

SPLETNA VERZIJA PROGRAMA EAVEK

ONLINE VERSION OF THE PROGRAM EAVEK

asist. dr. Robert Klinc, univ. dipl. inž. grad.

robert.klinc@fgg.uni-lj.si

UL FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana

doc. dr. Iztok Peruš, univ. dipl. inž. grad.

iztok.perus@um.si

UM FGPA, Smetanova 17, 2000 Maribor

doc. dr. Matevž Dolenc, univ. dipl. inž. grad.

matevz.dolenc@fgg.uni-lj.si

UL FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana

akad. prof. dr. Peter Fajfar, univ. dipl. inž. grad.

peter.fajfar@fgg.uni-lj.si

UL FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 004.774:624.04

Povzetek | Začetke uporabe računalnikov za reševanje statičnih, dinamičnih in drugih inženirskih problemov so zaznamovali programi in aplikacije, ki so jih inženirji razvijali in vzdrževali sami. Zato je bila sčasoma večina tovrstnih orodij opuščena, saj je bilo inženirjem v določenem obdobju praktično nemogoče slediti razvoju in noviteta na področju programske kot tudi strojne opreme. Tako se danes namesto lastnih programskih rešitev večinoma uporabljajo prosto dostopna in kupljena programska orodja in programski paketi. Zanimivo je, da so teoretične osnove, računski modeli in tudi rezultati pred desetletji razvitih programskih rešitev vzdržali preizkus časa in so še vedno uporabni, žal pa jim zastareli uporabniški vmesniki preprečujejo uporabo v sodobnih inženirskih okoljih. V tem članku prikazujemo arhitekturo, razvoj in implementacijo programa EAVEK v polno delujočo spletno rešitev. Spletni EAVEK je bil razvit v skladu s sodobnimi smernicami servisno usmerjene arhitekture, upoštevajoč načela računalništva v oblaku in pripadajočih modelov umestitve.

Ključne besede: spletna aplikacija, spletna rešitev, elastična statična in dinamična analiza, EAVEK, storitveno usmerjena arhitektura

Summary | The origins of the use of computers for solving static, dynamic, and other engineering problems are characterized by programs and applications developed and maintained mainly by engineers. Eventually, most of these tools have been abandoned, as it was practically impossible for engineers to follow the trends and novelties in the field of computer software and hardware. That is why these days mainly freely available and purchased software tools and software packages are used instead of self-developed solutions. Interestingly, the theoretical basis, mathematical models and the results of software solutions developed decades ago withstand the test of time. They are still useful, but unfortunately their outdated user interfaces prevent their use in modern engineering environments. In this paper the architecture, development and implementation of the program EAVEK as a fully operational online solution are presented. Online application of the program EAVEK has been developed in accordance with current guidelines of the service-oriented architecture, taking into account the principles of cloud computing and placements of related models.

Keywords: web application, web-based solution, elastic static and dynamic analysis, EAVEK, service-oriented architecture

1 • UVOD

Na FGG (prej FAGG) se računalnik kot pripomoček uporablja vse od leta 1967 (Duhovnik, 1989). Od takrat pa do danes je industrija, ki se ukvarja z grajenim okoljem, prešla več faz sprejemanja računalnikov in pripadajočih tehnologij v svoj delovni proces. V gradbeništvu so se računalniki najprej pričeli uporabljati pri projektiranju v statičnih analizah. S pojavom prvih programov za analizo konstrukcij, med njimi je bil najbolj znan program STRESS (Fenves, 1964), je bil omogočen prehod z »ročnih« na računalniške statične analize, kar je omogočilo bistvene spremembe pri projektiranju konstrukcij (Duhovnik, 1969). Omogočene so bile dinamične analize, ki jih prej zaradi numerične zahtevnosti problema praktično ni bilo mogoče opravljati. Turk in Cerovšek (Turk, 2001) ugotavljata, da so bili računalniki najprej uporabljeni za orodje, ki je inženirjem omogočilo, da so reševali večje in kompleksnejše probleme z večjo natančnostjo. V drugi fazi so računalniki nadomestili risalne deske. Pomembne spremembe so se v gradbeništvu pojavile s tretjo fazo sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja, ko so računalniki postali cenovno dostopni in tako kmalu tudi nepogrešljivi v vseh inženirskih poklicih. V gradbeništvu kompleksnost matematičnih modelov, s katerimi so inženirji opisovali stavbe, kar naenkrat ni bila več omejena z velikostjo in računalniško računsko močjo, temveč zgolj s časom, ki je bil na voljo, finančnimi sredstvi ter ne nazadnje s kreativnostjo.

Med najvidnejšimi rezultati pionirskih časov računalništva v gradbeništvu in inženirstvu na splošno so bili prvi raziskovalni in tudi komercialni programi namenjeni reševanju inženirskih problemov. Mnoge med njimi so njihovi avtorji razvijali in nadgrajevali leta in desetletja, pri čemer so ohranjali jedra programov in delali predvsem na razvoju pred- in postprocesorjev, ki so se prilagajali razvoju operacijskih sistemov. Sčasoma se je razvoj tovrstnih programskih rešitev ustavil, saj je izgubil bitko s komercialnimi rešitvami, ki so jih razvijale večje skupine strokovnjakov in so čedalje bolj množično prihajale na trg, čeprav je imela večina opuščenih programov močno teoretično ozadje in zanesljive računske pogone, ki so dajali dobre rezultate. Težave so bile predvsem z vsakokratnim prilagajanjem na osnovno programsko in strojno okolje, ki jih številčno omejene skupine avtorjev niso več zmogle. Dodatne težave sta povzročila še četrti (pojav interneta) in peti (mobilno računalništvo) val sprejemanja tehnoloških novosti v gradbeništvu, ki sta prinesla velika pričakovanja končnih uporabnikov predvsem glede spletnih vmesnikov in sodobnih načinov uporabe razvitih orodij. Ker avtorji »aplikacij vse-v-enem«, ki so bili po izobrazbi večinoma inženirji, niso več zmogli slediti vsem novostim in pravočasno prilagajati svojih izdelkov pričakovanjem uporabnikov ter napredku tehnologij, se je razvoj lastnih programov skorajda povsem ustavil.

Glede na to, da je gradbena industrija v svojem odnosu do znanja počasna in konservativna ter da so bila v tovrstne programske rešitve vgrajena leta in desetletja znanja, preverjanj in izkušenj, se je z opuščanjem tovrstnega razvoja izgubilo pomembno znanje. Še posebno zato, ker je bila večina programov opuščena zaradi razlogov, ki niso bili povezani z natančnostjo, hitrostjo ali ceno.

Vse omenjeno velja tudi za EAVEK (Fajfar, 1987), program za elastično statično, dinamično in stabilnostno analizo večnadstropnih objektov. Prva različica programa EAVEK je bila z imenom DAVEK izdelana leta 1972 (Fajfar, 1972), korenine pa segajo v še kakšno leto prej. Od takrat se je program razvijal več desetletij, bil zelo razširjen v raziskovalni in pedagoški sferi, še posebno pa v praksi, tudi zunaj Slovenije, na območju nekdanje Jugoslavije, uporabljal pa se je tudi na Kitajskem.

EAVEK je bil napisan v programskem jeziku FORTRAN (glej npr. (FORTRAN IV, 1974)), splošno uporabnem programskem jeziku, v prvi vrsti namenjenem inženirskim numeričnim izračunom, ki je bil prvotno razvit za IBM PC in združljive računalnike. Čeprav je bila to v tistem času najbolj smotrna odločitev, je z današnjega vidika to ena večjih slabosti. FORTRAN je v preteklih desetletjih namreč prešel več razvojnih iteracij (FORTRAN 77, 90, 95, 2003, 2008), pri čemer so se večkrat pojavile težave s prenosljivostjo kode med različicami. Rezultat je bil, da se je razvoj programa sredi devetdesetih let kljub široki uporabi in močni skupnosti ustavil.

2 • RAZVOJ PROGRAMA

Začetek programa EAVEK predstavlja magistrsko delo vodilnega avtorja tega članka z naslovom Analiza horizontalno obteženih nesimetričnih večnadstropnih konstrukcij. Delo je bilo leta 1972 izdano tudi kot prva publikacija takrat pravkar ustanovljenega Računskega centra (RC) FAGG (Fajfar, 1972). Postavljene so bile teoretične osnove metode, ki je zajemala statično in dinamično analizo s spektri odziva. Izdelan je bil računalniški program v FORTRAN-u, imenovan DAVEK (dinamična analiza večetažnih konstrukcij), ki je bil nato uspešno uporabljen pri potresnih analizah vrste pomembnih objektov v Sloveniji ter pri pedagoškem in raziskovalnem delu na FAGG.

V doktorski disertaciji z naslovom Numerična obdelava statičnih, dinamičnih in stabilnostnih problemov za večetažne objekte, ki je bila v skrajšani verziji izdana kot publikacija RC FAGG (Fajfar, 1974), so bile teoretske osnove razširjene in so zajemale tudi teorijo drugega reda, račun elastične stabilnosti in določanje časovnega odziva pri dinamični analizi. Vse dopolnitve so bile vključene v novem programu EAVEK (elastična analiza večetažnih konstrukcij) (Fajfar, 1987). Program je bil napisan v FORTRAN-u. Podatki so bili brezformatni, podobno kot pri takrat v svetu in pri nas najbolj razširjenem programu za analizo konstrukcij STRESS (Structural

Engineering System Solver (Fenves, 1964), zaradi enotnosti s tem programom so bili pri podajanju podatkov uporabljeni inženirski izrazi v angleščini, možen je bil grafični prikaz rezultatov na tiskalniku (tako imenovani print-plot) in na risalniku. Program se je izvajal na majhnih računalnikih tipa IBM 1130 s 64k pomnilnika. Vse računske operacije so se izvajale s pomočjo dveh polj skupne velikosti 9000, kjer so se zapisovale vse spremenljivke tipa REAL in INTEGER. Pri programiranju je sodeloval M. Fischinger.

Medtem ko so v začetni fazi uporabe programa EAVEK analize za potrebe prakse opravljali sodelavci RC in kasneje Inštituta za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR) FAGG, v katerega je leta 1981 prerasel RC, sta enostaven način priprave podatkov in pregleden izpis rezultatov omogočila, da

je postopoma vse večje število uporabnikov prešlo na samostojne obdelave preko terminalov, ki so bili priključeni na republiški računski center (RRC) v Ljubljani. Upabniki so bili organizirani kot člani Kluba uporabnikov programske opreme (KUPO) IKPIR. Z razvojem osebnih računalnikov sta se pokazali potreba in možnost za predelavo programa za te računalnike. Pripravljena je bila verzija programa za IBM PC in združljive računalnike, ki so jo uporabljali skoraj vsi projektanti v Sloveniji in številni uporabniki v nekdanji Jugoslaviji. V okviru sodelovanja IKPIR in univerze v Pekingu je bila leta 1987 izdelana verzija programa s spektrom po kitajskih predpisih in s priročnikom v angleščini. Program je kljub vsem dopolnitvam in izboljšavam, narejenim do konca osemdesetih let prejšnjega stoletja, ostal za uporabnika praktično enak kot v izvorni verziji. Po drugi strani je hiter razvoj računalništva prinesel povsem nove možnosti, ki so povzročile bistvene spremembe pri novih programih, namenjenih široki uporabi. Poskus, da bi program prilagodili novim zahtevam uporabnikov, je bil narejen leta 1989 z verzijo 2.0 (Fajfar, 1989), ki poleg nekaterih dopolnitev v osnovnem programu (CQC-kombinacija in povezava s programom OKVIR za račun podajnostnih matrik makroelementov) vsebuje tudi predprocesor za interaktivno pripravo podatkov in poprocesor za grafični prikaz rezultatov. Leta 1992 je bila izdelana verzija 3.0, ki je vključevala novi makroelement za pose-

ben tip sten in možnost upoštevanja elastične vpetosti konstrukcije in posameznih makroelementov (Fajfar, 1992). Izdelan je bil tudi interaktivni grafični predprocesor EAMODEL (Kilar, 1992), ki se je izvajal v uporabniškem okolju Windows. Največji del dela pri izdelavi verzij 2.0 in 3.0 je opravil V. Kilar. Pri izdelavi različnih verzij programa so poleg P. Fajfarja, ki je programiral osnovno verzijo programa in vodil delo pri naslednjih verzijah, ter M. Fischingerja in V. Kilarja neposredno ali posredno sodelovali tudi sodelavci IKPIR M. Bratović, B. Lutar, V. Marolt, I. Peruš, S. Sočan, I. Kovačič, A. Vitek in Ž. Turk.

V zadnjih letih 20. stoletja je hiter razvoj programske in strojne opreme v računalništvu povzročil, da raziskovalne skupine na univerzah niso več mogle slediti razvoju in posodabljanju aplikativne programske opreme glede na zahteve uporabnikov. To delo so prevzela podjetja, ki so se profesionalno ukvarjala z razvojem in distribucijo programov. V IKPIR smo prenehali posodabljanje programa EAVEK in drugih aplikativnih programov za analizo konstrukcij. Tako na FGK kot v praksi so komercialni programi počasi zamenjevali IKPIR-programe, vključno z EAVEK-om, čeprav so teoretične osnove tega programa še danes v celoti veljavne, zamenjali so se samo spektri v predpisih. Nova programska oprema ni omogočila samo bolj avtomatizirane priprave podatkov ter bolj popoln in nazornejši prikaz rezultatov, pač pa tudi uporabo poljubno

zahtevnih matematičnih modelov, kar pa predstavlja dvorezni meč. Pri uporabi zelo zahtevnih modelov z več tisoč ali celo stotisoč prostostnimi stopnjami obstaja nevarnost, da se izgubi razumevanje obnašanja konstrukcije. Ameriški profesor W. J. Hall z bogato raziskovalno in projektantsko prakso je rekel: »Sofisticiran račun ni nadomestek za dobro inženirsko razumevanje problema.« (Hanson, 2015) Zaradi množice podatkov in rezultatov (velika večina jih je običajno povsem nepomembna) obstaja pri zelo kompleksnih modelih bistveno večja nevarnost napak kot pri enostavnejših modelih. Po drugi strani pri potresnih analizah zaradi velikih negotovosti pri določanju obtežbe in pri nelinearnem obnašanju konstrukcije tudi najbolj kompleksni modeli lahko dajejo le grobe približke k dejanskim razmeram. V potresnih analizah je smiselno uporabljati poenostavljene modele, ki predstavljajo ustrezen kompromis med »natančnostjo« in enostavnostjo. Zaradi teh razlogov so sodelavci IKPIR srednje in mlajše generacije oživili program EAVEK, ki zahteva premislek o konstrukcijskem sistemu in njegovih glavnih nosilnih elementih, je zelo enostaven za uporabo ter daje pregledne rezultate primerne natančnosti za veliko večino konstrukcij stavb. V spletni verziji programa je jedro programa z vsemi teoretičnimi osnovami ostalo nedotaknjeno, izdelani pa so bili ustrezni programi za procesiranje, kot je opisano v poglavju 4.

3 • OPIS TEORETIČNIH OSNOV PROGRAMA

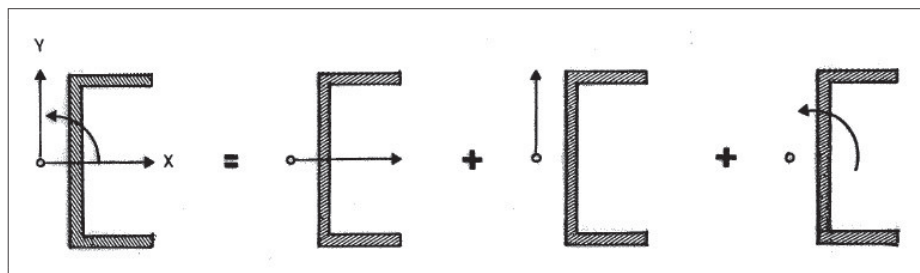
V tem poglavju je program EAVEK na kratko opisan. Teoretične osnove programa so podane v (Fajfar 1978). Vse detajle lahko zainteresirani bralec najde v dokumentaciji programa, ki jo je mogoče prevzeti na spletu (spletni EAVEK, 2015). Program uporablja splošno enačbo gibanja:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + ([K_0] - [K_g])\{U\} = \{F\} \quad (1)$$

Enačba zajema tako statične kot dinamične vplive po teoriji 1. in 2. reda. Pri tem so $\{\ddot{U}\}$, $\{\dot{U}\}$ in $\{U\}$ vektorji neznanih pospeškov, hitrosti in pomikov, $\{F\}$ vektor zunanje obtežbe, ki je v primeru potresne obtežbe izražen kot produkt masne matrike in vektorja pospeškov tal, (M) masna matrika, (C) matrika dušenja, (K_0) togostna matrika po teoriji 1. reda in (K_g) geometrijska matrika, ki zajema vpliv teorije 2.

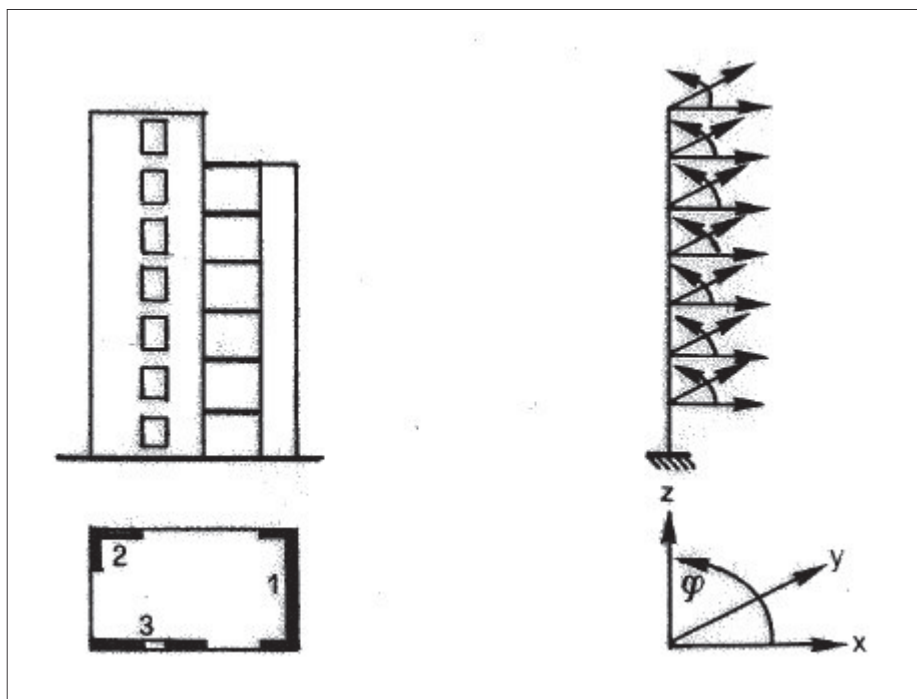
reda. Statične probleme in probleme elastične stabilnosti rešujemo z enačbama, ki predstavljata posebna primera enačbe (1). V enačbi 1 sta uporabljeni dve bistveni predpostavki: (1) *veljavnost teorije elastičnosti* in (2) *predpostavka majhnih pomikov*. Prva predpostavka je še vedno osnova za veliko

večino analiz v praksi, saj obstoječi predpisi (npr. Evrokod 8 (CEN, 2005)) omogočajo elastični račun konstrukcije z upoštevanjem redukcijskih faktorjev, s katerimi je (sicer zelo približno) zajeto neelastično obnašanje konstrukcije. Druga predpostavka omogoča linearizacijo problema in direktno reševanje enačbe (1) (in njenih posebnih primerov) tudi pri uporabi teorije 2. reda. Posebnost programa EAVEK je, da uporablja poseben poenostavljeni model, ki upošteva

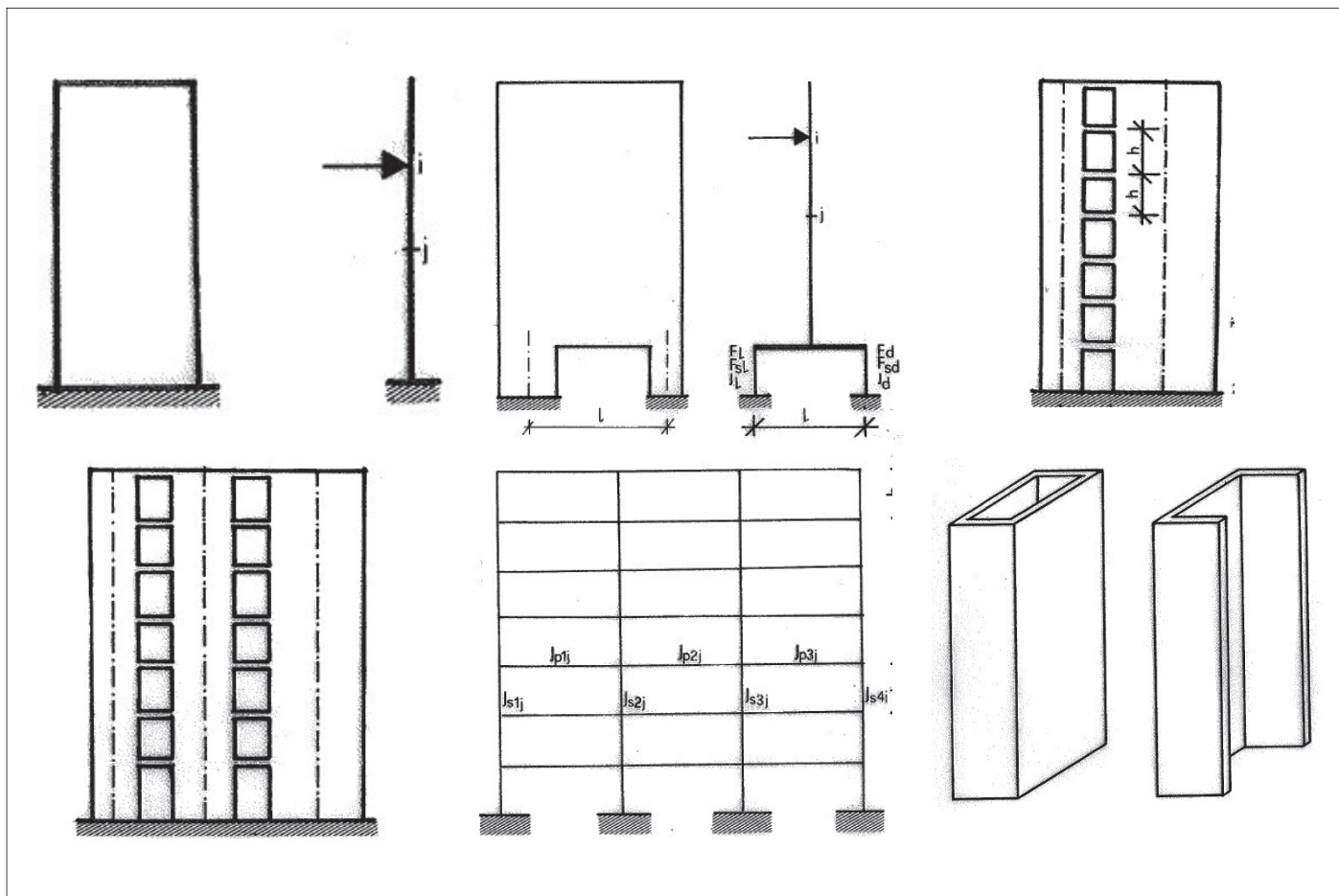


Slika 1 • Razdelitev prostorskega elementa (npr. armiranobetonskega jedra) na tri »ravninske« elemente (Fajfar, 1987)

bistvene značilnosti konstrukcij stavb. Model celotne konstrukcije je sestavljen iz ravninskih podkonstrukcij – makroelementov, ki predstavljajo posamezne zaključene konstrukcijske sklope, nosilne pretežno v eni sami smeri, npr. ravninski okvir, konzolna stena ali stena z eno vrsto ali več vrstami odprtin. Prostorski okvir npr. razdelimo na posamezne ravninske okvirje v dveh smereh, jedro razdelimo na tri ravninske makroelemente (slika 1). Vsak makroelement sega v višino od temeljev do poljubne etaže. Ravninski makroelementi so medsebojno povezani z medetažnimi ploščami in tvorijo prostorski model konstrukcije. Takšen model imenujemo psevdotridimenzionalni model. Predpostavka, ki se pogosto uporablja v specializiranih programih (npr. ETABS (CSI-ETABS, 2013)), je predpostavka *o neskončno togih medetažnih ploščah v svoji ravnini*. Posledica te predpostavke je, da so vsi pomiki etažne plošče znani, če poznamo vodoravna pomika in zasuk okoli navpične osi ene točke etaže. Druga pomembna predpostavka je, da so *medetažne plošče neskončno podajne pravokotno na svoji ravnini*. Ta predpostavka



Slika 2 • Razdelitev konstrukcije na makroelemente in prostostne stopnje računskega modela (Fajfar, 1987)



Slika 3 • Standardni makroelementi programa EAVEK (Fajfar, 1987)

upoštevata tipične razmere v stavbah, kjer so vertikalni nosilni elementi v vodoravni smeri bistveno bolj togi kot medetažne plošče v navpični smeri. Posledica te predpostavke je, da lahko posamezne makroelemente obravnavamo neodvisno in jih povežemo z medetažnimi konstrukcijami, preko katerih se prenašajo samo strižne sile v vodoravni smeri. Pri tipičnih konstrukcijah je največji del mase koncentriran na nivojih medetažnih konstrukcij in na strehi, zato je smiselna tudi predpostavka o *koncentriranih masah*.

Opisane predpostavke poenostavijo računski model tako, da je v splošnem primeru prostorske konstrukcije število prostostnih stopenj modela enako trikratniku števila etaž konstrukcije (slika 2), v primeru ravninske konstrukcije pa število etaž konstrukcije. V primerjavi z običajnim številom prostostnih stopenj statičnega modela gre za veliko redukcijo, ki omogoča bistveno enostavnejši in hitrejši

račun (kar sicer danes ob veliki računalniški zmogljivosti postaja vse manj pomembno), predvsem pa bistveno preglednejše podatke in rezultate, s tem pa boljše razumevanje obnašanja konstrukcije ter enostavno kontrolo pravilnosti računskega modela in pravilnosti rezultatov. Ker so zajete vse bistvene prostostne stopnje, so rezultati na nivoju celotne konstrukcije dovolj natančni. Na nivoju posameznih elementov so nato potrebne dodatne statične analize, ki jih v primeru standardnih makroelementov opravi program EAVEK samodejno.

Pri psevdotridimenzionalnem modelu ni zagotovljena kompatibilnost osnih deformacij na stičišču dveh ravninskih makroelementov, npr. v skupnem stebru dveh medsebojno pravokotnih ravninskih okvirov. Primerjave z rezultati natančnejših analiz in z rezultati eksperimentov na dejanskih konstrukcijah so pokazale, da so napake zaradi te pomanj-

ljivosti modela v veliki večini primerov majhne in sprejemljive v praksi.

V program so vgrajeni najpogostejše zastopani makroelementi, ki jih najdemo v objekti visokogradnje. To so stena brez odprtin (ki je modelirana kot linijski element), stena na stebrih, stena z eno vrsto odprtin, stena z več vrstami odprtin, ravninski okvir in torzijski element (slika 3). Poljuben element, ki ne ustreza predpostavkam navedenih standardnih elementov, se lahko poda s togostno ali podajnostno matriko, ki jo je treba izračunati posebej. Uporaba tega elementa omogoča, da lahko s programom EAVEK analiziramo tudi povsem nestandardne konstrukcije in konstrukcije, ki niso nujno objekti visokogradnje (npr. mostovi). Program omogoča elastične analize pri statični obtežbi v vodoravni smeri, račun elastične stabilnosti, dinamično analizo s spektri odziva in račun časovnega poteka odziva pri vzbujanju s pospeškom tal.

4 • ZASNOVA PREDLAGANE REŠITVE

Sodobne metode in pristopi k razvoju programske opreme se namesto v računalniška namizja vse bolj usmerjajo v spletne oziroma oblačne storitve. Računalništvo v oblaku je model uporabe programskih rešitev v obliki storitev, dostopnih na internetu, v nasprotju s tradicionalnim načinom, pri katerem so rešitve nameščene v strežnikih ali osebnih računalnikih v podjetju. V zadnjem obdobju je računalništvo v oblaku postal splošni izraz za prilagodljive storitve in služi za krovni pojem zagotavljanja storitev, kot so hramba podatkov, računska moč, programska razvojna okolja in oprema, ki so končnim uporabnikom dostopni na internetu (Komisija Evropskih skupnosti, 2009).

4.1 Teoretične osnove predlagane spletne tehnologije

Pri razvoju spletne različice programa EAVEK smo avtorji izhajali iz koncepta računalništva v oblaku, pri čemer smo sledili predvsem smernicam in pristopom k razvoju programske opreme, ki jih upoštevajo:

- Model programske opreme kot storitve (SaaS). Uporabnik uporablja aplikacije, vendar ne nadzoruje operacijskega sistema, strojne opreme ali omrežne infrastrukture, na kateri se izvaja. Aplikacije so dostopne prek različnih naprav s pomočjo

vmesnikov lahkih odjemalcev (npr. spletna pošta).

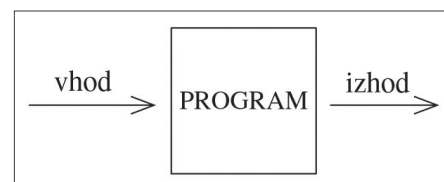
- Sodobni splet (včasih imenovan tudi Splet 2.0). Novejša generacija spletnih storitev, ki pomeni evolucijo (in obenem revolucijo) spleta s tehnološkega in sociološkega vidika. Zajema široko paleto tehnologij, ki se ne razlikujejo bistveno od tehnologij tradicionalnega spleta, saj je drugačna le uporaba (npr. HTML5, JavaScript, AJAX ...).
- Storitveno usmerjena arhitektura (SOA). To je pristop k razvoju programske opreme, pri katerem se za povezavo ponovno uporabnih aplikacij v medobratovalne storitve uporablja fleksibilna in standardizirana arhitektura (Komisija Evropskih skupnosti, 2009). Uporabi se lahko kot arhitektura za novo načrtovane rešitve ali kot načrt za rekonstrukcijo in poenostavitev obstoječih kompleksnih informacijskih rešitev (Medeot, 2007). S pristopom k razvoju programskih rešitev, ki organizacijam omogoča večjo prožnost in hitrost prilagajanja, enostavnejšo povezavo razpoložljivih sistemov in novih tehnologij ter preprostejše vzdrževanje in nadgradnjo, se je SOA uveljavila tudi v poslovnem svetu (Kempiners, 2007). Storitve je mogoče vključiti v popolnoma heterogena poslovna okolja, pri čemer se gradijo, uporabijo in

ponovno uporabijo glede na spreminjajoče se poslovne potrebe (Komisija Evropskih skupnosti, 2009).

Z upoštevanjem navedenih smernic smo dosegli, da je program EAVEK brez namestitve kot storitev dostopen vsakomur s povezavo v internet. Pri tem je treba poudariti, da deluje neodvisno od operacijskega sistema in uporabljenega brskalnika, da uporabniku ni treba skrbeti za namestitve, morebitne popravke in nadgradnje ter da je vsa kompleksnost razvite spletne infrastrukture uporabniku nevidna.

4.2 Arhitektura in implementacija predlagane rešitve

Tako kot večina tradicionalnih inženirskih aplikacij tudi EAVEK sledi tradicionalnemu načinu delovanja inženirskih programov (glej sliko 4), pri katerem sta bila vhod kot tudi izhod v obliki tekstovnih datotek.



Slika 4 • Tradicionalni način delovanja inženirskih programov

Temu smo prilagodili tudi arhitekturo spletne rešitve, ki smo jo zasnovali v klasičnem modelu odjemalec-strežnik, pri čemer sta predstavitveni in aplikacijski sloj ločena.

Predstavitveni sloj v predlagani arhitekturi opravlja posredniško funkcijo med uporabnikom in programom. Njegova naloga je posredovanje vhodnih parametrov do programa in vračanje rezultatov uporabniku, kar se dogaja s standardiziranim (X)HTML-jezikom skozi spletni brskalnik. Posledično je celoten sistem prilagodljiv, razširljiv, uporabniku prijazen in združljiv z več operacijskimi sistemi. Klici med uporabniškim vmesnikom in spletnim strežnikom so sočasni in nesočasni. Za slednje smo uporabili programski jezik JavaScript oziroma programski pristop AJAX.

Aplikacijski sloj temelji na spletnem strežniku Apache. Obdelavo vhodnih podatkov, interakcijo z zalednim programjem in obdelavo izhodnih podatkov opravljajo skripta, razvita v programskem jeziku PHP. Takšna zasnova arhitekture kljub navidezni preprostosti omogoča veliko mero prilagodljivosti in razširljivosti, obenem pa lepo sledi načinu delovanja programa EAVEK. Poleg logične razširitve na podatkovni sloj omogoča tudi netrivialne razširitve, predvsem pri računskih zmožnostih sistema (s povezavami do visokopropustnih računskih okolij in podobno). Implementacija spletne verzije programa EAVEK je bila opravljena v treh glavnih korakih:

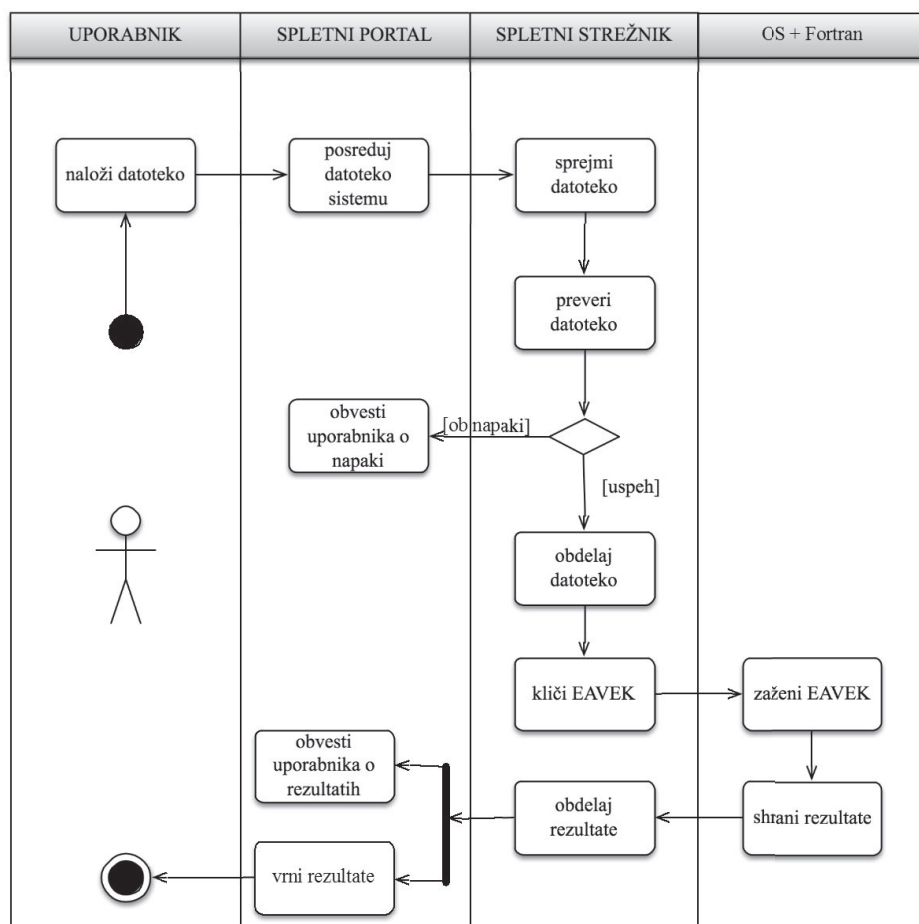
- Izbrati je bilo treba primerno okolje, v katerem se bo EAVEK izvajal. Zaradi svoje odprtosti, prožnosti, prilagodljivosti in predvsem zaradi široke palete prevajalnikov programskega jezika Fortran je bilo izbrano okolje Linux.
- Program EAVEK se ni več izvajal v sodobnih operacijskih sistemih, zato ga je bilo treba ponovno prevesti. Zaradi zahtevnosti uporabljenih matematičnih operacij je bilo treba rezultate podrobno preveriti.
- Pripraviti je bilo treba spletno okolje. Slika 5 prikazuje diagram poteka s pomembnejšimi klici med glavnimi komponentami razvitega sistema.

Spletna aplikacija je dostopna preko vsakega standardnega brskalnika.

4.3 Uporaba programa

Uporaba programa je relativno enostavna. Na spletni strani <http://eavek.ikpir.com> (slika 6) so v zgornjem delu navedeni osnovni podatki o programu.

Sledi delovno področje, kjer sta najprej omogočena izbira vhodne datoteke programa in zagon analize. Sledijo kratek opis programa, navodila za uporabo in pogoji uporabe (slika 7). Pri navodilih za uporabo so podane na



Slika 5 • Diagram poteka spletne aplikacije EAVEK

razpolago tri datoteke v obliki pdf, ki po prvi vsebujejo opis teoretičnih osnov programa, navodila za pripravo podatkov v vhodni datoteki in testne primere.

Ko ima uporabnik pripravljeno vhodno datoteko s podatki, jo izbere z ikono Browse. Po potrditvi izbrane datoteke se zažene analiza z izbiro ikone *izračunaj*.

Analiza je izjemno hitra. Če so podatki pravilno pripravljeni, se na spletni strani pojavi izpis osnovnih podatkov o konstrukciji in korakih analize skupaj z imenom izhodne datoteke, ki jo je mogoče shraniti v računalnik, preko katerega uporabnik dostopa (slika 8). V primeru

preseženih omejitev programa spletna aplikacija sporoči napako, v primeru napačnih podatkov pa program predčasno zaključi z analizo in napake zapiše v izhodno datoteko. V trenutni spletni verziji programa EAVEK je mogoča le **klasična priprava podatkov** z običajno **vhodno datoteko**. Pri nadaljnjem razvoju spletne aplikacije načrtujemo pripravo podatkov s pomočjo interaktivnega grafičnega vmesnika in grafični prikaz rezultatov. Prav tako veljajo nekatere omejitve programa, ki so povezane s številom etaž, makroelementov in obtežnih primerov. Odvisne so od veljavne spletne verzije.



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
IKPIR - Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo

EAVEK | Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij

[spletna verzija 2015]

Slika 6 • Naslovna stran spletne verzije programa EAVEK

EAVEK | Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij

[spletna verzija 2015]

Vhodna datoteka

VHODNA DATOTEKA: No file selected.

O programu

Program EAVEK (Elastična Analiza VEčetažnih Konstrukcij) omogoča elastično statično in dinamično analizo objektov visokogradnje pri horizontalni obtežbi. V projektantski praksi in raziskovalnem delu se uporablja že vse od leta 1975, sprva preko terminalov, povezanih na RRC v Ljubljani, kasneje na osebnih računalnikih in v današnjem času preko svetovnega spleta. Kljub danes že zelo sofisticiranim računalniškim programom ima program EAVEK določene prednosti pred njimi. Med te lahko nedvomno štejemo poenostavljen in pregleden računski model, ki omogoča relativno enostaven izračun. Temu primerno je priprava podatkov enostavna in predvsem pregledna. Zelo pregleden je tudi izpis rezultatov, njihova analiza pa je bolj enostavna kot v sofisticiranih računalniških programih. Program lahko uporabljamo ali kot osnovno orodje za analizo ali kot orodje za hitro kontrolo rezultatov, dobljenih z bolj kompleksnimi računskimi modeli.

V trenutni verziji program za izračun zahteva vhodno datoteko, ki se pripravi preko terminala s klasičnimi ASCII urejevalniki besedil (npr. WordPad, NotePad). Takšne oblike datotek se zagotovo spomnijo vsi nekoliko starejši uporabniki.

Pri nadaljnjem razvoju spletne verzije programa bo pripravljen intuitiven grafični vmesnik, ki bo še bolj poenostavil uporabo programa. Pri tem ne smemo pozabiti, da lahko s programom EAVEK računamo tudi nestandardne konstrukcije, če v računskem modelu namesto vgrajenih makroelementov uporabljamo (kondenzirane) togostne ali podajnostne matrike makroelementov.

Navodila za uporabo

- Natančen opis teoretičnih osnov, ki jih program Eavek uporablja pri analizi.
- Navodila za pripravo podatkov.
- Testni primeri.

Pri citiranju programa naj se navaja: P. Fajfar, EAVEK – Program za elastično analizo večetažnih konstrukcij, Publikacija IKPIR št. 13, 3. izdaja, Ljubljana, 1987.

Pogoji uporabe

Trenutna verzija programa je namenjena raziskovalnemu delu in izračunu primerov v okviru študentskih seminarskih nalog. Omogočen je izračun konstrukcij z omejenim številom makroelementov (10), etaž (5) in obtežnih primerov (4).

»Polna« verzija za profesionalno uporabo bo zahtevala registracijo ob plačilu naročnine (Za informacije se obrnite na sodelavce IKPIRa) in bo omogočala izračun konstrukcij z večjim številom makroelementov (50), etaž (30) in obtežnih primerov (20).

Avtor(ji) in IKPIR FGG UL ne prevzemajo nobene odgovornosti glede pravilnosti rezultatov programa, njihove interpretacije in uporabe.

copyright: © IKPIR 2015

Slika 7 • Delovno področje spletne verzije programa EAVEK

EAVEK

STRUCTURE TESTNI PRIMER ZA SPLET - RAVNINSKA KONSTRUKCIJA

[Branje podatkov]

[Sestavljanje matrik]

[Račun lastnih vrednosti]

[Dinamična analiza]

[Račun pomikov in notranjih sil]

Izhodna datoteka

IZHODNA DATOTEKA: Splet.out

Slika 8 • Izpis na spletni strani v primeru uspešno opravljene analize

5 • ZAKLJUČEK

EAVEK, program za elastično statično, dinamično in stabilnostno analizo večnadstropnih objektov, je bil več desetletij široko uporabljano orodje za analizo konstrukcij v še ne tako davni preteklosti. Zaradi napredka računalniške in informacijske tehnologije, problemov s prenosljivostjo kode in z razvojem novih sofisticiranih računalniških programov za analizo konstrukcij se je program prenehal razvijati in je sčasoma utonil v pozabo. V današnjem času se uporabljajo vse bolj kompleksni modeli za analizo konstrukcij, s čimer se povečuje možnost napak tako pri pripravi podatkov kot pri interpretaciji rezultatov. V potresnih analizah je zato smiselno uporabljati poenostavljene modele, ki predstavljajo ustrezen kompromis med »natančnostjo«

in enostavnostjo, predvsem iz dveh razlogov:

- Enostavni »inženirski« računski model omogoča projektantu boljšo kontrolo in pregled nad modelom.
- Neodvisna kontrola rezultatov sofisticiranega modela z enostavnejšim modelom (za katerega je, med drugim, priprava podatkov enostavna in hitra) lahko pri velikem razhajanju rezultatov opozori na morebitne napake v bolj kompleksnem modelu ali na napačno razumevanje problema.

Zaradi zapisanega so sodelavci IKPIR srednje in mlajše generacije ob pomoči sodobne informacijske tehnologije oživili program EAVEK, ki zahteva premislek o konstrukcijskem sistemu in njegovih glavnih nosilnih elementih, je zelo

enostaven za uporabo in podaja pregledne rezultate primerne natančnosti za veliko večino konstrukcij stavb. V spletni verziji programa, predstavljeni v članku, je jedro programa z vsemi teoretičnimi osnovami ostalo nedotaknjeno, izdelani pa so bili ustrezni enostavni programi za predprocesiranje podatkov in procesiranje rezultatov.

Nadaljnje delo pri razvoju spletne aplikacije EAVEK, ki je seveda odvisno predvsem od interesa strokovne javnosti, bo predvidoma usmerjeno v pripravo intuitivnega grafičnega predprocesorja za pripravo podatkov in poprocesorja za enostavno vizualizacijo pomembnih rezultatov. Ena prednostnih nalog bo vgradnja spektrov po Evrokodu 8. V naprednejši različici se predvideva nadaljnji razvoj spletne aplikacije z vključitvijo poenostavljene neelastične analize (Kilar, 1995). Ta bo omogočila avtomatizirano uporabo metode N2, ki je vključena v Evrokod 8.

6 • LITERATURA

- CEN, Evrokod 8, Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij, 1. del, Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, EN 1998-1, CEN, Bruselj, 2005.
- CSI, ETABS, Integrated Building Design Software, User's guide, Computers & Structures Inc., Berkeley, California, USA, 2013.
- DGC, Fortran IV, User's Manual, Rev. 7, Report # 093-000053, July 1974.
- Duhovnik, J., Fajfar, P., Račun konstrukcij z elektronskimi računalniki, Teoretične osnove in praktični primeri, Gradbeni vestnik 18(10–11 in 12), 233–236 in 252–260, 1969.
- Duhovnik, J., Izobraževanje uporabnikov računalništva v gradbeništvu, Zbornik posvetovanja, Uporaba računalnika v gradbeništvu, Ljubljana, str. 1–6, 1989.
- Fajfar, P., Analiza horizontalno obteženih nesimetričnih večnadstropnih konstrukcij, Publikacija RC FAGG št. 1, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Računski center, Ljubljana, 1972.
- Fajfar, P., Statika, dinamika in stabilnost večetažnih objektov, Publikacija RC FAGG št.3, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Računski center, Ljubljana, 1974.
- Fajfar, P., EAVEK, program za elastično analizo večetažnih konstrukcij, Publikacija RC/IKPIR št. 13, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 1. izdaja 1976, 2. dopolnjena izdaja 1981, 3. izdaja 1987, izdaja v angleščini, 1987.
- Fajfar, P., Kilar, V., EAVEK, dopolnila in spremembe za verzijo 2.0, Publikacija IKPIR št. 31, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, IKPIR, Ljubljana, 1989.
- Fajfar, P., Kilar, V., EAVEK, dopolnitve za verzijo 3.0, Poročilo IKPIR št. 3/92, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR, Ljubljana, 1992.
- Fenves, S. J., Logcher, R. D., Mauch, S. P., STRESS—A User's Manual, MIT Press, 1964.
- Hanson, R. D., Reitherman, R. (sprashevalca), William J. Hall, Connections, The EERI Oral History Series, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 2015.
- Kempiners, J., in Beck, L. Service-Oriented Architecture. Avande Point of View, povzeto po: <http://www.avande.com/~media/documents/research%20and%20insights/soapov337120.pdf> (4. 12. 2015), 2007.
- Kilar, V., EAMODEL, grafični predprocesor za program EAVEK, Poročilo IKPIR št. 2/92, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR, Ljubljana, 1992.
- Kilar, V., Poenostavljena nelinearna analiza konstrukcij stavb pri horizontalni obtezi, doktorska disertacija, mentor P. Fajfar, FAGG UL, Ljubljana, 1995.
- Komisija Evropskih skupnosti, Software 2.0: Rebooting Europe's software industry, report of an industry expert group on a European software strategy, Version 3.0, 2009.
- Medeot, T., Uporaba sodobnih pristopov pri upravljanju poslovnih procesov, Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, 43 strani, 2007.
- Spletni EAVEK, povzeto po: <http://eavek.ikpir.com>, IKPIR FGG, verzija 2015.