

Ванр. проф. др Бранислав Ђорић, дипл. грађ. инж.

ИНЖЕЊЕРСКИ РАЧУНСКИ ЦЕНТАР

Историјат развоја

Инжењерски рачунски центар Грађевинског факултета у Београду (ИРЦ) основан је фебруара 1971. Тих година у свету долази до бурног развоја електронских рачунара који почињу интензивно да се користе у многим гранама технике, па и у грађевинарству. У то време у нас електронске рачунаре користи релативно мали број наставника и сарадника Грађевинског факултета, углавном у области Статике конструкција. У Београду се оснивају рачунски центри у „Енергопројекту“, „Партизанском путу“, на Електротехничком и на Природно-математичком факултету. Ове рачунаре, кад је то могуће, користе и наши стручњаци са факултета. Врло брзо, због нарасталих потреба за коришћењем рачунара, на Факултету се долази до сазнања да је неопходно набавити сопствени рачунар.

С обзиром на високу цену, Факултет није био у могућности да купи рачунар, већ је одлучио да га узме под закуп. Изнајмљен је рачунар IBM 1130, адаптирана је једна учионица у коју је рачунар смештен и формиран је ИРЦ. Треба напоменути да су средства за изнајмљивање рачунара и за неопходну адаптацију остварена из уговора о сарадњи ИРЦ-а са појединим заинтересованим грађевинским предузећима која су унапред платила одређене суме на име стручних услуга које је ИРЦ касније урадио.

Основна концепција при оснивању била је да се Центар снажно веже за струку, што се умногоме разликује у односу на сличне центре које тада формирају углавном математичари (информатичари-програмери). За првог управника постављен је проф. др Никола Хајдин, а за заменика асистент Миодраг Секуловић. Њиховим изузетним залагањем, уз подршку млађих колега са Катедре за техничку механику и теорију конструкција, почетком седамдесетих година на Факултету се формира модеран рачунски центар какав су у то време имале само најразвијеније земље Европе и САД.

И каснијих година управници ИРЦ-а су увек били грађевински инжењери. (У табели 1. дат је преглед управе Центра од његовог оснивања.)

У организационом смислу, основну снагу Центра чинили су наставници и сарадници Факултета. У прво време су то били чланови Катедре за техничку механику и теорију конструкција, али се веома брзо у рад Центра укључују и друге катедре са факултета. Осим тога, Центар је формиран као место где ће млади истраживачи (дипломци и последипломци) провести извесно време на свом усавршавању. Такав кадар је касније често биран за асистенте на Факултету, што је било од великог значаја за развој науке и струке у областима за које су бирани.

С обзиром на овакву организацију, у Центру је увек био ангажован минималан број помоћног особља. Та оријентација се касније показала као исправна, јер се усавршавањем рачунарске технике смањивао број особа које су потребне за опслуживање рачунара.

ТАБЕЛА 1.

Период (школска година)	Управник	Заменик управника
1971/72–1974/75.	проф. др Н. Хајдин	доц. др М. Секуловић
1975/76–1978/79.	проф. др М. Секуловић	асист. Н. Клем
1979/80–1980/81.	проф. др Н. Хајдин	асист. Н. Клем
1981/82–1984/85.	проф. др М. Секуловић	асист. Н. Клем
1985/86–1986/87.	ванр. проф. др Б. Колунџија	асист. Н. Клем
1987/88–1988/89.	проф. др М. Секуловић	асист. Љ. Савић
1989/90–1992/93.	проф. др М. Секуловић	асист. Н. Клем
1993/94–1995/96.	ванр. проф. др Б. Ђорић	асист. З. Ђорђевић

Упоредо са развојем ИРЦ, повећавао се и број чланова ове радне јединице. Током 1993. дошло је до спајања ИРЦ-а и Института за техничку механику и теорију конструкција у нову радну јединицу под заједничким (старим) називом Ин-

жењерски рачунски центар. Ову јединицу сада чине сви чланови Катедре за техничку механику и теорију конструкција (23) као и сви чланови Катедре за менаџмент и технологију грађења (9). Осим тога, у ИРЦ-у је запослено још петоро службеника који се брину о одржавању рачунарске опреме и помажу студентима, сарадницима и наставницима при раду са рачунарима. Рад у Центру је у две смене, од 8 до 22 часа, а често се радно време продужава и до 24 часа.

Набавка опреме у ИРЦ-у одвијала се у више фаза у складу са материјалним могућностима факултета као и развојем рачунарске технике. Први изнајмљени рачунар IBM 1130 састојао се од централне јединице са меморијом 8 К, 16 битних речи, диска од 0,5 Мбу као екстерне меморије, затим читача картица и штампача. Тада је оперативни систем заузимао око 3 К речи, тако да је подручје за кориснике било само око 5 К речи.

Без обзира на мали капацитет централне и екстерне меморије и на мале брзине штампача и читача картица, овај систем је веома успешно коришћен у првој фази примене рачунара на Грађевинском факултету. О том сведоче бројни значајни стручни послови и научноистраживачки задаци који су применом овог система успешно решавани.

Већ после краћег времена показало се да конфигурација система IBM 1130 не може да задовољи све веће потребе за коришћењем рачунара на Факултету. Зато је Факултет одлучио да из сопствених средстава набави савременији електронски рачунар. У току 1977. године. Факултет је расписао конкурс за избор рачунарског система и купљен је систем DEC2040 за цену од 550000 USA \$. У ову цену били су укључени трошкови увоза, инсталирања, тестирања и набавке основног софтвера. Новчана средства за набавку рачунара и за адаптацију и климатизацију просторија обезбедили су Факултет и ИРЦ.

Систем DEC2040 инсталиран је на Факултету априла 1978. Конфигурација система састојала се од централне јединице са 128 KW (36 битних речи), јединице магнетног диска од 100 Мбу, једне јединице магнетне траке, конзолног терминала, три видео терминала, једног терминала са „hard copy“ принтером, једног графичког терминала, штампача и читача картица.

Корисници су могли да се служе системом у „time sharing“-у или „batch“-у у зависности од тога који начин више одговара у сваком конкретном послу. Систем је омогућавао да више независних корисника користи системске ресурсе симултано.

Уз систем је била обезбеђена и основна програмска подршка. Готово сви програми који су коришћени на систему IBM 1130 конвертовани су за овај систем. Осим тога, обезбеђени су и конвертовани и одређени програми који се могу инсталирати само на рачунарима већих капацитета. Конфигурација система и програмска основа коју је пружио DEC2040 омогућили су успешан рад у свим областима наставне, научноистраживачке и стручне делатности Факултета.

Крајем осамдесетих година мења се и унапређује технологија у изградњи рачунара. Факултет 1987. набавља америч-

ки рачунар микро VAX II. За факултет је то значило увод у овладавање новом технологијом рачунара. То је био савремени рачунар са 8 MB централне меморије и са два диска од 70 MB. У односу на претходно набављен рачунар DEC2040, овај рачунар, осим знатно већег капацитета, карактеришу и драстично нижи трошкови одржавања и коришћења. Рачунар је набављен од фирме DIGITAL за цену од 60000 USA \$.

После две године (1989), да би се поново одговорило увећаним потребама за коришћењем рачунара на Факултету, купљен је нови рачунар знатно већег капацитета. То је био VAX 6000 (модел 210) са 32 MB централне меморије и са диском од 1 GB, који је био водећи рачунар у својој класи. Набавна цена рачунара износила је 200000 USA \$, а средства су обезбеђена из сопствених прихода Факултета. Куповином овог рачунара омогућено је да се први пут на факултету формира мрежа PC рачунара. Наиме, тих година долази до бурног развоја персоналних рачунара. Али, да би се они могли успешно користити и код сложених нумеричких проблема који надмашују њихов капацитет, оцењено је да их треба повезати у мрежу са великим рачунаром. Те године Рачунски центар је просторно проширен и придодата му је једна нова – рачунарска учионица. Тада је набављено 10 рачунара PC 286 меморије од 4 MB који су смештени у ту учионицу, а она је путем RS 232 везе укључена у мрежу DECNET.

Рад са PC рачунарима који су повезани у мрежу показао се као веома успешан и почетком деведесетих година доживео је велику експанзију, а десет радних места није било довољно да задовоље нарасле потребе за коришћењем рачунара. Зато је у току 1993. године набављено још 10 нових рачунара PC 386 са 8 MB меморије. Стари рачунари су такође добили нову меморију од 8 MB. Инсталиране су и мрежне картице за укључивање у NETWARE мрежу са укупно 50 корисника.

Ради успешнијег функционисања персоналних рачунара преко мреже, током 1994. године набављен је PC 486 сервер са 48 MB меморије и 3 GB простора на дисковима. Овај сервер пружа јединствен ослонац целе мреже рачунара на факултету. Осим тридесетак PC рачунара у Рачунском центру, на ову мрежу везан је приближно исто толики број рачунара у другим радним јединицама на факултету. Сви рачунари су повезани са око 800 m каблова базираних на BNC вези и на 4 рипитера. Мрежи се може приступити у свим деловима зграде и на мрежу се могу и даље повезати сви корисници на факултету који за то изразе жељу. Сервер пружа истовремено услуге за дељење дискова, опслуживање штампача, комуникацију између корисника и комуникацију са INTERNET мрежом.

Тренутно на Факултету постоји око 300 корисника описаног рачунарског система, што указује да су стручњаци на Факултету овладали коришћењем рачунара и да су им они постали неопходни у њиховом стручном и научном раду. Управо је то био главни циљ оснивања Рачунског центра и свих напора који су улагани у куповину опреме и начин њеног коришћења током ових двадесетак година.

Наставна делатност

Организована настава на Грађевинском факултету у Београду за коришћење рачунара започела је још пре набавке првог рачунара, када је школске 1969/70. године организована факултативна настава из Програмирања за студенте старијих година и апсолвенте. Школске 1970/71. године уведен је на последипломским студијама предмет Програмирање и рачунске машине. Овај предмет предавао је проф. Недељко Парезановић са ПМФ-а у Београду. До набавке сопственог рачунара практични део наставе одржавао се на ПМФ-у.

Статутом Грађевинског факултета из 1973. године, предмет Програмирање и рачунске машине укључен је у пети семестар редовне наставе на свим одсецима на Факултету са недељним фондом часова 2+2. Предмет је почео да се предаје на редовним студијама школске 1975/1976. године, када је и престао да се предаје на последипломским студијама. Предметни наставници били су тадашњи доценти др Мирослава Стојановић и др Димитрије Димитријевић. Програмом су били обухваћени основни принципи рада рачунара, принципи програмирања и елементи програмског језика FORTRAN IV. Статутом из 1976. године овај предмет је променио назив у Програмирање рада електронских рачунара. Статутом из 1977. године, уместо овог предмета формирана су три: Програмирање (на одсецима за конструкције и геодезију), Основи програмирања (на одсеку за хидротехнику) и Програмирање и нумеричке методе (на одсеку за путеве и железнице). Прва два предмета су имала исти програм и исти фонд часова (2+2 у целом семестру) као и дотадашњи предмет Програмирање рада електронских рачунара, док су у трећем предмету претходном садржају придодате и нумеричке методе и повећан број часова (4+4 у првом полусеместру и 2+3 у другом).

Статутом из 1987. године уведен је у наставу поново јединствен предмет за све одсеке под називом Програмирање у којем је програмски језик FORTRAN IV замењен новим стандардом FORTRAN 77. У оквиру овог предмета предаване су, осим програмирања, и нумеричке методе са становишта коришћења електронског рачунара. Предмет је предаван са недељним фондом часова 3+3 у трећем семестру на Одсеку за геодезију и у четвртном семестру на осталим одсецима. Осим овог предмета, истим Статутом уведен је на Одсеку за геодезију у четвртном семестру и нови предмет Аутоматска обрада података у геодезији са недељним фондом часова 2+3. У оквиру овог предмета предавани су основни принципи рада графичких уређаја и компјутерске графике и основни појмови о базама података и раду са њима.

Статутом из 1990. године, на Одсеку за геодезију, предмет Програмирање пребачен је у први и други семестар са недељним фондом часова 2+2, а предмет Аутоматска обрада података у геодезији пребачен је у трећи семестар.

Статутом из 1993. године, с обзиром на нагли продор персоналних рачунара, уведен је у трећем семестру на свим одсецима нов предмет Увод у примену рачунара са недељним

фондом часова 2+2. Циљ овог предмета је да студенти стекну основну рачунарску писменост и обуче се у коришћењу РС рачунара. У оквиру овог предмета предају се основне компоненте персоналних рачунара, елементи оперативног система DOS, основно коришћење програма Windows, обрада текста, табела и цртежа на рачунару илустрована програмима Word for Windows, Excel, CorelDRAW и AutoCAD. Предмету Програмирање промењен је назив (делимично и програм) у Програмирање и рачунарске методе и предаје се као јединствен предмет за све одсеке у четвртном семестру. Предмет Аутоматска обрада података у геодезији пребачен је у шести семестар и промењен му је и програм у складу са овим изменама.

Од школске 1996/97. године планирано је и увођење новог предмета Информациони системи у петом семестру на новоотвореном Одсеку за планирање и изградњу насеља.

Осим наставе којом су студенти обучавани у коришћењу рачунара, рачунар се користио и у бројним другим предметима. У почетку су то прво били предмети из области Теорије конструкција: Статика конструкција, Теорија површинских носача и Стабилност и динамика конструкција. Касније је дошло до масовне примене рачунара и у другим предметима на Конструктивном одсеку, као и у области путева и железнице, хидротехнике и геодезије.

Убрзо после инсталације првог рачунара, појавили су се први индивидуални корисници рачунара. То су најчешће били дипломци, магистранти, докторанти и наставно особље Факултета. Већ првих година, број студената који су користили рачунар за прорачуне потребне за израду дипломског рада усталио се на око осамдесет годишње.

Израда једног дипломског рада на Грађевинском факултету у Београду тешко се данас може замислити без примене рачунара. Може се рећи да је терминалска учионица постала практично дипломска сала коју користе студенти са свих одсека.

Коришћење ИРЦ-а од стране дипломаца показало се као веома значајно за развој грађевинске струке уопште. Наиме, кроз коришћење рачунара и програма, које су често и сами правили, дипломци су стицали савремена знања из примене рачунара у анализи конструкција. Тако су касније, по дипломирању, били у стању да у грађевинску праксу унесу савременији приступ у прорачуну и пројектовању конструкција. Већина студената који су од 1971. године дипломирали на Грађевинском факултету користила је услуге ИРЦ-а. Закључно са школском годином 1995/96. било их је око 1800.

Појавом персоналних рачунара знатно су проширене и могућности коришћења рачунара. Тако се сада рачунари чешће користе за куцање текста, израду цртежа, графикона и за осталу пратећу опрему дипломских и других радова. Неке катедре су и прописале форму дипломских радова у складу са новим техничким могућностима. Ово је довело до повећања броја дипломаца и осталих корисника који користе опрему у ИРЦ-у.

Последипломска настава на Грађевинском факултету увек је била непосредно повезана са радом у ИРЦ-у. Почевши од првог рачунара IBM 1130, последипломци су све више користили услуге Центра за израду семинарских радова и магистарских теза. И данас, без обзира на развој персоналних рачунара, у Центру је веома значајно коришћење рачунара VAX. Овај рачунар, с обзиром на своје карактеристике, омогућује решавање сложених проблема нумеричке анализе које се не могу успешно анализирати применом класичних РС рачунара.

У оквиру ИРЦ-а до сада су урађена 43 магистарска рада за које су ментори били професори из Центра. Ови радови третирали су најактуелније проблеме техничке механике и теорије конструкција и проблеме везане за организацију и технологију грађења. Из области динамике конструкција обрађиване су следеће теме:

- принудне, слободне, непригушене вибрације еластичних правих танкозидних штапова са деформабилним попречним пресеком,
- утицај сеизмичких сила на подземне објекте,
- вертикалне принудне стационарне осцилације масивног темеља,
- нелинеарна динамичка анализа крупнопанелних система зграда, итд.

Стабилност конструкција је била заступљена са следећим темама:

- динамичка стабилност линијских система,
- стабилност танкозидних штапова отвореног недеформабилног попречног пресека,
- еластопластично извијање танких челичних плоча и носача са вертикалним лимом применом методе коначних елемената (МКЕ),
- посткритична анализа просторних система штапова пуног и танкозидног попречног пресека применом МКЕ,
- концепти стабилности притиснутих једноделних штапова итд.

Нелинеарно понашање танкозидних носача разматрано је кроз следеће теме:

- одређивање пластичног зглоба код конзоле I пресека оптерећеног на савијање торзијом,
- сандучаста носач деформабилног попречног пресека укрупњен коначним бројем попречних дијафрагми,
- нумеричко решење за танкозидни штап у кривини,

- анализа танкозидних штапова затвореног и деформабилног попречног пресека,
- савијање са торзијом I носача укљештеног на оба краја у еластопластичној области итд.

Проблеми интеракције тла и објеката разматрани су кроз следеће радове:

- решавање проблема интеракције тла и објекта при земљотресу,
- примена МКЕ код решавања проблема стабилности терена,
- решавање проблема равнот стања деформација по МКЕ уз употребу граничних елемената,
- примена МКЕ код прорачуна плоча на еластичном простору, итд.

Осим горе наведених, у магистарским радовима изучавани су још бројни актуелни проблеми који се односе на спрегнуте конструкције, композитне конструкције, проблеме термоеластичности, динамике кретања возила, и то:

- методе прорачуна спрегнутих конструкција,
- нумеричка кретања возила после исклизнућа из шина,
- примена Preisach-овог модела у еластопластичној анализи носача изложеног цикличном оптерећењу.

Област организације и технологије грађења такође је нашла своје значајно место у магистарским радовима. Обрађиване су следеће теме:

- оптимизација фабричке производње монтажних елемената за стамбену и индустријску градњу,
- примена теорије поузданости у пројектовању конструкцијских система,
- саветодавни систем за помоћ у планирању на великим пројектима у грађевинарству,
- пројектовање и имплементација базе података за потребе управљања пројектима у грађевинарству итд.

Осим ових радова, чији су ментори били професори из ИРЦ-а, треба напоменути да је још б1 последипломац користио услуге Центра при изради магистарске тезе.

Из овог прегледа активности ИРЦ-а у настави може се закључити да је од 1971. године учињен огроман напор, али и да су постигнути значајни резултати, јер се наставна делатност на основним и последипломским студијама више не може замислити без примене рачунара практично у свим предметима који се предају на Грађевинском факултету у Београду.

Научноистраживачки рад

Научноистраживачка активност у ИРЦ-у била је веома интензивна током свих 25 година од његовог оснивања. Она се одвијала кроз:

- израду докторских дисертација,
- израду научноистраживачких пројеката,

- писање публикација за научне скупове и њихову организацију,
- писање публикација за семинаре за иновацију знања и њихову организацију,
- развој и усавршавање software-а.

Резултати ових истраживања објављени су у бројним међународним и домаћим публикацијама и саопштени на многим научним скуповима и конференцијама у земљи и у иностранству.

У ИРЦ-у су урађене 24 докторске дисертације где су ментори били професори из Центра. Осим тога, још 57 доктораната користило је услуге Центра при изради својих дисертација. Наведене дисертације, урађене у Центру, односиле су се, углавном, на следеће области:

- прорачун танкозидних носача,
- примена методе коначних елемената у прорачуну конструкција,
- понашање грађевинских објеката при дејству земљотреса,
- динамичко понашање конструкција у флуидној средини,
- анализа стабилности линијских и површинских носача,
- нелинеарна анализа понашања бетонских и челичних конструкција,
- прорачун спрегнутих конструкција,
- примена оптимизације у грађевинарству итд.

У оквиру наведених области изучавани су следећи проблеми:

- понашање танкозидних просторно кривих штапова,
- анализа стабилности и прорачун по теорији другог реда просторних танкозидних носача недеформабилног попречног пресека,
- теоријска и експериментална анализа локалног и бочног извијања танкозидних челичних I носача деформабилног попречног пресека,
- нелинеарна анализа танкозидних армиранобетонских конструкција,
- прорачун по теорији другог реда, анализа стабилности и пластична анализа просторних линијских система састављених од решеткастих, пуних и танкозидних штапова,
- динамички утицаји ветра на високе објекте,
- анализа интеракције тла и објекта при динамичким оптерећењима применом МКЕ,
- понашање армиранобетонских и спрегнутих конструкција са утицајем пузања при динамичким оптерећењима,
- прорачун спрегнутих конструкција методом деформација,
- нелинеарна анализа армиранобетонских штапова и плоча применом МКЕ,
- анализа равних оквирних носача напрегнутих изнад граничне пропорционалности,
- моделирање интеракције арматуре и бетона код армиранобетонских конструкција применом МКЕ,
- оптимизација поузданости система у грађевинарству,
- оптимизација технологије бетонских радова на ниским температурама.

Важно је напоменути да је као драгоцен резултат наведених докторских дисертација урађен већи број пакета рачунарских програма. То је довело до значајног развоја и усавршавања software-а у Центру. Тиме је формирана библиотека рачунарских програма који се могу користити за најсложе-

није нелинеарне нумеричке анализе при решавању научноистраживачких и стручних проблема.

Да би се створили услови за што квалитетнији научноистраживачки рад и остварили врхунски резултати, у Центру се од почетка водило рачуна да се млађи истраживачи и докторанти шаљу на усавршавање у познате истраживачке центре широм света. У том погледу посебно је значајна сарадња са универзитетима у Великој Британији и САД. То се односи на универзитете у Лондону (Imperial College), Кардифу (University College Cardiff), Свонсију (Institute for Numerical Method, University of Wales, Swansea), Чикагу (University of Illinois), Сан Франциску (University of California, Berkeley) итд.

Посебно значајан вид активности ИРЦ-а односио се на одржавање курсева из иновације знања из области техничке механике и теорије конструкција. Наиме, показало се да су инжењери из праксе, посебно они који се баве прорачуном сложених грађевинских објеката заинтересовани за стицање нових сазнања из савремених проблема техничке механике и теорије конструкција. До тога је дошло јер је брз развој рачунарске технике и одговарајућих нумеричких метода у релативно кратком времену променио начин прорачуна инжењерских конструкција. Да би инжењери из праксе могли успешно применити ова сазнања, оцењено је да је потребно одржавати одговарајуће курсеве како би се слушаоцима изложила материја коју нису имали прилике да слушају на основним студијама.

Први семинар из циклуса *Иновација знања из области техничке механике и теорије конструкција* одржан је у Београду 1981. године. Тема семинара била је *Савремене методе прорачуна у стабилности линијских носача*. Руководилац семинара био је проф. др Димитрије Димитријевић. Материјали су штампани у посебној књизи од 546 страница у издању Југословенског грађевинског центра, који је био издавач и за следећа два семинара.

Други семинар одржан је 1982. године у Београду. Тема семинара била је *Метод коначних елемената у прорачуну инжењерских конструкција*. Укупно је изложено 16 реферата који су штампани у посебној публикацији од 582 странице. Руководилац овог семинара био је проф. др Миодраг Секуловић.

Трећи, последњи, семинар из овог циклуса одржан је у Опатији 1983. године. Тема семинара била је *Савремени проблеми динамике конструкција*. На семинару је изложено 12 реферата који чине публикацију од 755 страница. Руководилац је био проф. др Влатко Брчић.

На захтев стручне јавности, ИРЦ је одржао и два семинара о примени рачунара при прорачуну грађевинских конструкција. Први семинар одржан је у Институту „Гоша“ у Београду 1985. године, на тему *Прорачун инжењерских конструкција помоћу рачунара*. Други семинар одржан је у РЕ-ИК „Колубара“ у Лазаревцу, исте године, са темом *Примена рачунара у прорачуну конструкција*. Руководилац за оба ова семинара био је проф. др Миодраг Секуловић.

У току 1986. у Будви је одржана једна од до тада најзначајнијих међународних конференција у свету из области челич-

них конструкција. То је било могуће организовати захваљујући угледу који наши врхунски стручњаци и научници из ове области уживају у свету. Председник научног комитета конференције био је академик Никола Хајдин, а чланови су били: Р. Ј. Dowling са Империјал колеџа у Лондону, проф. др Миодраг Секуловић и Н. R. Evans са Универзитета у Кардифу. Организатори скупа били су Српска академија наука и уметности, Империјал колеџ Лондон, Универзитет у Кардифу и Грађевински факултет у Београду.

Тема конференције била је *ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУЦИЈЕ – Нова сазнања и њихова примена при пројектовању* (International Conference: STEEL STRUCTURES – Recent Research Advances and Their Applications to Design). – На конференцији је узело учешћа више од 250 стручњака из области истраживања и пројектовања челичних конструкција. Били су присутни практично сви водећи стручњаци из света који се баве овом проблематиком, тако да је иностраних стручњака било више од 150 и то из следећих земаља: Велика Британија, САД, СССР, Француска, Немачка, Аустралија, Канада, Италија, Швајцарска, Холандија, Јапан, Мађарска, Кина, Чехословачка, Тајланд, Румунија, Португалија, Пољска, Иран, Ирак, Сингапур, Норвешка, Турска, Финска, Ирска и Кувалт.

Материјали симпозијума штампани су у две публикације. Прву публикацију штампала је позната светска издавачка кућа Elsevier Applied Science Publisher, Лондон и Њујорк, 1986. године. Наслов публикације која има 598 страница је *STEEL STRUCTURES – Recent Research Advances and Their Applications to Design*, edited by M. N. Pavlović. Књига садржи 28 реферата који су по позиву изложени на конференцији. Од тог броја, аутори три реферата су из Југославије, а аутори осталих реферата су врхунски стручњаци са свих континената.

Другу публикацију под истим насловом едитора академика Николе Хајдина и проф. др Миодрага Секуловића штампала је Грађевински факултет на енглеском језику. Ова публикација састоји се од три посебне књиге са укупно 1104 странице. Ту су штампани сви реферати који су прихваћени и саопштени на овој међународној конференцији. Дато је укупно 107 реферата од којих су инострани аутори написали 84, а аутори 23 реферата су из Југославије.

Ова конференција је дала целовит приказ најновијих сазнања која су се односила на теоријско и експериментално истраживање челичних конструкција и њихово пројектовање. Ту је саопштен значајан број вредних радова који су касније коришћени и цитирани широм света у многим научним и стручним публикацијама и часописима.

Марта 1993. одржан је на Копаонику, у организацији ИРЦ-а, симпозиј *Савремени проблеми нелинеарне анализе конструкција*. На симпозију је изложено 14 уводних реферата, као и већи број реферата који су се односили на приказ најновијих програма нелинеарне анализе конструкција у свету и код нас. Материјали са овог симпозија публиковани су у посебној монографији издатој преко Грађевинске књиге. Наслов ове монографије је *Теорија конструкција – савремени проблеми нелинеарне анализе* (едитор проф. др Миодраг Секуловић).

Осим семинара везаних за прорачун грађевинских конструкција, Инжењерски рачунски центар организовао је и семинаре из области технологије грађења и менаџмента.

У оквиру ИРЦ-а реализован је велики број научноистраживачких пројеката. У прво време финансирање ових пројеката било је из сопствених средстава остварених из сарадње са привредом. Средином седамдесетих година ИРЦ добија средства за научноистраживачки рад и од Републичке заједнице за научни рад СР Србије. Међутим та средства су релативно мала па се научноистраживачки пројекти у оквиру ИРЦ-а и даље, углавном, финансирају из сопствених средстава.

Осамдесетих година факултет, односно ИРЦ почињу да добијају знатнија средства од Интересне заједнице за научни рад СР Србије и Заједнице науке Београда. Та су средства омогућила дугорочније и стабилније планирање научноистраживачког рада, а, што је још важније, тиме су створени бољи услови за прелазак са индивидуалног на тимски рад.

Један од научних пројеката који је реализован уз помоћ ових средстава био је *Развој и примена software-а у Грађевинарству*, и то од Заједнице науке Београда током 1988/1989 (руководилац проф. др М. Секуловић).

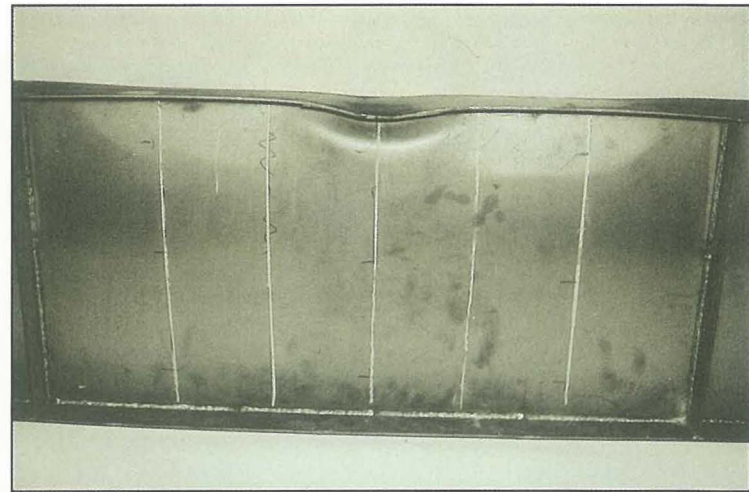
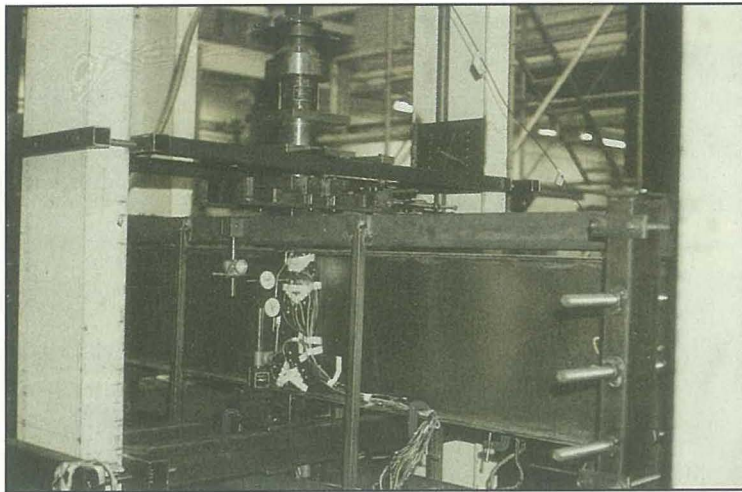
Научноистраживачка активност у оквиру ИРЦ-а успешно је настављена и интензивирана последњих пет година када је финансирање преузело Републичко министарство за науку и технологију. Од јануара 1991. у оквиру ИРЦ-а реализује се петогодишњи научноистраживачки пројекат *Испитивања у теорији конструкција* чији је руководилац академик Никола Хајдин. У овом пројекту ангажовано је укупно 25 истраживача. Пројекат је завршен 1995. године, а Грађевински факултет је са другим сродним факултетима и научноистраживачким установама већ конкурисао код Министарства за науку и технологију за нови период од 1996. до 2000. године.

Од 1994. године Савезно министарство за науку финансира и пројекат *Испитивање статичког и динамичког понашања конструкција* (руководилац проф. др Миодраг Секуловић).

Као резултат успешне сарадње Грађевинског факултета са Институтом техничких наука САНУ, Институтом „Борис Кидрич“ у Винчи и Машинским факултетом у Београду, у ИРЦ-у се реализује део заједничког научноистраживачког пројекта *Комплексна теоретска и експериментална испитивања расхладних кула за термоелектране* (руководиоци: академик проф. др Никола Хајдин и проф. др Миодраг Секуловић).

Осим наведених пројеката, у оквиру ИРЦ-а се реализује и технолошки пројекат под називом *Унапређење конструкцијских система у монтажној грађњи стамбених, индустријских и јавних објеката*. Овај пројекат такође финансира Републичко министарство за науку и технологију и то за период од три године (од 1995. до 1998. године). Руководилац пројекта је проф. др Миодраг Секуловић а на пројекту је ангажовано 23 истраживача.

Важан вид научноистраживачке активности одвијао се и кроз међународну сарадњу са страним институцијама у виду израде заједничких научноистраживачких пројеката. Тако је, на пример, од 1979. до 1981. године у сарадњи са Универзите-



Слика 1 – Експериментално испитивање стабилности челичних лимених носача

том у Кардифу, Велика Британија, реализован пројекат *Теоријска и експериментална анализа локалног и бочног извијања челичних I носача деформабилног попречног пресека*. Експериментални део пројекта урађен је у Кардифу (слика бр. 1, а теоријски део у Београду. У реализацији пројекта учествовали су академик проф. др Н. Хајдин, prof. dr K. S. Rokey, dr T. M. Roberts, mr B. Ђорић и инж. Н. Марковић.

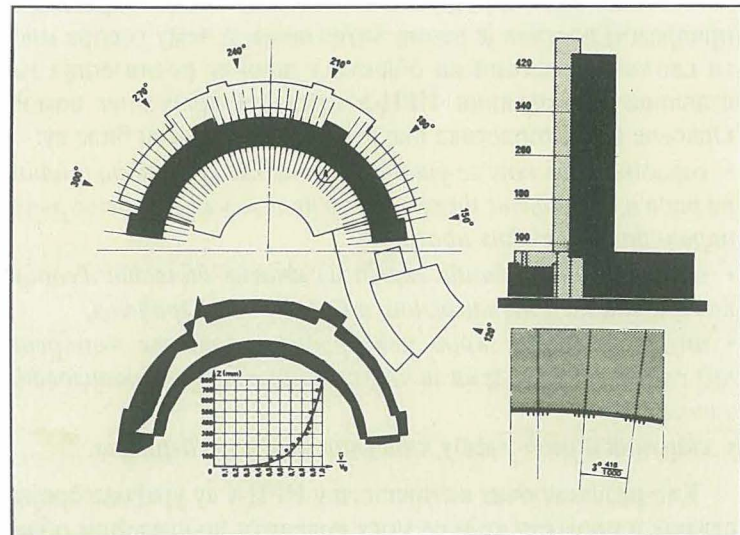
Сарадња са научноистраживачким институцијама из Русије довела је до реализације два значајна пројекта:

Први пројекат под насловом *Унапређење конструкцијских система кружнопанелне монтажне градње стамбених објеката*, ЈИНПРОС Београд, урађен је у сарадњи са институтом ЦНИИЕП-ЖИЛИШГА из Москве. Руски партнер је био задужен за експериментални део пројекта у виду симулације земљотреса на готовим објектима, док је у ИРЦ-у обављена нумеричка анализа динамичког понашања објеката. Руководиоци пројекта били су проф. др М. Секуловић и Г. Ашканадзе.

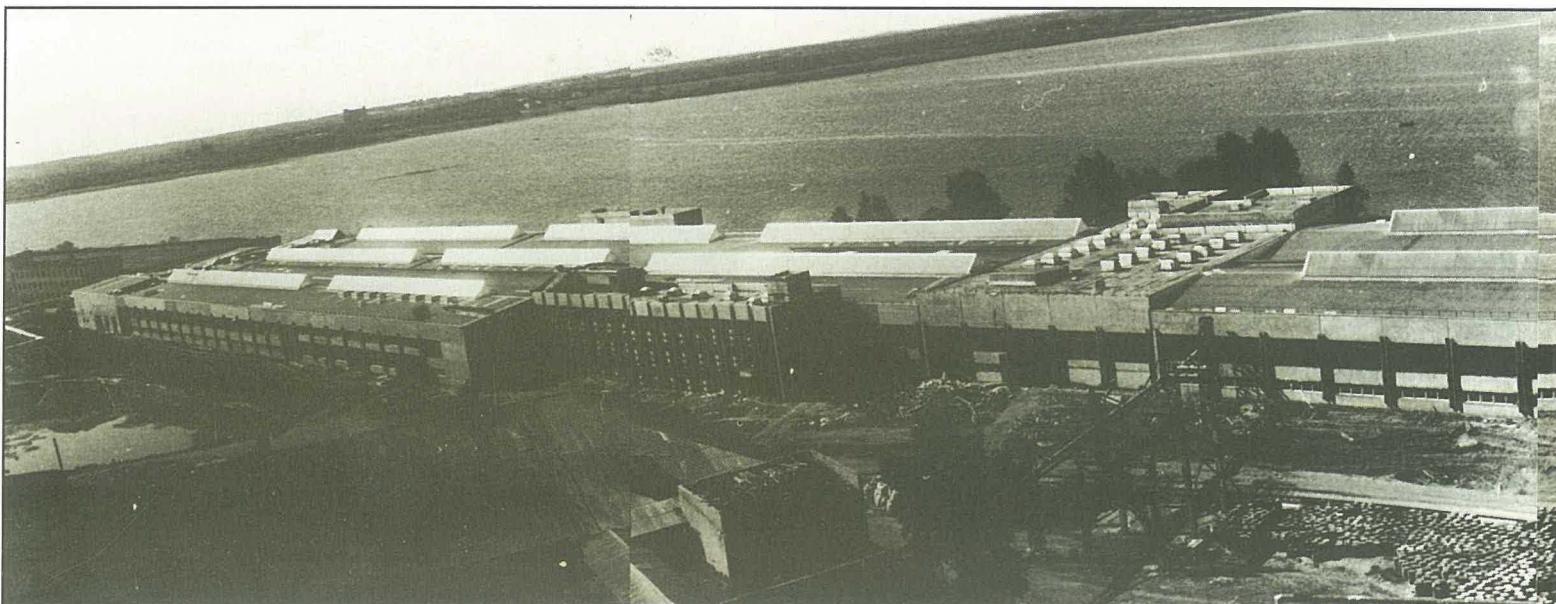
Други пројекат урађен је у сарадњи са институтом АЕРО-ПРОЈЕКТ из Москве. Тема пројекта била је *Теоретска и експериментална испитивања понашања конструкција аеродромских писта у Сибиру*. Аутори пројекта били су проф. др М. Секуловић и инж. Г. Шкара са групом сарадника.

Осим научноистраживачких тема из области које су везане за активност чланова ИРЦ-а, у оквиру ове јединице рађене су и друге научноистраживачке теме. Носиоци ових тема били су наставници са других катедара и института, а ИРЦ је само помагао при њиховој реализацији давањем на располагање своје компјутерске опреме и пружањем других одговарајућих услуга.

Из ове анализе активности која се односи на област научноистраживачког рада може се закључити да су постигнути значајни резултати и на југословенском и на међународном нивоу. Имајући у виду садашњи потенцијал истраживача који раде у ИРЦ-у, и у будућности се могу очекивати вредни резултати и интензивна научноистраживачка активност.



Слика 2 – Хошел „Космос“ у Москви



Слика 3 – Фабрика

Сарадња са привредом

Примена рачунара у области анализе и прорачуна грађевинских конструкција почетком седамдесетих година умногоме је променила затечено стање. Сложени проблеми динамике и стабилности конструкција, проблеми материјалне и физичке нелинеарности конструкција као и садејства тла и објекта тек су применом рачунара могли бити решавани уз разуман утрошак времена. И читав низ дугих комплексних проблема који су раније са нумеричког аспекта сматрани практично за нерешиве, коришћењем рачунарске технике добили су своја практична решења доступна инжењерима из праксе.

Из ових разлога, одмах по оснивању ИРЦ-а сарадња са привредом постала је веома интензивна, о чему говоре многи сложени грађевински објекти у чијој су реализацији наставници и сарадници ИРЦ-а пружили драгоцену помоћ. Основне карактеристике ове стручне активности биле су:

- сарадња кроз коју се утицало на промену метода и начина рада и на увођење инжењера из праксе у коришћење рачунара и одговарајућих програма,
- едукација и иновација знања из многих области Теорије конструкција и Менаџмента и технологије грађења,
- пружање услуга кроз непосредно решавање конкретних сложених проблема за које су потребна специјализована знања,
- стручна помоћ у виду консултација и експертиза.

Као резултат ових активности у ИРЦ-у су урађене бројне студије и пројекти који се могу поделити по следећим областима:

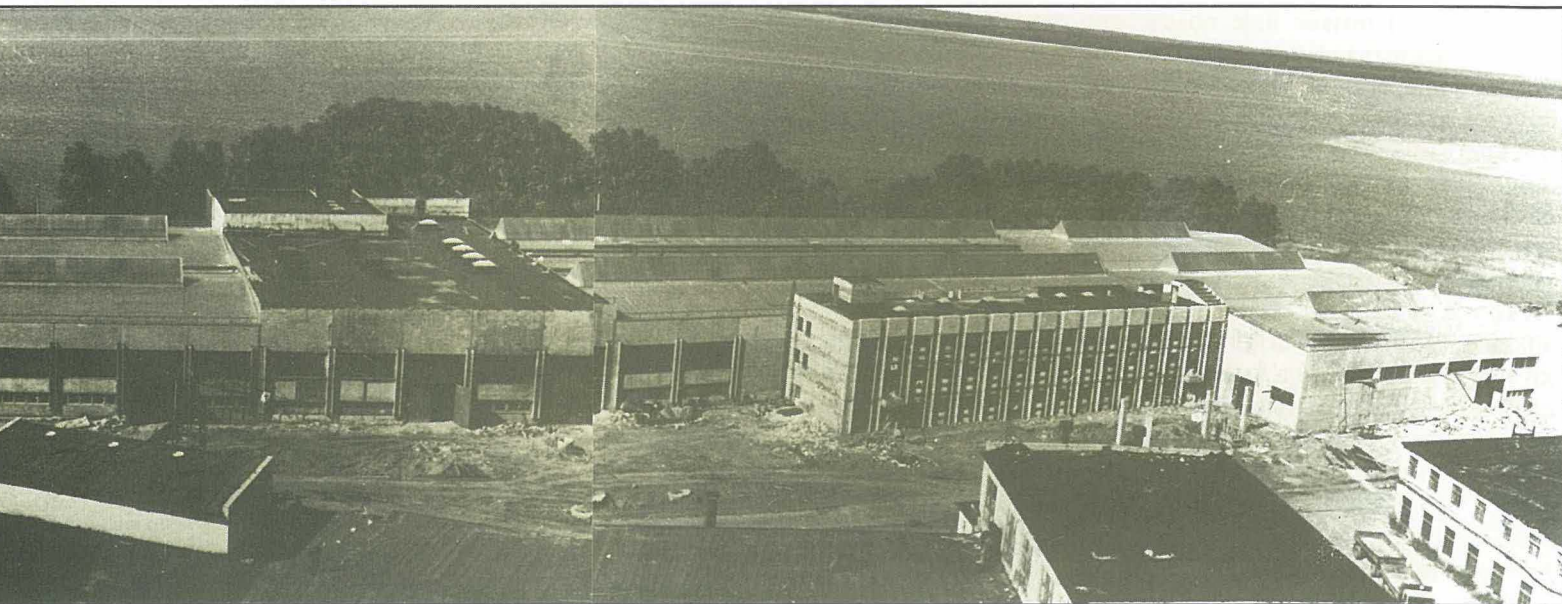
Проблеми садејства објеката и тла

Прорачун интеракције објекта и тла, као један од најсложенијих проблема при прорачуну грађевинских конструкција, био је предмет изучавања на многим објектима. Поменимо прво случај анализе статичко-деформацијских утицаја у темељним конструкцијама које леже на тлу као еластичном полупростору. За решење овог проблема урађени су одговарајући програми који су успешно примењени на следећим објектима:

- већи број темељних конструкција за солитере: на Н. Београду, у насељима Бањица и Медаковић, у Бања Луци, Крагујевцу, Котору, Приједору итд.,
- темељна конструкција хотела „Бристол“ у Сарајеву,
- темељна конструкција хотела „Космос“ у Москви,
- темељне конструкције силоса у Новом Кнежевцу, Врбасу и Ковачици,
- темељна конструкција високе пећи у Зеници,
- темељна конструкција котла ТЕ „Пљевља“,
- темељна конструкција хладњака ТЕ „Колубара“,
- темељна конструкција складишта цистерни у Винковцима,
- темељна конструкција за силосну батерију од 12 армирано-бетонских силоса у Салашу код Зајечара итд.

Осим проблема везаних за темељење конструкција, у ИРЦ-у су урађене бројне студије које су се односиле на прорачун сложених конструкција и њихову интеракцију са тлом:

- прорачун конструкције тунела Дедиње у оквиру нове железничке станице у Београду,
- статичко-деформацијска анализа конструкција тунела Мишелук у Н. Саду,



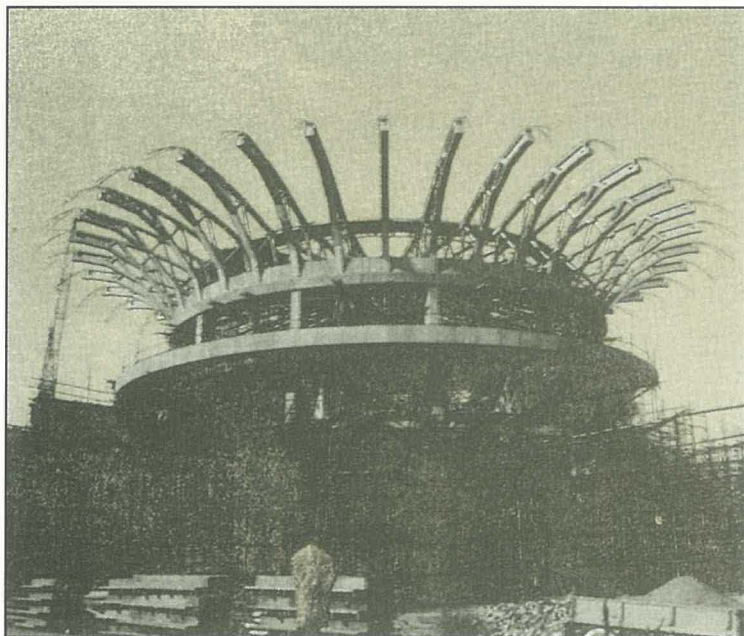
ишкову, Русија

- анализа статичких утицаја и деформација тунелских конструкција у оквиру бране „Селова“,
- примена шипова и бунара на изградњи тунелских и других специјалних конструкција у склопу изградње новог железничког чвора у Београду,
- прорачун динамичке интеракције грађевине и тла у насељима Медаковић и Бањица,
- пројекат потпорне грађевине за хотел „Авала“ у Будви,
- студија избора оптималног попречног пресека за више тунелских конструкција за потребе ЈНА,
- студија о примени МКЕ за прорачун гравитационих брана,

- студија о примени МКЕ код прорачуна плоча на еластичном полупростору,
- студија о примени граничних елемената код прорачуна објеката који се налазе у условима равнoг стања деформација итд.

Динамика конструкција

Земљотрес у Скопљу 1963. године показао је да је потребан нови, савременији приступ у пројектовању и извођењу објеката који су изложени дејству сеизмичких сила. Међутим, у то време Динамика конструкција се још није предавала на грађевинским факултетима у Југославији, па већина



Слика 4 – Музеј ваздухопловства на Аеродрому Београд

стручњака из праксе није поседовала довољно теоријских знања и искуства за прорачун грађевинских објеката на дејство земљотреса. Зато је одмах по оснивању ИРЦ-а дошло до бројних захтева грађевинских фирми за помоћ при изради ове врсте прорачуна. Може се слободно рећи да је ИРЦ имао пионирску улогу у оспособљавању инжењера из праксе да овладају основним сазнањима из динамике конструкција и земљотресног инжењерства.

Како у то време није постојао одговарајући software, у ИРЦ-у је направљен један од првих програма за динамичку анализу високих објеката. То је био програм где је динамички модел конструкције имао број маса једнак броју етажа, а сеизмичке силе су рачунате према важећим прописима. Применом овог програма срачунати су многи објекти у Југославији, на пример:

- већи број солитера у Београду (Н. Београд, насеље Бањица, Кијево–Кнежевац, блок зграда у улици 27. март, зграде у блоку на Дорћолу итд.),
- већи број солитера у Бања Луци,
- стамбени објекти у насељу Шкаљари у Котору,
- стамбени објекти у насељу Сењак у Тузли,
- стамбени објекти у Крагујевцу (насеља Палилулски поток, Аеродром и Мала вага),
- дом пензионера у Неуму,
- анекс хотела „Праг“ у Београду,
- самачки хотел „Београдпута“,
- дом здравља у Прибоју,
- аутокућа „Шумадија“ у Београду,
- болница у Зрењанину,
- управна зграда предузећа „Пројектант“ у Мостару,
- комплекс стамбених објеката и хотел „Сана“ у Приједору,
- више стамбених објеката у М. З. „Јанко Лисјак“ у Београду, итд.

Сталним усавршавањем постојећих програма из динамичке конструкција, у ИРЦ-у је добијен модеран software за анализу линеарног и нелинеарног одговора конструкције. Овај програм прилагођен је прописима разних земаља па је послужио за прорачун већег броја сложених грађевинских објеката у земљи и у иностранству, и то:

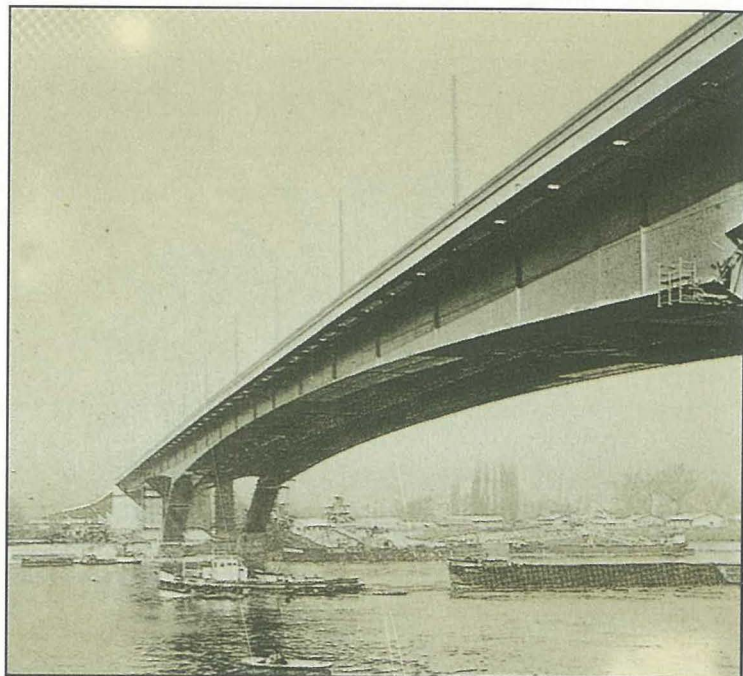
- динамичка анализа хотела „Космос“ у Москви,
- динамичка анализа армиранобетонског резервоара за воду у Либији,
- три стамбена објекта са 9, 10 и 11 спратова у Алжиру,
- динамичка анализа фабрике коже у Осташкову (Русија),
- студија динамичког понашања конструкције објекта Administrativna Budova у Прагу,
- динамичка анализа батерије челичних силоса у Либији,
- динамички прорачун конструкције нове зграде ЈАТ-а у Београду,
- динамички прорачун конструкције нове зграде „Југопетрола“ у Београду,
- сеизмички прорачун конструкције у виду торуса Музеја Југословенског ваздухопловства у Београду,



Слика 5 – Војно-медицинска академија у Београду

- студија крупнопанелног монтажног система ЛИНГРАП,
- динамички прорачун доњег строја моста преко Саве код Остружнице,
- студија динамичког понашања расхладног торња облика ротационог хиперboloида за термоелектрану „Колубара“,
- динамички прорачун међусупратне плоче у фабрици фрижидера „Стинол“ у Новолипецку (Русија) итд.

Као што је већ речено, сарадња са привредом у ИРЦ-у одвијала се кроз пружање услуга при решавању конкретних проблема грађевинске струке. Најчешће су то били **специјални објекти** који су захтевали студијски рад. Овде ће се навести само неке од важнијих студија и прорачуна које су урађене у Центру за такве објекте:



Слика 6 – Мост „Газела“ преко Саве у Београду

Бране

- студија о прорачуну лучних брана по методи интегралних једначина,
- студија о примени МКЕ за прорачун гравитационих брана,
- експертиза при изради идејног пројекта лучне бране „Бања Лука“,
- статичка и динамичка анализа бране „Грахово“,
- статичка и динамичка анализа бране „Модрац“, итд.

Силоси и резервоари

- статичко-деформацијска анализа челичног силоса запремине 15000 m³, Алуминијумски комбинат у Подгорици,
- анализа стабилности и прорачун статичко-деформацијских утицаја цилиндричних резервоара „Прве искре“ из Барича,
- анализа стабилности и прорачун статичко-деформацијских утицаја силоса за глиницу запремине 26000 m³ у Зворнику,
- теоријска и експериментална истраживања силоса за жито GOŠA-LONG,
- студија оптималног пројектовања челичних резервоара за вино запремине до 1000 m³,
- статичка и деформацијска анализа челичног силоса у Зворнику запремине 28000 m³,
- статичко-деформацијска анализа правоугаоног силоса у Тузли висине 60 m,
- прорачун резервоара (згушњивача) пречника 20 m за рудник у Страгарима,
- статичка, динамичка анализа и испитивање стабилности резервоара за гориво и ускладиштење уља у Краљевоу итд.

Подземне конструкције

- статичко-деформацијска анализа више подземних објеката и складишта за потребе ЈНА,
- идејни и главни пројекат двоенаменског атомског склоништа у Брчком,
- студија о стању напрезања и деформација подземних грађевина у рудницима Мајданпек и Трепча,
- студија понашања главних подземних објеката (аеродрома) у оквиру пројекта 303, 404, 505 и 606 у Ираку итд.

Конструкције за специјалне намене

- студија о стању напона и деформација покретних платформи за Бродоградилште „Тито“ у Београду,
- студија о стању напона и деформација пловног дока ЈРМ у Новом Саду,
- напонско-деформацијска анализа рачви цевног система под притиском, Минел-котлоградња,
- пројекат челичне конструкције носача парног котла у Заводима „Црвена застава“ у Крагујевцу,
- динамичка анализа галерије транспортера за угаљ СУП2 у Колубари итд.

Кровне конструкције хала и дворана

- анализа статичко-деформацијских утицаја хиперболично-параболичне кровне љуске затвореног базена Спортског центра „25. мај“ у Београду,

- статичка и деформацијска анализа конструкције комплекса базена у Пољуду за Медитеранске игре у Сплиту,
- статичко-деформацијска анализа кровне конструкције нове железничке станице „Прокоп“ у Београду,
- студија мрежасте структуре заштитне кровне конструкције археолошког налазишта Лепенски вир.

Аntenски стубови и димњаци

- статичко-деформацијска анализа антенског стуба у Нигерији,
- статичко-деформацијска анализа антенског стуба Дели Јован,
- статичко-деформацијска анализа димњака висине 210 m у Обреновцу,
- студија о статичком и динамичком понашању челичног димњака висине 70 m у Прахову,
- сеизмичка анализа димњака висине 50 m за објекат ВМА на Бањици итд.

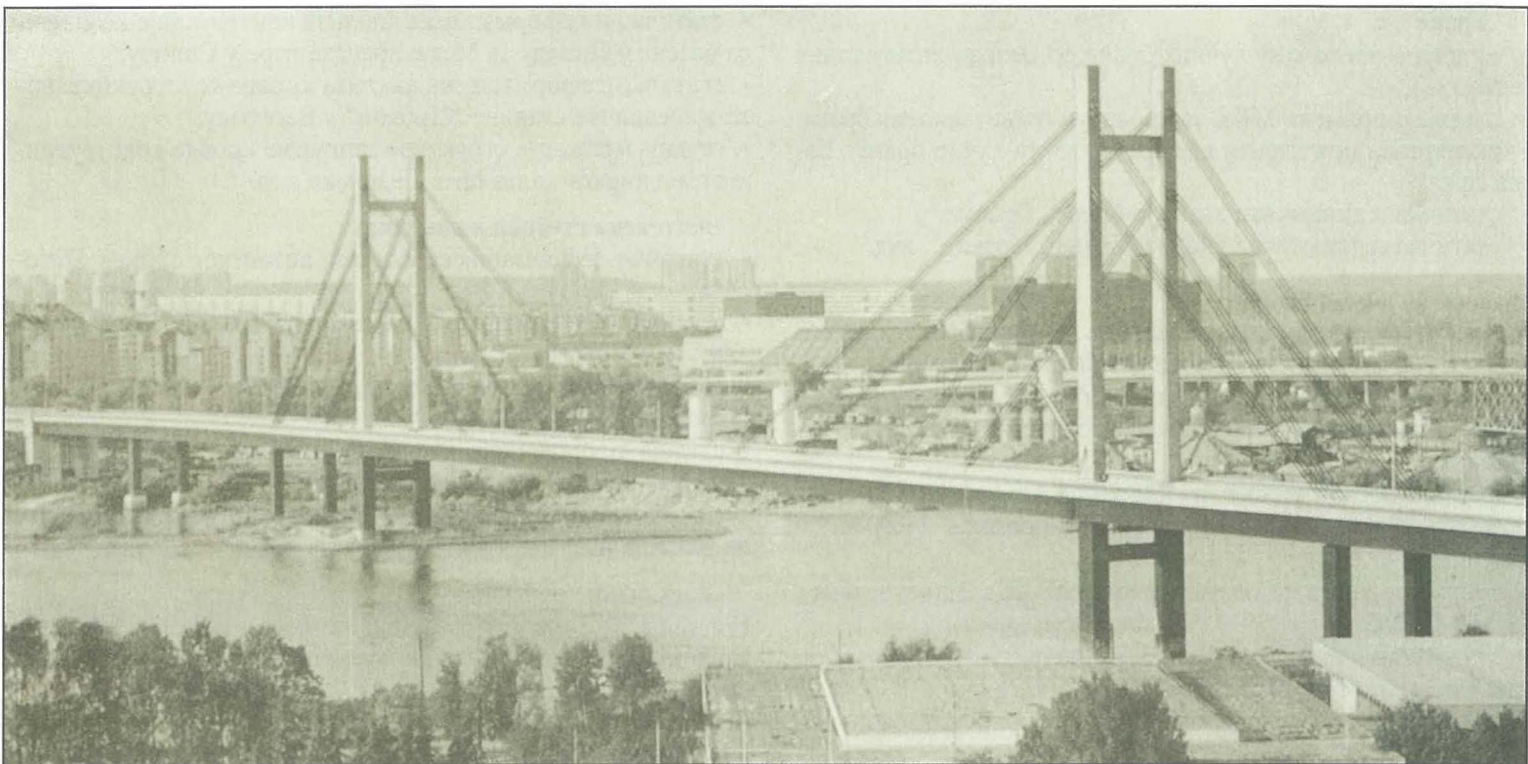
Расхладни торњеви

- студија статичког и динамичког понашања великих расхладних кула облика ротационог хиперболоида за ТЕ „Колубара“,
- пројекат расхладног торња у облику ротационог хиперболоида за термоелектрану „Битола“ III,
- идејно решење и студија о понашању конструкције расхладног торња ТЕ „Угљевик“ итд.

Мостови

Вероватно најзначајнији вид истраживачког рада у сарадњи са привредом односио се на анализу понашања и порачун мостова великих распона. При томе треба истаћи да је дугогодишњи управник ИРЦ-а академик Никола Хајдин био аутор два велика моста: *Новог железничког моста* преко Саве у Београду (сл. 7) и моста *Слободе* преко Дунава у Новом Саду (сл. 8), док је академик Милан Ђурић био аутор моста *Газела* преко Саве у Београду (сл. 6). За ова три моста која представљају врхунска остварења југословенског, па и светског грађевинарства, у ИРЦ-у су урађене комплексне студије чији су резултати приказани у многим страним и домаћим публикацијама и саопштени на међународним и домаћим конгресима. Осим тога, и за друге значајне мостовске конструкције изграђене у Југославији, тражена је сарадња и помоћ стручњака ИРЦ-а. Као резултат те активности урађене су бројне студије:

- студија о понашању изведених спрегнутих мостовских конструкција на пружи Титово Ужице–Прибој,
- студија спрегнуте конструкције моста „Орашје“ преко реке Саве,
- статички прорачун у оквиру идејног пројекта моста преко акумулације Шипље у Македонији,
- статичко-деформацијска анализа спрегнуте конструкције моста „Ибар“ II,
- идејни пројекат моста на реци Пиви преко акумулације ХЕ „Мратиње“,
- студија о статичко-деформацијском понашању моста „Газела“ према теорији другог реда,



Слика 7 – Нови железнички мост преко Саве у Београду

анализа напонско-деформацијских утицаја на мосту „Газела“ пре пуштања моста у експлоатацију,

студија статичких и деформацијских утицаја комплетних конструкцијских система саобраћајних чворова Аутокоманда и Мостар услед пробних оптерећења,

студија о статичко-деформацијском понашању главе конструкције Новог железничког моста преко реке Саве у Београду, у оквиру идејног и главног пројекта,

анализа стабилности пилона Новог железничког моста преко Саве у Београду,

анализа стања напона и деформације челичне конструкције моста у оквиру пројекта проширења моста преко реке Саве у Бранковој улици у Београду,

комплетна статичко-деформацијска анализа главне конструкције моста „Слободе“ преко Дунава у Новом Саду,

анализа локалних напрезања у конструкцији моста „Слободе“ у Новом Саду на месту везивања сајли и главног носача применом МКЕ,

анализа торзионих вибрација за мост „Слободе“ у Новом Саду,

статички и динамички прорачун трамвајских мостова на прузи за Баново Брдо у Београду,

анализа статичких утицаја и деформација челичног вијадукта преко пруге у Крагујевцу,

статичко-деформацијска анализа моста „Газиводе“,

статичко-деформацијска анализа више варијанти у оквиру идејног решења за Нови мост преко Аде Циганлије у Београду,

динамички прорачун доњег строја моста преко Саве код Остружнице итд.

Санације

Стручњаци ИРЦ-а учествовали су у санацији многих грађевинских објеката у земљи и у иностранству, при чему се ова активност најчешће односила на утврђивање узрока оштећења и на предлагање мера за санацију конструкције. Тако, на пример, после земљотреса у Црној Гори 1979, ИРЦ је позван да учествује у изради пројекта санације за већи број оштећених објеката, из чега је произишао низ студија везаних за нелинеарну динамичку анализу конструкција. Осим за санирање последица земљотреса, стручњаци Центра били су позивани и када су оштећења настајала услед грешака при пројектовању и извођењу објеката. У питању су углавном били комплексни грађевински објекти као што су: силоси, резервоари, подземни објекти итд. Санације које су урађене у Центру односиле су се на следеће конструкције:

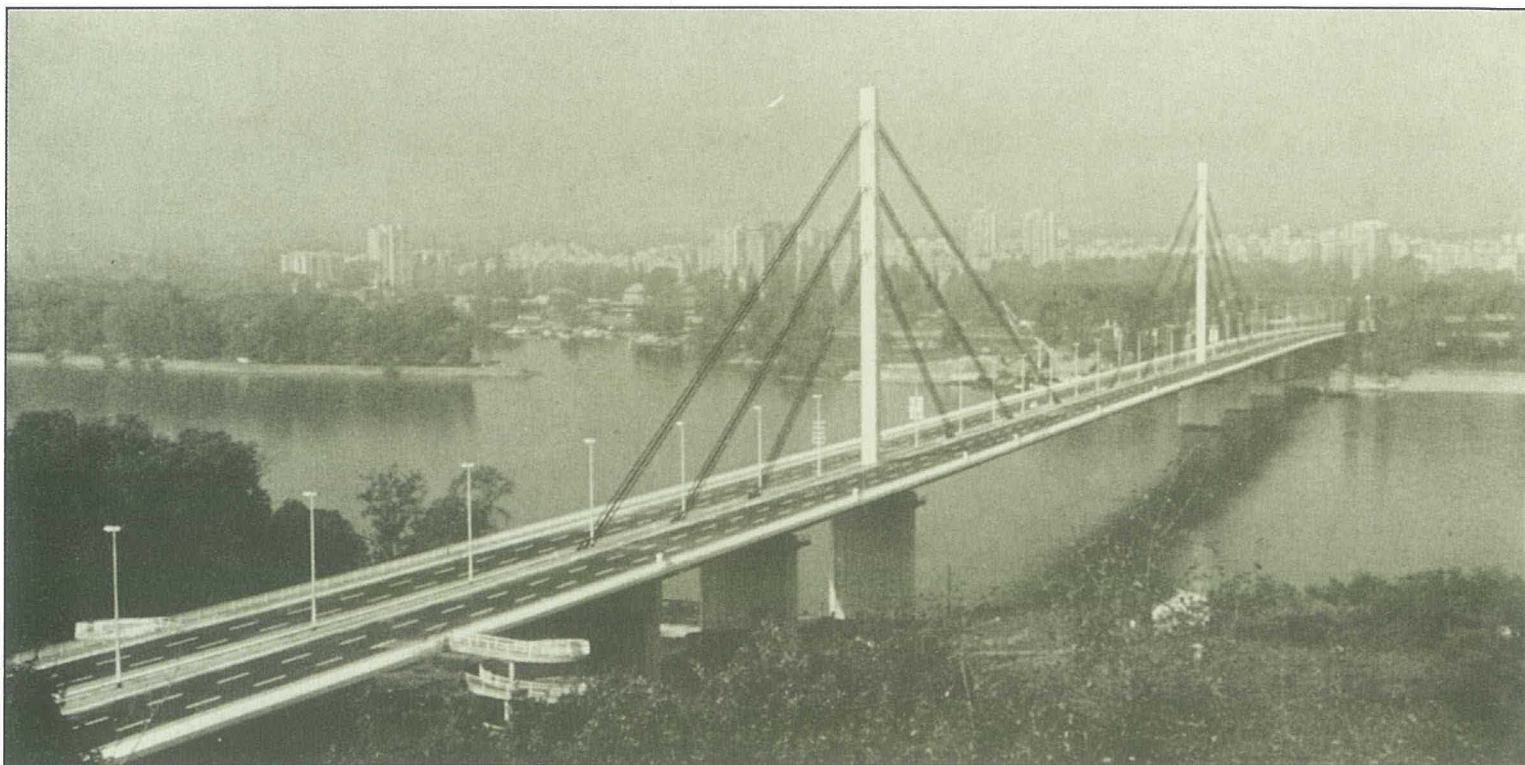
статичка анализа и предлог за санацију хотела „Астареа“ у Млинима,

динамичка анализа и предлог за санацију стамбено-пословног објекта П+13 у Бања Луци оштећеног услед земљотреса,

пројекат санације силосне батерије од 15 челичних силоса (висине 35 m, пречника 7.8 m) у Ковачици,

пројекат санације моста преко реке Брке у Брчком,

динамичка анализа, прорачун и предлог мера за санацију Основне школе „Б. Стругар“ у Улцињу,



Слика 8 – Друмски мост преко Дунава у Новом Саду

динамичка анализа и прорачун главних конструктивних система хотела „Гарни“ и „Медитеран“ у Бечићима и решење за санацију конструкције,

пројекат санације дела конструкције хотелског комплекса „Авала“ у Будви,

динамичка анализа и прорачун главних конструктивних система хотела „Нафтагас“ у Бечићима и решење за санацију конструкције,

линеарна и нелинеарна анализа конструкције комплекса базена у Сплиту у оквиру пројекта санације,

студија санације хале хладне ваљаонице комплекса МКС страдале у пожару,

динамичка анализа и предлог за санацију темељне конструкције машине за балансирање ротора Енергане Жељезаре у Смедереву,

динамичка анализа и предлог за санацију темељне конструкције дробилице у Мајданпеку,

пројекат санације хале за прераду шљива АИК „Воћар“ у Ваљеву,

пројекат санације конструктивног система Основне школе у Радинцима код Смедерева,

студија о носивости и стабилности старе фабрике „Вапа“ у Београду са пројектом санације,

санација објеката нискоградње у оквиру пројекта 1100 у Ираку,

студија узрока слегања и деформације конструкције производне хале фабрике фрижидера „СТИНОЛ“ у Липецку (Русија) са предлогом за санацију итд.

Треба напоменути да су се чланови ИРЦ-а, осим студијског рада везаног за анализу конструкција, бавили и пројектовањем сложених објеката. Тако на пример, проф. др Миодраг Секуловић је аутор конструктивног решења хотела „Космос“ у Москви (сл. 2). Проф. др Бранислав Ђорић (са инжењером Бранком Митићем) је одговорни пројектант конструкције Фабрике коже у Осташкову (Русија), која је са површином од преко 40000 m² једна од највећих фабрика те врсте у свету (сл. 3).

Из приказа стручних активности види се да је ИРЦ имао важну улогу у реализацији многих објеката у земљи и иностранству. Може се очекивати да ће и у будућности допринос ИРЦ-а у развоју југословенског грађевинарства бити значајан.