

TEHNOLOŠKE INOVACIJE KONVENCIONALNIH

GRADIV NA SODOBNEM FASADNEM OVOJU

TECHNOLOGICAL INNOVATIONS OF CONVENTIONAL MATERIALS ON
CONTEMPORARY FAÇADE ENVELOPES**izvleček**

Človek že od najstarejših časov za gradnjo uporablja gradiva, ki so na voljo v naravi. Prva t.i. konvencionalna gradiva so bila les, kamen in ilovica v elementarni obliki. Z iznajdbo ognja je surovine mineralnega izvora lahko predelal v bolj uporabno obliko – mavec, opeka, keramika, kovine, steklo. Mineralnim gradivom, ki so bila v uporabi več kot dve tisočletij, so se v XX. stol. pridružili še beton in polimeri. XXI. stol. prinaša s III. tehnološko revolucijo konvencionalna gradiva z izboljšanimi lastnostmi. Kamen, keramika, steklo, beton, kovine, les in druga gradiva rastlinskega izvora ter polimeri pridobivajo s posebnimi postopki proizvodnje, obdelave in tudi s pomočjo nanotehnologijo nove možnosti uporabe.

abstract

From the earliest times, people have used materials which can be found in nature. The primary so-called conventional materials were wood, stone and clay in their elementary form. The discovery of fire enabled humans to process mineral raw materials into more practical forms – gypsum, bricks, ceramics, metals and glass. Mineral materials which have been in use for over two millennia were joined in the 20th century by concrete and polymers. The third technological revolution of the 21st century brought about conventional materials with improved properties. Stone, ceramics, glass, concrete, metals, wood and other materials of vegetal origin, and polymers, acquire through specific procedures of production, processing, as well as with the assistance of nanotechnology, fresh possibilities of utilisation.

ključne besede

konvencionalna gradiva, tehnološke inovacije, nano tehnologija

key words

conventional materials, technological innovations, nanotechnology

Prva gradiva, ki jih je človek uporabil za gradnjo bivališč, je našel v naravi. Kamen, les, ilovica, ki so tisočletja sestavljala grajeno opno, so uporabna v elementarni obliki. Uporaba ognja za preoblikovanje naravne surovine v bolj uporabno gradivo je prinesla I. tehnološko revolucijo. Paleta gradiv se je močno razširila – mavec, opeka, kovine, steklo, keramika. Čim višja je bila temperatura, ki jo je bil človek sposoben ustvariti, tem širši je bil nabor gradiv. II. tehnološko revolucijo je povzročila industrijska revolucija, ki je v proizvodnjo gradiv prinesla serijsko proizvodnjo, kontroliran postopek izdelave in s tem tudi višjo kvaliteto proizvodov. Proizvodnji kovin, stekla, opeke in keramike se je v XX. stol. pridružil beton, ki je po dolgih stoletjih oblik, ki jih je narekovala tektonika, prinesel možnosti bolj svobodnega organskega oblikovanja. V 2. pol. XX. stol. je velik preskok v ponudbi gradiv prinesla obširna skupina polimernih gradiv na bazi organskih spojin z lastnostmi, ki jih pri anorganskih gradivih ni bilo mogoče doseči [Zbašnik-Senegačnik, 1996]. Prihod nanotehnologije, CNC strojev, in drugih tehnoloških izboljšav ob prehodu v XXI. stol., je prinesel III. tehnološko revolucijo. V zadnjih letih nastajajo številna nova gradiva. Razdelimo jih lahko v dve obširni skupini. V eno skupino spadajo t.i. pametna gradiva, ki so sposobna zaznavati spodbude (stimulacije) iz okolja in nanje načrtovano reagirati na predvidljiv, uporabe, odgovoren, reproduktiven in običajno reverzibilen način. In to ne le enkrat, število odgovorov na spodbudo iz okolja je neomejeno. V drugo skupino novonastalih gradiv pa spadajo konvencionalna gradiva z izboljšanimi lastnostmi. Za do sedaj poznana konvencionalna gradiva se je zdelo, da so že dosegla razvojni optimum, vendar pa so z najnovejšimi tehnološkimi pristopi in (tudi) z nano dodatki

pridobila povsem nove lastnosti. Z njimi je tudi oblikovanje fasadnega ovoja doseglo nov zagon. Ta ni pogojen samo z željo po novem, neodkritem, temveč z ostrejšimi ekonomskimi zahtevami, strogimi okoljskimi predpisi in predvsem konkurenco na trgu, ki zahteva od gradiv čedalje širši nabor lastnosti.

Trenutno smo torej tudi pri razvoju fasadnega ovoja priče pravi eksploziji novih gradiv – konvencionalnih gradiv z izboljšanimi lastnostmi, ki so se še pred kratkim zdele nemogoče.

Lastnosti posodobljenih konvencionalnih gradiv

Želja po eksperimentiranju je opazna ne glede na to, katero gradivo je uporabljeno v sodobnem fasadnem ovoju, in lahko predstavlja barvito, enobarvno, spremenljivo ali minimalistično vizualno podobo. To željo v zadnjih letih podpirajo konvencionalna gradiva, ki so z najnovejšimi tehnološkimi postopki pridobila naslednje značilne lastnosti:

- **Zmanjšana teža** – nove strukture gradiv in postopki izdelave omogočajo zmanjševanje mase in posledično teže gradiv.
- **Povečana trdnost** – z vpeljavo kompozitov se povečuje tudi trdnost gradiv. Kombinacija visokotehnoloških lastnosti matrice in ojačitvenih elementov daje kompozitom nove, trdnejše lastnosti in pogosto omogoča raznolikost fasadnih oblog.
- **Povečana obstojnost** – nove površinske obdelave omogočajo trajnejšo zaščito gradiv pred zunanji vplivi (UV žarki, atmosferilije), izboljšujejo požarno odpornost in omogočajo protikorozijsko zaščito, ki je možna z nanosom visokokvalitetnih kovinskih ali nekovinskih barv, prahu in premazov.

- **Povečane dimenzije** – z izboljšanimi lastnostmi konvencionalnih gradiv ter z vpeljavo visokotehnoloških proizvodnih metod se dimenzije fasadnih plošč pospešeno povečujejo.
- **Novo vizualne lastnosti** – konvencionalna gradiva so s hitrim razvojem tehnologije obdelave poleg izboljšanih lastnosti pridobila tudi nekatere popolnoma nove vizualne lastnosti. Gradiva kot so kamen, les in beton so se pojavila v vlogi prosojnih gradiv (prosojne plošče kamna, prosojni betoni itd.).

Klasifikacija

Po kriterijih praktične sistematike, ki upošteva uporabnost ter tehnološke in naravoslovne sorodnosti, so gradiva razvrščena v družine z imeni, ki se uporabljajo v graditeljski in projektantski praksi, v vsakdanjem življenju in tudi med arhitekti. Sistematika hkrati omogoča tudi nekonfliktno določanje povsem novih družin gradiv. V tej skupini so gradiva razporejena v naslednje družine: **kamen, keramika, steklo, beton, kovine, les in druga gradiva rastlinskega izvora ter polimeri**.

Kamen

Kamen se v sodobni arhitekturi ne uporablja več kot gradbeno in konstrukcijsko gradivo, vedno pogosteje prevzema vlogo obloge v fasadnem ovoju. Uporaba kamna v graditeljstvu po načelih tektonike, ki ima svoje korenine v antičnih arhitekturnih stvaritvah, se tako s sodobno obdelavo kamna in novimi načini pritrdjevanja oblog počasi izgublja. Kamen s svojimi lastnostmi kot so trajnost, estetika in trdnost ohranja simbolični pomen bogastva, lepote in večnosti. Pridobiva pa nove lastnosti kot so prosojnost, lahkotnost in možnost ukrivljenja [Zijlstra, 2005:46].



Slika 1: Transparentna tanka plast oniksa: Kamen debeline nekaj milimetrov lahko v kombinaciji s steklom uporabljamo v fasadni oblogi, kjer steklo ščiti tanko plast kamna pred zunanji vplivi. Popoln efekt prosojnosti gradiva določa pravilna izbira določenega tipa kamna [Foto: Koprivec].

Figure 1: Thin transparent layer of onyx: stone a few millimetres thick combined with glass can be used for façade cladding, where the thin layer of stone is protected by glass against external influences. The perfect transparency of the material is determined by the correct selection of the specific type of stone [Photo: Koprivec].

Kamniti kompoziti – kamen se lahko nareže v tanko plast (slika 1), ki je velikokrat utrjena z različnimi ojačitvenimi komponentami kot so steklo, sendvič plošče s sredico iz aluminijastega ali polimernega satovja (slika 2), v zadnjem času pa se, sicer še v razvojni fazi, kot podlaga preizkušajo tudi

tridimenzionalne netkane tekstilije iz steklenih vlaken. Sodobna proizvodnja in tehnologija lepljenja omogočata zmanjševanje teže gradiva in delno ukrivljanje. Zaradi lahkotnosti se je gradivo najprej uporabljalo v interierjih letal in ladij. Pogostejšo uporabo na fasadah trenutno zavirata nezaupanje v tehnologijo lepljenja in visoka cena.



Slika 2: Osem milimetrov debela plast kamna na sendvič plošči iz aluminijastega satovja: tehnološki postopek poteka z lepljenjem sendvič plošče na nekaj centimetrov debelo plast kamna. Kamnita površina se nadalje obdelava do debeline 6-8 milimetrov [Foto: Koprivec].

Figure 2: Eight-millimetre-thick layer of stone on an aluminium honeycomb sandwich panel: the technological procedure involves bonding a sandwich panel to a layer of stone a few centimetres thick. The stone surface is further worked to a thickness of 6-8 millimetres [Photo: Koprivec].

Kamniti furnir je tanka plast naravnega kamna (škrlavci, peščenjaki) debeline od 0,1–2 mm in manj (slika 3). Večinoma je nalepljen na polimerno matrico, ki je utrjena s steklenimi vlakni. Za podlago se lahko uporabljajo tudi druga gradiva kot so npr. les, različne sendvič plošče itd. Kompozit s kamnitim furnirjem je popolnoma nov izdelek in ga je za uporabo na fasadah potrebno dodatno testirati na zunanje vplive.



Slika 3: Z izboljšanim tehnološkim postopkom razslojevanja kamna se izdeluje kompozit s plastjo kamna debeline 50-100 μ. Zaradi izredno tanke plasti (zaščitena je s silikonsko emulzijo) in fleksibilne volnene matrice je 0,1-0,2 mm tanek kompozit možno upogibati, z nadaljnjno toplotno obdelavo pa se lahko dosežejo tudi zahtevne tridimenzionalne oblike [http://www.richterveertechnology.com].

Figure 3: An improved technological procedure for splitting stone layers allows for the production of a composite with a 50-100 μ thick stone layer. Due to the extremely thin layer (protected by silicon emulsion) and flexible wool matrix, the 0.1-0.2 mm thin composite is pliable; through further thermal processing, demanding three dimensional shapes can also be achieved [http://www.richterveertechnology.com].

Keramika

Današnja tehnološko obdelana keramika ima lastnosti, ki jo uvrščajo med visokotehnološka gradiva. Keramika se izdeluje kot keramična pena, z vlakni ojačana keramika in tanka keramika povečanih dimenzij. Povečana trdnost keramičnih izdelkov je razširila njihovo konvencionalno uporabo na širše področje (talne keramične obloge v industrijskih objektih, na železniških postajah, letališčih, v bolnicah in na urbanih pešconah). Zaradi odpornosti gradiva na zunanje vremenske vplive, obširne palete barv, enakomerne površinske obdelave, možnosti aplikacije sončnih celic, lahkotnosti gradiva itd., so keramična gradiva primerna za fasadne obloge.

Visokotehnološka keramika ima v primerjavi s tradicionalno keramiko predvsem večjo trdnost ter povečane dimenzije pri drastično zmanjšani debelini plasti. Visokotehnološka keramika je odporna na mehanske pritiske, proti zmrzali ter kemično inertna.

- **Keramični kompoziti** – nekatera podjetja izdelujejo keramiko povečanih dimenzij z minimalno debelino. Tlačna trdnost tudi najtanjših keramičnih oblog omogoča uporabo na fasadah (slika 4). Pri večjih obremenitvah se za povečanje trdnosti izdeluje kompozit, ki sestoji iz dveh ali več keramičnih plošč, ki so med seboj zlepljene z ojačitveno mrežico iz steklenih vlaken.
- **Z vlakni ojačana keramika** – v keramični matrici so vgrajena različna vlakna (npr. jeklena). Takšna keramika združuje visoko duktilnost s trdnostjo gradiva, kar omogoča drugačno in varnejšo uporabo gradiva na fasadah [Fernandez, 2006: 217].
- **Keramika v posebnih oblikah** – keramika se lahko izdeluje kot penjena keramika ali v obliki keramičnih delcev, ki jih dodajajo drugim gradivom za prevleke ali premaze. Keramične delce, vezane s smolo, dodajajo barvam in prevlekam na zunanjih površinah stavb – nanosi odbijajo infrardečo svetlobo in povečujejo trajnost fasadne obloge.



Slika 4: Keramični kompozit: Keramične plošče, ki so lahko velike 150 x360 cm ob minimalni debelini 3 mm [Foto: Koprivec].

Figure 4: Ceramic composite: ceramic panels which can be as large as 150x360 cm with a minimal thickness of 3 mm [Photo: Koprivec].

Steklo

Nekatere izboljšave v proizvodnji stekla kot so kaljenje, lepljenje raznih slojev in sestavljanje večplastnih plošč so omogočile, da je steklo postalo samonosno in konstrukcijsko. Steklo je s posebnimi visokotehnološkimi obdelavami poleg izrednih trdnostnih in varnostnih lastnosti pridobilo tudi nove vizualne in tehnološke lastnosti. Tankoslojni nanosi odbijajo

sončno energijo, ustvarjajo večbarvne učinke ter spreminjajo stopnjo prosojnosti in prozornosti. Z uporabo samonosnega in ukrivljenega stekla nastajajo različne oblike.

Visokotehnološko steklo po možnostih, ki jih nudi, prekaša tradicionalno oblikovanje steklenih, prosojnih in prozornih površin. Z uporabo sodobnih tehnologij so stekla pridobila naslednje lastnosti: toplotno izolativnost, zvočno izolativnost, protisončno zaščito, protipožarno zaščito ter trdnost (kaljeno in lepljeno steklo). Imajo tudi nove estetske značilnosti (refleksija, zrcaljenje, barvitost itd.). Z različnimi tehnikami površinske obdelave stekla (neposredno tiskanje grafičnih znakov in podob) nastaja nova ornamentika.

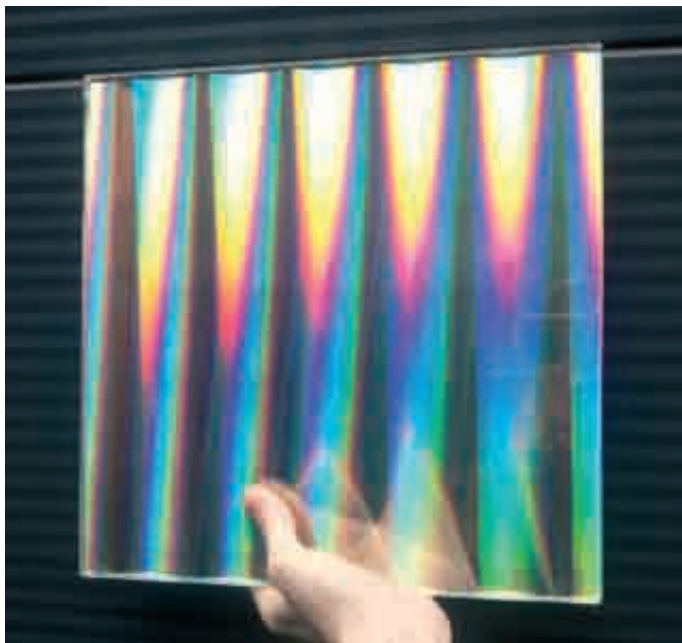
Posebne vizualne efekte ter nove tehnološke možnosti prinaša stekleni fasadni ovoj z uporabo naslednjih vrst stekla:

- **Visokotehnološko barvno steklo** – dimno steklo, barvno lepljeno steklo (med dve plasti vstavijo barvno folijo);
- **Ukrivljeno steklo** (torzija stekla nastopi pri 600°C in je odvisna od debeline stekla ter oblike kalupa; ukrivljajo lahko vse vrste stekla);
- **Steklo z vgrajenimi sončnimi celicami;**
- **Površinsko obdelano steklo** – tiskanje na steklo (slika 5), folije s specialnimi učinki (slika 6), tankoslojni nanosi.



Slika 5: Tehnologija digitalnega tiska keramičnih delcev na steklo omogoča poljubno oblikovanje fasadne površine in zagotavlja trajnost tiskanega vzorca (John Lewis Department Store; Foreign Office Architects, London, 2008) [Pell, 2010: 99].

Figure 5: The technology of digital printing of ceramic particles on glass allows for the optional design of façade surfaces and ensures the durability of the printed pattern (John Lewis Department Store; Foreign Office Architects, London, 2008) [Pell, 2010: 99].



Slika 6: Posebni vizualni efekti stekla: Laminirano steklo z vstavljenimi dikroičnimi folijami omogoča menjavo barv. Spremembe barv so lahko zelo nepredvidljive in hitre. Podobni vizualni učinki nastanejo v perju nekaterih ptic ali na vodi v oljnem madežu. Ko svetloba pade na dikroično folijo, se pojavijo različni vizualni učinki. Barve se spreminjajo glede na vpadni kot svetlobe in vidni kot opazovanja [Addington, Schodek, 2005: 156] [Foto Koprivec].

Figure 6: Special visual effects of glass: laminated glass incorporating dichroic, colour-changing film. Colour changes may be very unpredictable and rapid. Similar visual effects occur in the plumage of some birds or in oil stains on water. When light strikes the dichroic film, various visual effects occur. Colours change in respect to the angle of incidence of light and the angle of observation [Addington, Schodek, 2005: 156] [Photo Koprivec].

Beton

Tehnologija izdelave betona je do danes zelo napredovala, izboljšala se je trdnost gradiva, uveljavile so se nove vrste cementov (ultrafini cementi), agregatov (naravni, umetni, organski) in dodatkov (superplastifikatorji, pigmenti). Najnovejši dodatki se dodajajo pred ali med mešalnim procesom. Dodatki lahko izboljšajo kakovost gradiva, ščitijo beton pred zunanjimi vplivi, olajšajo delo pri vgradnji, vplivajo na končni videz gradiva in prispevajo k bolj trajnostni gradnji z betonom [Ballard Bell, Rand, 2006]. Poleg izboljšanja tehničnih karakteristik lahko določeni dodatki v betonu (npr. optična steklena vlakna) dajejo gradivu lastnosti kot je npr. prosojnost.

Samozgoščevalni beton je v svežem stanju samo zaradi delovanja lastne teže in sposobnosti tečenja sposoben popolnoma zapolniti opaž poljubne oblike, pri tem tesno oblitati nameščeno armaturo, se odzračiti in znivelirati, ne da bi pri tem segregiral. Takšne lastnosti mu daje povečan delež paste na račun grobozrnatega agregata in dodatek superplastifikatorja (mešanica organskih dodatkov, pridobljena s pomočjo nanotehnologije, ki transformira togo betonsko maso v bolj tekočo zmes) [Duh, D., 2008: 3]. Samozgoščevalni betoni omogočajo izvedbo najzahtevnejših oblik kot so: nagnjene površine, zakrivljene površine, tenki profili. Doseže se neluknjčava (gladka) fasadna površina, ki je pri estetiki vidnega betona zaželena.

Visokokvalitetni beton, ojačan z vlakni zaradi dodatkov, vključno z različnimi vrstami vlaken (steklena in karbonska vlakna), dosega boljše duktilnost, trdnost in s tem trajnost. Matrica

vsebuje cement, kremenov prah, pesek, superplastifikator, vodo, kremenjak, mineralna in druga vlakna, ki lahko nadomestijo jekleno armaturo. Za fasadne obloge se izdelujejo izredno tanki, lahki in trdni betonski elementi.

Prosojni beton je konvencionalni beton z dodatki optičnih steklenih vlaken, zaradi česar prepušča svetlobo [Weller, Rexroth, 2005: 1296]. Izdelujejo ga v obliki blokov. Prosojni betoni spadajo v kategorijo konstrukcijskih betonov, saj se njihova prostorninska masa giblje med 2100-2400 kg/m³. Z razvojem tehnologije prosojnega betona se spreminja osnovni koncept strukture betona in s tem fasadnega ovoja (slika 7).



Slika 7: Prosojni beton: Količina optičnih steklenih vlaken je 4%, količina betona je 96% [Hegger in sod.: 2005:16].

Figure 7: Transparent concrete: the quantity of optical glass fibres is 4%; the quantity of concrete amounts to 96% [Hegger et al.: 2005: 16].

Grafični beton – na betonsko površino se lahko trajno integrira slika z visoko resolucijo. S postopkom fotografske obdelave betonske površine (slika 8), ki je seštevek kemijskih znanosti, visokotehnološke opreme, strokovnega znanja o betonu in grafične tehnologije, agregat betona postane prenosnik digitalne slike. Hkrati se visokokvalitetnemu betonu dodajajo raznovrstni pigmenti in pucolani, da se doseže čimbolj intenziven kontrast med gladko površino in jedkanim odtisom betona [Herzog in sod., 2004: 105-106]. Za sodobne projekte so vedno bolj značilne obdelave fasade s številnimi učinki in poudarjeno izumetničenostjo samega gradiva.



Slika 8: Fotografska obdelava betonske (in steklene) površine (Knjižnica tehnične šole, Eberswald, arh. Herzog & de Meuron, 1999) [Pell, 2010: 32-35].

Figure 8: Photographic treatment of concrete (and glass) surface (Technical School Library, Eberswald, arch. Herzog & de Meuron, 1999) [Pell, 2010: 32-35].

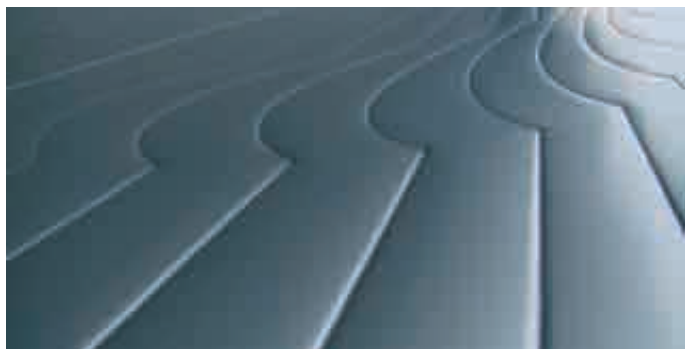
Kovine

Uporaba kovinskih oblog v arhitekturi je značilna za zgradbe arhitektov Franka O. Gehry-ja (fasada iz titana, Guggenheimov muzej, Bilbao, 1997), Renza Piana (fasada iz svinca, Auditorij Parco della Musica, Rim, 2002), Herzog-a & de Meuron-a (perforirane in reliefno oblikovane bakrene plošče, Muzej mladih, San Francisco, 2005) [Pell, 2010: 75] in drugih. Izboljšana odpornost kovin na korozijo, večja trdnost in duktilnost gradiva, prevleke in druge površinske obdelave prispevajo k bolj raznovrstni uporabi kovin v arhitekturi [Fernandez, 2006: 145]. V sodobnem fasadnem ovoju se kovine uporabljajo v obliki plošč (slika 9), sendvič panelov, mrež in kovinskih tkanin.



Slika 9: Perforirana in reliefno oblikovana bakrena pločevina na fasadi (Muzej mladih, San Francisco, Herzog & de Meuron 2005) [Foto: Zbašnik-Senegačnik].
Figure 9: Perforated and relief copper sheet metal on a façade (The de Young Museum, San Francisco, Herzog & de Meuron, 2005) [Photo: Zbašnik-Senegačnik].

Kovinski sendvič paneli so sestavljeni iz pločevine z vgrajeno izolacijo z visoko trdnostjo. Večinoma so takšni paneli tanjši in trdnjši. Paneli so samonosni, odporni na požar, vedno večjih dimenzij. Sodobne tehnologije obdelave (laserska obdelava, razrez s CNC stroji) omogočajo dodatno ustvarjanje posebne teksture panelov, ki dajejo fasadam jasno izraženo svojstveno podobo (slika 10).



Slika 10: Dodatna površinska obdelava kovinskega sendvič panela daje arhitektu možnost individualnega izražanja [Trimov Art Me sendvič panel, foto: arhiv Trim, d.d.].
Figure 10: Additional surface treatment of the metal sandwich panel provides the architect with the possibility of individual expression [Trim's Art Me sandwich panel, photo: Trim d.d. archive].

Kovinske mreže – pogosto pri oblikovanju sodobnega fasadnega ovoja uporabljajo kovinske mreže kot fasadno oblogo ali kot senčilne elemente (slika 11). Večstanovanjski objekt na Rue des Suisses v Parizu z zložljivimi perforiranimi kovinskimi elementi (Herzog & de Meuron, 2000) je eden prvih takih primerov [http://housingprototypes.org/project?File_No=FRA023]. Novejši sodobni primer uporabe kovine v obliki mreže iz 3 mm debelega aluminija je Muzej sodobne umetnosti v New Yorku (SANNA, 2007) [Sauer, 2010:140].



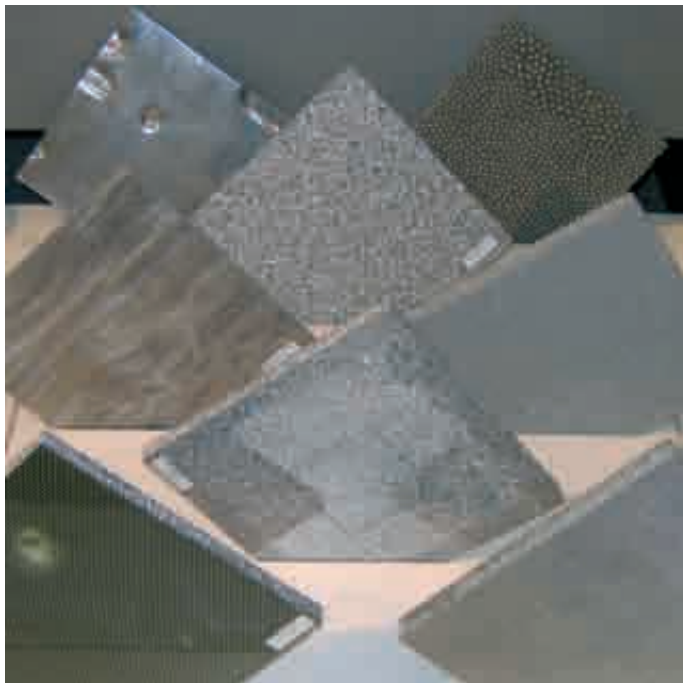
Slika 11: Zložljivi kovinski paneli iz kovinske mreže na ulični fasadi večstanovanjske zgradbe na Rue de Suisse (Herzog & de Meuron, Paris, 2000) [http://housingprototypes.org/project?File_No=FRA023].
Figure 11: Folding metal net panel on the frontage of a multi-dwelling residential building in Rue de Suisse (Herzog & de Meuron, Paris, 2000) [http://housingprototypes.org/project?File_No=FRA023].



Slika 12: Luknjičava struktura penjenega aluminija [Sauer, 2010: 39].
Figure 12: Porous structure of foam aluminium [Sauer, 2010: 39].

Penjene kovine in kovinska satovja so najbolj inovativna oblika kovin (slika 12). To so celična gradiva, izdelana iz trdne kovine, v katero so vstavljene praznine. Penjene kovine niso gorljive in se lahko reciklirajo [Ashby in sod., 2000: 233]. Veljajo za lahka in toga gradiva z dobrimi zvočnoizolativnimi

lastnostmi. Trenutno za penjene kovine uporabljajo predvsem aluminij in nikelj [Fernandez, 2006: 148]. Kovinska satovja povzemajo strukturo satovja, ki je prisotna v naravi. Izvrstno absorbirajo tlačne sile. Izdelujejo jih v poljubnih dimenzijah. Penjene kovine in kovinska satovja se kot sredica uporabljajo v obliki sendvič plošč (slika 13).



Slika 13: Penjeni aluminij kot sestavni del (sredica) v različnih sendvič ploščah [Foto: Koprivec].

Figure 13: Aluminium foam core in various sandwich panels [Photo: Koprivec].

Les in druga gradiva rastlinskega izvora

Les s posebnimi modifikacijami pridobiva nove lastnosti tako v tehnološkem kot v oblikovnem smislu. Sodobna tehnologija omogoča gradbeni industriji novo predelavo v polizdelke iz oplemenitenega lesa. Na ta način se s posebnimi tehnološkimi



Slika 14: Špansko podjetje Parklex izdeluje kompozitne plošče z bakelitno sredico in naravnim lesnim furnirjem. Plošče so tanke, trdne, večjih dimenzij. Raznolikost zunanje fasadne obloge omogoča obširna paleta lesnih furnirjev [Foto: Koprivec].

Figure 14: The Spanish firm Parklex manufactures composite panels with a bakelite core and natural wood veneer; the panels are thin, solid and large. A wide variety of wood veneers enables diversity of external façade claddings. [Photo: Koprivec].

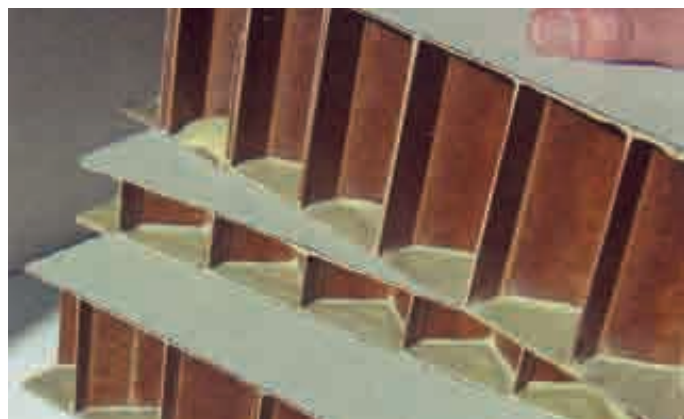
postopki zmanjša ali odpravi nekatere neugodne lastnosti lesa. Spreminjajo jih s posebnimi kemijskimi procesi, vendar pa les obdrži svoje konvencionalne dobro znane lastnosti, kot so razgradljivost, trajnost in druge ekološke lastnosti, fleksibilnost – ukrivljenje in naravni videz.

Modificirani les in njegovi polizdelki nastanejo z različnimi tehnološkimi obdelavami in postopki obdelave lesa. V primerjavi z naravnim lesom postane modificirani les odpornejši na vlago, ogenj, mikroorganizme ter pridobi na trdnosti in trajnosti. Z obdelavo s paro pod določenim pritiskom spremeni tudi celično strukturo. Modificirani les se izdeluje kot vezani les, furnir, visokokvalitetni laminat itd. Uporablja se kot sestavni del fasadnih oblog, ki so odporne na zunanje vremenske vplive, hkrati pa ohranjajo naravno estetiko gradiva in na fasadni površini omogočajo neponovljivi lesni vzorec (slika 14).

Anorgansko vezani kompoziti iz naravnih gradiv so sestavljeni iz hitro rastočih naravnih gradiv kot so slama, bambus, juta. Povezuje jih nanotehnološko vezivo, ki je nestrupeno, se težko vname in ima hidrofobne lastnosti. S takšnim vezivom vlakna naravnih gradiv tvorijo nanokompozit. Prepoznane in uporabljene so dobre statične lastnosti nekaterih vlaken v vzdolžni smeri (npr. bambusova vlakna imajo natezno trdnost do 40 kN/cm², v primerjavi z lesnimi vlakni, ki imajo natezno trdnost do 5 kN/cm² ali jeklom (Je 37) 36 kN/cm²).

Papir je ekološko gradivo rastlinskega izvora, ki v sodobnem oblikovanju preseneča s svojo uporabnostjo. V modificirani obliki se papirnati izdelki uporabljajo tudi kot fasadne obloge v obliki laminatov. V obliki sendvič elementov (satovje iz papirja kot sredica in papirnate stranice, impregnirane s sintetičnimi smolami, se pod pritiskom in visoko temperaturo obdelajo v voodoporen in požarnovaren kompozit) se lahko uporabljajo celo kot konstrukcijski elementi.

Papirnate sendvič plošče so v celoti izdelane iz papirja, ki je impregniran s sintetično smolo. Iz celuloze pod pritiskom in visoko temperaturo nastane voodoporna in požarnoodporna gradivo. Sredica v obliki satovja daje gradivu ustrezno trdnost (slika 15). Sendvič plošče se izdelujejo do širine 1,5 m in so lahko poljubne dolžine.



Slika 15: Papirnate sendvič plošče se lahko uporabljajo za izdelavo pohištva, stenskih, fasadnih in konstrukcijskih elementov [Sauer, 2010: 30].

Figure 15: Paper sandwich panels can be used in the manufacture of furniture, walls, façades and construction elements [Sauer, 2010: 30].



Slika 16: Tridimenzionalni fasadni elementi iz polimerov [<http://www.linmech.co.uk/case1.html>].

Figure 16: Three dimensional polymeric façade elements [<http://www.linmech.co.uk/case1.html>].

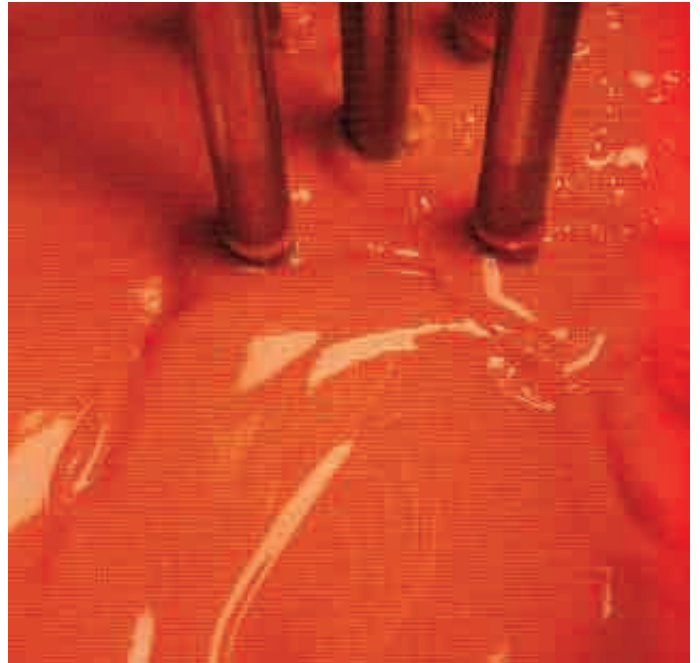
Polimeri

Za arhitekturno stroko so bile lastnosti polimerov vselej zanimive: majhna teža, možnost plastičnega oblikovanja, žive barve in prosojnost. Iz polimernih snovi izdelujejo hidrofobna, prozorna, prosojna in neprosojna gradiva z veliko mehansko trdnostjo, ki ne potrebujejo površinske obdelave. Polimere je mogoče spajati (variti, lepiti), ne rjavijo, odporni so proti kislinam, solem, insektom in delno tudi atmosferilijam. Predvideva se, da bodo polimeri nadaljevali svoj ekspanzivni razvoj zadnjih desetletij z razvojem raznovrstnih, cenejših in na vremenske razmere bolj odpornih polimerov [Stevens, 2002]. Poseben poudarek je na razvoju samonosnih polimerov z visoko trdnostjo, kar je možno doseči z ojačitvijo polimerne matrice. Nova generacija polimernih kompozitov omogoča razvoj polivalentnih, upogljivih gradiv, ki se uporabljajo kot fasadne obloge (slika 16) [Fernandez, 2006: 190].

Polimerni kompoziti so nova generacija kompozitov iz polimernih gradiv, ojačanih z vlakni. Visokotehnološka vlakna (karbonska, steklena, polimerna, naravna itd.) tvorijo različne oblike –tridimenzionalne mreže, ki jih dodajajo različnim polimernim matricam [Fernandez, 2006: 242]. Ker vlakna sama po sebi niso trdna, temveč krhka in upogljiva, potrebujejo matrico, da jih pozicionira in utrdi, da nastali kompozit lahko prenaša obtežbo.

Polimerni kompoziti, ki jih uporabljajo kot fasadne obloge, so večjega formata, lažji in poljubnih oblik. Večjo oblikovalsko svobodo omogoča tudi možnost vlivanja matrice in prožnost ojačitvene faze (visokotehnoloških vlaken).

Biopolimeri so sestavljeni iz naravnih polimerov, plastifikatorja



Slika 17: Zmes biokompozita iz korenjevih vlaken: Biokompozit je ojačan z vlakni korenja, ki so pridobljena s postopkom nanotehnologije. V posebnem postopku vlakna iz korenja ekstrahirajo in dodajo visokotehnološkim smolam [Stattmann, 2008: 518].

Figure 17: Bio-composite mixture from carrot fibres: bio-composite is reinforced by carrot fibres produced by means of nanotechnological procedures. Through a special procedure, carrot fibres are extracted and added to high-tech resins [Stattmann, 2008: 518].

in drugih dodatkov [Stevens, 2002: 105]. Komponente biopolimerov v celoti ali delno pridobivajo iz biološko razgradljivih surovin. Biopolimere uvrščajo kot nestrupena, biorazgradljiva gradiva z možnostjo recikliranja v skupino polimerov. Zaradi teh ekoloških lastnosti se v angleškem jeziku pogosto uporablja izraz “green plastic“. Biopolimere večinoma izdelujejo po enakih postopkih kot njihove petrokemične sorodnice, pojavljajo pa se tudi novi proizvodni procesi z uporabo biotehnologije [Stevens, 2002: 208], kjer bakterije v odpadnih živilih proizvajajo surovine, ki jih uporabijo pri izdelavi polimernih gradiv. Tako iz odpadnih gradiv nastajajo nova visokokvalitetna gradiva [Stattmann, 2008: 518].

Polimerni biokompoziti imajo vsaj eno komponento biološkega izvora (naravna vlakna, ki ojačujejo polimerno matrico, ali polimerna vlakna, ki ojačujejo biopolimere). Biokompoziti so trdi, se ne krušijo, so temperaturno stabilni, lahko so visokotransparentni in razgradljivi. Za ojačitev večinoma vsebujejo umetna ogljikova, aramidna ali steklena vlakna, ki so ekološko oporečna, saj jih ni možno reciklirati. Redkeje se uporabljajo naravna vlakna iz lanu, konoplje ali sisala. Biološke komponente v kompozitih dajejo gradivu svojstven videz (slika 17).

Uporaba konvencionalnih gradiv z izboljšanimi lastnostmi v sodobnih fasadnih elementih

Fasadni ovoj opravlja več funkcij – štiti zgradbo pred zunanjimi vplivi, preprečuje toplotne izgube in pregrevanje, omogoča ustrezno naravno osvetlitev, je nosilec oblikovalskega sporočila itd. ter, ne nazadnje, zagotavlja optimalno bivalno ugodje. Tudi

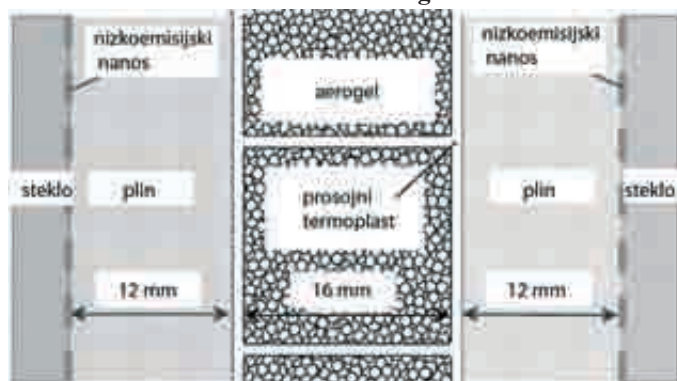
najsodobnejša gradiva največkrat ne morejo opravljati vseh funkcij, zato se med seboj povezujejo v fasadne elemente. V nadaljevanju sta prikazana dva aplikativna primera fasadnih elementov.

Plinsko polnjen prefabriciran fasadni element

Fasadni element tvorijo različna konvencionalna gradiva z izboljšanimi lastnostmi. Jedro panela sestoji iz večkomornega sistema: aluminijastih folij, ki so vstavljene med distančnike in tvorijo več prekatov, polnjenih s plinom. Jedro z dveh strani utrjujeta zunanja (steklena ali kompozitna) in notranja (mavčno-vlaknena) plošča. Pod strogimi pogoji robotizirane tehnologije se posamezni sloji lepijo med seboj. Nastali element je po obodu zalit s polisulfidom, vanj se vtisneta vertikalni ojačitvi (polimerni kompozit, ojačan s steklenimi vlakni), ki preprečujeta toplotne izgube sistema (slika 18). Fasadni element v stavbnem ovoju tvori neprezračevan, prefabriciran, modularni fasadni sistem, ki se na konstrukcijo stavbe obeša na podkonstrukcijo.

Koncept ter tehnične in tehnološke zahteve fasadnega elementa so določile kriterije za izbor zunanje fasadne obloge. Osnovni kriterij je zahteva, da zunanja plošča pripomore k trdnosti celotnega fasadnega elementa, ki mora biti hkrati lahek. Upošteevane morajo biti maksimalne dimenzije elementa (1250 x 4000 mm) in njegova minimalna debelina (cca 125 mm). Imeti mora ustrezno zvočno izolativnost, požarno odpornost in paronepropustnost. Ob vseh teh zahtevah so bila za oblogo fasadnega elementa izbrana konvencionalna gradiva z izboljšanimi lastnostmi. Trenutno sta v postopku certificiranja kaljeno, emajlirano steklo in visokotlačni laminat z aluminijasto folijo. Nadaljnje razvojne aktivnosti pa potekajo na področju keramičnih, kamnitih, betonskih, kovinskih in lesnih kompozitnih gradiv.

Zasteklitveni fasadni element z aerogelom



Slika 19: ZAE Bayern (Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung) je razvil prosojni, visokoizolacijski, zasteklitveni fasadni elemen. Širšo uporabo v arhitekturi omejuje visoka cena aerogela in nezmožnost recikliranja gradiva [Baetens in sod.2011: 767].

Figure 19: ZAE Bayern (Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung) have developed a transparent, highly insulating, glazing façade element. Its wide use in architecture is restricted by the high price of aerogel and the inability to recycle the material [Baetens in sod.2011: 767].

Fasadni element s skupno debelino cca 56 mm je sestavljen iz dveh visokotehnološko obdelanih steklenih plošč, dveh komor, polnjenih s plinom, in izolacijske sredice iz aerogela, ki je vstavljena med dvoslojno PMMA (Poly(methyl methacrylate))



Slika 18: Podjetje Trimo, d.d., v okviru projekta, ki ga sofinancirajo TIA in evropski razvojni skladi, razvija nov prefabriciran, tankoslojni fasadni element. Posamezna gradiva so združena v enoten fasadni element, ki se bo z možnostjo menjave zunanje fasadne obloge sposoben tudi vizualno spreminjati, medtem ko učinkovitost posameznih slojev zagotavlja toplotno in zvočno izolativnost, trdnost ter požarno odpornost obešenega fasadnega sistema strukturnega videza, ki je hkrati tudi tanek in lahek [Foto:arhiv Trimo, d.d.].

Figure 18: Within the framework of a project co-financed by TIA and the European Development Funds, the company Trimo d.d. has been developing a new prefabricated thin layered façade element. Individual materials are joined into a single façade element which can be visually altered by changing external façade claddings. At the same time, the efficiency of individual layers ensures thermal and acoustic insulation, solidity and fire resistance of the hung façade system with a structural appearance, which is also thin and lightweight [Photo: Trimo d.d. archive].

ploščo (slika 19). Aerogel je ultra lahka nanopena. Ker so takšne pene večinoma sestavljene iz zraka (količina zraka variira od 95% do 99,9%) jih imenujemo aerogeli, preostali delež pene pa je iz silicijevega dioksida. Oznaka gel izhaja iz procesa izdelave: vodni raztopini osnovnega gradiva dodajo katalizator. Ta omogoči nastanek majhnih votlinic s tankimi stenami, ki se združijo v verige in nato skupine verig - gel. S sušenjem nato nastane peresno lahek aerogel [Evropska komisija, 2006: 23]. Zračne molekule, ujete v nanoporah (velikost približno 20 nm), se ne morejo gibati, kar da gradivu izredne toplotne izolacijske lastnosti. Aerogel je prosojen in prepušča svetlobo. Primeren je za zvočno in toplotno izolacijo. V arhitekturi se aerogel uporablja kot izolacijsko polnilo med različnimi gradivi (med steklenimi ploščami, steklenimi U-profilii ali med akrilnimi paneli) [Leydecker, 2008: 130-31].

Prozorni stekleni plošči z nizkoemisijemskim nanosom na notranji strani stekla nudita toplotno in sončno zaščito. Komori, polnjeni s plinom, in aerogel, vstavljen v PMMA ploščo, pa zagotavljajo dodatno toplotnoizolativnost sistema. Ker fasadni element v celoti sestoji iz prosojnih gradiv (stekla, prosojnega termoplasta PMMA in aerogela), poleg toplotne izolativnosti omogoča visoko prepustnost dnevne svetlobe, zboljšuje bivalno ugodje in zmanjšuje uporabo umetne svetlobe.

Zaključek

Razvoj na področju novih gradiv (fleksibilnih, lahkih, trdnih) je in bo v prihodnosti bistven faktor, ki soustvarja novo podobo sodobnega fasadnega ovoja. Konvencionalna gradiva dobivajo nove lastnosti, ki omogočajo širšo uporabo. Kamen se danes lahko obdela v izredno tanke plasti, ki so velikokrat utrjene z različnimi ojačitvenimi komponentami. Izdelki iz visokotehnološke keramike so trdni, odporni na mehanske pritiske in proti zmrzali ter kemično inertni. Visokotehnološke keramike se lahko dodajajo tudi barvam in prevlekam. Visokotehnološko steklo z raznovrstnimi modifikacijami vidno vpliva na oblikovanje sodobnega fasadnega ovoja ter presega tradicionalno oblikovanje steklenih, prosojnih in prozornih površin. Z uporabo samonosilnega in ukrivljenega stekla nastajajo različne oblike. Stekleni fasadni ovoj se je od XX. stoletja z uporabo barvnih stekel in posebne površinske obdelave razvil v ornamentirano, spremenljivo ali raznobarno stekleno opno. Visoko kvalitetni betoni omogočajo izvedbo tanjših profilov, daljših razponov, višjih struktur z lažjo in bolj inovativno geometrijo. Nove kovine so prepoznavne po izboljšani odpornosti na korozijo, večji trdnosti in duktilnosti gradiva in dodatnih površinskih obdelavah (npr. CNC tehnologija omogoča izvedbo poljubnih tekstur na kovinsko površino). Skupina gradiv naravnega izvora s posebnimi modifikacijami pridobivajo nove lastnosti tako v tehnološkem kot v oblikovalskem smislu. S posebnimi kemijskimi procesi jih modificirajo, vendar njihove dobro znane kvalitete kot so razgradljivost, trajnost in druge ekološke lastnosti ostajajo. Uveljavljajo se polimerna kompozitna gradiva, ki imajo večje oblikovne možnosti, majhno težo in večjo mehansko trdnost ter relativno nizko ceno proizvodnje in minimalno vzdrževanje. Svet gradiv se torej širi. Hiter razvoj tehnologije, interdisciplinarno raziskovanje ter sodelovanje med industrijo in akademijami, arhitekti in oblikovalci omogočajo nove možnosti na področju oblikovanja in predstavljajo nove izzive v tehnološki uporabi in kreiranju novih konvencionalnih gradiv z izboljšanimi lastnostmi.

Viri in literatura

- Addington, M., Schodek, D., (2005): *Smart Materials and Technologies for Architecture and Design Professions*. Elsevier Ltd., Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.
- Ahby, M. F., Evans, A. G., Fleck, N. A., Gibson, L. J., Hutchinson, J. W., Wadley, H. N. G., (2000): *Metal Foams, A Design Guide*. Butterworth – Heinmann, Oxford.
- Baetens, R., Jelle B.P., Gustavsen, A., (2010): *Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond*. V: *Energy and buildings*, št. 42, str. 147-172.
- Ballard, Bell, V., Rand, P., (2006): *Materials for Architectural Design*. Laurence King Publishing, London.
- Duh, D., (2008): *Samozgoščevalni in vibrirani betoni z apnenčevo moko (doktorska disertacija)*. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- Evropska komisija, http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/nano-brochure/nano_brochure_sl.pdf, <dostop marec, 2011>.
- Fernandez, J., (2006): *Material Architecture; Emergent Materials for Innovative Buildings and Ecological Construction*. Elsevier, Architectural Press, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.
- Hegger, M. in sod. (2005): *Baustoff Atlas*. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin.
- Herzog, T., Krippner, R., Lang, W., (2004): *Facade Construction Manual*. Birkhäuser, Munich: Edition Detail, Basel, Boston, Berlin.
- Leydecker, S., (2008): *Nano Materials*. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin.
- Linmech Technical Solutions, <http://www.linmech.co.uk/case1.html>, <dostop marec, 2011>.
- Pell, B., (2010): *The Articulate Surface*. Birkhäuser GmbH, Basel.
- Richter veneer technology, <http://www.richter-veneertechnology.com>, <dostop marec, 2011>.
- Sauer, C., (2010): *Made of...New Materials Sourcebook for Architecture and Design*. Die Gestalten Verlag GmbH & Co. KG, Berlin.
- Stattmann, N., (2008): *Bio – Kunststoffe*. V: *Detail*, št. 5, str. 516-523.
- Stevens, E. S., (2002): *Green Plastic: An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics*. Princeton University Press, Princeton.
- Večstanovanjska hiša na Rue des Suisse v Parizu, http://housingprototypes.org/project?File_No=FRA023, <dostop marec 2011>.
- Weller, B., Rexroth, S., (2005): *Material wirkt – Neue Entwicklungen an der Fassade*. V: *Detail* št. 11, str. 1296.
- Zbašnik-Senegačnik, M. (1996): *Negativni vplivi gradiv na človeka in okolje : doktorska disertacija*. UL, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana.
- Zijlstra, E., Steenbrink, I., Ruiters, A., (2005): *Material Skills; Evolution of Materials*. Materia Rotterdam, Rotterdam.

dr. Ljudmila Koprivec
ljudmila.koprivec@trimo.si
TRIMO d.d.
Sektor razvoja in informatike

prof. dr. Martina Zbašnik-Senegačnik
martina.zbasnik@fa.uni-lj.si
UL Fakulteta za arhitekturo