

doc. dr. Janez Reflak, univ. dipl. inž. grad.
janez.reflak@gmail.com



prof. dr. Žiga Turk, univ. dipl. inž. grad.
ziga.turk@fgg.uni-lj.si



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR),
Jamova 2, 1000 Ljubljana

Pregledni znanstveni članek
UDK 69:004.41(497.4)(091)

50 LET GRADBENE INFORMATIKE NA IKPIR

50 YEARS OF CONSTRUCTION INFORMATICS AT IKPIR

Povzetek

Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR) je tesno povezan z uvajanjem računalništva v slovensko gradbeništvo. Njegovo jedro tvorijo posamezniki, ki so konec šestdesetih in v začetku sedemdesetih let razumeli potencial računalnikov v gradbeništvo in ki so skozi desetletja razvoja medse pritegnili vedno nove in nove generacije, ki so v digitalni tehnologiji videle pomemben vzvod za napredek. IKPIR ima korenine v Računskem centru takratne Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, ki je bil ustanovljen leta 1971 in v katerem se je zbralo jedro ekipe IKPIR – Janez Reflak, Peter Fajfar in Janez Duhovnik. Do leta 1981 je center kot podporna enota fakultete za računalniške zadeve postal pretesen za svoje bogato raziskovalno, strokovno in pedagoško strokovno delo in se je preimenoval v Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo. Potem ko se svetovni razvoj v devetdesetih pokazal, da je gradbena informatika samostojno raziskovalno in pedagoško področje znotraj gradbeništva, sta se znotraj IKPIR oblikovali dve katedri: Katedra za konstrukcije in potresno inženirstvo ter Katedra za gradbeno informatiko. Jedro slednje so tvorili Iztok Kovačič, Vid Marolt, Žiga Turk, Matevž Dolenc, Tomo Cerovšek, Vlado Stankovski, Robert Klinc in Andreja Istenič Starčič, ki so tudi jedro raziskovalne skupine eGradbeništvo. Ti organizacijski mejniki tudi vsebinsko členijo delo na področju gradbene informatike. V prvem obdobju, ki se začne še s paketnimi obdelavami, je bil računalnik orodje, ki je omogočalo hitrejšo analizo konstrukcij in podporo reševanju drugih vrst problemov – predvsem analitičnih. V začetku osemdesetih s pojavom interaktivne opreme, osebnih računalnikov se analizi pridruži sinteza, torej konstruiranje, risanje in modeliranje. Računalnik postane orodje, s katerim inženir projektira in dokumentira načrte. S pojavom omrežij, predvsem interneta, dobi digitalna tehnologija tudi vlogo medija, prek katerega ljudje in računalniški programi sodelujejo in izmenjujejo informacije, gradbena informatika pa postane samostojna disciplina s svojimi predmetniki, študiji, konferencami in znanstvenimi revijami. Sodelavci IKPIR so bili v vseh obdobjih v stiku s svetovnim vrhom in so ga tudi sooblikovali.

Ključne besede: gradbena informatika, računalništvo, zgodovina, informacijsko modeliranje

Summary

Institute of Structural Engineering, Earthquake Engineering and Construction IT (IKPIR) is closely connected to the introduction of computing in Slovenian construction. Its core is made up of individuals who recognised the potential of computers in construction in the late 1960s and early 1970s and who, through decades of development, attracted many generations who saw digital technology as an important lever for progress. IKPIR has its roots in the Computing Center of the then Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, founded in 1971, where the core of the IKPIR team - Janez Reflak, Peter Fajfar and Janez Duhovnik - came together. By 1981, the center, as a Support Unit of the Faculty for Computing, had become too narrow for its rich research, professional and educational work, and was renamed the Institute of Structural Engineering, Earthquake Engineering, and Construction IT. After the global development in the 1990s showed that construction informatics was an independent research and educational field within construction, two chairs were established within IKPIR: the Chair of Structural and Earthquake Engineering and the Chair of Construction Informatics. The core of the latter consisted of Iztok Kovačič, Vid Marolt, Žiga Turk, Matevž Dolenc, Tomo Cerovšek, Vlado Stankovski, Robert Klinc and Andreja Istenič Starčič, who are also the core of the eGradbeništvo research group. These organizational milestones also divide the work in the field of construction informatics in Ljubljana. In the first period, which began with batch processing, the computer was a tool that enabled faster analysis of structures and support in solving other types of problems - especially analytical ones. In the early 1980s with the advent of interactive equipment and personal computers, synthesis was added to analysis, i.e. construction, drawing and modeling. The computer becomes a tool with which the engineer designs and documents designs. With the advent of networks, especially the Internet, digital technology also takes on the role of a medium through which people and computer programs collaborate and exchange information, and construction informatics becomes an independent discipline with its own curricula, studies, conferences and scientific journals. Members of IKPIR have been in contact with the global state of the art and have also co-created it.

Key words: construction informatics, computer science, history, information modeling

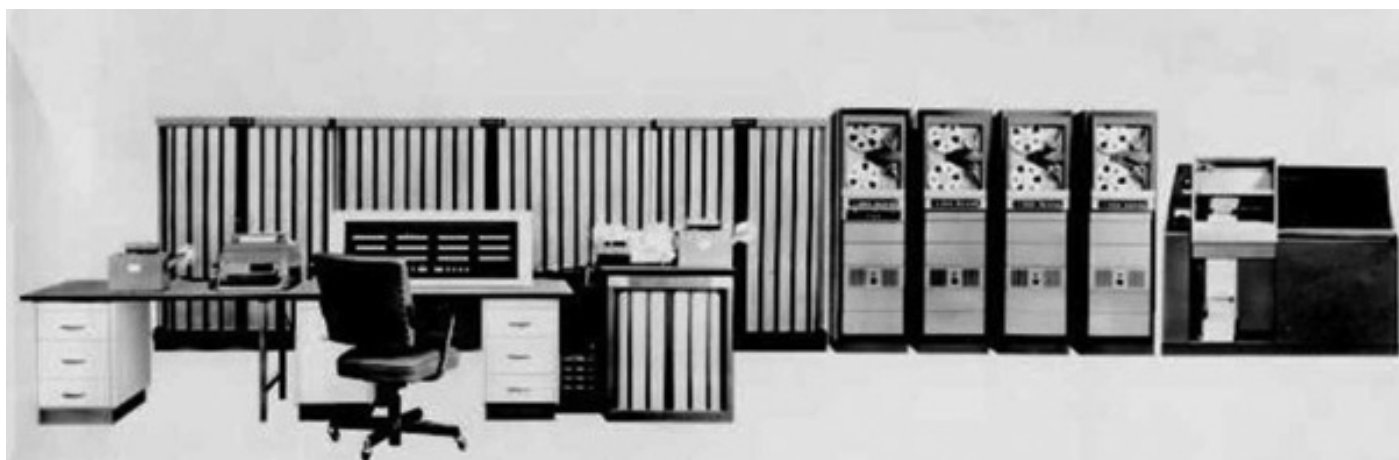
1 ZAČETKI

Univerza v Ljubljani je prvi računalnik dobila leta 1963. To je bil ZUSE Z23, ki je bil inštaliran na Inštitutu za matematiko, fiziko in mehaniko (IMFM). Deloval je v taktu 140 kHz, tehtal okrog ene tone in rabil 4000 W moči. Zmogel je ca. 50 operacij s plavajočo vejico na sekundo [Zuse, n.d.]. V letih 1965–68 je IMFM dobil računalnik IBM 1130, na katerem je tekel tudi program za račun konstrukcij STRESS [Fenves, 1965]. Po naročilu gradbenega konstruktorja Dušana Raiča je s tem programom takrat asistent Janez Reflak računalniško konstrukcije hotelov v Portorožu, ki so jih načrtovali pod vodstvom arhitekta Eda Mihevca.

V letih 1968–70 je v okviru Republiškega računskega centra v Stegnah deloval nov, močnejši računalnik CDC 3300. Enako kot IBM 1130 je deloval z luknjanimi karticami, imel pa je že magnetne trakove za shranjevanje podatkov in rezultatov.

zne terminalne opreme, o ekipiranju enote in o sistematiziranju mesta učitelja za predmet Programiranje. Za predstojnika enote je bil predlagan asistent Janez Reflak, za predavatelja predmeta Programiranje pa Peter Fajfar. Fakultetni svet FAGG je 27. 10. 1971 za potrebe pedagoškega, znanstvenoraziskovalnega in strokovnega dela ustanovil Računski center Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo (RC FAGG) in za vodjo imenoval Janeza Reflaka.

V prvem obdobju svojega delovanja se je RC FAGG ukvarjal predvsem z uvajanjem uporabe računalnikov v pedagoški proces, v raziskovalno delo in v gradbeniško prakso. Skupaj z gospodarskimi organizacijami je RC FAGG leta 1974 obstoječi pasivni terminal zamenjal z aktivnim terminalom CDC-1700, ki je imel tudi magnetno enoto. Ta se je uporabljala predvsem za risanje na risalniku DP-3-M1 in kasneje na velikem risalniku VERSATEC formata DIN A0, ki je bil v tistem času največji risalnik v civilni uporabi v Jugoslaviji.



Slika 1. Zuse Z23 [Zuse, n.d.].

Leta 1969 je Slovenija dobila za tiste čase sodoben in zelo zmogljiv računalnik CYBER 6600, ki so ga leta 1972 zamenjali za Cyber 72, ki je bil nameščen na Jadranski ulici v novi stavbi Republiškega računskega centra. CYBER 72 je omogočal tudi mrežo pasivnih terminalov, na katero se je iz nove stavbe na Jamovi 2 s svojim priključila tudi takratna Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo (FAGG). FAGG je takrat imela pasivni batch terminal CDC-200 USER, 2 luknjača kartic IBM-029 in eno verificirko. Leta 1969 torej FAGG v svoje prostore dobi prvo resno računalniško opremo in takoj identificira priložnosti nove tehnologije [Duhovnik, 1969].

2 RAČUNSKI CENTER FAGG

Razprave o potrebi po ustanovitvi računskega centra FAGG segajo v začetek leta 1971. Pedagoško-znanstveni svet FAGG je na seji 15. 4. 1971 soglasno sprejel sklep, da se osnuje računalniška enota pri FAGG. Fakultetni svet FAGG je imenoval Komisijo za računalništvo v naslednji sestavi: dekan Saša Sedlar, Ivan Čuček, Bogdan Kilar, Tine Kurent, Mirko Pregl, Janez Reflak, Hinko Šolinc in Blaž Vogelnik. Za predsednika je bil soglasno izvoljen asistent Janez Reflak. Na Komisiji je takoj stekla razprava o ustanovitvi Računalniške enote FAGG, o nabavi ustre-

Istočasno je RC FAGG pridobil najosnovnejše kadre, ki so bili potrebni za tekoče operativno in strokovno delo pri računalniški obdelavi. 15. 12. 1971 je mesto tehničnega vodje Računskega centra FAGG zasedel Peter Fajfar. RC FAGG je zaposlil strokovnega sodelavca za programsko opremo Zdeneta Breško, asistenta za predmet Programiranje Iztoka Kovačiča, operaterko za delo na terminalu Natašo Mayer in operaterko na luknjačih Lidijo Božič-Košak.

V zimskih počitnicah 1971/72 je RC FAGG že organiziral osnovni tečaj iz programiranja in računalništva za pedagoško osebje, ki ga je obiskovalo 26 profesorjev in asistentov. Enak tečaj je bil organiziran v februarju tudi za absolvente Oddelka za arhitekturo.

V tem obdobju se je začela tudi uporaba računalnikov pri strokovnem delu. Posamezni mlajši člani fakultete, predvsem iz Konstrukcijskega odseka, ki so že prej pri svojem delu individualno uporabljali računalnik Republiškega računskega centra, so svoje delo povezali v okviru RC FAGG. Ti sodelavci RC FAGG so sodelovali pri več projektih s področja statike in potresne analize zahtevnejših mostov in stavb. Dolgoročno sodelovanje z RC FAGG so vzpostavili mnogi projektantski biroji v Sloveniji, med njimi SGP Gorica, PNZ Ljubljana, IBT Trbovlje, Slovenija projekt, IBE, Konstruktor



Slika 2. Risalnik Versatec.

Maribor, Stavbar Maribor, Ingrad Celje, Vegrad Velenje in Cestni sklad.

Iz sredstev, ki so jih sodelavci RC FAGG zaslužili s svojim strokovnim delom, so se začeli udeleževati raznih seminarjev, izobraževanj in kongresov doma in v tujini. V študijskem letu 1972/73 bil Peter Fajfar s štipendijo DAAD na študijskem izpopolnjevanju na Univerzi v Bochumu, kjer je pripravljal svojo doktorsko disertacijo. Julija 1973 se je udeležil V. svetovnega kongresa o potresnem inženirstvu v Rimu. Septembra 1973 se je Zdene Breška udeležil 7. mednarodnega simpozija računalništva v Davosu, oktobra 1973 pa sta se Peter Fajfar in Janez Reflak udeležila sedemdnevnega seminarja IFIP na Bledu. Aprila 1974 je RC FAGG že organiziral štiridnevni seminar o uporabi računalnikov za račun konstrukcij v Ljubljani, kjer so bili predavatelji sodelavci RC FAGG. Novembra 1974 je 11 sodelavcev RC FAGG obiskalo svetovno razstavo gradbeništva in računalništva v Londonu. Tako se je začelo odpiranje RC FAGG v svet.

Sodelavci RC FAGG so se angažirali na aplikaciji obstoječih programskih paketov za pedagoški in raziskovalni proces ter za uporabo v praksi. Za račun konstrukcij so v začetni fazi uporabljali ameriški program STRESS. Preprogramirali ali na novo so napisali več kot 100 krajših programov in podprogramov s področja matričnega računa, linearne algebre, diferencialnih enačb, numerične integracije, specialnih funkcij ter programe za risanje na tiskalnik in risalnik.

V letu 1972 je RC FAGG izdal svojo prvo publikacijo avtorja Petra Fajfarja »Analiza horizontalno obteženih nesimetričnih večetažnih konstrukcij« z vsemi teoretičnimi osnovami in praktičnimi primeri za avtomatični račun konstrukcij pri potresni obtežbi. V letih 1972–79 je bilo izdanih več kot 15 publikacij.

Uporaba računalnika v pedagoškem procesu se je iz leta v leto povečevala za več kot 50%.

V letu 1974 je RC FAGG organiziral 2 tečaja za programski jezik FORTRAN za študente oddelka za arhitekturo, tečaj za osnove FORTRANA za celotno pedagoško osebje FAGG ter seminar o uporabi elektronskih računalnikov za račun konstrukcij z udeležbo 85 gradbenih konstruktorjev iz cele Slovenije.

Poleg seminarjev in tečajev doma je RC FAGG s svojimi sodelavci sodeloval z referati ali predavanji še na seminarjih v okviru Republiškega računskega centra Slovenije in drugih organizacij. V teh letih je RC FAGG s svojimi sodelavci dosegel v zelo kratkem času zelo dober stik z gradbeno projektivo in operativno po celi Sloveniji. Praktično ni bilo pomembnejšega novega objekta, za katerega ne bi bil statični račun narejen s sodelovanjem sodelavcev iz RC FAGG. RC FAGG je ves čas sledil razvoju na računalniškem področju. Predvsem Iztok Kovačič in Zdene Breška sta bila vedno na tekočem z novitetami.

V letih 1973 in 1975 sta bili zaključeni tudi prvi dve obsežni »računalniški« raziskovalni nalogi, ki ju je sofinanciral Sklad Borisa Kidriča: »Uvajanje novih obstoječih programov za elektronske računalnike s področja teorije konstrukcij« in »Problemsko orientiran računalniški jezik za račun konstrukcij« [Reflak, 1975]. V slednji sta bila razvita programa RAVOK in STRESSPLOT. Sploh prva raziskovalna naloga tedanjega računskega centra pa je bila »Analiza horizontalno obteženih nesimetričnih večnadstropnih konstrukcij«, ki je bila zaključena maja 1972.

Prvi domači aplikativni programi so bili izdelani najprej za IBM 1130, kasneje so bili dodelani in prirejeni za računalnik CYBER. Za račun konstrukcij so se uporabljali [Fajfar, 1977] STRESSPLOT za grafični prikaz rezultatov programa STRESS, RAVOK in BRANA za račun ravninskih okvirov in bran (kasneje OKVIR), DAVEK za statično in dinamično analizo večetažnih konstrukcij (kasneje EAVEK), HOST za račun sten z več vrstami odprtin, PALID za račun velikih prostorskih paličnih sistemov in STRIP za račun trakastih temeljev. Uporabljali so se tudi tuji programi, ki so omogočali račun po metodi končnih elementov: EASE za statično analizo splošno oblikovanih konstrukcij, FEAPS, dobljen iz ETH Zürich, za račun plošč in rebrastih plošč in FLASH za statični račun splošnih konstrukcij. Zunanji sodelavec Borut Dobovišek je izdelal program SHELLS za račun lupinastih konstrukcij. Razvit je bil obsežen specialni program MOL Gorica, ki je omogočal celoten statični račun in variantno dimenzioniranje (vključno s temelji) industrijskih montažnih hal MOL-Gorica [Duhovnik, 1977]. V naslednjih letih je bilo s tem programom za področje celotne Jugoslavije izračunanih ca. 300 različnih hal tega tipa. Za analize vodovodnega in kanalizacijskega omrežja so bili izdelani programi CROSS 1 in CROSS 3 za izračun velikih mestnih vodovodnih omrežij, CROSSPLOT T- program za izračun mestnega vodovodnega omrežja z grafičnim izhodom na risalnik ter KANALI in KANALR za izračun mestne kanalizacijske mreže.

Sodelavci RC FAGG so z izdanimi publikacijami in s predelanimi aplikativnimi programi, ki so jih uspešno preko seminarjev uvedli v vsakodnevno prakso in zanje napisali tudi uporabniške priročnike, ustvarili pogoje, da so začeli vse te programe uporabljati tudi študentje pri svojih diplomah II. in III. stopnje ter pri vajah predmetov Statika gradbenih konstrukcij, Računanje konstrukcij, Dinamika gradbenih konstrukcij, Masivne konstrukcije, Jeklene konstrukcije, Lesene konstrukcije, Statika ploskovnih konstrukcij idr.



Slika 3. Računski center FAGG ca. 1981. Spredaj je računalnik CDC 1700 s tiskalnikom (pri oknu) in diskovnim pogonom (skrajno desno), zadaj v kotu risalnik Versatec A0 s pripadajočim tračnim pogonom.

Sodelavci RC FAGG so s sofinanciranjem Republiške raziskovalne skupnosti v teh letih opravili raziskovalne naloge: Problemsko orientiran računalniški jezik za račun konstrukcij, I. in II. del (1975), Uvajanje programa za statično in dinamično analizo konstrukcij SAP IV, I. in II. del (1977), Ekonomizacija računanja ravninskih konstrukcij z MKE (1978), Račun večetažnih konstrukcij pri seizmični obtežbi, II. del (1978).

O svojem delu so sodelavci RC FAGG začeli poročati in sodelovati na jugoslovanskih in evropskih kongresih v Ohridu, Budvi, Istanbulu, Sarajevu, Cavtatu, Bledu, Toulusu, Dubrovniku. Duhovnik, Fajfar in Reflak so se udeležili VI. svetovnega kongresa o potresnem inženirstvu v New Delhiju leta 1977.

Za gospodarsko zbornico je RC FAGG izdelal Program srednje-ročnega razvoja gradbeništva in industrije gradbenega materiala za obdobje 1976–80, in sicer za področje elektronske obdelave podatkov.

V sedemdesetih letih so sodelavci RC FAGG organizirali več seminarjev, ki se jih je udeleževalo med 70 in 100 udeležencev iz Slovenije in Jugoslavije. Izstopa seminar, ki so ga organizirali skupaj z Univerzo Berkeley (ZDA), z naslovom »Statična in dinamična analiza konstrukcij z metodo končnih elementov – SAP IV«, ki mu je sledilo dolgoletno sodelovanje s to univerzo.

Jedro raziskovalcev in strokovnih sodelavcev so v teh letih tvorili: Zdene Breška, Janez Duhovnik, Peter Fajfar, Iztok Kovačič, Boris Lutar, Hinko Šolinc, Vid Marolt, Ervin Prelog, Janez Reflak, Matej Fischinger, Smiljan Sočan, Janoš Szilagyí in Marta Marek. 1976 je RC FAGG zaposlil tudi tehnično sodelavko Alenko Bezljaj-Kreft. Vsa tajniško-organizacijska dela in prevajanje pa je za RC FAGG opravljala Darja Okorn, prof. angl.

V drugi polovici sedemdesetih so bile glavne usmeritve RC FAGG: (1) Račun večetažnih konstrukcij pri seizmični obtežbi, (2) Izdelava računalniških programov za področje teorije konstrukcij, dimenzioniranja in konstruiranja, (3) Razvijanje računalniške grafike. Razvoj slednje je pospešil Andrej Vitek.

Sredi sedemdesetih se je v RC FAGG začelo razmišljati o interaktivnem delu in začeli so uporabljati prve namizne terminale KOPA. Takrat, še bolj pa v osemdesetih so se začeli pojavljati tudi prvi računalniki, zgrajeni okrog mikroprocesorjev, ki so računsko moč sčasoma iz oddaljenih računalnikov prenesli na inženirjevo mizo.

3 INŠTITUT TUDI ZA RAČUNALNIŠTVO

Računski center FAGG je s svojo izjemno bogato in razvejano pedagoško, raziskovalno in strokovno dejavnostjo zelo hitro prerasel organizacijsko obliko, ki je bila namenjena splošni podpori uvajanja računalništva na fakulteti. Organizacijska oblika računskega centra je v desetih letih hitrega razvoja postala pretesna.

Jeseni, 8. 11. 1979, se je RC FAGG preimenoval v Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR), kar je bolje odražalo raziskovalni, pedagoški in strokovni značaj enote in sodelavcev, vsebinsko pa uokvirilo tri med seboj prepletena področja dela. V letih, ki so sledila, se je IKPIR razvil v najmočnejšo pedagoško in raziskovalno interno enoto na fakulteti tako po številu sodelavcev kot po številu opravljenih domačih in mednarodnih raziskovalnih projektov ter po številu objavljenih del.

Predstojnik inštituta IKPIR, od ustanovitve do leta 2001, do svoje upokojitve (razen v obdobju 1985-1989, ko je bil direktor Inštituta za metalne konstrukcije), je bil Janez Reflak.

Dejavnost na področju konstrukcij je obsegala raziskave metod projektiranja konstrukcij, razvoj računalniških programov in njihovo uvajanje v prakso ter projekte, ki vključujejo nelinearne analize konstrukcij in industrijskih procesov. Sodelavci inštituta IKPIR so na začetku delovanja preučevali sodobne metode analize konstrukcij, vključno z metodo končnih elementov. To je omogočalo uvajanje metode končnih elementov v študijski program, razvoj lastnih računalniških programov in uvajanje le-teh ter tujih računalniških programov za analizo konstrukcij v prakso.

Sredi osemdesetih se je programiranje preselilo na osebne računalnike tipa IBM PC. Tipičen računalnik iz tistega časa je imel 640 kB RAM-a, 20 MB trdega diska in barvno VGA-grafiko ločljivosti 640 x 480 slikovnih elementov.

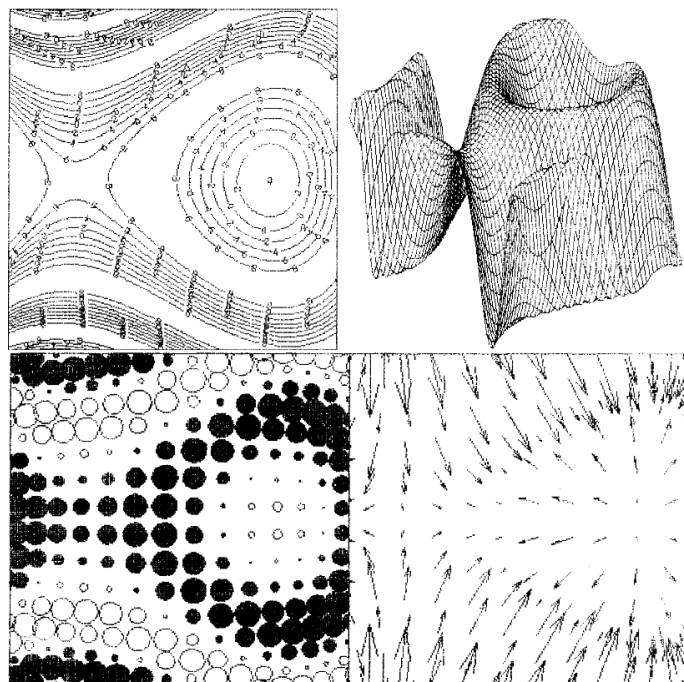
Razviti so bili splošni programi za račun linijskih konstrukcij, plošč in konstrukcij stavb ter posebni programi za račun montažnih betonskih konstrukcij [Reflak, 1980]. Programsko opremo so uporabljali številni projektanti gradbenih konstrukcij v Sloveniji pa tudi drugod po nekdanji Jugoslaviji in z njo je izračunana večina pomembnejših stavb v Sloveniji. Najbolj znani programi so bili OKVIR, EAVEK, DIAS in MONCAD [Duhovnik, 1989a].

Konec sedemdesetih so se pojavila prva dela s področja računalniške grafike ([Pangeršič, 1979], [Ljubič, 1980]). V začetku osemdesetih let je razvoj računalniške grafike omogočil uporabo računalnikov tudi pri tistih delih procesa projektiranja, ki so bili dotlej izvedljivi le s klasičnimi metodami. Pod vodstvom Janeza Duhovnika in sodelavcev Vlada Ljubiča, Dejana Žlajpaha, Toneta Knifca in Blaža Dolinška so bili v inštitutu IKPIR raziskani postopki računalniškega projektiranja armature [Duhovnik, 1990] in razviti programi, katerih rezultat so bili armaturni načrti [Dolinšek, 1997]. Raziskovali so tudi možnosti za robotizirano sestavljanje armature [Dolinšek, 1998]. Rezultati teh programov so bili neposredno uporabni tudi za planiranje in vodenje proizvodnje v železokrivnicah. Večini obstoječih programov so bili dodani posodobljeni grafični pred- in po-procesorji.

V drugi polovici osemdesetih let so začeli raziskave ekspertnih sistemov [Duhovnik, 1989b], med drugim na področju tehniških predpisov [Turk, 1995a]. Za nadaljevanje raziskav postopkov za projektiranje armature so se raziskovale možnosti za robotizirano sestavljanje armature. Procesi sestavljanja so se proučevali z uporabo programov za simulacijo robotiziranih procesov, ki omogočajo oceno izvedljivosti in gospodarnosti robotskih sistemov.

V Sloveniji je bilo raziskovanje povezano v projektu republiške raziskovalne skupnosti z naslovom Računalnik v gradbenem inženirstvu in potresno inženirstvo, v katerem so poleg že omenjenih sodelovali tudi Duška Tomšič, Igor Potočan, Vanja Samec, Marko Verčnik in Jure Rihar. Na začetku 90. let so se sodelavci IKPIR prvič vključili v programe Evropske unije iz shem Tempus [Duhovnik, 1993] in sheme ESPRIT, ki je predhodnica evropskih okvirnih programov.

Konec osemdesetih let je Franjo Damjanič s sodelavci začel raziskovati na področju nelinearne numerične analize kon-



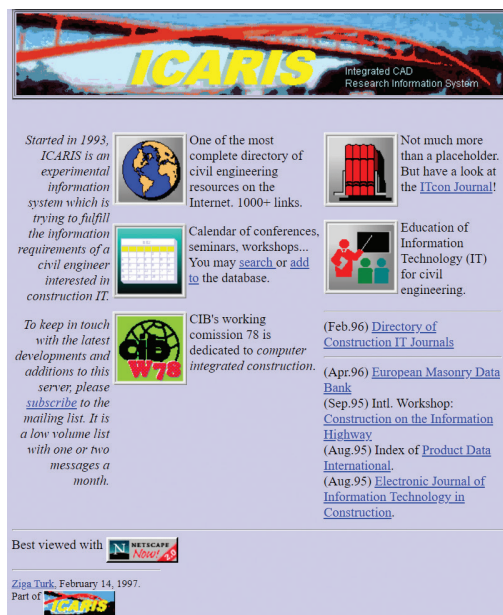
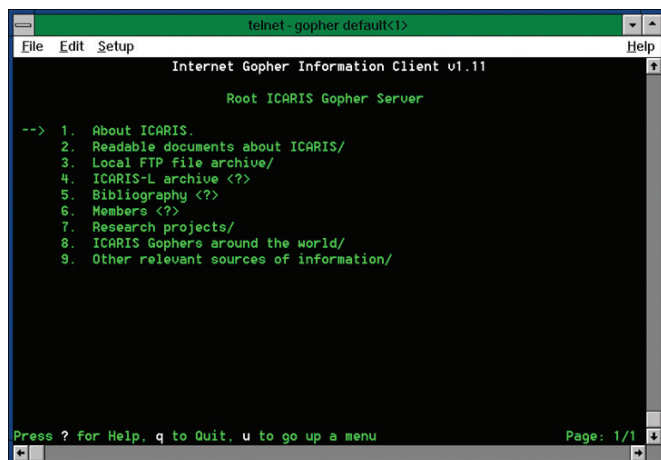
Slika 4. Izris s knjižnico P-Paket. Slika je iz priročnika za P-paket, prikazuje štiri načine predstavitve prostorske ploskve. Izris je narejen na matričnem tiskalniku na hišnem računalniku Atari.

strukcij in industrijskih procesov. Izvajale so se temeljne raziskave nelinearnih numeričnih postopkov, razvijali so se računalniški programi ter sodelovalo se je pri reševanju zahtevnih praktičnih inženirskih nalog. Razviti so bili različni nelinearni numerični modeli ter programska oprema za nelinearno analizo konstrukcij, za analizo interakcije tekočina-konstrukcija ter za nelinearno nestacionarno analizo prehoda toplote in termomehanskih problemov.

Intenzivna raba računalnika in avtorstvo programske opreme sta spodbudila razvoj na splošnejših področjih inženirske informatike. Andrej Vitek, Iztok Kovačič in sodelavci so se ukvarjali z računalniško grafiko ([Kovačič, 1977], [Kovačič, 1980]) in razvili lastne knjižnice za računalniško risanje, imenovano P-paket [Vitek, 1987].



Slika 5. Zbornik konference iz leta 1966, tiskana letnika revije ITcon, 1996 in 1997, ter zbornik konference iz leta 2002.



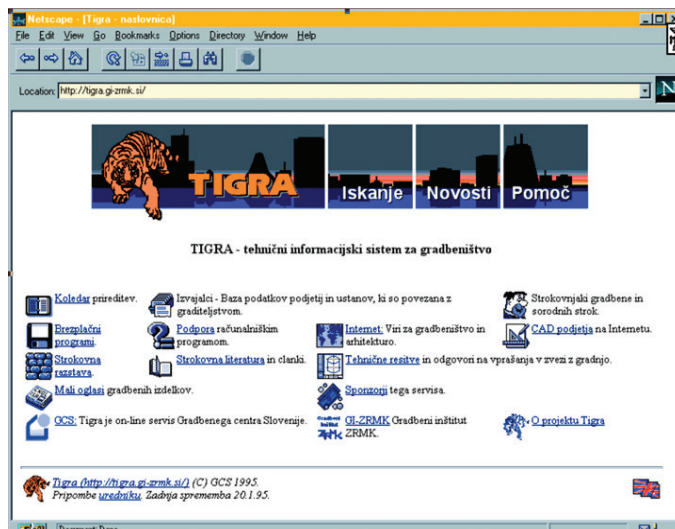
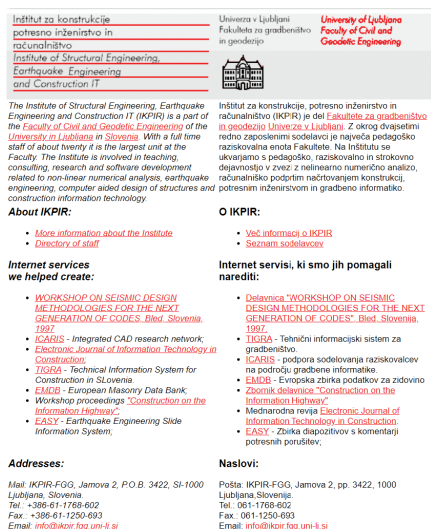
Slika 6. Levo storitve na internetu pred spletom leta 1993, desno ista storitev na spletu leta 1997.

Jeziku FORTRAN, v katerem so sodelavci IKPIR izdelovali programsko opremo, se je v začetku devetdesetih pridružil najprej C [Turk, 1987], potem pa še C++ [Turk, 1991] in objektni pristop na splošno [Kovačič, 1992]. Izток Kovačič je začel uvajati jezike C in C++, objekte zbirke podatkov in prijazne uporabniške vmesnike tudi v pedagoški proces. Vse večji programi so terjali tudi sistematičen, inženirski pristop pri njihovem razvoju, ki ga je v strokovno delo in pedagoški proces uvažal Izток Kovačič [Kovačič, 1988].

V začetku 90. let so se pojavila prva računalniška omrežja, ki so spodbudila razmišljanja o povezovanju različnih programov in ljudi ter s celovitim obvladovanjem informacij, ki nastajajo in so potrebne skozi celotno življenjsko dobo gradbenega objekta. Pod mentorstvom Janeza Du-

hovnika so se konec osemdesetih začele raziskave na področju informacijskega modeliranja [Turk, 1989] in se pridružile trendu svetovnih raziskav računalniško integrirane graditve [Turk, 1992].

V jedro raziskav na področju računalništva v gradbeništvu je takrat začel vstopati pristop najprej geometrijskega [Kovačič, 1995], potem pa informacijskega modeliranja. Sprva se je govorilo o modeliranju procesov in produktov, kasneje pa o informacijskem modeliranju zgradb in gradenj, s čimer se je jasno povedalo, da ne gre za makete arhitekturnega modeliranja ali za enačbe modeliranja v gradbeni mehaniki, tudi ne za geometrijsko modeliranje, ampak za to, kako celovito upravljati informacije v gradbeništvu.



Slika 7. Levo: domača stran IKPIR, kot je bila videti leta 1998. Storitve za slovensko gradbeništvo iz leta 1995.

Prva sistematična raziskava računalniško integrirane graditve na IKPIR je bila v letih 1993–95 v okviru temeljnega raziskovalnega projekta Računalniško integrirano projektiranje in gradnja armiranobetonskih konstrukcij. Sodelavci IKPIR so se vključili v delovno skupino W78 mednarodne organizacije za raziskave v gradbeništvu CIB in bili med soustanovitelji evropske zveze za produktno in procesno modeliranje EAPPM. Obe mednarodni skupini sta povezali raziskovalce na tem področju predvsem na letnih kongresih in delavnicah. Dve je organiziral tudi IKPIR – leta 1996 na Bledu z naslovom »Gradbeništvo na informacijski avtocesti« [Turk, 1996] in evropsko konferenco »eDelo in ePoslovanje v gradbeništvu« leta 2002 v Portorožu [Turk, 2002a].

20. 11. 1993 so sodelavci IKPIR kot eden izmed prvih univerzitetnih gradbenih oddelkov (in kot druga ustanova v Sloveniji, za Inštitutom Jožef Stefan) vzpostavili spletno stran in začeli objavljati na internetu. To je bilo mogoče tudi po zaslugi delovne postaje HP 9000/710, ki jo je IKPIR kupil iz sredstev projekta TEMPUS. Poganjal jo je operacijski sistem vrste UNIX, ki je bil pripravljen za priklop na internet.

Na internetu so sodelavci IKPIR oblikovali nekaj dobro obiskanih in citiranih servisov, ki so bili namenjeni predvsem mednarodni skupnosti raziskovalcev in učiteljev. V letih 1994 in 1995 so v sodelovanju z ZRMK in Gradbenim centrom Slovenije pripravili jedro slovenskega tehničnega informacijskega sistema za gradbeništvo – TIGRA [Turk, 1995b].

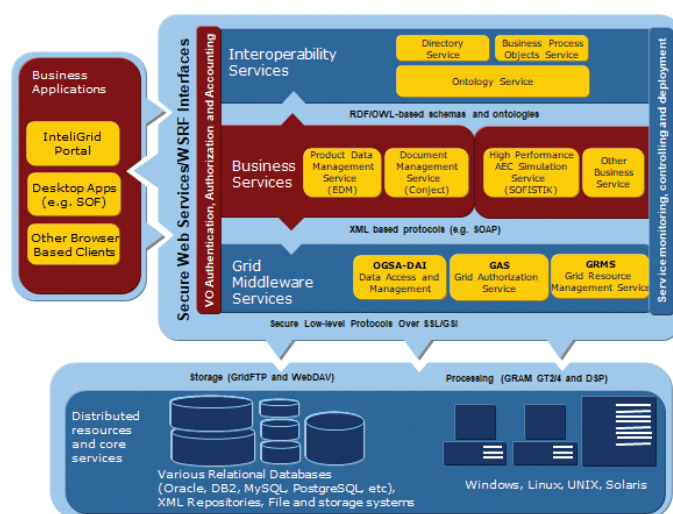
Leta 1996 so Charles Eastman, Bo-Christer Bjork, Dana Vanier in Žiga Turk ustanovili prvo znanstveno revijo s področja gradbene informatike v odprtem dostopu – Electronic Journal of Information Technology in Construction (www.itcon.org), ki na IKPIR izhaja še danes, v uredništvu pa sodelujeta Žiga Turk in Robert Klinc.

4 KATEDRA ZA GRADBENO INFORMATIKO IKPIR

V devetdesetih letih se je torej dotakratnim raziskovalnim in strokovnim izzivom, ki so bili povezani z računanjem konstrukcij in njihovim načrtovanjem, pridružila širša skrb za obvladovanje informacij v gradbeništvu ter za podporo sodelovanja med deležniki in izmenjavo informacij. 18. 4. 2001 sta se v okviru IKPIR oblikovali dve katedri, Katedra za konstrukcije in potresno inženirstvo (KKPI) ter Katedra za gradbeno informatiko (KGI). Katedri še naprej tesno sodelujeta na raziskovalnem in pedagoškem področju. Jedro katedre so v letih 2001–2021 predstavljali Iztok Kovačič, Vid Marolt, Matevž Dolenc, Žiga Turk, Tomo Cerovšek, Robert Klinc in Andreja Istenič Istarčič.

4.1 Evropski projekti

Ob razmeroma skromni zastopanosti informatike v pedagoškem procesu, ki je bila omejena na predmete v prvem letniku, so se sodelavci KGI-IKPIR usmerili v raziskovalno delo pri evropskih projektih. Že v devetdesetih so sodelovali v projektu iz 4. okvirnega programa ToCEE (Towards Concurrent Engineering Environment 1996–1999), ki je razvijal okolje za celovito inženirsko okolje za projektiranje. Sodelovali so v evropskih projektih CONNET (Construction Information Service Network), v katerih so razvijali omrežje gradbeniških storitev na internetu,



Slika 8. Arhitektura Intelgrid.

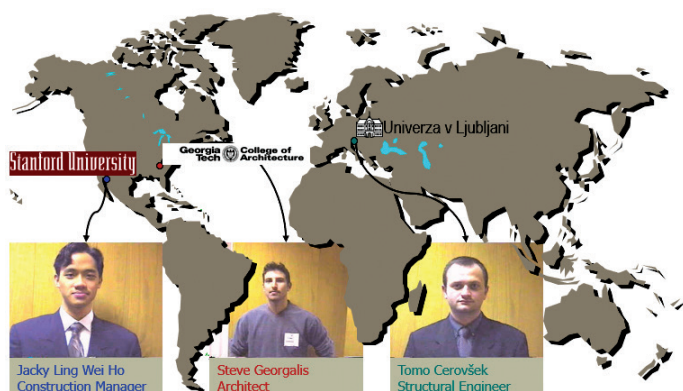
in v njegovem nadaljevanju I-SEEC, ki je postavil omrežje gradbenih servisov v evropskih državah. KGI-IKPIR je sodeloval tudi v EU-projektih CONDOR in SCENIC.

Še večjo vlogo je KGI imela v raziskovalnih projektih na temo informacijske družbe (IST) iz 5. okvirnega programa. Kot polnopravni partner je sodelovala v projektu ISTforCE – Intelligent Services and Tools for Concurrent Engineering 2000–2002, ICCI – Innovation co-ordination, transfer and deployment through networked Co-operation in the Construction Industry (2001–2003) in prodAEC – European Network for the Promotion of the Standards and eBusiness in the AEC sector (2001–2003) [Pazlar, 2003]. Pri obeh projektih sta delala tudi mlada raziskovalca Etel Petrinja in Tomaž Pazlar. Za pomoč pri administrativnem delu v zvezi s projekti in s strokovnimi prispevki je sodelovala Mateja Šmid.

S projektom SciX – Open Scientific Information Exchange so sodelavci IKPIR v okvirnih programih prvič nastopili kot koordinatorji. Projekt je bil vezan na znanstveno objavljane v odprtem dostopu. Inštitut je sodeloval tudi v številnih projektih, ki so namenjeni pospeševanju stikov med vzhodno in zahodno Evropo TEMPUS, npr. Open and Distance Learning in Technical Education.

IKPIR je koordiniral tudi velik projekt iz 6. okvirnega programa Intelgrid [Dolenc, 2007]. V njem smo razvili tehnologije grid, ki inženirjem omogočajo interoperabilno platformo za sodelovanje. Inoviral je na interdisciplinarnem področju med semantično interoperabilnostjo, virtualnimi organizacijami in tehnologijami grid. V niz projektov na tem področju sodijo še I3CON – Industrialised, Integrated, Intelligent Construction, ISES – Intelligent Services for Energy-Efficient Design and Life Cycle Simulation in Digiplace – Digital Platform for Construction in Europe. V slednjem sooblikujemo načrte za prihodnji tehnološki razvoj gradbene informatike, ki vidi priložnost za boljše povezovanje v konceptu digitalnih platform.

DataMiningGrid – Data Mining Tools and Services for Grid Computing Environments je bil prvi iz niza projektov, ki jih je na KGI IKPIR vodil Vlado Stankovski, ki so se ukvarjali z naprednimi IKT infrastrukturami za sodelovanje, zahtevno procesiranje in



Slika 9. Levo prva slovenska udeležba na študiju PBL leta 1999. Desno sodelovanje v večji ekipi leta 2006.

mreženje. V ta niz sodijo še projekti Mosaic, SWITCH, ENTICE, Decenter in Ontochain, ki so čedalje bolj segali na področje čiste informatike. Vlado Stankovski je leta 2020 uspešno nadaljeval kariero na Fakulteti za računalništvo in informatiko.

Interdisciplinarni značaj ima tudi delo na področju internetne znanosti, kjer smo študirali prepletanje med tehnologijo in njenim vplivom na družbo v projektu Paradiso. Sledila mu je mreža odličnosti iz 7. okvirnega programa EINS, katere glavni namen je krepitev znanstvenih in tehnoloških dosežkov s področja internetnih omrežij. Vlekli smo vzporednice med tehnološkimi (gradbeništvu) in družboslovnimi (prostorsko načrtovanje, logistika) elementi ter tako poskušali vplivati na kvaliteto življenja. V okviru EU-projekta RRI-ICT Forum smo razvili okvir za vzpostavitev principov odgovornega raziskovanja in ga dopolnili za potrebe gradbenega inženirstva in gradbene informatike [Turk, 2016a].

4.2 Pedagoško delo

Do bolonjske reforme so Iztok Kovačič, Vid Marolt, Žiga Turk, Matevž Dolenc in Tomo Cerovšek posredovali osnovna znanja računalništva in inženirske komunikacije pri predmetih, kot so Računalništvo, Programiranje, Avtomatska obdelava podatkov, Inženirska dokumentacija in komunikacija ter Opisna geometrija. Ti predmeti so bili pretežno v prvih letnikih študija gradbeništvu, geodezije in vodarstva. Študente so seznanjali z zadnjimi dosežki, od objektnega programiranja do spletnih jezikov, internetnih tehnologij, dela na daljavo, računalniškega risanja in modeliranja ipd.

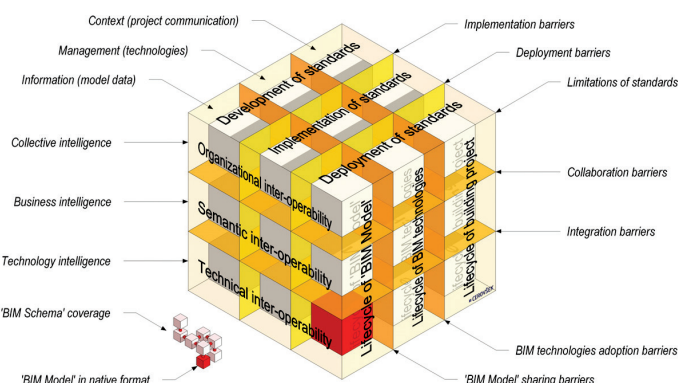
Bolonjska reforma je prinesla temeljito prenovljene predmetnike, v katerih stopajo v ospredje računalniško integrirana graditev, napredna inženirska komunikacija, informacijsko modeliranje produktov in procesov, programsko inženirstvo, zahtevno 3D in 4D-modeliranje, vizualizacija in podobno. Vse te vsebine so zastopane pri predmetih, ki jih sodelavci KGI-IPKIR predavajo na različnih študijskih programih na FGG: Digitalno načrtovanje, Inženirska komunikacija, Informacijska in komunikacijska tehnologija za projektno delo, Informacijsko modeliranje stavb, Digitalno načrtovanje in programiranje, In-



formacijsko modeliranje zgradb, Obdelava podatkov, Programiranje, Projektno in izkustveno učenje, Računalniško integrirana graditev, Računalništvo, Informacijske in komunikacijske tehnologije v grajenem okolju, Računalništvo in informatika. Kot asistenta sta se učiteljem pridružila Vlado Stankovski in Robert Klinc.

Do bolonjske prenovle je bila pedagoška zastopnost informatike v študijskem procesu razmeroma skromna, so pa sodelavci katedre pedagoško mednarodno sodelovali. Prof. Turk je predaval predmete ali njihove dele na KTH v Stockholmu, na ITU v Istanbulu in na Sveučilištu v Zagrebu. Sodelavci IKPIR Cerovšek, Dolenc in Turk so od leta 2004/05 sodelovali pri mednarodnem študiju Socrates/Erasmus »European Master course in Construction IT«, ki so ga skupaj izvajale Univerza v Ljubljani, Univerza v Mariboru, University College Cork, Univerza v Dresdnu ter Univerza v Portu. Dr. Dolenc in dr. Cerovšek sta v okviru omenjenega študija predavala na Dublin Institute of Technology. Dr. Dolenc je v obdobju od 2006–2011 v okviru High Performance Computations for Engineering predaval na Univerzi v Pecs, Madžarska.

Od študijskega leta 1998/99 IKPIR-KGI sodeluje z Univerzo Stanford pri svetovno vodilnem programu projektno zasno-



Slika 10. BIM Cube [Cerovšek, 2011].

vanega učenja Project Based Learning (PBL). Leta 1999 se je programa kot prvi študent iz FGG udeležil Tomo Cerovšek, ki je kasneje prevzel mentorsko vlogo v tem programu. Vsako leto se ga udeleži vsaj en študent iz Slovenije, tudi vsi mladi raziskovalci, ki so delovali na KGI-IKPIR. Idejo takega študija sta katedri IKPIR vpeljali v pedagoški proces na FGG v povezana predmeta Informacijske in komunikacijske tehnologije za projektno delo ter Interdisciplinarni seminar računalniško podprtega projektiranja konstrukcij.

Od študijskega leta 2019/2020 IKPIR-KGI sodeluje pri Erasmus študiju BIM A+ European Master in Building Information Modelling. Študij je sooblikoval dr. Cerovšek v sodelovanju z Univerzo v Minhu, Portugalska, in Politehniko iz Milana. Program obsega dva semestra študija, povezanega z BIM-vsebinami, in ga izvajajo tri univerze skupaj. Program BIM+ presega pričakovanja, saj se za okrog 40 mest na leto prijavi več kot 900 študentov s celega sveta.

4.3 Prenos znanja

Na internetu je Inštitut oblikoval precej servisov, ki so bili mednarodno pomembni in odmevni. Tako je sodeloval pri izdajanju mednarodne znanstvene revije ITcon (www.itcon.org), katalog inženirske programske opreme (software.forAEC.com), zbirka člankov CUMINCAD. Na Inštitutu je bilo izdelanih tudi več spletnih strani in spletnih storitev za različne naročnike (Inženirska zbornica Slovenije, Varuh človekovih pravic, Fakulteta za arhitekturo, Fakulteta za farmacijo, ZAG idr.)

Druge oblike pedagoškega dela članov KGI vključujejo prenos znanja v prakso prek delavnic, seminarjev in kongresov v Sloveniji, v devetdesetih prek tradicionalnih posvetovanj Gradbene

informatike in serije seminarjev Računalnik v gradbenem inženirstvu. V zadnjih letih KGI-IKPIR sodeluje v združenju siBIM.

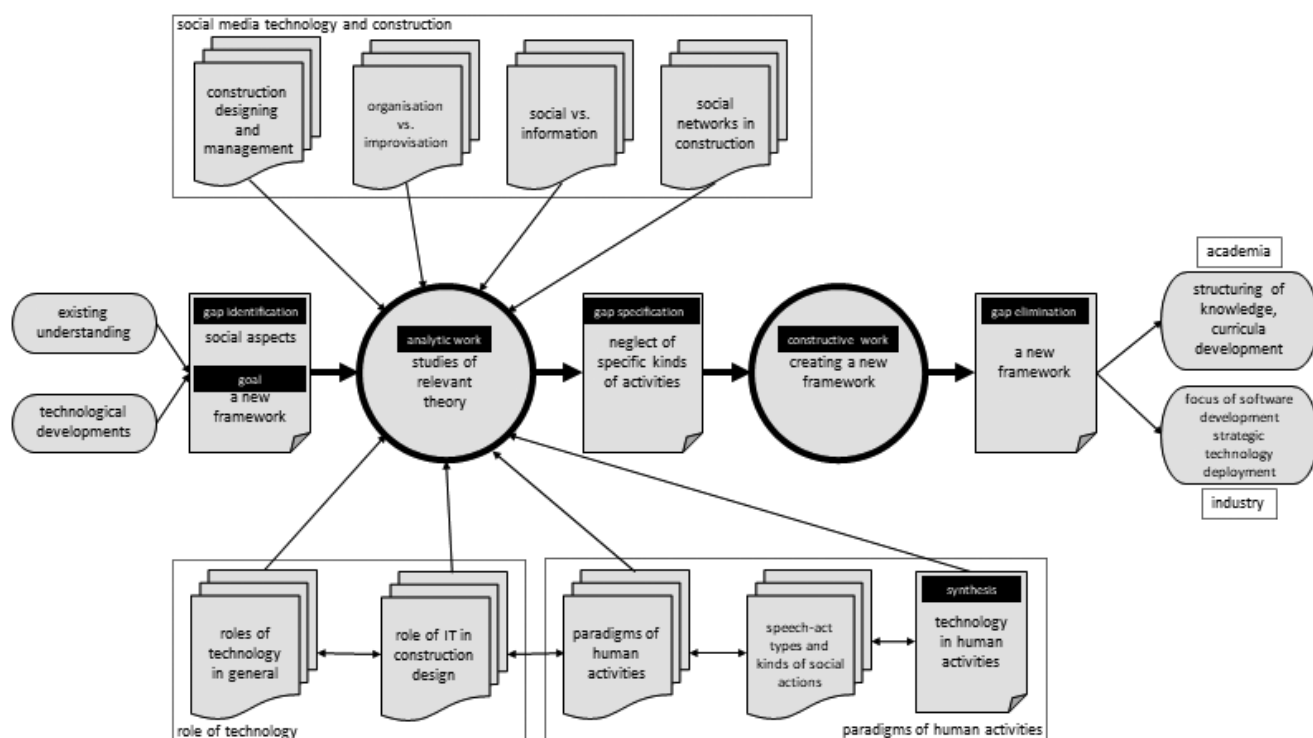
Sodelavci KGI projektno sodelujejo z vodilnimi podjetji doma in v Evropi. Inženirski zbornici Slovenije so pomagali vzpostaviti spletni informacijski sistem za člane in uporabnike. S slovensko in evropsko tehnološko platformo za gradbeništvo so pristopili k razvoju gradbenih klasifikacijskih sistemov. Na Evropski federaciji gradbene industrije FIEC dr. Turk od leta 2018 vodi skupino za gradbeništvo 4.0.

Nekatere oblike prenosa znanja so posebej inovativne. BIMpogovori je podkast, v katerem dr. Dolenc in dr. Klinc s pogovori z različnimi gosti iz znanstvenoraziskovalnih organizacij in gradbene prakse predstavljata izkušnje, osvetljujejo ozadja in odkrivata novosti s področja informacijskega modeliranja zgradb in informacijsko-komunikacijskih tehnologij v gradbeništvu. V petih letih delovanja podkasta je bilo objavljenih že več kot 130 oddaj.

5 E-GRADBENIŠTVO

V slovenskem raziskovalnem prostoru KGI-IKPIR predstavlja jedro programske skupine eGradbeništvo, ki od leta 2004 dalje raziskuje na širšem področju gradbene informatike. Razvila se je iz skupine Konstrukcije in gradbena informatika, ki je na istem področju delovala pred tem.

Glavni cilj gradbene informatike je informacijska podpora pri zagotavljanju informacij skozi celotno življenjsko dobo gradbenega objekta, izraba komunikacijskih tehnologij za boljše povezovanje in doseganje celovitosti gradnje ter izkoriščanje procesnih zmogljivosti računalnikov pri analizi in sintezi infor-



Slika 11. Potek raziskav na področju socialnih omrežij (iz [Turk, 2020]).

macij. Gradbena informatika se je tudi v svetu uveljavila kot samostojno področje izobraževanja, raziskovanja in razvoja znotraj gradbeništva. K definiciji področja je dala prispevek tudi skupina [Turk, 2006].

KGI-IKPIR je mednarodno uveljavljena. Redno sodeluje v mednarodnih projektih, sodelavci objavljajo v prestižnih mednarodnih revijah in o rezultatih sproti poročajo na mednarodnih konferencah. Sodelavci KGI-IKPIR sodelujejo kot uredniki revij (dr. Turk Automation in Construction in druge) in z vabljenimi predavanji. Vzdržujejo in sourejšajo eno najpomembnejših prostodopnih znanstvenih revij s področja gradbene informatike – Journal of Information Technology in Construction. Vodi jo nekaj spletnih storitev za znanstveno skupnost.

Delo v zadnjih letih teče na področjih (1) informacijskega modeliranja, (2) numeričnega modeliranja, (3) procesnih infrastrukture, (4) komunikacij ter (5) problemov, vezanih na prenos znanja; vse s ciljem znanstvenega, izobraževalnega in industrijsko-praktičnega prispevka k digitalizaciji gradbeništva. Vse to skupaj vodi k prehodu gradbeništva v smer gradbeništva 4.0, o katerem smo prispevali nekaj uvodnih premislekov [Klinc, 2019a].

Kadrovsko, finančno in vsebinsko je program izkoriščal sinergije, ki jih omogoča širša raziskovalna aktivnost članov skupine tudi v raziskovalnih projektih EU, projektih ARRS ter sodelovanju v mednarodnih organizacijah in strokovnih omrežjih.

5.1 Informacijsko modeliranje

Informacijsko modeliranje gradenj ustvarja digitalni model (Building Information Model – BIM) prihodnjih grajenih ali obstoječih objektov, ki zadovoljuje vse informacijske potrebe udeležencev skozi njegovo celotno življenjsko dobo. Informacijsko modeliranje ima v skupini dolgo tradicijo [Turk, 1989] in predstavlja rdečo nit zadnjih treh desetletij. Ukvarjali smo se z različnimi vidiki interoperabilnosti in analizirali razkorak med pričakovanji in prakso [Pazlar, 2008].

Dr. Cerovšek je razvil odmevno ogrodje BIM Cube, ki se osredotoča na celoten življenjski cikel projekta, interoperabilnost in standardizacijo, ki vodi do bolj kakovostnih, celovitih gradbenih projektov ob manj tveganjih. To delo vključuje integrirane delotoke za parametrično predstavitev celotnih stavb, in ne samo posameznih elementov za dinamično generiranje [Cerovšek, 2011]. Pri tem so poleg arhitekturnih, konstrukcijskih in drugih sistemov stavb pomembne tudi interakcije v povezavi z iterativnimi izdelavami matematičnih modelov za parametrične statične, dinamične, trajnostne [Todorović, 2011] in poglobljene napredne energetske analize [Stegnar, 2019].

Pri raziskavah s področja BIM smo posvetili posebno pozornost integraciji procesov z odprtim pristopom k izmenjavi in upravljanju modelnih informacij ter informacijskim tokovom v sočasnih sodelovalnih okoljih BIM ([Katranuschkov, 2001], [Cerovšek, 2006]). Študirali smo integracije digitalnih predstavitev v povezavi s procesi in podatki iz fizičnih okolij, kar je osnova za razvoj rešitev, ki temeljijo na tehnologijah interneta stvari (angl. Internet of Things – IoT) in velike količine podatkov (angl. Big Data). Razvili in objavili smo integracijo tehnologije razširjene resničnosti (angl. Augmented Reality – AR) in BIM [Meža, 2014].

Eden od problemov, ki so ga raziskovalci zaznali v BIM-okoljih, je tudi vprašanje zaupanja v informacije. Skupina podjetij ali posameznikov, ki sodeluje pri graditvi digitalnega modela, v primeru sporov in nesoglasij ter v kontekstu upravljanja avtorskih pravic potrebuje zanesljivo informacijo o tem, kaj, kdaj, kdo in v kakšnem kontekstu je nastala informacija [Petrinja, 2007]. Naša zrejša rešitev je bila, da bi tehnologija veriženja blokov lahko bila rešitev za ta problem. Rezultat raziskave je bil več scenarijev za uporabo te tehnologije v BIM-okolju, objave pa med prvimi, če ne celo prve na tem področju [Turk, 2017].

Od začetka so nas zanimale teoretične osnove informacijskega modeliranja [Turk, 2001]. Ker BIM postaja vse bolj prevladujoče področje raziskav v gradbeništvu, smo definirali deset ključnih vprašanj v zvezi z razvojem BIM in nanje odgovorili. Zaključujemo z ugotovitvijo, da BIM ni več samo tehnologija za modeliranje, ampak vse bolj tehnologija za celovito upravljanje gradbenih informacij, in da je torej M iz BIM treba razumeti tudi in predvsem kot management [Turk, 2016b]. BIM vidijo kot rešitev za problem računalniško integrirane graditve. Ugotavljamo pa, da ne BIM ne računalniško integrirana graditev nista cilj, ampak sredstvo za boljšo delitev dela in več specializacije, kar pomeni, da se proces drobljenja na eni in integracije na drugi strani ne bo nikoli ustavil [Turk, 2020a].

5.2 Numerično modeliranje

Numerično modeliranje v gradbeništvu in tehniki omogoča virtualne simulacije obnašanja materialov, konstrukcijskih elementov in konstrukcij različnih velikosti – vse od nano- pa do megamerila. Nosilec tega dela v skupini je prof. Brank, ki je sicer član druge od dveh kateder IKPIR. Numerične analize zahtevajo močno računsko okolje, osnovane morajo biti na strukturiranih informacijah, in v tem je bistvo povezave z IKPIR-KGI.

5.3 Procesne infrastrukture

Vzpostavili, razvili in nadgradili smo lastno računsko infrastrukturo, ki smo jo izrabljali za reševanje inženirskih računskih problemov. Lastna računska infrastruktura nam omogoča izvajanje zahtevnih študij, ki zahtevajo visokozmogljivo (angl. High-performance computing – HPC) in/ali visokopropustno (angl. High-throughput computing – HTC) računsko okolje, kar smo s pridom izkoristili pri metodi končnih elementov [Dolenc, 2004], z njegovo uporabo v izobraževalne namene, za raziskovalno delo ter tudi za vključenost v strokovne in raziskovalne projekte [Dolenc, 2007]. To nam je uspelo z integracijo programske opreme s področja potresnega inženirstva, energetske učinkovitosti stavb ter tudi dinamične analize tekočnin. Pri tem smo najbolj intenzivno sodelovali s programsko skupino Potresno inženirstvo (P2-0185), za katero smo razvili tudi več spletnih servisov, ki uporabljajo našo računsko infrastrukturo [Klinc, 2019b].

Nadaljevali smo tudi z raziskavami možnosti uporabe porazdeljene ter tudi oblačne računske infrastrukture za inženirske računske storitve s ciljem trajnostne izrabe implicitnega znanja. Ugotovili smo, da lahko sodobni pristopi, kot so računalništvo v oblaku, porazdeljena računska okolja ter programska oprema kot storitev, omogočijo ponovno uporabo preverjenih in zanesljivih programskih rešitev, ki so bila v določenem ob-

dobju opuščena predvsem iz tehničnih, nikakor pa ne strokovnih razlogov. Tako smo npr. pripravili spletno različico programa EAVEK [Klinc, 2016].

Na tem področju so bile velike sinergije z EU-projekti, ki jih je na IKPIR KGI vodil dr. Stankovski.

5.4 Komunikacije in sodelovanje

Gradbena informatika se je po odkritju koncepta BIM skoraj izključno ukvarjala z obliko in vsebino informacij ter z izmenjavo teh informacij med programi, veliko manj pa z izmenjavo informacij med ljudmi oz. širše s sodelovanjem. IKPIR-KGI je delal tudi na tem področju. Usmerili smo se na področje inženirskih komunikacij ter s proučevanjem in razvojem tehnologij družabnih omrežij in tehnološkega populizma na področju gradbeništva in urbanizma odpirali nova vprašanja, obenem pa postavili konceptualni okvir za odprta sodelovalna inženirska okolja prihodnosti [Klinc, 2009].

Pristop smo verificirali na področju gradbeništva in urbanizma. Preučevali smo uporabnost orodij spleta 2.0 na tem področju in razvili konceptualni okvir tehnologij za odprta, družabno ustvarjalna okolja [Bizjak, 2017].

Raziskovali smo tudi alternative konceptualnemu modeliranju graditve, ki jo v osnovi razumemo kot proces socialne interakcije. Taka rešitev predstavlja originalno alternativo prevladujočemu informacijskoprocenemu pogledu na graditev. Postavili smo alternativni koncept modeliranja graditve, ki za razliko od prevladujočega informacijskoprocenega pogleda v središče procesa gradnje postavlja socialno interakcijo. Ugotovili smo, da integracija zgolj na nivoju izdelkov in procesov omogoča le majhen del vseh aktivnosti, potrebnih za učinkovito delo inženirjev in arhitektov, saj inženirji in arhitekti poleg ustvarjanja informacijskega modela gradnje največ časa posvetijo komunikaciji. Pri tem igrajo pomembno vlogo tehnologije spleta 2.0, ki smo jih raziskovali od samega začetka [Dolenc, 2009].

Postavili smo povsem nov teoretični okvir za razumevanje vloge informacijske in komunikacijske tehnologije v gradbeništvu, ki identificira tretji povezovalni element sicer vse bolj razdrobljenih procesov – socialno omrežje. Druga dva elementa sta fizični izdelek in njegov digitalni dvojček [Turk, 2020b].

5.5 Soustvarjanje in prenos znanja

Raziskovalci na področju gradbene informatike opažamo velik razkorak med tehničnimi možnostmi in dejanskim tehnološkim stanjem in znanjem v industriji, kar smo merili in pojasnjevali v slovenskem ([Pazlar, 2004], [Klinc, 2010]) in evropskem okviru [Turk, 2021]. Zato posebno pozornost namenjamo raziskavam o ovirah pri prenosu znanja.

Posvečamo se (a) vprašanju prenove učnih in študijskih programov, ki jih zahtevajo nove tehnologije [Turk, 2019], (b) študiju znanstvenega komuniciranja, (c) proučevanju in implementaciji metode prenosa in kokreacije znanja v/z industrijo [Istenič, 2012] ter (d) principom odgovornega raziskovanja in inoviranja [Turk, 2016]. Na tem področju interdisciplinarno sodelujemo z dr. Andrejo Istenič Starčič, ki se ukvarja s pedagoško, in vodjo knjižnice FGG dr. Tejo Koler Povh.

Na področju znanstvenega komuniciranja se naslanjamo na dolgo tradicijo skupine na tem področju, saj smo prvo znanstveno revijo v odprtem dostopu postavili v devetdesetih letih [Bjork, 2008], kasneje pa na tem področju koordinirali EU-projekt SciX [Martens, 2003a]. Postavili smo več spletnih bibliografskih servisov za mednarodne znanstvene skupine ([Martens, 2003b], [Cerovšek, 2020]).

Raziskovali smo vpliv odprtega dostopa na citiranost del raziskovalcev [Koler-Povh, 2014], povezavo med objavami in citiranostjo [Cerovšek, 2014] ter vpliv organiziranega pouka o uporabi virov, o odprtem dostopu, o iskanju virov in citiranju na vzorce citiranja doktorskih študentov. Ugotovili in kvantificirali smo pozitiven vpliv informacijske pismenosti [Koler-Povh, 2018].

Na področju metod prenosa znanja smo proučevali metode tehnološko podprtega učenja. Opravili smo raziskavo na celotni populaciji študentov univerze v Ljubljani o uporabi IKT pri učenju. Ugotovitve kažejo na zaostajanje pedagoških pristopov pri uporabi tehnoloških rešitev, ki so se uveljavile uspešno na drugih področjih. Proučevanje je bilo usmerjeno v vključevanje tehnologij, ki omogočajo uspešen razvoj kompetenc v sodelovanju univerze z industrijo [Istenič-Starčič, 2017]. Raziskovali smo na področju informatizacije delovnih procesov in omrežij, vključevali študente med praktičnim usposabljanjem ter jih spremljali pri njihovih karierah po diplomah. S City University New York smo opravili raziskavo na področju spletnih omrežij pri razvoju kariernih kompetenc študentov UL FGG ([Istenič, 2017], [Istenič-Starčič, 2017]).

6 SKLEP

Uporaba digitalne tehnologije v gradbeništvu je ves čas pod vplivom eksponentnega napredka digitalnih tehnologij in razvoja, ki se dogaja na področju računalniške znanosti. Za razliko od drugih področij gradbeništva, kjer je mogoče identificirati dolge nize raziskovalnega dela in kjer se iz leta v leto, iz generacije v generacijo najdejo boljši približki opisovanja ali napovedovanja naravnega pojava, so te raziskovalne niti na področju gradbene informatike precej krajše. Vsakih nekaj let se namreč pojavi novost, zaradi katere v veliki meri vsi začenejo skoraj od začetka.

To je v vseh letih omogočalo, da so bile znotraj IKPIR razvite povsem praktične rešitve, npr. računalniški programi, ki so bili tržno zanimivi in so jih uporabljali v industriji. Če pa je bilo akademsko okolje sposobno, da se najprej pojavi npr. s trženjem programov za račun po metodi končnih elementov, infrastrukturo grid ali različnimi spletnimi storitvami, se je skozi petdesetletno obdobje tudi izkazalo, da akademsko okolje dolgo ne more tekmovati s podjetniškim pristopom. Ko postane nova tehnologija bolj dostopna, zahteva resnejšo komercializacijo in večje podjetniško organizirane skupine, ki jim raziskovalna skupina v akademskem okolju ne more in ne sme konkurirati. Mehanizem prenosa znanja tako postanejo predvsem ljudje. Skozi IKPIR so šle tako generacije študentov, diplomantov, magistrantov, mladih raziskovalcev in podiplomskih študentov, ki so danes karierno in poslovno uspešni, slovensko gradbeništvo pa po informacijski razvitosti nič ne zaostaja za razvitejšimi državami. Mnogi pa so uspeli tudi v tujini.

Tudi za gradbeno informatiko velja, da naslednje generacije sedijo na ramenih prejšnjih, na temeljih – navdušenje nad tehnologijo, usmerjenost v reševanje problemov, znanstvena

odličnost, odprtost v svet – ki so jih postavili Janez Reflak, Peter Fajfar, Janez Duhovnik, Iztok Kovačič, Vid Marolt, Andrej Vitek in drugi, zdaj delajo nove generacije.

7 ZAHVALA

Za pomoč pri pripravi prispevka se zahvaljujemo nekdanjim in sedanjim sodelavcem, še zlasti pa Janezu Duhovniku, Andreju Vitku in Robertu Klincu.

8 LITERATURA

Bizjak, I., Klinc, R., Turk, Ž., A framework for open and participatory designing of built environments, *Computers, Environment and Urban Systems*, 66, 65-82, 2017.

Bjork, B-C., Turk, Ž., Effective Web Dissemination of Construction IT Research Publications, *Journal of professional issues in engineering education and practice*, 134(2), 165-172, 2008.

Bjork, B-C., Turk, Ž., The Electronic journal of information technology in construction (ITcon): an open access journal using an unpaid, volunteer-based organization, *Information research*, 11(3), 2006.

Cerovšek, T., Katranuschkov, P., Active process reuse model for collaboration, *Electronic journal of information technology in construction: ITcon*, 11, 467-488, 2006.

Cerovšek, T., A review and outlook for a 'Building Information Model' (BIM) : a multi-standpoint framework for technological development, *Advanced engineering informatics: the science of supporting knowledge-intensive activities*, 25, 224-244, 2011.

Cerovšek, T., Mikoš, M., A comparative study of cross-domain research output and citations: research impact cubes and binary citation frequencies, *Journal of informetrics: an international journal*, 8(1), 147-161, 2014.

Cerovšek, T., Martens, B., The evolution of CAADRIA conferences - a bibliometric approach. V: RE: Anthropocene design in the age of humans - virtual conference, Bangkok: Association for computer-aided architectural design research in Asia, 325-334, 2020.

Dolenc, M., Developing extendible component-oriented finite element software, *Advances in engineering software*, 35, 703-714, 2004.

Dolenc, M., Katranuschkov, P., Gehre, A., Kurowski, K., Turk, Ž., The IntelGrid platform for virtual organisations interoperability, *Journal of information technology in construction: ITcon*, 12, 459-477, 2007.

Dolenc, M., A Vision of a Computing Environment for the Web 2.0 Era. V: TOPPING, Barry H. V. (ur.). *Parallel, Distributed and Grid Computing for Engineering: this volume includes the invited lectures presented at The First International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing for Engineering held at the Pollack Mihaly Faculty of Engineering, University of Pecs, Hungary, 6-8 April 2009, (Computational Science, Engineering and Technology Series - CSETS, 21). Stirlingshire: Saxe-Corburg Publications*, 103-116, 2009.

Dolinšek, B., Duhovnik, J., Robotizirano sestavljanje armature linijskih armiranobetonskih elementov, *Gradbeni vestnik*, 46(1/2/3), 14-25, 1997.

Dolinšek, B., Duhovnik, J., Robotic assembly of rebar cages for beams and columns, *Automation in construction*, 8(2), 195-207, 1998.

Duhovnik, J., Fajfar, P., Račun konstrukcij z elektronskimi računalniki, *Gradbeni vestnik*, 18(10/11), 233-236, 1969.

Duhovnik, J., Jelinčič B., Kajfež, B., Marolt, V., Reflak, J., Rogač R., Saje F., Program za izdelavo statičnega računa montažne dvoranske konstrukcije, *Gradbeni vestnik* 26(7-8), 172-179, 1977.

Duhovnik, J., Stanje in razvojne težnje pri uporabi računalnika v konstrukcijskem gradbenem inženirstvu, *Gradbeni vestnik*, 38(7/8), 196-200, 1989a.

Duhovnik, J., Ekspertni sistemi v gradbeništvu, *Gradbeni vestnik*, 38(9/10), 256-261, 1989b.

Duhovnik, J., Ljubič, V., Knific, T., Žlajpah, D., AR-CAD programski sistem za projektiranje armature, *Gradbeni vestnik*, 39(12), 303-309, 1990.

Duhovnik, J., Icaders: integrated CAD of earthquake resistant buildings and civil engineering structures : lecture notes of the 1st short course and specialist seminar Tempus JEP 3008, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, IKPIR, University of Ljubljana, Slovenia, 23rd-26th February 1993, 258 str., 1993.

Fajfar, P., Fischinger, M., Reflak, J., Uporaba računalnika pri analizi konstrukcij v visokogradnji, *Gradbeni vestnik* 26(7-8), 146-158, 1977.

Fenves, S., Logcher, R.D., Mauch, S.P. (1965) *STRESS: A Reference Manual*. MIT Press, 1965.

Istenič, A., Competence management system design in international multicultural environment: registration, transfer, recognition and transparency, *British journal of educational technology*, 43(4), 108-112, 2012.

Istenič, A., Vloga spletnih družbenih omrežij pri razvoju kariernih kompetenc študentov gradbeništvu in geodezije, *Gradbeni vestnik*, 66(6), 149-155, 2017.

Istenič-Starčič, A., Barrow, M., Zajc, M., Lebeničnik, M., Students' attitudes on social network sites and their actual use for career management competences and professional identity development, *International journal: emerging technologies in learning*, 12(5), 65-81, 2017.

Katranuschkov, P., Scherer, R.J., Turk, Ž., Intelligent services and tools for concurrent engineering? : an approach towards the next generation of collaboration platforms, *Electronic journal of information technology in construction : ITcon*, 6, 111-128, 2001.

Klinc, R., Turk, Ž., Dolenc, M., Engineering collaboration 2.0: requirements and expectations, *Journal of information technology in construction : ITcon*, 14, 473-488, 2009.

Klinc, R., Turk, Ž., Dolenc, M., Raziskava o rabi informacijsko - komunikacijskih tehnologij v slovenski gradbeni industriji, *Gradbeni vestnik*, 59(11), 269-276, 2010.

Klinc, R., Peruš, I., Dolenc, M., Fajfar, P., Spletna verzija programa EAVEK, Gradbeni vestnik, 65(1), 10-17, 2016.

Klinc, R., Turk, Ž., Construction 4.0 - digital transformation of one of the oldest industries, Economic and business review, 21(3), 393-410, 2019a.

Klinc, R., Šebenik, Ž., Dolšek, M., Brozovoč, M., Dolenc, M., A web-based system for the selection of characteristic ground motions, Advances in engineering software, 135, 1-16, 2019b.

Koler-Povh, T., Južnič, P., Turk, G., Impact of open access on citation of scholarly publications in the field of civil engineering, Scientometrics, 98(2), 1033-1045, 2014.

Koler-Povh, T., Turk, Ž., Vloga visokošolskega knjižničarja pri informacijski pismenosti doktorandov tehnike - primer gradbeništva, Knjižnica: revija za področje bibliotekarstva in informacijske znanosti, 62(1/2), 135-150, 2018.

Kovačič, I., Primer računalniške grafike pri računanju konstrukcij, Gradbeni vestnik, 26(7/8), 180-182, 1977.

Kovačič, I., Vitek, A., Stanje in razvoj računalniške grafike v Inštitutu za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo FAGG, Zbornik radova prikazanih na svetovanju o hardveru i softveru u strukturalnoj analizi i računarskom projektovanju održanom 10. i 11. decembra 1980. godine u Beogradu, Beograd, 142-149, 1980.

Kovačič, I., Softversko inženirstvo, Računalnik v gradbenem inženirstvu: zbornik 4. seminarja, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD GG, IKPIR, Ljubljana, april 1988, 12-21, 1988.

Kovačič, I., Objektni pristop pri reševanju nalog po metodi končnih elementov, Računalnik v gradbenem inženirstvu: zbornik 6. seminarja, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR, Ljubljana, april 1992, 39-45, 1992.

Kovačič, I., Geometrijsko modeliranje konstrukcije v programu MONCAD-WIN, Uporaba računalnika v gradbeništvu: zbornik posvetovanja na 8. gradbenem sejmu v Gornji Radgoni, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR, Ljubljana, april 1995, 76-86, 1995.

Ljubič, V., Risanje armaturnih načrtov z računalniki, diplomska naloga, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Ljubljana, 1980.

Martens, B., Turk, Ž., Digital CAADRIA-proceedings: retrospective analysis of content, Automation in construction, 12(5), 515-519, 2003a.

Martens, B., Turk, Ž., Bjork, B-C., Cooper, G., Re-engineering the scientific knowledge management process: the SciX project, Automation in construction, 12(6), 677-687, 2003b.

Meža, S., Turk, Ž., Dolenc, M., Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system, Automation in construction, 42(X), 1-12, 2014.

Pangeršič, M., Računalniško risanje armaturnega prostoležečega nosilca, diplomska naloga, Fakulteta za arhitekturo, grad-

beništvo in geodezijo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Ljubljana, 1979.

Pazlar, T., Dolenc, M., Duhovnik, J., prodAEC - evropski projekt izmenjave podatkov o proizvodih in projektih za e-delo ter e-poslovanje v arhitekturi, inženirstvu ter gradbeništvu, Gradbeni vestnik, 52(8), 193-202, 2003.

Pazlar, T., Dolenc, M., Duhovnik, J., Rezultati raziskave prodAEC o rabi informacijskih in komunikacijskih tehnologij v arhitekturi, inženirstvu in gradbeništvu v Sloveniji, Gradbeni vestnik, 53(9), 223-229, 2004.

Pazlar, T., Turk, Ž., Interoperability in practice: geometric data exchange using the IFC standard, Journal of information technology in construction : ITcon, 13, 362-380, 2008.

Petrinja, Etel, Stankovski, V., Turk, Ž., A provenance data management system for improving the product modelling process, Automation in construction, 16(4), 485-497, 2007.

Reflak, J., Problemsko orientiran računalniški jezik za račun konstrukcij: 1. in 2. del, Ljubljana: RSS, 1975.

Reflak, J., Duhovnik, J., Fajfar, P., Kovačič, I., MAROLT, Vid, et al., Program za avtomatični račun montažnih armiranobetonskih konstrukcij, Zbornik radova prikazanih na svetovanju o hardveru i softveru u strukturalnoj analizi i računarskom projektovanju održanom 10. i 11. decembra 1980. godine u Beogradu, Beograd, 228-236, 1980.

Stegnar, G., Cerovšek, T., Information needs for progressive BIM methodology supporting the holistic energy renovation of office buildings, Energy, 173, 317-331, 2019.

Todorović, M., Turk, Ž., Upoštevanje trajnostnih kriterijev pri projektiranju z orodjem BIM, Gradbeni vestnik, 60(10), 279-284, 2011.

Turk, Ž., Programski jezik C, Zveza organizacij za tehnično kulturo, Ljubljana, 1987.

Turk, Ž., Razredi za modeliranje objektov v gradbeništvu: magistrska naloga, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 1989.

Turk, Ž., Uvod v objektno orientirano programiranje in jezik C++, Državna založba Slovenije, Ljubljana, 1991.

Turk, Ž., Okolje za računalniško integrirano projektiranje gradbenih konstrukcij: doktorska disertacija, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, 1992.

Turk, Ž., Duhovnik, J., Slovenia and computer representation of design standards and building codes, International journal of construction information technology, 3(1), 55-71, 1995a.

Turk, Ž., Garzarolli, H., Rajter, M., TIGRA - tehnični informacijski sistem za gradbeništvo, Uporaba računalnika v gradbeništvu: zbornik posvetovanja na 8. gradbenem sejmu v Gornji Radgoni, april 1995, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR, Ljubljana, 1-8, 1995b.

Turk, Ž., Construction on the information highway: proceedings of CIB workshop - W78 »Working Commission on Information Technology in Construction« and TG10 »Task Group on Com-

puter Representation of Design Standards and Building Codes», Bled, Slovenija, 10.-12. junij 1996, Faculty of Civil Engineering and Geodesy, Ljubljana, 562 str., 1996.

Turk, Ž., Phenomenological foundations of conceptual product modelling in architecture, engineering and construction, *Artificial intelligence in engineering: the journal of advanced engineering in informatics*, 15, 83-92, 2001.

Turk, Ž., Scherer, R.J., Fourth European Conference on Product and Process Modelling in the Building and Related Industries, eWork and eBusiness in architecture, engineering and construction: proceedings of the fourth European conference on product and process modelling in the building and related industries, Portorož, Slovenija, 9.-11. september 2002, 716 str., 2002.

Turk, Ž., Construction informatics: definition and ontology, *Advanced engineering informatics: the science of supporting knowledge-intensive activities*, 20(2), 187-199, 2006.

Turk, Ž., Responsible research and innovation in construction, *Procedia engineering*, 164, 461-466, 2016a.

Turk, Ž., Ten questions concerning building information modelling, *Building and environment*, 107, 274-284, 2016b.

Turk, Ž., Klinc, R., Potentials of blockchain technology for construction management, *Procedia engineering*, 196, 638-645, 2017.

Turk, Ž., Istenič, A., Toward deep impacts of BIM on education, *Frontiers of Engineering Management*, X(X), 1-11, 2019.

Turk, Ž., Interoperability in construction - mission impossible?, *Developments in the built environment*, 4/100018, 1-9, 2020a.

Turk, Ž., Klinc, R., A social-product-process framework for construction, *Building research and information*, 48(7), 747-762, 2020b.

Turk, Ž., Structured analysis of ICT adoption in the European construction industry, *The International journal of construction management*, 5, 1-8, 2021.

Vitek, A., Kovačič, I., Grafični paket P: uporabniški priročnik: Verzija 3.2, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezija, VTozd GG, Publikacija IKPIR 29, Ljubljana, 190 str., 1987.

ZUSE, H., Z23, URL http://www.horst-zuse.homepage.t-online.de/Konrad_Zuse_index_english_html/rechner_z23.html (accessed 4.18.21), n.d.