





Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774
Ljubljana, maj 2013, letnik 62, str. 97-116

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovska cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za knjigo RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
prof. dr. Matjaž Mikoš
Jakob Presečnik
MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. Branko Zadnik
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**
FG Maribor: **doc. dr. Milan Kuhta**
ZAG: **akad. prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3400 izvodov

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojence 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je vstrel DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI560201 7001 5398955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Jubilej

stran **98**

prof. dr. Matej Fischinger, univ. dipl. inž. grad.
AKADEMIK PROF. DR. PETER FAJFAR, 70-LETNIK

Članki • Papers

stran **99**

doc. dr. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.
Ana Brunčič, univ. dipl. nov., dipl. inž. grad. (UN)

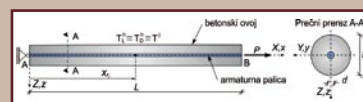
GRADBENIŠKA TERMINOLOGIJA
CIVIL ENGINEERING TERMINOLOGY

stran **105**

Urška Bajc, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.
doc. dr. Sebastijan Bratina, univ. dipl. inž. grad.
prof. dr. Miran Saje, univ. dipl. inž. grad.
prof. dr. Igor Planinc, univ. dipl. inž. grad.

**NELINEARNA ANALIZA RAZPOKANE ARMIRANOBETONSKE NATEZNE
PALICE – PRIMERJAVA NUMERIČNIH METOD**

NONLINEAR ANALYSIS OF CRACKED TENSILE REINFORCED
CONCRETE BAR – COMPARISON OF NUMERICAL METHODS



Novi diplomanti

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Fabianijev most čez Ljubljano v Ljubljani, foto Janez Duhovnik

AKADEMIK PROF. DR. PETER FAJFAR, 70-LETNIK



Imel sem priložnost študirati in dolga leta sodelovati z akad. prof. dr. Petrom Fajfarjem, ki maja letos proslavlja sedemdesetletnico. Ko sem to povedal mlajšemu profesorju v tujini, me je sogovornik pogledal z velikim zanimanjem, občudovanjem in rekel: »Ste pa imeli veliko srečo!« Res je poseben privilegij delati in prijateljevati s človekom, ki si je pridobil tak sloves. Pa ta uspeh ni prišel sam po sebi. Poleg velike osebne inteligence je bilo potrebno trdo delo. Začeti je moral orati popolne ledine v sodobni gradbeni dinamiki, v numeričnih metodah in zlasti pri potresnem inženirstvu. Desetletja so minila, odkar je kot mladenič razmišljal, kako bi šotoril v precej pozni jeseni, da bi se lahko udeležil svetovne konference o potresnem inženirstvu. Čeprav je bil na začetku vezan na nemško govoreča območja (doktoriral je na univerzi v Bochumu), se je kot maturant klasične gimnazije takoj odlično spopadel z angleško govorečim svetom potresnega inženirstva. Ta svet je mladi znanstvenik prepričal z briljantnimi idejami in rezultati ter si vztrajno priboril enakovredno mesto v vrhu raziskovalcev iz vrhunskih institucij, kot so Univerza v Kaliforniji – Berkeley, Univerza v Stanfordu in Tokijska univerza. Med številnimi deli, po katerih je poznan, naj omenim samo nekaj najodmevnejših.

Že rezultat njegovega doktorata – program EAVEK je nekaj velikega in posebnega. V desetletjih uporabe so bile z njim »izračunane« skoraj vse pomembnejše stavbe v Sloveniji in številne v tujini. S tem zgodnjim delom je v polnosti pokazal najbolj značilno lastnost svojega raziskovalnega dela – odlično povezanost najtežjih teoretičnih vsebin z jasnimi in uspešnimi inženirskimi modeli. Ko se sodelavci občasno skušamo oddaljiti od tega koncepta, nas spomni, da mora inženir v danem času in z danimi sredstvi narediti najboljše, kar zmore. In Peter Fajfar zna s preťanjenim inženirskim občutkom razumeti, kaj je dovolj dobro, čeprav ne more biti popolno. Lastnost, ki je med znanstveniki žal vse bolj redka. Nato je v zrelem obdobju raziskovanj desetletja pred drugimi spoznal prihodnost in pomen poenostavljenih (torej praktično uporabnih) nelinearnih metod analize v potresnem inženirstvu. Predlagal je metodo N2, po kateri je zaslovel in ki ima častno mesto v sistemu evropskih standardov Evrokod. S svojim lani prezgodaj preminulim prijateljem Helmutom Krawinklerjem z Univerze v Stanfordu je povezal svetovnih vrh raziskovalcev na znamenitih delavnicah s preprostimi imenom Bled. Dela, ki so predstavljena na teh delavnicah, podajajo smernice razvoja potresnega inženirstva za desetletja vnaprej, in ni ga raziskovalca, ki ne bi povabilo na te delavnice sprejel kot veliko čast. Ne le v Sloveniji, tudi v svetu je zelo malo dogodkov, ki bi pritegnili vrh določenega znanstvenega področja.

Za svoje uspehe prejema številna formalna priznanja. Naj naštejemo le nekaj najpomembnejših: je redni član SAZU in Inženirske akademije Slovenije ter znanstveni svetnik Mednarodne inženirske akademije v Moskvi, urednik mednarodne revije Earthquake Engineering and Structural Dynamic z velikim vplivom na znanost, član izvršnih odborov Mednarodnega združenja za potresno inženirstvo in predstavnik Slovenije v podkomiteju CEN-a za Evrokod 8.

Čeprav pogosto vsaj malo velja latinski rek Nemo propheta in patria, slovenska strokovna javnost globoko spoštuje akad. Petra Fajfarja.

Nekdanji študenti se ga spominjamo, današnji ga doživljajo kot odličnega pedagoga, ki je vzgojil številne generacije. Redke so države, kjer bi bila raven potresnega inženirstva tako visoka že pri dodiplomskem študiju. Njegovo delo Dinamika gradbenih konstrukcij je klasika študijske literature. Odlikuje ga lastnost, ki je danes bolj redka: s svojim nastopom in načinom takoj vzbudi veliko spoštovanje pri študentih. Ti instinktivno začutijo njegovo strokovno veličino in cenijo kakovostna predavanja, umirjen nastop in pravičnost. Mladi raziskovalci in doktorji, ki jih je vzgojil, dosegajo izredne uspehe doma in v tujini. Projektanti so se nanj in na Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, katerega predstojnik je, obračali pri najbolj zahtevnih strokovnih nalogah s področja potresnega inženirstva. Njegov pečat nosijo najpomembnejše visoke stavbe in industrijski objekti v Sloveniji. V novejšem času pa so zlasti pomembna dela, povezana s potresno varnostjo NE Krško.

Naj se vrnem na začetek. Res imam srečo, pa tudi vsi njegovi sodelavci na IKPIR in fakulteti jo imamo, da lahko delamo s tem izjemnim človekom in smo njegovi prijatelji. Ob koncu vsakega leta se zberemo sodelavci ter mladi raziskovalci in doktorandi, ki smo zrastle v odličnem in kolegialnem vzdušju institucije, ki jo je pred desetletji začela graditi skupnica mladih navdušencev in na katero rast je pomembno vplivala tudi osebnost Petra Fajfarja. Ponosni smo na vidne rezultate in se zavedamo, da so največji dosežek predvsem prijateljske vezi, ki so lahko nastale le v okolju institucije, ki so jo zasnovali in vodili res posebni in dobri ljudje. In Peter Fajfar, ki praznuje življenjski jubilej, je eden izmed njih. Njegovo praznovanje ima poseben značaj, kot je poseben jubilan. To je praznovanje v polnem življenjskem in delovnem zagonu, ki ga lahko mlajši sodelavci, ki tega ne zmoremo v tolikšni meri, globoko občudujemo. Zato mu ob tem jubileju vsi z veseljem in spoštovanjem čestitamo in mu želimo veliko sreče v življenju ter uspeha in zadovoljstva pri nadaljnjem delu.

Matej Fischinger

GRADBENIŠKA TERMINOLOGIJA

CIVIL ENGINEERING TERMINOLOGY

doc. dr. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

miso.kuhta@um.si

Ana Brunčič, univ. dipl. nov., dipl. inž. grad. (UN)

ana.bruncic@gmail.com

UM Fakulteta za gradbeništvo

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Strokovni članek

UDK 001.4:624(038)

Povzetek | Ob vseh krizah, ki so prizadele slovensko gradbeništvo, je ena manj opaznih, žal pa nič manj pomembnih, kriza strokovnega gradbeniškega jezika. Pomanjkanje bistvenih značilnosti urejenega strokovnega izrazja poraja resen dvom o dejanskem obstoju gradbeniške terminologije. Po treh izdajah Splošnega tehniškega slovarja bo slovar strokovnega izrazja gradbeniških konstrukcij, ki je v pripravi, korak na poti reševanja jezikovnokulturne krize. Samonikle pobude posameznikov, ki temeljijo predvsem na prostovoljstvu, bi morala nadomestiti jasna jezikovna – terminološka – politika stroke, ki bi slovenščini vrnila primat na slovenskem ozemlju, slovenskim gradbenim inženirjem pa olajšala izražanje ne samo v slovenščini, ampak tudi v tujih jezikih.

Ključne besede: gradbeniška terminologija, termini, strokovni jezik, slovar

Summary | Among all crises, which have struck Slovenian construction industry, the crisis of civil engineering terminology is perhaps less noticeable, but still as important as all the others. The lack of fundamental characteristics of proper terminology causes a reasonable doubt whether Slovenian civil engineering terminology actually exists. After three editions of Splošni tehniški slovar (A General Technical Dictionary), a preparation of the new civil engineering dictionary represents one step towards a proper and regulated vocabulary. Independent initiatives of individuals, based on voluntary contributions, should be replaced with a consistent linguistic – terminological – policy, which should assure primacy of Slovenian language in Slovenia and ease the diction of civil engineers, not only in Slovenian language but also in foreign languages.

Keywords: civil engineering terminology, terms, language of profession, dictionary

1 • UVOD

obremenitev -tve ž v notranjosti nosilnih konstrukcij se pojavlja kot moment, npr. upogibni moment ali sila, npr. prečna, osna s. ipd.: tehn. vplivi, ki jim je primerek v določenem trenutku izpostavljen

obtežba -e ž obtežitve, praviloma v zvezi s težo; gl. tudi breme in obremenitev; grad. zunanje sile, ki delujejo na konstrukcijo Tako so člani Tehniške sekcije Terminološke komisije SAZU v Splošnem tehniškem slovarju, ki je nazadnje¹ izšel v letih 1978 in 1981, defi-

nirali dva strokovna izraza – tērmina. Definiciji sta slabi, ker nobena od tehniških strok iz njiju ne more očitno razbrati razlike med terminoma: *obremenitev* so lahko (tudi) *vplivi*, *obtežba* pa je enako kot *obremenitev* oziroma zunanja *sila*, ki deluje na konstrukcijo. V slovenski gradbeniški literaturi se je sčasoma bolj uveljavila *obtežba*, čeprav *obremenitev* – v (srbo)hrvaščini *opterećenje* – bolje opisuje vse, kar deluje na konstrukcijo; temperatura in veter vendarle nimata teže, s katero bi

konstrukcijo obtežila. Potem smo v letih 2005 do 2007 dobili slovensko izdajo evrokodov, ne zgolj platnice, tudi vsebino, štiri leta kasneje pa tudi Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Odtlej nimamo več niti *obremenitev* niti *obtežb*, pač pa *vplive* in njihove *učinke*.

Tradicionalistični Britanci imajo od nekdaj *loads* in nič drugega. Ta izraz zanje v celoti opisuje vse tisto, kar lahko deluje na konstrukcijo: *snow loads, wind loads, temperature loads, dead loads, live loads, soil lateral loads, earthquake loads* ... Tudi oni so dobili svojo izdajo evrokodov, leta 2006 pa tudi priročnik za projektiranje po evrokodih (npr. Manual for

¹ Leta 2007 je izšla t. i. 3. izdaja Splošnega tehniškega slovarja, Slovenski tehniški slovar, vendar samo črki A in B.

the Design of Concrete Building Structures to Eurocode 2). Odtlej še vedno uporabljajo izraz *loads*, ne glede na izrazje, ki v angleščino prodira s standardi (Pike, 2006). Standardi kot tudi zakoni, predpisi in smernice zanje niso norma niti terminologije niti stroke – to imajo določeno v literaturi, katere avtorji so domači strokovnjaki –, ampak zgolj navodila za projektiranje.

To sta le dva primera skrbi za terminologijo. Namesto konservativne politike velikih (Britancev, Francozov, Nemcev ipd.), z značilnimi težnjami po razvoju nacionalnega (strokovnega) jezika in skrbi za ohranjanje strokovnega izrazja, je za Slovenijo značilna kvaziliberalna politika malih, z značilnima čakanjem na mednarodne terminološke standarde in domačo zakonodajo, da nam bodo definirali gradbeniško terminologijo, predvsem pa navdušenim klanjanjem pred vsem, kar pride iz tujine. Kot da so pravniki, prevajalci in prodajalci standardov tisti, ki so dolžni skrbeti za gradbeniško izrazje. Angleški (nacionalni) ponos takega odnosa do konstitutivne prvine naroda – nacionalnega jezika

– ne dopušča. Naš ponos pa je menda del skupne lasti nekdanje Jugoslavije, do njega pa zaradi nerešenih zapuščajnih vprašanj žal (še) ne moremo. Jugoslovanski gradbeniki so namreč vzorno skrbeli za stroko (predvsem) tako, da so jo korektno opisovali v kakovostnih publikacijah. Mednje zagotovo spada zbirka Tehničar oz. Građevinski priručnik, ki je Slovenci žal nikoli nismo uspeli prevesti. Dejstvo je, da je pomanjkanje časa za definiranje lastne stroke splošna značilnost slovenskega gradbeništva: odkar projektiramo in gradimo v samostojni Sloveniji, nismo izdali niti terminološkega gradbeniškega slovarja niti dela pregledne strokovne literature,² ki bi stroko v celoti definirala – vsaj v obliki, ki bi bila prosto dostopna (v knjižnicah ali knjigarnah), ne. Namesto tega uporabljamo definicije izrazov, ki so zapisane v zakonih in standardih, stavek, ki te definicije vedno spremlja: »Izrazi, uporabljeni v tem standardu/zakonu, pomenijo«, pa vedno znova interpretiramo kot: »Izrazi, uporabljeni v gradbeništvu pomenijo ..., in drugi izrazi niso dopustni.« Tak je naš odnos do jezika, posledično pa tudi do

stroke. Opravičila zanj ni. Posledice tovrstne (energijske in ne energetske) pasivnosti, malomarnosti za urejenost izrazja pa so kopice bistrournih novih jezikovnih tvorb, v najslabšem primeru pa danes vse bolj priljubljeno slepo prevzemanje tujih izrazov, podkrepjeno z miselnostjo, da je edina prihodnost strokovne slovenščine njen pogreb: »Pisci strokovnih besedil in drugi pišočji tavajo glede strokovnega izrazja v precejšnji temi in se prepuščajo neutemeljeni samozavesti. S slepim prevajanjem iz tujih virov, z udobnim prenašanjem iz zdaj zveličavne angleščine, nekoč iz nemščine (vmes pa iz ruščine in srbohrvaščine), in s ponavljanjem tako znesenega besedišča in skladišnih vzorcev dopuščajo, da se jezikovni plevel razrašča še naprej.« (Puhar v Humar, 1998)

Če s puljenjem (jezikovnega) plevela začnemo danes, ima slovensko gradbeništvo dela dovolj za naslednjih deset let – kljub gospodarski krizi. Poleg tega je naša naloga, da sledimo razvoju in lastno strokovno izrazje razvijamo sočasno z rastjo novih strokovnih spoznanj.

2 • STROKOVNI JEZIK

Namen jezika je sporazumevanje oziroma izražanje misli. Osnovno opismenjevanje je naloga osnovnega in gimnazijskega srednjega šolanja, za strokovno usposobljenost, torej tudi pismenost, pa skrbijo predvsem fakultete, deloma tudi srednje strokovne šole. »Medtem ko na splošno besedišče ne vplivamo, sprejemamo ga, ko se učimo slovenščine, za /strokovno/ izrazje to ne velja.« (Kalin Golob, 2001) Strokovni jezik je rezultat dogovora strokovnjakov, ne pa posledica naključij. Jezik tehnike – strokovni jezik – mora biti preprost, pa vendarle eksakten, izražanje pa natančno, predvsem pa enoumno ((prim. Šmalc v Humar, ur., 1998), (Kalin Golob, 2001)), saj zanj »/.../ nista bistveni originalnost in slikovitost, pač pa definiranost, pojmovno precizna določenost izrazov« (Šmalc, 2011). Te zahteve veljajo za vsakršno strokovno izražanje: od izdelave risb do pisanja doktorske disertacije.

2.1 Terminološki sistem

Vsaka stroka mora imeti izoblikovano lastno terminologijo – urejen sistem izrazov, ki

omogočajo (jasno) komunikacijo med strokovnjaki. Da je komunikacija dejansko učinkovita – eksaktna – morajo vsi, vključeni vanjo, poznati t. i. poimenovalni sistem. To je urejen sistem izrazov, v katerem so poimenovanja izoblikovana po določenih pravilih. Sestavljen je iz predmetov, pojmov, terminov in definicij (Žagar Karer, 2011). Predmet je konkreten pojav, s katerim se stroka ukvarja, pojem asociacija v glavi posameznika ob misli na konkretni predmet, ubeseditvev pojma je t. i. termin, detajlna razlaga pa definicija.

»Na splošno velja, da imajo urejeno izrazje tiste stroke, ki imajo urejen svoj pojmovni svet. Stroka mora namreč najprej urediti svoj pojmovni svet in ga nato poimenovati. In obratno, če pojmovni svet stroke ni urejen, če torej ni dobro ali do konca razdelan, prihaja takrat, ko skušamo izdelati jezikovni (poimenovalni) sistem, do težav in zmede.« (Kalin Golob, 2001)

Ujemanje med obema sistemoma – pojmovnim (stvarnim/materialnim) in poimenovalnim (jezikovnim) – je bistvena značilnost

terminološkega sistema, poimenovana **zahteva po sistemskosti izrazja** (Kalin Golob, 2001). Sistem praktično pomeni ustaljene vzorce in pravila, na podlagi katerih lahko vsak trenutek tvorimo nove besede, termine, ki bodo nedvoumni in logični – jasni vsakemu, ki razume terminološki sistem.

Poleg temeljne zahteve po sistemskosti izrazja v izdelanem terminološkem sistemu obstaja še vrsta drugih zahtev ((Kalin Golob, 2001), (Vidovič Muha, 2000)):

- zahteva po **enoumnosti** in enopomenskosti (ki je tesno povezana z zahtevo po ujemanju med pojmovnim in poimenovalnim svetom stroke),
- zahteva po **knjižnosti** oz. **jezikovnosistemski ustreznosti** (podrejanje pravilom knjižnega jezika),
- zahteva po **čustveni nezaznamovanosti**,
- zahteva po **kratkesti** oz. **gospodarnosti** (zaželeno enobesednost),
- zahteva po **ustaljenosti** strokovnega izrazja (terminov).

2.1.1 Termini

Osnovne zahteve terminološkega sistema se najočitneje izražajo pri **terminih**, izrazih, ki poimenujejo pojme ipd. stroke.

² Izjema je vsekakor Gradbeniški priručnik. Ta je žal samo senca zbirke Građevinski priručnik – premalo obširen, da bi lahko predstavljal temeljno strokovno literaturo.

Enoumnost oz. **enopomenskost** pomeni, da en izraz ubeseduje en sam pojem in nasprotno (za določen pojem lahko uporabimo zgolj en izraz). Strokovnjaku je povsem jasno, kaj so *beton*, *agregat* in *cement*, ker so ti termini enoumnostni. Izraz *situacija* ima dva pomena, zato je pravilno dojetje odvisno od sobesedila, kar v strokovnih besedilih ni zaželeno. Precej večji problem pa je sopomenskost – obstoj več izrazov za isti pojem, npr. *prerez* in *preseki*. Vsi termini morajo biti skladni s pravili **knjižnega jezika**. To pomeni, da se morajo po zapisu in izgovoru prilagajati (knjižni) slovenščini; nemški izraz *Konstruktion* je v slovenščini postal *konstrukcija*, *technologie* *technologie* ipd. Strokovni izrazi ne smejo imeti dodatnih pomenov, čustveno, časovno ali vrstno (funkcijsko) zaznamovanih (**ekspresivnih**), zato žargonizmi – besede, značilne za govorno obliko jezika pripadnikov istega poklica (npr. zidarji, tesarji) – ne morejo biti strokovni izrazi, npr. *gerunga* in *šmuc*. Praktično je, če so termini **enobesedni**, žal pa tega ni mogoče vedno doseči. Pri iskanju slovenskega ustreznika angleškega ali nemškega termina je enobesednost precej težava, ker sta oba tuja jezika zaradi nepregibnosti veliko spretnjša pri zlaganju zloženek (enobesedni *energieeffizienz* v slovenščini postane dvobesedni *energijska učinkovitost*). V slovenščini zato težimo h **kratkosti izrazov** in ne nujno enobesednosti. Termine redko spreminjamo, če že, potem po temeljitem premisleku (npr. ko besedo zaradi novih spoznanj nadomestimo z natančnejšo: v gradbeništvu smo namesto *železobetona* začeli uporabljati izraz *armirani beton*). Poleg tega je zanje značilno še:

- da se sme **sopomenskost** (obstoj dveh izrazov za en pojem) pojavljati predvsem na način tuje – domače (*fundiranje* – *temeljenje*) in
- da so prevladujoče besede **samostalniki** (iz njih pa je tvorjena besedna družina, npr. *nateg* (sam.), *natezan* (prid.), *natezati* (glag.) itd.).

Največjo težavo v komunikaciji med strokovnjaki povzročajo sopomenke, »v/ir /teh/ v

terminologiji /.../ je tudi posledica nepoznavanja terminologije znotraj stroke, nepoznavanja strokovne poimenovalne tradicije: pisec strokovnega oz. znanstvenega besedila ne pozna ali ne pozna dovolj ali noče poznati (priznati) jezika stroke, o kateri piše« (Vidovič Muha, 2000).

2.1.2 Definicije

Vsak termin mora biti jasno definiran. Definicija mora zagotoviti, da bo termin pojmovno predstavljen. Mnoge napake se dogajajo ravno pri definiranju terminov, mednje spadajo (Žagar Karer, 2011):

- uporaba termina v definiciji (*sveža betonska mešanica je mešanica betona, ki je še sveža*),
- opisovanje, kaj pojem ni, namesto tega, kar pojem je,
- opisovanje presplošnih/preozkih značilnosti.

Iz preostalih značilnosti definicije izpostavimo zgolj še (Žagar Karer, 2011):

- ustrezno izoblikovana definicija in termin morata biti v besedilu zamenljiva in
- grafično gradivo ne more nadomestiti definicije, lahko pa jo dopolni.

Čeprav mnogi strokovnjaki menijo drugače, definicije izrazja, ki so navedene v standardih in zakonih, niso definicije, ki jih zahteva urejena terminologija, saj njihov namen ni definiranje stroke oziroma njenega izrazja, pač pa opredelitev posebnih (doslej neuporabljenih) izrazov, ki so v standardih oz. zakonih uporabljeni.

Definicija *konstrukcijskega elementa* v Evrokodu 1 »*konstrukcijski elementi so nosilna konstrukcija vključno z ležišči in temelji /.../«* konstrukcijske elemente enači s splošnejšim izrazom – *nosilna konstrukcija*. Podobno je z definicijo *trdnosti* (EC O), po kateri je »*t/rdnost /.../ mehanska lastnost gradiva, dana v enotah za merjenje napetosti*« – tudi modul elastičnosti je mehanska lastnost gradiva z istimi enotami, kot jih ima napetost – in z novim »slovenskim« terminom »*racking*«, ki je »*u/činek, povzročen z vodoravnimi vplivi*

v ravnini stene« (EC 5). Nobena od zgornjih definicij ne razloži temeljnih značilnosti (specifik) pojma in je zato za potrebe terminologije popolnoma neustrezna.

Poleg tega so definicije v standardih in zakonih (pre)pogosto namenjene same sebi – brez upoštevanja pravila, da termina ne smemo uporabiti v definiciji, so definicije brez pomena: *konstrukcija s sposobnostjo sipanja energije* je po definiciji v Evrokodu 8 »*/k/onstrukcija, ki lahko sipa energijo /.../«*, *nezahtevni objekt* je po ZGO-1-NPB7 »*konstrukcijsko manj zahteven objekt*«, *enostavni objekt* pa »*konstrukcijsko nezahtevni objekt /.../«*.

Ob definiranju strokovnih izrazov na neterminološki način pa se prehitro pripeti tudi nedoslednost: *globalna analiza* je po EC 3 »*/d/oločanje pravilnega zaporedja notranjih sil in momentov v konstrukciji, ki so v ravnotežju z obtežbo, ki deluje na konstrukcijo*«, čeprav že EC O namesto *notranjih sil in momentov* uporablja *učinke vplivov*, namesto *obtežb* pa *vplive*. Očitno je, da se mora zavzeti strokovnjak zavedati dejstva, da niti standardi niti zakonodaja ne definirajo niti stroke niti njenega izrazja, pač pa regulirajo – urejajo in predpisujejo. In prav nič ne preseneča splošna usmeritev slovenskih projektantov k uporabi standardov v tujem jeziku – zaradi dosledne uporabe jasne terminologije so ti namreč precej lažje berljivi kot slovenske različice.

2.1.3 Odnosi med termini

Terminološki sistem zahteva tudi jasno strukturirane odnose med termini. V tehničnih strokah ti odnosi največkrat temeljijo na hierarhiji – splošnemu izrazu je podrejenih več podpomenk, ki pa so med seboj na enaki ravni. Pred tem je bistveno, da določimo tudi hierarhijo sistema in za opisovanje pojmov na isti ravni uporabljamo enak sistemski izraz; izrazi, s katerimi v definicijah vzpostavljamo hierarhičnost: del, element, segment, vrsta, tip, ne morejo biti uporabljani kar vsepovprek. Najlepši primer tovrstne neurejenosti ali nedoslednosti je izraz *element*.⁴

³ V strokovnih besedilih se namesto pridevnika *energijski* uporablja tudi pridevnik *energetski* – žal napak. *Energetski* je namreč pridevnik samostalnika *energetika*, to pa je nauk o energiji, njenih oblikah, spremembah in zakonih. *Energetska učinkovitost* je torej učinkovitost nauka o energiji, ne pa učinkovito izrabljena energija.

⁴ Konstrukcije načeloma sestavljamo iz elementov, ti pa so lahko zaradi specifičnosti načina analize sestavljeni iz (končnih) elementov. Zapletenost povedi: kontinuirni nosilec je element konstrukcije, sestavljen iz več elementov, lahko presodi vsak sam.

3 • STANJE/PROBLEMI SODOBNE GRADBENIŠKE TERMINOLOGIJE

Kvaziliberalni odnos (predvsem mlajših) gradbenih inženirjev do lastnega strokovnega jezika se očitno kaže v stališču, »/.../ češ – saj je vseeno, kako stvar imenujemo, pa tudi če v tujem jeziku, glavno je, da vemo, za kaj gre« (Šmalc v Humar, 1998). Posledice tovrstne liberalnosti se odražajo v (1) jeziku gradbeniške stroke kot tudi (2) jezikovni (ne)kultiviranosti oziroma strokovni nepismenosti gradbenih inženirjev.

3.1 Jezik gradbeniške stroke

3.1.1 Tujke

Na gojišču strokovnega jezika slovenskega gradbenega inženirstva se razrašča predvsem strokovna latovščina. Gre za jezik, ki je posledica prevzemanja in uporabe nepotrebnih tujk, največkrat angleških izrazov. Miselnost, da slovenščina ne ponuja zadostnih izraznih možnosti za tvorjenje novih strokovnih izrazov, je najverjetneje posledica historičnega slovenskega manjvrednostnega kompleksa – pomanjkanja samospoštovanja oziroma t. i. hlapčevstva. Ker je za tvorbo nove besede po tuji predlogi potrebno poznavanje jezikovnega sistema (predvsem lastnega jezika), se inženirji tovrstnih podvigov izognemo z razlago, da tuji izraz pove več kot slovenski (Šmalc v Humar, 1998). Površno oz. dobesedno prevajanje tujih izrazov ali pa njihovo nekritično povzemanje v poslovenjeni obliki pa »/.../ privede do poimenovanj, ki so slovenščini tuja, včasih pa tudi smešna« (Šmalc v Humar, 1998). Primer je izraz *prefabriciran beton*. Angleška oblika *prefabricated* je v slovenščino prodrla malone v izvorni obliki (gre za t. i. kalk), kljub temu da ima predpona *pre-* v angleščini povsem drugačen pomen kot v slovenščini. Tega bi se moral zavedati vsak z osnovnošolskim znanjem maternega in angleškega jezika. Slovenski ustreznik za angleško predpono *pre-* je namreč *pred-*. Če terminu *prefabriciran* ob bok postavimo izraz *predimenzioniran*, ugotovimo, da obstoječ (terminološki) sistem pri isti predponi ločuje med pomenoma: *prefabriciran* naj bi pomenil predhodno izdelan/proizveden (slovenska ustreznica bi bila torej *predizdelan*, ampak je stroki žal bolj tuja kot angleški prevzeti izraz), *predimenzioniran* pa – po istem vzorcu – zagotovo ne pomeni, da smo

ga predhodno dimenzionirali (prim. Šmalc, 2011), pač pa, da je prevelikih dimenzij. Tak sistem pa ni več sistem, ampak mila volja posameznikov. Tovrstne izjeme povečujejo zmedo, od strokovnjakov pa zahtevajo učenje izrazja na pamet, ne pa smotrne in smiselne uporabe delujočega sistema.

Žal se prevzemanje ne konča samo pri umeščanju tujega izraza v slovenski jezikovni sistem. Izraz *prefabriciran* je toliko udomačen, da mu zlahka dodajamo slovenska obrazila in iz prvotnega pridevnika tvorimo besedno družino – npr. *prefabricirati*, *prefabriciranost*⁵ ipd. Tovrstni izrazi so tudi *plater*, *printer*,⁶ *platforma*, *eksploatacija*, *simulacija* ipd. Ob tem omenimo, da je uporaba tujk v strokovnih jezikih stalnica, vsaka stroka pa mora tem tujkam poiskati ustreznike v lastnem jeziku (*torzija* – *vzvoj*). Gradbeniška stroka pa je žal navdušena tudi – morda celo predvsem – nad uporabo anglizmov, ne da bi sploh čutila potrebo po vsaj delni prilagoditvi tujke domačemu jeziku. Tovrstnih primerov je preveč tudi zaradi vsesplošnega neupoštevanja zakonodaje, ki ponudnike računalniških programov obvezuje k prodaji programov, ki z uporabnikom komunicirajo v njegovem domačem jeziku. Slovenski projektanti gradbenih konstrukcij tako pridno uporabljajo *layerje*, za izboljšanje značilnosti temeljnih tal svetujejo *jet grouting*, ustvarjajo *features* in jih *plotajo* brez znanega merila oziroma *fit to page*, se lotevajo *pushover* analiz ipd. Če je neumno – in to zagotovo je – predpisati (knjižno) uporabo lejerjev, džeťgravitanga, fičersov, fit-tu-pejđža in pušover analiz, pa je še bolj neumno ne iskati slovenskih ustreznikov.

Neizkoriščanje izraznih lastnosti jezika pa je najočitnejše pri slovenskih znanstvenikih, ki za lastna odkritja slovenskega izraza niti ne iščejo, pač pa so popolnoma zadovoljni (samo) z anglizmom. Z malce razmisleka bi tako *flower roundabout* lahko postal *k-rožno križišče*, v skrajšani obliki celo *k-rožišče*, če je njegova tlorisna podoba res podobna rožnemu cvetu. Tak odnos do slovenščine je skrb vzbujajoč predvsem zato, ker so znanstveniki, ki odkrivajo in poimenujejo novosti v gradbeništvu, predvsem uni-

verzitetni profesorji – tisti torej, ki bi morali skrbeti za strokovno opismenjevanje mladih inženirjev. V sistemu, ki so ga sami zasnovali, pa akademstvo pomeni predvsem pisanje angleških znanstvenih člankov, medtem ko se študenti strokovne slovenščine samoiniciativno (na)učijo iz učbenikov (predvsem) tujih profesorjev – na bolonjski način. S takim odnosom pa stroka oz. znanost škodi tudi mednarodni (največkrat) angleški obliki strokovnega jezika. Za izvorni znanstveni članek, ki ga slovenski znanstvenik spiše (zgolj in samo) v angleščini, bi njegov angleški kolega zagotovo potreboval prevajalca, čeprav stroko/znanost dobro razume. Strokovna angleščina na slovenski način namreč težko tekne še tako (jezikovno in strokovno) podkovanemu neslovenskemu (pa tudi slovenskemu) znanstveniku.

Prevzemanje pa ni vedno neupravičeno. Včasih se tujemu izrazu preprosto ne moremo izogniti – po tem, ko smo izčrpali vse poimenovalne možnosti jezika. Dejanska liberalnost jezikoslovja v tem primeru omogoča prevzem besede in njeno umestitev v slovensko besedišče, s čimer slovenščina pridobiva nove izrazne možnosti. Primer omenjenega je beseda *pilon*, ki kljub izvorni angleščini povsem domače deluje v slovenščini. Navdse pohvalna so prizadevanja inženirjev, ki skušajo tuje izraze prenesti v slovenščino. Zavedanje, da prevod tujega izraza ni najustreznejši, ti inženirji jasno nakažejo s sočasno navedbo izvorne oblike, npr. *maksimalni vršni pospeški* (angl. *maximum peak accelerations*). Jasna jezikovna politika z ustreznimi službami, ki bi skrbele za razvoj strokovnega jezika, bi tem inženirjem pisanje v strokovnem jeziku precej olajšala. Dobesedni prevodi namreč le redko ustrezajo prenosu iz enega jezikovnega sistema v drugega – ravno to je bistvo iskanja slovenskega izraza: umestitev pojma, na katerega se izraz nanaša, v pojmovni sistem stroke, in šele po tem iskanje izraza, ki ustreza poimenovalnemu sistemu. Bolj kot prevajanje je pri terminih potrebno poslovenjenje. Dober primer (vsaj delnega) poslovenjenja je izraz *geotekstil*.

3.1.2 Sopomenskost

Poleg težav s prevzetimi besedami je za slovensko gradbeniško izrazje značilna tudi izrazita sopomenskost (prim. Kuhta v Lopatič idr., ur., 2012). Gre za obstoj več različnih poimenovanj istega pojma, npr. *računski*

⁵ Če bi izraz »doživel« resno obravnavo – tvorjenje celotne besedne družine –, bi stroka kmalu ugotovila, da samostalnik *prefabrikacija* ne more pomeniti predhodna izdelava, in bi hitro poiskala ustrežnejšo obliko izraza.

⁶ Ta dva ustrezno nadomešča slovenski fiskalnik.

model, statični sistem, konstrukcija, zasnova objekta. Četudi posameznik ne enači teh pojmov in jih sam ustrezno ločuje, pa se na univerzalni, sistemski ravni s tovrstno rabo uveljavlja in ohranja sistem, v katerem so ti izrazi sopomenke. Urejeno strokovno izrazje namreč ni zasebna last posameznika, pač pa posledica terminološkega dogovora večine strokovnjakov. Če pa stroka določi ustrezen termin, je pri posamezniku potrebna tolikšna discipliniranost, da izraz sprejme in ga uporablja. Togost gradbenih inženirjev je v tem primeru slabost.

3.1.3 Nacionalna neuskkljenost

Dodaten problem, prav tako zgodovinsko ukošen in v večini neenotni Sloveniji, je nacionalna neuskkljenost. Na Štajerskem in v Prekmurju konstruirajo konstrukterji, v preostanku

Slovenije pa je to funkcija konstruktorjev. Prvi je francoskega izvora in na Slovenskem nekoliko kasneje uveljavljen, drugi je značilno nemški, sta pa oba povsem korektna (prim. Šmalc, 2011). To pa še ne opravičuje rabe obeh (hkrati). Stroka bo morala določiti, kateri bo uporabljan, drugega pa opustiti – zaradi enotnosti, skladnosti in enobesednosti. Uveljavljanje slovenskega izraza za t. i. *creep* pa je sploh prvovrstna bitka obeh fakultet za prevlado na domačem ozemlju. Mariborski materiali vztrajno *lezejo*, ljubljanski pa *tečejo*. (Ne)konstruktivnim akademikom pa je ob tem popolnoma vseeno, ali bo zaradi takega odnosa odleza ali odtekla – karkoli že – tudi (nacionalna) enotnost strokovnega izraza. Tovrstne pomanjkljivosti slovenskega strokovnega izraza – če o njem kot o terminološkem sistemu sploh lahko govorimo – so v Sloveniji

očito eden od vzrokov za pomanjkanje (kakovostne) slovenske gradbeniške literature: od univerzitetnih učbenikov do strokovnih/znanstvenih monografij.

3.2 Terminološka (ne)pismenost

Terminološka malomarnost se odraža tudi pri jezikovni, torej strokovni (ne)kultiviranosti posameznega gradbenega inženirja. Napak bi bilo sklepati, da inženir, ki ne zna nedvoumno, brez grafičnih prikazov, risb in uporabno rok za »to tukaj« in »isto tam« opisati gradbenoinženirskega objekta, stroke ne obvlada. Zagotovo pa ne obvlada dela stroke – korektno izrazje je konstitutivna prvina stroke; tako kot obstaja predmet, mora v stroki obstajati poimenovanje zanj. »/V/rhunski strokovnjak, ki ne obvlada jezika, /pa je/ klavrn paradoks.« (Unk v Humar, ur., 1998)

4 • »SANACIJSKI UKREPI«

Kot strokovnjaki gradbeništvu obvladujemo tudi sanacije. Ker smo doslej zasnovan terminološki sistem zaradi malomarnosti, morda celo brezbriznosti, precej poškodovali – četudi se kot strokovnjaki zavedamo pomena vzdrževanja –, njegova sanacija nikakor ne bo lahko opravilo. »Naponi na področju slovenske gradbeniške terminologije so danes na žalost bolj ali manj omejeni na delovanje posameznikov, lahko bi rekli kar – zanesenjakov.« (Šmalc v Humar, 1998) Mednje spada tudi avtorja. Z začetkom leta 2013 je na njihovo pobudo na Inštitutu za slovenski jezik Frana Ramovša pri ZRC SAZU stekel projekt izdelave strokovnega gradbeniškega slovarja, ki bo v področno omejeni obliki (gradbene konstrukcije) predvidoma izdan v letu 2016, če bo stroka (po)nudila finančno, strokovno in moralno podporo. Slovarju gradbeniških konstrukcij želimo kasneje dodati še slovarje preostalih področij gradbeništvu (tehnologija, operativno gradbeništvo, komunalni vodi, prometnice, geomehanika ipd.). Navdušenje posameznikov, ki se problematike zavedajo in nestrno pričakujejo rezultate terminološkega premisleka, hitro zamegli samopašna zadostnost inženirjev, ki jih skrbi predvsem to, ali bo odslej vse po nepotrebnem poimenovano na novo in ali bodo morali del pozornosti posvetiti tudi obliki (jeziku) in ne samo vsebini (stroki). Poskusi poenotenja gradbeniške slovenščine so se sicer že dogajali. Mednje zagotovo spadajo slovenski prevodi evrokodov. Čeprav

na SIST-u zagotavljajo, da so težavno delo prenašanja tujega izraza v slovenščino predali prevajalcem, ki odlično poznajo strokovno področje, ki je vsebina standardov, se odlikujejo po odličnem znanju angleškega ali nemškega jezika pa tudi po odličnem znanju slovenskega jezika ter so pripravljeni usklajevati prevode med evrokodi, in drugimi strokami (Krašovec, 2013), pa se izrazje, ki je nastajalo med prevajanjem, v stroki žal ni uveljavilo. Vzrokov za to je več:

- Vsekakor je delo, ki so ga ti vrhunski strokovnjaki opravili, dobro za stroko, v večini drugih evropskih držav povsem samoumevno, pri nas pa žal višek skrbi za terminologijo. Naloga ni bila lahka, saj slovensko gradbeništvo nima sodobnega terminološkega slovarja niti kakovostne celovite zbirke strokovne literature (Tehničar, Betonkalender ipd.), še najmanj pa slovimo po usklajenem opismenjevanju na fakultetah, saj niti dva profesorja iste katedre ne uporabljata enakega izraza. Breme premisleka o izbiri ustreznega izraza je padlo na peščico posameznikov, ki so morali svoje delo precej hitro opraviti. Brez konsenza celotne stroke (in ne peščice odličnih strokovnjakov), sodelovanja terminologov ter časa za premislek in razpravo pa rešitve zagotovo niso optimalne.
- Prevajanje standardov – ob neustaljeni domači terminologiji in očitnem pomanjkanju kakovostne literature – pomeni uvajanje novotarij. Terminološko temeljito oprav-

ljeno delo bi zagotovo vključevalo analizo obstoječe, v praksi uporabljane terminologije in iskanje sorodnosti med uporabljanimi in novimi izrazi. S tem bi bil dosežen konsenz (strinjanje vseh in dobrobit za vse) ali vsaj kompromis (rešitev, dosežena s prilagajanjem), vključenost uporabnikov izraza pa bi poskrbela za to, da bi uporaba novega izraza (prej) zaživel.

- Opora, ki jo ob prevajanju standardov predstavljajo t. i. terminološki standardi, žal ne zagotavlja celovitega in korektnega oblikovanja terminologije, pač pa zgolj smernice za vodenje izrazoslovja. Gre namreč za prevode mednarodnih terminoloških standardov, ki so namenjeni sočasnemu in skladnemu razvoju terminologije, ne pa določanju pravil, kako v slovenščini poiskati ustreznik tujejezičnega termina. Česa takega si noben tujec ne bi drznil, ker se zaveda pomena obvladovanja (maternega) jezika. SIST je zgolj inštitut za standardizacijo (objavo in prodajo standardov), ne pa tudi inštitut za slovenski jezik – ta obstaja pod okriljem SAZU. Terminološki standardi (pa tudi zakoni in smernice) pa zato niso strokovni slovarji. Zatekanje k mednarodnim institucijam ni način za iskanje lastne identitete ali pa je naš ponos padel tako nizko, da smo terminologijo (strokovno izrazje) prepustili (tujim) pravnikom, prevajalcem, birokratom in trgovcem s standardi.
- Večletni terminološka neorganiziranost in brezbriznost sta poskrbeli za to, da do strokovnega jezika ne čutimo nobene dolžnosti več. Izražanje je postalo last posameznika, o spremembah v terminologiji torej odloča

vsak sam na podlagi lastnega (necelovitega in deloma nestrokovnega) premisleka. Odpravljanje obstoječe zmede pa je nemogoče, dokler vsak posameznik ne bo začutil koristnosti enotne in jasne terminologije, četudi bo zato moral prilagoditi ali spremeniti del lastnega izrazja.

Nastanek slovarja je vsekakor nujna, če želimo vsaj začasno urediti del obstoječega nerada, poleg tega pa bo stroka morala uvesti službe

in izobraziti strokovnjake, ki bodo skrbeli za nenehni razvoj slovenskega gradbeniškega jezika. Majhen, pa vendarle koristen korak v to smer bi predstavljali redna terminološka rubrika v Gradbenem vestniku, t. i. terminološki kotichek, in zahteva obeh fakultet po terminološki recenziji vseh strokovnih besedil. Če smo se prvega že lotili – terminološki kotichek bo odslej »terminološki servis« za projektante – pa bo druga – terminološka re-

cenzijska – nekoč morda norma, ki bo zagotavljala strokovno pismenost diplomantov, magistrin in doktorandov. Vsekakor pa slovensko gradbeništvo potrebuje temeljno zbirko, v kateri bodo razloženi osnovni pojmi gradbeništva, neodvisni od trenutno veljavnih standardov in predpisov; slovensko gradbeništvo se vendarle ni začelo z evrokodi, pač pa z »butanjem blata, iglično mikroarmaturo, žganjem opeke, koliščarstvom in tesanjem ostrešij«.

5 • SKLEP

Latinski pregovor pravi, da ni neumen, kdor napako naredi, pač pa, kdor v napaki vztraja. Žal nam tokrat slovenska vztrajnost ni v ponos. Dosedanja terminološka brezbriznost je povzročila zgolj to, da se slovenski gradbeni inženirji le stežka lotevajo pisanja strokovnih ali znanstvenih besedil, da nam terminologijo urejajo, največkrat kar vsiljujejo, pravniki, novinarji in arhitekti – s tem pa

posredno tudi prevzemajo stroko – in, kar je najhujše, da z zanemarjanjem slovenskega strokovnega izrazja zanemarjamo tudi slovensko stroko. Prepričanje, da bomo tuje trge lahko osvojili le z brezglavim prevzemanjem angleščine ali nemščine, pa je kvečjemu sanjaštvo. Dvomilijonski narod lahko na skoraj sedemmilijardnem trgu uspe le s ponosom (samospoštovanjem), samozavestjo in zna-

njem. Če se ne spoštujemo sami, nas tudi tujci ne bodo, začeni pri jeziku. Čeprav nismo izšolani jezikoslovci, smo kot izšolani gradbeni inženirji dolžni skrbeti za strokovni jezik. Ob pomoči kolegov terminologov je naloga precej lažja. Če lahko konstruiramo zahtevne inženirske objekte, lahko skonstruiramo tudi lastno izrazje in poskrbimo, da bo poleg smučanja, čebelarstva in kar je še drugih slovenskih prostočasnih dejavnosti, ki so v preteklih letih poskrbele za lasten terminološki slovar, urejena terminologija značilna tudi za primarno dejavnost družbe – gradbeništvo.

6 • LITERATURA

- Beg, D., Pogačnik, A., ur., Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih, Inženirska zbornica Slovenije, Ljubljana, 2009.
- Humar, M., ur., Slovensko naravoslovno-tehnično izrazje: zbornik referatov s Posvetovanja o slovenskem naravoslovno-tehničnem izrazju, Ljubljana 22.–23. maj 1997, Založba ZRC SAZU, Ljubljana, 1998, 33–38, 175–179.
- Kalin Golob, M., Jezikovne reže, GV Revije, Ljubljana, 2001.
- Kalin Golob, M., Jezikovne reže 2, GV Revije, Ljubljana, 2003.
- Krašovec V., A., zasebna korespondenca, januar 2013.
- Lopatič, J., Markelj, V., Saje, F., Zbornik 34. Zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, Hotel Golf, 11.–12. oktober 2012, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, Ljubljana, 2012, 147–164.
- Pike, D., ur., Manual for the design of concrete building structures to Eurocode 2, The Institution of Structural Engineers, London, 2006.
- Slovenski standard: Evrokod 0–8, 2005–2007.
- Struna, A., idr., Splošni tehniški slovar: I. del A–O, II. del P–Ž, 2. izdaja, Zveza inženirjev in tehnikov SR Slovenije, komisija za založništvo, tehniška sekcija Terminološke komisije SAZU, Ljubljana. 1978, 1981.
- Šmalc, A., Müller, J., Slovensko tehniško izrazje: jezikovni priročnik, Založba ZRC SAZU, Ljubljana, 2011.
- Vidovič Muha, A., Slovensko leksikalno pomenoslovje: govorica slovarja, Znanstveni inštitut Filozofske fakultete, Ljubljana, 2000.
- Višnjic, M., ur., Tehničar, Građevinski priručnik, 2, Iro »Građevinska knjiga«, Beograd, 1986.
- Žagar Karer, M., Terminologija med slovarjem in besedilom: analiza elektrotehniške terminologije, Založba ZRC SAZU, Ljubljana, 2011.

NELINEARNA ANALIZA RAZPOKANE ARMIRANOBETONSKE NATEZNE PALICE – PRIMERJAVA NUMERIČNIH METOD

NONLINEAR ANALYSIS OF CRACKED TENSILE REINFORCED CONCRETE BAR – COMPARISON OF NUMERICAL METHODS

Urška Bajc, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

urska.bajc@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Sebastjan Bratina, univ. dipl. inž. grad.

sebastjan.bratina@fgg.uni-lj.si

prof. dr. Miran Saje, univ. dipl. inž. grad.

miran.saje@fgg.uni-lj.si

prof. dr. Igor Planinc, univ. dipl. inž. grad.

igor.planinc@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, FGG, Jamova 2, Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 519.61/.64:624.071.3

Povzetek | V članku so predstavljeni trije enodimenzionalni numerični modeli za nelinearno analizo razpokane armiranobetonske natezne palice. Prva dva modela sta zasnovana na osnovi diskretne razpoke. Prvi med njima na t. i. modelu idealne razpoke, drugi pa na modelu t. i. povezane razpoke. Zanj je značilno, da sta nerazpokana betonska ovoja palice ob razpoki povezana z armaturno palico in tudi z agregatnimi zrni. Tretji numerični model za analizo razpokane armiranobetonske natezne palice je model razmazane razpoke. Z vsemi tremi numeričnimi modeli so v članku analizirani širina in število razpok ter togost in nosilnost razpokane armiranobetonske natezne palice. Rezultati analize so primerjani z eksperimentalnimi in numeričnimi rezultati podobnih metod iz znanstvene literature. Primerjave rezultatov so pokazale, da je najnatančnejši numerični model s povezano razpoko. Diskretni model z idealno razpoko je praktično enako natančen kot model s povezano razpoko, manj natančen je le za določitev širine razpoke. Najmanj natančen je model razmazane razpoke. Glede na zasnovano modela se z njim dobro določita le togost in nosilnost razpokane armiranobetonske natezne palice. V zaključku je prikazana tudi ocena ustreznosti poenostavljenega računskega postopka za analizo razpok armiranobetonskih konstrukcij skladno z evropskim standardom EC2. Primerjava je pokazala, da se s poenostavljenim postopkom relativno dobro oceni širina razpoke.

Ključne besede: armiranobetonska palica, razpoke, povezana razpoka, zdrs na stiku, natezna togost, MKE

Summary | This paper presents three numerical models for nonlinear analysis of cracked tensile reinforced concrete bar. The first two models are based on the discrete crack method. In the first model, which is mostly reported in literature, the ideal crack is considered, while in the second discrete model the phenomenon of aggregate bridging is included. The third numerical model is based on the smeared crack concept. This model is used to analyse the softening of reinforced concrete bar. Additionally, the crack width and their locations for all presented models are analysed. Furthermore, we analysed tension stiffness and bearing capacity of cracked reinforced concrete bar. The results are compared with other numerical models, based both on the discrete and smeared

crack concepts. It is found out that the presented numerical model for the analysis of the behaviour of cracked tensile reinforced concrete elements accounting for aggregate bridging is well appropriate for the determination of the element tension stiffness, the crack width and also their locations. The discrete model with ideal cracks is rather good in the same way, with the exception of the crack width. Because of the design of the model, the smeared crack model is less accurate in determining the cracks width and their locations, yet it is sufficient for the determination of the element tension stiffness. The results have also been compared with the values obtained by the related procedure for evaluating the width and the distance between two cracks, as given in European standard Eurocode 2. We may thus conclude that the proposed method is convenient for the evaluation of the crack width and the crack spacing in practical structural design, too.

Keywords: reinforced concrete bar, cracks, aggregate bridging, slip in contact, tension stiffness, FEM

1 • UVOD

Razpokanost betona in interakcija med ojačitvijo in betonom sta značilni lastnosti vseh vrst ojačanih betonskih konstrukcij. Ker ti pojavi bistveno vplivajo na togost, duktilnost in nosilnost ojačanih betonskih konstrukcij, jih moramo v analizi tovrstnih konstrukcij zagotovo upoštevati. Najbolj preprost gradbeni element, kjer so prepleteni vsi omenjeni pojavi, je natezna armiranobetonska palica. Ta je sestavljena iz betonskega ovoja in armaturne palice, ki je v enem krajišču nepomično osno podprta, na drugem pa obtežena z natezno osno silo. Zaradi kompozitnega delovanja med betonskim ovojem in armaturno palico ta sila povzroči natezne napetosti in osne deformacije v armaturni palici in betonskem ovojju. Zaradi relativno majhne natezne nosilnosti betona betonski ovoj razpoka že pri relativno majhni obremenitvi. Ko nastopi v armiranobetonski palici oziroma betonskem ovojju prva razpoka, napetosti v betonskem ovojju ob idealni razpoki padejo na nič. S povečevanjem obtežbe se na preostalih nerazpokanih delih betonskega ovoja palice pojavijo nove razpoke, ki so medsebojno povezane z armaturno palico, lahko pa tudi z agregatnimi zrni. Razpoke se v betonskem ovojju palice pojavljajo vse do stabiliziranega stanja oziroma do porušitve armaturne palice. Pojav povečane natezne togosti armiranobetonske palice zaradi kompozitnega delovanja armaturne palice in betonskega ovoja imenujemo ojačana natezna togost (angl. *tension stiffening*).

V literaturi so na voljo številni matematični modeli, ki bolj ali manj natančno opisujejo omenjene pojave. Najpreprostejši med njimi so tisti, pri katerih pojave modeliramo z modi-

ficiranim konstitucijskim diagramom betona v nategu (Bergan, 1979). Za bolj natančno modeliranje razpokane armiranobetonske natezne palice in tudi kompleksnejših armiranobetonskih konstrukcij sta se med raziskovalci uveljavili dve skupini modelov. Prvo sestavljajo modeli z diskretnimi razpokami. S temi modeli razpoke obravnavamo kot diskontinuiteto v geometriji palice oziroma konstrukcije, njihove velikosti in lege pa določimo kar na osnovi dosežene natezne trdnosti betona ((Abrishami, 1996), (Manfredi, 1998), (Yang, 2005), (Yang, 2008), (Yankelevsky, 1997), (Yankelevsky, 2008), (Dias da Costa, 2009), (Kuutti, 2012)). V drugo skupino metod uvrščamo fiste, kjer razpokanost betona in posledično mehčanje betona modeliramo s t. i. razmazanimi razpokami (angl. *crack band model*). S temi modeli predpostavimo, da so razpoke – in s tem njihov vpliv – razmazane na omejenem delu palice oziroma konstrukcije, kar le grobo ustreza dejanskemu stanju ((Bažant, 1989), (Bažant, 1997), (Kim, 1992), (Kwak, 2002), (Bratina, 2004), (Yang, 2008)).

V članku bomo predstavili tri enodimenzionalne numerične modele za nelinearno analizo razpokane armiranobetonske natezne palice. Prva dva modela uvrščamo v skupino modelov z diskretnimi razpokami. Prvi med njimi upošteva model idealne razpoke, pri drugem pa upoštevamo, da betonska ovoja palice ob razpoki nista popolnoma ločena, temveč sta povezana z armaturno palico in tudi z agregatnimi zrni. Ta pojav v literaturi imenujemo premostitev razpok z agregatnimi zrni (angl. *aggregate bridging*). Ta model bomo v članku imenovali model povezane

razpoke. Za oba matematična modela je značilno, da ločeno z enodimenzionalnimi modeli modeliramo armaturno palico in betonski ovoj. Kot dokazujejo eksperimenti, je povezava med njima podajna. Čeprav je obnašanje betona v nategu do porušitve in armaturne palice do meje plastičnosti linear- no, moramo razpokano armiranobetonsko natezno palico modelirati numerično, saj je obnašanje povezave med armaturno palico in betonskim ovojem nelinearno. V pričujočem članku predstavimo numerična modela z idealno in povezano razpoko, kjer obnašanje razpokane armiranobetonske natezne palice modeliramo z deformacijsko metodo končnih elementov. Pri modelu s povezano razpoko pa vpliv agregatnih zrn na povezanost betonskih ovojev ob razpoki modeliramo z nelinearno vzmetjo. Detajlno sta oba numerična modela predstavljena v članku Bajčeve in sodelavcev (Bajc, 2013). Tretji predstavljeni matematični model za analizo razpokane armiranobetonske natezne palice uvrščamo v skupino modelov z razmazano razpoko. Tudi pri teh metodah pogosto, ne pa vedno, armaturno palico in betonski ovoj modeliramo ločeno, sloja pa sta, podobno kot pri modelih z diskretnimi razpokami, povezana s podajnim stikom. Kot smo že povedali, s temi modeli razpoke betona razmažemo na končnem območju betonskega ovoja palice. Obnašanje tega območja opišemo s konstitucijskim zakonom med natezno napetostjo in specifično spremembo dolžine tega območja. Značilnost tega območja je, da se mehča. Detajli tega numeričnega modela so opisani v članku Markovičeve in sodelavcev (Markovič, 2013). Poleg predstavitve numeričnih modelov bomo v članku analizirali predvsem njihovo natančnost za določitev širine in števila razpok ter togosti in nosilnosti razpokane armiranobetonske natezne palice. S tem namenom

bomo rezultate analize primerjali med seboj in tudi z eksperimentalnimi in numeričnimi rezultati podobnih metod, ki so dostopni v znanstveni literaturi. Na koncu bomo s primerjavo rezultatov numerične analize in eksperimentov ocenili ustreznost poenostavljenega računskega postopka za račun širine razpok armiranobetonskih konstrukcij skladno z EC2 (SIST, 2005).

Članek ima poleg uvodnega poglavja še pet poglavij. V drugem poglavju predstavimo numerična modela z idealno in povezano razpoko za nelinearno analizo razpokane armiranobetonske natezne palice. V tretjem poglavju na kratko predstavimo numerični model z razmazano razpoko. Poenostavljen postopek za račun širine razpok armiranobetonskih konstrukcij po EC2 predstavimo v

četrtem poglavju. V petem poglavju s primerjavo med rezultati analize predstavljenih numeričnih metod ter eksperimentalnimi in numeričnimi rezultati podobnih matematičnih modelov, ki so dostopni v literaturi, ocenimo natančnost vseh predstavljenih numeričnih modelov za analizo togosti in nosilnosti razpokane armiranobetonske natezne palice. V šestem poglavju podajamo zaključke.

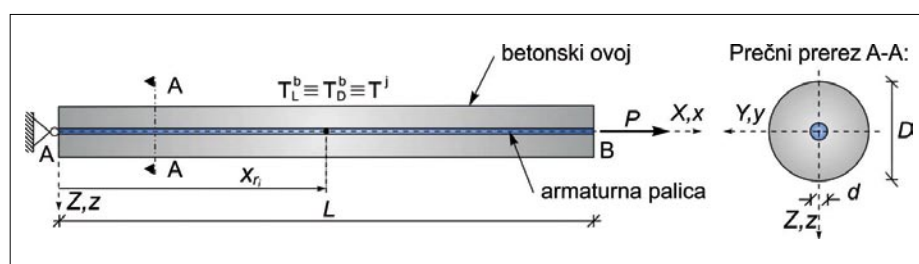
2 • NUMERIČNA MODELA Z IDEALNO IN POVEZANO RAZPOKO

2.1 Osnovne enačbe

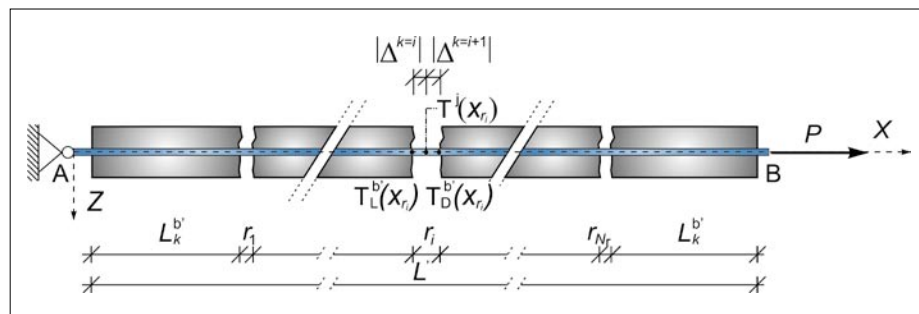
Opazujemo armiranobetonsko natezno palico z začetno dolžino L . Prečni prerez palice sestavljata betonski ovoj s ploščino A^b in premerom D (ali b/h) ter armaturna palica s ploščino A^i in premerom d (slika 1).

Armaturna palica je v točki A nepomično osno podprta, v točki B pa je obtežena z natezno silo P (slika 1). Prva razpoka v betonskem ovoju palice nastopi takrat, ko beton doseže natezno trdnost f_{ct} (Yang, 2005). Ker smo predpostavili, da sta armaturna palica in betonski ovoj homogena v vzdolžni smeri, se prva razpoka pojavi na sredini palice. S povečevanjem obtežbe nastane na sredini obeh nerazpokanih delov betonskega ovoja palice naslednji dve razpoki. Proces nastajanja novih razpok se nadaljuje do stabiliziranega stanja razpok. Razpokano armiranobetonsko palico z značilnimi geometrijskimi veličinami prikazujemo na sliki 2. Število razpok označimo z N_r , število nerazpokanih betonskih odsekov palice pa z N_k , kjer je $N_k = N_r + 1$. Ker je palica v vzdolžni smeri homogena, število oziroma nastajanje razpok ni poljubno. Spreminja se po pravilu $N_r = 1, 3, 7, 15 \dots$. Dodatno smo na sliki 2 z r_i označili velikost i -te razpoke.

Pri izpeljavi osnovnih enačb matematičnega modela razpokane armiranobetonske natezne palice z diskretnimi razpokami poleg že omenjenih predpostavk dodatno upoštevamo naslednje osnovne predpostavke: (i) oblika in velikost prečnega prereza betonskega ovoja oziroma armaturne palice se med deformiranjem ne spreminjata; (ii) prečni prerezi betonskega ovoja in armaturne palice, ki so pred deformiranjem ravni in pravokotni na nedeformirano referenčno os palice, ostanejo ravni in pravokotni na deformirano referenčno os palice; (iii) prečni prerez armaturne palice je veliko manjši od velikosti prečnega prereza betonskega ovoja; (iv) vpliv radialnih



Slika 1 • Nerazpokana armiranobetonska natezna palica (nedeformirana lega)



Slika 2 • Razpokana armiranobetonska natezna palica (deformirana lega)

nepetosti je zanemarljiv; (v) povezava med betonskim ovojem in armaturno palico je podajna; (vi) obnašanje betonskega ovoja je linearno, armaturne palice in stika med njima pa nelinearno.

Deformiranje razpokane armiranobetonske natezne palice opišemo v prostorskem kartezičnem koordinatnem sistemu (X, Y, Z) . Da z matematičnim modelom ustrezno opišemo podajnost stika oziroma zamike med betonskim ovojem in armaturno palico, ju modeliramo ločeno z ustrezno prirejenim Reissnerjevim modelom nosilca (Reissner, 1972). Pri tem delce betonskega ovoja identificiramo z materialnimi koordinatami x^b, y^b in z^b , delce armaturne palice pa z materialnimi koordinatami x^i, y^i in z^i . Ne izgubimo pri splošnosti, če predpostavimo, da materialna

koordinatna sistema in prostorski koordinatni sistem v nedeformirani legi palice sovpadajo. Zato lahko materialne koordinate označimo $x = x^b = x^i, y = y^b = y^i$ in $z = z^b = z^i$. Kot referenčno os pa izberemo težiščno os armiranobetonske palice, ki sovпада z materialno koordinato x in prostorsko koordinato X (slika 1).

V nadaljevanju veličine, ki pripadajo betonskemu ovoju označimo z zgornjim indeksom $(\bullet)^b$, veličine, ki pripadajo armaturni palici pa z indeksom $(\bullet)^i$. Napetostno in deformacijsko stanje razpokane armiranobetonske natezne palice določajo kinematične, konstitucijske, ravnotežne in vezne enačbe ($i = b, j$):

$$u'' - \varepsilon^i = 0, \quad (1)$$

$$N'' + p_x^i = 0, \quad (2)$$

$$N^i = N_c^i(\varepsilon^i) = \int_{A_i} \sigma^i(\varepsilon^i) dA, \quad (3)$$

$$\Delta = u^j - u^b, \quad (4)$$

$$p_x^b = -p_x^j, \quad (5)$$

$$p_x^b = p_{x,c}^b(\Delta) = \pi d \tau(\Delta). \quad (6)$$

Oznaka $(\bullet)^i$ v enačbah (1) in (2) pomeni odvod veličine po materialni koordinati x . Vz dolžna pomika referenčne osi betonskega ovoja in armaturne palice smo v zgornjih enačbah označili z u^i , z ε^i smo označili osni deformaciji, z N^i pa osni sili ($i=b, j$). V enačbi (4) smo z Δ označili zamik na stiku med betonskim ovojem in armaturno palico. Velikost tega zamika je odvisna od fizikalnih lastnosti stika. Določimo ga z eksperimenti in ga v splošnem opišemo s konstitucijsko enačbo stika $p_{x,c}^b(\Delta)$ (6), ki predstavlja zvezo med kontaktno linijsko obtežbo in zamikom. S τ smo v enačbi označili strižno napetost na stiku. V enačbi (3) smo konstitucijska zakona betonskega ovoja in armaturne palice označili z $N_c^b(\varepsilon^b)$ in $N_c^j(\varepsilon^j)$, kjer smo s σ^b in σ^j označili normalni napetosti v prečnem prerezu betonskega ovoja in armaturne palice. Tudi ta dva konstitucijska zakona določimo z eksperimenti. Konstitucijske zakone betonskega ovoja v nategu, armaturne palice in stika med slojema s pripadajočimi materialnimi parametri prikazujemo na sliki 3.

V nadaljevanju predstavimo enačbo, s katero določimo širine razpok. Širine označimo z r_i . Širino razpoke predstavlja razdalja med deformiranima legama točk T_c^b in T_c^j , ki sta bili v nedeformirani legi identični $T_c^b \equiv T_c^j$ (sliki 1 in 2). Izračunamo jih z izrazom za določitev razlike zdrsov na mestu razpoke ali pa izrazom za določitev razlike vzdolžnih pomikov obeh delov betonskega ovoja palice ob razpoki:

$$r_i = \Delta^{k=i} - \Delta^{k=i+1} = u^{b,k=i+1}(L_k^{b^i}) - u^{b,k=i}(0). \quad (7)$$

Na sliki 2 smo prikazali t. i. idealne razpoke. Eksperimentalni rezultati pa kažejo, da idealne razpoke praviloma ne nastopijo v začetni fazi nastajanja razpoke. V tej fazi sta z nastajajočo razpoko ločena nerazpokana dela betonskega ovoja palice, povezana z armaturno palico in tudi z agregatnimi zrni ((Yang, 2005), (Cerioni, 2009)) (slika 4). Ta pojav se v literaturi imenuje povezanost razpok z agregatnimi zrni (angl. *aggregate bridging*). Ko je velikost razpoke relativno majhna, ima lahko ta pojav velik vpliv na širino razpoke in tudi na napetostno in deformacijsko stanje razpokane armiranobetonske natezne palice. Najpreprosteje ta fizikalni pojav v enodimenzionalnem matematičnem modelu z diskretnimi razpokami upoštevamo z vpeljavo vzmeti, ki povezuje z razpoko ločena nerazpokana dela betonskega ovoja palice. Fizikalne lastnosti vzmeti pa določimo z eksperimenti. V predstavljenem numeričnem modelu konstitucijski

zakon vzmeti povzamemo po literaturi ((Yang, 2005), (Cerioni, 2009), (Rabczuk, 2005)). Prikazujemo ga na sliki 4.

Sistem osnovnih enačb razpokane armiranobetonske natezne palice (1)–(6) sestavlja devet diferencialnih in algebrskih enačb za določitev prav toliko neznanih funkcij: $\varepsilon^b(x)$, $\varepsilon^j(x)$, $N^b(x)$, $N^j(x)$, $u^b(x)$, $u^j(x)$, $p_x^b(x)$, $p_x^j(x)$ in $\Delta(x)$. Enačbe rešimo z upoštevanjem ustreznih kinematičnih in statičnih robnih pogojev. Robna pogoja za armaturno palico sta:

$$u^j(0) = 0, \quad (8)$$

$$N^j(L) = P. \quad (9)$$

Statični robni pogoji za betonski ovoj sestavljajo osnovni robni pogoji na začetku in koncu betonskega ovoja palice:

$$N^b(0) = 0, \quad (10)$$

$$N^b(L) = 0, \quad (11)$$

ter statični robni pogoji zaradi nastanka razpok v betonskem ovoju palice. Ti so za idealne razpoke ($i=1, 2 \dots N$):

$$N^{b,k=i}(L_k^{b^i}) = 0, \quad (12)$$

$$N^{b,k=i+1}(0) = 0, \quad (13)$$

ter za povezane razpoke:

$$N^{b,k=i}(L_k^{b^i}) = N_r^b(r) = \sigma_r^b(r) A^b, \quad (14)$$

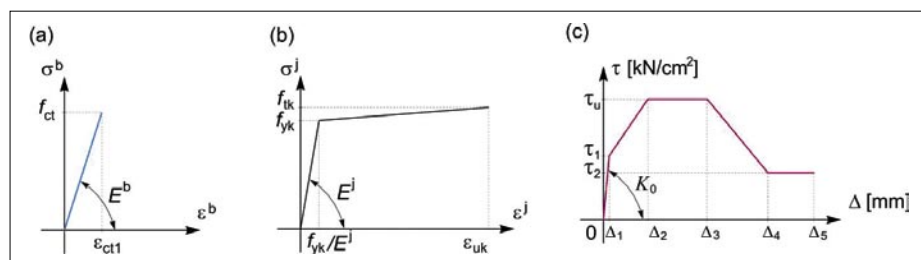
$$N^{b,k=i+1}(0) = N_r^b(r) = \sigma_r^b(r) A^b, \quad (15)$$

kjer smo z $N_r(r)$ označili osno silo v nelinearni vzmeti.

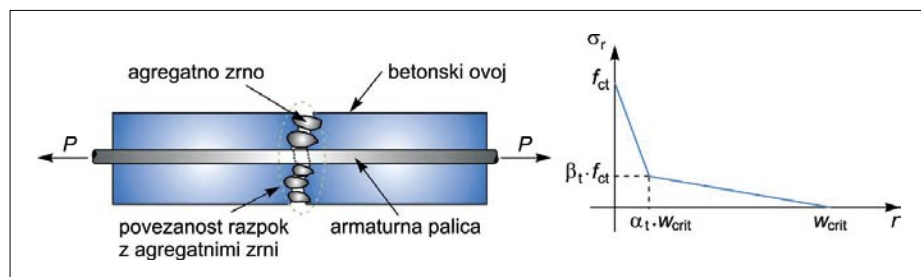
Opomba: Pogosto je med eksperimentom na prostem robu z natezno osno silo obtežen betonski ovoj in ne armaturna palica. V takih primerih se statični robni pogoj (9) spremeni v $N^j(L) = 0$ in robni pogoj (11) v $N^b(L) = P$.

2.2 Metoda končnih elementov

Osnovne enačbe (1)–(6) razpokane armiranobetonske natezne palice so nelinearne, zato točne rešitve teh enačb ne poznamo. Poznamo jih le za linearne konstitucijske modele betonskega ovoja, armaturne palice in stika med njima, torej za linearni sistem osnovnih enačb. V tem članku osnovne enačbe (1)–(6)



Slika 3 • Konstitucijski zakon: (a) betonskega ovoja v nategu, (b) armaturne palice in (c) stika



Slika 4 • Pojav povezanosti razpoke z agregatnimi zrni (*aggregate bridging*) in pripadajoči bilinearni konstitucijski zakon modela povezane razpoke ((Yang, 2005), (Cerioni, 2009))

rešimo z deformacijsko metodo končnih elementov. Novo družino končnih elementov izpeljemo z modificiranim izrekom o virtualnem delu (Bajc, 2013). Predstavimo ga zgolj za nerazpokani del betonskega ovoja med dvema sosednjima razpokama in pripadajoči del armaturne palice. Tako je modificirani izrek za ta del razpokane armiranobetonske palice naslednji:

$$\begin{aligned} \delta W^* = \delta W^{b^*} + \delta W^{j^*} = & \int_0^{L_k^b} (N_c^b - N^b) \delta \varepsilon^b dx + \left(u^b(L_k^b) - u^b(0) - \int_0^{L_k^b} \varepsilon^b dx \right) \delta N^b(0) + \\ & + (-S_1^b - N^b(0)) \delta u^b(0) + (-S_4^b + N^b(L_k^b)) \delta u^b(L_k^b) + \\ & + \int_0^{L_k^j} (N_c^j - N^j) \delta \varepsilon^j dx + \left(u^j(L_k^j) - u^j(0) - \int_0^{L_k^j} \varepsilon^j dx \right) \delta N^j(0) + \\ & + (-S_1^j - N^j(0)) \delta u^j(0) + (-S_4^j + N^j(L_k^j)) \delta u^j(L_k^j) = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

V enačbi (16) smo s S_1^b , S_4^b , S_1^j in S_4^j označili vrednosti točkovnih sil v betonskem ovoju in armaturni palici na obeh koncih obravnavanega dela armiranobetonske palice.

V nadaljevanju skladno z metodo končnih elementov razdelimo obravnavani del palice na N_b končnih elementov oziroma $N_k \cdot N_b$ za celotno palico. Posebnost tega postopka je v tem, da moramo razdeliti na končne elemente ločeno betonski ovoj in armaturno palico. Število in velikost končnih elementov je v obeh primerih enako, vendar pa delitev ni poljubna. Ujemati se mora z legami razpok v betonskem ovoju palice. Nato vsak končni element razdelimo na N ekvidistančnih točk in osni deformaciji betonskega ovoja in armaturne palice interpoliramo z Lagrangevimi interpolacijskimi polinomi stopnje N ($i = b, j$):

$$\begin{aligned} \varepsilon^i(x) = P_1(x) \varepsilon_1^i + P_2(x) \varepsilon_2^i + \dots + \\ + P_N(x) \varepsilon_N^i = \sum_{n=1}^N P_n(x) \varepsilon_n^i. \end{aligned} \quad (17)$$

V enačbi (17) predstavljajo ε_n^i vrednosti osnih deformacij v ekvidistančnih točkah, P_n pa Lagrangeve interpolacijske polinome. Podobno interpoliramo tudi variacije osnih deformacij:

$$\begin{aligned} \delta \varepsilon^i(x) = P_1(x) \delta \varepsilon_1^i + P_2(x) \delta \varepsilon_2^i + \dots + \\ + P_N(x) \delta \varepsilon_N^i = \sum_{n=1}^N P_n(x) \delta \varepsilon_n^i. \end{aligned} \quad (18)$$

Interpolacijske nastavke (17) in (18) zdaj vstavimo v modificirani izrek o virtualnem

delu (16). Euler-Lagrangeove enačbe tega funkcionala so ($i = b, j$):

$$\int_0^{L_k^i} (N_c^i - N^i) P_n dx = 0, \quad (n = 1, 2, \dots, N) \quad (19)$$

$$u^i(L_k^i) - u^i(0) - \int_0^{L_k^i} \varepsilon^i dx = 0, \quad (20)$$

$$-S_1^i - N^i(0) = 0, \quad (21)$$

$$-S_4^i + N^i(0) - \int_0^{L_k^i} p_x^i dx = 0. \quad (22)$$

Z znanimi postopki v numerični teoriji konstrukcij enačbe združimo v enačbe razpokane armiranobetonske palice in jih rešimo z upoštevanjem statičnih in kinematičnih robnih pogojev (8)–(15). Združene enačbe imenujemo posplošene diskretne ravnotežne enačbe razpokane armiranobetonske natezne palice. Neznane veličine v enačbah (19)–(22) določimo z izrazi ($i = b, j$):

$$u^i(x) = u^i(0) + \int_0^x \varepsilon^i dx, \quad (23)$$

$$N^i(x) = N^i(0) - \int_0^x p_x^i dx, \quad (24)$$

$$N_c^i(\varepsilon^i) = \int_{A_i} \sigma^i(\varepsilon^i) dA, \quad (25)$$

$$p_x^b = -p_x^j, \quad (26)$$

$$\Delta(x) = u^j(x) - u^b(x), \quad (27)$$

$$p_x^b = p_{x,c}(\Delta) = \pi d \tau(\Delta). \quad (28)$$

Integrale v enačbah (23)–(25) izračunamo z Lobattovo numerično integracijo, nelinearni sistem posplošenih diskretnih ravnotežnih enačb palice pa z Newtonovo metodo.

cije razpok in posledično lokalizacije deformacij in mehčanje betona (območje B na sliki 5), izračunamo skladno s priporočili Bažanta in sodelavcev (Bažant, 1989) z enačbo:

$$h = \frac{G_f}{W_f}, \quad (29)$$

kjer W_f predstavlja površino ploskve konstitucijskega zakona natezno obremenjenega betona v območju mehčanja (glej sliko 5).

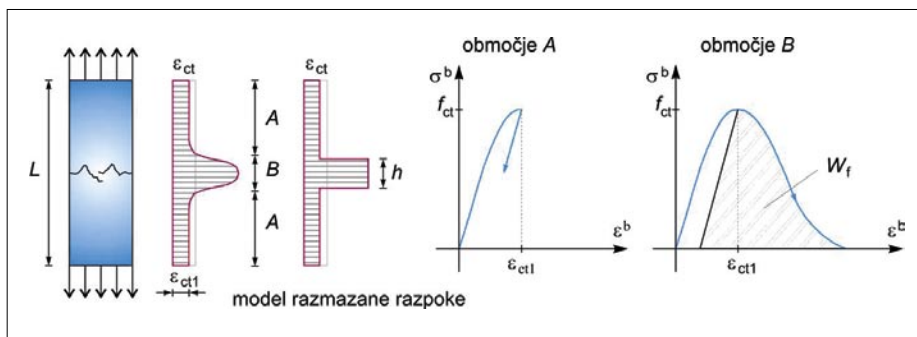
3 • NUMERIČNI MODEL Z RAZMAZANO RAZPOKO

V tem poglavju na kratko predstavimo numerični model, s katerim obnašanje razpokane armiranobetonske natezne palice opišemo z modelom razmazane razpoke. V tem modelu sta razporeditev in širina razpok namišljena in ne ustrezata dejanskemu stanju. Za ustrezno oceno togosti palice moramo pri tem modelu upoštevati tudi obnašanje betona v fazi mehčanja. Zanimivo je, da so zaradi

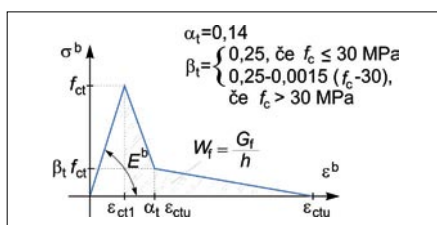
mehčanja betona rezultati analize odvisni tudi od gostote mreže končnih elementov (Bažant, 1989). Ta nezaželeni vpliv za analizo inženirskih konstrukcij relativno uspešno rešimo z vpeljavo t. i. kratkega (angl. *crack-band*) elementa v kombinaciji s konstantno energijo loma G_f kot materialnega parametra ((Bažant, 1989), (Bratina, 2004)). Dolžino območja h , na katerem nastopijo koncentra-

V predstavljenem modelu za analizo razpokane armiranobetonske natezne palice območje razmazane razpoke modeliramo s trilinearnim konstitucijskim zakonom betona skladno s priporočili Rabczuka in sodelavcev (Rabczuk, 2005). Graf tega zakona s pomenom pripadajočih materialnih parametrov prikazujemo na sliki 6. Soodvisnost med mehčanjem betona in dolžino lokaliziranih osnih deformacij pa zagotovimo z ustrežno izbiro parametrov α_i in β_i .

V numeričnemu modelu za analizo razpokane armiranobetonske palice z upoštevanjem razmazane razpoke izberemo konstitucijski zakon armaturne palice in stika med armaturno palico in betonskim ovojem enak, kot smo ga v modelu z diskretno razpoko (glej sliko 3). Podobna je tudi matematična formulacija tega modela z deformacijsko metodo končnih elementov. Detajli formulacije so opisani v članku Markovičeve in sodelavcev (Markovič, 2013).



Slika 5 • Enosni natezni preizkus betona in model razmazane razpoke (Bažant, 1989)



Slika 6 • Konstitucijski model betona v nategu v območju razmazane razpoke (f_c je tlačna trdnost betona) (Rabczuk, 2005)

4 • RAČUN ŠIRINE RAZPOK ARMIRANOBETONSKE PALICE SKLADNO S SIST EN 1992-1-1: 2005

V tem poglavju predstavimo poenostavljeno metodo za račun širine razpok armiranobetonskih konstrukcij skladno z evropskim standardom SIST EN 1992-1-1: 2005 (SIST, 2005). Poenostavljen postopek je zasnovan na modelu z diskretnimi razpokami v stabiliziranem stanju razpok. S tem modelom širino razpoke izračunamo kot razliko med spremembo dolžin armaturne palice in betonskega ovoja med sosednjima razpokama. Osne deformacije armaturne palice in betonskega ovoja izračunamo s povprečnimi normalnimi napetostmi na intervalu med sosednjima razpokama. Dodatno v modelu predpostavimo, da je kontaktna strižna napetost med armaturno palico in betonskim ovojem konstantna. Širino razpoke r (v EC2 (SIST, 2005) je označena z w_k) izračunamo z izrazom:

$$r = w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}), \quad (30)$$

kjer je $s_{r,max}$ največja razdalja med sosednjima razpokama, ϵ_{sm} je povprečna osna deformacija v armaturni palici, ϵ_{cm} pa povprečna osna deformacija v betonskem ovoju med sosednjima razpokama. Razliko deformacij izračunamo z izrazom:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad (31)$$

kjer je σ_s normalna napetost v natezni armaturi razpokanega prečnega prereza pri računski obtežbi za mejno stanje razpok, α_e je raz-

$$\text{merje modulov } E_s/E_{cmv} \rho_{p,eff} = \frac{(A_s + \xi_1^2 A'_p)}{A_{c,eff}},$$

A_s in A'_p sta natezna oziroma prednapeta armatura znotraj učinkovitega nateznega dela prečnega prereza $A_{c,eff}$, k_t pa je faktor, ki je odvisen od trajanja obtežbe in je za kratkotrajno obtežbo $k_t = 0,6$. Če je natezna armatura v prečnem prerezu nameščena na dovolj majhnih medsebojnih oddaljenostih, največjo končno medsebojno razdaljo med sosednjima razpokama $s_{r,max}$ določimo z izrazom:

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}. \quad (32)$$

V enačbi (32) je ϕ premer armaturne palice, c je debelina krovnega sloja betona, s koeficientom k_1 upoštevamo vpliv pogojev sidranja armature. Za rebrasto armaturo je priporočena vrednost tega koeficienta $k_1 = 0,8$. S koeficientom k_2 pa v enačbi (32) upoštevamo vpliv razporeditve deformacij po prečnem prerezu, kjer v primeru armiranobetonske natezne palice upoštevamo priporočeno vrednost $k_2 = 1$. Za vrednosti koeficientov k_3 in k_4 upoštevamo priporočeni vrednosti 3,4 in 0,425.

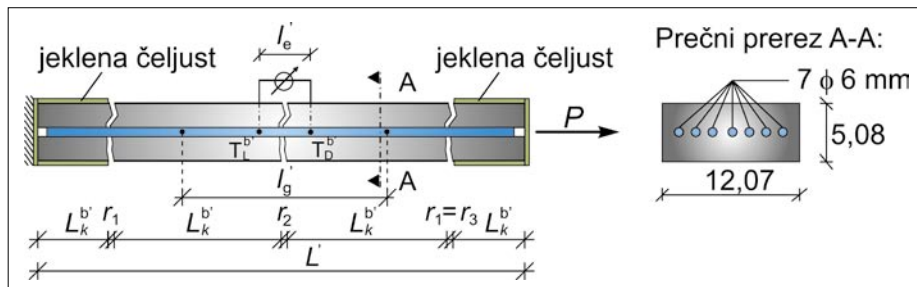
5 • RAČUNSKI PRIMERI

Z računskimi primeri prikazujemo natančnost predstavljenih numeričnih modelov za analizo širine in števila razpok ter togosti in nosilnosti razpokane armiranobetonske natezne palice. To prikažemo z medsebojno primerjavo rezultatov predstavljenih numeričnih modelov ter eksperimentalnih in numeričnih rezultatov sorodnih metod, ki so dostopni v literaturi.

5.1 Modela diskretne razpoke – primerjava z eksperimentom

V prvem računskem primeru ocenimo natančnost numeričnega modela z idealno razpoko in numeričnega modela s povezano razpoko. To prikažemo s primerjavo numeričnih rezultatov in rezultatov eksperimentov, ki so jih predstavili Wollrab in sodelavci (Wollrab, 1996). Obravnavamo palico s pravokotnim prečnim prerezom dimenzij $b/h = 12,7/5,08$ cm in dolžino $L = 63,5$ cm. Palica je armirana s sedmimi armaturnimi palicami premera 6 mm (glej sliko 7). Wollrab in sodelavci (Wollrab, 1996) so palico natežno obremenili preko jeklenih čeljusti, nameščenih na obeh koncih palice. Na sredino palice so namestili merilno urico z merskim območjem $l_e = 12,7$ mm, s katero so merili spremembo dolžine $r^* = l_e' - l_e$ na predvidenem mestu nastanka razpoke. Dodatno so na merskem območju $l_g = 254$ mm (glej sliko 7) merili tudi spremembo dolžine palice $\Delta u_b = l_g' - l_g$, ki so jo prikazali v odvisnosti od velikosti obtežbe.

Izmerjeni materialni parametri palice so (Wollrab, 1996): elastični modul betona $E^b = E_c = 3035,3$ kN/cm², armaturnih palic $E^l = E_s = 22348,0$ kN/cm², natezna trdnost betona $f_{ct} = 0,319$ kN/cm², meja elastičnosti armaturnih palic pa $f_{yk} = 50,6$ kN/cm². Tlačna trdnost betona je $f_c = 4,4$ kN/cm². Ker Wollrab in sodelavci (Wollrab, 1996) ne navajajo mehanskih lastnosti stika med armaturno palico in betonskim ovojem, v analizi uporabimo zakon stika s slike 3c in pripadajočimi materialnimi parametri (Yankelevsky, 2008): $\tau_1 = 0,6$ kN/cm², $\tau_2 = 0,5$ kN/cm², strižna trdnost stika $\tau_u = 1,2$ kN/cm², zamiki pa so $\Delta_1 = 0,03$ mm, $\Delta_2 = 1$ mm, $\Delta_3 = 3$ mm in $\Delta_4 = 10$ mm. Začetna togost stika je $K_0 = 200$ kN/cm³. Dodatno upoštevamo $f_{fk} = f_{yk}$ (glej sliko 3b). Vpliv povezanosti razpok z agregatnimi zrni upoštevamo v modelu s povezano razpoko tako, kot smo opisali v poglavju 2. Pri tem upoštevamo naslednje materialne parametre zakona (glej sliko 4): $G_1 = 80$ N/m, $\alpha_1 = 0,14$, $\beta_1 = 0,2485$ in



Slika 7 • Geometrijski podatki in podatki o obtežbi razpokane armiranobetonske natezne palice (relativni pomiki so bili merjeni na površini betonskega ovoja)

$$w_{crit} = \frac{2G_1}{f_{ct}(\alpha_1 + \beta_1)} = 0,129 \text{ mm}$$

(Rabczuk, 2005). Zaradi posebnega vpetja palice in posledično obteževanja betonskega ovoja palice predpostavimo, da nastaneta prvi dve razpoki na razdalji 10 cm od levega in desnega konca palice. To se zgodi pri sili $P_{1st}^+ = 24,10$ kN (r_1 na sliki 7). Razpoka na območju merilne urice pa nastane pri sili $P_{2st}^+ = 24,55$ kN in je široka $r^* = 0,033$ mm ($r_2 = 0,033$ mm). Z indeksom (•) označujemo silo tik pred pojavom razpoke, z indeksom (•)* pa tik po njihovem nastanku. Zaradi primerjave z eksperimentalnimi rezultati prikazujemo rezultate za r^* in ne za dejansko širino razpoke r_2 . S povečevanjem obtežbe se širina razpoke $r^*(r_2)$ povečuje, vse dokler

natezne napetosti v nerazpokanih betonskih ovojih ne dosežejo natezne trdnosti betona f_{ct} . To se zgodi pri sili $P_{3st}^- = 26,26$ kN in pri širini razpoke $r^* = 0,036$ mm ($r_2 = 0,035$ mm). Nato pri isti sili $P_{3st}^+ = 26,26$ kN nastaneta dve novi razpoki, širina razpoke r^* pa se zmanjša na $r^* = 0,033$ mm ($r_2 = 0,033$ mm). Pri sili $P_{4st}^+ = 39,61$ kN se v analizi pojavijo še štiri nove razpoki. Z nadaljnjim povečevanjem obtežbe se v palici ne pojavijo nove razpoki, pač pa se le povečujejo širine obstoječih. Tako je pri sili $P = 98,97$ kN širina razpoke $r^* = 0,107$ mm ($r_2 = 0,106$ mm), kar je blizu mejni vrednosti $w_{crit} = 0,129$ mm, pri kateri so razpoke skladno z modelom še povezane z agregatnimi zrni. Zaporedje pojavljanja razpok in spreminjanje širine razpoke na sredini palice $r^*(r_2)$ prikazujemo tudi v preglednici 1.

št. razpok	0	2	2	3	3	5	5	9	9
stopnja	P_{1st}^-	P_{1st}^+	P_{2st}^-	P_{2st}^+	P_{3st}^-	P_{3st}^+	P_{4st}^-	P_{4st}^+	P
P [kN]	24,10	24,10	24,55	24,55	26,26	26,26	39,61	39,61	98,97
r^* [mm]	0,001	0,001	0,001	0,033	0,036	0,033	0,054	0,037	0,107

Preglednica 1 • Model povezane razpoke; spreminjanje širine razpoke $r_2(r^*)$ v sredini natezne palice za značilne nivoje zunanje obtežbe P

V nadaljevanju v preglednici 2 prikazujemo zaporedje pojavljanja razpok in spreminjanje širine razpoke na sredini palice za numerični model z idealno razpoko.

št. razpok	0	2	2	3	3	5	5	9	9
stopnja	P_{1st}^-	P_{1st}^+	P_{2st}^-	P_{2st}^+	P_{3st}^-	P_{3st}^+	P_{4st}^-	P_{4st}^+	P
P [kN]	24,10	24,10	24,15	24,15	27,05	27,05	43,25	43,25	88,45
r^* [mm]	0,001	0,001	0,001	0,041	0,045	0,041	0,066	0,046	0,096

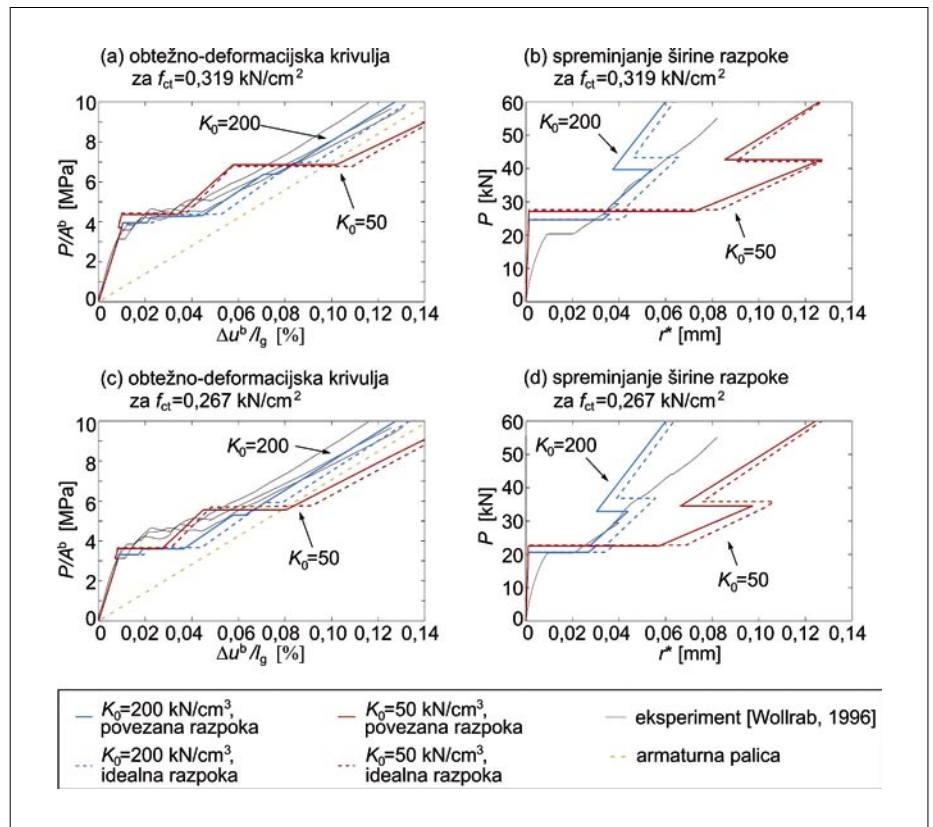
Preglednica 2 • Model idealne razpoke; spreminjanje širine razpoke $r_2(r^*)$ v sredini natezne palice za značilne nivoje zunanje obtežbe P

S primerjavo rezultatov širjenja razpoke r^* za značilne nivoje zunanje obtežbe P ugotovimo, da so medsebojne razdalje razpok do stabiliziranega stanja za oba modela enake. Spremenijo se velikosti značilnih sil in širine razpoke. Tako nastane razpoka na sredini palice pri modelu z idealno razpoko pri $P_{2st}^- = 24,15$ kN in je široka $r^* = 0,041$ mm ($r_2 = 0,041$ mm). Z nadaljnjim obremenjevanjem širina razpoke raste do $r^* = 0,045$ mm ($r_2 = 0,045$ mm) in se po nastanku dveh novih razpok zopet zmanjša na $r^* = 0,041$ mm ($r_2 = 0,041$ mm). V stabiliziranem stanju pri sili $P_{4st}^+ = 43,25$ kN je širina razpoke $r^* = 0,046$ mm ($r_2 = 0,046$ mm), kar je več kot pri modelu s povezano razpoko, kjer je $P_{4st}^+ = 39,61$ kN in širina razpoke $r^* = 0,037$ mm ($r_2 = 0,037$ mm).

Na koncu ocenimo natančnost predstavljenih numeričnih modelov s primerjavo med numeričnimi in eksperimentalnimi rezultati. Primerjamo obtežno-deformacijske oziroma napetostno-deformacijske krivulje obravnane palice in spreminjanje širine razpoke r_2 (r^*) v odvisnosti od zunanje sile P za dve različni natezne trdnosti betona f_{ct} in različni začetni togosti stika K_0 . Rezultate analize prikazujemo na sliki 8. Glede na poročilo Wollraba in sodelavcev prikazujemo na slikah 8b in 8d meritev spreminjanja širine razpoke r^* za eno palico, na slikah 8a in 8c pa meritve obtežno-deformacijskih krivulj za tri armiranobetonske palice enakih karakteristik (Wollrab, 1996).

S polno črto prikazujemo na sliki 8 rezultate analize z upoštevanjem modela s povezano razpoko, s črtkano črto pa rezultate analize modela z idealno razpoko. Krivulje modre barve smo izračunali z upoštevanjem začetne togosti stika $K_0 = 200$ kN/cm³, krivulje rdeče barve pa za $K_0 = 50$ kN/cm³.

Na slikah 8a in 8b primerjamo obtežno-deformacijske krivulje in spreminjanje širine razpoke na sredini palice v odvisnosti od zunanje sile za natezno trdnost betona $f_{ct} = 0,319$ kN/cm². Ugotovimo, da se meritve in rezultati obeh numeričnih modelov najbolj ujemajo, ko v numeričnem modelu upoštevamo začetno togost stika $K_0 = 200$ kN/cm³. Dodatno na sliki 8a relativno slabše opazimo, da se pri modelu s povezano razpoko poveča togost armiranobetonske palice predvsem pri nižjih nivojih obtežbe, kar je seveda pričakovano. Poleg tega se tako dobljeni rezultati bolje prilegajo izmerjenim vrednostim. Na slikah 8c in 8d primerjamo še obtežno-deformacijske krivulje in spreminjanje širine razpoke r^* za natezno trdnost betona $f_{ct} = 0,267$ kN/cm².



Slika 8 • Primerjava numeričnih in eksperimentalnih rezultatov za različni začetni togosti stika K_0 : (a) primerjava obtežno-deformacijskih krivulj za $f_{ct} = 0,319$ kN/cm²; (b) primerjava spreminjanja širine razpoke v odvisnosti od obtežbe P za $f_{ct} = 0,319$ kN/cm²; (c) primerjava napetostno-deformacijskih krivulj za $f_{ct} = 0,267$ kN/cm²; (d) primerjava spreminjanja širine razpoke v odvisnosti od obtežbe P za $f_{ct} = 0,267$ kN/cm²

Ta ustreza sili $P_{cr} = P_{2st}^- = 20,48$ kN, pri kateri nastane po navedbah Wollraba in sodelavcev (Wollrab, 1996) razpoka r^* na sredini palice. Zaradi manjše natezne trdnosti betona se v numerični analizi razpoke pričakovano pojavijo pri manjših silah, medtem ko je vpliv na obtežno-deformacijske krivulje minimalen. Ujemanje izračunanih in izmerjenih obtežno-deformacijskih krivulj pa je za $f_{ct} = 0,267$ kN/cm² nekoliko slabše, predvsem to velja pri manjših obtežbah. Nekoliko boljše je ujemanje rezultatov za spreminjanje širine razpoke na sredini palice r^* (glej sliko 8d), predvsem ko v analizi upoštevamo $K_0 = 200$ kN/cm³. Opozorimo pa na nepričakovani zamik obtežno-deformacijskih krivulj na slikah 8a in 8c. Ta je posledica prikazovanja rezultatov. Kot lahko vidimo na slikah, smo podobno kot Wollrab in sodelavci (Wollrab, 1996) relativne zamike Δu^b normalni z $l_0 = 254$ mm (glej sliko 7). Na merilnem območju l_0 se zaradi prerazporeditve napetosti ob nastanku prvih dveh razpok, ki se pojavita zunaj obravnavanega območja, obravnavani betonski del palice skrči (glej sliko 8b in 8d), globalno pa se armiranobetonska palica pričakovano raztegne.

5.2 Modela diskretne razpoke – primerjava numeričnih metod

V drugem računskem primeru prikažemo primerjavo modelov z idealno in povezano razpoko z modelom, ki so ga predstavili Yankelevsky in sodelavci (Yankelevsky, 2008). Njegov numerični model je zasnovan na modelu z idealno razpoko. Obravnavamo armiranobetonsko natezno palico z dolžino $L = 75$ cm in okroglim prečnim prerezom s premerom $D = 9$ cm. Palica je ojačana z armaturno palico premera $d = 1,2$ cm. Mehanske lastnosti betonskega ovoja in armaturne palice so (Yankelevsky, 2008): elastični modul betona $E^b = E_c = 2900$ kN/cm², armaturne palice pa $E^l = E_s = 21000$ kN/cm², natezna trdnost betona $f_{ct} = 0,31$ kN/cm², meja elastičnosti armaturne palice pa $f_{yk} = 46,0$ kN/cm². Tlačna trdnost betona je $f_c = 22,95$ MPa. Materialne parametre konstitucijskega modela stika med betonskim ovajem in armaturno palico tudi povzamemo po Yankelevskem in sodelavcih (Yankelevsky, 2008): $\tau_1 = 0,6$ kN/cm², $\tau_u = 1,2$ kN/cm², $\tau_2 = 0,5$ kN/cm², $\Delta_1 = 0,03$ mm, $\Delta_2 = 1$ mm, $\Delta_3 = 3$ mm in $\Delta_4 = 10$ mm. Pri modelu s povezano razpoko pa v numerični analizi za ma-

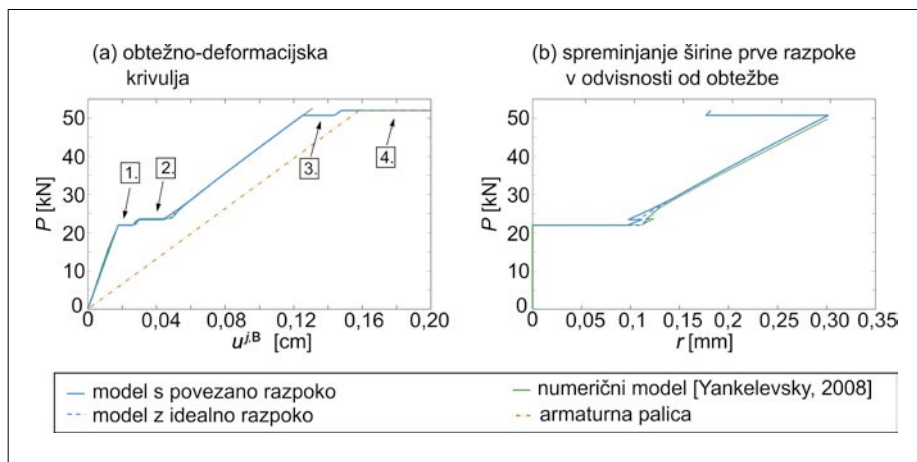
terialne parametre nelinearne vzmeti izberemo naslednje vrednosti (glej sliko 4): $G_t = 80 \text{ N/m}$, $\alpha_r = 0,14$, $\beta_1 = 0,25$ in $w_{crit} = 0,132 \text{ mm}$. Dodatno upoštevamo $f_{tk} = f_{yk}$ (glej sliko 3b).

Na sliki 9a prikazujemo obtežno-deformacijske krivulje razpokane armiranobetonske natezne palice, na sliki 9b pa spreminjanje širine prve razpoke v odvisnosti od zunanje obtežbe. Hkrati na sliki 9a prikazujemo obtežno-deformacijsko krivuljo armaturne palice.

Na sliki 9a opazimo, da je togost armiranobetonske palice bistveno večja od togosti armaturne palice. To je posledica kompozitnega oziroma nekompozitnega delovanja betona in armature. V nadaljevanju podrobneje predstavimo rezultate numerične analize razpokane armiranobetonske natezne palice, ki jih določimo z upoštevanjem modela s povezano razpoko.

Prva razpoka (oznaka [1.] na sliki 9a) se pojavi pri obtežbi $P_{1st}^+ = 21,96 \text{ kN}$. Naslednji dve razpoki se v palici pojavita pri sili $P_{2st}^+ = 23,45 \text{ kN}$ (oznaka [2.] na sliki 9a), in sicer na sredini leve oziroma desne polovice nerazpokanega betonskega ovoja. Pri sili $P_{3st}^+ = 50,74 \text{ kN}$ se pojavijo v palici še štiri dodatne razpoke. To stopnjo razpokanosti palice smo na sliki 9a označili z oznako [3.]. S povečevanjem sile se v palici ne pojavijo nove razpoke, pač pa se pri sili $P = 52,02 \text{ kN}$ armaturna palica plastificira, kar predstavlja nosilnost obravnavane armiranobetonske palice. Na sliki 9a to označimo z oznako [4.]. Iz primerjave obtežno-deformacijskih krivulj ugotovimo, da je vpliv povezanosti razpok z agregatnimi zrni na togost razpokane armiranobetonske natezne palice zanemarljiv. Prav tako ugotovimo, da se rezultati analiz vseh primerjanih numeričnih modelov zelo dobro ujemajo. Zanimivo pa je, da Yankelevsky in sodelavci (2008) ne poročajo o [3.] stopnji razpokanosti armiranobetonske palice ter plastifikaciji armaturne palice. Manjša odstopanja rezultatov primerjanih modelov pa opazimo pri spreminjanju širine prve razpoke v odvisnosti od zunanje obtežbe (glej sliko 9b). Zda je vpliv povezanosti razpok z agregatnimi zrni sicer majhen, vendar opazen, saj pričakovano delno zmanjša širino razpok pri nižjih nivojih zunanje obtežbe. Vpliv pojavljanja dodatnih razpok v armiranobetonski palici na spreminjanje širine prve razpoke za značilne nivoje zunanje obtežbe pri modelu s povezano razpoko prikazujemo v preglednici 3.

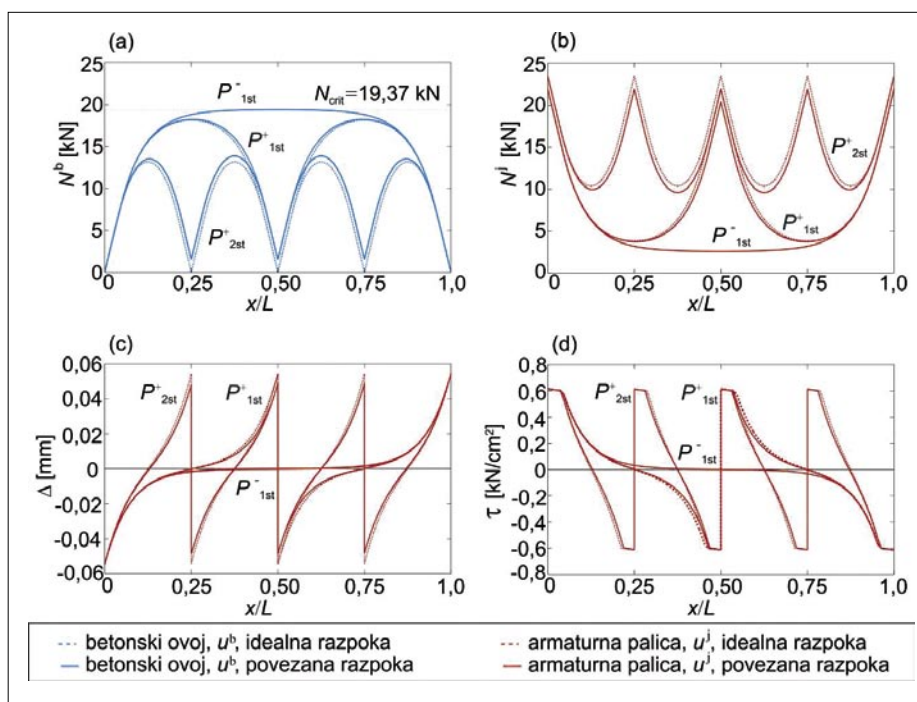
Za primerjavo povzamemo še rezultate, ki jih podajajo Yankelevsky in sodelavci (Yankelevsky, 2008). Po njihovih podatkih se prva razpoka s širino $r = 0,111 \text{ mm}$ pojavi pri sili $P_{1st}^- = 22,08 \text{ kN}$, dve dodatni razpoki pa se



Slika 9 • Primerjava modelov z idealno in s povezano razpoko z modelom Yankelevskega in sodelavcev (Yankelevsky, 2008): (a) primerjava obtežno-deformacijskih krivulj in (b) primerjava spreminjanja širine prve razpoke v odvisnosti od obtežbe

št. razpok	0	1	1	3	3	7	7
stopnja	P_{1st}^-	P_{1st}^+	P_{2st}^-	P_{2st}^+	P_{3st}^-	P_{3st}^+	P_{4st}^-
P [kN]	21,96	21,96	23,45	23,45	50,74	50,74	52,02
r [mm]	0	0,097	0,112	0,098	0,302	0,177	0,182

Preglednica 3 • Model s povezano razpoko; spreminjanje širine prve razpoke v odvisnosti od števila razpok v armiranobetonski palici za značilne nivoje zunanje obtežbe



Slika 10 • Spreminjanje značilnih statičnih in kinematičnih veličin po osi armiranobetonske natezne palice za značilne nivoje zunanje obtežbe: (a) osna sila v armaturni palici; (b) osna sila v betonskem ovoju; (c) zamik na stiku med betonskim ovojem in armaturno palico; (d) strižne napetosti na stiku

pojavit pri sili $P_{2st}^* = 23,72$ kN, ko se širina prve razpoke poveča na 0,113 mm, kar predstavlja relativno dobro ujemanje z rezultati v preglednici 3.

V nadaljevanju na sliki 10 prikazujemo spreminjanje značilnih statičnih in kinematičnih veličin po osi razpokane armiranobetonske natezne palice za značilne nivoje zunanje obtežbe. S polno črto na sliki 10 prikazujemo veličine, ki jih izračunamo z upoštevanjem modela s povezanimi razpokami, s črtkano črto pa iste veličine, ki jih izračunamo z modelom z idealno razpoko.

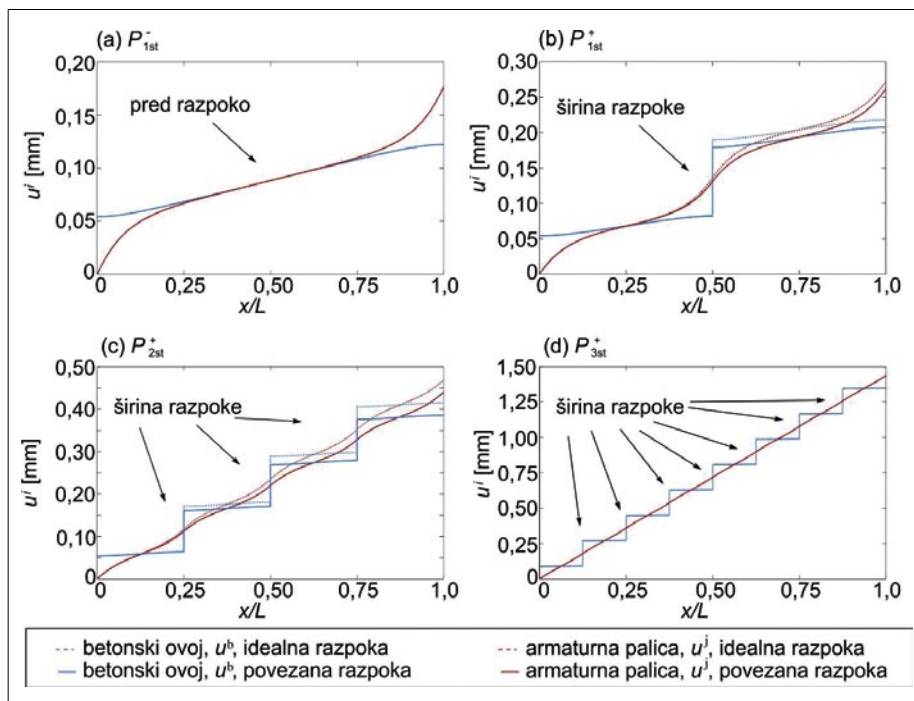
Na slikah 10a in 10b opazimo značilno trebušasto razporeditev osnih sil, ki se v betonskem ovoju in armaturni palici ustrezno dopolnjujeta; vsota obeh osnih sil je v kateremkoli prečnem prerezu enaka zunanji sili P . Značilno žagasto razporeditev zamikov in strižnih sil na stiku prikazujemo na slikah 10c in 10d. Na sliki 10d opazimo tudi vpliv nelinearnosti konstitucijskega zakona stika, ki se odraža z odrezanimi konicami strižnih sil na stiku ob razpokah. Za vse značilne statične in kinematične veličine razpokane armiranobetonske natezne palice opazimo zanemarljivo majhen vpliv povezanosti razpok z agregatnimi zrni na njihovo velikost in obliko.

Zanimivo je tudi spreminjanje vzdolžnih pomikov po osi betonskega ovoja in osi armaturne palice za značilne nivoje zunanje obtežbe (slika 11). Na sliki 11 opazimo značilen skok pomikov v betonskem ovoju na mestu razpoke ter opazen vpliv modela s povezano razpoko na velikosti pomikov. Pričakovano je ta vpliv neopazen za stabilizirano stanje razpok, ko je stopnja zunanje obtežbe že zelo velika in posledično tudi širina razpoke (slika 11d).

5.3 Analiza modela z razmazano razpoko

V tretjem računskem primeru ocenimo natančnost numeričnega modela z razmazano razpoko. Natančnost ocenimo s primerjavo numeričnih rezultatov obravnavane metode z eksperimentalnimi rezultati in numeričnimi rezultati metode s povezano razpoko.

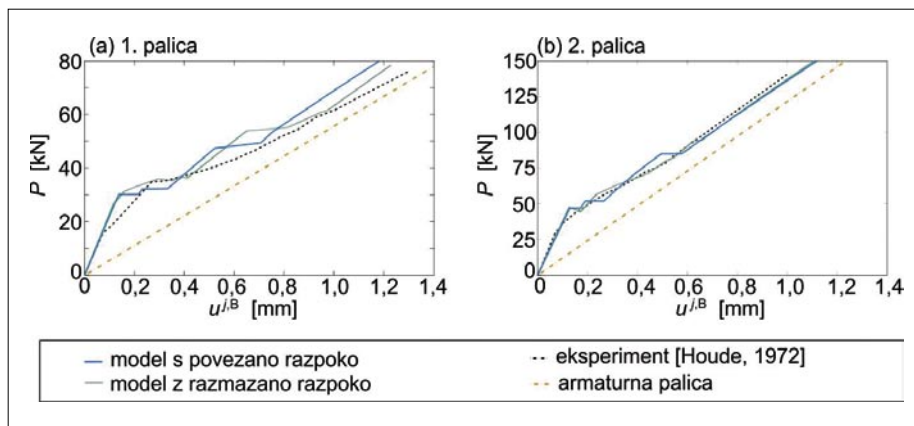
Analiziramo dve armiranobetonski palici, ki sta ju eksperimentalno obravnavala Houde in Mirza (Houde, 1972), njune rezultate pa je povzel Chan (Chan, 1992). Materialni podatki za prvo armiranobetonsko palico z dolžino $L = 82,9$ cm in s krožnim prečnim prerezom so: $E^b = E_c = 2482,30$ kN/cm², $f_{ct} = 0,138$ kN/cm², $E^i = E_s = 20000$ kN/cm², $d = 2,54$ cm in $D = 15,24$ cm. Materialni podatki za drugo armiranobetonsko palico z dolžino $L = 83,8$ cm in s pravokotnim prečnim prerezom $b/h = 20,25/8,89$ cm pa so:



Slika 11 • Spreminjanje vzdolžnih pomikov po osi betonskega ovoja in armaturne palice po osi razpokane armiranobetonske natezne palice: (a) tik pred nastankom prve razpoke; (b) tik po nastanku prve razpoke; (c) tik po nastanku naslednjih dveh razpok; (d) v stabiliziranem stanju

$E^b = E_c = 2378,80$ kN/cm², $f_{ct} = 0,212$ kN/cm², $E^i = E_s = 20000$ kN/cm² in $d = 2,54$ cm. Konstitucijski zakon stika med betonskim ovojem in armaturno palico oziroma palicami je za obe obravnavani palici enak (glej sliko 3c), pripadajoči materialni parametri modela pa so: $\tau_1 = 0,6$ kN/cm², $\tau_0 = 1,2$ kN/cm², $\tau_2 = 0,5$ kN/cm², $\Delta_1 = 0,03$ mm, $\Delta_2 = 1$ mm, $\Delta_3 = 3$ mm in $\Delta_4 = 10$ mm (Yankelevsky, 2008). Za analizo vpliva povezanosti razpoke z agregatnimi zrni upoštevamo bilinearni konstitucijski zakon s pripadajočimi materialnimi parametri (slika 4): $G_f = 80$ N/m, $\alpha_t = 0,14$, $\beta_t = 0,25$ in $w_{crit} = 0,297$ mm za palico s

krožnim oziroma 0,194 mm za palico s pravokotnim prečnim prerezom. Kot smo že povedali, območje razmazanih razpok modeliramo s t. i. kratkimi končnimi elementi v kombinaciji s konstantno energijo loma G_f . Ker v splošnem ne vemo, kje se razpoke pojavijo, celotno armiranobetonsko palico modeliramo s kratkimi končnimi elementi. Prvo palico modeliramo s 24 končnimi elementi dolžine $l = 9,15$ cm, drugo pa z 20 končnimi elementi dolžine $l = 3,49$ cm. Odvisnost med mehčanjem betona in dolžino kratkega končnega elementa zagotovimo z ustrezno izbiro parametrov konstitucijskega modela betona v nategu. Za iz-



Slika 12 • Primerjava obtežno-deformacijskih krivulj

brano energijo loma $G_f = 80 \text{ N/m}$ so parametri modela naslednji: za prvo armiranobetonsko palico: $\alpha_1 = 9,03$, $\beta_1 = 0,25$, $\varepsilon_{ct1} = 0,053 \text{ ‰}$ in $\varepsilon_{ct2} = 3,42 \text{ ‰}$; za drugo pa: $\alpha_1 = 9,56$, $\beta_1 = 0,25$, $\varepsilon_{ct1} = 0,085 \text{ ‰}$ in $\varepsilon_{ct2} = 5,81 \text{ ‰}$. Primerjavo med obtežno-deformacijskimi krivuljami prikazujemo na sliki 12.

Na sliki 12 vidimo, da se vse obtežno-deformacijske krivulje zelo dobro ujemajo. Pričakovano pa z modelom razmazanih razpok slabše opišemo število in širino razpok, je pa model numerično učinkovitejši (Markovič, 2013).

5.4 Analiza modela po EC2

V zadnjem računskem primeru primerjamo rezultate poenostavljenega postopka za račun razpok skladno z EC2 (SIST, 2005) z rezultati eksperimenta in rezultati nelinearne analize. Primerjamo rezultate izračunane širine razpoke skladno z EC2 (SIST, 2005), izmerjene širine (Wollrab, 1996) ter izračunane širine razpoke z upoštevanjem modela s povezano razpoko. Rezultate analize prikazemo za armiranobetonsko natezno palico, ki smo jo analizirali v prvem računskem primeru. Primerjavo rezultatov prikazujemo v preglednici 4.

Opazimo relativno dobro ujemanje med izračunanimi in izmerjeno širino razpoke na

	model s povezano razpoko		EC2 [SIST EN 1992-1-1:2005, 2005]	eksperiment Wollraba in sodelavcev [Wollrab, 1996]
št. razpok	5	9	6	-
stopnja	P_{4st}^-	P_{4st}^+	P^+	-
P [kN]	39,61	39,61	39,61	39,61
r [mm]	0,054	0,037	0,061	0,055

Preglednica 4 • Primerjava poenostavljene metode za račun razpok po EC2 (SIST EN 1992-1-1, 2005) z metodo povezane razpoke in merivami (Wollrab, 1996)

sredini armiranobetonske palice. Z modelom povezane razpoke dosežemo stabilizirano stanje pri devetih razpokah in sili $P_{4st}^+ = 39,61 \text{ kN}$, ko je širina razpoke $r = 0,037 \text{ mm}$. Tik pred stabiliziranim stanjem (5 razpok, stopnja z oznako $P_{4st}^- = 39,61 \text{ kN}$) pa je širina razpoke večja in je $r = 0,054 \text{ mm}$. Pri računu razpok s poenostavljenim računskim postopkom skladno z EC2 (SIST, 2005) izračunamo širino razpok in njihovo največjo medsebojno oddaljenost v stabiliziranem stanju. Zaradi ustrezne primerjave predpostavimo, da nastopi stabilizirano stanje razpok pri obtežbi $P_{4st}^+ = 39,61 \text{ kN}$. Za to obtežbo je največja medsebojna razdalja med razpokama $s_{r,max} = 10,78 \text{ cm}$; vzdolž palice se tako formira le šest razpok, takrat je $s_{r,dej} = 8,70 \text{ cm}$. Naj pri tem poudarimo, da razpokanost analiziramo na delu armiranobe-

tonske palice med jeklenima čeljustma, kjer predpostavimo, da se prva oziroma zadnja razpoka pojavi tik ob levi oziroma desni čeljusti (glej sliko 7). Širina razpoke skladno z EC2 je $r = 0,061 \text{ mm}$. Na osnovi poročila o merivah lahko ugotovimo le širino razpoke na sredini palice, ne pa skupnega števila razpok oziroma njihove razporeditve vzdolž palice (Wollrab, 1996). Ker tako izmerjenega stabiliziranega stanja razpok ne poznamo, predpostavimo, da to nastopi pri sili $P_{4st}^+ = 39,61 \text{ kN}$. Za to obtežbo je izmerjena širina razpoke $r = 0,055 \text{ mm}$. Iz prikazanega lahko zaključimo, da so vrednosti za širino razpok obravnavanih modelov pri enakem nivoju obtežbe medsebojno primerljive. Razlikuje pa se ocene o številu razpok skladno z EC2 in njihovi razporeditvi po osi armiranobetonske natezne palice.

6 • SKLEP

V članku smo predstavili tri enodimenzionalne numerične modele za nelinearno analizo razpokane armiranobetonske natezne palice. Prva dva predstavljena modela sta modela z diskretnimi razpokami. Prvi med njima je model z idealno razpoko, drugi pa model s povezano razpoko. Tako smo označili model, pri katerem v analizi upoštevamo tudi pojav, kjer sta nerazpokana betonska ovoja palice ob razpoki povezana z armaturno palico in tudi z agregatnimi zrni (angl. *aggregate*

bridging). Tretji predstavljeni model je model z razmazano razpoko (angl. *crack band model*). S primerjavo rezultatov o širini in številu razpok ter togosti in nosilnosti armiranobetonske natezne palice predstavljenih modelov z eksperimentalnimi rezultati in numeričnimi rezultati podobnih modelov, ki so dostopni v literaturi, smo ugotovili, da je:

- za analizo razpokane armiranobetonske natezne palice najbolj natančen numerični model s povezano razpoko;

- model z idealno razpoko glede natančnosti praktično primerljiv z modelom s povezano razpoko; model je manj natančen le za določitev širine razpok;
- model z razmazano razpoko primeren za določitev togosti in nosilnosti armiranobetonske natezne palice; pričakovano pa zaradi zasnove modela ni primeren za račun širine in števila razpok.

Na koncu smo v članku ocenili tudi ustreznost poenostavljenega računskega postopka za račun razpok armiranobetonskih konstrukcij skladno z EC2 (SIST, 2005). Primerjava rezultatov je pokazala, da je poenostavljen postopek primeren za določitev širine razpok.

7 • LITERATURA

- Abreshami, H. H., Mitchell, D., Influence of splitting cracks on tension stiffening. Journal of the American Concrete Institute, ACI, 93, 6, 703–710, 1996.
- Bajc, U., Saje, M., Planinc, I., Bratina, S., The influence of aggregate bridging on tension stiffening of RC bar, v pripravi.
- Bažant, Z. P., Pijaudier-Cabot, G., Measurement of characteristic length of nonlocal continuum. Journal of Engineering Mechanics, 115, 755–67, 1989.
- Bažant, Z. P., Planas, J., Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials, Boca Raton, CRC Press, 1997.

- Bergan, P. G., Holand, I., Nonlinear finite element analysis of concrete structures, *Composer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 17/18, 443–467, 1979.
- Bratina, S., Saje, M., Planinc, I., Materially and geometrically non-linear analysis of reinforced concrete planar frames, *International Journal of Solids and Structures*, 41, 7181–207, 2004.
- Cerioni, R., Bernardi, P., Michelini, E., Mordini, A., A general 3D approach for the analysis of multi-axial fracture behavior of reinforced concrete elements. *Engineering Fracture Mechanics*, 78, str. 1784–1793, 2011.
- Chan, H. C., Cheung, Y. K., Huang, Y. P., Crack analysis of reinforced concrete tension members, *Journal of Structural Engineering*, 8, 2118–2131, 1992.
- Dias da Costa, D., Alfaiate, J., Sluys, L. J., Julio, E., A discrete strong discontinuity approach, *Engineering Fracture Mechanics*, 76, 1176–1201, 2009.
- Houde, J., Mirza, M. S., A study of bond stress-slip relationship in reinforced concrete, *Structural Concrete Series* 72, 8, 1972.
- Kim, J. K., Lee, T. G., Nonlinear analysis of reinforced concrete beams with softening, *Computers and Structures* 44, 567–573, 1992.
- Kuutti, J., A local remeshing procedure to simulate crack propagation in quasi-brittle materials. *Engineering Computations*, 29, 2, 125–143, 2012.
- Kwak, H. K., Kim, S. P., Nonlinear analysis of RC beams based on moment-curvature relation, *Computers and Structures* 80, 615–628, 2002.
- Manfredi, G., Pecce, M., A reinforced RC beam element including bond-slip relationship for the analysis of continuous beams, *Computers and Structures*, 69, 52–63, 1998.
- Markovič, M., Krauberger, N., Saje, M., Planinc, I., Bratina, S., Non-linear analysis of pre-tensioned concrete planar beams, *Engineering Structures*, 46, 279–293, 2013.
- Rabczuk, T., Akkermann, J., Eibl, J., A numerical model for reinforced concrete structures, *International Journal of Solids and Structures*, 42, 132–1354, 2005.
- Reissner, E., On one-dimensional finite-strain beam theory: The plane problem, *Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP)*, Basel, Birkhäuser, 23, 5, 795–804, 1972.
- SIST, SIST EN 1992–1–1:2005, Evrokod 2, Projektiranje betonskih konstrukcij–Del 1–1, Splošna pravila in pravila za stavbe, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, str. 227, 2005.
- Wollrab, E., Kulkarni, S. M., Ouyang, C., Shah, S. P., Response of reinforced concrete panels under uniaxial tension, *ACI Structural Journal*, 93, 648–657, 1996.
- Yang, Z. J., Chen, J., Finite element modelling of multiple cohesive discrete crack propagation in reinforced concrete beams, *Engineering Fracture Mechanics*, 72, 2280–2297, 2005.
- Yang, X. S., Lees, J. M., Morley, C. T., Modelling crack propagation in structures: Comparison of numerical methods, *Communications in Numerical Methods in Engineering*, 24, 1373–1392, 2008.
- Yankelevsky, D. Z., A two-phase one dimensional model for steel-concrete interaction, *Computers and Structures* 85, 6, 781–794, 1997.
- Yankelevsky, D. Z., Jabareen, M., Abutbul, A. D., One-dimensional analysis of tension stiffening in reinforced concrete discrete cracks. *Engineering Structures*, 30, 206–217, 2008.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Jožef Klepec, Vpliv vodocementnega razmerja in količine superplastifikatorja na reološke lastnosti svežih cementnih malt, mentor izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor Andraž Hočevnar

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Matic Dovč, Sistemi vodenja prometa vlakov in interoperabilnosti, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc, somentor asist. Darja Šemrov

Katja Mikec, Končna ureditev plazu Slano blato, mentor prof. dr. Bojan Majes, somentor viš. pred. mag. Rok Fazarinc

Damjan Špeglič, Občutljivostna analiza kamnitih zidov z uporabo georadarja, mentor izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. Patricia Cotič

Andjelka Stanič, Optimizacija jeklenih vitkih elementov z odprtinami, mentor prof. dr. Jože Korelc, somentor Teja Melink

Pavel Mlaker, Načrtovanje avtocestnih vozlišč s presojo variant z vidika prometne uspešnosti in varnosti – primer preureditve priključka Ljubljana Rudnik, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor viš. pred. mag. Robert Rijavec

Diika Čakš, Analiza novega hladilnega stolpa v Šoštanju na vpliv vetra, mentor prof. dr. Boštjan Brank

MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Matija Polajnar, Upravljanje večstanovanjskih stavb v različnih družbeno-ekonomskih sistemih, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar

Mojca Vrbančič, Ravnanje s centratom iz obdelave blata na Centralni čistilni napravi Ljubljana, mentor prof. dr. Boris Kompare

DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Peter Češarek, Dinamika prostorskih linijskih elementov z interpolacijo deformacijskih količin, mentor izr. prof. dr. Dejan Zupan, somentor prof. dr. Miran Saje

Anka Ilc, Nelinearna analiza masivnega betona pri postopni gradnji, mentor prof. dr. Igor Planinc, somentor doc. dr. Gregor Trtnik

1. STOPNJA, UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Štefan Markič, Napoved največjega pospeška tal ob potresu z uporabo programa za strojno učenje enačb Lagrange, mentor doc. dr. Vlado Stankovski, somentor doc. dr. Iztok Peruš

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Andrej Delopst, Predlog sanacije vile "Breda", mentor izr. prof. dr. Andrej Štrukelj

Tadej Lepej, Primerjava med prostorsko in ravninsko konstrukcijo jeklene palične hale 30 x 48 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Tomaž Žula

Leon Muršič, Zasnova nizkoenergijske lesene montažne hiše, mentor doc. dr. Vesna Žegarac Leskovar, somentor red. prof. dr. Miroslav Premrov

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Mirjana Korez, Statična in dinamična analiza montažne lesene hiše s povečanim deležem stekla, mentor red. prof. dr. Miroslav Premrov, somentor Boštjan Ber, univ. dipl. inž. grad.

Nino Paliaga, Analiza ekonomske upravičenosti izgradnje garažne hiše Glavni trg v javno – zasebnem partnerstvu, mentor izr. prof. dr. Igor Pšunder

2. STOPNJA, MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Mitja Papinutti, Veterne obtežbe na viseče mostove in mostove s poševnimi zategami, mentor doc. dr. Janja Kramer Stajnkó, somentor izr. prof. dr. Andrej Štrukelj

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

– Bolonjski študijski program 1. stopnje

Študij je zaključil z diplomskim izpitom:

Jernej Stojnšek

Rubriko ureja • **Jan Kristjan Juteršek**, univ. dipl. inž. grad.

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejema $\text{\textcircled{r}}$ o Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: gradb.zveza@siol.net.

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

KOLEDAR PRIREDITEV

12.-14.6.2013

COMPdyn 2013

4th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering

Otok Kos, Grčija

<http://compdyn2013.org/>

26.-28.6.2013

FRPRCS11

11th International Symposium on Fibre Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures

Guimares, Portugalska

www.frprcs11.uminho.pt/Default.aspx?tabindex=1&tabid=1&lang=en-US&pageid=29

24.-26.7.2013

ICSA 2013

2nd International Conference on Structures and Architecture

Guimares, Portugalska

www.icsa2013.arquitectura.uminho.pt

23.9.2013

CONSEC13

7th International Conference on Concrete under Severe Conditions

Nanjing, Kitajska

www.consec13.com

24.-27.9.2013

26th IABSE Symposium

Long Span Bridge and Roof Structures – Development, Design and Implementation

Kolkata, Indija

www.bridgeweb.com/MemberPages/Article.aspx?typeid=5&id=2443

25.-27.9.2013

IWCS 2013

Third International Workshop on Concrete Spalling due to fire exposure

Pariz, Francija

<http://mfpa-leipzig.de/index.php?id=64>

1.10.2013

Second International Symposium on UHPFRC

Marseille, Francija

www.afgc.asso.fr

16.10.2013

SLOCOLD 2013

Slovenski nacionalni komite za velike pregrade

Ljubljana, Slovenija

www.slocold.si/symp20years/index-forma.php

6.-9.11.2013

ECOMONDO 2013

17th International Trade Fair of Material & Energy Recovery and Sustainable Development

Rimini, Italija

<http://en.ecomondo.com/>

28.-29.11.2013

Združenje asfalterjev Slovenije

14. kolokvij o asfaltih in bitumnih

Bled, Slovenija

www.zdruzenje-zas.si

2.-6.6.2014

3rd World Landslide Forum "Landslide risk mitigation: Constructing a safe geo-environment"

Peking, Kitajska

www.wlf3.org

30.6.-2.7.2014

EURODYN 2014

9th International Conference on Structural Dynamics

Porto, Portugalska

<http://paginas.fe.up.pt/~eurodyn2014/>

16.-18.7.2014

Footbridge 2014: Past, Present & Future

London, Anglija

www.footbridge2014.com

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: msg@izs.si