

PROSTOR

19 [2011] 1 [41]

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

POSEBNI OTISAK / SEPARAT | OFFPRINT

ZNANSTVENI PRILOZI | SCIENTIFIC PAPERS

240-251 **MARTINA
ZBAŠNIK-SENEGAČNIK
LJUDMILA KOPRIVEC
JANEZ KRESAL**

SUVREMENI PROCELJNI PLAST
ARHITEKTONSKI PREGLED TEHNIKA
I TEHNOLOGIJA IZVOĐENJA

PREGLEDNI ZNANSTVENI ČLANAK
UDK 72.04:72.02

CONTEMPORARY BUILDING SKIN
ARCHITECTURE-BASED SURVEY OF
TECHNIQUES AND BUILDING TECHNOLOGIES

SUBJECT REVIEW
UDC 72.04:72.02

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

ISSN 1330-0652
CODEN PORREV
UDK | UDC 71/72
19[2011] 1[41]
1-280
1-6 [2011]



Af



SL. 1. SUVREMENE TEHNOLOGIJE OMOGUĆAVAJU IZGLLED LEBDENJA KONSTRUKCIJE U ZRAKU: POSTAJA LOEWENHAUS KABINSKE ŽIČARE, INNSBRUCK (ARH. ZAHA HADID)
FIG. 1 CONTEMPORARY TECHNOLOGIES CAN MAKE THE STRUCTURE LOOK AS HOVERING IN THE AIR: LOEWENHAUS STATION, INNSBRUCK (ARCHITECT ZAHA HADID)

MARTINA ZBAŠNIK-SENEGAČNIK¹, LJUDMILA KOPRIVEC², JANEZ KRESAL¹

¹SVEUČILIŠTE U LJUBLJANI
ARHITEKTONSKI FAKULTET
SL – 1000 LJUBLJANA, ZOISOVA ULICA 12

²TRIMO, D. D.
SL – 8210 TREBNJE, PRIJATELJEVA CESTA 12

PREGLEDNI ZNANSTVENI ČLANAK

UDK 72.04:72.02

TEHNIČKE ZNANOSTI / ARHITEKTURA I URBANIZAM

2.01.01 – ARHITEKTONSKO PROJEKTIRANJE

2.01.03 – ARHITEKTONSKE KONSTRUKCIJE, FIZIKA ZGRADE,
MATERIJALI I TEHNOLOGIJA GRAĐENJA

ČLANAK PRIMLJEN / PRIHVAĆEN: 21. 5. 2010. / 9. 6. 2011.

¹UNIVERSITY OF LJUBLJANA
FACULTY OF ARCHITECTURE
SL – 1000 LJUBLJANA, ZOISOVA 12

²TRIMO, D. D.
SL – 8210 TREBNJE, PRIJATELJEVA 12

SUBJECT REVIEW

UDC 72.04:72.02

TECHNICAL SCIENCES / ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

2.01.01 – ARCHITECTURAL DESIGN

2.01.03 – ARCHITECTURAL STRUCTURES, BUILDING PHYSICS,
MATERIALS AND BUILDING TECHNOLOGY

ARTICLE RECEIVED / ACCEPTED: 21. 5. 2010. / 9. 6. 2011.

SUVREMENI PROČELJNI PLAŠT**ARHITEKTONSKI PREGLED TEHNIKA I TEHNOLOGIJA IZVOĐENJA****CONTEMPORARY BUILDING SKIN****ARCHITECTURE-BASED SURVEY OF TECHNIQUES AND BUILDING TECHNOLOGIES**

**CAD/CAM/CNC TEHNOLOGIJA
DIGITALNA ARHITEKTURA
POVRŠINSKA OBRADA
PROČELJNI PLAŠT**

**CAD/CAM/CNC TECHNOLOGY
DIGITAL ARCHITECTURE
SURFACE TREATMENT
BUILDING SKIN**

Pri oblikovanju suvremenoga pročelnog plašta izražena su tri pristupa. Prvi se temelji na tradicionalnome shvaćanju koji još uvijek nudi nove izazove dizajneru. Drugi pristup nastavlja sa sadašnjim trendovima u oblikovanju, koji su dopunjeni raznim inovacijama na osnovi digitalnog inženjeringa, kompleksne geometrije i bioloških principa. Treći pristup pri oblikovanju pročelnoga plašta nastaje kao posljedica potpunih tehnoloških i likovnih inovacija.

Contemporary building skin design is nowadays approached from three different perspectives. The first one is based on a traditional concept that still offers fresh challenges to a designer. The second one stems from various innovations within the realm of digital engineering, complex geometry and biological principles. The third approach is entirely the result of the most recent technological and visual innovations.

UVOD

INTRODUCTION

Razvoj svih arhitektonskih elemenata, pa tako i pročelnoga plašta, pokreću dvije pokretne sile. Prva je na tehnološkome polju, gdje se rađaju novi tehnološki postupci i novi materijali¹ koji nastaju planirano ili kao neplanirane inovacije pokreću pobude za nastanak novih funkcionalnih i oblikovnih rješenja. Drugi je pokretač razvoja na oblikovno-sadržajnom polju, gdje se rađaju funkcionalne potrebe i nove likovne interpretacije, koje zatim treba ostvariti u tehnološkom postupku. To vječno, izmjenično preklapanje iz materijalnoga svijeta (tehnologija, materijal) u apstraktni svijet (oblik, funkcija) i obrnuto pokretač je razvoja koji donosi nove materijale i nove sadržajne, tehnološke i oblikovne inovacije.²

Kada gravitacija i tektonski principi pri projektiranju nisu više ograničeni (ili lako savladivi), pročeljni se plašt oslobađa nosive uloge. Kada počinje vrijediti načelo kako nije nužno da pročelje svojim oblikom izražava sadržaj, koji je iza njega, i da kontinuirani plašt omogućava slobodno oblikovanje i promjenu tlocrta, zadaca je pročelja još uvijek izrazito arhitektonska: polje je komunikacije, obracanja prolaznicima, poruka vanjskoj strani javnoga prostora koji se time određuje. Pročelje postaje fenomen, atrakcija, čak i promjenljivost (boje, refleksije, projekcije, hologrami).³ Uvođenjem novih materijala i tehnologija ostvaruje se novo doba arhitekture koje negira pravila tektonike koja su vrijedila

donedavno.⁴ Oblikovne inovacije čvrsto su povezane s uporabom suvremenih tehnologija i materijala. Novi materijali nude pročeljnomu plaštu svojstven likovni identitet.

Današnji trendovi na području oblikovanja suvremenoga pročelnoga plašta dijele se na tri pristupa:

- 1) nastavak dosadašnjih trendova,
- 2) nastavak dosadašnjih trendova dopunjene inovacijama,
- 3) potpune tehnološke i likovne inovacije.

NASTAVAK DOSADAŠNJIH LIKOVNIH TRENDOVA

TRADITIONAL APPROACH

Današnji likovni trendovi, koji nastaju na osnovi tradicionalnoga pristupa oblikovanju, arhitektima uvijek iznova nude nove izazove. Odražavaju se u obliku negiranja klasičnih tektonskih principa, a to je dosad bila osnovna paradigma oblikovanja i dematerijalizacije vidljive pročeljne opne što omogućavaju najnovije tehnologije.

- **Negiranje tektonike:** Oblik zgrade uvelike ovisi o fizikalnim karakteristikama i statičkim sposobnostima materijala koji se upotrebljavaju za gradnju. Tektonski princip slaganja drva, opeke i kamena svladan je arhitekturom do 20. stoljeća. Usporedno je diktirao i percepciju arhitekture. Raspodjela sile (prijenos težine), koja slijedi zakon gravitacije, bila je čitljiva u slojevima, stijenama, stupovima, potpornim stupovima, nosačima.

¹ Pojam materijal ima u tom kontekstu barem dva značenja. U najosnovnijem smislu to je osnovni građevni materijal koji se u elementarnome obliku pojavljuje od najstarijih vremena do danas. Današnja tehnologija, poduprta brojnom računalnom opremom, prvi put u povijesti omogućava oblikovanje materijala u svim mjernim skalama (i u nano-mjerilu) te time nastanak materijala kao mješavina različitih materijala i postupaka obrade, a to im daje svojstvene karakteristike. Primjer je za to npr. staklo sa svojom transparentnošću i istodobnom slabijom toplinskom izolacijom i nosivosti, no kao mješavina s niskoemisivnim nanosima i plemenitim plinovima u međustaklenome prostoru ostaje transparentno, te istodobno toplinsku izolacijsko i nosivo [PICON, 2010: 159].

² KRESAL, 2009: 17

³ BREZAR, 2004: 9

⁴ KOPRIVEC, 2009: 132

⁵ PICON, 2010: 10

⁶ PICON, 2010: 130-131

⁷ Postaja Loewenhaus je jedna od četiriju postaja kabinske žičare koja vodi iz središta Innsbrucka do vrha skijalista (dužina 1800 m). Arhitektura pojedinih građevina prilagodava se vrlo različitim uvjetima na terenu. Sve su postaje oblikovane tako da imaju homogenu i spojnu površinu koja odgovara visokim tehničkim zahtjevima (opterećenje snijegom). Stakleni se paneli pročeljne obloge oblikuju u vrućem stanju. Izrađeni su s 5-osnim CNC strojem [http://www.arcspac.com/architects/hadid/nordpark/nordpark.html; SAUER, 2010: 81].

⁸ PICON, 2010: 127-128

⁹ BREZAR, 2004: 10

Digitalno doba koje već nekoliko desetljeća, a ponajviše posljednjih 15 godina, dolazi i u arhitekturu, donosi krizu tradicionalne tektonike⁵ koja je dosad bila definirana kao hijerarhija građevnih elemenata. Sposobnost računala da gotovo svaku formalnu odluku pretvori u uporabnu konstrukciju, nudi arhitektima mogućnosti da se igraju oblicima ne brinući se previše za njihovo uključivanje u zgradu.⁶ Novim se materijalima (beton, čelik) raspon i visina eksponencijalno povećavaju, takoreći oslobađaju. Kod mnogih poznatih je zgrada posljednjih godina vidljivo proturječje između arhitektonskog oblika i tektonike. Čini se da kompleksne zgrade Zahe Hadid (npr. Phaeno Center, Wolfsburg, Njemačka; postaje Loewenhaus kabinske žičare,⁷ Innsbruck, Austrija, Sl. 1.), Toya Ita (npr. Sendai Mediatheque, Sendai, Japan) i Herzog & de Meurona (npr. Olimpijski stadion, Peking, Kina) lebde u zraku.⁸ Sve je jedinstvena geometrija mase i površine koja se prividno ne ravna po zakonima gravitacije.⁹ Jedino trenutno ograničenje oblika, koje negira tektoniku u klasičnom smislu, financijske je prirode. Upravo zbog nadzora troškova tradicionalna tektonika još uvijek vlada u graditeljstvu, iako su zgrade Toya Ita, Zahe Hadid, Herzog & de Meurona i drugih indikatori razvoja.¹⁰

• **Dematerijalizacija:** U arhitektonskoj se teoriji izrazom *dematerijalizacija površine zgrade*¹¹ „označuje pročeljni plašt s integriranim prikazima na svojoj površini koji su računalno vođeni”. Potpuna dematerijalizacija arhitekture postoji samo u nematerijalnom računalnom svijetu digitalne arhitektu-

re. Kako je arhitektura materijalizacija oblika u izabranome materijalu, potpuna dematerijalizacija nije moguća u materijalnome svijetu. Ali nedavno izumljeni metamaterijali na Sveučilištu Berkeley¹² u SAD-u obećavaju novu ‘nenaravnu’ karakteristiku materijala – nevidljivost, koja je dosad postojala samo u svijetu bajki i na filmskom platnu. Brzi razvoj nanotehnologije i njezine još neiskorištene mogućnosti daju naslutiti da je potpuna dematerijalizacija objekata moguća i u arhitekturi (Sl. 2.).

NASTAVAK DOSADAŠNJIH TRENDOVA DOPUNJENIH INOVACIJAMA

TRADITIONAL APPROACH IN THE CONTEXT OF NEW TECHNOLOGIES

U oblikovanje suvremene arhitekture uključuju se razvojni procesi i sustavi kojih su osnova digitalni inženjering, kompleksna geometrija i principi biologije.¹³ Ti procesi i sustavi omogućavaju inovacije na području suvremenoga oblikovanja. Potpora inovativnim pristupima jest računalno koje omogućava matematičko modeliranje i obradu. Izgled pročelnoga plašta tako se uporabom suvremenih računalnih tehnologija i modernoga projektiranja mijenja te nagoviješta radanje posve novih oblika. U suvremenom je arhitektonskom planiranju računalna potpora potrebna na svim razinama – od planiranja do pripreme proizvodnoga procesa, i to sa CAD (*computer-aided design*) i CAM (*computer-aided manufacturing*) inženjeringom i CNC tehnologijom (*computer numerical control*).¹⁴ S pomoću računala danas se geometrijski vrlo kompleksni konstrukcijski elementi mogu napraviti razmjerno jednostavno. Neposredna računalna komunikacija između nacrti i proizvodnoga stroja omogućava povećanje učinkovitosti proizvodnih radnji i smanjuje mogućnost pogrešaka. Radovi se s gradilišta, gdje uspjeh ovisi o radnim sposobnostima radnika, sele u potpun, unaprijed određen proces (gradnje) koji zahtijeva predgotovljene konstrukcijske elemente što se zatim sastavljaju na gradilištu. I dok to smanjuje vrijeme gradnje, faza planiranja postaje, primjereno tome, intenzivnija i uključuje kompleksnu informaciju računalnoga upravljanja, a to je potrebno pri svladavanju velike količine podataka koji određuju kompleksnu geometriju individualno oblikovanih dijelova.¹⁵

• **Nova geometrija – digitalna arhitektura –** Digitalna arhitektura upotrebljava računalno modeliranje, programiranje, simulacije i slikovni prikaz (*imaging*) te time stvara virtualne i fizičke oblike. Omogućavaju je kompleksni proračuni koji s pomoću produktivnih računalnih algoritama nude raznolike kompleksne oblike. Neposredna posljedica uporabe računala zasigurno je brzina manipulir-



SL. 2. ODJEĆA OD METAMATERIJALA. NANOFIZICARI SU NA BERKELEYU STVORILI STRUKTURE METAMATERIJALA S POSEBNO UNUTARNJOM MIKROZGRADOM KOJA IMA NEGATIVAN LOMNI KOLIČNIK, ZBOG ČEGA (ZA RAZLIKU OD UOBICAJENIH PREDMETA) ODBIJAJU SVJETLOST U POGREŠNOME SMJERU. PREDMET KOJI OKRUŽUJE METAMATERIJAL TAKO POSTAJE NEVIDLJIV.

FIG. 2 FABRICS MADE OF META-MATERIALS. NANOPHYSICISTS AT BERKELEY HAVE ENGINEERED META-MATERIALS WITH A SPECIAL INTERIOR MICROSTRUCTURE CHARACTERIZED BY A NEGATIVE INDEX OF REFRACTION DUE TO THE FACT THAT IT BENDS LIGHT BACKWARDS THUS RENDERING THE OBJECT SURROUNDED BY A META-MATERIAL INVISIBLE TO THE HUMAN EYE.

10 PICON, 2010: 131

11 „Arhitektura se mijenja zbog odaziva na uvjete okoline te razvoja novih, visokokvalitetnih i odzivnih materijala. Le Corbusier je definirao arhitekturu kao temeljito promišljenu i, zbog suptilne urednosti, veličanstvenu igru materija (tvari) postavljenih u svjetlost. Zgrade budućnosti težit će dematerijalizaciji. Slijedi doba bez masa, s transparentnošću i velovima: bezgraničnih, prilagodljivih i pomicnih struktura, koje se odazivaju na dnevne promjene okoline i uzoraka uporabe.” [ROGERS, 1997: 165]

12 Cui i sur., 2010: 1-2

13 Npr. parametričko oblikovanje arhitekture, koje je u procesu stvaranja lako usporedivo s biološkim procesom morfogeneze.

14 Osnovni alati za crtanje jesu CAD programi koji korisniku omogućavaju projektiranje dvodimenzionalnih krivulja i oblika ili trodimenzionalnih krivulja, površina i tijela, te dokumentiranje i pripremu za proizvodnju. CAD je pokretačka sila istraživanja u računalnoj geometriji i računalnoj grafici. Nastavak CAD alata jest CAM koji je namijenjen upravljanju i povezivanju CNC strojeva i robota za proizvodnju projektiranih elemenata. U suvremenom oblikovanju i izradi s CAD/CAM programima izvedba konačnih proizvoda automatizirana je CNC radnim strojevima. CNC je oznaka za numerički upravljani radni stroj. S CAD programskim paketom izrađuje se digitalni nacrt koji zatim CAM programski paket prevede u naredbenu datoteku za izradu na CNC stroju. CNC strojevi omogućavaju obradu pojedinoga elementa različitim alatima (svrdlima, rezacima...) i s većim brojem različitih strojeva što ih međusobno povezuju roboti.

15 SAUER, 2010: 7



SL. 3. SLOZENI OBLICI BEZ UPORABE CAD PROGRAMA NE BI BILI MOGUĆI: A) MUZEJ GUGGENHEIM, BILBAO (ARH. FRANK O. GHERY); B) KUNSTHAUS, GRAZ (ARH. PETER COOK, COLIN FOURNIER)

FIG. 3 COMPLEX FORMS WITHOUT CAD WOULD BE IMPOSSIBLE TO BUILD: A) GUGGENHEIM MUSEUM IN BILBAO (ARCHITECT FRANK O. GHERY); B) KUNSTHAUS, GRAZ (ARCHITECTS PETER COOK, COLIN FOURNIER)

ranja kompleksnom geometrijom.¹⁶ Nastaju nove geometrije koje s tradicionalnim crtacim pristupom nisu bile moguće. Razvojem računalnih metoda došlo je do radikalnih promjena u arhitektonskome procesu oblikovanja. CAD programe (*AutoCad*, *ArchiCad*...) može se nadograditi digitalnim alatom DMU (*Digital MockUp*), što omogućava preciznu vizualizaciju i nadomješta prototipove. Alat DMU uporabljiv je, prije svega, pri oblikovanju automobila i zrakoplova, a u posljednje vrijeme i u arhitekturi. Upotrijebio ga je i Frank O. Gehry pri izvedbi Guggenheimova muzeja u Bilbau¹⁷ (Sl. 3.A).

- **Modeliranje parametrickim alatima** – Uz već poznate računalne metode opažamo i nove pristupe u uporabi računala. Arhitekti većinom žele imati potpunu kontrolu nad kreativnim procesom. Računalo im je dugo služilo kao pomagalo koje se upotrebljava na sličan način kao crtaci stol, šablone ili ravnala. Poslije se njegova funkcija pomaknula na stvaranje sustava koji pokušava biti inteligentan asistent stvaraocu – osim trivijalnih radnji crtanja imao bi i sposobnost odlučivanja.¹⁸

Iscrpnije istraživanje modeliranja računalom krajem osamdesetih godina prošloga stoljeća pospješilo je i omogućilo pomak u oblikovanju od projektiranja i modeliranja k više matematički usmjerenim pristupima s parametrickim alatima. Nastao je alat NURBS (*Non Uniform Rational Basis Splines*).¹⁹ NURBS je grafički prikaz kompleksnih matematičkih formula i omogućava izradu 3D modela. Vrlo

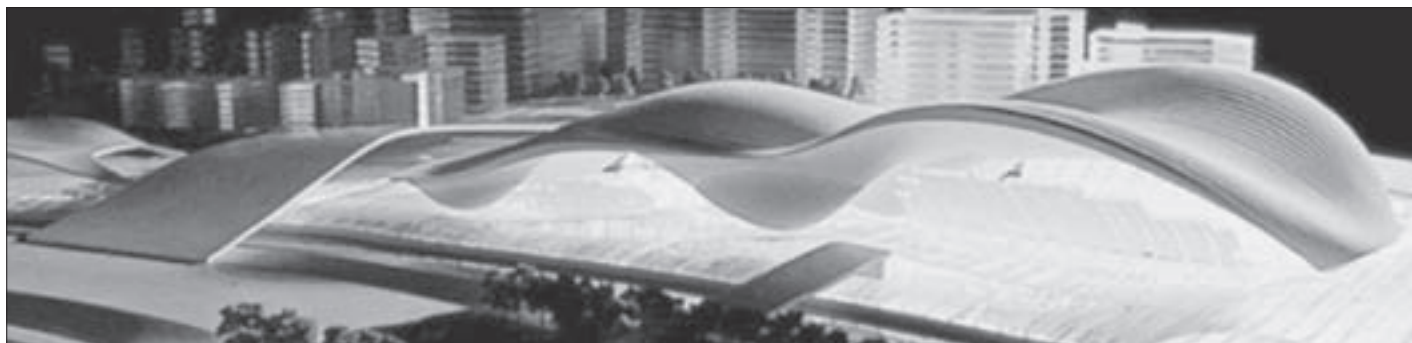
potanko može obraditi bilo kakav oblik – od jednostavnih dvodimenzionalnih linija, kruga, luka ili krivulje do kompliciranijih trodimenzionalnih organskih površina ili tijela. NURBS za parametricko modeliranje rabi parametre (numeričke vrijednosti ili karakteristike) kojima određuje kako će se određeni geometrijski element ili grafički entitet ponasati. Parametri mogu biti numeričke vrijednosti (širina, dužina), odnosi (dubina = $2/3$ širine) ili grafički parametri (veličina zemljišta, zgrada).²⁰ Danas se sve više arhitekata pri oblikovanju služi alatom NURBS. Alatom NURBS, između ostaloga, izrađeni su: zgrada Kunsthaus u Grazu (arh. Peter Cook i Colin Fournier; Sl. 3.B) i projekt Aquatic Centre (arh. Zaha Hadid; Sl. 4.) koji će se izgraditi za Olimpijske igre 2012. godine u Londonu.²¹

Parametricki alati omogućavaju određivanje odnosa između komponenata u modelu i definiranje parametara koji nadziru pojedine karakteristike zgrade (fizičke karakteristike, parametri okoline ili kapaciteti). Parametricki modeli zgrada izgrađeni su od mnogo matematičkih jednadžbi. Model je često definiran pravilima i koordinacijom ili propisima (kao konstantom) koji definiraju dijelove modela i koordiniraju njihove međusobne odnose (klasični CAD alati ne spremaju podatke o pravilima i koordinatama arhitektonskoga modela).

Za razvoj oblika novim računalnim tehnikama upotrebljavaju se programi za generiranje od L-sustava²² do genetičkih algoritama (Sl.5.A).²³ Algoritam je uputa kojom se rješava određeni problem i uobičajeno je zapisan kao popis koraka koji nas vode do rezultata. Kako potanko razraditi korake, ovisi o tome tko izvodi algoritam – čovjek ili računalo. Ako algoritam izvodi računalo, govorimo o računalnome programu. U algoritamskoj arhitekturi polazimo od osnovne ideje koju računalo algoritmom razvije u konačan oblik. Arhitekt stvara kôd uzimajući u obzir željene rezultate.²⁴ Samo je algoritamskim postupkom oblikovanja bilo moguće stvoriti sljedeća arhitektonska ostvarenja: krov iznad velikoga dvorišta Britanskoga muzeja u Londonu (arhitektonski biro N. Foster & Partners;²⁵ Sl. 5.B), paviljon Serpentine Gallery Pavilion u Londonu (arh. Toyo

SL. 4. GEOMETRIJA KROVA NASTALA JE SIMULACIJOM GIBANJA TEKUĆINE, PRI ČEMU JE UPOTRIJEBLJENA TEHNIKA ANIMIRANIH DIJELOVA (ENGL. PARTICLE SYSTEMS): VIZUALIZACIJA PROJEKTA AQUATIC CENTRE, LONDON, 2005.-2009. (ARH. ZAHA HADID)

FIG. 4 ROOF GEOMETRY IS INSPIRED BY THE FLOW OF WATER USING THE PARTICLE SYSTEMS TECHNIQUE: LONDON AQUATICS CENTRE. 2005-2009. (ARCHITECT ZAHA HADID)



lto) i građevine za Olimpijske igre u Pekingu 2008. (arhitektonski biro PTW i arhitektonski biro Herzog & de Meuron).

• **Matematički uzorci** – Potpuno nov pristup oblikovanju arhitekture pojavio se uporabom radikalno revolucionarne geometrije koju su u arhitektonskim krugovima, primjerice arh. Greg Lynn, arh. Bernhard Franken i drugi, nazvali morfogenezom.²⁶ Izraz su ponajprije koristili na području bioloških znanosti, a odnosi se na rađanje oblika i stvaranje uzoraka u nekom organizmu tijekom procesa rasta i diferencijacije.²⁷

Razvojem se i rastom oblika početkom 20. stoljeća bavio sir D'Arcy Thompson, britanski zoolog i matematičar, koji je 1917. obrazložio svoju teoriju u knjizi „On Growth and Form”. Thompson ističe da na biološke oblike nema utjecaja samo evolucija, već je za njih važan i utjecaj zakona matematike, fizike i mehanike koji se zrcle u matematičkim uzorcima struktura. Problem oblika je matematički problem, a problem njegova rasta jest, prema Thompsonu, problem fizike.

• **Voronoev dijagram** – Jedan od primjera nove generacije arhitektonskih oblika temelji se na uporabi fleksibilne geometrije koja omogućava red bez apsolutnoga ponavljanja. Osnova za to jest Voronoev dijagram, poseban način podjele metričkoga prostora, određen udaljenošću od izabranoga diskretnog mnoštva točaka²⁸ (Sl. 6.A). Sličan je biološkim



Sl. 5. A) PRI PROJEKTIRANJU UPOTRIJEBLJEN JE PROGRAM KOJI SE TEMELJI NA 'BOTANICKOM' L-SUSTAVU ŠTO SIMULIRA RAST BILJAKA: DIGITALNO RASTUĆA VIŠEKATNICA, NEW YORK, 2005., PROJEKT (ARH. DENNIS DOLLENS); B) OBLIKOVANJE ALGORITAMSKIM POSTUPKOM: KROV IZNAD DVORISTA BRITANSKOGA MUZEJA U LONDONU (NORMAN FOSTER & PARTNERS)

FIG. 5 A) DESIGN BASED ON THE 'BOTANICAL' L-SYSTEM SOFTWARE SIMULATING PLANT GROWTH. DIGITALLY GROWING MULTI-STORY BUILDING. NEW YORK, 2005 (ARCHITECT DENNIS DOLLENS); B) DESIGNING WITH AN ALGORITHMIC PROCEDURE: ROOF OVER THE BRITISH MUSEUM COURTYARD IN LONDON (NORMAN FOSTER & PARTNERS)

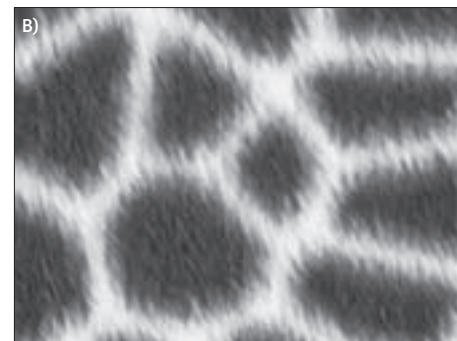
stanicama u tkivu, koje su međusobno neovisne iako djeluju zajedno u većem sustavu. Voronoev dijagram nudi slične oblike kao što ih ponekad stvara priroda. Uzorak žirafine kože zoran je primjer Voronoeva dijagrama koji je stvorila priroda.²⁹ (Sl. 6.B)

Primjer uporabe dvodimenzionalnoga Voronoeva dijagrama jest pročelna obloga višestambene i poslovne zgrade Airspace u Tokiju (Faulders Studio, Studio M; Sl. 7.).³⁰ Pročelje od kompozita aluminijske³¹ sastavljeno je od dvaju slojeva digitalno obrađenih geometrijskih uzoraka. Projektirano je CAD/CAM tehnologijom, a izrađeno CNC strojevima.

Primjer trodimenzionalne Voronoeve strukture (Sl. 8.) jest nedavno izgrađena građevina za Olimpijske igre u Pekingu. Trodimenzionalni Voronoev dijagram, vidljiv na pročelju i krovu plivačkoga stadiona, određen je računalo s obzirom na specifičan algoritam.³² Pročelna je obloga od ETFE folije.³³ Unatoč prividnoj slučajnosti prisutna je visokoučinkovita geometrija, slična onoj koja se nađe u

Sl. 6. A) VORONOEV DIJAGRAM; B) UZORAK ŽIRAFINE KOŽE PRIMJER JE VORONOEVA DIJAGRAMA KOJI JE STVORILA PRIRODA

FIG. 6 A) VORONOI DIAGRAM; B) GIRAFFE SKIN PATTERN IS AN EXAMPLE OF VORONOI DIAGRAM CREATED BY NATURE



16 PICON, 2010: 10

17 SZALAPAJ, 2005: 207

18 TERZIDIS, 2006: 60

19 Matematički model koji se upotrebljava u računalnoj grafici za određivanje i uobličavanje krivulja i ploha.

20 RAVNIKAR, 2008: 10

21 <http://wiki.arch.ethz.ch/asterix/pub/MASo607/MasColloquia/Lecture01.pdf>

22 L-sustav ili Lindenmayerov sustav je 'botanički' algoritmički sustav koji se većinom rabi za simulaciju rasta biljaka u laboratorijskim testovima i simulacijama [<http://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/generative-algorithms>].

23 LEACH, 2008: 96

24 <http://wiki.arch.ethz.ch/asterix/pub/MASo607/MasColloquia/Lecture01.pdf>

25 SZALAPAJ, 2005: 60-77

26 Gr. *morphê* – oblik; *genesis* – kreacija, fizikalni je proces koji je odgovoran za nastanak i oblik organizma.

27 LEACH, 2008: 96

28 PICOT, 2010: 130

29 POTTMAN i sur., 2007: 616

30 PELL, 2010: 87-89

31 ACM – *aluminium composite material* – sastavljen je od polietilenske jezgre između dvaju slojeva aluminijske [<http://claddingsolutions.com/aluminium.html>].

32 PELL, 2010: 175-179; ANON, 2007: 1472. Kompleksnu trodimenzionalnu strukturu – računalnu simulaciju pjene koja u prirodi postoji u kristalnoj strukturi – otkrili su fizičari Denis Weaire i Robert Phelan 1993. [http://www.nytimes.com/2008/08/05/sports/olympics/05swim.html?_r=2&ref=science&oref=slogin#]

33 Etilen-tetrafluoroetilenska folija



SL. 7. DVODIMENZIONALNI VORONOJEV DIJAGRAM – STANIČNA JE STRUKTURA MODIFICIRANA RAZLIČITIM PARAMETRIMA UPORABOM RAČUNSKE METODE VORONOJEVA DIJAGRAMA: VIŠESTAMBENA I POSLOVNA ZGRADA AIRSPACE, TOKIO (FAULDERS STUDIO, STUDIO M)

FIG. 7 TWO-DIMENSIONAL VORONOI DIAGRAM – A CELLULAR STRUCTURE MODIFIED BY VARIOUS PARAMETERS USING A COMPUTATIONAL METHOD OF VORONOI DIAGRAM: AIRSPACE APARTMENT AND OFFICE BUILDING, TOKYO (FAULDERS STUDIO, STUDIO M)

SL. 8. TRODIMENZIONALNA VORONOJEVA STRUKTURA: OBLIK PROČELJA ARHITEKTI SU ODREDILI RAČUNALNOM METODOM – GENERIRANJEM STRUKTURE WEAIRE-PHELAN: NACIONALNI PLIVAČKI CENTAR „WATER CUBE“, PEKING (ARH. BIRO PTW ARCHITECTS)

FIG. 8 THREE-DIMENSIONAL VORONOI STRUCTURE: THE BUILDING SKIN FORM HAS BEEN DETERMINED BY COMPUTER-ASSISTED METHOD THROUGH THE GENERATION OF THE WEAIRE-PHELAN STRUCTURE: NATIONAL SWIMMING CENTER "WATER CUBE", BEIJING (PTW ARCHITECTS PRACTICE)

SL. 9. ORNAMENTI NA PROČELJU: POLJSKI PAVILJON, EXPO 2010, ŠANGAJ (ARH. W. KAKOWSKI, M. MOSTAFA, N. PASZKOWSKA)

FIG. 9 ORNAMENTS ON THE FACADE: POLISH PAVILION, EXPO 2010, SHANGHAI (ARCHITECTS W. KAKOWSKI, M. MOSTAFA, N. PASZKOWSKA)



prirodnim sustavima, kao što su stanice, kristali i molekule.³⁴

• **Nova ornamentika** – Klasične je metode oblikovanja pročeljne obloge početkom devedesetih godina prošloga stoljeća preuzelo računalo i pokrenulo brz razvoj trodimenzionalne arhitektonske vizije. U suprotnosti s tradicionalnom tektonikom, digitalna je površina iznimno tanka membrana bez mase. Virtualna je okolina digitalne arhitekture dosegla vrh – oslobođena je gravitacije, što prati materijalnu i povijesnu pročeljnu opnu, te usmjerena na svojstvene karakteristike apstraktne virtualne površine.³⁵

Oživljavanje ornamenta i uzoraka na površinama pojavilo se ponajprije zbog novih tehničkih mogućnosti – CNC tehnologija arhitektima nudi kontrolu procesa u prirodnoj veličini, i to nizom vrlo točnih tehničkih operacija i materijalnih aplikacija. Današnja programska oprema može u kratkom vremenu generirati izvanredno male razlike između tisuća uzoraka, napraviti izbor uzoraka itd. Elementi su ornamenta u suvremene pročeljne plastove ugrađeni, prilijepljeni, mehanički pričvršćeni. Uzorci su rezani, perforirani, tiskani, uliveni ili složeni. Pročelja nude prostorne, vizualne i konceptualne učinke.³⁶ Ornamenti pročelja na Jeddah International Airportu (arhitektonski biro OMA), IMKZ Library, Cottbus (arhitektonski biro Herzog & de Meuron), Poljski paviljon, Expo 2010., Šangaj (arhitekti Wojciech Kakowski, Marcin Mostafa, Natalia Paszkowska; Sl. 9.) – samo su neki od mnogih primjera nove ornamentike koja se u suvremenoj arhitekturi pojavljuje sve češće.³⁷

U suvremenom oblikovanju pročelja ističu se dva tipa nove ornamentike: ornamentika medijskih pročelja i konstrukcijska ornamentika.

– Ornamentika medijskih pročelja: Vanjski sloj suvremenoga pročeljnog plašta uporabom novih materijala ima neusporedivo veći izbor izražajnih mogućnosti nego što ih je

imao tradicionalni plast. Uporaba svjetlosnih instalacija u medijskim pročeljima stvara ornamentiku koja se pojavljuje samo noću. Medijsko pročelje neprestano mijenja ornamentiku i stvara svojevrsnu dinamiku koja obilježava urbani prostor. Štoviše, na sliku medijske ornamentike neposredno utječu sami promatrači, a to im omogućava ugrađen računalni program odnosno sustav. Ornament može biti u obliku slova, slika itd., pa to doslovno privlači prolaznike. Za medijsku je ornamentiku, uz vizualne karakteristike, važna i interaktivnost s okolinom. Takav je primjer projekt „Blinkenlights” (2001., skupina Chaos Computer Club), izveden na pročelju građevine Haus des Lehrers u Berlinu te poslije realiziran i na zgradama Bibliothèque Nationale de France u Parizu i City Hall u Torontu³⁸ (Sl. 10.). Medijska je ornamentika veza između fizičkoga i digitalnoga svijeta, na pročelju stvara komunikaciju s prolaznikom, pokušava ga privući, fascinirati. Postaje, nadalje, omiljenija jer osigurava dva učinka istodobno: izgled zgrade po želji se vrlo lako mijenja, pročelja se mogu programirati za prikaz različitih sadržaja.³⁹

– Konstrukcijska ornamentika: Uporabom računalnih metoda u oblikovanju otvara se novo poglavlje tzv. konstrukcijskoga ornamenta.⁴⁰ Primjeri konstrukcijske ornamentike, kao što su npr. Sendai Mediatheque, Sen-

³⁴ PELL, 2010: 175

³⁵ PELL, 2010: 11

³⁶ PELL, 2010: 12

³⁷ LEVIT, 2008: 70-85

³⁸ <http://blinkenlights.net/project>

³⁹ SAUER, 2010: 7

⁴⁰ RUBY, i sur., 2004: 85

⁴¹ Pametni se materijali odazivaju na podražaje iz okoline tako da bitno promijene svoje karakteristike. Te su reakcije na vanjske stimulacije brze, predvidljive, tj. planirane i uobičajeno reverzibilne. Promjene na materijalima različite su: materijali mijenjaju svoje karakteristike (npr. boju, agregatno stanje, električnu provodljivost, viskoznost, transpa-

dai (arh. Toyo Ito), Prada Aoyama Epicenter, Tokio (Arhitektonski biro Herzog & de Meuron), Swiss Re Headquarters, London (arh. Norman Foster), Simmons Hall Student Housing, MIT, Cambridge (arh. Steven Hall) – samo su neki od mnogih koji jasno pokazuju da ornament u suvremenome pročelju nije više posljedica oblikovanja, već ishodišna točka konstrukcije (Sl. 11.).

• **Novosti tradicionalnih materijala** – Tradicionalni su materijali brzim razvojem tehnologije obrade dobili uz poboljšane tradicionalne karakteristike i neke sasvim nove značajke. Već smo neko vrijeme svjedoci da se tradicionalni materijali, kao što su kamen, drvo i beton, rabe kao prozirni materijali (prozirni drveni furniri, prozirni betoni, prozirne ploče kamena itd.). Povećana čvrstoća keramike i različiti nanosi na staklo proširili su mogućnost uporabe tih materijala na pročeljima. Superplastične metalne legure i kompozitne legure s pamćenjem proizvodi su suvremenoga tehnološkog razvoja koje industrija nudi arhitekturi. Nove generacije raznovrsnih, cjenovno povoljnih i okolini prihvatljivih polimera već su pronašle svoju uporabu u suvremenome pročeljnomo plaštu.

POTPUNE TEHNOLOŠKE I LIKOVNE INOVACIJE

STATE-OF-THE-ART TECHNOLOGICAL AND VISUAL INNOVATIONS

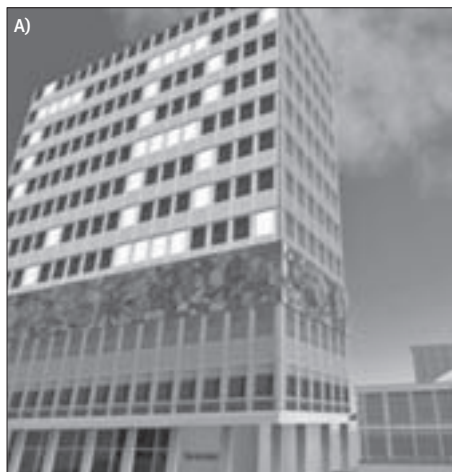
Suvremeni likovni izazovi u određenoj se mjeri teško realiziraju tradicionalnim tehnologijama i materijalima. Današnja industrija nudi nove materijale, površinske obrade, izražajna sredstva i različite tehnološke postupke. Novi materijali mogu biti i tzv. pametni materijali, koji se na predvidljiv način odazivaju na utjecaje iz okoline.⁴¹ Tradicionalni materijali obrađeni možda već zaboravljenim tehnikama sad ponovno doživljavaju preporod.⁴² Uključivanje bioloških principa u tehničke aplikacije daje nove inspiracije arhitektima i stvaraočima. Mnogo novih materijala ima paralele u prirodi,⁴³ iako priroda nije jedina inspiracija za arhitektonske inovacije. Povezanost s avionskom te svemirskom i automobilskom industrijom dovela je do inovativnih koncepata koji pomažu smanjivanju

rentnost itd.) ili energiju (predaju svjetlost, pretvaraju sunčanu energiju u električnu, električnu u mehaničku itd.). [KOPRIVEC, ZBAŠNIK-SENEGAČNIK, 2010: 18-27]

⁴² Npr. karbonizacija (paljenje, ugljeniziranje) površine drva za poboljšanje njegove trajnosti. [SAUER, 2010: 5-6]

⁴³ Biološki uzorci mogu biti model za imitaciju, kopiranje i učenje ili inspiracija za nove tehnologije. Proučavanjem bioloških uzoraka u arhitekturi nastaju novi oblici i uzorci te materijali: npr. izuzetno kruta, lagana metalna pjena ima paralelu u kostima, novi principi pričvršćivanja primjer su površine gekonovih stopala... [ZBAŠNIK-SENEGAČNIK, KOPRIVEC, 2009: 40-49]

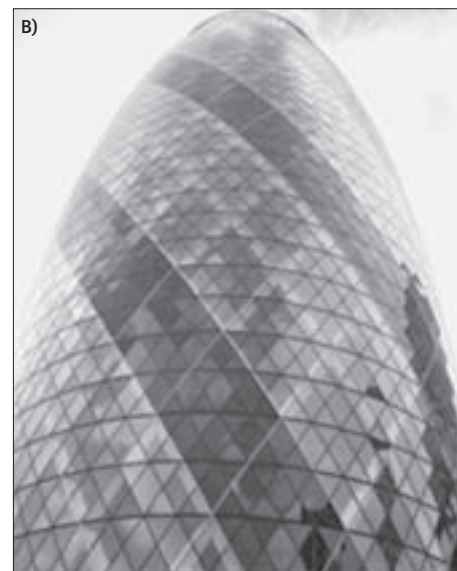
⁴⁴ SAUER, 2010: 6



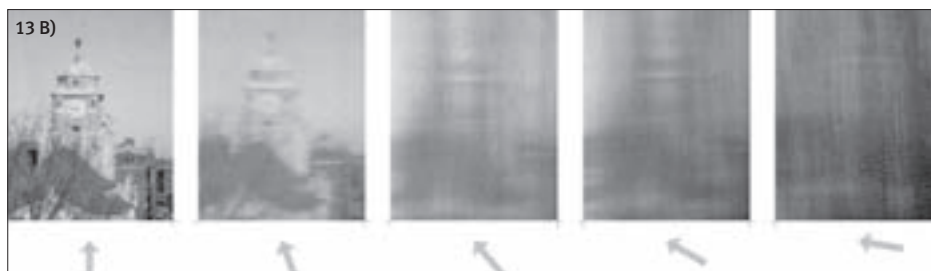
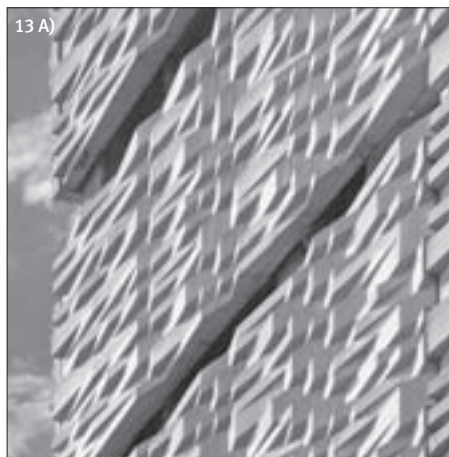
SL. 10. PROJEKT „BLINKENLIGHTS” NA PROČELJIMA: A) HAUS DES LEHRERS U BERLINU; B) CITY HALL U TORONTO
FIG. 10 “BLINKENLIGHTS” DESIGN ON THE FACADES: A) HAUS DES LEHRERS IN BERLIN; B) CITY HALL IN TORONTO

težine oblikovnih elemenata i učinkovitijoj uporabi materijala. Stvaratelji iskoristavaju visokotehnološke industrijske tehnike proizvodnje kako bi razvili nove pristupe za projektiranje i gradnju. I u arhitekturi je dakako vrlo važna potrošnja energije za proizvodnju i transport.⁴⁴

• **Novi materijali – nove karakteristike** – Tradicionalni materijali drvo, kamen i opeka upotrebljavaju se u pročeljima na nov način. Pridružuju im se posve novi materijali koji imaju poboljšane karakteristike i suvremenim pročeljima daju novi likovni identitet: karbonska vlakna, biovlakna, kompoziti prirodnih materijala i polimera, pjenasti materijali, pametni i nanomaterijali itd. Želja za eksperimentiranjem do materijalnih granica produktivnosti zamjetljiva je ne samo na materijalu koji je upotrijebljen na pročelju, jer ono može biti šarena, jednobojna, promjenljiva ili minimalistička vizualna slika. Razvoj na području no-



SL. 11. KONSTRUKCIJSKA ORNAMENTIKA NA ZGRADAMA: A) PRADA AOYAMA EPICENTER, TOKIO (HERZOG & DE MEURON); B) SWISS RE HEADQUARTERS, LONDON (ARH. NORMAN FOSTER)
FIG. 11 STRUCTURAL ORNAMENTATION ON BUILDINGS: A) PRADA AOYAMA EPICENTER, TOKYO (HERZOG & DE MEURON); B) SWISS RE HEADQUARTERS, LONDON (ARCHITECT NORMAN FOSTER)



SL. 12. PAVILJON SMARTWRAP, PHILADELPHIA (ARH. BIRO KIERAN TIMBERLAKE ASSOCIATES)

FIG. 12 SMARTWRAP PAVILION, PHILADELPHIA (KIERAN TIMBERLAKE ASSOCIATES ARCHITECTURAL PRACTICE)

SL. 13. A) POCCELJE OD PREGOTOVLJENIH BETONSKIH PANELA SA STRUKTURALNOM TEKSTUROM: LIVING MADRID, VIŠESTAMBENE GRAĐEVINE, MADRID (ARH. BIRO WEIL ARETS ARCHITECTS). B) NAVLAKA SA USMJERENIM POGLEDOM: POLIMERNA NAVLAKA NA STAKLU IMA RELJEFNE, VRO MALE, POSEBNO OBLIKOVANE UTORE ILI MIKROPUKOTINE. GLEDATELJ VIDI KROZ NAVLAKU SAMO U ODREĐENOME SMJERU, OVISNO O USMJERENOSTI UTORA I PUKOTINA. KADA GLEDATELJ PROMIJENI MJESTO, NAVLAKA POSTAJE UVIJEK MANJE TRANSPARENTNA.

FIG. 13 A) PREFABRICATED CONCRETE PANEL SKIN WITH A TEXTURED SURFACE: LIVING MADRID, HOUSING DEVELOPMENT, MADRID (WEIL ARETS ARCHITECTS ARCHITECTURAL PRACTICE). A) GLASS COATING PROVIDING A DIRECTED VIEW. THE POLYMER-COATED GLASS FEATURES SPECIALLY DESIGNED TINY GROOVES OR MICRO-SLITS. THE OBSERVER CAN SEE THROUGH IT IN A SPECIFIC DIRECTION THAT DEPENDS ON THE DIRECTION OF GROOVES AND SLITS. WHEN THE OBSERVER CHANGES HIS POSITION, THE COATING BECOMES LESS TRANSPARENT.

vih materijala (fleksibilnih, lakih, čvrstih, odazivnih i prilagodljivih) bio je, a i ubuduće će biti bitan čimbenik koji suostvaruje novu sliku suvremenoga pročeljnog plašta.

Primjer uporabe novih materijala u pročeljnomo plaštu jest Paviljon SmartWrap (Sl. 12.). Eksperimentalna je to građevina postavljena 2003. u Cooper Hewitt National Design Museum i predstavlja inovativan, polivalentni plašt zgrade, sastavljen od dvaju slojeva. Unutarnji sloj uključuje toplinskoizolacijske materijale – aerogel i materijale s faznom preobrazbom (PCM – *Phase change material*). Vanjski se sloj sastoji od transparentnoga PET (*elastic polyethylene terephthalate*) materijala, na koji su postupkom tiskanja ili valjanja nanoseni različiti pametni materijali: organske sunčane ćelije, tanke navlake – baterije za spremanje električne energije, proizvodne, organske i tanke navlake – tranzistori za distribuiranje i kontrolu električne energije, OLED⁴⁵ za osvjetljavanje i elektronski prikaz, kromatična zaštita od sunca za kontroliranje transmisije svjetlosti i topline.

• **Nove površinske obrade** – U suvremenoj je arhitekturi naglasak na obradi vanjskoga sloja zgrade – pročeljne površine. Tiskanjem, nagrizanjem i površinskim premazima stvaraju se raznoliki učinci prozirnih pročelja. Kompleksni trodimenzionalni oblici i uzorci mogu se producirati, reproducirati i transformirati u serijske elemente napravljene po mjeri (npr. CNC tehnologija omogućava izvedbu proizvodnih tekstura na izabranom materijalu).

Obično se radi o betonu (Sl. 13.A), drvu, opeci, staklu (Sl. 13.B) ili metalu.⁴⁶

• Nova izražajna sredstva

– Integracija svjetlosnih učinaka: Pri oblikovanju pročelja sve češće sudjeluju umjetnici i oblikovatelji svjetlosti (Sl. 14.) koji stvaraju takvu noćnu sliku pročelja da uvođenjem svjetlosnih efekata ona dobiva sasvim nov, teatralni izgled. Svjetlosni efekti utječu na izgled dematerijaliziranosti pročelja, na vizualno gibanje pročelja i šarenilo nijansi boja. Svjetlosne su instalacije na pročelju pokazale novu dimenziju estetike – potencijal koji se neprestano razvija i nadograđuje vizualnu sliku arhitekture.⁴⁷

– Fluidnost pročelja (gibanje elemenata, svjetlost i boja): Boja nije više samo jednobojan naglasak na pročelju, već stvara dekoraciju pročelja s mnogobrojnim uzorcima. Posljednjih su se godina pojavila pročelja koja prikazuju fotografije, riječi i apstraktne slike. Na fluidnost pročelja utječu boje, svjetlost i gibanje pročeljnih elemenata. Pročelje budućnosti preuzima aktivnu komunikacijsku ulogu koja uz boju i svjetlost sadrži i gibanje. Fluidnost suvremenoga pročelja određuju dva tipa pročelja: kinetičko i medijsko pročelje. Fluidnost pročelja jedna je od karakteristika pametnih pročelja koja ponajprije mijenja vizualne učinke i utječe na estetsku sliku suvremenoga dinamičnog pročeljnog plašta.

– Kinetičko pročelje: Dinamika pročeljnoga plašta može se stvoriti uporabom pokretnih pročeljnih elemenata koji se odazivaju na vanjske podražaje ili s određenim efektima stvaraju dinamiku (Sl. 15.). Pročeljne elemente pomiču različiti mehanizmi: stiješnjeni zrak, mali električni motori ili sila vjetra.⁴⁸

– Medijsko pročelje: Medijsko pročelje za svoje djelovanje treba aktivni izvor energije. U uporabi su različite tehnologije prikaza – od zaslona do projekcija s različitim izvorima svjetlosti (LED diode, fluorescentna i halogena svjetla; Sl. 16.). Medijsko pročelje može imati ugrađene fotoelemente koji generiraju energiju potrebnu za njegovo djelovanje. Slike i poruke digitalno se projiciraju na pročelje te se mogu i multiplicirati u bezbroj varijacija. Medijsko pročelje postaje komunikacijska membrana za informiranje javnosti.⁴⁹ Me-

⁴⁵ OLED (*Organic Light Emitting Diode*) jesu LED diode u kojima je elektroluminiscentni sloj film od organskih komponenata koji emitira svjetlost kada kroza nj teče električki tok. LED (*Light Emitting Diode*) je poluprovodljivi elektronski element. Njegove su karakteristike slične običnoj poluprovodljivoj diodi, s tom razlikom da kada provodi tok svijetli. Svjetlost koju daje ima valnu dužinu u uskom pojasu.

⁴⁶ DOMEISEN, 2008: 1060; ADDINGTON, SCHODEK, 2005: 145

⁴⁷ SCHITTICH, 2006: 25

⁴⁸ TSCHERTEU, 2008: 6

⁴⁹ SZALAPAJ, 2005: 106

⁵⁰ Mediafassade, <http://www.mediafacade.com>

⁵¹ PICON, 2010: 8

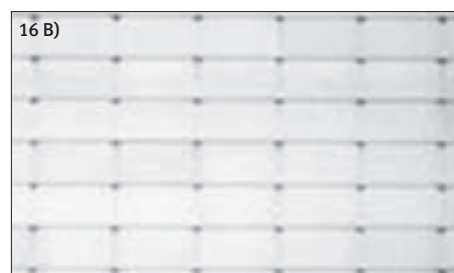
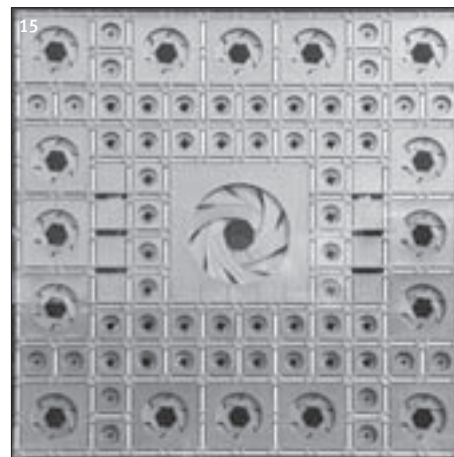
dijska pročelja s uporabom novih materijala i tehnologija prisutna su u mnogim suvremenim ostvarenjima, kao što su npr. African Pavillon Expo08, Zaragoza (Arhitektonski biro Atelier Brückner), Dexia Tower Brisel (Arhitektonski biro Philippe Samyn & Partners), Grand Lisboa, Macao (Arhitektonski biro DNL Dennis Lau & NG Chun Man), KPN Tower, Rotterdam (arh. Renzo Piano) itd.⁵⁰

ZAKLJUČAK

CONCLUSION

Namjera ovoga rada nije bila ponuditi potpuni pogled na događanja u arhitekturi na svjetskoj sceni, nego izložiti nekoliko novih pristupa koji su se pojavili posljednjih petnaest godina i koji utječu na arhitektonsko projektiranje pročelnoga plašta. Zajednički je nazivnik svih tih trendova zasigurno uporaba računala koje je prodrlo u sva područja ljudskoga života i rada, pa i u arhitekturu. Prije petnaest godina u arhitektonskim je uredima bilo nekoliko računala i uglavnom su bila namijenjena pisanju teksta i računanju. Nacrti su se crtali rukom, od početnih skica do konačnih iscrtavanja (*rendering*). Malo poslije arhitekti su se suočili s naprednim elektronskim uređajima: produktivnim računalima, skenerima, printerima, ploterima. U struci je ugled stekla programska oprema AutoCad, ArchiCad, Maya, Rhino, koju se može nadograditi digitalnim alatom DMU, s parametrickim alatima (NURBS), programima za generiranje (L-sustav, genetički algoritmi), matematičkim uzorcima, također s uporabom fleksibilne geometrije (Voronojev dijagram) itd. CNC strojevi, 3D printeri, laserski rezači itd. podupiru zasnovane ideje i u proizvodnji komponenata za pročeljni plašt te time veoma povećavaju izražajne mogućnosti arhitekata. Danas nema arhitektonske prakse bez digitalne tehnologije. To ne znači da je digitalna tehnologija dobra ili loša, već upućuje na to u kojem smjeru ide arhitektonsko projektiranje pod njezinim utjecajem.

Računalna je potpora vidljiva u svim područjima, od idejnih osnova do izvedbenih nacrta – poduprtih kompleksnom geometrijom, pripremom za proizvodnju (i izradom prototi-



pova), izradom komponenata u svim mjerilima, čak u nanomjerilu – te u prilagodavanju djelovanja pročelnoga plašta (LED, OLED...). Činjenica jest da je na području oblikovanja pročelnoga plašta posljednjih godina došlo do velikih promjena. Možda su te promjene tako radikalne i dugotrajne kao i one koje su nastale u arhitektonskoj disciplini početkom renesanse.⁵¹ Tada su se, naime, pojavili novi alati i postupci, koordinatno projiciranje u projektiranju i perspektivna slika. Hoće li uporaba računala u arhitekturi imati sličan utjecaj na daljnji razvoj pročelnoga plašta?

Najvjerojatnije je rano predviđati, ali taj trend, opisan u članku, ima mogućnost da se preoblikuje u dugotrajno gibanje u arhitekturi ili će oblici koji su sada 'napredni' i 'eleganтни' izumrijeti za deset godina. Možda je sada pravi trenutak za isticanje vjerojatnih posljedica trenutačnih trendova pri oblikovanju suvremenoga pročelnoga plašta.

SL. 14. OTPRILIKE STO STAPOVA LED SVJETALA U ČETIRI OSNOVNE BOJE S POMOĆU RAČUNALA NA PROČELJU NEBODERA STVARA OBOJENO PROČELJE: AGBAR TOWER, BARCELONA (ARH. JEAN NOUVEL)

FIG. 14 SOFTWARE-OPERATED LED LIGHTING TECHNOLOGY IN FOUR BASIC COLOURS CREATES A MULTI-COLOURED SKIN: AGBAR TOWER, BARCELONA (ARCHITECT JEAN NOUVEL)

SL. 15. POKRETANJE PROČELJNIH ČLANOVA ODAZIVA SE NA SUNČANE ZRAKE, STVARA POSEBNU SVJETLOST I BOJU, NIJANSE NA PROČELJU, TE JE UJEDNO ZAŠTITA OD SUNCA: INSTITUT MONDE ARABE, PARIZ (ARH. JEAN NOUVEL)

FIG. 15 MOVABLE PHOTOSENSITIVE PANELS CREATE SPECIAL LIGHT AND COLOUR EFFECTS ON THE FACADE AND ACT ALSO AS BRISE-SOLEIL: INSTITUT DU MONDE ARABE, PARIS (ARCHITECT JEAN NOUVEL)

SL. 16. MEDIJSKO PROČELJE: PIVOVARA UNION, LJUBLJANA NOĆU (A) I DANJU (B)

FIG. 16 MEDIA SKIN: UNION BREWERY, LJUBLJANA BY NIGHT (A) AND BY DAY (B)

[Prijevod: TANJA VRANČIĆ]

LITERATURA

BIBLIOGRAPHY

1. ADDINGTON, M.; SCHODEK, D. (2005.), *Smart Materials and Technologies for Architecture and Design Professions*, Architectural Press, Elsevier, Oxford
2. ANON (2007.), „Watercube” – *Nationales Schwimmzentrum in Peking*, „Detail”, 12: 1469-1475, München
3. BREZAR, V. (2004.), *Stavbno tkivo v luci sprememb*, „AR – Arhitektura, raziskave”, 2: 8-11 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana
4. CUI, T. J.; SMITH, D. R.; LIU, R. (2010.), *Metamaterial. Theory, Design, and Applications*, Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg, London
5. DOMEISEN, O. (2008.), *Auf der Suche nach dem Ornament*, „Detail”, 10: 1056-1066, München
6. JODIDIO, P. (2006.), *Architecture Now! 4*, Taschen, Köln
7. KOPRIVEC, L.; ZBAŠNIK-SENEGAČNIK, M. (2010.), *Pametna gradiva in njihove aplikacije v arhitekturi*, „AR – Arhitektura, raziskave”, 1: 18-27, Ljubljana
8. KOPRIVEC, L. (2009.), *Vpliv sodobnih gradiv in tehnologij na oblikovanje fasadnega ovoja*, disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana
9. KRESAL, J. (2009.), *Vloga in pomen arhitekturne tehnologije*, „AR – Arhitektura, raziskave”, 2: 16-21, Ljubljana
10. LEACH, N. (2008.), *Digitalna morfogeneza*, „Oris”, 51: 96-107, Zagreb
11. LEVIT, R. (2008.), *Contemporary 'Ornament', The Return of the Symbolic Repressed*, „Harvard Design Magazine”, 28: 70-85, Cambridge
12. PELL, B. (2010.), *The Articulate Surface*, Birkhäuser, Basel
13. PICON, A. (2010.), *Digital Culture in Architecture*, Birkhäuser, Basel
14. POTTMANN, H.; ASPERL, A.; HOFER, M.; KILIAN, A. (2007.), *Architectural Geometry*, Bentley Institute Press, Exton, Pennsylvania
15. RAVNIKAR, M. (2008.), *Metoda projektiranja z uporabo matematičnih funkcij: minimalni konceptualni aparat za arhitekturo, da ta ostane na ravni primerljivih, sodobnih tehničnih disciplin*, diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana
16. RITTER, A. (2007.), *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*, Birkhäuser-Publishers for Architecture, Basel, Berlin, Boston
17. ROGERS, R. (1997.), *Cities for a Small Plane*, Faber and Faber, London
18. RUBY, A.; RUBY, I.; URSPRUNG, P. (2004.), *Images, A picture Book of Architecture*, Prestel Verlag, Munich, Berlin, London, New York
19. SCHITTICH, C. (2006.), *Building Skins*, Birkhäuser Edition Detail, München
20. SAUER, C. (2010.), *Made of...*, Gestalten, Berlin
21. SZALAPAJ, P. (2005.), *Contemporary Architecture, and the Digital Design Process*, Architectural Press, Oxford etc.

22. TERZIDIS, K. (2006.), *Algorithmic Architecture*, Elsevier, Architectural Press, Oxford
23. TSCHERTEU, G. (2008.), *Media Facades Exhibition*, Deutsches Architektur Zentrum (DAZ), Berlin
24. WEBSTER, A. (1998.), *Callan's canyons and Voronoi's cells*, „Nature” 391: 430, doi: 10.1038/35007
25. WESTON, R. (2003.), *Materials, Form and Architecture*, Laurence King Publishing, London
26. ZBAŠNIK-SENEGAČNIK, M.; KOPRIVEC, L. (2009.), *Biomimetika v arhitekturi prihodnosti*, „AR – Arhitektura, raziskave”, 1: 40-49, Ljubljana

IZVORI

SOURCES

INTERNETSKI IZVORI

INTERNET SOURCES

1. ACM, <http://claddingsolutions.com/aluminium.html> [12.12.2010.]
2. Chaos Computer Club, <http://blinkenlights.net/project> [25.11.2010.]
3. FOUNTAIN, H. (2008.), *A Problem of Bubbles Frames an Olympic Design*, http://www.nytimes.com/2008/08/05/sports/olympics/05swim.html?_r=2&ref=science&oref=slogin# [25.11.2010.]
4. Generative Algorithms: Lindenmayer-System (L-System), <http://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/generative-algorithms> [25.11.2010.]
5. [http://aviary.com/artists/mpeutz/images/giraffe_skin_\(voronoi_diagram\)](http://aviary.com/artists/mpeutz/images/giraffe_skin_(voronoi_diagram)) [31.1.2009.]
6. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/48/prada_boutique_aoyama.jpg [9.3.2009.]
7. http://www.berlinin3d.com/images/stories/blinkenlights_001.jpg [25.4.2010.]
8. http://www.mopo.ca/uploaded_images/invisibility-cloak-1-747279.jpg [21.4.2009.]
9. http://www.toronto.ca/special_events/nuitblanche/images/post2008/a_blinkenlights_best.jpg [25.4.2010.]
10. <http://www.worldarchitecturenews.com> [31.1.2009.]
11. KOTNIK, T. (2006.), *Algorithmic Architecture*, predavanje na ETH *Eidgenössische Technische Hochschule* Zürich, <http://wiki.arch.ethz.ch/asterix/pub/MAS0607/MasColloquia/Lecture01.pdf> [25.11.2010.]
12. Mediafassade, <http://www.mediafacade.com> [30.3.2010.]
13. Zaha Hadid Architects, Nordpark Cable Railway, <http://www.arcspace.com/architects/hadid/nordpark/nordpark.html> [25.11.2010.]

IZVORI ILUSTRACIJA

ILLUSTRATION SOURCES

- | | |
|-----------|---|
| SL. 1. | Foto: autori |
| SL. 2. | http://www.mopo.ca/uploaded_images/invisibility-cloak-1-747279.jpg |
| SL. 3.A,B | Foto: autori |
| SL. 4. | http://www.worldarchitecturenews.com |
| SL. 5.A | JODIDIO, 2006: 81 |
| SL. 5.B | WESTON, 2003: 214 |
| SL. 6.A | WEBSTER, 1998: 430 |
| SL. 6.B | http://aviary.com/artists/mpeutz/images/giraffe_skin_(voronoi_diagram) |
| SL. 7. | PELL, 2010: 86 |
| SL. 8. | SAUER, 2010: 90 |
| SL. 9. | Foto: Petrovčić |
| SL.10.A | http://www.berlinin3d.com/images/stories/blinkenlights_001.jpg |
| SL. 10.B | http://www.toronto.ca/special_events/nuitblanche/images/post2008/a_blinkenlights_best.jpg |
| SL. 11.A | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/48/prada_boutique_aoyama.jpg |
| SL. 11.B | Foto: autori |
| SL. 12. | RITTER, 2007: 141 |
| SL. 13.A | ADDINGTON, SCHODEK, 2005: 146 |
| SL. 13.B | PELL, 2010: 151 |
| SL. 14. | Foto: autori |
| SL. 15. | Foto: autori |
| SL. 16. | Foto: autori |

SAŽETAK

SUMMARY

CONTEMPORARY BUILDING SKIN

ARCHITECTURE-BASED SURVEY OF TECHNIQUES AND BUILDING TECHNOLOGIES

The treatment of the building skin has undergone radical changes in the last decade. A traditional concept of a building skin has been nowadays broadened by a quest for the new and the unconventional. Presently building skin design is approached from three different perspectives: the one relying on the traditional approach, the one based on the innovative solutions within the realm of traditional approach and the one marked entirely by state-of-the-art technological and visual innovations.

The first approach stems from a traditional design concept. Yet, it always presents new challenges to designers. Historically, tectonic principles predominantly influenced the perception of architecture: the flow of forces was recognized in the layers, walls, columns, beams. Digital era has brought about a crisis of the traditional tectonics which has been up to now defined as a hierarchy of the building elements. Software support has opened up new possibilities in the creation of forms and structures that erase the boundary between the idea and the reality. Concrete and steel impose no limit regarding the span and height of the buildings. A new concept has been born with a new name: "building skin dematerialization". It refers to a software-operated building skin with integrated functions. Although dematerialized architecture presently exists only in the virtual world of digital architecture, scientists have engineered new materials (metamaterials) that anticipate the actual dematerialization of the building skin.

The second trend to building skin design basically relies on the traditional approach enriched with innovative possibilities offered by digital architecture. It makes use of software modeling, programming, simulations and imaging thus creating virtual and physical forms. All new approaches are based on computer-aided design technology involved in all architectural design stages. As a result new geometric forms and models are made possible which would have been inconceivable within the realm of a traditional drawing approach. Even complex geometric forms can be created nowadays in a rela-

tively simple way by means of computer technology. Architectural design is based on CAD (*computer-aided design*), CAM (*computer-aided manufacturing*) and CNC (*computer numerical control*). They help to devise complex and innovative forms and then prepare them for the manufacturing process. Architects have at their disposal a range of tools for the execution of the most audacious forms. CAD programming tool can be further upgraded with digital technologies such as DMU, NURBS, generating programmes (L-system, genetic algorithms), mathematical patterns, flexible geometry (Voronoi diagram) etc. The process of prototype production as a basis for further manufacturing process is also relatively simple. Building skins have become again enlivened with ornamentation based on innovative computer-aided design solutions. Contemporary architectural skin design is fundamentally polarised between the two new types of ornamentation: the media skin ornamentation based on lighting technology which produces stunning effects at night and structural ornamentation which emerges from the visible structure itself. Contemporary building skin is thus changed with new forms generated by computer-aided technologies and modern planning. Moreover, traditional materials acquire a range of new properties (transparency, additional strength, a greater capacity for transformation) – a process stimulated by the creation of new forms and geometries. This at the same time extends the range of their building skin applications.

A third approach to building skin design is the result of radical technological and visual innovations. The selection of a material has a predominant role in architectural design. Each material produces a cumulative effect on the observer in terms of its colour, texture and transparency. In other words, each material is characterized by a particular visual identity that has an impact on the building's form, function, appearance and the environment. Contemporary visual requirements can hardly be met with traditional technologies and materials. New

materials are available nowadays. Smart and nano-materials provide the buildings with a new visual identity and thus support the designer's drive for experimentation up to the physical limits of the possible. A building skin can thus become a multi-colored, monochromatic, changeable or minimalist image. It is capable of responding to and interacting with various environmental stimuli and thus contributes to the visual image of contemporary architecture. The treatment of the external layer of the building skin is given particular prominence. Printing, eroding and coating techniques produce the effect of a transparent skin. Complex three-dimensional forms and patterns made of wood, brick, concrete, glass or metal can be manufactured, reproduced and transformed into custom-made mass produced components. Building skin design has become more often than not a collective endeavour in which artists and lighting designers take part in the creation of an amazing new and dramatic appearance of the building at night. Lighting technology (LED, OLED) gives the effect of a dematerialized skin and influences the skin's visual dynamics and its multi-coloured effects. Light installations on the skin have revealed a new dimension of aesthetics whose potential can be permanently developed in a mission to add to the visual quality of architecture. Kynetic skins respond to the external stimuli with their movable facade panels. Media skins have turned into communicative screens able to disseminate information to the public. Image and message are projected onto the skin and can be multiplied in infinite variations.

The contemporary building skin is no longer in the service of the tectonics of the materials, functionality and purpose of the building. Instead it has become a prestigious display of state-of-the-art technologies creating startling effects. Architects' ambitions are thus effectively stimulated by new industrial products and new design-aided technologies which fascinate on the one hand with practically unlimited possibilities of generating new forms and on the other with a myriad of expressive possibilities.

MARTINA ZBAŠNIK-SENEGAČNIK

LJUDMILA KOPRIVEC

JANEZ KRESAL

[Translated by: NEDA BORIC]

BIOGRAFIJE

BIOGRAPHIES

Dr.sc. **MARTINA ZBAŠNIK-SENEGAČNIK**, dipl.ing.arh., izvanredna je profesorica na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Ljubljani. Autorica je monografije „Pasivna kuća“.

Dr.sc. **LJUDMILA KOPRIVEC**, dipl.ing.arh., neovisna je projektantica u razvojnom sektoru tvrtke Trimo, d.d. Njezin znanstvenoistraživački rad obuhvaća područje pročelnoga plasta.

Dr.sc. **JANEZ KRESAL**, dipl.ing.arh., izvanredni je profesor na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Ljubljani. Vodi predmet Tehnologija gradnje i grada.

MARTINA ZBAŠNIK-SENEGAČNIK, Ph.D., architect, associate professor at the Faculty of Architecture of the University of Ljubljana. She is the author of the monograph "Passive House".

LJUDMILA KOPRIVEC, Ph.D., architect, an independent developer in the developing sector of the Trimo company. Her scientific research is focused mainly on the building skin design.

JANEZ KRESAL, Ph.D., architect, associate professor at the Faculty of Architecture of the University of Ljubljana. He runs the course in Building Technology and Materials.

