

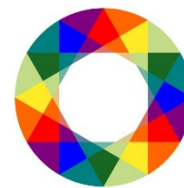
ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

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 - 1



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

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И АНАЛИТИЧКО ИСПИТУВАЊЕ НА МЕХАНИЧКИ АНКЕРИ ВГРАДЕНИ ВО НЕАРМИРАН БЕТОН ИЗЛОЖЕНИ НА СИЛА НА ЗАТЕГАЊЕ

Дамјан ДЕНКОВСКИ¹, Денис ПОПОВСКИ², Владимир ДАМЈАНОВСКИ³

АПСТРАКТ

Проектирањето на конструкцијата и елементите од конструкцијата се спроведува според важечките нормативи и стандарди за градење и проектирање. Во случај кога проектирањето се однесува на елементи, детали кои не се предвидени со стандардите тогаш се применуваат технички одобрувања кои се базираат на резултатите добиени со лабораториски испитувања. Модерната технологија за поврзување станува се по применета во градежништвото во сите делови од светот. Анкерите кои се вградуваат пред бетонирање како и анкерите вградени после бетонирање наоѓаат се поголема примена. Секој од анкерите е дизајниран за вградување во отпимални услови за специфична примена. Поради сложеноста и различните типови на анкери до сега не се предвидени стандарди за нивна пресметка и истите се подложни на испитувања за да се докаже нивната носивост.

Во трудот се презентирани начинот на испитување и добиените резултати од аналитичко и експериментално испитување на механички анкери вградени во неармиран бетон и изложени на сила на затегање. Испитувањето е спроведено со нестандартен тест во неармиран бетон, почитувајќи ги препораките и правилата за вградување на анкери дадени од производителот. Анкерите опфатени со ова испитување се најчесто користени механички анкери за поврзување на конструктивни елементи кои може да се најдат на пазарот во нашата земја. Резултатите од однесувањето на механичките анкери вградени пред бетонирање изложени на сила на затегање се дадени во форма на дијаграм сила – поместување со што се дефинира однесувањето на анкерот и типот на лом. За да може да се направи анализа на добиените податоци од испитувањето во трудот се презентирани и можните типови на лом од кои што зависи и носивоста на анкерот.

Клучни зборови: Механички анкери; Експериментално испитување; Сила – поместување;

¹ Студент на постдипломски студии, Градежен Факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, denkovskidamjan@yahoo.com

² Проф. Д-р, Градежен Факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, popovski@gf.ukim.edu.mk

³ Соработник, М-р, Градежен Факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, damjanovski@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Модерната технологија за поврзување станува се по применета во градежништвото во сите делови од светот. Анкерите кои се вградуваат пред бетонирање како и анкерите вградени после бетонирање наоѓаат се поголема примена. Голем број на производители во својата палета на производи нудат различни типови на анкери. Секој од анкерите е дизајниран за вградување во оптимални услови за специфична примена. Доколку анкерот не се примени во услови за кои истиот не е соодветен доаѓа до прашање сигурноста на врската односно на целата конструкција. За да се направи точен избор на анкер кој треба да се примени во конструкцијата потребно е проектантот да поседува познавање од типот на анкерот, начинот на трансфер на силата, влијанијата на кои анкерот е изложен како и типовите на лом кои може да настанат.

Во европските земји пресметката на анкерите се спроведува според Анекс С од ETAG 001 (Guidelines for European Technical Approval of Metal Anchors for use in concrete) се до имплементација на CEN/TS 1992-4 (2009) како Дел 4 од Еврокод 2 (2005). Во САД пресметката на анкерите е регулирана од 2002 година во Appendix D од ACI318 (2002) ревидирана и надополнета во 2011 година. Дадените препораки точно ги дефинираат условите и начинот според кои се спроведуваат тестовите за техничко одобрување на анкерите. Откако анкерите ќе ги исполнат условите предвидени со тестовите добиваат сертификат за користење ETA (European Technical Approval) во Европа или ESR (Evaluation Service Report) во САД.

Испитувањата на анкерите може да се поделат на три типа:

- Испитување за соодветност на анкерите (conformity) со кој се прави проверка на однесувањето на анкерите во екстремни услови
- Испитувања за одредување на носивоста на анкерот во фаза на експлоатација
- Испитувања со кои се утврдува поместувањето (извлекувањето) на анкерот под дејство на надворешни товари во фаза на експлоатација

Со испитувањата се добиваат резултати од однесувањето на анкерите како и типот на лом кој се јавува под дејство на надворешни товари. Презентацијата на однесувањето на анкерот најлесно може да прикаже со формирање на дијаграм сила- поместување од кој што може да се определи силата при која доаѓа до пролизгување или лом на анкерот кој се испитува.

Во овој труд се презентирани резултатите добиени од не стандардно испитување на механички анкери вградени во не армиран бетон изложени на сила на затегање. При вградувањето на анкерите во бетонските елементи испочитувани се сите препораки за вградување на анкерот од страна на производителите.

2. ОДНЕСУВАЊЕ НА АНКЕРИТЕ ПОД ДЕЈСТВО НА СИЛА НА ЗАТЕГАЊЕ, ВИДОВИ НА ЛОМ И ПРЕСМЕТКА НА НОСИВОСТ

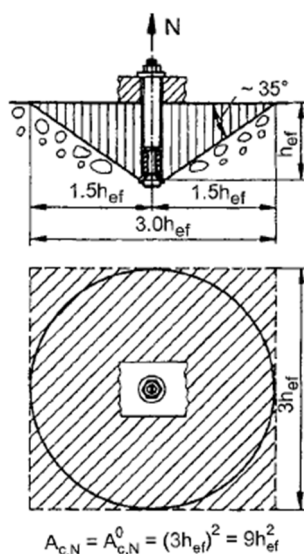
Анкерите изложени на сила на затегање подлежат на четири можни типови на лом и секој од нив се карактеризира со зависноста сила – поместување која е во функција од голем број на фактори. Можни типови на лом кои може да се јават при вградување и експлоатација на анкерите се:

- Лом проследен со одделување на бетонот во форма на конус (concrete cone failure)
- Цепење на бетонот (splitting failure)
- Извлекување на анкерот од бетонот или извлекување на телото на анкерот од кошулката
- Лом преку челичниот дел (телото) на анкерот

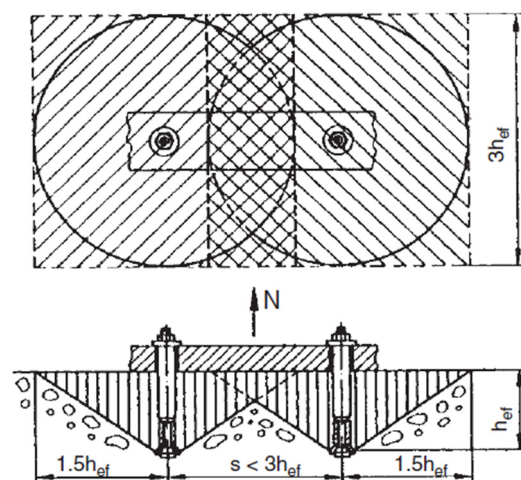
Освен од типот на анкерот, однесувањето зависи и од силата на притегање на анкерот во фаза на вградување, марката на бетон и начинот на кој се аплицира силата. Вкупното измерено поместување (извлекување) на анкерот е компонента од пролизгувањето на анкерот, локалните деформации во бетонот во кој е вграден и деформациите во самиот анкер.

2.1. Лом проследен со одделување на бетонот во форма на конус (concrete cone failure)

Лом проследен со одделување на бетонот во форма на конус настанува кога носивоста на затегање на бетонот е надмината. Овој тип на лом се карактеризира со формирање на конус кој под дејство на аплицираната сила преку анкерот се одвојува од останатиот дел од бетонотскиот елемент. За овој тип на лом карактеристичен е начинот на пропација односно ширење на пукнатините во зоната на напрегања на бетонот. Првите пукнатини во бетонот настануваат во зоната на контактот помеѓу кошулката од анкерот и бетонот под дејство на експлоатационите товари кои со зголемување на напрегањата радијално се шират кон површината на бетонот. Во случај кога кошулката на анкерот е со поголеми димензии најчесто се јавува овој тип на лом. Доколку димензиите на кошулката се со помали најчесто доаѓа до пролизгување и извлекување на анкерот. Лом на бетонот во форма на конус се јавува кај вградените анкери кои обезбедуваат доволно голема сила на експанзија (триење) а притоа не се јавува лом во челикот. Поместувањата кај механичките анкери вградени со контролиран момент на притегање се поголеми заради придвижувањето на кошулката во однос на телото на анкерот кое е проследено со зголемување на силата на триење (ширење).



Сл. 1. Ефективна површина при лом на бетонот во форма на конус за единечен анкер



Сл. 2. Ефективна површина при лом на бетонот во форма на конус за група анкери

За определување на силата при која се јавува лом на бетонот во форма на конус потребно е да се примени нелинеарна анализа. Сепак овој начин на анализа не е секогаш достапен и бара повеќе време. За да се поедностави постапката за пресметка на силата при која се јавува овој тип на лом развиени се емпирички формули врз основа на теориските модели.. Овој пристап доведува до развој на на СС (Concrete Capacity) Метод (Fuchs, Eligehausen, Breen (1995/1 и 1995/2)). Силата при која се јавува лом директно зависи од волуменот на бетонот кој се активира со извлекување на анкерот или група анкери. Тестовите се направени за анкери со стандардни димензии вградени со максимални растојанија и во бетон со различни марки.

$$N_{RK,c}^0 = k_c \times \sqrt{f_{cu}} \times h_{ef}^{1.5} \quad (1)$$

Според формулата товарот при кој се јавува лом зависи од јакоста на притисок на бетонот и должината на анкерување. Вредноста на коефициентот K_c изнесува помеѓу 7.0 и 7.2 за напукнат бетон и 9.8 до 10.1 за не напукнат бетон.

2.2. Лом преку челичниот дел (телото) на анкерот

Лом преку телото на анкерот се јавува во случај кога е достигната горната граница на носивост на телото или кошулката на анкерот. Овој тип на лом ретко се јавува во пракса и тоа е во случај кога анкерите се вградени во бетон со висока јакост. Товарот при кој настанува лом- кинење на анкерот е

во зависност од површината на анкерот A_s и носивоста на затегање f_{uk} на челикот од кој е изработен. Во случај кога силата делува ексцентрично на анкери вградени во група тогаш носивоста е дефинирана според најоптоварениот анкер.

$$N_{Rks} = A_s \times f_{uk} \quad (2)$$

Во изборот на анкерите кои се вградуваат во група не треба да се отстапува од тоа да сите анкери се од ист тип и со ист дијаметар. Силата при која што се јавува кинење-лом во анкерот не е во зависност од вградената арматура во бетонот. Ваквиот тип на лом според европските препораки и регулативи е забранет односно не треба да се јавува при експлоатација на анкерот.

2.3. Лом проследен со извлекување на анкерот од бетонот или кошулката

Лом проследен со извлекување на анкерот се карактеризира со извлекување на анкерот од бетонскиот елемент без настанати оштетувања на бетонот. Кај анкерите вградени со контролиран момент на притегање овој тип на лом настанува во случај на недоволно остварена сила на триење помеѓу кошулката од анкерот и бетонот. Ултимативната носивост на анкерите во овој случај на лом не може точно да се дефинира бидејќи е различна од случај во случај, при што големо влијание има рапавоста на дупката во која што е вграден анкерот.

Лом проследен со извлекување на телото на анкерот од кошулката е карактеристичен за анкерите вградени со контролиран момент на притегање. Со вградувањето на анкерот и дополнително оптоварување се генерираат локални деформации во бетонот околу дупката во која се вградува анкерот предизвикувајќи радијално напрегање на ширење преку кое се остварува контактот за пренос на силата на ширење F_{ex} . Товарот $N_{u,p}$ при кој се јавува извлекувањето на анкерот од дупката е пропорционален на силата на ширење (expansion force):

$$N_{u,p} = F_{ex} \times \mu \quad (3)$$

Според Wagner – Grey (1977/1) коефициентот на трансфер на сила μ помеѓу кошулката на анкерот и бетонот изнесува 0.2 до 0.3 за механички анкери со контролиран момент на притегање и 0.35 за механички анкери вградени со контролирани деформации. Подоцна според испитувањата на Mauger (1990), истиот коефициент варира помеѓу 0.35 за анкери вградени во бетон со висока јакост до 0.6 во бетон со мала јакост.

Товарот при кој се јавува извлекување на телото од анкерот од кошулката може да се пресмета доколку силата на експанзија F_{ex} (пресметана според Legmann (1993)) во зависност од геометријата на анкерот се помножи со коефициентот на трансфер на силата μ_{ce} помеѓу телото на анкерот и кошулката.

$$\mu_{ce} = \tan(\alpha + \rho) \quad (4)$$

Со зголемувањето на локалниот притисок при контактот на анкерот со површината на бетонот доведува до значително зголемување на поместувањата што е резултат на локалното нагмечување на бетонот во оваа зона.

2.4. Лом настанат со цепење на бетонот

Ломот при кој доаѓа до цепење (одделување) на бетонот може да се јави при вградување на механичките анкери во фаза на притегање или при товарење на анкерот. Цепење на бетонот во фаза на вградување настанува како резултат на радијалниот притисок кој се генерира во бетонот при ширење на анкерите. За механички анкери вградени со контролиран момент на притегање, големината на аплицираниот момент, претворањето на моментот на притегање во аксијална сила на затегање како и геометријата на анкерот во зона на експанзија се факторите кои имаат влијание при појава на овој тип на лом. Односот помеѓу силата при која се јавува цепење на бетонот и сила на затегање во анкерот изнесува 1.0 до 2.0 за механички анкери со контролиран момент на притегање и 0.7 до 1.0 за анкери со заклинување. Отпорноста на цепење на бетонот зависи од јакоста на бетонот, дебелината (висината) на бетонскиот елемент, растојанието на анкерот од крајот на елементот и растојанието помеѓу анкерите во случај кога се вградени во група. Доколку анкерите се вградени на мало растојание од

крајот на елементот ломот може да настане уште во фаза на вградување на анкерот. Овие растојанија се определуваат преку испитувања и најчесто се дадени во каталогот од производителот. Препорака е да се вградуваат во елементи со дебелина $h > 2h_{ef}$ и марка на бетон $> C20/25$.

Во анализите споредни од Pukl, Ozbolt, Schlottke, Eligehausen (1993) користени се компјутерски 3Д модели во кои што однесувањето на бетонот е симулирано со модел кој се базира на нелинерана анализа. Добиените резултати покажуваат дека пред да биде достигнат максималниот товар при кој настанува лом се формираат радијални пукнатини. Со зголемување на растојанието од работ на елементот ломот на цепање полека преминува во лом проследен со одделување на бетонот во форма на конус.

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \psi_{s,N} \times \psi_{re,N} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{h,sp} \quad (5)$$

Равенката (5) претставува равенка за пресметка на силата при која се јавува лом во бетонот проследен со цепање. Коefициентите од кои што зависи носивоста на анкерот се дадени во ЕТАГ 001 Анкекс С.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТУВАЊЕ И АНАЛИЗА НА ОДНЕСУВАЊЕ НА МЕХАНИЧКИ АНКЕРИ ИЗЛОЖЕНИ НА ЗАТЕГАЊЕ

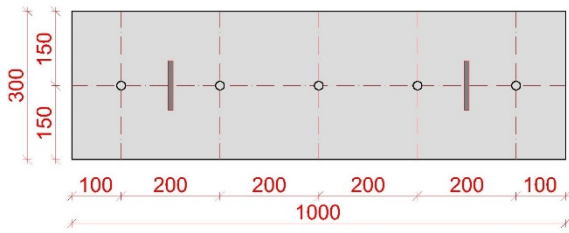
Постапката за аналитичка пресметка за носивост на механички анкери изложени на надворешен товар се состои од контрола на анкерот во зависност од условите кои што треба да ги исполни анкерот. Процедурата за димензионирање на анкерите е следна:

- Определување на проектен товар на анкер или група анкери во зависност од условите кои треба да ги исполнат. Тип на бетонот (напукнат или не напукнат), јакоста на бетонот, изложеност на коризија или замор и тн.
- Избор на механички анкер кој ги исполнува условите. Определување на прелиминарен дијаметар на анкер, механизам за трансфер на силата, димензии на анкер плочката, растојанија помеѓу анкерите и работ од елементот
- Разложување на надворешните сили на сила на смолкнување и извлекување за индивидуален анкер
- Пресметка на проектен товар за четири можни типови на лом
- Пресметка на проектен товар при дејство на трансверзална сила
- Споредба на проектниот товар на анкерот со проектната носивост за четирите типа на лом
- Доколку проектната носивост е поголема од проектниот товар тогаш анкерите се димензионирани правилно, во спротивен случај потребно е да се предвиди избор на друг тип на анкер

Врз основа на добиените податоци од експерименталните лабораториски испитувања за однесувањето на анкерите производителите ги пропишуваат минималните растојанија за вградување и носивоста.

3.1. Експериментално испитување на анкери изложени на затегање

За да се добие кривата сила- поместување преку која се дефинира однесувањето на анкерите вградени во бетонски елементи под дејство на сила на затегање направено е не стандардно експериментално испитување. Вградувањето на анкерите е извршено во претходно бетонираните блокови со димензии 1000x300x300 мм без присуство на арматура. Во секој од анкер – блоковите вградени се по 3 или 5 механички анкери притоа почитувајќи ги препораките за минимални растојанија, минимални димензии на блокот за анкерување, дијаметар и длабочина на дупките како и моментот на притегање на анкерите со момент клуч. Во текот на бетонирање на анкер – блоковите земени се примероци за контрола на квалитет на бетонот. Резултатите од испитување на коцките на 28 дена од бетонирањето покажуваат марка на бетон C25/30. Пред вградувањето на анкерите направена е шема за бушење на дупките прикажана на слика (3).

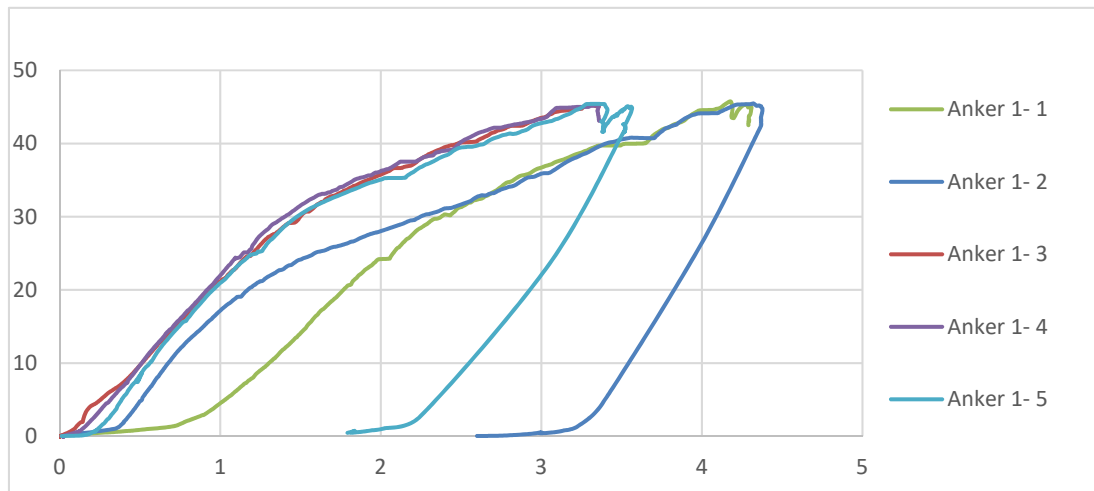


Сл. 3. Шема за вградување на механички анкери во анкер- блокови



Сл. 4. Поставена опрема за испитување на вградените анкери

Опремата за испитување (слика 4) се состои од преса и конструкцијата преку која се аплицира силата на затегање на анкерот. За мерење на деформациите односно извлекувањето на анкерите поставени се механички и индуктивен угибомери (компаратори), додека нанесената сила се мери преку динамометар поврзан со пресата. Мерењето на нанесената сила и поместувањата е континуирано во текот на испитувањето. Во продолжение е даден карактеристичен сила – поместување дијаграм за еден од испитаните анкери. На хоризонталната оска е прикажано поместувањето (извлекувањето) на анкерот во милиметри додека на вертикалната оска е даден товарот во [kN] при кој настанува поместувањето



Сл. 5. Карактеристичен сила – поместување дијаграм за испитан анкер тип 1-5

Поради обемноста на резултатите од испитувањето во трудот не се дадени дијаграмите за сите анкери поединечно. Пообемна анализа за испитувањето и добиените резултати е дадена во магистерската работа врз која се базира овој труд. Резултатите се сведени на табеларен приказ во кој што се дадени добиените вредности за максимална сила на затегање по анкер од секој тип споредени со препорачаната носивост дадена од производителот.

Табела 1. Споредба на добиени вредности за сила и поместување според каталог и испитување

Тип на анкер	Максимален испитен товар [kN]	Поместување - максимален испитен товар [mm]	Ултимативна носивост - каталог [kN]	Проектна носивост - каталог [kN]	Препорачана носивост - каталог [kN]	Поместување – препорачана носивост
1.3	143,64	4,31	67,50	37,00	26,40	0,60
2.3	44,98	5,54	48,3	26,4	18,9	0,84
3.3	140.30	8,80	46,30	24,00	17,20	0,12
4.3	141.03	4,89	52,9	26,3	18,80	0,07
5.3	116,93	2,47	45,00	25,00	14,16	0,10
6.3	123,82	5,11	/	/	13,80	0,05
7.2	88,46	2,42	60,80	/	24,0	0,38
8.3	129,85	6,24	43,60	/	12,30	0,07
9.3	107.78	2.57	/	/	11.90	0.24

При максимален испитен товар во текот на испитувањето, во сите случаи се јавува лом на цепање на бетонот.



Сл. 6. Лом проследен со цепање на бетонот при максимално достигнат товар



Сл. 7. Лом проследен со цепање на бетонот при максимално достигнат товар



Сл. 8. Механички анкер по испитување и достигнат максимален товар

4. ЗАКЛУЧОК

Со направените испитувања кои претставуваат единствен начин за анализа на однесувањето и носивоста на анкерите, може да се дојде до заклучок дека однесувањето на анкерите е дефинирано од повеќе параметри. Конкретно за носивоста на анкерите на истегање со анализа на добиените резултати може да се заклучи дека парцијалните но и глобалниот коефициент на сигурност ја намалуваат ултимативната носивост до 2 пати. Дополнително на страна на сигурност секој од производителите дава препорачана носивост која се зема при примена на анкерите. Коефициентите на сигурност како и дополнителниот коефициент дефиниран од производителите ја намалуваат проектната носивост на анкерите како резултат на влијанието на различни параметри во пракса кои не секогаш може да точно да се дефинираат.

Според ломот кој настанува при максималниот нанесен товар на извлекување на анкерите може да се заклучи дека станува збор за лом на цепање на неармираниот бетон односно во ниту еден испитан случај не се јавува лом во анкерот. Ломот кој се јавува е резултат на недостаток на арматура во бетонскиот елемент што ја ограничува носивоста на бетонот. Во случај на вградена арматура во бетонскиот елемент со сигурност ќе се зголеми и максималниот товар при кој настанува лом како и типот на лом. Направеното испитување претставува подлога и за понатамошни испитувања на однесување на механичките анкери притоа менувајќи ги параметрите кои ја дефинираат носивоста на самите анкери.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cannon R.W., Godfrey D.A., Moreadith F.L. (1981). "Guide to the Design of Anchor Bolts and Other Steel Embedments", Concrete International
- [2] Dr. Cho S.S.H., Chan S. (1981). "Guide on design of post-installed anchor bolt systems in Hong Kong"
- [3] Dusel P.J., (1986). "Evaluation of Mechanical Expansion Anchors- Vol. 1&2", Report No. FHWA/CA/TL-86/09, Sacramento
- [4] Eriksson D., Gasch T. (2011). "Load capacity of anchorage to concrete at nuclear facilities", Sweden
- [5] EN 1990-1-1, Eurocode 0: Basis of structural design
- [6] EN 1991, Eurocode 1: Actions on structures
- [7] EN 1992-4:2015, Eurocode 2: Design of concrete structures- Part 4: Design of fastenings for use in concrete
- [8] EN 1993-1-8:2005, Eurocode 3: Design of steel structures- Part 1-8: Design of joints
- [9] BS 5080-1:1993, BSI 02-1999: Structural fixings in concrete and masonry – Part 1: Method of testing for tensile loading
- [10] CEN/TS 1992-4-1:2009: Design of fastenings for use in concrete – Part 4-1: General
- [11] Eligehausen R. (2006). "Anchorage in concrete construction", Berlin, Germany
- [12] Fuchs W. (1955). "Concrete capacity design (CCD) approach for fastening to concrete", ACI Structural Journal, Vol.92-No.1
- [13] Hiroshi S. (2004). "Study on dynamic pullout strength of anchors based on failure modes", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada
- [14] Hoehler M.S. (2006). "Behavior and Testing of Fastenings to Concrete use in Seismic Applications", University of Stuttgart
- [15] Johnson K.M., Lew H.S., Long T.P. (1988). "Literature review of post- installed anchorage in concrete", U.S. Department of commerce, National bureau of standards