

SIMPOZIJ U SKLOPU ISTRAŽIVAČKOG PROJEKTA YODA HRZZ-a

PRIPREMILE:

Antonia Jaguljnjak Lazarević
Elizabeta Šamec

Minisimpozij o numeričkim postupcima

Na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 11. lipnja 2019. održan je Minisimpozij o numeričkim postupcima, namijenjen razmjeni iskustava između istraživača u području suvremenih metoda proračuna konstrukcija

Kroz tri pozvana predavanja i devet izlaganja prikazano je stanje razvoja nekih numeričkih i eksperimentalnih postupaka za rješavanje inženjerskih problema, a održana je i rasprava koja je pokazala da je povezivanje na tim susretima više nego dobrodošlo. Minisimpozij je zadnja sastavnica istraživačkoga projekta "Novi, učinkoviti iteracijski postupak proračuna konstrukcija – poopćenje suvremenih metoda" (YODA, IP-2014-09-2899), koji je financirala Hrvatska zaklada za znanost. Organiziran je u želji da članove znanstvene zajednice upozna s rezultatima projekta i potakne na buduću suradnju. Taj četverogodišnji projekt započeo je 1. rujna 2015. U njemu trenutačno sudjeluje sedam istraživačica i istraživača, i to njih šestoro s Građevinskoga fakulteta te jedna istraživačica s Rudarsko-geološko-naftnoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (više o projektu na mrežnim stranicama: <https://www.grad.unizg.hr/yoda>). Skup je otvoren pozvanim predavanjem koje je održao prof. dr. sc. Samir Dolarević s Građevinskoga fakulteta Univerziteta u Sarajevu. U predavanju o numeričkoj analizi mehanizma loma tla ispod temelja prikazane su prednosti i nedostaci modeliranja tla uz pomoć *multi-surface cup* modela i pristupa modeliranju tla diskretnim rešetkastim modelom sastavljenim od Timošenkovih greda.

U pozvanome predavanju "Modelling corrosion of steel reinforcement in concrete. Past, present and future" prof. dr. sc. Joško Ožbolt s Institute of Construction Materials, Univesity of Stuttgart, dao je pregled različitih modela za

analizu korozije armature u betonskim konstrukcijama uzrokovane agresivnim djelovanjem klorida. Na nekoliko numeričkih primjera prirodne i ubrzane korozije prikazane su simulacije složenih procesa prije depasivacije čelične armature i nakon nje.

Prof. dr. sc. Ivica Kožar s Građevinskoga fakulteta u Rijeci u predavanju "Procjena parametara i opterećenja iz mjerenja na konstrukcijama i modelima" prikazao je postupke analize sigurnosti izvedenih objekata određivanjem statičkoga opterećenja iz mjerenja pomaka uz tretiranje pogreške mjerenja da bi se dobili rezultati prihvatljive točnosti.

Voditelj projekta prof. dr. sc. Damir Lazarević s Građevinskoga fakulteta u Zagrebu predstavio je rad na projektu u protekle četiri godine, kao i motivaciju za istraživanje. Cilj je projekta razvoj novoga iteracijskog postupka za rješavanje velikih sustava linearnih algebarskih jednadžbi, koji bi uz nešto veći trošak memorije bio brži od suvremenih izravnih i iteracijskih postupaka. Ideja se temelji na iteracijskome postupku u kojemu se

u svakome koraku iteracije primjenjuje diskretni Ritzov postupak. Tumačenje postupka blisko je inženjerskomu načinu razmišljanja, za razliku od, primjerice, uobičajenoga geometrijskog pojašnjenja metode konjugiranih gradijenata u apstraktnome n -dimenzijskom prostoru. Ritzov postupak i njegove inačice primjenjuju se uspješno za diskretizaciju kontinuiranih problema, ali je primijećeno da sama zamisao i interpretacija postupka nemaju širu primjenu u području rješavanja sustava algebarskih jednadžbi. Na Katedri za statiku, dinamiku i stabilnost konstrukcija Zavoda za tehničku mehaniku zagrebačkoga Građevinskoga fakulteta razvijen je iterirani Ritzov postupak (engl. *Iterated Ritz Method – IRM*), novi iteracijski postupak utemeljen na razvoju prirasta rješenja u potprostoru razvijenom skupom Ritzovih vektora u svakome koraku iteracije. Postupak predstavlja poopćenje brojnih iteracijskih postupaka, daje motivaciju za njihovo poboljšanje, a kao samostalni pristup obećava u linearnim, nelinearnim i optimizacijskim problemima. Pokazuje dobre rezultate u primjeni na velike sustave slabo popunjenih matrica iz konstruktorske prakse. Jedan dio istraživanja bio je usmjeren i na procjenu utjecaja pogreške zaokruživanja na točnost proračuna primjenom racionalne aritmetike, jer predloženi postupak omogućava uspostavu etalona bližih realnim



Zajednička fotografija s minisimpozija YODA 2019.

problemima. Zanimljivo je to da osnovni nacrt ideje datira s kraja sedamdesetih godina prošloga stoljeća kada je prof. emer. Josip Dvornik objavio rad "Generalization of the CG method applied to linear and nonlinear problems" u časopisu *Computers & Structures*. Početkom devedesetih godina prošloga stoljeća za potrebe istraživanja matematičara Srećka Polića, a u suradnji s prof. D. Lazarevićem, napravljena je poboljšana inačica postupka, no do pravoga napretka došlo je tek u sklopu istraživačkog projekta Hrvatske zaklade za znanost.

U sklopu teme "Materijali i konstrukcije" održana su tri izlaganja. Doc. dr. sc. Neira Torić Malić s Građevinskoga fakulteta u Rijeci prikazala je rezultate detekcije oštećenja nastalih u betonu mikroarmiranom čeličnim vlaknima. Oštećenja nastala ugradnjom kao što su segregacija i nehomogena raspodjela vlakana istražena su primjenom metode rezonantne frekvencije i potvrđena rendgenskim snimkama uzoraka. Izlaganje o utjecaju dinamičkoga opterećenja na svojstva betona kao što su oblik sloma, nosivost, vlačna čvrstoća i energija loma održala je doc. dr. sc. Natalija Bede s Građevinskoga fakulteta u Rijeci. Primjenom vlastitih eksperimenata i numeričkoga modeliranja betonskoga uzorka L-oblika dobiveno je da su za progresivni rast nosivosti i način sloma uzoraka odgovorni inercijalni učinci. Doc. dr. sc. Senad Medić s Građevinskoga fakulteta Univerziteta u Sarajevu prikazao je rezultate eksperimentalnoga ispitivanja običnoga i ojačanoga zida od pune opeke u stvarnoj veličini, izloženoga djelovanju cikličkoga horizontalnog opterećenja u ravnini uz konstantan pritisak. Uz eksperimentalnu provedenu je i numerička analiza programom Diana 10.1. Zanimljivo predavanje o problematici primjene numeričkih postupaka pri provjeri stanja naprezanja i deformacija podzemnih prostorija rudnika održao je izv. prof. dr. sc. Petar Hrženjak s Rudarsko-geološko-naftnoga fakulteta u Zagrebu. Posebnost podzemnih prostorija rudnika u odnosu na neke druge inženjerske objekte očituje se ponajprije u složenim postupcima određivanja geomehaničkih značajki eksploatacijskih i nosivih slojeva stijenske

mase, odnosno o specifičnoj geometriji koju uvjetuje ležište mineralne sirovine i tehnologija eksploatacije. Na primjeru kamenoloma arhitektonsko-građevnoga kamena *Kanfana-jug* prikazano je izuzetno dobro podudaranje rezultata ispitivanja *in situ* i mjerenja s rezultatima numeričkoga modela, što doprinosi boljemu uvidu u ponašanje stijenske mase oko podzemnih prostorija rudnika.

U dijelu posvećenu seizmičkomu inženjerstvu i dinamici doc. dr. sc. Davorin Penava s Građevinskoga i arhitektonskog fakulteta Osijek prikazao je rezultate ispitivanja potresne otpornosti armiranobetonskih okvirnih konstrukcija s ispunskim židom u kojemu se nalaze otvori s omeđujućim elementima. Primjenom proračunskih mikromodela utvrđena je razdioba poprečne (potresne) otpornosti između elemenata konstrukcijskoga sustava okvir – žide prema razredima oštećenja u skladu s europskom makroseizmičkom ljestvicom. O procjeni ponašanja armiranobetonske građevine izgrađene pedesetih godina prošloga stoljeća u Zagrebu pri djelovanju potresa govorio je doc. dr. sc. Mario Uroš s Građevinskoga fakulteta u Zagrebu. Analiza je provedena na temelju rezultata statičke metode postupnoga guranja i dinamičkoga proračuna primjenom vremenskoga zapisa uz materijalne nelinearnosti konstrukcijskih elemenata, pa su prikazani mogući mehanizmi sloma i kritični elementi građevine. Usporedbu analitičkih i numeričkih metoda pri analizi nelinearnih oscilacija kabela velikih raspona i maloga provjesa prikazala je doc. dr. sc. Marija Demšić s Građevinskoga fakulteta u Zagrebu. Predviđanje dinamičkoga odziva nelinearnoga sustava vrlo je zahtje-

van zadatak, jer se osim primarne rezonancije mogu inducirati subharmonijski i superharmonijski odzivi, a u slučaju cjelobrojnoga omjera prirodnih frekvencija može se pojaviti i unutarnja rezonancija. Završno predavanje održala je doktorandica na projektu Elizabeta Šamec, mag. ing. aedif., o optimizaciji programskoga koda iteriranoga Ritzova postupka. Prikazana su tri primjera optimizacije programskoga koda u jeziku C++ razvijena za potrebe ublažavanja "uskih grla" u algoritmima razvijanima u sklopu projekta. Zbornik radova predstavljenih na minisimpoziju dostupan je na adresi <https://www.grad.unizg.hr/yoda/simpozij/zbornik>. Kao zaključak skupa možemo izdvojiti poziv voditelja projekta svima koji se bave proračunima velikih modela na otvaranje novih područja primjene predložene postupka, čime bi se istraživanje i usavršavanje algoritma nastavilo i nakon službenoga završetka projekta. Uspjehu ovog Mini-simpozija sigurno su dopinos dala prethodno organizirana pozvana predavanja vrlo istaknutih znanstvenika. Prof. dr. sc. Adnan Ibrahimbegović s University of Technology of Compiègne govorio je o multi-physics i multi-scale modeliranju. Prof. dr. sc. Nikica Petrinić s University of Oxford prikazao je razvoj i integraciju eksperimentalnih i numeričkih metoda za modeliranje konstrukcija pri djelovanju udarnoga opterećenja. Prof. dr. sc. Mustafa Hrasnica s Univerziteta u Sarajevu prezentirao je problematiku seizmičke otpornosti nosivih sustava sa zidovima, a prof. dr. sc. Stanko Brčić s Univerziteta u Beogradu predstavio je računalnu biblioteku (SMVLib) za baratanje matricama i vektorima te program za analizu linijskih nosača (ALIN).



Detalj s minisimpozija YODA 2019.