

doi: 10.67563/ASESCONF2026020M

Mila Mladenović¹, Ivica Vićovac²

DEVELOPMENT OF DIGITAL TOOLS FOR AUTOMATING STRUCTURAL DESIGN WORKFLOWS

Summary: Modern structural design increasingly relies on digital tools and automation to improve efficiency and reliability in structural analysis and engineering documentation. This paper presents a set of internally developed tools, plug-ins, and scripts aimed at improving workflows in FEM software used in structural engineering, including ETABS, SAFE, and Robot Structural Analysis. The tools automate analysis and post-processing tasks such as importing CAD geometry into analysis models, exporting results, generating automated Excel reports, and producing graphical outputs for engineering documentation. Many of these tools are developed as custom C# plug-ins using software APIs, enabling direct interaction with analysis models and results. The application of these tools improves workflow efficiency, reduces the potential for manual errors, and facilitates faster post-processing and documentation of engineering results.

Keywords: automation, interoperability, structural analysis models, digital workflows

RAZVOJ DIGITALNIH ALATA ZA AUTOMATIZACIJU PROCESA PROJEKTOVANJA KONSTRUKCIJA

Rezime: Savremeno projektovanje konstrukcija se sve više oslanja na digitalne alate i automatizaciju u cilju povećanja efikasnosti i pouzdanosti proračuna i izrade tehničke dokumentacije. U radu su predstavljeni interni alati i skripte razvijene sa ciljem unapređenja radnih tokova u odabranim komercijalnim FEM softverima koji se koriste u projektovanju konstrukcija. Predstavljeni alati automatizuju zadatke vezane za analizu i postprocesiranje rezultata, kao što su uvoz geometrije u FE modele, izvoz rezultata, generisanje izveštaja, kao i kreiranje grafičkih prikaza za potrebe tehničke dokumentacije. Veći deo alata razvijeni su kao prilagođeni C# plug-in moduli korišćenjem softverskih API interfejsa, čime je omogućena direktna interakcija sa proračunskim modelima i rezultatima analize. Primena alata povećava efikasnost pri analizi konstrukcija, smanjuje mogućnost pojave grešaka i omogućava brže postprocesiranje i dokumentovanje rezultata.

Ključne reči: automatizacija, interoperabilnost, proračunski modeli, digitalni tok projektovanja

¹ Whitby Wood Popović, Beograd, Srbija, m.mladenovic@whitbywood.com

² Whitby Wood Popović, Beograd, Srbija

1. UVOD

Projektanti konstrukcija danas rade u uslovima kratkih rokova, velikog broja iteracija i čestih promena projektnih zahteva, pri čemu se značajan deo vremena i dalje troši na rutinske aktivnosti, obradu podataka i pripremu dokumentacije. Automatizacija ovih procesa predstavlja jedan od ključnih pravaca za povećanje efikasnosti projektovanja, smanjenje mogućnosti nastanka grešaka i omogućavanje inženjerima da više vremena posvete aktivnostima koje zahtevaju stručno znanje i donošenje odluka. Razvoj digitalnih tehnologija, uključujući programske interfejsse (API), platforme za povezivanje različitih softverskih paketa i veštačku inteligenciju, omogućio je razvoj velikog broja rešenja za automatizaciju projektantskih procesa.

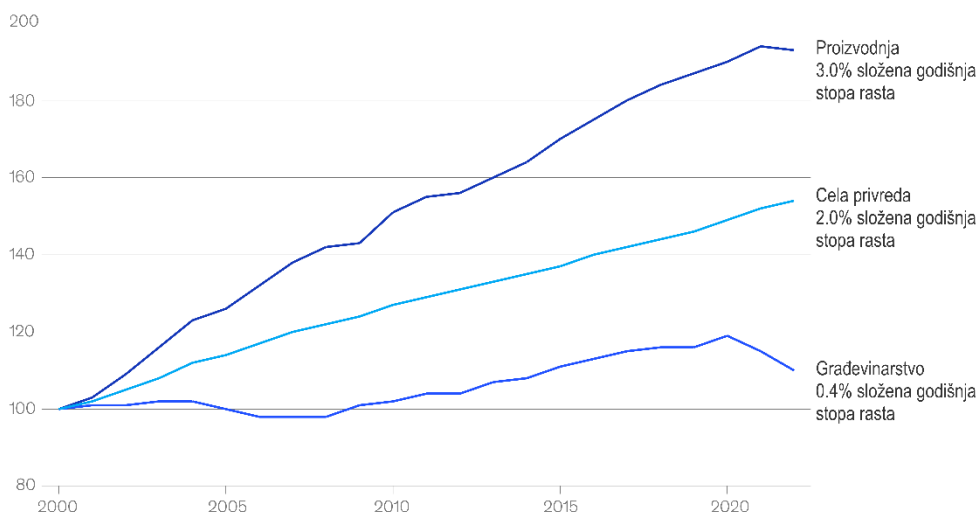
Cilj ovog rada je da prikaže značaj i mogućnosti automatizacije procesa projektovanja konstrukcija kroz razvoj internih digitalnih alata zasnovanih na postojećim softverskim paketima i njihovim programskim interfejsima. Na osnovu prikazanih primera razmatraju se različiti pristupi automatizaciji aktivnosti u oblasti modeliranja, analize, dimenzionisanja, obrade rezultata i pripreme tehničke dokumentacije, kao i njihove prednosti i ograničenja u odnosu na postojeća rešenja za interoperabilnost i povezivanje inženjerskih softverskih alata.

2. PRODUKTIVNOST U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI

Produktivnost je mera efikasnosti kojom se resursi koriste za proizvodnju dobara ili usluga, odnosno odnos između ostvarenog izlaza i utrošenih resursa [1]. U građevinskoj industriji produktivnost se često posmatra kroz količinu ostvarene vrednosti ili izvršenog posla u odnosu na utrošeno vreme rada.

Prema istraživanju kompanije McKinsey (2024), građevinska industrija se već duži niz godina suočava sa stagnacijom produktivnosti, uprkos rastućoj potražnji za izgradnjom objekata i infrastrukturnih sistema [2].

Realna bruto dodata vrednost ostvarena po satu rada (na globalnom nivou), 2000-2022 (indeks: 2000=100)



Slika 1: Grafikon trenda produktivnosti u različitim industrijama

Kao glavni uzroci navode se nedovoljna standardizacija procesa, ograničen prenos uspešnih praksi između projekata i nizak stepen usvajanja produktivnijih metoda rada, dok u pojedinim zemljama dodatni izazov predstavlja i nedostatak kvalifikovane radne snage. Produktivnost građevinske industrije dodatno je ograničena činjenicom da se projekti ne ponavljaju u

identičnom obliku. Za razliku od proizvodnih industrija, gde je moguće optimizovati serijsku proizvodnju i razvijati prototipe, građevinski objekti predstavljaju jedinstvene proizvode, što otežava standardizaciju i prenos iskustava između projekata.

Uprkos značajnim ulaganjima u digitalne tehnologije, njihov uticaj na produktivnost još uvek izostaje. Alati poput BIM-a doprinose pre svega kontroli procesa i upravljanju rizicima, dok automatizacija i veštačka inteligencija, koje direktno utiču na produktivnost, još uvek nisu široko primenjene [2].

Iako se produktivnost najčešće povezuje sa fazom izvođenja, značajan deo njenog potencijala određuje se tokom projektovanja. Odluke donete u ranim fazama utiču na složenost konstrukcije, potrebne ljudske i materijalne resurse (a samim tim i na održivost), trajanje radova i primenu standardizovanih rešenja, pa unapređenje efikasnosti inženjerskog rada u fazi projektovanja predstavlja važan faktor za povećanje ukupne produktivnosti [3][4].

3. AUTOMATIZACIJA

3.1. AUTOMATIZACIJA PROCESA PROJEKTOVANJA KONSTRUKCIJA

Kako se značajan deo vremena projekatata troši na rutinske i ponavljajuće aktivnosti, automatizacija se nameće kao prirodan alat za povećanje produktivnosti. Uloga automatizacije nije samo povećanje produktivnosti kroz smanjenje vremena potrebnog za izvršavanje pojedinačnih zadataka, već i unapređenje kvaliteta rezultata, smanjenje mogućnosti nastanka grešaka i omogućavanje razmatranja većeg broja projektnih varijanti u okviru raspoloživih resursa. Na taj način automatizacija može indirektno doprineti i povećanju produktivnosti u fazi izvođenja kroz donošenje kvalitetnijih projektantskih odluka i efikasnije korišćenje resursa [5].

Značajan deo grešaka pri projektovanju se javlja tokom prenosa informacija između arhitektonskih i analitičkih modela, zbog čega automatizacija razmene podataka postaje jednako važna kao i automatizacija samog proračuna [6].

Iako su alati za automatizaciju prisutni u projektantskoj praksi već duži niz godina, njihova primena je često ograničena na pojedinačne skripte, proračunske tabele ili specijalizovane alate koje koristi mali broj ljudi. Takva rešenja mogu doneti značajne koristi pojedincima, ali njihov uticaj na nivou organizacije često ostaje ograničen. Dodatni problem predstavlja činjenica da se razmena podataka između različitih disciplina i softverskih paketa i dalje u velikoj meri oslanja na manuelne procedure, što dovodi do neefikasnosti i povećava mogućnost nastanka grešaka. Automatizacija razmene podataka stoga smanjuje potrebu za ponovnim unosom informacija i ubrzava prelazak između softverskih alata.

3.2. KARAKTERISTIKE PROCESA POGODNIH ZA AUTOMATIZACIJU

Najveći potencijal za automatizaciju imaju zadaci koji se često ponavljaju, zasnovani su na jasno definisanim pravilima i zahtevaju značajno vreme za izvršavanje. U procesu projektovanja konstrukcija takve aktivnosti uključuju prenos podataka između softverskih paketa, obradu rezultata analiza, generisanje modela, proveru projektnih zahteva i pripremu dokumentacije.

Uspešna automatizacija ovakvih aktivnosti zahteva postojanje jasno definisanih i dosledno primenjenih pravila rada. Da bi automatizovani procesi bili pouzdani i omogućili dalji razvoj digitalnih alata, neophodno je uspostaviti određeni nivo standardizacije projektantskih postupaka, uključujući način modeliranja, imenovanje kombinacija opterećenja, organizaciju i označavanje elemenata, kao i strukturu podataka unutar modela. Što su pravila rada konzistentnija i bolje poznata svim učesnicima u procesu, to su mogućnosti za automatizaciju veće, a razvijena rešenja pouzdanija i lakša za održavanje.

Aktivnosti koje zahtevaju donošenje složenih inženjerskih odluka, procenu rizika ili kreativno rešavanje problema teže se automatizuju. Zbog toga se automatizacija najčešće koristi za podršku projektantu, oslobađajući vreme za aktivnosti koje zahtevaju stručno znanje i iskustvo.

Vrednost automatizovanog rešenja može se posmatrati kao proizvod njegove upotrebe i uticaja. Drugim rečima, najveću vrednost ostvaruju alati koji se često koriste ili imaju značajan uticaj na kvalitet, brzinu i pouzdanost procesa projektovanja, a idealno oba istovremeno. Ovakav pristup može biti koristan prilikom identifikacije procesa koji imaju najveći potencijal za automatizaciju [7].

3.3. RAZVOJ DIGITALNIH ALATA ZA AUTOMATIZACIJU PROCESA

Razvoj automatizacije u inženjerskoj praksi može se posmatrati kao prelazak od jednostavnih alata za automatizaciju pojedinačnih zadataka ka integrisanim i inteligentnim sistemima. Ovaj razvojni put obuhvata upotrebu proračunskih tabela, pisanje skripti i vizuelnog programiranja, zatim povezivanje različitih softverskih paketa putem API interfejsa, kao i razvoj multidisciplinarnih platformi i sistema zasnovanih na optimizaciji i veštačkoj inteligenciji. Na taj način automatizacija postepeno prerasta iz podrške pojedinačnim aktivnostima u alat za unapređenje celokupnog procesa projektovanja [7].

Primeri automatizovanih procesa prikazani u ovom radu razvijeni su korišćenjem programskih interfejsa (API) dostupnih u softverskim paketima SAFE, ETABS, Revit, Robot Structural Analysis, AutoCAD i Microsoft Excel [8]. Razvijena rešenja obuhvataju dodatke (plug-in) koji se pokreću unutar navedenih softverskih paketa, samostalne aplikacije koje se izvršavaju nezavisno od osnovnog softvera, kao i skripte za automatizaciju procesa. Za razvoj alata korišćeni su programski jezici C#, Python i VBA, u zavisnosti od zahteva konkretnog zadatka i mogućnosti integracije sa odgovarajućim softverskim paketom.

3.4. OTPORNOST I ADAPTABILNOST AUTOMATIZOVANIH PROCESA

Otpornost sistema ne zavisi isključivo od njegove sposobnosti da spreči pojavu grešaka, već od sposobnosti da nastavi sa radom i prilagodi se promenama tokom vremena. U okviru pristupa otpornog projektovanja izdvajaju se četiri karakteristike koje su relevantne i za automatizovane procese projektovanja: mogućnost oporavka, robusnost, adaptabilnost i skalabilnost [9].

Mogućnost oporavka predstavlja sposobnost procesa da se vrati u funkcionalno stanje nakon pojave greške. Robusnost označava pouzdano funkcionisanje uprkos promenama ulaznih podataka i neočekivanim situacijama. Adaptabilnost se odnosi na sposobnost prilagođavanja promenama projektnih zahteva, procedura i softverskog okruženja, dok skalabilnost predstavlja mogućnost proširenja funkcionalnosti i primene procesa na nove zadatke bez značajnih izmena osnovne logike.

3.5. ULOGA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U RAZVOJU AUTOMATIZOVANIH PROCESA

Veštačka inteligencija poslednjih godina počinje da nalazi sve širu primenu u projektovanju konstrukcija, uključujući generisanje i optimizaciju projektnih rešenja, automatizovanu proveru usklađenosti sa propisima, procenu performansi konstrukcija i podršku donošenju projektantskih odluka. Međutim, njen značaj ne ogleda se samo u direktnom izvršavanju inženjerskih zadataka. Sve veću primenu nalazi i kao podrška razvoju digitalnih alata i automatizovanih procesa, omogućavajući inženjerima da brže razvijaju, testiraju i prilagođavaju sopstvena softverska rešenja [10].

U okviru ovog rada veštačka inteligencija korišćena je upravo na ovaj indirektan način. Prikazani alati ne koriste funkcionalnosti zasnovane na veštačkoj inteligenciji, već su razvijeni korišćenjem konvencionalnih programskih metoda i programskih interfejsa postojećih softverskih paketa. Veštačka inteligencija je korišćena kao pomoć pri razvoju i implementaciji ovih rešenja, čime je ubrzan proces razvoja alata namenjenih automatizaciji svakodnevnih projektantskih aktivnosti.

4. PRIMERI AUTOMATIZACIJE U PRAKSI

U skladu sa principima opisanim u prethodnim poglavljima, najveći potencijal za automatizaciju imaju aktivnosti koje se često ponavljaju, zasnovane su na jasno definisanim pravilima i zahtevaju značajan utrošak vremena pri manuelnom izvršavanju. U projektovanju konstrukcija takvi zadaci najčešće uključuju prenos podataka između različitih softverskih paketa, generisanje i obradu analitičkih modela, obradu rezultata analiza, pripremu dokumentacije i proveru projektnih rešenja.

U nastavku su prikazani primeri internih digitalnih alata razvijenih za automatizaciju prenosa geometrije i opterećenja iz BIM modela u analitičke modele, proračuna proboja, generisanja šema armiranja i vizualizacije rezultata analiza. Pored prikazanih primera, razvijeni su i alati za automatski izvoz sila u šipovima, generisanje opterećenja na osnovu planova opterećenja, kreiranje tačaka za očitavanje napona smicanja na krajevima zidova, generisanje geometrije rešetkastih sistema u postojećim ETABS modelima, kao i za dimenzionisanje armiranobetonskih zidova u seizmičkim područjima prema zahtevima Evrokoda 8, uključujući automatsko određivanje izmenjenih dijagrama momenata savijanja i transverzalnih sila. Iako se ovi alati razlikuju po nameni i načinu implementacije, zajednička karakteristika im je smanjenje manualnog rada, ubrzanje ponavljajućih aktivnosti i povećanje konzistentnosti projektantskih procesa.

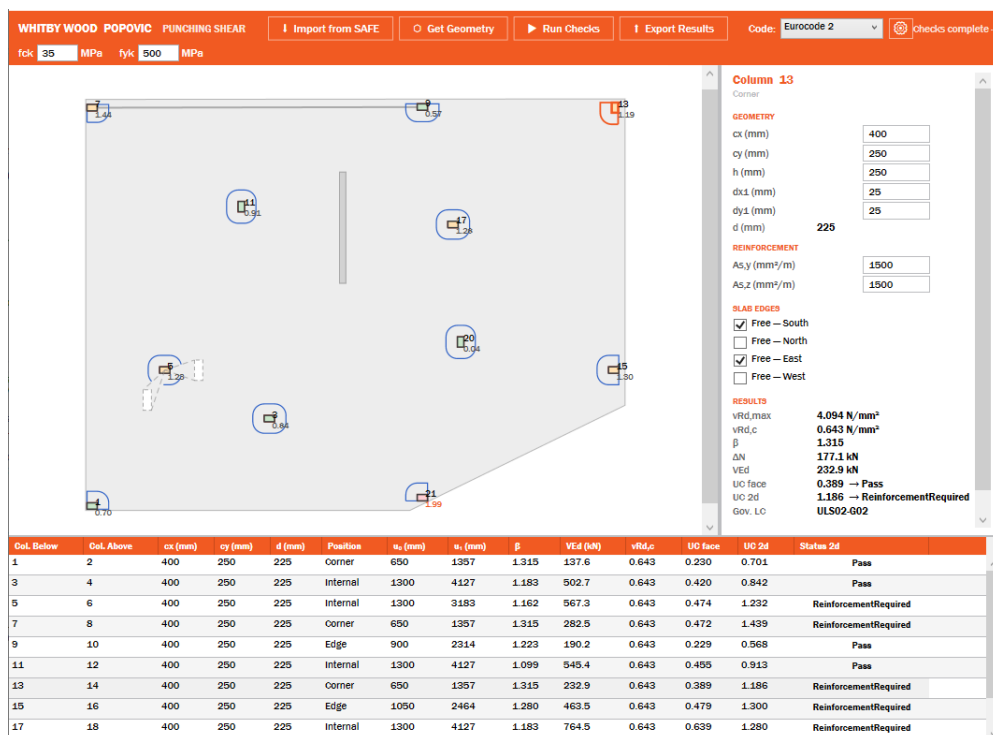
4.1. PRENOS GEOMETRIJE I OPTEREĆENJA IZ BIM U ANALITIČKI MODEL

Autodesk Revit predstavlja jedan od najčešće korišćenih BIM softverskih paketa u zgradarstvu. Revit model sadrži informacije o geometriji objekta i gravitacionim opterećenjima, koje je potrebno preneti u analitički model radi proračuna konstrukcije. Ukoliko se ovaj proces obavlja ručno, najčešće podrazumeva višestruko precrtavanje geometrije i prenos podataka između različitih softverskih paketa, što je vremenski zahtevno i povećava mogućnost nastanka grešaka. U cilju automatizacije ovog postupka razvijen je sistem koji omogućava kontrolu od strane inženjera uz značajnu uštedu vremena i povećanje preciznosti prenetih podataka.

Proces započinje generisanjem pojednostavljene reprezentacije konstrukcijskih elemenata u programu Revit, pri čemu se elementi svode na linije i šrafove koje sadrže informacije o dimenzijama i opterećenjima. Ovaj korak realizovan je pomoću skripte razvijene u programu Dynamo, vizuelnom programskom okruženju koje predstavlja sastavni deo Autodesk Revit softvera i omogućava automatizaciju zadataka i pristup podacima BIM modela. Nakon toga geometrija se izvozi u DXF format, gde su po potrebi moguće manje korekcije modela. U završnom koraku, dodaci razvijeni u programskom jeziku C# za programe ETABS i SAFE automatski preuzimaju geometriju i prateće podatke iz DXF datoteke i formiraju analitički model. Na taj način eliminiše se veliki deo manualnog rada, višestruko se ubrzava izrada modela i smanjuje mogućnost grešaka prilikom prenosa podataka između BIM i analitičkog okruženja.

4.2. AUTOMATIZACIJA PRORAČUNA PROBOJA

Proračun proboja predstavlja vremenski zahtevan proces koji često podrazumeva manualni prenos geometrije i rezultata analiza iz različitih proračunskih modela u pomoćne alate za proveru ploče oko svakog pojedinačnog stuba. U praksi je za pravilno dimenzionisanje često potrebno kombinovati globalne uticaje, poput dejstava vetra i seizmike, dobijene iz modela cele konstrukcije, sa lokalnim uticajima i geometrijom ploča dobijenim iz modela ploče. U prikazanom primeru globalni uticaji preuzimaju se iz ETABS modela, dok se geometrija i lokalni rezultati preuzimaju iz SAFE modela. U cilju ubrzanja ovog postupka razvijen je alat koji automatski preuzima potrebne podatke iz SAFE i ETABS modela, sprovodi proračun proboja za sve stubove i rezultate prikazuje numerički i grafički. Na taj način značajno se smanjuje vreme potrebno za proveru velikog broja elemenata, olakšava identifikacija kritičnih zona i automatizuje priprema dokumentacije i priloga za potrebe projektnih izveštaja.



Slika 2: Interfejs interno razvijenog softvera za proračun proboja ploče

4.3. GENERISANJE ŠEME ARMIRANJA PLOČA

Šeme armiranja predstavljaju korak između faze proračuna konstrukcije i izrade detaljnih crteža armature. Njihova svrha je da na pregledan način prikažu raspored i prostiranje potrebne armature na osnovu rezultata analize i dimenzionisanja konstrukcije. Posebno su značajne u slučajevima kada izradu detalja armiranja ne vrši ista inženjerska firma koja je radila analizu konstrukcije, jer predstavljaju osnovu za dalju razradu detalja.

Izrada ovih šema često se obavlja ručno na osnovu rezultata dobijenih iz SAFE modela. Proces podrazumeva identifikaciju zona u kojima je, pored usvojene osnovne armature ploče, potrebna dodatna armatura, određivanje njihovog prostiranja na osnovu rezultata iz traka armiranja, kao i produženje armature za dužinu sidrenja i liniju zatežućih sila.

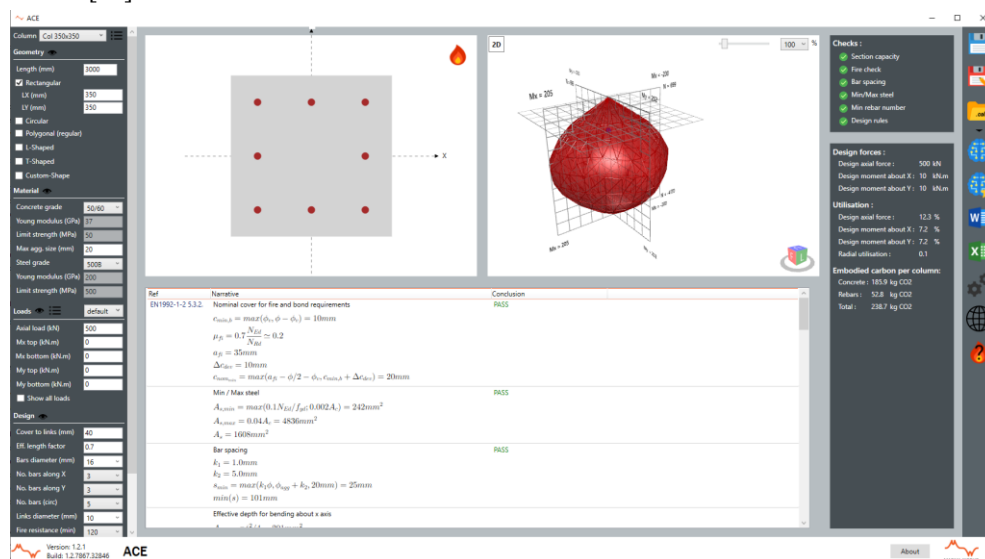
U cilju automatizacije ovog postupka razvijen je alat koji direktno preuzima potrebne podatke iz SAFE modela, automatski određuje zone i potrebne dužine dodatne armature i generiše šeme armiranja u programu AutoCAD. Na taj način značajno se smanjuje vreme potrebno za pripremu šema armiranja, povećava konzistentnost i preglednost rešenja, a izmene u analitičkom modelu mogu se jednostavno preneti na šeme bez ponovnog ručnog crtanja. Dodatna prednost alata je mogućnost brze procene uticaja različitih projektantskih odluka, kao što je usvajanje različite osnovne armature, na ukupne količine ugrađenog čelika i ekonomičnost konstrukcije.

4.4. PRIKAZ REZULTATA ANALIZE I DIMENZIONISANJE STUBOVA

Analitički softveri uglavnom poseduju ugrađene module za dimenzionisanje konstrukcijskih elemenata u skladu sa važećim propisima. Međutim, u praksi se često javlja potreba za dodatnom proverom rezultata dobijenih iz softvera, bilo zbog ograničenog uvida u pojedine korake proračuna, potrebe za nezavisnom verifikacijom rezultata ili specifičnih projektantskih zahteva. Takođe, u ranim fazama projektovanja ili tokom razvoja koncepta, inženjeru je često potrebna

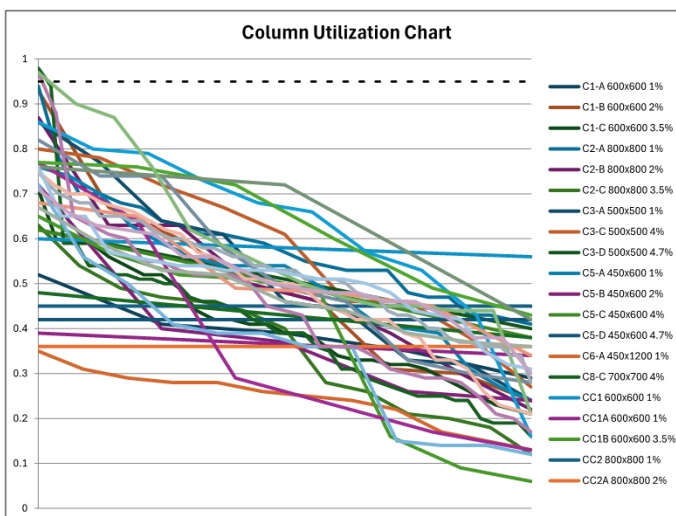
brza procena potrebnih dimenzija elemenata na osnovu poznate geometrije i opterećenja, bez potrebe za izradom kompletnog globalnog analitičkog modela.

Primer alata razvijenog za ove potrebe predstavlja ACE (Advanced Column Engineering) Column Designer. Alat je dostupan kao samostalna aplikacija za dimenzionisanje armiranobetonskih stubova, ali i kao dodatak za ETABS, koji omogućava direktan prenos geometrije i uticaja iz analitičkog modela. Na taj način eliminiše se potreba za ponovnim unosom podataka, ubrzava proces provere i omogućava efikasnija analiza i optimizacija projektovanih elemenata [11].



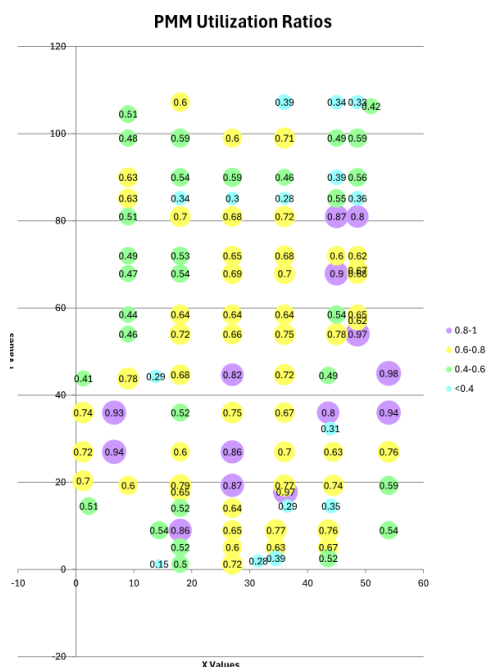
Slika 3: Interfejs softvera ACE za proračun stubova [11]

Jedan od razvijenih alata omogućava automatsko generisanje grafikona u programu Microsoft Excel na osnovu rezultata dimenzionisanja stubova iz ETABS modela. Neki od generisanih grafikona prikazani su u nastavku i obuhvataju maksimalnu iskorišćenost stubova po visini objekta, kao i raspodelu iskorišćenosti svih stubova po tipovima preseka u modelu.



Slika 4: Grafikon raspodele iskorišćenosti stubova po presecima direktno izvezen iz ETABS-a u Excel

Ovakav prikaz rezultata olakšava njihovu interpretaciju, identifikaciju kritičnih elemenata i donošenje odluka o eventualnim izmenama projektovanih preseka, a istovremeno omogućava efikasnu pripremu grafičkih priloga za potrebe izveštaja.



Slika 5: Grafikon iskorišćenosti stubova u osnovi direktno izvezen iz ETABS-a u Excel

4.5. GENERISANJE TABELE SILA ZA PRORAČUN VEZA

U projektantskoj praksi često se javlja potreba da se rezultati analize i dimenzionisanja čelične konstrukcije dostave drugim učesnicima u projektu radi dimenzionisanja i detaljisanja čeličnih veza. Da bi informacije bile potpune, pregledne i konzistentne, potrebno je sistematično prikazati sile iz proračunskog modela za veliki broj elemenata i kombinacija opterećenja. U tu svrhu razvijena je skripta za automatski izvoz rezultata iz programa Robot Structural Analysis. Primer prikazan u nastavku predstavlja tabelarni prikaz izvezenih sila, pri čemu automatizacija omogućava obradu velikog broja kombinacija opterećenja, smanjuje mogućnost greške pri pripremi podataka i olakšava ažuriranje rezultata nakon izmena analitičkog modela.

1001: 6.10 - 1.35DL + 1.5LL							
Node	Member	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
32182	External Force	11.1	-87	-2064.15	0	0	0
	Spring Reaction	-7	118	0	0	0	0
	4588	1185	-25	60	5	90	20
	5196	1440	10	-35	-5	40	-20
	6129	15	5	-165	5	-190	-15
	6130	-40	5	100	0	-140	10

1004: 6.14 - 1.0DL + 1.0LL (FULL BUILDING)							
Node	Member	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
32182	External Force	8	-63	-1493	0	0	0
	Spring Reaction	-5	85	0	0	0	0
	4588	860	-20	45	5	65	15
	5196	1040	10	-25	-5	30	-15
	6129	10	5	-120	5	-140	-10
	6130	-30	5	75	0	-100	5

Slika 6: Tabele sa silama za čelične veze direktno izvezene iz Robot Structural Analysis u Excel

5. POREĐENJE INTERNIH I DOSTUPNIH ALATA

5.1. INTEROPERABILNOST U SOFTVERSKIM PAKETIMA

Savremeni softverski paketi nude različite mogućnosti razmene podataka između aplikacija, čime se smanjuje potreba za manuelnim unosom i ubrzavaju pojedine faze projektovanja. Međutim, ovakva rešenja uglavnom su ograničena na unapred definisane procese. U slučaju greške korisnik često nema uvid u logiku izvršavanja niti mogućnost prilagođavanja procesa konkretnom problemu, zbog čega se rešavanje problema svodi na podršku proizvođača ili povratak na manuelni rad. I pored razvoja interoperabilnosti, istraživanja pokazuju da korisnici i dalje imaju ograničeno poverenje u procese razmene podataka zbog mogućeg gubitka informacija tokom prenosa između različitih softverskih paketa, ali i zbog pitanja pouzdanosti, tačnosti i robusnosti ponuđenih rešenja. Dodatni izazov predstavlja ograničena transparentnost procesa prenosa podataka, usled čega korisnici često imaju otežan uvid u način obrade informacija i mogućnost intervencije u slučaju pojave greške [6].

Pored toga, ugrađene funkcionalnosti razvijene su za širok spektar korisnika i ne mogu uvek da odgovore na specifične potrebe pojedinačnih kompanija, projektnih timova ili projekata. Zbog toga se često javlja potreba za razvojem internih digitalnih alata koji omogućavaju veću fleksibilnost i prilagođavanje procesa rada.

5.2. SOFTVERSKA REŠENJA ZA POVEZIVANJE INŽENJERSKIH ALATA

Pored funkcionalnosti interoperabilnosti ugrađenih u komercijalne softverske pakete, poslednjih godina razvijena su i specijalizovana softverska rešenja namenjena povezivanju različitih inženjerskih alata i automatizaciji tokova podataka. Ove platforme omogućavaju integraciju više softverskih paketa u jedinstven proces rada, čime se smanjuje potreba za manuelnim prenosom podataka i povećava efikasnost projektantskih aktivnosti. Primeri takvih platformi su VIKTOR [12], koji omogućava razvoj prilagođenih inženjerskih aplikacija i automatizovanih radnih tokova, i *Speckle* [13], platforma otvorenog koda namenjena razmeni i sinhronizaciji podataka između različitih BIM, CAD i analitičkih softvera.

U odnosu na ugrađene funkcionalnosti interoperabilnosti, ovakva rešenja pružaju veću fleksibilnost i mogućnost prilagođavanja specifičnim potrebama organizacije. Međutim, korisnici su i dalje ograničeni funkcionalnostima koje platforma podržava, dok složenije prilagođavanje procesa može zahtevati dodatni razvoj ili korišćenje programskih interfejsa (API).

Istovremeno, ove platforme značajno pojednostavljaju razvoj alata za povezivanje različitih softverskih paketa jer u okviru jedinstvenog okruženja obezbeđuju pristup API interfejsima podržanih aplikacija, mehanizmima za razmenu podataka i infrastrukturnim komponentama potrebnim za implementaciju automatizovanih tokova rada. Na taj način smanjuje se potreba za razvojem kompletne softverske infrastrukture od početka, što omogućava i inženjerima sa ograničenim programerskim iskustvom da razvijaju i održavaju automatizovane procese. Prednost ovakvog pristupa ogleda se u centralizovanom upravljanju razvijenim alatima, čime se olakšava njihova standardizacija, deljenje i primena na nivou cele organizacije.

Ovakve platforme se najčešće licenciraju kroz pretplatničke modele, što predstavlja dodatni trošak za organizaciju. S obzirom na to da mnogi inženjerski softveri već omogućavaju pristup API interfejsima u okviru postojećih licenci, razvoj internih alata može predstavljati ekonomičnije rešenje za automatizaciju procesa koji su specifični za potrebe određene kompanije.

6. ZAKLJUČAK

Prikazani primeri pokazuju da je korišćenjem programskih interfejsa postojećih softverskih paketa moguće razviti interne digitalne alate prilagođene specifičnim potrebama organizacije i projekata, kojima se automatizuju različite faze procesa projektovanja konstrukcija, od prenosa

podataka između BIM i analitičkih modela, preko obrade i prikaza rezultata analiza, do generisanja tehničke dokumentacije. Razvijeni alati omogućavaju smanjenje manuelnog rada, ubrzanje ponavljajućih zadataka i povećanje konzistentnosti rezultata.

U poređenju sa ugrađenim mogućnostima interoperabilnosti i komercijalnim platformama za povezivanje softverskih alata, interna rešenja pružaju veću fleksibilnost, mogućnost prilagođavanja specifičnim zahtevima projekta i jednostavnije prilagođavanje i nadogradnju funkcionalnosti. Na taj način automatizacija omogućava efikasnije korišćenje raspoloživih resursa, povećanje produktivnosti projektantskog procesa i usmeravanje vremena inženjera na aktivnosti koje zahtevaju stručno znanje, procenu i donošenje odluka.

REFERENCE

- [1] Cambridge University Press & Assessment. Productivity, Cambridge Dictionary, Cambridge University Press & Assessment, Cambridge. Dostupno na: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/productivity> (pristupljeno: jun 2026).
- [2] McKinsey & Company. Delivering on Construction Productivity Is No Longer Optional, McKinsey & Company, 2024.
- [3] Flyvbjerg B, Gardner D. How Big Things Get Done: The Surprising Factors That Determine the Fate of Every Project, Currency, New York, 2023.
- [4] Institution of Structural Engineers. Can Designers Influence Construction Productivity?, The Structural Engineer Blog, Institution of Structural Engineers, London. Dostupno na: <https://www.istructe.org/resources/blog/can-designers-influence-construction-productivity/> (pristupljeno: jun 2026).
- [5] Kromann L, Malchow-Møller N, Skaksen J. R, Sørensen A. Automation and Productivity: A Cross-country, Cross-industry Comparison, Industrial and Corporate Change, 29 (2), 2020, 265-287.
- [6] Singh T, Mahmoodian M, Wang S. Enhancing Open BIM Interoperability: Automated Generation of a Structural Model from an Architectural Model, Buildings, 14 (2475), 2024.
- [7] VIKTOR. Engineering Automation at Scale: A Framework to Unlock Engineering Automation, VIKTOR B.V., 2023.
- [8] Computers and Structures, Inc. (2025). CSI API Documentation. Computers and Structures, Inc.
- [9] Woods D. D. Four Concepts for Resilience and the Implications for the Future of Resilience Engineering, Reliability Engineering & System Safety, 141, 2015, 5-9.
- [10] Xie H, Mei Q, Chui Y. H. AI Applications for Structural Design Automation, Automation in Construction, 179, 2025, 106496.
- [11] Whitby Wood. ACE Column Designer – Advanced Column Engineering: ACE App + ETABS Plug-in, Whitby Wood, London. Dostupno na: <https://www.whitbywood.com/apps/ace-column-designer/> (pristupljeno: jun 2026).
- [12] VIKTOR. Automate Engineering Workflows with AI, VIKTOR B.V., Rotterdam. Dostupno na: <https://www.viktor.ai/> (pristupljeno: jun 2026).
- [13] Speckle Systems, “Speckle – The open data layer for AEC.” [Online]. Dostupno na: <https://speckle.systems/>. (pristupljeno: jun 2026).