient house for the Solar Decathlon competition, and the modular Loblolly House with the load-bearing structure constructed from typical aluminium framing which was envisaged to be repeatedly assembled and disassembled. The Cellophane House is a further development of the Loblolly House and shows in its structure the adoption of prefabrication which used the production methodology of the automotive industry, such as on-site assembling of components into a finished product – the so called chunking. Both the Loblolly

and Cellophane houses were built by completely using the advantages of the Building Information Modelling technology (BIM) which brought several awards to their designers.

The design and construction of experimental aluminium structures in Japan was intensified in the late 20<sup>th</sup> and in the 21<sup>st</sup> century. Some of the buildings were created by architect Toya Ita, such as the house in Sakurajos with a simple combination of structural elements achieved by peculiar design of the elements' profiles. Another interesting example is a built prototype Ecoms, a demonstration house which consists of aluminium panels that can be borrowed individually and assembled into small of large buildings depending on the circumstances and needs. A high degree of thermal conductivity of aluminium was used in a positive way by the members of the Tekuto Atelier for the design of several aluminium houses. The main vertical load-bearing structure serves both as a wall for installations and as a heater and cooler connected to the electrical system. The use of a unique aluminium profile for the construction of the load-bearing structures enabled a simple execution by the standard tools used in carpentry and joinery. One of these houses, A-Ring, serves as a building model which is subjected to measurements of greenhouse emission and electrical consumption conducted by the authorized Japanese ministry.

The aluminium building norms that have recently been established in Europe and Japan can facilitate the design of aluminium structures and thereby increase the use of the material in future building projects. Sustainable and energy efficient building represent another motivation for the use of aluminium, especially regarding the great amount of recycled aluminium in its production, an almost endless number of recycling cycles, low maintenance costs, lightness and durability. The use of new design and construction technologies – Building Information Modelling, industrial production, disintegration and reuse of finished elements, new composite and "smart" materials based on aluminium – offers a great variety of possible future uses in the building projects related to aluminium houses.

**DAVOR ANDRIĆ**  
**KRISTINA CAREVA**  
**ARIANA ŠTULHOFER**

## BIOGRAFIJE

## BIOGRAPHIES

**DAVOR ANDRIĆ**, dipl. ing. arh., asistent je na kabine-tu Nosive konstrukcije i doktorand na Doktorskom studiju Arhitektura. Bavi se znanstvenoistraživačkim i nastavnim radom.

Dr.sc. **KRISTINA CAREVA**, dipl.ing.arh., znanstvena je novakinja i viša asistentica na Katedri za arhitektonsko projektiranje. Bavi se znanstvenoistraživačkim, nastavnim i stručnim radom.

Dr.sc. **ARIANA ŠTULHOFER** izvanredna je profesorica na Katedri za arhitektonske konstrukcije i zgradarstvo. Bavi se znanstvenoistraživačkim i nastavnim radom te predaje na Doktorskom studiju Arhitektura.

**DAVOR ANDRIĆ**, Dipl.Eng.Arch., is a researcher and teaching assistant at the Office for Load-Bearing Structures and a student of the Ph.D. programme Architecture.

**KRISTINA CAREVA**, PhD, Dipl.Eng.Arch, is and senior assistant engaged in scientific research, professional work and teaching at the Department of Architectural Design.

**ARIANA ŠTULHOFER**, PhD, is an associate professor at the Department of Architectural Structures and Building Construction. She conducts scientific research and gives lectures and participates in the Ph.D. programme Architecture.

