

**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



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

## ПУКНАТИНИ КАЈ АРМИРАНОБЕТОНСКИ КОНСТРУКЦИИ ОД СПРЕЧЕНИ ПРИНУДНИ ДЕФОРМАЦИИ – ПРИМЕРИ ОД ПРАКСА

Горан МАРКОВСКИ<sup>1</sup>, Тони АРАНЃЕЛОВСКИ<sup>2</sup>, Дарко НАКОВ<sup>3</sup>, Марија  
ДОЦЕВСКА<sup>4</sup>, Дејан ЈАНЕВ<sup>5</sup>, Евгенија СТОЈКОСКА<sup>6</sup>

### АПСТРАКТ

Ефектите од индиректните дејства, како што се температурните промени и собирањето на бетонот, често пати се неоправдано занемарени при проектирањето на армиранобетонските конструкции. Во елементите чие слободно деформирање е целосно или делумно спречено, напрегањата на затегнување предизвикани од температурните промени и собирањето на бетонот не ретко водат кон појава на пукнатини со значајни отвори. Такви се долгите потпорни сидови, сидовите од резервоари, подните плочи и други елементи ограничени од претходно избетонираните елементи. Во елементи со спречено деформирање може да се вбројат и меѓукатните конструкции кај долгите објекти и објекти со крути вертикални елементи. Генерално, познато е дека овие ефекти можат да се елиминираат или намалат со преземање на соодветни мерки во фазата на проектирање и/или изведба (дилатациони разделници, правилен избор на крутоста на вертикалните елементи, избор на технологија на изведба и нега на конструкцијата и др.). Во спротивно, елементите мора да бидат така димензионирани да можат да ги прифатат влијанијата од температурните промени и собирањето на бетонот. Во овој труд анализирани се последиците од занемарувањето на овие ефекти на два реални примери: АБ безгредова меѓукатна конструкција на објект од високоградба и АБ сидови во состав на резервоар за вода. Причините за настанатите оштетувања се потврдени со детална теоретска и нумеричка анализа која што вклучува точна историја на изведување на конструкцијата, моделирање на различни термички ефекти и реални вредности на карактеристиките на вградените материјали.

*Клучни зборови: температурни промени; собирање на бетонот; пукнатини; спречени деформации*

<sup>1</sup> Проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [markovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:markovski@gf.ukim.edu.mk)

<sup>2</sup> Проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [arangelovskitoni@gf.ukim.edu.mk](mailto:arangelovskitoni@gf.ukim.edu.mk)

<sup>3</sup> Вонр. проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [nakov@gf.ukim.edu.mk](mailto:nakov@gf.ukim.edu.mk)

<sup>4</sup> м-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [docevska@gf.ukim.edu.mk](mailto:docevska@gf.ukim.edu.mk)

<sup>5</sup> м-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [janev@gf.ukim.edu.mk](mailto:janev@gf.ukim.edu.mk)

<sup>6</sup> м-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [stojkoska@gf.ukim.edu.mk](mailto:stojkoska@gf.ukim.edu.mk)

## 1. ВОВЕД

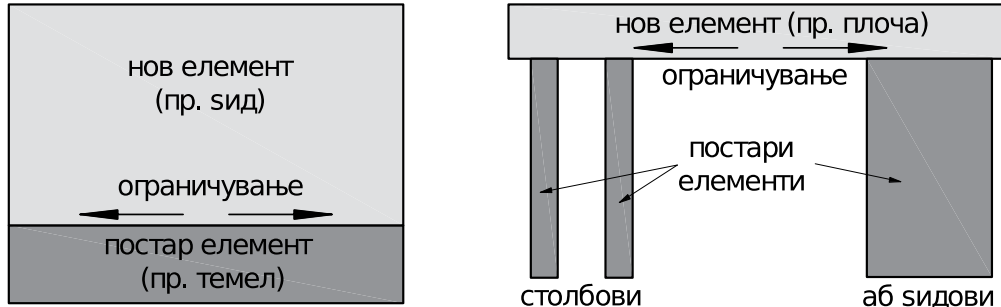
Појавата на пукнатини во армиранобетонските конструкции може да биде последица на поголем број причини кои можат да се групираат во три категории, и тоа:

1. Пукнатини поврзани со односот на компонентите во составот на бетонот и процесот на вградување на бетонот, како на пример висок водоцементен фактор, додавање на вода на градилиште непосредно пред бетонирање, несоодветна нега, бетонирање при екстремни амбиентални услови, премал заштитен слој, пластично слегнување на контактот со оплатата или со арматурата и сл.
2. Пукнатини предизвикани од директни надворешни дејства во експлоатација и
3. Пукнатини од индиректни дејства како што се спречените принудни деформации од температурните промени, собирањето на бетонот и слегнувањето на потпорите.

Во овој труд акцентот е ставен на пукнатините од последната категорија. Специфично за нив е тоа што најчесто се јавуваат во текот или непосредно по изведувањето на конструкцијата. Имено, индиректните дејства како температурните ефекти од ослободување на хидратационата топлина и собирањето на бетонот се најинтензивни веднаш по бетонирањето на елементите, поточно кога бетонот се уште ги нема достигнатите проектираните механички карактеристики.

Интензитетот на напрегањата предизвикани од спреченото слободно деформирање во голема мера зависи и од степенот на надворешното ограничување на елементот од страна на други, претходно избетонирани елементи. Внатрешното ограничување, како на пример ограничувањето од вградената арматура, не е опфатено во овој труд.

Како елементи со целосно или делумно спречено деформирање може да се вбројат долгите потпорни сидови, сидови од резервоари, подни плочи, како и меѓукатните конструкции во состав на долги објекти или објекти со крути вертикални елементи. На Сл.1 прикажани се неколку случаи на спречено деформирање.



Сл. 1. Случаи на спречено деформирање

Генерално, познато е дека овие ефекти можат да се елиминираат или намалат со преземање на соодветни мерки во процесот на проектирањето и/или изведбата на објектите. Такви мерки во фаза на проектирањето можат да бидат предвидување на дилатациони термички разделници, правилен избор на крутоста на вертикалните носиви елементи, како и проектирање на составот на бетонот. Постојат и неколку методи со кои што во фаза на изведбата може да се влијае врз ризикот од појавата на пукнатините при рана старост на бетонот (анг. early-age cracking). Такви можни мерки се ладење, изолирање и нега на новоизведениот елемент или пак, загревање на претходно изведениот [1]. Но, доколку овие мерки не се преземат, тогаш елементите мора да бидат така димензионирани и изведени да можат да ги прифатат влијанијата кои произлегуваат од спречените деформации при температурните промени и собирањето на бетонот.

Во овој труд анализирани се последиците од занемарувањето на овие ефекти на два реални примери од пракса: безредова меѓукатна конструкција на армиранобетонска зграда и армиранобетонски сид во состав на резервоар за вода.

## 2. ПРИМЕР ОД ПРАКСА 1 – АРМИРАНОБЕТОНСКА ЗГРАДА

Во овој пример анализирани се пукнатините во меѓукатната конструкција и аб. сидови настанати во тек на изведба на разгледуваниот објект.

### 2.1. Општи податоци за објектот

Конструктивниот систем на разгледуваниот објект претставува армиранобетонски безредов систем. Објектот е со катност: три подземни нивоа-подруми, приземје, мезанин, пет ката и поткровје, или вкупно 11 нивоа со висина над ката 0.00m од 30.10m и вкупна висина од 39.9m. Димензиите во основа изнесуваат: на подземните нивоа 61x34.4m, додека надземните нивоа се со различни димензии во основа, но поголемиот дел се со 52x30m. Притоа, по должина на објектот не е предвидена дилатациона разделница. Распоните на полињата се со различни димензии, но најчестиот и најголем е 8.10x8.10m.

Како вертикални носиви елементи се проектирани аб. столбови и сидови распоредени да ја обезбедат хоризонталната крутост на системот и архитектонската функција. Столбовите се со различни димензии на напречниот пресек кои се намалуваат по висина на објектот. Армиранобетонските сидови се со дебелина од 25cm и 30cm. Нивната поголема површина во подземните нивоа е произлезена од условот за задоволување на критериумот за дуктилноста на столбовите, т.н. S фактор. Меѓукатната конструкција е безредова плоча со дебелина 25cm, потпрена на столбови и сидови која на надземните нивоа по периметарот на објектот е ограничена со ободни греди. На столбовите кои не се монолитно поврзани со армиранобетонските сидови, предвидени се и капители со дебелина од 20cm. Објектот е фундиран на армиранобетонска темелна плоча со дебелина од 120cm.

При изведба на објектот користени се следните материјали:

- Темелна плоча: марка бетон МБ 30 и арматура RA 400/500-2,
- Ободни сидови: марка бетон МБ 30 и арматура MA 500/560,
- Столбови и сидови: марка бетон МБ 40 и арматура RA 400/500-2 и MA 500/560,
- Безредова плоча: марка бетон МБ 30 и арматура RA 400/500-2.

### 2.2. Затекната состојба на објектот

До моментот на регистрирање на оштетувањата изведено е само најдолното подземно ниво од објектот, односно: темелната плоча, вертикалните елементи, првата меѓукатна конструкција и неколку вертикални елементи од следното ниво. Со првичниот визуелен преглед констатирано се изразени пукнатини и вертикални деформации - отклони на плочата, како и пукнатини на ободните сидови (Сл. 2 и Сл. 3).



Сл. 2. Вертикални деформации на аб. плоча



Сл. 3. Видливи пукнатини на аб. плоча и аб. ободен сид

Вертикалните деформации се измерени од горната страна на плочата како разлика од вертикалната ката во непосредна близина на столбовите и котата во средина на сите полиња. Отворот на пукнатините е регистриран со помош на дигитална камера за пукнатини. Од извршените мерења констатирано се местоположбата, големината на отворот и правците на развој на пукнатините, како и големината на вертикалните деформации. Освен во плочата, евидентирани и измерени се и

пукнатини во ободните и внатрешните аб. сидови. Максималната измерена вертикална деформација изнесува 3cm, додека максималниот отвор на пукнатина во плочата е 0.80mm, а во сидовите 1.00mm.

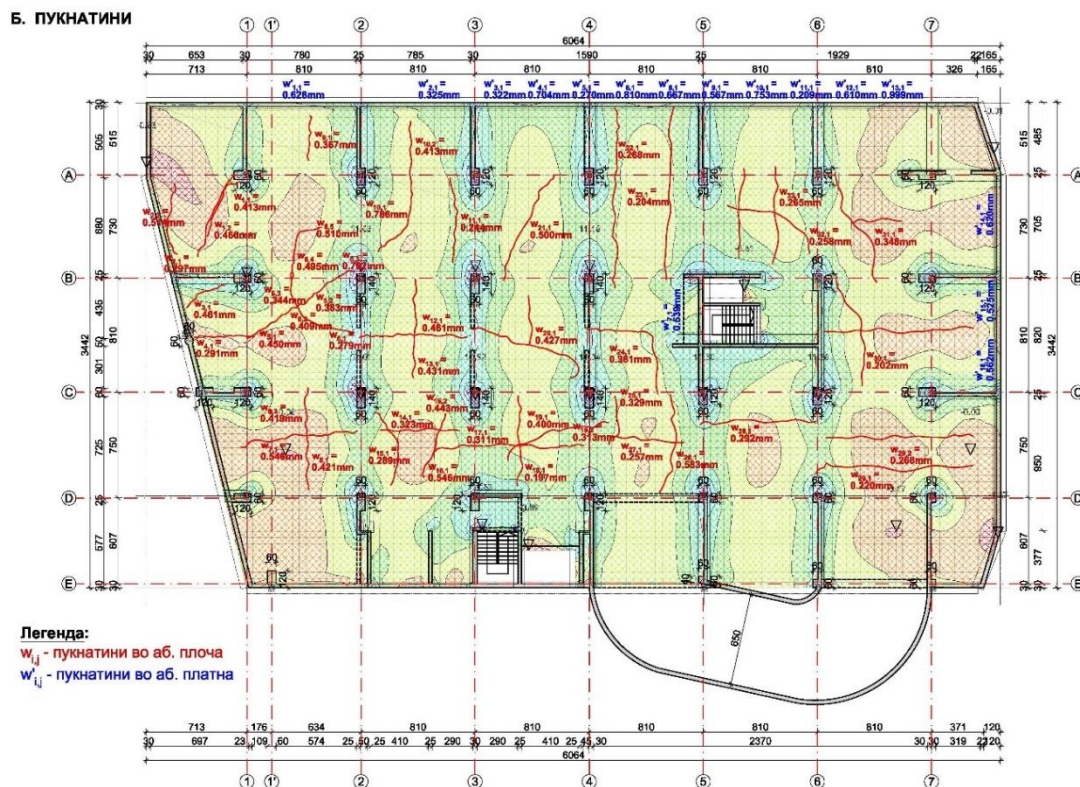
По утврдените оштетувања извршено е испитување на јакоста на притисок на вградениот бетон со неструктивна метода. Од добиените резултати за јакоста на притисок, од дваесет и три мерни места кај три можат да се забележат отстапувања од предвидената марка на бетон. Дополнително, пред вградувањето на бетонот, земени се девет контролни тела на кои што е извршено испитување на јакост на притисок. Од деветте контролни бетонски тела кај три од нив е забележано отстапување од предвидената марка на бетон.

За утврдување на длабочините на продирање на пукнатините извршено е вадење на кернови на местата на пукнатините. Од извадените кернови, забележано е дека пукнатините продираат низ целата дебелина на плочата.

### 2.3. Нумеричка и теоретска анализа

За да се констатираат причините за настанатите оштетувања на објектот изработен е нумерички модел на конструкцијата и спроведена е статичка анализа со помош на софтверот Tower на Radimpex. Со оглед на влијанијата на кои што објектот бил изложен до моментот на настанувањето на пукнатините, анализирани се само сопствената тежина и собирањето на бетонот, кое е воведено во пресметката како намалување на температурата од 15°C.

При визуелниот преглед на конструкцијата, забележано е дека речиси сите пукнатини се протегаат во средната третина на распонот. Поради тоа, вниманието е насочено кон тој пресек. Во него усвоена и вградена е арматура само во долната зона. Од извршената нумеричка анализа констатирано е дека критичните пресеци се целосно затегнати, односно затегнување се јавува и во долна и во горна зона, па логично е и пукнатините да се протегаат по целата висина на пресекот. Во овие случаи, при дејство на релативно мал момент на свиткување и голема аксијална сила на затегнување, се јавува случај на целосно затегнат пресек во областа на малиот ексцентрицитет, за кој е потребна значителна арматура во двете зони. На Сл. 4 преклопени се напрегањата на затегнување на горниот раб на армиранбетонската плоча со распоредот на измерените пукнатини.

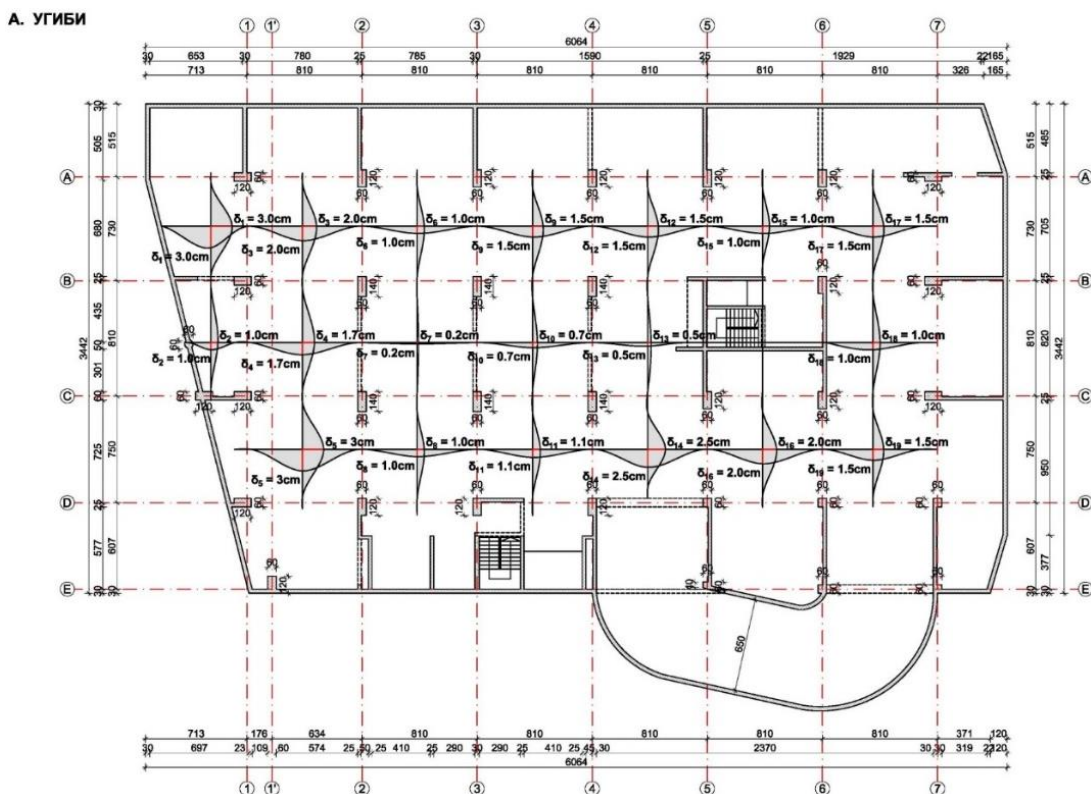


Сл. 4. Преклопена слика на напрегања на горен раб со распоред на пукнатини на плоча

Од добиените резултати од нумеричката анализа може да се заклучи дека основна причина за појавата на пукнатините е собирањето на бетонот при спречени деформации. Со оглед на тоа дека на денот кога е вршено бетонирањето на плочата, е евидентирана температура во Градежниот дневник од  $T=39^{\circ}\text{C}$ , може да се заклучи дека тоа само го зголемило развојот на собирањето при сушење на бетонот и дополнително придонело за настанатата ситуација.

Овој заклучок произлегува и од формата, распоредот и простирањето на пукнатините по целата дебелина на армиранобетонскиот пресек. Пукнатините кои се последица на вертикални товари во експлоатација се развиваат на затегнатата страна од пресекот и продираат до неутралната оска. За разлика од нив, регистрираните пукнатини на објектот се од сосема различен карактер. Тие произлегуваат од големи аксијални сили на затегнување кои се јавиле поради непостоењето на дилатациона разделница, големата дебелина на безредовата плоча и крутите вертикални елементи-сидови кои ги спречуваат деформациите од собирање на бетонот. Врз основа на измерените отвори на пукнатини во плочата, чиј ред на големина е до  $0.80\text{mm}$ , може да се претпостави дека напрегањата во вградената арматура се со висок интензитет.

Распоредот и отворот на пукнатините во меѓукатната конструкција посредно влијаат и на големината на вертикалните деформации. По моментот на отстранувањето на потпорите од оплатата на плочата, забележан е континуиран раст на деформациите во текот на следните четири месеци под дејство на сопствената тежина. При пресметувањето на деформациите, земени се предвид квалитетот и геометриските карактеристики на пресеците на вградениот бетон и арматура, а за анализа употребен е методот на Branson [2]. Од извршените пресметки добиено е дека пресметната вертикална деформација ( $2.995\text{cm}$ ) од сопствена тежина соодветствува со измерената ( $3.0\text{cm}$ ). Измерените деформации се прикажани на Сл. 5 и по вредност се блиску до максималните пропишани.



Сл. 5. Измерени вертикални деформации – отклони

### 3. ПРИМЕР ОД ПРАКСА 2 – АРМИРАНОБЕТОНСКИ РЕЗЕРВОАР

Во овој пример анализирани се пукнатините во армиранобетонските сидови настанати во тек на изведба на разгледуваниот резервоар за вода.

#### 3.1. Општи податоци за објектот

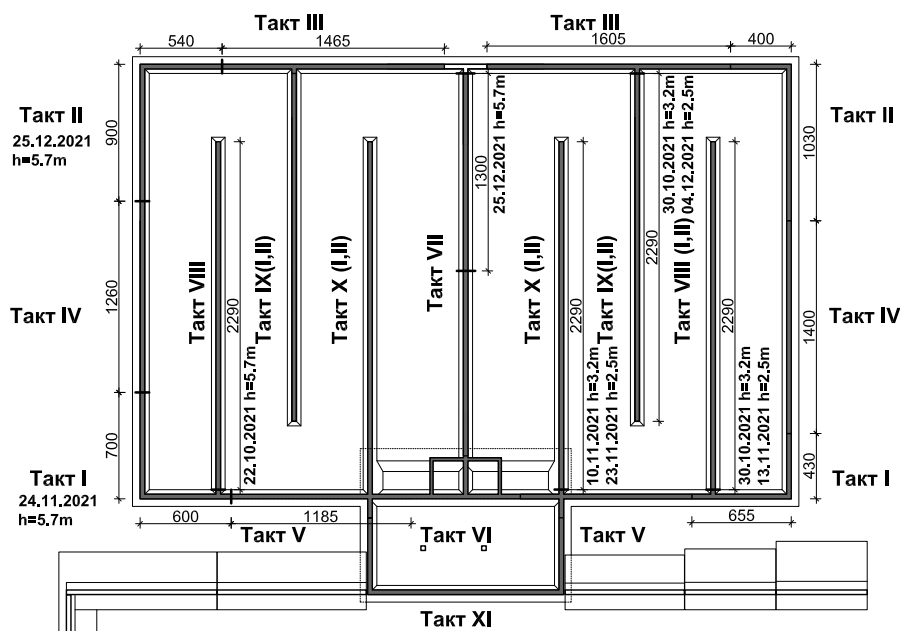
Разгледуваниот резервоар се состои од две мокри комори, секоја со димензии во основа 21/28m, и една сува комора 12.9/6.3m. Вкупната должина на објектот во едниот правец е 42.9m, додека во другиот правец најголемата должина е 34.9m. Резервоарот е армиранобетонски и се состои од вертикални носиви елементи – ободни и преградни сидови со дебелина од 30cm и горна плоча со дебелина од 20cm која преку греди се потпира на сидовите. Должината на преградните сидови е 22.9m. За темелење предвидена е темелна плоча со дебелина од 50cm со вертикални вути од дополнителни 30cm на местата на потпирање на сидовите. Објектот во рамки на мокрите комори е со висина 6.30m, а кај сувата комора 9.95m. По целосната изведба, резервоарот ќе биде насипан со земја од сите четири страни.

Со Основниот проект предвидено е да се користи бетон МБ30 со марка на водонепропусност V-8 и марка на отпорност на мраз М-100, како и челик за армирање RA 400/500-2.

#### 3.2. Затекната состојба на објектот

На сидовите VIII, IX и X, кои по висина се бетонирани во два такта (од 3.2m и 2.5m) неколку дена по отстранување на оплатата, евидентирани се поголем број на пукнатини чиј распоред е регистриран при првиот визуелен преглед на објектот.

Сè до моментот на појавата на пукнатините целосно е изведена само темелната плоча и дел од армиранобетонските сидови. Направен е план за бетонирање на сидовите во 11 тактови, според кој некои сидови се изведени со целата висина од 5.7m, а други најпрво се избетонирани до висина 3.2m, а потоа уште дополнителни 2.5m. Тактовите на бетонирање и нивното време на изведба се прикажани на Сл. 6.



Сл. 6. Тактови на бетонирање

На Сл. 7 се прикажани дел од изведените сидови, а на Сл. 8 неколку од регистрираните пукнатини.

За да се утврди широчината на настанатите пукнатини, извршено е нивно мерење со помош на дигитална камера за пукнатини. Прецизно е констатирана местоположбата и правците на развој на пукнатините, како и нивната широчина.

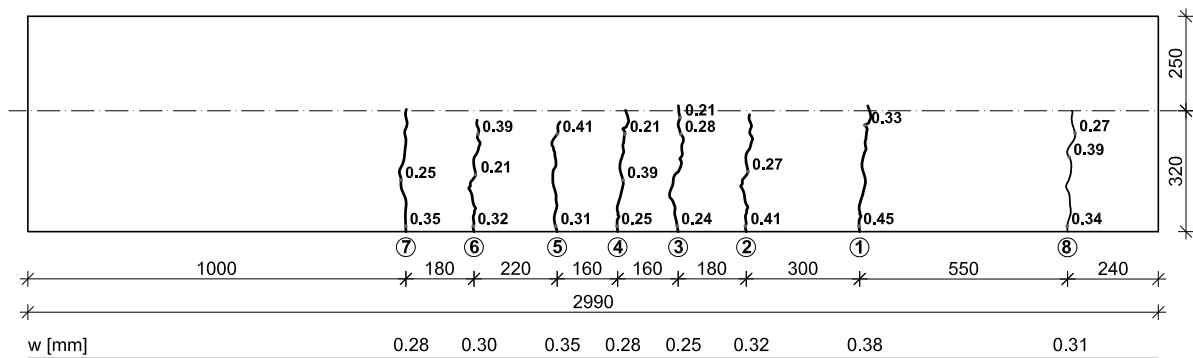


Сл. 7. Изведени сидови



Сл. 8. Видливи пукнатини во сидови

Широчината на секоја од пукнатините е мерена на неколку места по нејзината должина, при што максималната вредност изнесува 0.38mm (Сл. 9) и таа е поголема од граничната вредност за ваков тип на објекти (0.1mm).

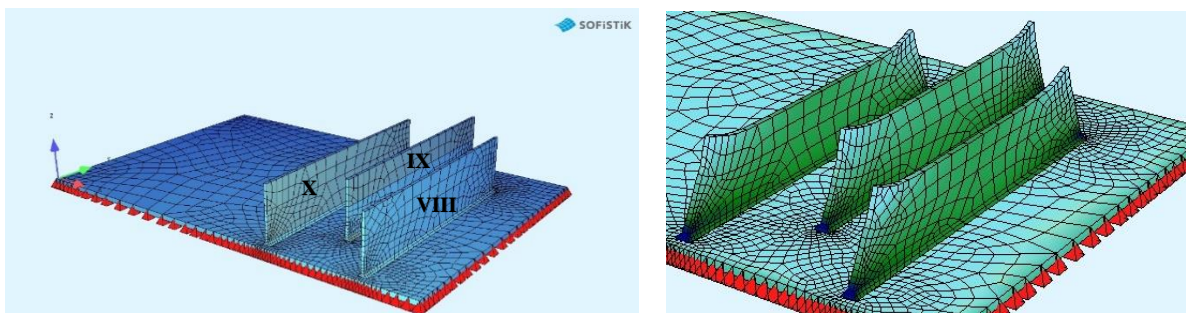


Сл. 9. Измерени пукнатини на еден од сидовите

### 3.3. Нумеричка и теоретска анализа

За да се констатираат причините за настанатите оштетувања на објектот, по извршениот увид на лице место, утврдениот вид, распоред и широчина на настанатите пукнатини, како и прегледот на доставената документација, спроведена е нумеричка и теоретска анализа.

Во софтверскиот пакет SOFiSTiK (ver. 2020) направен е нумерички модел (Сл. 10) на изведените делови од конструкцијата до моментот на забележувањето на пукнатините.



Сл. 10. Изглед на нумеричкиот модел (лево) и деформирана слика на сидовите (десно)

Моделирани се следниве конструктивни елементи: темелна плоча ( $d=50\text{cm}$ ), армиранобетонски сид VIII (Такт I,II), IX (Такт I,II) и X (Такт I,II) со дебелина од 30cm.

Елементите се моделирани со површински “shell” конечни елементи со соодветна дебелина. Во моделот е земена предвид и вградената хоризонтална и вертикална арматура во сидовите. Исто така, користени се реалните материјални карактеристики на елементите преземени од извештајот за испитувањето на јакоста на притисок.

Врз основа на податоците доставени од страна на Изведувачот, симулирана е реалната историја на градење. Наглото ладење на бетонот по демонтирање на оплатата е анализирано како пад на температура. Тој пад е пресметан за позната температура на бетонирање, количество и тип на цемент, дебелина на сидот и материјалот на оплатата [3]. Во секоја фаза на градење земени се предвид реалната средна температура и влажност на воздухот. Со примена на модулот CSM (Construction Stage Manager) во софтверот SOFiSTiK симулирани се следниве фази на градење:

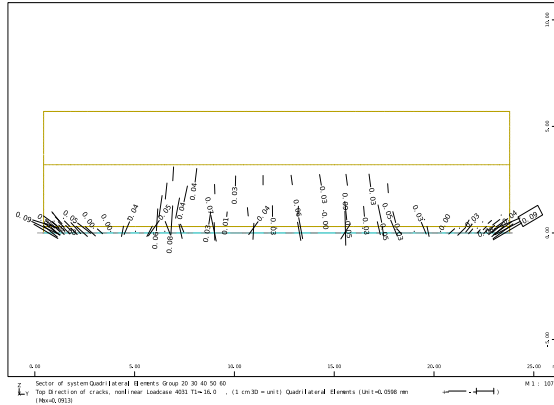
- бетонирање на темелна плоча
- собирање и течење до бетонирање на аб сид Такт VIII-I и Такт IX-I ( $\Delta t = 9$  дена)
- бетонирање на аб сид Такт VIII-I и Такт IX-I (30.10.2021)
- пад на температура по отстранување на оплатата на старост од 3 дена ( $T_1 = -15.5^\circ\text{C}$ )
- собирање и течење до бетонирање на аб сид Такт X-I ( $\Delta t = 11$  дена)
- бетонирање на аб сид Такт X-I (10.11.2021)
- пад на температура по отстранување на оплатата на старост од 3 дена ( $T_1 = -16^\circ\text{C}$ )
- собирање и течење до бетонирање на аб сид Такт VIII-II ( $\Delta t = 3$  дена)
- бетонирање на аб сид Такт VIII-II (13.11.2021)
- пад на температура по отстранување на оплатата на старост од 3 дена ( $T_1 = -17^\circ\text{C}$ )
- собирање и течење до бетонирање на аб сид Такт X-II ( $\Delta t = 11$  дена)
- бетонирање на аб сид Такт X-II (23.11.2021)
- пад на температура по отстранување на оплатата на старост од 3 дена ( $T_1 = -17^\circ\text{C}$ )
- собирање и течење до бетонирање на аб сид Такт IX-II ( $\Delta t = 12$  дена)
- бетонирање на аб сид Такт IX-II (04.12.2021)
- пад на температура по вадење на оплатата на старост од 3 дена ( $T_1 = -14^\circ\text{C}$ )
- собирање и течење до 15.01.2022 кога е извршено мерењето на отворот на пукнатините ( $\Delta t = 38$  дена)
- долготрајна промена на температура (пад) во анализираниот период

Дилатациите од собирањето и течењето на бетонот се пресметани со помош на истиот модул (CSM), а врз основа на зададените податоци за средната дебелина на пресекот, класата бетон и цемент, староста на бетонот при првото товарење, времетраење на негата и амбиенталните услови (средна температура и влажност на воздухот).

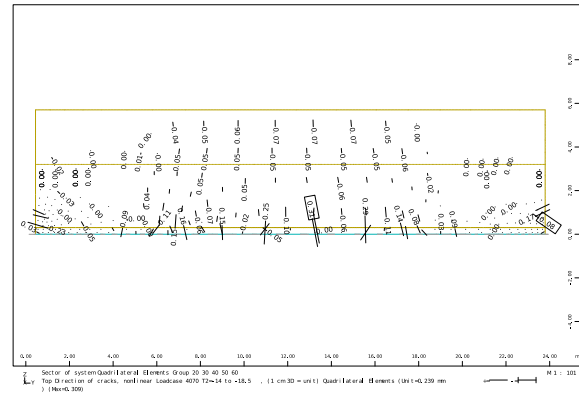
Пресметката на отворот на пукнатините во секоја фаза на градење е направена со материјална нелинеарна анализа. Распоредот и отворот на пукнатините за еден од разгледуваните армиранобетонски сидови се прикажани на Сл. 11 и 12. Сл. 11 го прикажува добиениот распоред на пукнатини на старост од 3 дена, додека пак, на Сл. 12 е даден распоредот во моментот кога пукнатините биле измерени (2 месеци по изведбата). Од нив може да се забележи дека до појава на пукнатини доаѓа и во двата разгледувани моменти. На старост од 3 дена максималниот пресметан отвор на пукнатини изнесува 0.09 mm, а на поголема старост отворот се проширува до 0.31 mm.

Пукнатините добиени при нумеричката анализа се резултат на напрегањата на затегнување кои што се јавуваат поради спреченото слободно деформирање на сидовите од претходно изведената темелна плоча при ладење на бетонот и негово собирање.





Сл. 11. Распоред и отвор на пукнатини во mm во аб. сид на старост од 3 дена



Сл. 12. Распоред и отвор на пукнатини во mm во аб. сид X на старост од 2 месеци

Пукнатините во армиранобетонските сидови кои што се јавуваат при рана старост на бетонот (3 дена), како и нивното ширење после одредено време (2 месеци), дополнително се пресметани и со примена на аналитичка постапка предложена во [3,4].

За потребите на аналитичката пресметка, определени се следниве параметри: пад на хидратациона топлина на бетонот  $T_1$ , коефициент на линеарно термичко ширење  $\alpha_c$ , автогено собирање  $\epsilon_{ca}$  и собирање при сушење  $\epsilon_{cd}$ , фактор на вкештување на сидот во темелот  $R$ , влијанието на течењето на бетонот врз степенот на вкештувањето  $K$  и амбиенталната температурна промена  $T_2$ . За пресметувањето на спречената дилатација во бетонот  $\epsilon_r$ , користен е следниот израз:

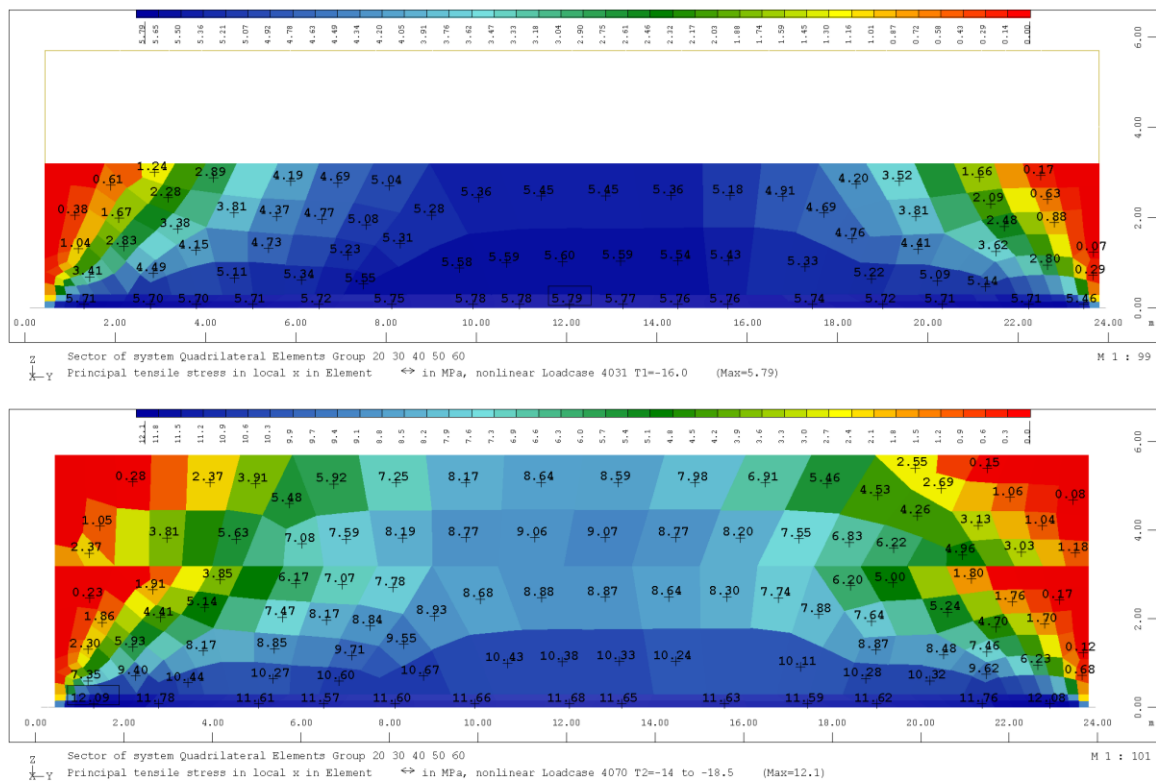
$$\epsilon_r = K \cdot [(\alpha_c T_1 + \epsilon_{ca}) \cdot R_1 + (\alpha_c T_2) \cdot R_2 + \epsilon_{cd} \cdot R_3] \quad (1)$$

Во табела 1 дадена е споредба помеѓу измерените и пресметаните отвори на пукнатини.

Табела 1. Споредба помеѓу измерени и пресметани отвори на пукнатини

Сид	Старост на бетонот	Измерен отвор на пукнатини	Пресметан отвор на пукнатини	
			Нумеричка анализа	Аналитичка пресметка
VIII	3 дена	/	0.090	0.079
	2 месеци	0.380	0.360	0.340
IX	3 дена	/	0.100	0.069
	2 месеци	0.310	0.250	0.310
X	3 дена	/	0.090	0.079
	2 месеци	0.300	0.310	0.330

Малата разлика помеѓу измерените и пресметаните отвори на пукнатини на анализираните армиранобетонски сидови потврдува дека главната причина за настанатите пукнатини е нагло топање на бетонот при демонтажа на оплатата, како и собирањето на бетонот (во тој момент автогеното) кои што имаат тенденција да го скратат елементот. Слободното собирање на сидот во хоризонтален правец е спречено од претходноизведената темелна плоча и тоа резултира во напрегања на затегнување кои што се неколкукратно поголеми од јакоста на затегнување на бетонот (Сл. 13).



Сл. 13. Напрегања на затегнување во армиранобетонскиот сид на старост од 3 дена (горе) и на старост од 2 месеци (долу)

За контрола на отворот и развојот на пукнатините од спречените деформации, стандардите [4] пропишуваат минимален процент на хоризонтална арматура во сидовите.

#### 4. ЗАКЛУЧОК

Од спроведената анализа на два примери од пракса, може да се увиди дека несоодветното третирање на влијанијата од спречените деформации при проектирањето и изведбата на одредени објекти може да резултира во надминување на граничните состојби на употребливост и трајност дури и во фаза на нивно градење.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] van Breugel Ed. K. (2016). Concrete structures under imposed thermal and shrinkage deformations – theory and practice. Delft, Netherlands.
- [2] Branson D. E. (1963). Instantaneous and time-dependent deflections of simple and continuous reinforced concrete beams. HPR Publication No. 7, Part 1, Alabama Highway Department, U.S. Bureau of Public Roads, pp. 1-78.
- [3] Bamforth P. B. (2007). Early-age thermal crack control in concrete. Classic House, London, UK.
- [4] European Committee for Standardization - CEN (2006). Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 3: Liquid retaining and containment structures. Brussels, Belgium.