

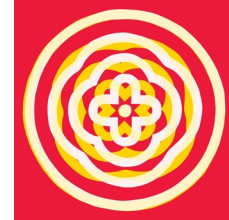
ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П. Фах 560, 1000 Скопје
Северна Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1000 Skopje
North Macedonia

CM-1



mase@gf.ukim.edu.mk
<http://mase.gf.ukim.edu.mk>

СПОРЕДБА НА ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ НА ПРАВОАГОЛНИ ПРЕСЕЦИ АРМИРАНИ САМО ВО ЗАТЕГНАТА ЗОНА СПОРЕД ПБАБ/87 И ЕВРОКОД 2

Петар ЈАНЕВ¹, Марко ЃОРЃИОСКИ¹, Дарко НАКОВ¹, Тони АРАНЃЕЛОВСКИ¹

АПСТРАКТ

Долгогодишното искуство и пракса која што се создава во една држава или регион и која се преточува во тамошните стандарди претставува неразделив дел од принципите на инженерската фела. Токму ова кај нас, држава со богата инженерска традиција, е изразено преку нашите стандарди каде што е забележителна ориентацијата кон пресметување на армиранобетонските пресеци преку теоријата на гранични состојби формално внесени во нашиот “Правилник за технички нормативи за бетон и армиран бетон” односно ПБАБ/87.

Еврокодovите како нови важечки стандарди за проектирање во Северна Македонија со себе ги носат искуствата и праксата од европските земји чии стари стандарди се преточени во новите Еврокодovи. Повеќето од тие искуства поради истиот принцип на пресметување на армиранобетонските пресеци т.е. според теоријата на гранични состојби се исти или доста слични со нашите. Сепак поради мноштвото на држави кои што ги усвоија Еврокодovите, тие во себе мора да нудат флексибилност и адаптибилност со цел да го опфати широкиот спектар на искуства од цела Европа.

Поради тоа доколку се задржиме само на пресметувањето на армиранобетонските пресеци веднаш се воочуваат трите различни модели на пресметковните работни дијаграми на бетон, како и два можни модели на пресметковни работни дијаграми на арматурата. Каде што како новост што досега ја немаше во нашата пракса се неограничените дилатации во арматура според едниот дијаграм, односно дилатациите ограничени на висока вредност според вториот дијаграм.

Во овој труд е направена споредбена анализа на различните методи на пресметување на армиранобетонските пресеци според нашите и новите стандарди. Поконкретно истражени се разликите на пресметување на пресеците по ПБАБ/87 и Еврокод 2 користејќи ист работен дијаграм. Анализирана е и разликата при користење на дијаграмот парабола-права со правоаголниот работен дијаграм според Еврокод 2, како и разликата при користење на работниот дијаграм на арматура без оцврстување на челикот и со оцврстување на челикот за арматура.

Клучни зборови: Дилатации, Бетон, Лом, Споредба

¹ Градежен факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Република Северна Македонија

Автор за контакт: Петар ЈАНЕВ, e-mail: petarjanev19@gmail.com

1. ВОВЕД

Воведувањето на Еврокодовите како важечки стандарди за проектирање во Северна Македонија предизвика голема промена во секоја област од градежната индустрија. Нашиот “Правилник за технички нормативи за бетон и армиран бетон” односно ПБАБ/87 кој долги години е во примена искусствено ја докажа неговата вредност и погодност при примена како и сигурноста која што тој ја обезбедува. Од друга страна (кај нас новиот) Еврокод 2 чија што основа доаѓа од старите германските “DIN” стандарди во голема мерка е забележлива сличноста во пресметковните модели и добиени резултати со ПБАБ/87, но поради широката примена на Еврокод 2 како и потребната консензуалност за нивно усвојување тој во себе вклучува повеќе опции на пресметка на армиранобетонските пресеци и конструкции. Токму овие (кај нас нови) пресметковни опции се предмет на проучување и анализа на целата инженерска фела.

Нашата досегашна пракса како и нашите досегашни стандарди го користеа работниот пресметковен парабола-права дијаграм за бетонот како и работниот билинеарен дијаграм без оцврстување на челикот, но со ограничени дилатации од 10%. Ново усвоениот стандард т.е. Еврокод 2 поради големата примена и усвојување од повеќето земји од ЕУ мора да понуди поголема флексибилност од аспект на пресметковните дијаграми. Согласно на тоа Еврокод 2 нуди три работни пресметковни дијаграми на бетонот и тоа:

- Дијаграм парабола – права
- Дијаграм триаголник – права
- Правоаголен дијаграм

Во однос на арматурата Еврокод 2 нуди два работни пресметковни дијаграми на арматура и тоа:

- Билинеарен дијаграм без оцврстување на арматурата, со неограничени дилатации
- Билинеарен дијаграм со оцврстување на арматурата, со ограничени дилатации согласно класата на арматура

Во овој труд ќе бидат споредувани токму овие разлики во пресметковните дијаграми и концепти помеѓу нашите досегашни и новите стандарди со цел да се добие заклучок дали нашата досегашна пракса при пресметување на армиранобетонските пресеци е потребно да се задржи или треба да ги прифатиме новите принципи кои што ги предлага Еврокод 2 и доколку да која од повеќето понудени опции.

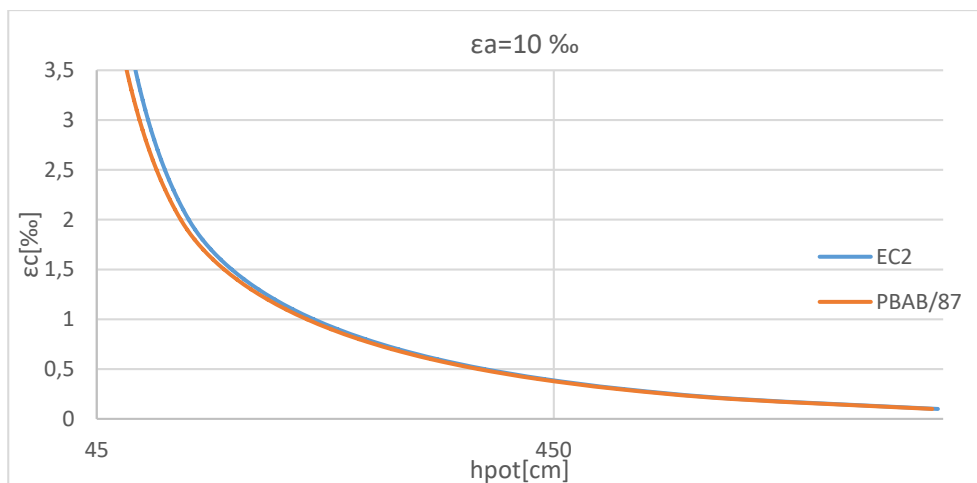
Разгледуван е издвоен армиранобетонски греден елемент со правоаголен попречен пресек со константа ширина $b = 35 \text{ cm}$ и променлива висина, со распон од $L = 6 \text{ m}$, изложен на состојба на чисто свиткување со еднозначен момент на свиткување. Согласно на двата стандарди, преку меродавната комбинација добиен е момент на свиткување според ПБАБ/87 од $M_u = 318.60 \text{ kNm}$, а пресметковниот момент на свиткување добиен според Еврокод 2 изнесува $M_{Ed} = 267.30 \text{ kNm}$.

2. СПОРЕДБА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ПРИ ОГРАНИЧУВАЊЕ НА ДИЛАТАЦИИТЕ ВО АРМАТУРАТА

Направена е споредбена анализа при ограничување на дилатациите во арматурата на $\epsilon_a = 10 \text{ ‰}$, а дилатациите во бетонот варираат, користејќи го дијаграмот за бетон парабола-права и, тоа најпрво помеѓу резултатите добиени според ПБАБ/87 и Еврокод 2, а потоа дополнително е направена споредба помеѓу резултатите според Еврокод 2, употребувајќи ги дијаграмите за арматура со оцврстување и без оцврстување.

2.1. Споредба помеѓу ПБАБ/87 и Еврокод 2, со дијаграм за бетон парабола-права

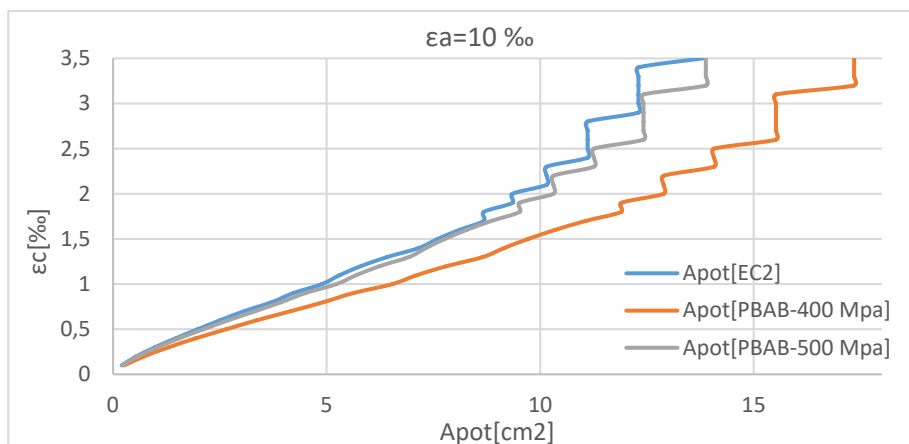
На „Сл. 1“ подолу е прикажан дијаграмот на зависност помеѓу претпоставените дилатации во бетонот и потребната вкупна висина на пресекот на гредниот елемент. Прикажани се резултатите добиени според двата прописи и, како што може да се види од дијаграмот, вкупната висина е скоро идентична во двата случаеви. Мала разлика во резултатите може да се воочи при максимални и минимални дилатации во бетонот, поради разликата во табличните коефициенти за димензионарање, како и при поголемиот потребен заштитен слој пресметан според Еврокод 2.



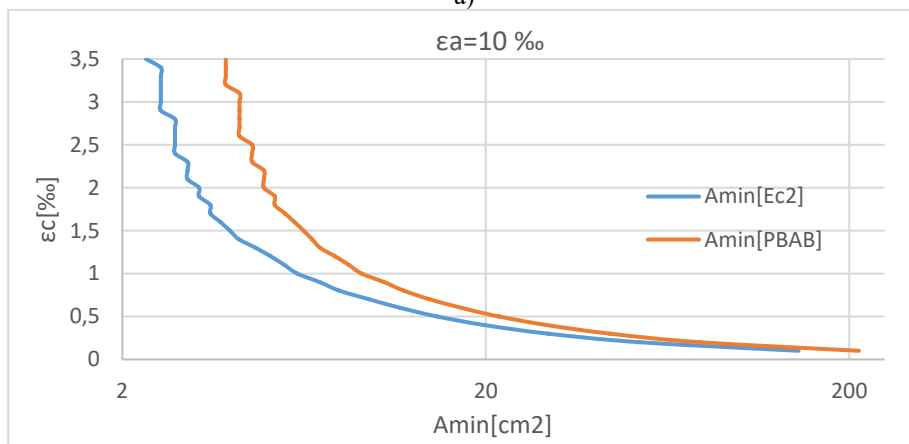
Сл. 1. Дијаграм на кој е претставена зависноста помеѓу дилатациите во бетонот и потребната висина

Подолу на „Сл. 2“ се прикажани две зависности на претпоставените дилатации во бетонот и површината на арматурата. Од првиот дијаграм може да се види дека со намалување на дилатациите во бетонот се намалува и потребната површина на арматура. Тоа се должи на сметка на потребна поголема висина на пресек при помали дилатации во бетонот, прикажани на „Сл. 1“ погоре.

Спротивно на тоа, од вториот дијаграм на „Сл. 2“ се гледа дека со намалување на дилатациите во бетонот, се зголемува минималната површина на арматура, што исто така е последица на потребен поголем пресек при помали дилатации во бетонот.



а)

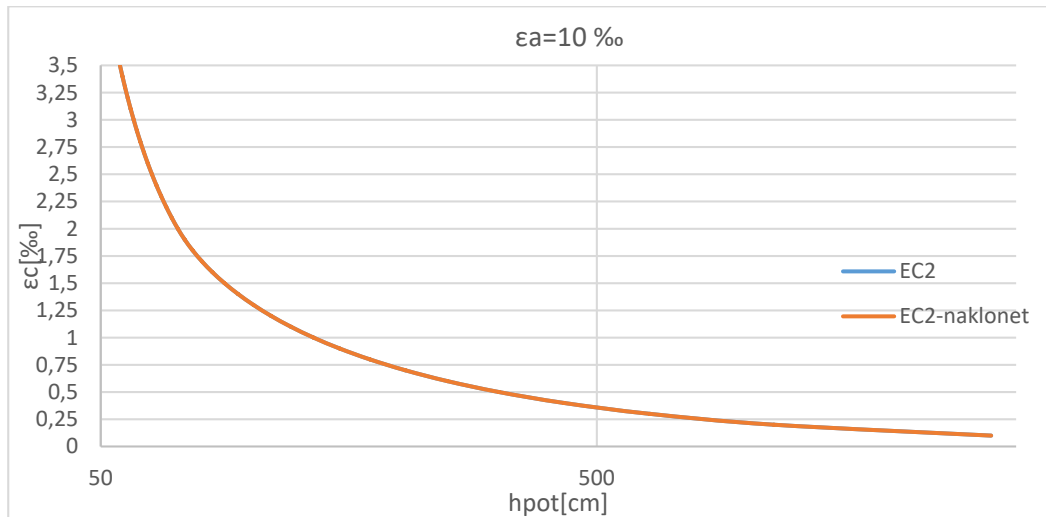


б)

Сл. 2. Зависност помеѓу дилатации во бетонот и потребната површина на арматура а), Зависност помеѓу дилатации во бетонот и минималната површина на арматура б)

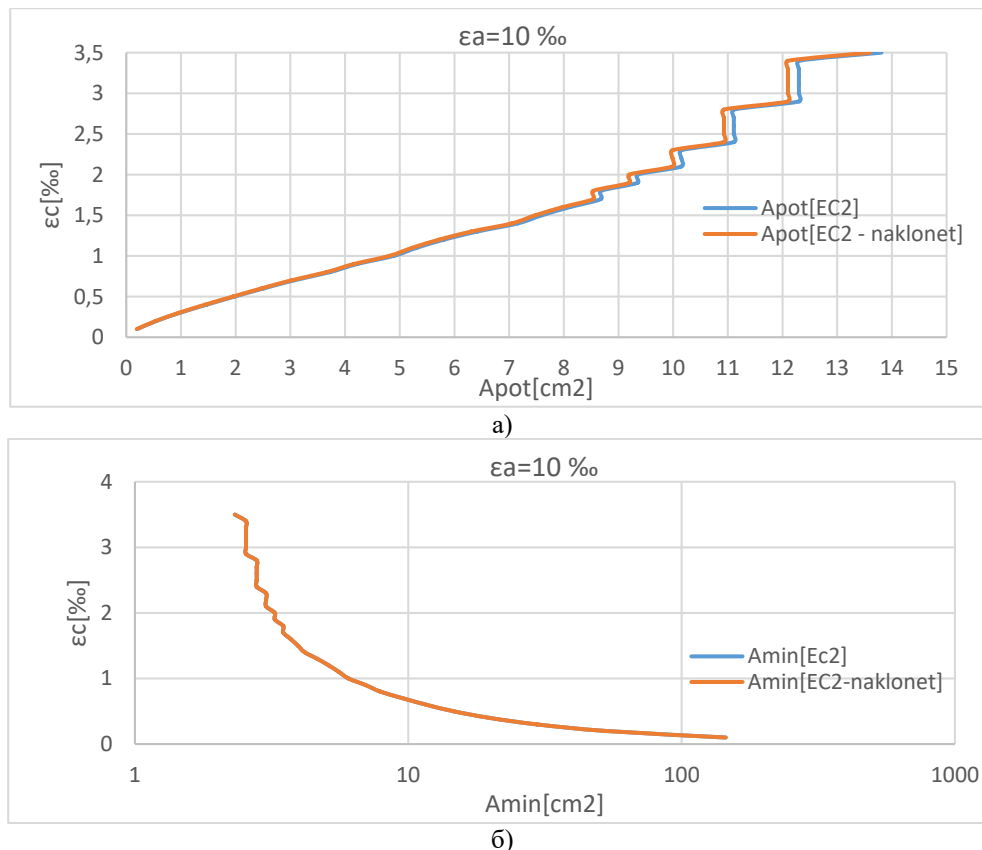
2.2. Споредба помеѓу резултатите добиени со билинеарен дијаграм на арматурата со и без оцврстување според Еврокод 2

Стандардот Еврокод 2 при проектирањето му дозволува поголема флексибилност на проектантот во изборот на пресметковните дијаграми на материјалите со кои што ќе влезе во димензионирањето на армиранобетонските елементи. На сликите подолу е прикажана споредбата при користење на ист пресметковен работен дијаграм за бетонот, а различен пресметковен дијаграм за арматурата.



Сл. 3. Дијаграм на кој е претставена зависноста помеѓу дилатациите во бетонот и потребната висина

Од „Сл. 3“ може да се види дека двата дијаграми се поклопуваат, што значи дека нема ни мала разлика во потребната висина на пресекот. Според ова може да се разбере зошто во пракса сепак доминира употребата на билинеарниот дијаграм без зацврстување, односно со неограничени дилатации.



Сл. 4. Потребна површина на арматура а), Минимална површина на арматура б)

Со прикажаните дијаграми на „Сл. 4“ се потврдуваат дијаграмите кои се претставени при извршената споредба помеѓу двата стандарди и тоа, дека потребната површина на арматура се намалува, додека минималната површина на арматура се зголемува со намалување на дилатациите во бетонот. Од вториот дијаграм може да се види идентичноста на резултатите, без разлика на пресметковниот дијаграм на арматурата. Со ова уште еднаш се оправдува употребата на дијаграмот со неограничени дилатации во арматурата и тоа не само поради поедноставната анализа, туку и поради малите занемарителни разлики во потребната површина на арматура, прикажани на првиот дијаграм од „Сл. 4“.

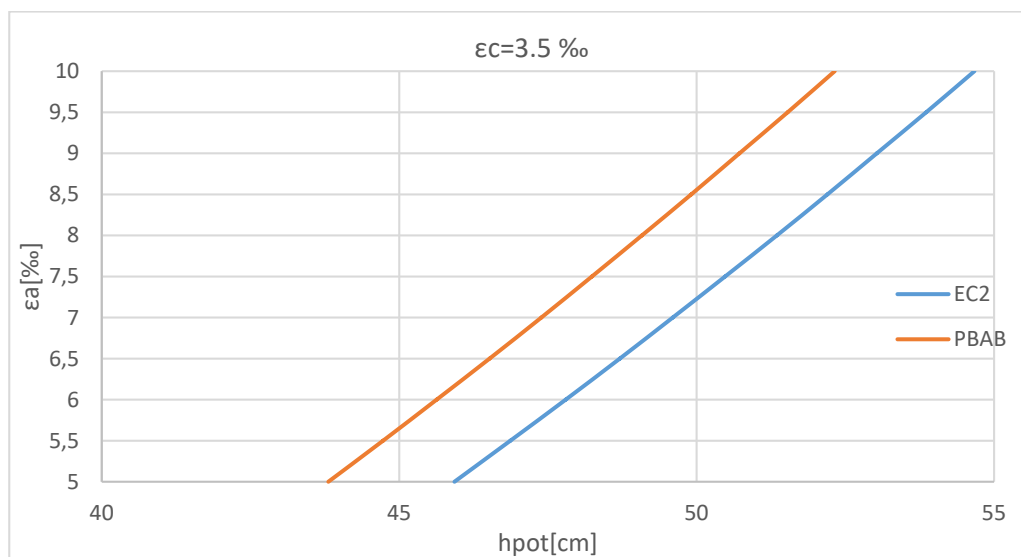
3. СПОРЕДБА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ПРИ ОГРАНИЧУВАЊЕ НА ДИЛАТАЦИИТЕ ВО БЕТОНОТ

Бидејќи според нашите досегашни прописи, односно ПБАБ/87 дозволено е дилатациите во арматурата да варираат, но најмногу до граничните дилатации $\varepsilon_a = 10 \text{ ‰}$, направена е и споредбена анализа, користејќи ги двата прописи, каде што дилатациите во бетонот се ограничуваат на граничните $\varepsilon_c = 3.5 \text{ ‰}$, а во арматурата тие се менуваат од границата на течење до максимално дозволените дилатации.

Како дополнителна споредба направена е користејќи ги парабола-права дијаграмот и правоаголниот дијаграм за бетон, според Еврокод 2, со ограничување на дилатациите во бетонот, а истовремено варирајќи ги дилатациите во арматурата до граничната вредност.

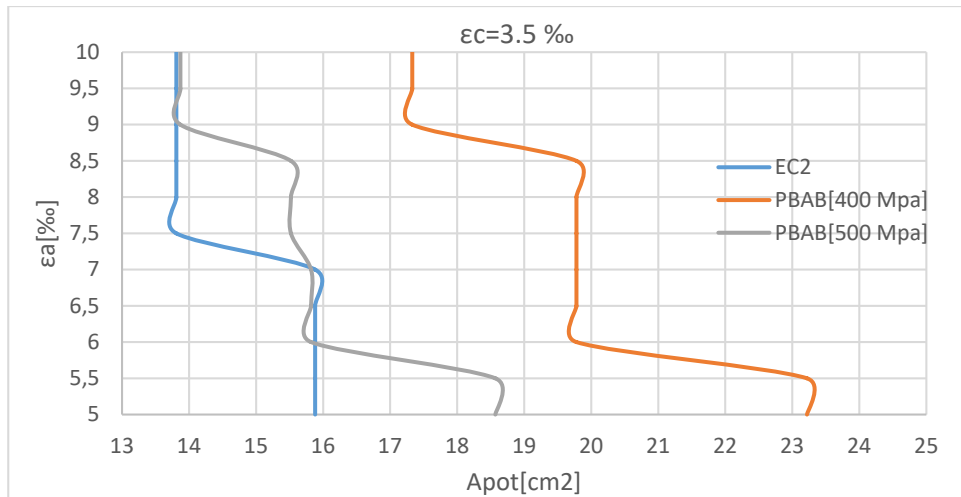
3.1. Споредба помеѓу ПБАБ/87 и Еврокод 2, со дијаграм за бетон парабола-права

На „Сл. 5“ прикажан е дијаграмот на зависност помеѓу претпоставените дилатации во арматурата и потребната вкупна висина на пресекот на гредниот елемент. На овој дијаграм може да се види дека со зголемување на дилатациите во арматурата, се зголемува и потребната висина на пресекот. Тоа се должи на фактот дека при зголемување на дилатациите во арматурата, се намалува положбата на неутралната оска и, поради тоа потребна е поголема висина на пресек.

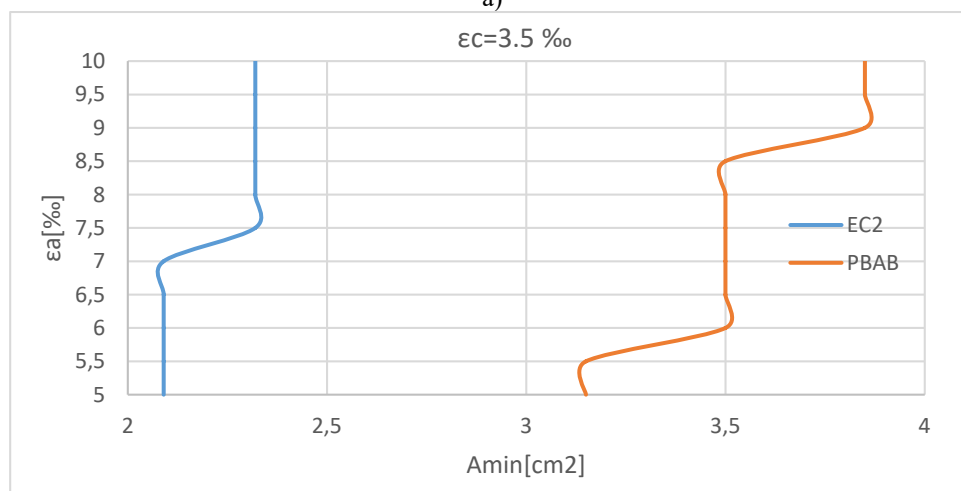


Сл. 5. Дијаграм на кој е претставена зависноста помеѓу дилатациите во арматура и потребната висина

На наредните два дијаграми, прикажани на „Сл. 6“ воочлива е разликата во потребната површина на арматура и минималната површина на арматура, пресметани според двата прописи. Доколку според ПБАБ/87 во пресметките влеземе со граница на развлекување на арматурата од $\sigma_v = 400 \text{ MPa}$, се јавува потреба од поголема површина на арматура, додека ако при пресметувањето на елементите користиме граница на развлекување од $\sigma_v = 500 \text{ MPa}$, се добива помала потребна површина на арматура, која може да се каже дека за одреден пар на дилатации $\varepsilon_c/\varepsilon_a$ е скоро идентична со потребната површина на арматура пресметана според Еврокод 2. Спротивно на ова, со зголемување на дилатациите во арматурата, се зголемува и минималната површина на арматура. Истото се должи на фактот дека со зголемување на дилатациите во арматурата, се намалува потребната површина на арматура, но се зголемува потребната висина на пресек, која изискува поголема минимална површина на арматура.



а)

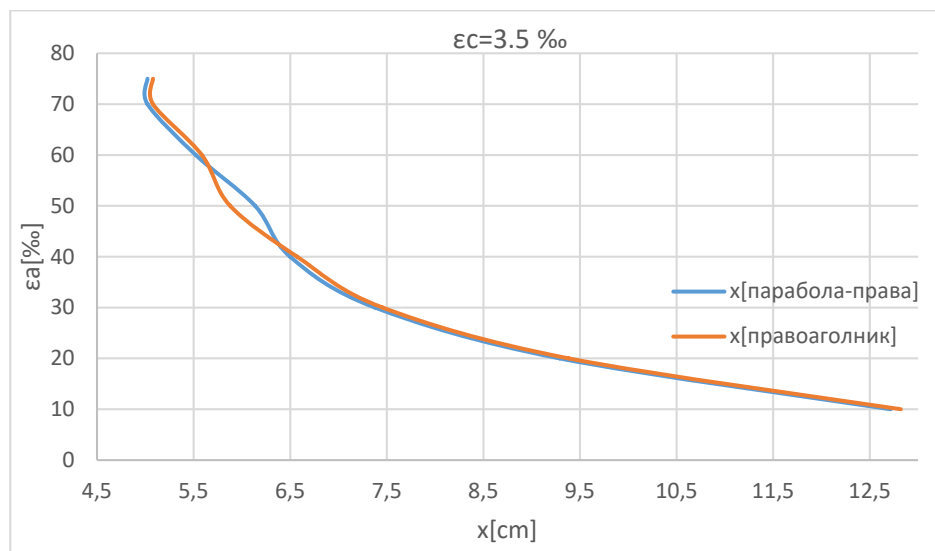


б)

Сл. 6. Потребна површина на арматура а), Минимална површина на арматура б)

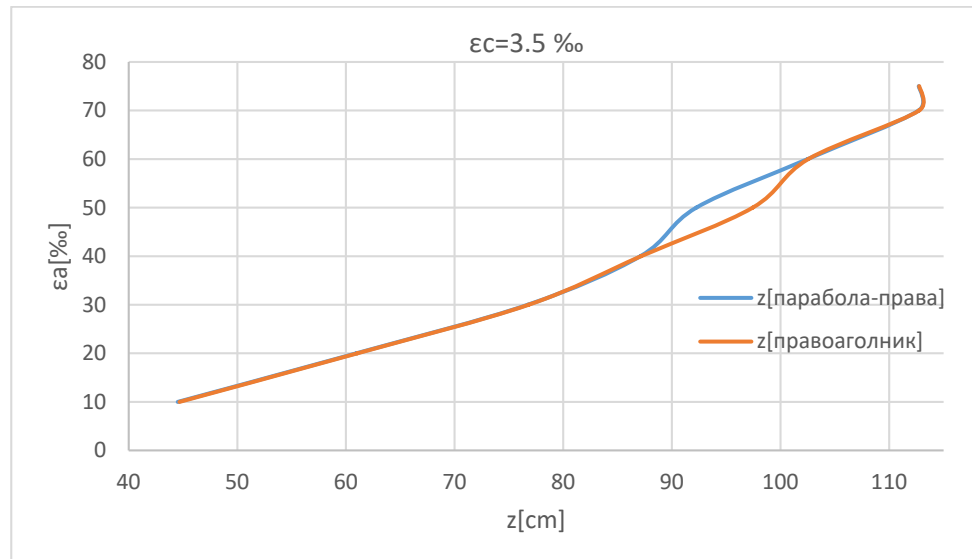
3.2. Споредба помеѓу резултатите добиени со дијаграмот парабола-права и правоаголниот дијаграм на бетонот според Еврокод 2

Еврокод 2, покрај можноста за користење на различни дијаграми на арматура, при димензионирање дозволува да се употребуваат и различни дијаграми за бетонот.

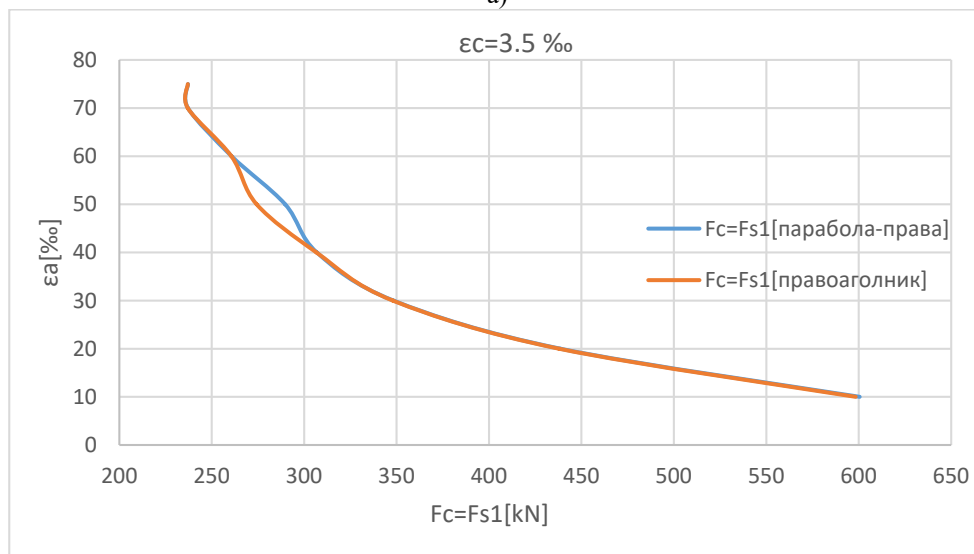


Сл. 7. Дијаграм на зависност неутрална оска-дилатации во арматура

Од „Сл. 7“ може да се види дека со намалување на дилатациите во арматурата, се зголемува неутралната оска, односно како што беше коментирано погоре, со зголемување на дилатациите во арматурата се намалува неутралната оска. Направената споредба ни покажува дека добиените резултати, добиени користејќи ги дијаграмот парабола-права и правоаголниот дијаграм на бетонот се сосема идентични, со занемарителни разлики. Единствена занемарителна разлика се јавува за парот на дилатации $\varepsilon_c/\varepsilon_a = -3,5/50 ‰$, која произлегува од фактот дека според правоаголниот дијаграм, потребна е поголема висина на пресекот, а поголемата висина на пресекот е последица неутралната оска да биде поблиску до притиснатиот раб на пресекот.



а)



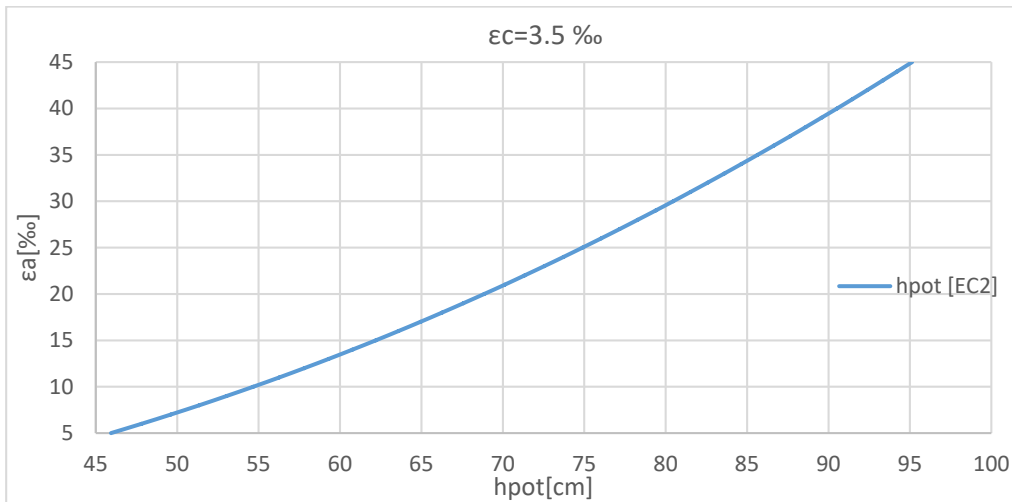
б)

Сл. 8. Крак на внатрешни сили а), Внатрешни сили во бетонот и арматурата б)

Првиот дијаграм на „Сл. 8“ ја прикажува зависноста помеѓу кракот на внатрешни сили и дилатациите во арматурата, додека вториот дијаграм зависноста дилатации во арматура-внатрешни сили. Како што може да се види, добиените резултати се скоро идентични според двата дијаграми, освен повторно за парот на дилатации $\varepsilon_c/\varepsilon_a = -3,5/50 ‰$. Исто така може да се воочи и разликата во прирастите на дијаграмите, односно со зголемување на дилатациите во арматурата, се зголемува кракот на внатрешни сили, а се намалува внатрешната сила во бетонот и арматурата, која е идентична поради изедначување на равенството $M_{Ed} = M_{Rd}$. Разликата во прирастите на дијаграмите се должи на фактот дека пресекот со поголема висина, се спротивставува на моментите на свиткување токму со таа висина, без притоа да развие големи внатрешни сили во бетонот и арматурата. Додека кај пресеците со мала висина, за да се совладаат моментите на свиткување, во бетонот и арматурата се јавуваат поголеми внатрешни сили.

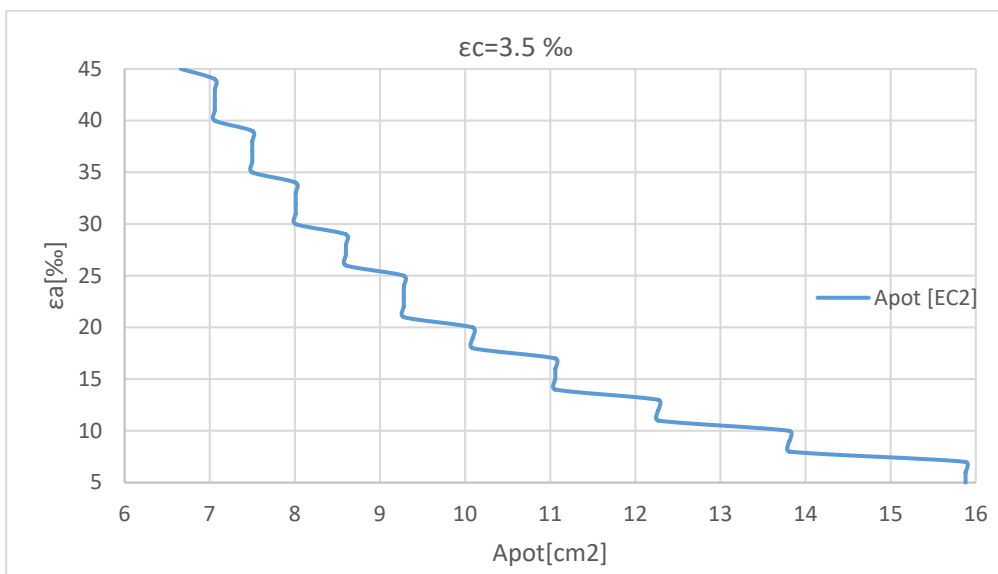
4. ВЛИЈАНИЕ НА ПРОМЕНАТА НА ДИЛАТАЦИИТЕ ВО АРМАТУРАТА ВРЗ КАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА АБ ПРЕСЕК СПОРЕД ЕВРОКОД 2

На дијаграмот на „Сл. 9“ претставена е промената на потребната вкупна висина на пресекот со варирање на дилатациите во арматурата. Поради зголемувањето на дилатациите во арматурата, висината на неутралната оска се намалува, што резултира со зголемување на висината на пресекот на армиранобетонската греда.



Сл. 9. Дијаграм на зависност потребна висина на пресек-дилатации во арматура

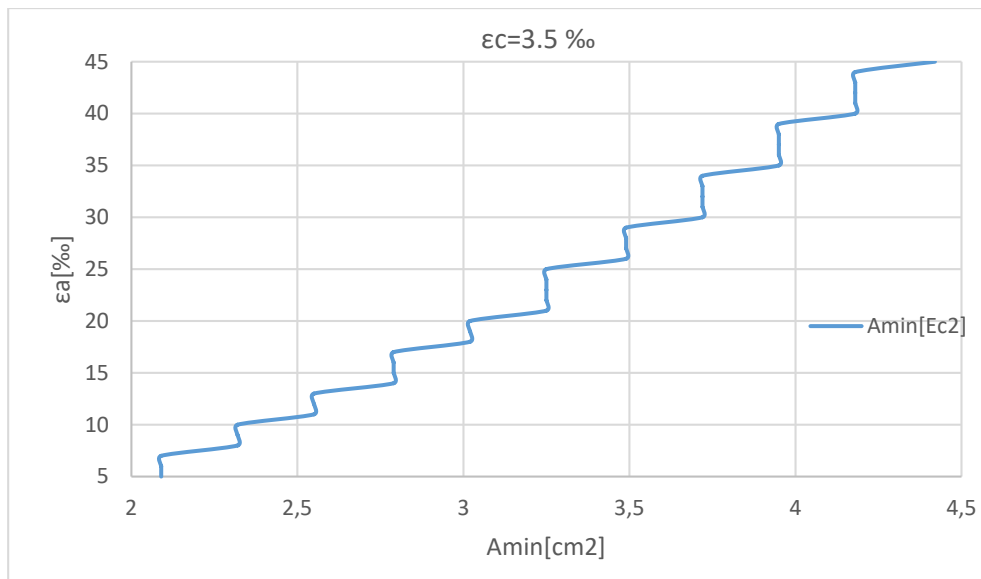
Спротивно на тоа, со зголемување на дилатациите во арматурата, се намалува потребната површина на арматура. Оваа зависност е прикажана на „Сл. 10“, а причина за тоа е дека армиранобетонскиот пресек со висината се спротивставува на моментите на свиткување.



Сл. 10. Дијаграм на зависност потребна површина на арматура-дилатации во арматура

На погоре прикажаните дијаграми не е направена споредба, туку претсавени се само резултатите добиени според новите европски стандарди. Бидејќи се работи за случај при еднократно армирано пресеци, каде што мора дилатацијата во арматурата да биде поголема од границата на течење $\epsilon_a \geq 4,28 \text{ ‰}$, својствено би било и дилатациите во арматурата прикажани на дијаграмот да почнуваат од границата на течење. Но сепак, за поголема прегледност, на графикот дилатациите започнуваат од $\epsilon_a = 5 \text{ ‰}$.

При оваа анализа користен е дијаграмот парабола-права за бетонот и билинеарниот дијаграм со хоризонтална втора гранка за арматурата, односно со неограничени дилатации. Но бидејќи неможеме при прикажување на дијаграмот да одиме до бескрајно големи дилатации во арматурата, како горна граница е земена дилатацијата $\epsilon_a = 45 \text{ ‰}$.



Сл. 11. Дијаграм на зависност минимална површина на арматура-дилатации во арматура

За разлика од потребната површина на арматура, на „Сл. 11“ може да се види дека минималната површина на арматура се зголемува при зголемување на дилатациите во арматурата. Како што беше нагласено погоре за соодветните дијаграми, ова се должи на зголемувањето на висината на армиранобетонскиот пресек, што изискува се поголема минимална површина на арматура. Минималниот процент на армирање се усвојува поради избегнувањето на крт лом преку бетонот.

5. ЗАКЛУЧОК

После извршената споредбена анализа на резултатите од пресметките, добиени се јасни заклучоци за секоја од споредбите.

При споредба на резултатите од Еврокод 2 и ПБАБ/87 со ограничени дилатации во арматура и променливи во бетонот, заклучено е следното:

- Потребната вкупна висина на пресекот по двата стандарди е скоро идентична;
- Доколку се користи арматура со ист квалитет, потребната површина на арматура е исто така доста слична. Во случај да се користи арматура со различен квалитет, разликата е пропорционална на разликата во квалитетот на арматура;
- Што се однесува до минималната површина на арматура, Еврокод 2 бара помала површина во однос на ПБАБ/87.

Споредувајќи ги пресметковните работни дијаграми на арматурата со и без оцврстување, увидено е дека:

- Поради поголемото дозволено напрегање во арматурата, билинеарниот дијаграм со оцврстување бара помала потребна површина на арматура. При помали дилатации во бетонот овие разлики се занемарливи;
- Потребната вкупна висина на пресекот, како и потребната површина на арматура и во двата случаеви се потполно идентични.

При споредба на резултатите од Еврокод 2 и ПБАБ/87 со ограничени дилатации во бетонот и променливи во арматурата, заклучено е следното:

- Еврокод 2 бара поголема висина на пресекот, во споредба со висината добиена според ПБАБ/87;
- Таму каде што усвоената висина на пресекот е иста, иста е и потребната површина на арматура. Разликата се јавува таму каде што е усвоена различна висина;
- Кога станува збор за минималната површина на арматура, померодавен стандард е ПБАБ/87.

Користејќи ги двата од можни три дијаграми за бетонот што ги дозволува Еврокод 2, направена е споредбена анализа помеѓу резултатите добиени употребувајќи го дијаграмот парабола-права и правоаголниот дијаграм. Заклучено е следното:

- Сите параметри се скоро идентични при секаква состојба на дилатациите;
- Разликата што се јавува е поради тоа што за конкретната вредност на дилатациите во арматурата усвоена е различна висина на пресек.

Бидејќи во нашата досегашна пракса, дилатациите во арматурата беа ограничени на $\varepsilon_a = 10 \text{ ‰}$, за разлика од Еврокод 2 каде што тие се неограничени. Анализирајќи го влијанието на промената на дилатациите во арматурата врз карактеристичните параметри, заклучено е:

- Зголемувањето на дилатациите во арматурата, изискува поголема потребна висина на пресекот;
- На сметка на зголемувањето на висината на пресекот, се намалува површината на потребна арматура, меѓутоа исто така тоа доведува до зголемување на минималната површина на арматура.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Атанасовски С. (2007). Бетонски конструкции. Скопје. Северна Македонија.
- [2] Марковски Г. et al. (2023). Армиран бетон според Еврокод 2 Книга 1 и 2. Скопје, Северна Македонија.
- [3] Marinkovic S., Pecic N. (2018). Теорија betonskih konstrukcija. Beograd, Srbija.
- [4] Атанасовски С. (1992). Армиранобетонски конструкции I. Скопје, Северна Македонија.
- [5] Европски комитет за стандардизација – CEN (2004) Еврокод 2: Проектирање бетонски конструкции – Дел 1-1: Општи правила и правила за згради. Брисел, Белгија.