

NOVI KONCEPT EKVIVALENTNOG MODELIRANJA SPREGNUTOG NOSAČA „ČELIK – BETON“

Ilija M. Miličić¹

UDK: 624.07:620.172.22

Rezime: U radu se daje novi predlog ekvivalentnog modula elastičnosti spregnutog preseka namenjen modeliranju spregnutih nosača. Zbog toga se u računarskom modeliranju primenom aplikacija za CAA (Computer Aided Analysis) služimo različitim varijantama rešenja. Noviji aplikativni softveri, prevazilaze ovaj problem manje ili više uspešno „specijalnim“ konačnim elementom. Međutim, nametnuti ekvivalentni modul elastičnosti spregnutog preseka je podesan i sa primenom postojećih aplikacija porodice CAA, i temelji se na geometrijsko – mehaničkoj analogiji (GMA) karakteristika spregnutog poprečnog preseka tipa „čelik – beton“. Na osnovu eksperimentalno teorijske analize sa gledišta kriterijuma nosivosti i upotrebljivosti predloženi koncept ekvivalentnog modeliranja je tehnički pouzdan.

Ključne reči: ekvivalentni modul elastičnosti, modeliranje, model, spregnuti nosač, konačni element, ugib, analogija

1. UVOD

Računarsko modeliranje se definiše skupom logičkih aktivnosti koje u aplikacijama za CAA izgrađuju proračunski model konstrukcije. Ovo je u suštini najosetljivije i najteže mesto u proračunu konstrukcija. U opštem slučaju modeliranje predstavlja iskustvo i intuitivnost stručnog lica koje vrši pripremu modela konstrukcije.

S druge strane pri modeliranju konstrukcija zahteva se velika kreativnost, prosuđivanje i upornost uz ne malo uloženi konkretni rad uz računar. Specijalni modeli za proračun konstrukcija u aplikacijama CAA dele se prema različitim kriterijumima, i oni su dati u [4].

Metodologija izrade proračunskog modela je:

- grubi model (2D, 3D),
- redukovani model (2D, 3D),
- fini model (2D, 3D).

Kada se fizički model konstrukcije ne poznaje dovoljno potrebno je uraditi grubi računski model i na njemu sprovesti proračun – minimalan broj čvorova i elemenata. Redukovanje se odnosi na, smanjenje broja čvorova, i izbora novog tipa konačnog elementa (KE) sa manje stepeni slobode ili manje čvornih tačaka. Primeri redukovanja modela mogu biti kada se:

- ploča izložena savijanju zameni membranom,

¹ Doc. dr Ilija M. Miličić, dipl.inž.građ., Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024 – 554 – 300, e – mail: milicic@gf.su.ac.yu

- kada se ploča izložena savijanju zameni ekvivalentnom pločom,
- sandučasti preseki od pločastih KE zamene grednim elementom,
- orebljenja i ukružena modelirano pločama zameni grednim elementom,
- zapreminski element zameni pločom ili gredom, itd.

Na taj način ispunjen je uslov da se redukovani model ponaša slično kao grubi ili pak kao fini model. Tako se skraćuje vreme i broj varijanti, kao i obrada rezultata tj. dobija se jednostavan model. Ponekad grubi proračunski model može biti i redukovani model. Poseban značaj ima modeliranje i sprovođenje simulacija po obavljenom merenju. Inače, računarsko modeliranje alatima savremenih tehnologija delimično se formalizuje, pa se sada znatno olakšava rešavanje i novih dodatnih zahteva koji se u savremenim okolnostima nameću.

U većini slučajeva zadržavaju se stečene navike usvajanja nivoa apstrakcije, ali se često pojavljuju situacije kada su one potpuno nepotrebne.

Na osnovu dosadašnjeg istraživanja uočavaju se velike mogućnosti sloboda u modeliranju konstrukcija sa aplikacijama za CAA. Sloboda modeliranja se ogleda u izboru konačnog elementa, u spajanju – udvajanju linijskih i površinskih KE u svakoj situaciji, itd. Sve ovo proizilazi od želje da se proračunski model približi stvarnosti, tj. da se prepoznaju teorijske poznate i ako je moguće da se naslute i teorijske nepoznate formulacije.

Geometrijski identični modeli – sa gledišta metodologije modeliranja je klasifikacija modela koji su se prirodno nametnuli s obzirom na interakciju računarskih aplikacija iz okruženja CAD – CAA.

Geometrijski neidentični modeli – su svi modeli koji se ne mogu kreirati u skladu sa realnom geometrijom objekta ili usled određenih činjenica napred izloženih.

Međutim, često jedan kreiran model ima samo jednu primenu (npr. samo za statičku analizu – proračun ugiba). Tako model za statičku i model za dinamičku analizu jedne konstrukcije ponekad ne moraju biti isti, pa čak se dešava da i ne liče.!

Danas, CAA aplikacije poseduju opcije koje korisniku vizuelno "dočaravaju" realnu konstrukciju, a pored toga ponekad služe samo kao kontrola unesenih podataka. Ovde se navode neke specifične ali i konkretne situacije pri modeliranju, koje kasnije u procesorskom delu mogu dati potpuno nepouzdan proračunske rezultate.

Na primer, kontakt ploče i "I" nosača, gde ploča leži na gornjoj "flanši" preseka, a ujedno je spregnuta nekim sredstvom za sprezanje.

U ovoj situaciji simulacije sa geometrijski identičnim modelom su bile ne moguće, a rezultati proračuna nepouzdati.

Primenjeni modeli za proračun mostovskih konstrukcija ove klasifikacije su:

- Ravanski roštiljni modeli,
- 3D roštiljni modeli,
- 2D model sa sa membranskim elementima za ploču i štapni za nosače,
- 3D model sa sa membranskim elementima za ploču i štapni za nosače.

Prve idealizovane modele konstrukcija mostova u svetu dali su (Cussens, 1975), i (Bhatt, 1986).

Kod nas 2D model prema teoriji drugog reda beleži se na primeru drumsko lančanog mosta preko reke Tise na putu Kanjiža – Novi Kneževac, (Hiba, Ž., 1972).

Ipak, težnja za jednim jedinstvenim modelom konstrukcije za sve analize je ne ostvarena, nauci je postavljen zadatak, a istraživačima novi izazovi.

2. KONCEPT EKVIVALENTNOG MODELIRANJA

Kako je u predhodnom izlaganju rečeno, nameće se jedan predlog kojim se želi preciznije da modeliraju specifična konstruktivna rešenja. Na taj način se omogućava modeliranje spregnutih konstrukcija geometrijski identičnim 3D modelom. Zapravo, spregnute konstrukcije ili spregnuti nosači u konstrukcijama su dosta zastupljeni, a prema tehnologiji izvođenje mogu biti izvedene u fabrici ili na licu mesta – gradilištu. Zbog tih činjenica, za računarsko modeliranje to je objektivni problem, koji se sa aplikacijama CAA prevazilazi služeći se različitim varijantama rešenja. Noviji aplikativni softveri CAA, prevazilaze taj problem manje ili više uspešno posebnim – specijalnim konačnim elementom. Međutim, ponuđeno rešenje je sa tehničkog gledišta pouzdano i sa primenom postojećeg softvera CAA (Tower 4.3.8, modul “PanelPro”) i sa njegovim konačnim elementima – metodom analogije. Prema tome, ukoliko je poprečni presek tretiran kao kompozit (tj., sastavljen od čeličnog nosača i betonske ploče, međusobno spregnutih) geometrijske i mehaničke karakteristike su udvojene čime se dobija određena krutost nosača – konstrukcije. Tako, ako se pođe od deformacije sistema, koja predstavlja zbir ugiba i jednog i drugog materijala koji zajedno angažuju ukupnu geometriju preseka – kompozita. U tim okolnostima betonskom delu nosača se poveravaju sile pritiska, dok su čeličnom poverene sile zatezanja. Pri takvom spoju poprečnih preseka teorijski jedino materijal sredstava za sprezanje suprostavlja se smičućim naponima. Angažovanje betonskog dela je preko aktivne sadejstvujuće širine za koju se zna da je njena maksimalna vrednost jednaka međusobnom rastojanju čeličnih nosača. Ako se pođe sada od toga, i u proračun za 3D model unese izvedena širina betonske ploče, to znači da npr. postoji geometrijski identična kolovozna ploča mosta, ta površina naziva se realnom površinom betonskog dela, a analogno tome postoji i realna površina čeličnog dela nosača – A^u . S druge strane poznate su geometrijske karakteristike spregnutog preseka koju čine idealizovana površina i moment inercije poprečnog preseka nosača. Prema ovom predlogu analogija se zasniva na geometrijskim i mehaničkim karakteristikama poprečnog preseka nosača datih izrazom (1):

$$\frac{E^{ekv}}{E_b} = \xi \cdot \frac{A^u}{A^*} \quad (1)$$

Gde je:

- E^{ekv} – ekvivalentni računski modul elastičnosti za spregnutu konstrukciju,
- E_b – modul elastičnosti betona,
- A^u – realna površina betonske ploče i čeličnog nosača,
- A^* – idealizovana površina spregnutog poprečnog preseka,
- ξ – koeficijent geometrijsko mehaničke analogije (GMA)

Leva strana jednakosti (1) je bezdimenzionalna i predstavlja odnos mehaničkih osobina materijala, dok je desna strana odnos geometrijskih karakteristika preseka, i takođe je bezdimenzionalna. Kako bi leva i desna strana (1) bile jednake, desna strana se množi sa koeficijentom (ξ). Najpre, treba ispitati kako se ponaša E^{ekv} kompozita, ukoliko su spregnuti čelični nosač i betonska ploča izrađena od betona kvaliteta, MB 30, 35, 40, 45,50, 55, 60.

Autor ovom prilikom nameće stav, da je ekvivalentni modul elastičnosti kompozita konstantan – $E^{ekv} = const$. U prilog ovom stavu nadalje slede tehnička obrazloženja i računski primer, kontrolisani sa eksperimentalno utvrđenim vrednosti ugiba, dilatacija odnosno napona. Ako se pođe od toga da je nosač u stanju da se suprostavi apliciranom opterećenju kao kompozit sa stanovišta ugiba u prvom redu zavisi od mehaničkih karakteristika čeličnog dela nosača.

Betonski deo nosača deformiše se od naprezanja koja su njemu poverena tj. od skupljanja, tečenja, ali ne i vertikalnih komponenti deformacija.

Zašto ne i betonskog dela, kada sadejstvuju zajedno?

Zato, ako se izazovu čeličnom delu velike deformacije (što je moguće) prvo će sredstva za sprezanje izgubiti svoju ulogu (npr. proklizaće spoj na kontaktnoj površini bez sloma betona). U tom slučaju vertikalne deformacije kompozita nastaju onda kada deformaciju počne da realizuje čelični deo nosača. Ukoliko se uzme u obzir tehnologija sa kojom je ostvaren kompozit, imamo da je određeno naponsko stanje već uneseno u čelični deo preseka nosača.

Na taj način se praktično njemu umanjuju mehaničke karakteristike iz domena elastičnog ponašanja materijala. To umanjeње mehaničkih karakteristika iskazuje se padom modula elastičnosti preseka kompozita ili preko ekvivalentnog modula elastičnosti. Ekvivalentni modul elastičnosti predstavlja ulazni podatak u proračunu za analizu kriterijuma upotrebljivosti sa geometrijski identičnim modelom.

Elasto – visko – plastično ili visko – plastično područje ponašanja materijala se ne postavlja kao zadatak u ovom radu, pa ni ovog koncepta ekvivalentnog modeliranja poprečnog preseka nosača.

Ekvivalentni modul elastičnosti prema (1) sa gledišta geometrijsko mehaničke analogije – GMA, se uspostavlja pomoću koeficijenta – ξ , datog izrazom (2).

Koeficijent GMA – ξ – u prvom redu zavisi od:

- odnosa modula elastičnosti materijala koji čine kompozit – n ,
- aktivne sadejstvujuće širine betonske ploče – b_{eff} ,
- međusobnog rastojanja čeličnih nosača u osnovi – λ .

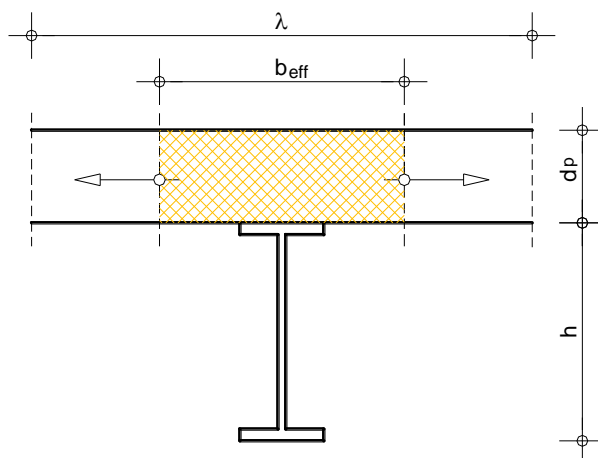
Na osnovu toga je:

$$\xi = \left(\psi - \frac{E_b}{E_c} \right) \quad (2)$$

Gde je:

- ψ – geometrijski parametar,
- E_b – modul elastičnosti betona,
- E_c – modul elastičnosti čelika.

Znači, ostaje jedino nepoznati geometrijski parametar – ψ – u izrazu (2), koji isključivo zavisi od aktivne – sadejstvujuće širine betonske ploče spregnutog preseka – b_{eff} , i njene maksimalne vrednosti – λ , Sl. 1.



Slika 1 – Poprečni presek spregnutog osaća

Prema tome, ekvivalentni modul elastičnosti pogodan za primenu je:

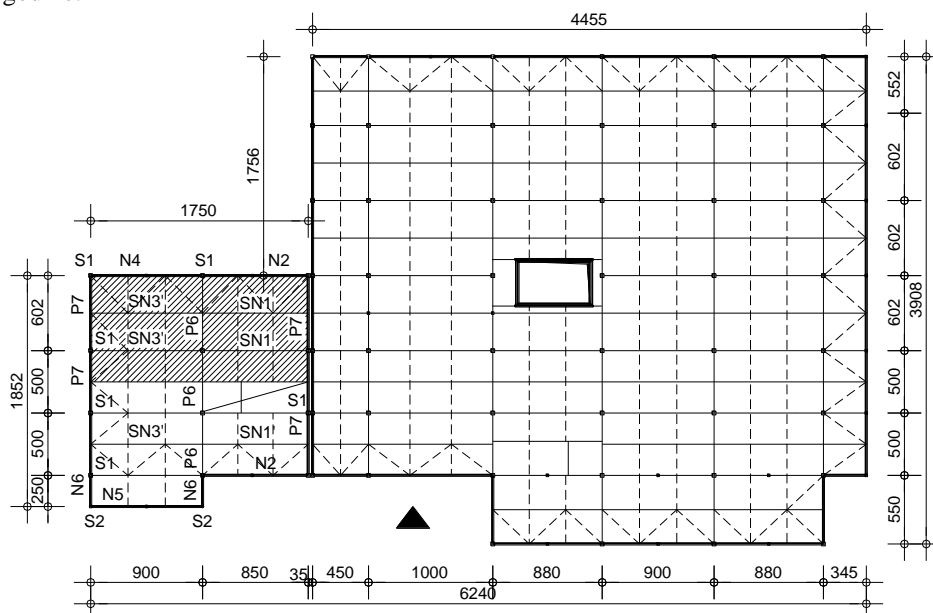
$$E^{ekv} = \frac{E_b \cdot A^u}{A^*} \cdot \left(\psi - \frac{E_b}{E_c} \right) \quad (3)$$

S druge strane sa daljom analizom mehanizma otkaza spregnutog poprečnog preseka konstatuje se da su narušene geometrijske karakteristike poprečnog preseka nosača. Prema tome, sa promenom geometrijskih karakteristika spregnutog preseka nosača prestaje potreba za njegov teorijski tretman kao kompozita – kada nema sadejstva između dva dela jednog poprečnog preseka nosača. Teorijsko razmatranje sa predhodno iznetim činjenicama dalje se računski dokazuje i upoređuju sa eksperimentalnim rezultatima.

3. TEORIJSKO – EKSPERIMENTALNI REZULTATI

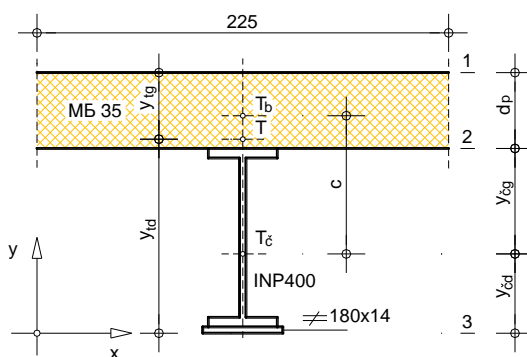
Za ilustraciju kao poseban primer prikazuje se ispitivanje na delu spregnute međuspratne konstrukcije sprovedeno statičkim i dinamičkim probnim opterećenjem u dograđenom skladištu fabrike kolača "Banini" A.D. u Kikindi. Ispitivanje je sprovedeno novembra 2004. godine, po programu sastavljenog od strane doc. dr Ilije M. MILIČIĆA, i prof. dr Ljubomira M. VLAJIĆA. U okviru ovog rada izdvojen je jedan karakterističan nosač Sl. 2, pozicija SN3`. Ukratko, međuspratna konstrukcija je sistem spregnutih nosača izvedena od čeličnih nosača I – preseka ojačanih podvezicama sa donje strane "flanše", i polumontažne betonske ploče tipa "OMNIA". Armirano betonska ploča je debljine $d=4+13=17$ cm, izrađena od betona MB 35. Statički sistem nosača je prosta greda raspona $L=9.00$ m i $L=8.50$ m, na delu koji je obuhvaćen probni ispitivanjem – šrafirana površina na Sl. 2. Spregnuti nosači svoje reakcije prenose preko veza sa zavrtnjima na višedelne zatvorene zavarene čelične stubove. Višedelni zatvoreni stubovi sa čašicama temelja samaca su formirali uklješteni oslonac. Modeliranje proračunskog modela

spregnutog nosača za potrebe izrade Programa ispitivanja prikazano je na Sl. 8, 9. Prema tome, za definisanje mernih mesta i mernih preseka pored računskog modela iz arhitektonsko – građevinskog dela projekta, neophodno bilo predvideti još jedan mogući 2D proračunski model. Ovim na prvi pogled jednostavnim proračunskim modelom trebalo je da se verifikuje statički tretman nosača iz projekta, ali i da se predvidi drugo moguće ponašanje međuspratne konstrukcije pod dejstvom statičkog probnog opterećenja. Građevinski radovi u dograđenom delu skladišta fabrike okončani su 2000. godine.



Slika 2 – Osnova spregnute međuspratne konstrukcije

Za dalje tretiranje novog koncepta neophodan je proračun geometrijskih karakteristika spregnutog poprečnog preseka za verifikaciju računskog modela iz projekta, Sl. 3.



Slika 3 – Geometrijski podaci poprečnog preseka nosača POS SN3'

Čelik: Č 0361

Beton: MB 35

$$E_{\tilde{c}} = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{\tilde{c}} = 143.20 \text{ cm}^2$$

$$y_{\tilde{c}g} = 23.60 \text{ cm}$$

$$y_{\tilde{c}d} = 17.80 \text{ cm}$$

$$I_{\tilde{c}} = 38108.00 \text{ cm}^4$$

$$W_{\tilde{c}g} = \frac{I_{\tilde{c}}}{y_{\tilde{c}g}} = 1614.75 \text{ cm}^3$$

$$W_{\tilde{c}d} = \frac{I_{\tilde{c}}}{y_{\tilde{c}d}} = 2140.90 \text{ cm}^3$$

$$E_b = 3300 \text{ kN/cm}^2$$

$$d_p = 17.0 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 225.00 \text{ cm}$$

$$A_b = b_{eff} \cdot d_p = 3825.00 \text{ cm}^2$$

$$y_{bd} = 0.5 \cdot d_p = 8.50 \text{ cm}$$

$$I_b = \frac{b_{eff} \cdot d_p^3}{12} = 92118.75 \text{ cm}^4$$

Idealizovani modul elastičnosti: $E = E_{\tilde{c}}$ $n_b = \frac{E_b}{E} = 0.157143$ $n_{\tilde{c}} = \frac{E_{\tilde{c}}}{E} = 1.0$

Redukovane površine poprečnog preseka:

$$\tilde{A}_{\tilde{c}} = A_{\tilde{c}} \cdot n_{\tilde{c}} = 143.20 \text{ cm}^2,$$

$$\tilde{A}_b = A_b \cdot n_b = 601.07 \text{ cm}^2.$$

Redukovani momenti inercije poprečnog preseka:

$$\tilde{I}_{\tilde{c}} = I_{\tilde{c}} \cdot n_{\tilde{c}} = 38108.00 \text{ cm}^4;$$

$$\tilde{I}_b = I_b \cdot n_b = 14475.80 \text{ cm}^4.$$

Rastojanje težišta čeličnog i betonskog dela preseka:

$$c = y_{\tilde{c}g} + y_{bd} = 32.10 \text{ cm}.$$

Površina spregnutog poprečnog preseka:

$$A^* = \tilde{A}_{\tilde{c}} + \tilde{A}_b = 744.27 \text{ cm}^2.$$

Položaj težišta idealnog poprečnog preseka:

$$y_{\tilde{c}} = c \cdot \frac{\tilde{A}_b}{A^*} = 25.92 \text{ cm},$$

$$y_b = c \cdot \frac{\tilde{A}_{\tilde{c}}}{A^*} = -6.18 \text{ cm},$$

$$y_{tg} = y_{bg} + |y_b| = 14.68 \text{ cm},$$

$$y_{td} = y_{\tilde{c}d} + y_{\tilde{c}} = 43.72 \text{ cm}.$$

Idealizovani moment inercije spregnutog preseka:

$$I_{\tilde{c}}^* = \tilde{I}_{\tilde{c}} + \tilde{A}_{\tilde{c}} \cdot y_{\tilde{c}}^2 = 134345.11 \text{ cm}^4,$$

$$I_b^* = \tilde{I}_b + \tilde{A}_b \cdot y_b^2 = 37403.45 \text{ cm}^4,$$

$$I^* = I_{\tilde{c}}^* + I_b^* = 171748.56 \text{ cm}^4.$$

Nadalje, neophodni podaci za objašnjenje koeficijenta GMA nalaze se u tabeli 1. Pri čemu je poznato da ukoliko je odnos b_{eff} / λ nepromenljiv, tada je $\psi = const.$ Iz praktičnih razloga usvojeno je za $\psi = 0.9$, i sračunat je ekvivalentni modul elastičnosti –

kolona 6 tabela 1. Vrednosti u koloni 5 predstavljaju odnos realne površine i njoj odgovarajuće idealizovane površine poprečnog preseka nosača SN3`. Prema mogućnostima računarske aplikacije AutoCAD, opcijom / Inquiry Toolbars / – komandom Region / Mass Properties, date su vrednosti za realnu geometriju poprečnog preseka nosača.

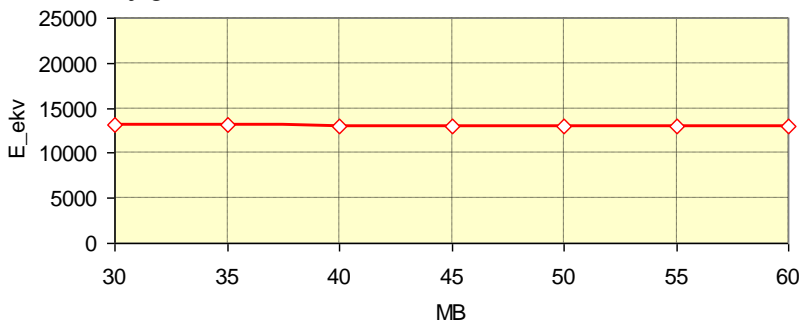
```

---- REGIONS ----- /cm, cm2, cm4 / -----
Area: 3968.5392
Perimeter: 599.9200
Bounding box: X: -112.5000 -- 112.5000
                Y: 0.0000 -- 58.4000
Centroid: X: 0.0000, Y: 48.7377
Moments of inertia: X: 9700064.2922 Y: 16138748.6233
Product of inertia: XY: 0.0000
Radii of gyration: X: 49.4393, Y: 63.7705
Principal moments and X – Y directions about centroid:
I: 273329.2466 along [1.0000 0.0000]
J: 16138748.6233 along [0.0000 1.0000]
  
```

Tabela 1 – Računske vrednosti E^{ekv} prema GMA za $\psi = 0.90$

MB	E_b (kN/cm ²)	E_c / E_b (–)	ξ (–)	A^u / A^* (–)	E^{ekv} (kN/cm ²)
1	2	3	4	5	6
30	3150	6.6667	0.750	5.535	$1.308 \cdot 10^4$
35	3300	6.3636	0.743	5.332	$1.307 \cdot 10^4$
40	3400	6.1764	0.738	5.205	$1.306 \cdot 10^4$
45	3500	6.0000	0.733	5.082	$1.304 \cdot 10^4$
50	3600	5.8333	0.729	4.967	$1.304 \cdot 10^4$
55	3700	5.6756	0.724	4.857	$1.301 \cdot 10^4$
60	3800	5.5263	0.719	4.751	$1.300 \cdot 10^4$

Ili, ako se kolona 6, tabele 1, grafički prikaže u zavisnosti od kvaliteta AB ploče od koga je izrađena, sledi dijagram kao na Sl. 4.



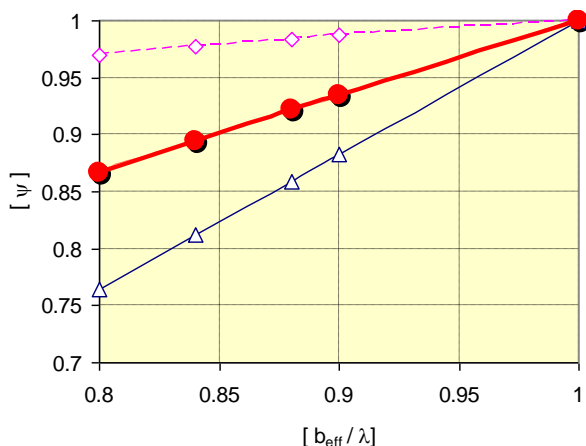
Slika 4 – Ekvivalentni modul elastičnosti u zavisnosti od MB

Prema tome, sada imamo dokaz da je ekvivalentni modul elastičnosti materijala spregnutog poprečnog preseka konstantan, i da se može uneti u aplikaciju za proračun kao ulazni podatak, sa određenom vrednosti.

Nadalje, se proračun vrši za računski primer, kod koga se sadejstvjuća širina betonske ploče menja u koracima – kolona 1, tabela 2. Sada treba pratiti promenu odnosa površine betonskog dela sa aktivnom širinom koloni 1, tabele 2, i betonskog dela sa maksimalnom vrednošću sadejstvjuće širine ploče – kolona 5, tabela 2. S druge strane takođe treba pratiti promenu idealizovanog momenta inercije sa ukupnim idealizovanim momentom inercije dobijenim za maksimalnu vrednost sadejstvjuće širine, kolona 7 tabela 2. Ukoliko se vrednosti kolone 5 i 7 predstave grafički u funkciji odnosa b_{eff}/λ , dolazi se do zaključka da vrednostima parametra ψ , odgovaraju prosečne vrednosti ordinata ove dve krive, Sl. 5.

Tabela 2 – Računski podaci za definisanje geometrijskog parametra ψ

b_{eff} (cm)	b_{eff} / λ (-)	A_b (cm^2)	A^* (cm^2)	$A_b / A_{(\lambda)}$ (-)	I_x^* (cm^4)	$I_x^* / I_{x(\lambda)}$ (-)
1	2	3	4	5	6	7
200	0.800	3400	677.49	0.800	167341.49	0.970
210	0.840	3570	704.20	0.840	169168.02	0.977
220	0.880	3740	730.91	0.880	170908.06	0.984
225	0.900	3825	744.27	0.900	171748.56	0.987
250	1.000	4250	811.06	1.000	175694.72	1.000



Slika 5 – Zavisnost parametra ψ u funkciji odnosa b_{eff}/λ .

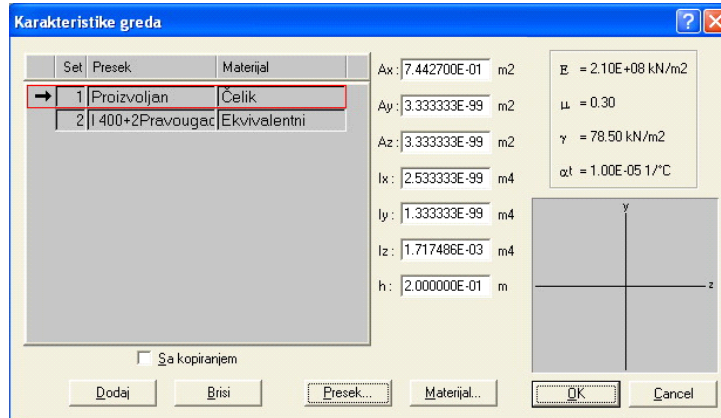
Tako se funkcija promene geometrijskog parametra može napisati u obliku:

$$\psi = \frac{1}{2} \cdot e^{\frac{7}{10} \cdot \left(\frac{b_{eff}}{\lambda} \right)} \quad (4)$$

Brojni primer:

Za spregnuti nosač SN3', sa pripadajućim opterećenjem sistema kao na Sl. 8 i Sl. 9, sračunati vrednosti ugiba i momenata savijanja:

- sa geometrijskim karakteristikama spregnutog poprečnog preseka tretiranog na klasičan način i manuelno unesenim u PanelPro – Model 1, i
- sa geometrijski identičnim poprečnim presekom i ekvivalentnim modulom elastičnosti – Model 2.



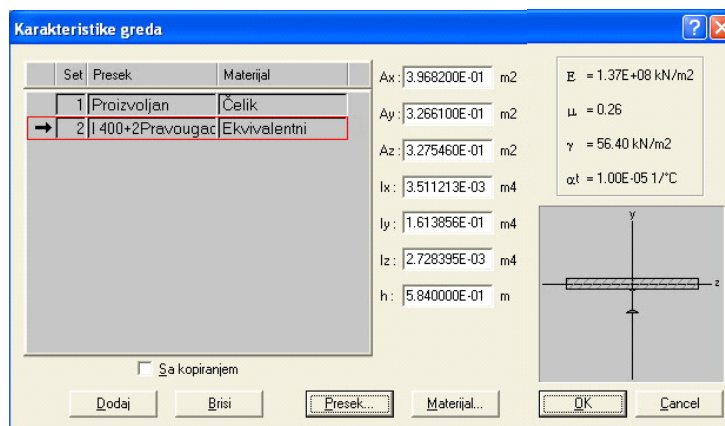
Slika 6 – Karakteristike nosača SN3` za model 1 (preprocesorski podatak)

Sračunavanje ekvivalentnog modula spregnutog poprečnog preseka prema (3):

$$E_b = 3300 \text{ kN/cm}^2, \quad E_{\check{c}} = 21000 \text{ kN/cm}^2, \quad b_{\text{eff}} = 225 \text{ cm}, \quad \lambda = 250 \text{ cm},$$

$$A = 3825 + 143.20 = 3968.20 \text{ cm}^2, \quad A^* = 744.27 \text{ cm}^2,$$

$$\psi = \frac{1}{2} \cdot e \cdot \frac{7}{10} \cdot \left(\frac{225}{250} \right) = 0.939, \quad E^{ekv} = \frac{E_b \cdot A}{A^*} \cdot \left(\psi - \frac{E_b}{E_{\check{c}}} \right) = 1.37 \cdot 10^4 \text{ kN/cm}^2$$



Slika 7 – Karakteristike nosača SN3` za model 2 (preprocesorski podatak)

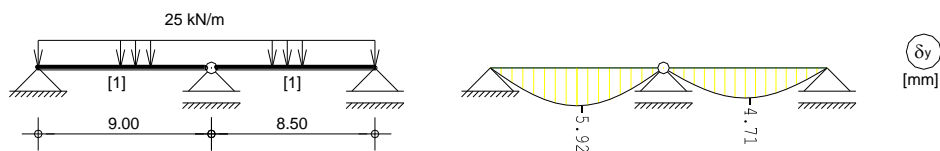
Tabela 3 – Eksperimentalne vrednosti ugiba za 3+4 fazu probnog opterećenja

Merno mesto	1	2	3	12	1'
Ugib (mm)	1.0	6.7	1.3	5.7	1.0

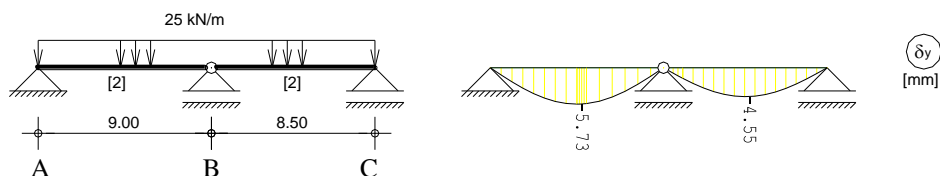
Ugib sredine prvog polja, merno mesto 2 iznosi: $\Delta_2 = u_2 - \frac{1}{2} \cdot (u_1 + u_3) = 5.6 \text{ mm}$

Ugib sredine drugog polja, merno mesto 12 iznosi: $\Delta_{12} = u_{12} - \frac{1}{2} \cdot (u_3 + u_1) = 4.6 \text{ mm}$

Model 1

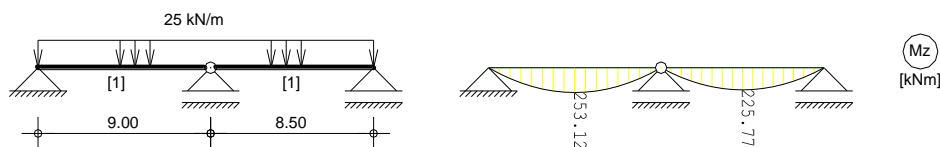


Model 2

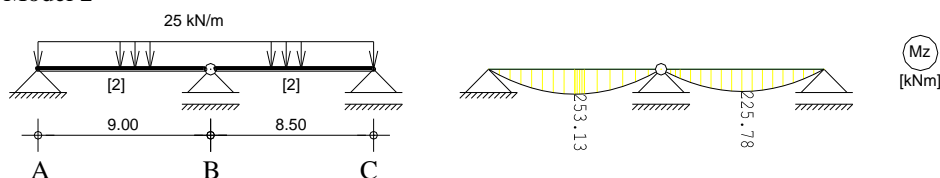


Slika 8 – Računske vrednosti vertikalnih pomeranja spregnutog nosača SN3`

Model 1



Model 2



Slika 9 – Računske vrednosti momenta savijanja spregnutog nosača SN3`

Legenda:

- Model 1 – je proračunski model nosača SN3` sa manuelno unesenim podacima idealizovanog poprečnog preseka – **geometrijski ne identičan model,**
- Model 2 – je proračunski model nosača SN3` sa ekvivalentnim modulom elastičnosti – **geometrijski identičan model.**

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu teorijsko eksperimentalne analize, tj. rezultata proračuna i registrovanih ugiba konstatuje se daje proračunski 2D model nosača SN3` (Sl. 8 – Model 2), a s tim i predloženi koncept ekvivalentnog modeliranja pomoću GMA tehnički pouzdan. Takođe, nametnuti koncept sa tehničkog gledišta je korektno obrađen i sa primenom postojećeg softvera za CAA (u ovom radu, Tower 4.3.8, modul "PanelPro") i sa njegovim konačnim elementima – metodom analogije. Na taj način se informacionim tehnologijama praktično obezbedila primena za modeliranje i sprovođenje simulacija nad spregnutim konstrukcijama sa geometrijski identičnim 3D modelom za verifikaciju kriterijuma upotrebljivosti.

LITERATURA

- [1] Elaborat o ispitivanju spregnute međuspratne konstrukcije u dograđenom skladištu fabrike kolača "Banini" u Kikindi pod uticajem statičkog i dinamičkog probnog opterećenja, TMTK – 002/04, Subotica, **2004**.
- [2] Miličić, M.I., Vlajić, M.Lj.: Eksperimentalno – teorijska analiza spregnute tavanice regalnog skladišta pri statičkom dejstvu u fabrici „Banini“ A.D u Kikindi, 12 Kongres JDGK, 27 – 29. IX., Vrnjačka Banja, Knjiga 2, **2006**, str. 25 – 40.
- [3] Miličić, M.I.: Prilog analizi kriterijuma upotrebljivosti mostovskih konstrukcija interakcijom računarske simulacije i 3D laserskog skeniranja, Magistarski rad, Subotica, **2004**.
- [4] Miličić, M.I.: Teorijsko eksperimentalna analiza preraspodele opterećenja pri određivanju kriterijuma upotrebljivosti mostovskih konstrukcija, Doktorska disertacija, Subotica, **2007**.
- [5] Vlajić, M.Lj., Beleslin, R., Miličić, M.I.: Eksperimentalno – teorijska analiza ponašanja pečurkaste međuspratne konstrukcije – preduzeće "Soko – Štark" Beograd, ÉPÍTŐIPAR – ÉPÍTÉSI MENEDZSMENT 2000, Nemzetközi konferencia 2000 július 3 – 4, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építéskivitelezési Tanszék, Budapest, **2000**.
- [6] Mihailović, V.: Spregnute i prednapregnute konstrukcije, Naučna knjiga, Beograd, **1989**.
- [7] Folić, R.: Analiza aktivne širine ploče i graničnih stanja od armiranog i predhodno napretnog betona, Novi Sad, **1975**.
- [8] Folić, R., Tatomirović, M., Popović, B.: Uticaj skupljanja i tečenja betona spregnutih armiranobetonskih nosača u preseku bez prsline, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Posebno izdanje 10, Novi Sad, **1986**.
- [9] Prokić, A.: Matrična analiza tankozidnih konstrukcija, Kramerprint, Zemun, **1999**.
- [10] Milašinović, D.D.: The Finite Strip Method in Computational Mechanics, Faculty of Civil Engineering Subotica, University of Novi Sad, Birografika Subotica, **1997**.
- [11] EN 1994 – 1 – 1: 2004, Evrokod 4: Proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona, deo 1 – 1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu i Jugoslovensko društvo građevinskih konstruktora JDGK, Beograd, **2006**.

- [12] De Corte, W., Van Bogaert, P.: The effect of shear deformations in floor beams on the moment distribution in orthotropic plated bridge decks, *Journal of Constructional Steel Research*, **2006**.
- [13] Macorini, L., Fragiacomio, M., Amadio, C., Izzuddin, B.A.: Long – term analysis of steel – concrete beams: FE modeling for effective width evaluation, *Engineering Structures*, **2006**.
- [14] Marčiukaitis, G., Jonaitis, B., Valivonis, J.: Analysis of deflections of composite slabs with profiled sheeting up to the ultimate moment, *Journal of Constructional Steel Research*, **2006**.
- [15] Upustvo za korišćenje programa: PanelPro, Planet, Tower 3D model builder, verzija 4.1 za Windows 95, NT, Radimpeks, Beograd.

NEW COMPENDIUM OF THE EQUIVALENT MODUL OF COMPOSITE „STEEL – CONCRETE“ GIRDERS

***Summary:** In this paper gives new proposal the equivalent of elasticity modul of composite section designed of modeling composite girders. Because of the calculation modeling application for CAA (Computer Aided Analysis) serves the different version of report. Newer of the applications software transcends this one problem less or farther of the lucky special FE. However, adjust of the equivalent modul elasticity of the composite section applicable usage real – life software family CAA, based of geometry – mechanical analogy (GMA) characteristic of composite section mode steel – concrete. Then base of the experimentally theoretical analyses with aspects criteria of the bearing and of the usability nominee draft of the equivalent modeling is technical safe*

***Key words:** Equivalent elastic modulus, modeling, models, composite girder, finite elements, sag, analogy*