

Inovacije u građevinskoj struci

Zvonimir Žagar

Ključne riječi

informatička tehnologija,
novi materijali,
nove konstrukcije,
novi postupci,
nove ideje,
Internet

Z. Žagar

Pregledni rad

Inovacije u građevinskoj struci

Prikazuju se velike izmjene u građevinskoj struci nastale primjenom informacijske tehnologije i novih postupaka proračunavanja nosivosti i stabilnosti te računalom podržanog oblikovanja i proizvodnje, ekspertnih sustava, uvođenjem Interneta, uvođenjem europskih normi (Eurokodova), kao i razvojem i primjenom novih materijala i konstrukcija, te rađanjem novih ideja i međustrukovne suradnje. U cilju ilustracije napisanog u tekstu se citiraju neke relevantne Internet stranice.

Key words

information technology,
new materials,
new structures,
new procedures,
new ideas,
Internet

Z. Žagar

Subject review

Innovations in construction industry

The author presents great changes that have been initiated in construction industry by the use of information technology and new procedures for calculating bearing capacity and stability, and by the computer-aided shaping and production, expert systems, introduction of Internet, adoption of European standards (Eurocodes), and development and use of novel materials and structures, as well as by introduction of new ideas and interdisciplinary cooperation. The assertions made in this paper are illustrated by citing some relevant Internet pages.

Mots clés

technologie informatique,
nouveaux matériaux,
nouvelles constructions,
nouvelles méthodes,
nouvelles idées,
Internet

Z. Žagar

Ouvrage de synthèse

Innovations dans le génie civil

L'auteur présente de profonds changements dans le génie civil dus à l'application de la technologie informatique et de nouvelles méthodes du calcul de la capacité portante et de la stabilité, à la conception et à l'ingénierie assistées par ordinateur, aux systèmes experts, à l'introduction de l'Internet et des normes européennes (euro codes), ainsi qu'au développement et à la mise en oeuvre de nouveaux matériaux et constructions, à de nouvelles idées et à l'interdisciplinarité. Certaines pages Internet sont citées à titre d'exemple.

Schlüsselworte:

informatische
Technologie,
neue Baustoffe,
neue Konstruktionen,
neue Verfahren,
neue Ideen,
Internet

Z. Žagar

Übersichtsarbeit

Neuerungen im Baufach

Dargestellt sind die umfangreichen Änderungen die im Baufach entstanden sind durch Anwendung der informatischen Technologie, neue Berechnungsverfahren für die Tragfähigkeit und Stabilität, computergestützte Gestaltung und Erzeugung, Expertensysteme, Einführung des Internets, Einführung der europäischen Normen (Eurokode), Entwicklung und Anwendung neuer Baustoffe und Konstruktionen, sowie durch Erzeugung neuer Ideen und interdisziplinärer Mitarbeit. Un das in Text ausgelegte zu illustrieren zitiert man einige relevante Internet-Seiten.

Autor: Prof. dr. sc. Zvonimir Žagar, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26

1 Uvod

Građevinska struka, kao i sve druge struke, stalno napreduje; u napredovanju se i mijenja. Upitna je samo brzina tih promjena i naša prilagodba tim stalnim mijenama.

Razvijaju se novi materijali koji omogućuju građenje novih tipova konstrukcija, međutim postoji zaostatak u vremenu između inovacije i njezine primjene (tzv. *time lag*). Zbog naše neinformiranosti mnoge inovacije kod nas nemaju odgovarajućeg odgovora. To se posebice odnosi na filozofiju građenja, industrijsko građenje, primjenu robotike. Razvili su se i dalje se razvijaju novi postupci analiza nosivosti i stabilnosti konstrukcija, nove metode proračuna, koje sve više prelaze u svakodnevne rutinske poslove projekatana.

Hit tema je informacijska tehnologija i njezina primjena u građevinskoj praksi.

Razvoj računala i informacijskih tehnologija nije omogućio samo (pred nekoliko godina) neslućeni razvoj i postupaka modeliranja i proračunavanja, nego je razvio i virtualni laboratorij u kojem se mogu "testirati" objekti i entiteti. Razvoj informacijske tehnologije i Interneta omogućio je gotovo trenutne komunikacije i smanjio opseg svijeta, što je svojedobno predvidio McLuhan (globalno selo) [6]. Suradnja unutar struke je i inače normalna stvar, no ta suradnja teče danas i na geografski udaljenim lokacijama putem Interneta, a međustrukovna suradnja postaje potreba vremena, kako bi se na vrijeme uočile pogreške i uskladilo razne interese sudionika u procesu projektiranja i građenja, kao i korisnika već izgrađenih objekata, te postigao optimum u projektiranju i izvođenju objekata. Nitko danas nije sam u svijetu. Međustrukovnom suradnjom osigurava se ukrštanje raznih ideja i rađanje novih, često i drugačijih od pratipova postojećih tunelskih vizija.

Razvijaju se postupci računalom podržanog oblikovanja i proizvodnje (CAD-CAM) te tzv. A-E-C postupci (*architecture-engineering-construction*). I ne treba biti nervozan u očekivanju trenutne primjene novih tehnologija. Na planetu Zemlji živi i danas mnogo svemira koji se međusobno niti znaju niti surađuju, a međusobno su vjekovima udaljeni. Osim toga, sustavi projektiranja i građenja razvijali su se stoljećima, pa nije ni umjesno očekivati promjene stoljetnih navika struke (usađivanih školovanjem) preko noći.

2 Stanje

Mi smo u Hrvatskoj donekle podalje od tih kretanja u svijetu. Naravno da i u svijetu razvijenih ima nesnalazjenja i zaostajanja, no to nam ne treba biti alibi za naše nesudjelovanje i ograđivanje. Naše zaostajanje struke jest i direktno mjerljivo i vidljivo. Na IABSE konferen-

ciji o obnovi graditeljskog naslijeđa bivših istočnoeuropskih zemalja u Berlinu 1998. mi praktički nismo bili prisutni. Radi se o obnovi oko 80 milijuna objekata (!). Pogotovo nije bila prisutna naša operativa, koja bi trebala biti zainteresirana za nove poslove. Naravno da se ne može očekivati suradnja sa svijetom, kad u svijetu nismo prisutni. Doduše informacije na mreži su oblik prisutnosti u svijetu, ali ne i jamstva pokazanog interesa za bilo kakvom suradnjom. Neprisutnost u svijetu pokazuje se našom beznačajnom suradnjom u međunarodnim institucijama, tehničkim komitetima i odborima, a i brojnih sudionika i referata na međunarodnim skupovima i kongresima. Na takvim se skupovima upoznaju i razrađuju nove ideje, koje se potom godinama razvijaju u međunarodnim istraživačkim projektima. Navest ću samo neke u Europi i u svijetu.

1. Buckminster Fuller (<http://www.bfi.org/>, B. Fuller Institute home page [10] 1950-ih opisao je ideju industrijskog načina građenja cijelih višekatnih zgrada, koje je moguće transportirati iz tvornice na gradilište s pomoću velikih zepellina. Ova fantastična ideja danas je ostvariva i moguća nakon gradnje flote *cargolifera* – novovjekih zepellina nosivosti i do 160 t tereta, brzinom od 80 do 135 km/h, doleta do 10000 km. Za dva *cargolifera* gradi se hangar na bivšem vojnom aerodromu Tempelhoff kod Berlina i svakoga se dana građenje može pratiti na internet stranicama (www.cargolifter.com). O i danas suvremenim idejama B. Fullera i njegova sljednika Shoi Sadaoe može se naći opsežnih obavijesti na internet stranicama "great buildings online":

http://www.greatbuildings.com/architects/Fuller_and_Sadao.html.

S druge strane, praktički ništa nije učinjeno da se i ostvare tipovi takvih objekata koji bi bili dovoljno lagani i transportabilni cargolifeteri. To sigurno nisu ni betonske i ni zidane zgrade. Od prve ideje B. Fullera do njezine realizacije prošlo je više od 50 godina, a do njezine primjene u graditeljstvo proći će još daljnjih 10 do 20 godina. O mogućnostima građenja novih (starih) tipova laganih konstrukcija može se informirati na nekoj od mnoštva stranica na Internetu, primjerice:

<http://www.intlist.com/esi.htm>

(energetske konstrukcije),

<http://www.teleport.com/~pdx4d/dome.html>

(geodetske konstrukcije),

<http://www.teleport.com/~pdx4d/domeman.html>

(proizvođači kupola i mrežastih konstrukcija) i na:

<http://www.nauticom.net/www/domeking/frames20.htm>

(geodetske kupole).

2. Ideje *cargolifera* generiraju i nove ideje o ultralaganim krovnim konstrukcijama sastavljenim od lebdećih pneumatskih greda, lukova ili jastuka, a s kojima se mogu na nov i jeftin način pokriti golemi prostori, npr. stadioni i objekti sličnih namjena, umjesto da se takvi tereni natkrivaju teškim metalnim konstrukcijama (<http://www.thebluebook.com/cl/all100.htm> the Bluebook building construction s pretražnikom proizvođača pneumatskih konstrukcija u SAD-u). Ideja natkrivanja velikih prostora (npr. stadiona) raznim prostornim čeličnim rešetkama divovskih dimenzija jest posljedica neinformiranosti projektanata. O novim istraživanjima na području konstrukcija ima informacija na stranicama o istraživanju novih tipova arhitekture i konstrukcija MIT-a: <http://architecture.mit.edu/>. Na stranicama istraživačke grupe SPORG MIT-a <http://sporg4.mit.edu/db/sporg/info/index.html>, prikazuju se istraživanja suradničkih (kolaborativnih) alata za projektiranje. Grupa tehnologija projektiranja na MIT-u iznosi svoja istraživanja na <http://destec.mit.edu/research/>. Zanimljivo jest da su neka od tih istraživanja što se tiče laganih i ultralaganih konstrukcija (<http://kdg.mit.edu/> - MIT Kinetic Design Group KDG) podudarna s našim istraživanjima i idejama iz 1990-ih, posebice s obzirom na primjenu kinematskih (ili kako sam to nazvao sinergetskih) konstrukcija [14, 21]. Na stranici <http://kdg.mit.edu/Projects/p02.html>, prikazani su projekti KDG: 1. Teleconference station, 2. Kinetic Wall, 3. Sliding geometry, Folding Egg, 4. MacroMod Folding Tents, 5. Responsive Membrane Wall, 6. Moderating Skylight. O svjetskim iskustvima primjene pneumatskih konstrukcija može se naći mnoštvo stranica na Internetu, od kojih se spominju neke: <http://www.cisti.nrc.ca/irc/cbd/cbd137e.html> kanadska iskustva i standardi, također i: <http://www.qn45.dial.pipex.com/airdome.htm> SOPER'S-ova stranica o pneumatskim konstrukcijama (Canada), <http://www.birdair.com/Air%20Support/Air%20Supported.html> Birdair structures, info i software kao i: <http://www.birdair.com/Home.html> i pridružene stranice: <http://www.birdair.com/Design%20Software/MCM%20lite.html>, <http://www-ec.njit.edu/civil/gen.html> uvod u na zrak oslonjene i zrakom ispunjene konstrukcije, shape finding proračuni, teorija, proračun konstrukcija, materijali, konstruiranje, sa FORTRAN programom na: <http://www-ec.njit.edu/civil/Fortran.html>, <http://www.amanet.ru/~ozon/rd.htm> informacije znanstveno tehničkog centra OZON, Dr. [Yuri Mosseev](#)-a, u Moskvi,

<http://www.building.org/profiles/57705.html>

portal američki tehnologije pneumatskih konstrukcija,

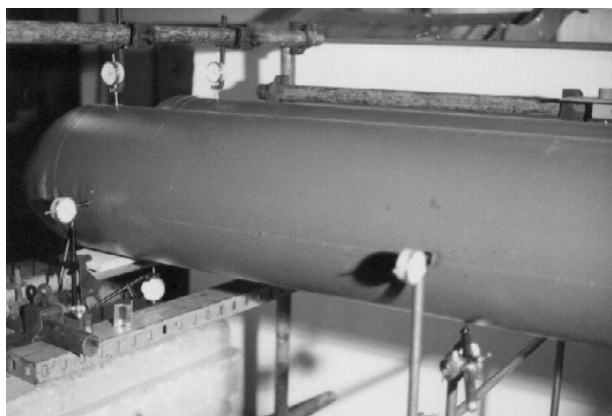
<http://www.yamazaki-tent.co.jp/pict.html>

Yamazaki pneumatske konstrukcije (lukovi, svodovi, baloni, tende), te:

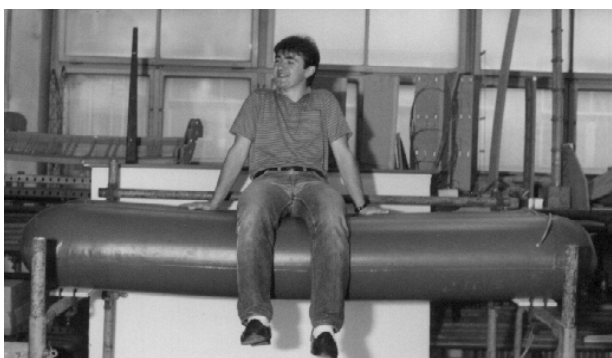
<http://www.yeadon.on.ca/structures.html>

ulazni portal za na zrak oslonjene konstrukcije.

Mi smo u laboratoriju za ispitivanje gradiva Građevinskog fakulteta u Zagrebu eksperimentirali s pneumatskim gredama, o kojima su rezultati objavljeni u stručnom i znanstvenom tisku [16, 18, 19]. Ovdje za ilustraciju prikazujemo dvije fotografije ispitivanja pneumatskih greda od "trevice" iz diplomskog rada D. Kljaića [15]. Na jednoj se vidi dio mjernog setupa, a druga je slikana "iz veselja" – (*for fun*), ali dobro ilustrira nosivost dvojne pneumatske grede duljine od 650 g "trevice" (90/90 Dena, prekidne čvrstoće 2960/2700 N/5cm, debljine 0.6 mm) promjera 350 mm duljine 2000 mm.



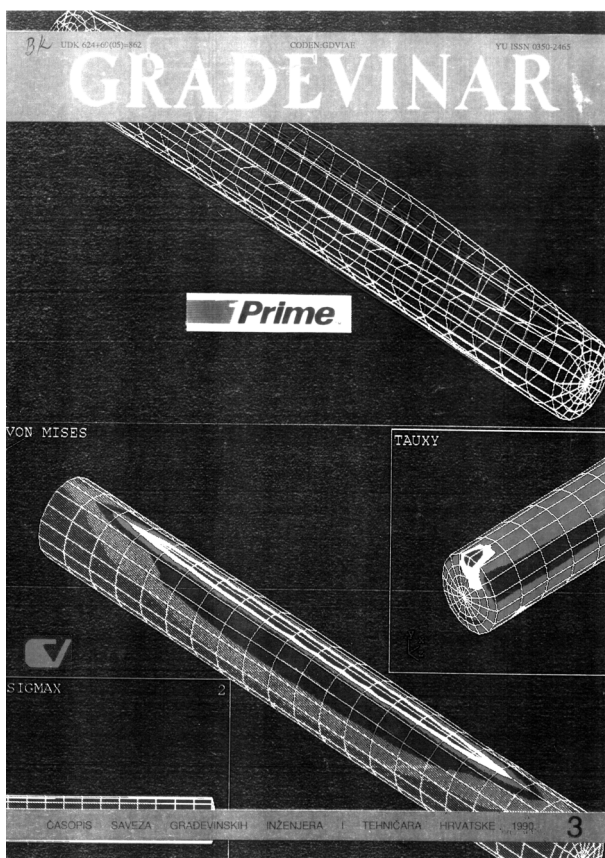
Slika 1. Instrumenti za mjerenje deformacija pneumatske grede



Slika 2. Sasvim "neznanstveno" ispitivanje zbog radosti ispitivanja

U tom smislu mi se s mukom odvajamo od tisućugodišnje navade građenja "tlačnim" materijalima, usvajajući postupno i ubrzano mogućnosti novih "vlačnih" materijala. Ti su materijali omogućili građenje novih konstruktivnih tipova: nebodera, visećih mostova, a i tračni i cestovni transport; postupno s nevjericom usvajajući i nove nevidljive sponne sila između raznih elemenata konstruk-

cija, kao što su to privlačno-odbijajuće magnetske silnice. Nikako da se stasa s novim nazorima i mogućnostima novih i superiornih građevnih materijala.



Slika 3. MKE model pneumatske grede od 0.2 mm tankog lima

3. **Transrapid** magnetsko levitirajuće vozilo na magnetskom jastuku rađa ideje o novim načinima transporta velikim brzinama. Bez obzira na to hoće li se ostvariti veza Hamburga s Berlinom (poradi protesta zaštitara okoliša), sama ideja lebdenja vođenoga vozila na tračnicama bez kotača i promet velikim brzinama, nudi nove ideje transporta, različite od howercrafta i sličnih lebdećih vozila na zračnim jastucima. Učestale nesreće uzrokovane velikim brzinama i starim unaprijedenim tehnologijama prionjivosti između kotača i tračnice suvremenih tračnicama vođenoga vozila, očito pokazuju limite tog stalno inkrementalno dograđivanog sustava. Ideja transrapida (**MAGLEV-a**) već je stara oko 50 godina, ona je zahtijevala velika sredstva za osmišljavanje novih tehnologija i ispitivanja u laboratorijima i *in situ*. Bez razvoja elektronike (tehnike levitacije i linearnoga elektromagnetskog polja), te mjerne i regulacijske tehnike, ne bi bilo ni realizacije te ideje: <http://www.mvp.de/home.htm>

4. Elektronski osjetilima **nadzirane konstrukcije** radi promatranja ponašanja u vremenu, vođene kompleksnim ekspertnim sustavima i omogućene razvojem brzih računala omogućuju gotovo trenutne regulacije konstrukcija u odnosu prema nailazećim poremećajnim i destabilizirajućim djelovanjima. A omogućuju i efikasni nadzor objekata. Dokazali smo da se cijeli sustav ljudskog reagiranja na vanjske pobude može simulirati ponašanjem na primjerima trenirane živčane mreže. Ovakvi sustavi moći će se primijeniti i za reguliranja parcijalnih lokalnih poremećaja megakonstrukcija. No zašto graditi megakonstrukcije? Reguliranja konstrukcija već se primjenjuju u eksperimentalnim objektima za "instantno" reguliranje struktura na posljedice djelovanja potresa, eksplozija i sl. nepredvidivih "predvidivih" djelovanja; a i za reguliranje sila u mostovima, gdje se pokazalo da takva "ojačanja" donose i znatnu ekonomsku dobit. U tom smislu su poučne stranice na Internetu o istraživanjima kinetičkih zidova, posmične geometrije, makromoda slažućih šatora, *responsivnog membranskog zida*, i aktivnog nadsvjeta s polaznih stranica grupe KOD na MIT-u. Također se takva istraživanja vode u raznim sveučilišnim laboratorijima i istraživačkim projektima:

<http://www.ena.umd.edu/CRER/smart.html>, gdje se iznose projekti tzv. "smart" konstrukcija, a o istraživanjima i primjenama "**smart**" – pametnih **konstrukcija** i "**smart**" – pametnih **materijala** ima informacija na: <http://fiber.uta.edu/>, dok se proračunski postupci za te konstrukcije navode na stranicama <http://www.witpress.com/c20.html>, te na:

<http://structure.stanford.edu/> i na:

<http://www.spie.org/info/nde/>. O tim konstrukcijama održavaju se znanstveni skupovi a ima već i stručnih knjiga [26]. O nekim postavkama u toj knjizi može se diskutirati glede velikog opreza u primjeni regulacijske IT, koja se zasniva na brzim računalima i pisanim programima. Mi smo [21] pokazali da se regulacijski algoritam može zasnivati i na treniranim **živčanim mrežama (ANN)**, koje "trenutno" reagiraju na podražaje – vanjska djelovanja.

5. Novi materijali – i njihovi suvremeni izrazi, razne tkanine, platna, kablovi, šipke i profili omogućuju nove promišljaje ultralaganih konstrukcija od membrana nategnutih i stabiliziranih kablovima i žicama, ili membrana napuhanih ili ispunjenih zrakom. Još nismo niti zakoračili u područje istraživanja i primjene **ultralaganih tensegrity konstrukcija**, unatoč jednoj sporadičnoj gradnji takve konstrukcije (stadijon u Alabami) u svijetu i nizu eksperimentalnih (više arhitektonski usmjerenih) objekata. Web stranice:

- <http://www.shelter-systems.com/tensegrity.html>,
<http://www.lsi.usp.br/usp/rod/bucky/tensegrity.html>,
http://anusf.anu.edu.au/Vizlab/viz_showcase/williamson_darrell/ govore o takvim konstrukcijama. Uporabe nekih materijala u Zagrebu su potpuno isključene (da li i zabranjene - lobijima ?) iako se uspješno primjenjuju u svijetu. Još se povodimo za idejama o potrebi dugovječnih utilitarnih objekata. Konfrontacija s Europom i svijetom promijenit će ta razmišljanja.
6. Integracija struka dovodi do novih rješenja. Naravno da se ostvaruju veliki i zadivljujući rasponi mostova svih konstruktivnih tipova, jer su novi materijali i nove mogućnosti provjere to omogućili. Očito se kod velikih raspona primjenjuju lančane konstrukcije mostova ili kablovima zavješene konstrukcije. No i tu pri konvencionalnom dizajnu ima granica rasponima. U gradskom se tkivu očito ide drugim smjerom radi integracija raznih interesa gradskog stanovništva: teži se k integralnom planiranju i arhitektonsko-strukturalno-ekonomskoj izgradnji novih (novovjekih) **nastanjenih mostova**, bilo da su to objekti iznad ili ispod terena, prometnica i prepreka. Ti arhitektonsko-strukturalni osmišljaji u suradnji s drugim strukama nisu rukovođeni samo estetskim kriterijima, već i novim idejama generiranih i u drugim strukama te generiranim interesom oplodnje uloženoj kapitala u tako isplative objekte.
7. Brzo građenje stambenih objekata omogućeno je novim tehnologijama montažnog građenja, robotizacijom i integracijama CAD-CAM sustava. Kod nas unatoč prvim (i neuspješnim) koracima danas nema industrije građenja montažnih stambenih i drugih zgrada. Potencijalne mogućnosti drveta u tom smislu nisu još ni izdaleka iskorištene. Unatoč recentnim uspješnim građenjem montažnih objekata u smislu primjene kanadske tehnologije, ništa nije urađeno da se takva ili slična tehnologija usvoji i kod nas. Brzo građenje niza prostora omogućeno je primjenom repetitivnih elemenata, modula, kao što je slučaj kod mrežastih i sličnih hala od drveta i metala. Pri upotrebi betona ne vodi se računa o utrošcima energije u proizvodnji i cjelokupnoj cijeni transporta i materijala i proizvoda. O suvremenim stremljenjima IT u građevinarstvu, projektiranju, građenju, i o projektima **ICARIS**, **TIGRA**, te **ESPRIT ToCEE** može se početi sa stranice prof. Ž. Turka: <http://itc.fgg.uni-lj.si/~zturk/>. U Hrvatskoj se samo na jednoj lokaciji (IZGRADNJA u Ogulinu) primjenjuje robotski **CAD - CAM sustav** za proizvodnju drvenih krovista, s potencijalnim mogućnostima izvođenja drvenih zgrada od piljene građe. Također ima mjesta optimizmu kad se pogleda nova **robotska industrijska proizvodnja** velikodimenzionalne šuplje cigle u Karlovcu (Wienerberger). **Građenje robotima** kod nas je još znanstvena fantastika.
8. Nadziranje faza građenja na daljinu ostvaruje se primjenom umjetne stvarnosti (*virtual reality*, VR). Primjena VR već danas pomaže arhitektima i inženjerima da "vide" u prostoru objekt koji projektiraju, kojeg će nadzirati građenje, graditi i iskorištavati u budućnosti. Radi se na V-manipulacijama R-bazama podataka vezanim uz sve faze projektiranja, građenja i eksploatacije objekata. Razmatraju se ideje računala-odijela (*wearable computers*), kao osobnog asistenta osoba. Web stranice: <http://www.hitl.washington.edu/projects/vrd/>, <http://www.mvis.com/>, kao i s stranice međunarodnih i europskih znanstvenih projekata (ESPRIT ToCEE i drugih) s navedenog portala prof. Ž. Turka i s europskog polaznog portala za obavijesti i savjete u graditeljskom okruženju: <http://helios.bre.co.uk/connet/main.html>.
9. Razvoj hardvera i softvera jest brz i vjerojatno će već za desetak godina proračuni konstrukcija (nosivosti i stabilnosti) biti riješeni rutinskim korištenjem softvera s ugrađenim inteligentnim komunikacijskim mogućnostima s korisnicima. Dio standardnih tablica i rutinskih programa (softvera) nalazit će se na stranicama Interneta, kao što će se i standardi (EC, ISO i drugi) nalaziti na stranicama Interneta brokera za standarde. Uglavnom će za nekoliko godina standardi biti uobličeni kao **ekspertni sustavi**. Već je sada jasno da se veliki dio znanja može uobličiti u obliku ES (bilo pisanog na pravilima ili živčanim mrežama, ili integriranih obaju sustava). Kako to već izgleda može se prosuditi po stranicama Interneta <http://www.arcate.com/builcode.cfm> o građevinskim standardima. To će znanje biti instantno dostupno korisnicima. Dio struke će se stoga morati reprofilirati i redefinirati. To se već nazire i u mijenjanju imena nekim građevinskim, arhitektonskim i geodetskim fakultetima u industrijski naprednim zemljama. Također je jasno da će i obrazovanje građevinskih inženjera pretrpjeti radikalne izmjene uvođenjem virtualne ili **teleedukacije**.

Navedene promjene su neposredno predstojeće. One su već prisutne u svijetu.

3 Zaključak

Za implementaciju promjena potreban je drugačiji informacijski pristup od dosadašnjeg. Bez široke osnove savladavanja osnovnih znanja IT već u najranijoj dobi, ne može biti ni uključivanja u suvremeno informatičko ili "postinformatičko" doba. Većina nastojanja je "krpanje"

tehnološkog zazora. Privremeni zastoj u primjeni robotizacije u građenju zgrada u Japanu, uzrokovan je nedovoljnom informatičkom obrazovanošću svih sudionika (subcontractora) u cijelom procesu građenja. Stoga neke korporacije razmatraju mogućnosti (koje i realiziraju) razdjelbe računala svojim radnicima i namještenicima, kao što i neke vlade (među njima i talijanske) donose odluku da svakom školarcu namijene njegovo računalo, kako bi se i djeca i radnici uputili u novu eru informatičkog i postinformatičkog razvoja. U Velikoj Britaniji

planski nastoje mala građevna poduzeća podići na razinu potrebite informatičke obrazovanosti, kako bi se svi sudionici procesa građenja mogli uključiti u IT procese. Naša pozicija u tom smislu nije ružičasta. Osim izgubljenog vremena i našeg autističkog "samoisključenja" iz Europe i naprednog svijeta i gubitka međugeneracijskog kontakta struke, mi još i sada ništa ne poduzimamo u smislu kročenja u smjeru već poznatog i nezaobilaznog puta napretka.

LITERATURA

- [1] Marchal McLuhan: *The Mechanical Bride: Folclore of Industrial Man*, Toronto Vanguard Press, 1951.
- [2] Marchal McLuhan: *Exploration in Communications*, Ed: E.Carpenter & M. McLuhan, Boston, BeacinPress, 1960.
- [3] Marchal McLuhan: *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*, Toronto, University of Toronto Press, 1962.
- [4] Marchal McLuhan: *Understanding Media: The Extension of Man*, New York, McGraw-Hill, 1964.
- [5] Marchal McLuhan: *The Medium is The Massage: An Inventory of Effects*, New York, Bantam, 1967.
- [6] Marchal McLuhan: *War and Peace in the Global Village*, New York, Bantam, 1968.
- [7] Popko, E.: *Geodesics*, School of Architecture, University of Detroit, Detroit, Michigan, 1968.
- [8] Žagar, Z.: *Geodetske kupole* Građevinar 23(1971)7, 207.-214.
- [9] Buckminster Fuller, R. & Marks, R.: *The Dymaxion World of Buckminster Fuller*, Anchor Books, Anchor Press/Doubleday, New York, 1973.
- [10] Buckminster Fuller, R. (in collaboration with E. J. Applewhite, Synergetics, MACMILAN Publishing Co. Inc. New York, 1975.
- [11] Marchal McLuhan: *Laws of the Media: The New Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1978.
- [12] Žagar, Z.; Baljkas, B.: *Aluminijska geodezijska kupola*, Građevinar 40(1982)12, 461.-464.
- [13] Vanderklaau, P. V.: *New Technology is now available for You too*, Build Your Own Geodesic Dome, Key Dome, 1983.
- [14] Žagar, Z.: *Automatsko prednaprezanje (K-54)*, Materijali VII kongresa SDGKJ, Cavtat, 1983, str. 467-478
- [15] Klajić, D.: *Diplomski rad*, Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 1985.
- [16] Žagar, Z.; Magerle, M.; Baljkas, B.; Haiman, M.: *Pneumatische Diskusse und Balken*, Bauingenieur 62 (1987) 307.-310.
- [17] *IABSE Colloquium Berlin 1988.*, Saving Building in Central and Eastern Europe, IABSW ETH Zurich (s CD-om), Materijali simpozija.
- [18] Žagar, Z.: *Pneumatske grede*, Građevinar 42(1990)3 111.-119.
- [19] Žagar, Z.: *Pneumatske grede od tankog lima* Građevinar 42(1990)9, 377.-384.
- [20] Žagar, Z.: *Proračun konstrukcija računalom, Osnove drvenih konstrukcija i modeliranje*, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [21] Žagar, Z.; Delić, D.: *In Echtzeit computergeregelte Konstruktionen*, Bauingenieur 69 (1994) 63.-72.
- [22] *Computers in Practice of Building and Civil Engineering*, ECCE Symposium, Lahti, Finska, 1997. materijali simpozija
- [23] *Inteligentno vođenje – Intelligentni sustavi*, Hrvatsko društvo za sustave CROSS, Zagreb, 1998., materijali savjetovanja.
- [24] Žagar, Z.: *Drvene konstrukcije.*, Skripta 1,2,3,4, Građevinski fakultet Zagreb, 1998.
- [25] *Obrazovanje za informatičko društvo*, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske i Hrvatsko društvo za sustave, Zagreb, 1999, Zbornik radova simpozija.
- [26] Adeli, H.; Saleh, A.: *Control, Optimization and Smart Structures*, High-Performance Bridges and Buildings of Future, J. Wiley & Sons, Inc. 1999.
- [27] *** *Energy Structures*, Inc. Materijali: Plans, specifications, Prices, WhiteBear Lake, Minesota

Stranice na Internetu

- [28] <http://www.pbs.org/bucky>
Polazna web stranica o R. Buckminster Fulleru
- [29] <http://wnet.org/bucky/dome.html>
- [30] <http://www.teleport.com/~pdx4d/domeman.html>
Popis proizvođača feodetskih i drugih kupola
- [31] <http://www.teleport.com/~pdx4d/domegeo.html>
- [32] <http://www.leleport.com/~pdx4d/volumes.html#ve>
- [33] <http://www.telepoert.com/~pdx4d/synhome.html>
- [34] <http://www.teleport.com/~pdx4d/design.html>
- [35] <http://www.branchmall.com/dome/dome.html>
Kupole od drveta, crteži, geometrija
- [36] <http://www.geometrica.com/> Kupole Geometrica
- [37] <http://www.geometrica.com/CircularDomes.html#anch>
- [38] <http://www.geometrica.com/Freedome.html>
Konstrukcije velikih raspona od aluminijske i čelika
- [39] <http://www.geometrica.com/Longitudinal.html>
Mrežasti metalni svodovi velikih raspona

- [40] <http://www.geometrica.com/SpaceFrames.html>
Perostorne konstrukcije
- [41] <http://www3.sympatico.ca/geodome/>
Kanadski istraživački projekt kupola od drveta
- [42] <http://www.monolithicdome.com/> Stambene slične kupole od prskanog betona korištenjem napuhane pneumatske oplate.
- [43] <http://www.domes.com/> Oregon kupole
- [44] <http://www.seusus.com/companies/temcor/index.html>
Kupole TEMCOR
- [45] <http://www.domehome.com/> Sustavi građenja TIMBERLINE geodetskih kupola – drvenih stambenih kuća.
- [46] <http://www.netaxs.com/people/cjf/fuller-faq.html>
Učestala pitanja o geodetskim kupolama i filozofiji R. B. Fullera.
- [47] <http://cargolifter.com> Polazna stranica (portal) o informacijama o novom modu prometa Cargolifter-u.
- [48] <http://www.thebluebook.com/cl/all100.htm> The Blue Book of Bioldong and Construction. Mreža: The Construction Infrmation Network sa bazom podataka od preko 800,000 kompanija s preko 46,000 prikaza profila građevinskih kompanija USA. Baze: izvođača, dobavljača, proizvođača, arhitekata, podizvođača opreme, nabavljača i distributera opreme, inženjera. Sa BB bid sustavom Blue Book database bazom za ponude radova: dvosmjerne komunikacije, upravljanja radovima (*project management*), kalendarom radova, osobnom knjigom. Može se tražiti besplatni primjerak BlueBook knjige preko navedenog linka s navedene stranice WEB-a.
- [49] <http://www.apawood/design/> Uvod u design APAWOOD organizacije proizvođača drvenih konstrukcija USA, WEB pomoć u projektiranju (npr. drvenih kuća, drvenih stropova i drvenih krovišta).
- [50] Marchal McLuhan:
(<http://www.mcluhan.utoronto.ca/mm2.html>) i:
(http://www.mcluhanmedia.com/m_mcl_manmessage.html)
stranice WEB-a o M. McLuhanu.
- [51] <http://www.edrc.cmu.edu> -Stranice Instituta Crnegie Melon University Institute for Complex Engineered Systems .
- [52] <http://www.ce.cmu.edu/~gareett> -Web stranica prof. James H, Garretta Jr. s prototipom Brokera za tumačenje standarda Zaštite okoliša