

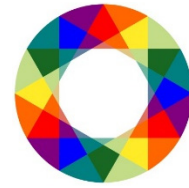
ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П.Фах 560, 1001 Скопје
Северна Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
North Macedonia

SS - 11



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

АНАЛИЗА НА ОДНЕСУВАЊЕ НА МОЖДАНИЦИ ПРИ ПОПРЕЧНА ПОСТАВЕНОСТ НА ЛИМОВИ ЗА СПРЕГАЊЕ

Миле ПАРТИКОВ¹, Никола НИСЕВ², Денис ПОПОВСКИ³

АПСТРАКТ

Композицијата на спрегнатиот пресек се состои од бетонска плоча излиена врз челичен носив лим за спрегање, поставен врз челични профили на соодветно растојание. Ваквиот концепт на спрегнатиот пресек овозможува далеку полесна и побрза изведба на меѓукатната конструкција, бидејќи се исфрла потребата од употреба на скеле и оплата што игра голема улога во времето потребно за изведба кај класичните армиранобетонски меѓукатни конструкции.

Поврзувањето на составните компоненти на спрегнатиот пресек се врши со механички врзни средства наречени можданици. Можданиците овозможуваат взаемна работа на бетонскиот и челичниот носив дел од пресекот и поседуваат доволна крутост за да ги прифатат силите кои произлегуваат од подолжното смолкнување на бетонот и челикот.

Во овој труд се изнесени резултатите од извршеното испитување на однесувањето на носивоста на можданиците кај попречно поставени лимови за спрегање во однос на челичниот профил. Ова испитување е дел од едно комплексно истражување, спроведено на Катедра за метални конструкции при Градежниот факултет во Скопје. Сите испитни тела се проектирани и изведени, воедно и испитани според правилата и прописите според Еврокод 4. За секој различен примерок е извршено испитување на квалитетот на вградените материјали, и добиените резултати се искористени за определување на проектната сила според Еврокод 4. Испитувањето е спроведено според насоките во Еврокод 4, ЕН 1994-1-1, Анекс Б и е составено од циклично товарење во 25 циклуси со сила од 5% до 40% од проектната сила, потоа телата се товарат до лом во испитното тело. Сите резултати од испитаните тела се прикажани во форма на Р-δ дијаграм.

Клучни зборови: Можданици; Испитување на можданици; Спрегнати конструкции;

¹ Асистент, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, partikov@gf.ukim.edu.mk

² Соработник, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, nikolanisev@yahoo.com

³ Доц. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, popovski@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

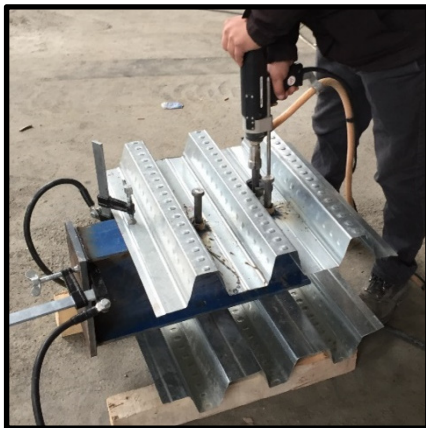
Напредокот во технолошкиот развој на општеството и развојот на науката, овозможува градежните инженери да размислуваат во правец на оптимизација на конструкциите и овозможување на што поголема економска оправданост на истите. За да се изградат ваквите конструкции, потребно е комбинирање на доминантните физичко-механички карактеристики на истите. Како резултат на ова размислување, со цел да се достигнат поголеми градежни предизвици се појавува потреба од взаемна работа на бетонот и челикот преку максимално искористување на нивните својства во еден пресек, т.н спрегнат пресек.

Спрегнатите конструкции овозможуваат совладување на поголеми распони на меѓукатни носиви конструкции, споредбено со армиранобетонските меѓукатни конструкции. Ако се направи споредба во однос на тежината на спрегнатите конструкции во склоп на целокупната конструкција, може со сигурност да се каже дека се полесни од класичните меѓукатни конструкции за 20 % до 40 %.

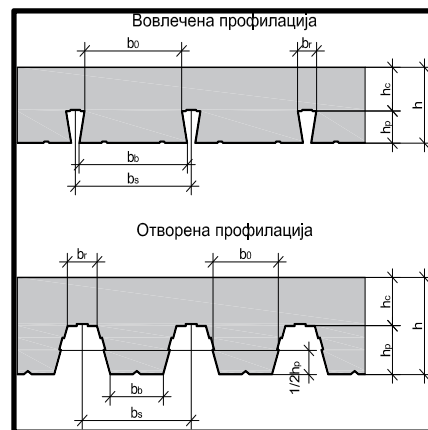
Композицијата на спрегнатиот пресек се состои од бетонска плоча излиена врз челичен носив лим за спрегање, поставен врз челични профили на соодветно растојание. (Сл.1) Ваквиот концепт на спрегнатиот пресек овозможува далеку полесна и побрза изведба на меѓукатната конструкција, бидејќи се исфрла потребата од употреба на скеле и оплата што игра голема улога во времето потребно за изведба кај класичните армиранобетонски меѓукатни конструкции. Поврзувањето на составните компоненти на спрегнатиот пресек се врши со механички врзни средства наречени можданици. Можданиците овозможуваат взаемна работа на бетонскиот и челичниот носив дел од пресекот и поседуваат доволна крутост за да ги прифатат силите кои произлегуваат од подолжното смолкнување на бетонот и челикот. За да се овозможи спрегањето средствата за спрегање треба да поседуваат соодветни крутост и носивост и да бидат вградени по важечките правила и прописи. Можданиците се варат директно на челичниот профил или преку така наречено *trough-deck-welding*. (Сл.2)



Сл. 1. Спрегната меѓукатна конструкција во фаза на изведба



Сл. 2. Заварување на можданик

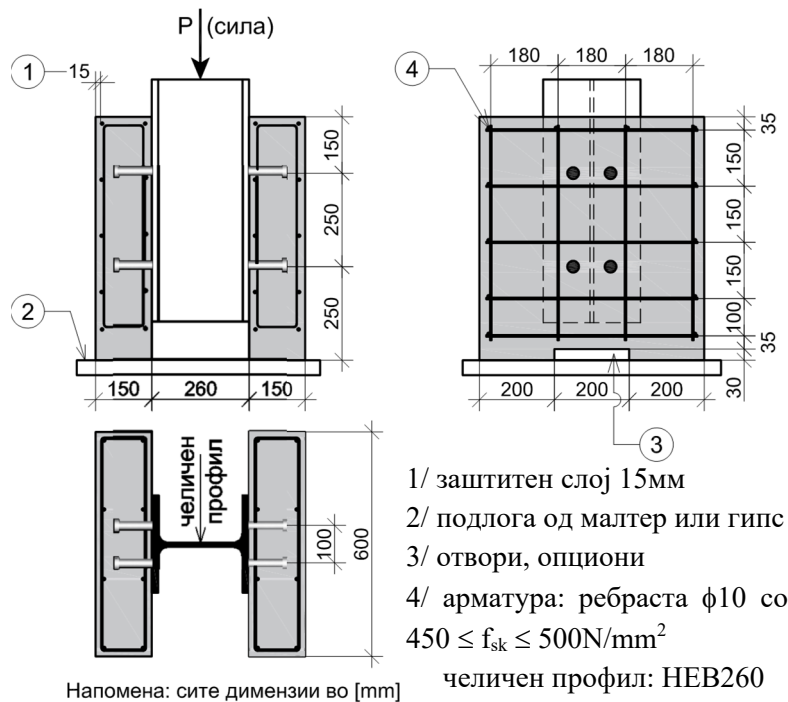


Сл. 3. Лимови за спрегање

2. СТАНДАРДЕН ТЕСТ ЗА ИСПИТУВАЊЕ НА НОСИВОСТ НА МОЖДАНИЦИ

2.1. Припрема на испитувањето

Стандардниот тест за испитување е јасно и прецизно изнесен во правилата и препораките на Еврокод 4, односно претставува испитување за однесување на носивост на можданици со точно дефинирани параметри на спрегнатиот пресек (Сл.4).



Сл. 4. Стандартен тест за испитување на носивост на можданици

Припремата на примероците започнува со тоа што се врши заварување на средствата за спрегање на челичниот профил по пат на електролачно заварување кое е овозможено со машина за заварување на ваквите чеп можданици со глава. Наредна фаза во припрема на испитните примероци е беноирањето на полните плочи. Поради начинот на концепирање на испитниот примерок бетонирањето мора да се изврши во фази, односно да се избетонира прво едната страна од примерокот, а потоа по постигнување на 28 дена од бетонирањето да се избетонира и другата страна од примерокот. Бидејќи претходно беше дефинирано дека атхезијата не учествува во прифаќање на подолжната сила на смолкнување, во тој случај треба да се анулира истата со премачкување на челичниот профил. Негата на бетонот се врши според препораките и правилата за проектирање на армирано бетонски конструкции.

2.2. Испитна процедура

Според Еврокод 4 за да се добие носивоста на смолкнување на можданиците според стандардниот испитен процес, силата на притисок мора да се нанесува при вертикална поставеност на испитниот примерок која претставува сила на смолкнување помеѓу челичниот и бетонскиот дел од пресекот. За да се анулираат сите паразитни напрегања кои би се јавиле при испитувањето кои можат негативно да се одразат на резултатите, испитниот примерок се товари во неколку чекори со 40% од силата при која се очекува да дојде до лом во примерокот. Следна фаза од испитувањето е товарење на испитниот примерок со сила од 5% до 40% од силата при која се очекува да настане лом и ова товарење се врши во во 25 циклуси. Во последната фаза од испитувањето испитниот примерок се товари до проектираната сила на лом но истата не смее да се постигне во период помал од 15 минути. Во текот на целото испитување за одредена вредност на силата се мери подолжното смолкнување во реално време на товарење. Со цел да се докаже

дека целото испитување се одвива според сите претпоставки мора да се мери и трансферзалното одлепување на бетонскиот и челичниот дел и истото да биде во границите на дозволените вредности ако истото се појави.

2.3. Резултати од испитувањето

Испитувањето може да се прогласи за успешно доколку на три идентични примероци разликата во добиените резултати не се разликуваат повеќе од 10%. Во тој случај се определува проектираната носивост се определува според следниот израз:

- карактеристичната носивост P_{rk} се добива од минималната сила на лом (поделена со бројот на можданици) намалена за 10%
- проектната носивост P_{rd} се пресметува од:

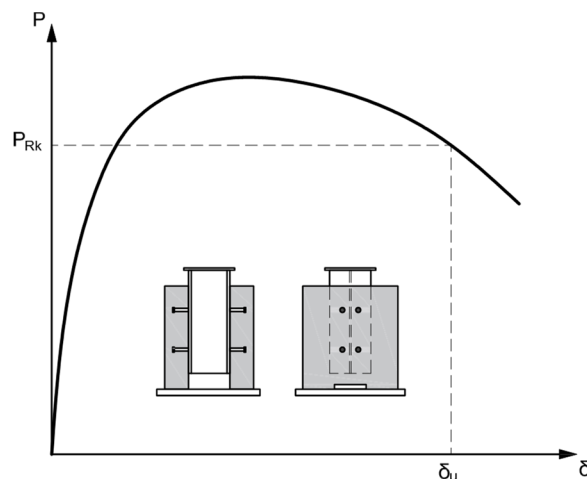
$$P_{Rd} = \frac{f_u}{f_{ut}} \cdot \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} < \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \quad (\text{B.1 EN 1994 – 1–1, Annex B}) \quad (1)$$

f_u е минимална специфицирана јакост на лом на материјалот од кој е изработен можданикот.

f_{ut} актуелна јакост на лом на материјалот од кој е изработен можданикот утврдена со испитување на спрувета.

γ_V парцијален коефициент на сигурност за спрегање (препорачана вредност 1.25)

Ако разликата во добиените резултати е поголема од 10% , потребно е да се извршат уште три теста и во тој случај резултатите се разгледуваат во согласност со EN1990, Annex D.



Сл. 5. Определување на капацитет на пролизгување δ_u

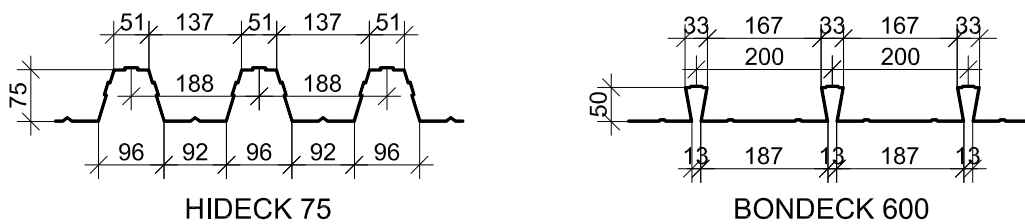
За капацитет на пролизгување на примерокот δ_u се зема максималното пролизгување измерно на карактеристично ниво на товарење (Сл.5). Како карактеристичен капацитет на пролизгување δ_{uk} се зема минималната вредност од испитувањето на δ_u намалена за 10%

3. МОДИФИЦИРАН ТЕСТ ЗА ИСПИТУВАЊЕ НА НОСИВОСТ НА МОЖДАНИЦИ

3.1. Опис на модифицирано испитување

Материјалите кои се користени за изведба на модифицираниот тест, кои се предмет на истражување во овој труд се прикажани во продолжение:

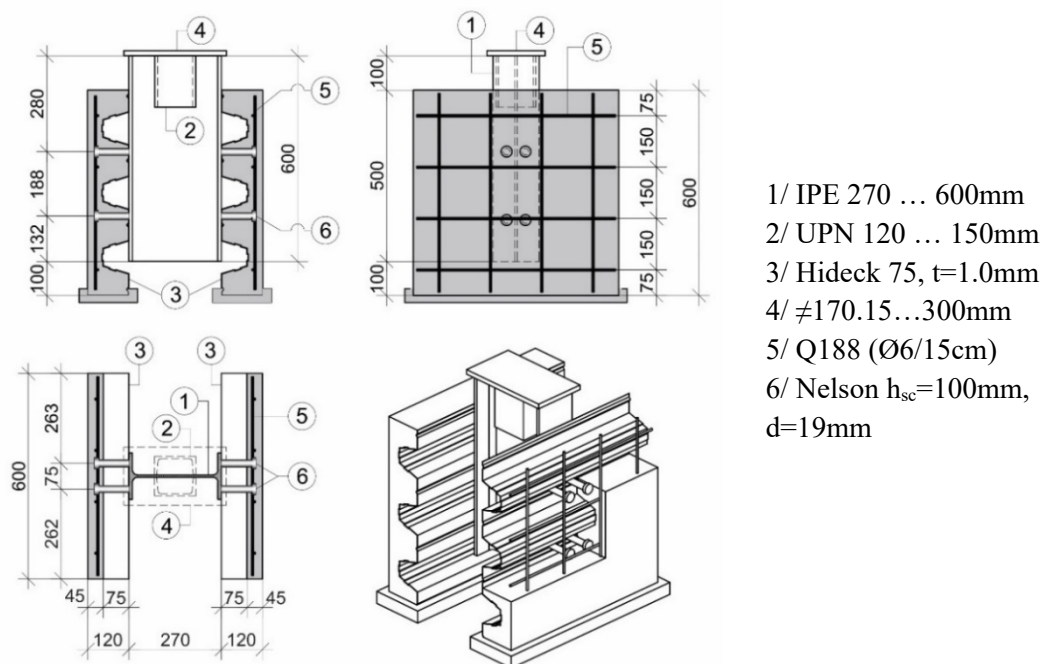
- лим за спрегање со вовлечена профилација, Bondeck 600, дебелина на лимот од $t=1.0\text{mm}$ и растојание на ребра 200mm.
- лим за спрегање со отворена профилација, Hideck 75, дебелина на лимот од $t=1.0\text{mm}$ и растојание на ребра 188mm.



Сл. 6. Лимови за спрегање

Средствата за спрегање кои се користени за ова испитување се Nelson можданици со висина $h=100\text{mm}$, дијаметар на телото $d=19\text{mm}$, кои се распоредени во различни варијации односно едноредни и дворедни можданици во однос на спрегнаитот пресек. За челичниот профил во овој случај е усвоен IPE 270 бидејќи тоа е најмалиот челичен носач кој има ширина на појасот доволна за да се вградат два реда на можданици, а сепак да се задоволат правилата и прописите според Еврокод 4. Должината на челичниот дел е 600mm и дополнително на горниот дел од челичниот носач се заварува плоча со дебелина од 15mm која служи за пренос на нанесената сила. Со цел да се спречи нагмечување на плочата и реброто од челичниот профил се заварува профил UPN120 веднаш под плочата.

За сите предвидени испитни тела е предвидена бетонска плоча со дебелина $d=12\text{cm}$. Бетонот е проектиран и нарачан како C25/30. Плочата е армирана само во горна зона и е усвоена мрежеста арматура Q188, $\text{Ø}6/15\text{cm}$.



Сл. 7. Испитно тело за модифициран тест на испитување

Предмет на овој труд е да се испитаат и анализираат следниве модели добиени со различни варијации на можданиците за попречно поставен лим за спрегање во однос на челичниот профил:

Табела 1. Варијации решенија на модели за испитување

Модел	Лим за спрегање		Можданици		Trough deck welding
	Bondeck 600	Hideck 75	Едноредни	Дворедни	
1		√		√	√
2		√	√		√
3	√		√		√
4	полна плоча			√	

Сите испитни тела се изведени според реални услови на изведба во лабораторијата за испитување на конструкции при Градежниот факултет во Скопје. Прва фаза од припремата на испитните тела е заварување на чеп-моќданиците за челичниот профил. За сите тела кои се предмет на испитување на оваа магистерска работа, освен за полната плоча, можданиците беа заварени со постапката trough-deck-welding односно се заваруваа преку челичниот носив лим за спрегање. Наредна фаза од припремата на елементите беше бетонирањето на истите. Бетонирањето е извшено според препораките на Еврокод 4 со бетонирање прво на едната страна од испитните тела во четири страна оплата. Кога јакоста на притисок на бетонот ќе достигне барем 70% од проектираната јакост на притисок, односно кога ќе се добие старост на бетонот од 14 дена се продолжува со бетонирање на другата страна од испитните тела. При бетонирањето на телата се земаат бетонски примероци кои се испитани на 28 ден од бетонирањето со цел да се потврди марката на бетонот пред да се започне со испитување на испитните тела. По достигнување на староста на бетонот од 28 дена се исправуваат испитните тела и се одпочнува со нивно испитување во исправена положба како што и диктираат правилата според Еврокод 4.



Сл. 8. Бетонирање на пробните тела

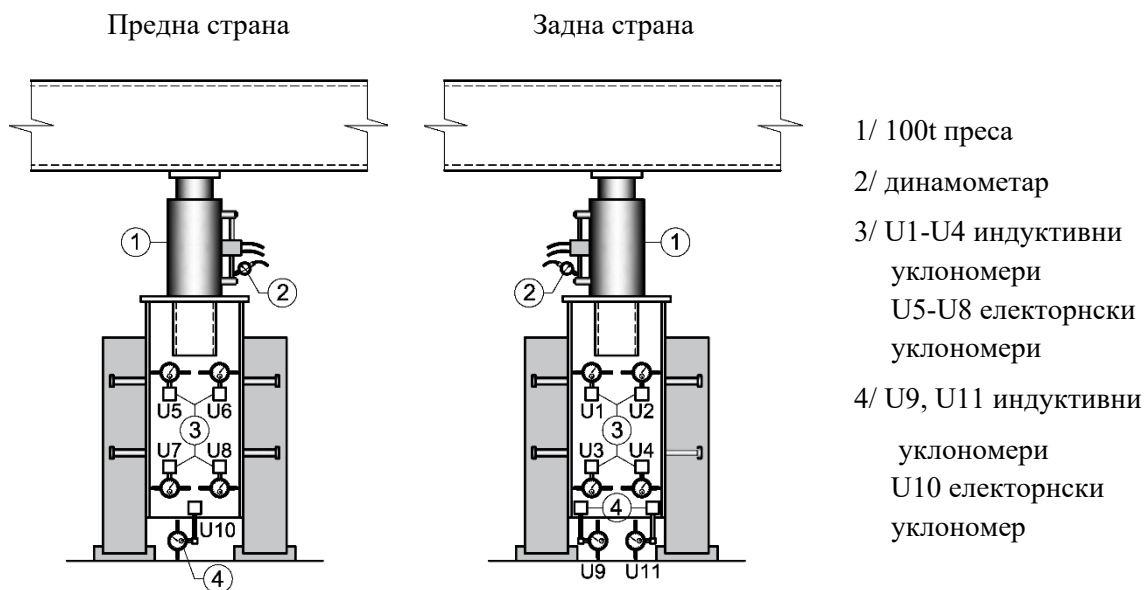


Сл. 9. Нега на бетонот

3.2 Процес на испитување

По поставувањето на целата мерна опрема и утврдување дека сите уклономери се соодветно поставени и поврзани се започнува со испитувањето. екот на испитувањето е според препораките и насоките иснесени во Еврокод 4. За да се анулираат паразитните влијанија во прегнатиот пресек и да се осигураме дека резултатите што се добиени за пролизгувањето се точни, се врши товарење на испитното тело со сила од 40% од очекуваната сила при која ќе се јави лом во телото. Наредна фаза во товарењето на испитното тело е товарење и растоварување во 25 циклуси со големина на силата 5 % до 40% од предвидената сила при која би се јавил лом во пресекот. По завршување на 25 циклуси на товарење се товари испитното тело до лом, но силата на лом не

сmee да се постигне во период помал од 15 min. По постигнување на силата на лом се завршува со испитувањето на примерокот и се зачувуваат резултатите кои подоцка ќе бидат прикажани во форма на сила/поместување односно (P/δ) дијаграми.



Сл. 10. Шема на товарење

Електронските уклономери и динамометарот од пресата се поврзани за електронски дата процесор HBM Quantum. Индуктивните уклономери со поврзани на друг процесор HBM Spyder 8. Двата дата процесори се поврзани со два посебни компјутери и програм Catman Easy (HBM) преку кој е извршена обработка на сигналите и се добиени резултатите од мерењето. Брзината на отчитување на софтверот е 5Hz што значи 5 отчитувања во секунда. Точноста на целата мерна опрема е $\pm 1\%$.



Сл. 11. HBM Spyder 8 и HBM Quantum поврзани на HBM Catman Easy

По поставувањето на целата мерна опрема и утврдување дека сите уклономери се соодветно поставени и поврзани се започнува со испитувањето. екот на испитувањето е според препораките и насоките иснесени во Еврокод 4.

3.3 Анализа на носивост на можданик

Проектната носивост на смолкнување на цилиндрични чеп можданици автоматски заварени според EN 14555, со заварените венци во согласност со EN 13918, се определува од изразите:

$$P_{Rd}^{(1)} = \frac{0.8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma_V} \quad (6.18 \text{ EN } 1994-1-1) \quad (2)$$

$$P_{Rd}^{(2)} = \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_V} \quad (6.19 \text{ EN } 1994-1-1) \quad (3)$$

зависно кое е помало од двете, ако:

$$\alpha = 0.2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \quad \text{за } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4 \quad (6.20 \text{ EN } 1994-1-1) \quad (4)$$

$$\alpha = 1 \quad \text{за } \frac{h_{sc}}{d} > 4 \quad (6.21 \text{ EN } 1994-1-1) \quad (5)$$

γ_V е парцијален фактор на сигурност (препорачана вредност 1.25).

d е дијаметарот на вратот на можданикот.

f_u е специфична гранична јакост на затегнување на материјалот на можданикот, но не поголема од 500 N/mm².

f_{ck} е карактеристична јакост на притисок за цилиндер на бетонот за разгледувана старост, со густина не помала од 1750 kg/m³.

h_{sc} е вкупна номинална висина на можданикот.

Од претходно изнесеното, за конкретниот тип на примерок, квалитет и дебелина на бетонската плоча, вредности кои се добиваат се:

$$P_{Rd}^{(1)} = \frac{0.8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma_V} = \frac{0.8 \cdot 500 \cdot \pi \cdot 19^2 / 4}{1.25} \cdot 10^{-3} = 90.68 \text{ kN} \quad (6)$$

$$P_{Rd}^{(2)} = \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_V} = \frac{0.29 \cdot 1 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 33 \cdot 10^3}}{1.25} \cdot 10^{-3} = 83.33 \text{ kN} \quad (7)$$

$$\min(P_{Rd}^{(1)}, P_{Rd}^{(2)}) = P_{Rd}^{(2)} = 83.33 \text{ kN} \quad \text{- со вграден коефициент на сигурност од 1.25} \quad (8)$$

За утврдување на носивоста на испитните тела во овој труд се определува само корекциониот фактор k_t за попречно поставени лимови во однос на челичниот пресек..

Проектната носивост на смолкнување која се однесува на масивна плоча (8) се множи со редукионен фактор k_t кој се определува според изразот:

$$k_t = \frac{0.7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_o}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \quad (9)$$

h_p е висина на профилацијата на лимот.

n_r е бројот на можданици во пресекот.

h_{sc} е вкупна висина на можданикот, но не поголема од $h_p + 75 \text{ mm}$.

Од претходно изнесеното, вкупната носивост на пресекот со профилиран лим поставен подолжно (лонгитудинално) на носачот, се пресметува со изразот:

$$P = 2 \cdot n \cdot \min(P_{Rd}^{(1)}, P_{Rd}^{(2)}) \cdot \gamma_V \cdot k_t \quad (10)$$

γ_V е парцијален фактор на сигурност (препорачана вредност 1.25).

n е број на можданици во попречен пресек во една страна.

$P_{Rd}^{(1)}, P_{Rd}^{(2)}$ е проектна носивост на смолкнување на можданикот.

3.4 Резултати од испитувањето

По завршеното испитување на пробните тела и откато е извршено процесирање на добиените отчитувања од инструментите, добиени се следниве резултати за вредностите кои покажуваат реална слика за носивооста и дуктилноста на можданиците:

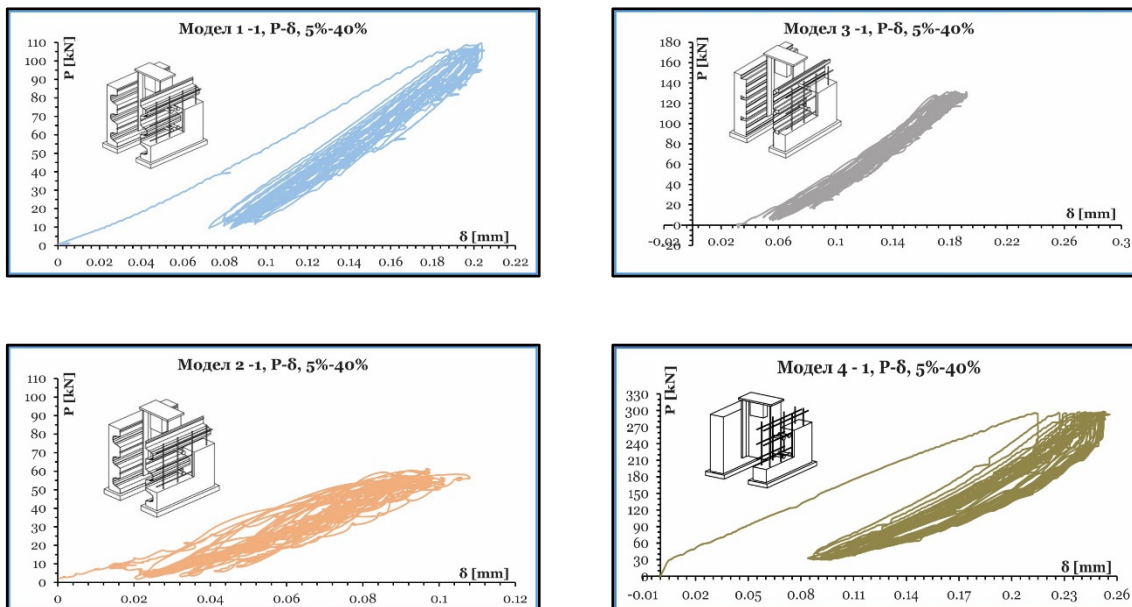
- 1) Максималната сила P на моделот кој е испитуван, како и максималната сила за еден можданик P_I .
- 2) Капацитетот на проклизување δ_u , за кој се зема максималното проклизување измерено на карактеристично ниво на товарење.
- 3) Карактеристичниот капацитет на проклизување δ_{uk} , преку кој се определува дуктилноста на можданикот.

Добиените резултати се обработени и ќе бидат презентирани во оваа глава од магистерскиот труд.

Табела 2. Резултати од испитаните тела

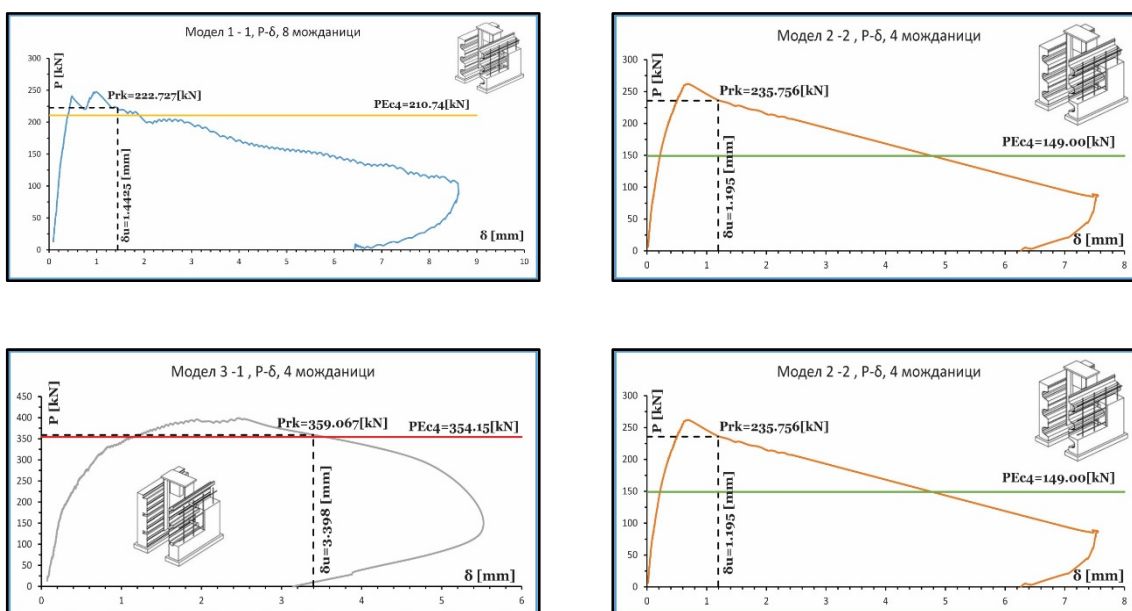
Модел	$P_{Rk,U}$ [kN]		P_{Rk} [kN]		$P_{Rk,U(l)}$ [kN]		$P_{Rk(l)}$ [kN]	
1.1	247.5	246.2	222.75	221.58	30.94	30.78	27.85	27.7
1.2	244.9		220.41		30.61		27.55	
2.1	242.9	252.45	218.61	227.21	60.73	63.12	54.66	56.81
2.2	262		235.8		65.5		58.95	
3.1	399	416.9	359.1	375.21	99.75	104.23	89.78	93.81
3.2	434.8		391.32		108.7		97.83	
4.1	944.5	892.1	850.05	802.89	118.06	111.51	106.25	100.36
4.2	839.7		755.73		104.96		94.46	

Цикличното товарење на можданиците конкретно за овој вид на испитување е извршено во 25 циклуси со нанесување на сила која е во опсег од 5% до 40% од максималната сила при која се очекува да се јави лом во пресекот. Резултатите од цикличното оптоварување се прикажани преку дијаграм сила-поместување односно, P - δ дијаграм. Резултатите од цикличното товарење во продолжение се прикажани за секој од поединечните модели.



Сл. 12. Резултати од циклично товарење на испитни тела

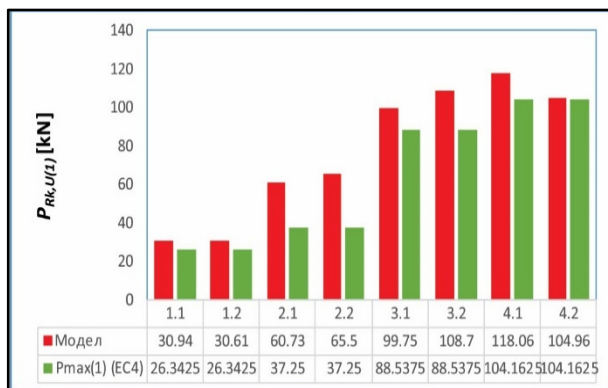
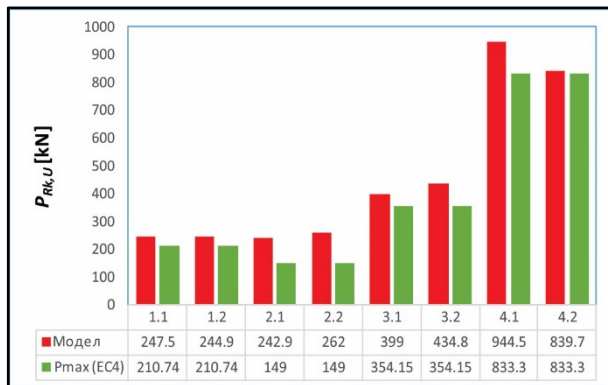
Веднаш по завршувањето на цикличното товарење, веднаш продолжува со товарење на испитниот елемент до лом. Според правилата и препораките на Еврокод 4 максималната сила при која ќе се јави лом во елементите не треба да биде постигната во период помал од 15 минути. Во голем број од испитаните примероци максималната постигната сила при испитувањето е поголема од проектната сила која треба да ја прими примерокот.



Слика 13. Резултати од товарење до лом на испитни тела

За секое од испитаните тела е претставена максималната измерена сила $P_{Rk,U}$ и силата потребна за определување на капацитетот на пролизување δ_u која е за 10% помала од максималната измерена сила. Воедно се претставени и резултатите кои одговараат на еден можданик односно

сила $P_{Rk,U(1)}$, исто така е дадена максималната сила намалена за 10% $P_{Rk(1)}$. За сите испитани елементи е прикажана средната вредност на максималната испитана сила $P_{Rk,U}$ за цело испитно тело, воедно и максималната добиена сила за еден можданик. Сите вредности за силите се изразени во [kN].



Сл. 14. Споредба на резултатите за $P_{Rk,U}$

Модел	δ_u [mm]	δ_{uk} [mm]		
1.1	1.443	2.15 8	1.298 3	1.94 2
1.2	2.874		2.586	
2.1	1.296	1.24 5	1.166	1.12 1
2.2	1.195		1.076	
3.1	3.398	3.21	3.058	2.88 9
3.2	3.022		2.719	
4.1	7.789	8.99 4	6.808	8.09 5
4.2	10.19 9	7.004		

Табела 3. Вредности на капацитетот на пролизгување δ_u и карактеристичниот капацитет на пролизгување δ_{uk}

Во Табела 3. се прикажани максималните деформации кои се добиени при максималната измерена сила намалена за 10%, односно капацитетот на пролизгување за секој од испитаните примероци. Во табелата е прикажано исто така и карактеристичниот капацитет на пролизгување кој служи за определување на дуктилноста на можданиците. Вредностите за δ_u и δ_{uk} се прикажани во [mm].

4. ЗАКЛУЧОК

По анализата на добиените резултати од извршеното експериментално истражување на однесување на цилиндрични чеп можданици кај попречно поставени лимови, врз основа на добиените резултати можат да се изнесат следниве заклучоци :

- Кај испитните тела кои се изведени со лим за спрегање HIDECK 75 може да се забележи дека носивоста на можданиците според Еврокод 4 и резултатите од испитаните примероци е речиси иста.
- Кај лимови со затворена профилација, како што е во случајот лимот BONDECK 600, проектната сила при која е очекувано да се јави лом исто така идентична со силата при која се јави лом во испитаниот пресек

- Кај полни (масивни) плочи, кај кои заштитниот слој над можданикот е 2 cm, изразите во Еврокод 4 за определување на носивост на можданикот се во корелација со добиените резултати од експерименталното истражување. Во овој карактеристичен случај идо така докажана е дуктилноста на можданикот.

РЕФЕРЕНЦИ

- [1] Цветановски П., Печатени предавања по спрегнати конструкции, 2011, Скопје, Р. Македонија.
- [2] Поповски Д., Експериментално и теориско истражување на ефектите од спрегањето на челикот и бетонот кај континуирани носачи од меѓукатни конструкции, докторска дисертација, Септември 2015, Скопје, Р. Македонија.
- [3] D. Popovski, P. Cvetanovski, M. Partikov, "Testing the behavior of shear connectors", MASE 16th symposium, Ohrid, Macedonia, 2015.
- [4] V. Damjanovski, P. Cvetanovski, D. Popovski, "Analysis of the behaviour of shear connectors with longitudinal sheeting and solid", MASE 17th symposium, Ohrid, Macedonia, 2017
- [5] P. Cvetanovski, D. Popovski, M. Partikov, V. Dmjanovski, "Experimental investigation of load and slip capacity of headed stud connectors in composite slabs for buildings", Annual of the university of architecture, civil engineering and geodesy, Sofia, Volume 46, 2018