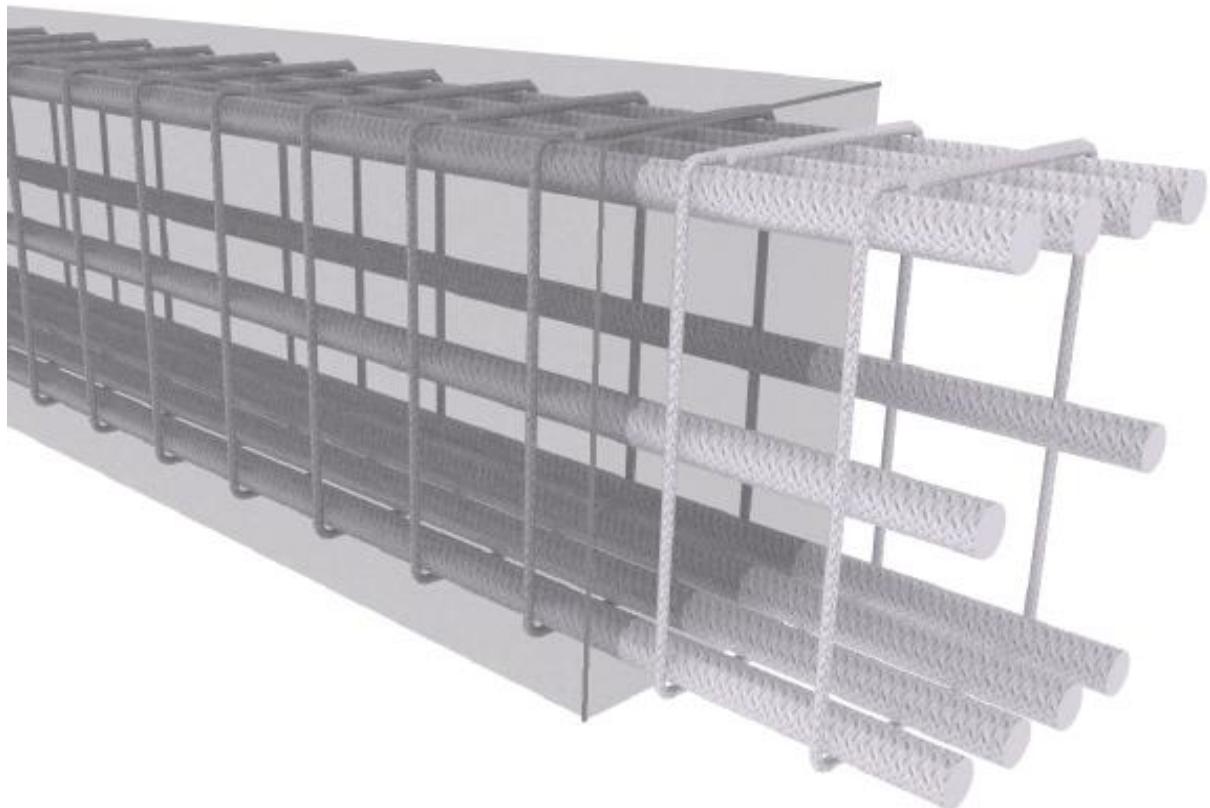


STUDIJE O BETONU

2015 - 2016

SANIN ĐIDIĆ | HUSEIN OKUGIĆ | EMIR BAJRAMOVIĆ



SARAJEVO, 2017

IBU Publications

**Sanin Džidić
Husein Okugić
Emir Bajramović**

**STUDIJE O BETONU
2015 - 2016**

Sarajevo, 2017

Autori:

Sanin Džidić
Husein Okugić
Emir Bajramović

Izdavač:

Internacionalni BURCH Univerzitet Sarajevo

Recenzenti:

Prof. dr. sc. Amir Čaušević, Vanredni profesor Arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu

Prof. dr. sc. Merima Šahinagić-Isović, Vanredni profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru

Dizajn i DTP:

Autori

Izdanje:

Elektronsko izdanje

Mjesto i datum izdavanja

Sarajevo, novembar 2017

Copyright

Internacionalni BURCH Univerzitet Sarajevo, 2017

Reproduction of this Publication for Educational or other non-commercial purposes is authorized without prior permission from the copyright holder. Reproduction for resale or other commercial purposes prohibited without prior written permission of the copyright holder.

Disclaimer: While every effort has been made to ensure the accuracy of the information, contained in this publication, the publisher will not assume liability for writing and any use made of the proceedings, and the presentation of the participating organizations concerning the legal status of any country, territory, or area, or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

CIP - Katalogizacija u publikaciji

Nacionalna i univerzitetska biblioteka Bosne i Hercegovine, Sarajevo

624.012.4

DŽIDIĆ, Sanin

Studije o betonu 2015-2016 [Elektronski izvor] / Sanin Džidić, Husein Okuguić, Emir Bajramović. - El. knjiga. - Sarajevo : International Burch University, 2017. - 257 str.

Način dostupa (URL): <http://www.eprints.ibu.edu.ba/3669/>. - Nasl. s nasl. ekrana. - Izvor opisan dana 31.10.2017.

ISBN 978-9958-834-55-4

1. Okugić, Husein 2. Bajramović, Emir
COBISS.BH-ID 24495878

SADRŽAJ

PREDGOVOR	9
-----------------	---

STUDIJA 1 - ŠTA JE TO BETON - POJAM, VRSTE, HISTORIJA, PREDNOSTI, NEDOSTACI I KLASIFIKACIJA PREMA EVROPSKIM STANDARDIMA	13
--	----

Popis slika.....	15
Popis tabela	17
Šta je to beton?	19
Historija betona i betonskih konstrukcija	33
Prednosti i nedostaci betona	45
Standardi za projektovanje betonskih konstrukcija u Evropi	49
Klasifikacije betona	53
Literatura	65

STUDIJA 2 - OPTIMALIZACIJA PROJEKTNIH RJEŠENJA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH MONTAŽNIH HALA SA ASPEKTA UPOTREBLJIVOSTI I TRAJNOSTI	69
---	----

Popis slika.....	71
Popis tabela	73
Uvod	75
Analiza postojećih sistema prednapregnutih betonskih montažnih hala u svijetu i njihove značajke.....	77

Sistem okvira sa zglobnom vezom stuba i glavnog nosača.....	77
Sistem okvira sa krutom vezom stuba i glavnog nosača.....	78
Sistem višestrukog rama sa zglobnom vezom stuba i glavnog nosača...	79
Sistem višestrukog rama sa krutom vezom stuba i glavnog nosača.....	80
Sistem višestrukog rama sa gerberovim krovnim nosačima.....	81
Sistem okvira sa zglobnom vezom stubova i temelja i zglobom u sredini prečke	82
Sistem višestrukog rama sa zglobnim vezama kosih prečki na stubove sa konzolama	83
Sistem Šedovog krova kao montažne konstrukcije	83
Sistem spratnih konstrukcija sa neprekinutim stubovima i kombinacijom zglobne i krute veze sa stubovima	84

Sistem spratnih konstrukcija sa zglobnim vezama sa stubovima	85
Montažna konstrukcija sa punim lučnim glavnim nosačem.....	86
Montažna konstrukcija sa rešetkastim lučnim glavnim nosačima.....	87
 Teoretske postavke	89
 Osnovne postavke optimalnosti projektnih rješenja montažnih hala	89
Optimalizacija projektnih rješenja primjenom montažnog načina gradnje	90
Optimalizacija povoljnim odabirom montažnog sistema.....	92
Optimalizacija montažnih hala primjenom prednapregnutog betona.....	93
Optimalizacija prednapregnutih glavnih nosača sa aspekta položaja i vođenja kablova duž nosača.....	95
Optimalizacija glavnog nosača sa obzirom na vrstu prednaprezanja.....	97
Optimalizacija načinom prednaprezanja	99
Optimalizacija prednapregnutih hala primjenom kvalitetnih materijala za izradu prednapregnutih elemenata	102
Optimalizacija prednapregnutog glavnog nosača primjenom kvalitetnih sistema za prednaprezanje	104
Optimalizacija tehnološkog postupka proizvodnje prednapregnutih nosača kod projektovanja montažnih hala	105
Optimalizacija projektnih rješenja prednapregnutih hala proračunom.	106
Granično stanje nosivosti	106
Granično stanje upotrebljivosti	106
 Uticaj napona, pukotina i deformacija na trajnost i životni vijek konstrukcije	109
 Metode održavanja konstrukcije sa ciljem sprječavanja smanjenja trajnosti	109
Pristupi projektovanju trajnosti konstrukcija.....	110
Trajinost prednapregnutih betonskih montažnih hala	117
 Primjena EC 2 u proračunu graničnih stanja upotrebljivosti betonskih konstrukcija.....	119
 Granično stanje nosivosti (Ultimate Limit State – ULS).....	119
Granično stanje upotrebljivosti (Serviceability Limit State – SLS)....	123
 Proračun karakterističnih tipova montažnih betonskih hala	127
Analiza montažne hale sa A krovnim nosačem - projektno rješenje 1.	134

Analiza montažne hale sa krovnim nosačem <i>I-140</i>	
- projektno rješenje 2	137
Postupak proračuna.....	140
 Komparativna analiza rezultata proračuna.....	143
 Rezultati proračuna za <i>A</i> glavni krovni nosač (projektno rješenje 1) ..	144
Narezanje betona na gornjoj zoni	144
Narezanje betona na donjoj zoni	146
Narezanje u armaturnom čeliku	148
Narezanje u čeliku za prednaprezanje	150
Širina pukotine	152
Progib	154
Odabir optimalnog <i>A</i> nosača.....	156
 Rezultati proračuna za <i>I – 140</i> glavni krovni nosač (projektno rješenje 2)	158
Narezanje betona na gornjoj zoni	158
Narezanje betona na donjoj zoni	160
Narezanje u armaturnom čeliku	162
Narezanje u čeliku za prednaprezanje	164
Širina pukotine	166
Progib	168
Odabir optimalnog <i>I-140</i> nosača.....	170
 Komentari rezultata proračuna.....	172
Potrebni broj kablova za prednaprezanje	174
 Ekonomска analiza troškova	177
Zaključak	183
Literatura.....	187
 STUDIJA 3 – PRIMJENA CPR 305/2011 NA BETONSKE PREFABRIKOVANE ELEMENTE	193
 Popis slika.....	194
Popis tabela	195
Uvod	197
CE oznaka – Pasoš za građevinske proizvode.....	199

Značaj kvaliteta građevinskih proizvoda	215
Opis proizvoda.....	227
Temeljne stope sa čašom	228
Armiranobetonske temeljne grede	228
Armiranobetonski stubovi sa proširenom glavom	229
Međuspratni nosači	230
Krovni TL nosači	231
Krovni TU nosači.....	231
Krovni nosači	231
Sekundarni nosači	232
Krovni TA nosači.....	232
Međuspratne Π – ploče	233
Međuspratne omnia – ploče	233
Postavljanje CE oznake na betonske prefabrikovane elemente proizvođača u Bosni i Hercegovini	235
Zaključak	253
Literatura.....	255

PREDGOVOR

Pred Vama se nalazi knjiga "Studije o betonu 2015-2016". U sebi sadrži tri studije iz oblasti betona i betonskih konstrukcija iz naznačenog perioda. Namjera je da ovo bude samo prva knjiga iz serije studija o betonu i betonskim konstrukcijama, koje predstavljaju istraživanja koja se trenutno rade ili će se raditi u vremenu ispred nas iz ove naučne oblasti.

Prva studija nosi naslov „Šta je to beton, pojam, vrste, historija, prednosti i nedostaci i klasifikacija prema evropskim standardima“. Od koristi je prvenstveno studentima građevinskih i arhitektonskih fakulteta u objašnjavanju osnovnih pojmoveva iz oblasti betona, tehnologije betona i betonskih konstrukcija. Dozvolite da naglasimo, da praktično u našoj izdavačkoj praksi ne postoji ovako sveobuhvatno predstavljena historija betona i betonskih konstrukcija, kao što je to slučaj u ovoj studiji. Takođe su u studiji date najnovije evropske klasifikacije betona shodno najnovijem Evropskom standardu EN 206:2013, koji je preuzet i u Bosni i Hercegovini kao BAS EN 206:2014, pa u tom smislu je studija od koristi i inženjerima u praksi, koji uglavnom nisu upoznati sa najnovijim evropskim klasifikacijama betona, posebno što praktično vrlo malo materijala ima iz ove oblasti na jezicima naroda u Bosni Hercegovini. U studiji se daje i pregled najnovijih evropskih standarda koji tretiraju beton kao materijal i projektovanje betonskih i drugih nosivih konstrukcija sa naznačenim međuzavisnostima između ovih standarda.

Druga studija u ovoj knjizi je „Optimalizacija projektnih rješenja prednapregnutih betonskih montažnih hala sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti“. Naime, pitanja upotrebljivosti i trajnosti betonskih konstrukcija općenito se i praktično proračunski razmatraju u istoj ravni sa graničnim stanjem nosivosti tek sa pojavom eurokodova, odnosno Eurokoda 2, koji tretira projektovanje betonskih konstrukcija. Analiza prezentirana u ovoj studiji je dovela do validnih zaključaka kada su u pitanju glavni prednapregnuti vezači montažnih betonskih hala. Izbor adekvatnih glavnih nosača, pitanja njihove upotrebljivosti i trajnosti sa proračunskim postupcima su sveobuhvatno tretirani u ovoj studiji. Studija će naći svoju čitalačku publiku kod inženjera projektanata prednapregnutih konstrukcija, inženjera zaposlenih u industriji prefabriciranih montažnih elemenata i studenata na predmetima iz oblasti betonskih prednapregnutih konstrukcija i montažnih konstrukcija.

Bosna i Hercegovina ima relativno dobro razvijenu proizvodnju montažnih prefabriciranih betonskih objekata, čiji su kapaciteti znatno iznad raspoložive potražnje na domaćem tržištu. U tom smislu, izvoz prefabriciranih elemenata i konstrukcija, pogotovo na tržište Evropske Unije predstavlja razvojnu šansu ove industrije. Međutim da bi se ova vrsta proizvoda našla na tržištu Evropske Unije,

potrebno je ispoštovati odredbe Evropske Regulative o građevinskim proizvodima CPR 305/2011 i dobiti CE znak. Politika kvaliteta upravljanja i proizvoda predstavlja nezaobilaznu kariku u tom procesu. U tom smislu, treća studija iz ove knjige „Primjena CPR 305/2011 na betonske prefabrikovane elemente“ predstavlja vrlo aktuelnu temu za industriju betonskih prefabrikovanih konstrukcija u zemlji, ali i u zemljama regije koje nisu dio Evropske Unije. Poslužiće prvenstveno stručnjacima i inženjerima iz industrije prefabrikovanih elemenata, kao i njihovim upravnim strukturama.

Svaka od studija je opremljena posebnim popisom slika, popisom tabela i literaturnim izvorima.

Koristimo ovu priliku da se zahvalimo recenzentima na konstruktivnim primjedbama i sugestijama, kolegi Omaru Kapetanoviću za izradu jednog broja autentičnih slika, Elmiru Halebiću za dizajn korica knjige, te svima koji su na bilo koji način doprinijeli da ova naša istraživanja budu objavljena i prezentirana naučnoj i stručnoj javnosti na zajedničko zadovoljstvo.

Autori

STUDIJA 1

ŠTA JE TO BETON – POJAM, VRSTE, HISTORIJA, PREDNOSTI, NEDOSTACI, I KLASIFIKACIJA PREMA EVROPSKIM STANDARDIMA

Sanin Džidić

POPIS SLIKA

<i>Slika 1 - Svježa betonska masa [40]</i>	19
<i>Slika 2 - Agregat za beton [36]</i>	19
<i>Slika 3 - Cement [24]</i>	20
<i>Slika 4 - Različita pakovanja aditiva</i>	20
<i>Slika 5 - Principi ponašanja nearmiranih i armiranih betonskih konstrukcija</i>	21
<i>Slika 6 - Armiranobetonska greda [25]</i>	22
<i>Slika 7 - Osnovni princip prednaprezanja betonskog elementa</i>	22
<i>Slika 8 - Dijagrami napona u poprečnom presjeku pri prednaprezanju</i>	23
<i>Slika 9 - Prefabricirane prednapregnute II – ploče [33]</i>	24
<i>Slika 10 - Staza za prethodno prednaprezanje [39]</i>	24
<i>Slika 11 - Faze prethodnog prednaprezanja</i>	25
<i>Slika 12 - Faze naknadnog prednaprezanja</i>	25
<i>Slika 13 - Hidraulična presa za naknadno prednaprezanje</i>	26
<i>Slika 14 - Različite vrste kotvi za prednapregnute konstrukcije</i>	26
<i>Slika 15 - Užad i kablovi za prednaprezanje sa spojem</i>	27
<i>Slika 16 - Kablovi za prednaprezanje bez spoja</i>	27
<i>Slika 17 - Različite vrste vlakana za MAB</i>	28
<i>Slika 18 - Torkretiranje kosine [22]</i>	30
<i>Slika 19 - Elementi spregnute konstrukcije [37]</i>	31
<i>Slika 20 - Naponi pritiska i zatezanja u spregnutom elementu [28]</i>	31
<i>Slika 21 - Drevni Nabatejski objekat [6]</i>	33
<i>Slika 22 - Mural u Tebi (Thebes) [11]</i>	34
<i>Slika 23 - Rimski zidovi [35]</i>	35
<i>Slika 24 - Rimski Pantheon [35]</i>	36
<i>Slika 25 - Svetionik Eddystone, Cornwall, Engleska [6]</i>	37
<i>Slika 26 - Prvi most od nearmiranog betona u Souillac-u [29]</i>	38
<i>Slika 27 - Crtež rotacione peći za cement Thomasa A. Edisona [26]</i>	38
<i>Slika 28 - Rotaciona peć za cement</i>	39
<i>Slika 29 - Čamac Joseph-Louis Lambot-a [41]</i>	39
<i>Slika 30 - Joseph Monier i patent posuda za cvijeće [27]</i>	40
<i>Slika 31 - Prvi most u armiranom betonu Castle of Chazelet [34]</i>	40
<i>Slika 32 - Word's Castle, prva armiranobetonska kuća u SAD [23]</i>	40
<i>Slika 33 - The Ingalls Building, Cincinnati, Ohio, SAD [38]</i>	41
<i>Slika 34 - Most Risorgimento u Rimu [30]</i>	42
<i>Slika 35 - Hangar na aerodromu Orly [10]</i>	42
<i>Slika 36 - Pier Luigi Nervi i njegovi objekti [32]</i>	43
<i>Slika 37 - The Burj Khalifa, Dubai, UAE [31]</i>	43
<i>Slika 38 - Organizacija eurokodova [28]</i>	50

<i>Slika 39 - Međusobni odnosi evropskih standarda za beton [21].....</i>	53
<i>Slika 40 - Uticaj vanjskih djelovanja na korziju armature [16]</i>	59
<i>Slika 41 - Primjeri efekata agresivne sredine na betonske konstrukcije [16]</i>	59
<i>Slika 42 - Različite klase izloženosti betonskih elemenata stambenog objekta [14] .</i>	63
<i>Slika 43 - Različite klase izloženosti betonskih elemenata kod različitih objekata [8].....</i>	64

POPIS TABELA

<i>Tabela 1 - Podjela betona na osnovu čvrstoće na pritisak.....</i>	27
<i>Tabela 2 - Podjela betona prema gustini [21].....</i>	54
<i>Tabela 3 - Podjela lakih betona prema gustini [21].....</i>	54
<i>Tabela 4 - Klase čvrstoće betona [21].....</i>	55
<i>Tabela 5 - Klase čvrstoće za laki beton [21]</i>	56
<i>Tabela 6 - Klase konzistencije prema slijeganju (slump test) [21].....</i>	57
<i>Tabela 7 - Klase konzistencije prema stepenu zbijenosti [21]</i>	57
<i>Tabela 8 - Klase konzistencije prema rasprostiranju [21]</i>	58
<i>Tabela 9 - Klase konzistencije za samozbijajući beton prema viskoznosti [21]</i>	58
<i>Tabela 10 - Klase izloženosti betonskih konstrukcija [21]</i>	60

ŠTA JE TO BETON?

Beton je vještački kamen, odnosno kompozitni material, proizведен vještačkim putem, koji je sastavljen od najmanje tri komponente i to: agregata, cementa i vode. U ovoj smjesi, agregat ima ulogu punila, cement vezivnog sredstva, a voda omogućava hemijsku reakciju cementa. Bez bilo koje od ove tri komponente nema betona.



Slika 1 – Svježa betonska masa [40]

Pod nazivom agregat podrazumjeva se zrnasti nevezani materijal koji može biti prirodnog porijekla (npr. pjesak, šljunak) ili vještačkog porijekla (npr. šljaka iz visokih peći), različitih oblika i veličine zrna.



Slika 2 – Agregat za beton [36]

Cement je hidrauličko vezivo koje se stvrđnjava u hemijskoj reakciji sa vodom, kao i na zraku, te u sadejstvu sa vodom ili vlagom iz zraka. Bez te hemijske reakcije, mješavina agregata i cementa bi ostala samo rasuta masa, pa se zato kaže da cement ima ulogu veziva u betonu.

U mješavinu betona se iz specifičnih razloga (npr. visoke ili niske temperature na mjestu ugradnje betona, ugradljivost itd.) mogu takođe dodati aditivi ili dodaci betonu koji se svrstavaju u aerante, akceleratore ili retardere vezivanja, plastifikatore,

superplastifikatore, zaptivače itd, kako bi se za vrijeme pripreme, ugradnje ili njege betona postigle određene specifične osobine betona.



Slika 3 – Cement [24]



Slika 4 – Različita pakovanja aditiva

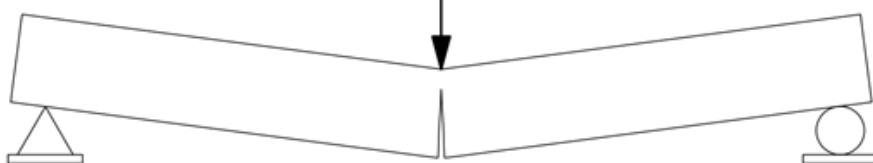
Najpoznatije svojstvo koje karakteriše beton je njegova iznimna čvrstoća na pritisak. Međutim jedan od osnovnih nedostataka betona je njegova čvrstoća na zatezanje, koja iznosi svega 8 –15% čvrstoće na pritisak. To u konačnici znači da betonski element ne može primiti značajne napone zatezanja izazvane direktno silom zatezanja ili indirektno kao posljedica momenta savijanja (koji se javljaju kod zatega, ravnih rasponskih elemenata i ekcentrično opterećenih stubova). Naime, kada naponi zatezanja u betonu dostignu čvrstoću betona na zatezanje, nastaje prsline u zategnutoj zoni betona, čime se poprečni presjek betonskog elementa reducira samo na pritisnuti dio presjeka, a napone zatezanja (zbog prsline) beton ne može primiti, čime dolazi do neravnoteže presječnih sila u poprečnom presjeku i betonski element otkazuje (vidi *Sliku 5.a*).

Međutim, ukoliko u zategnutoj zoni betona, postavimo adekvatno sredstvo, koje može preuzeti sile zatezenja u betonu nakon nastanka prsline u betonu, kao što je čelična armatura (koja podjednako dobro podnosi naprezanja na pritisak i na zatezanje), onda će ta armatura u trenutku nastanka prsline preuzeti silu zatezanja i uspostaviti ravnotežu sila u poprečnom presjeku, te će element zadržati svoju nosivu funkciju (vidi *Sliku 5.b*).

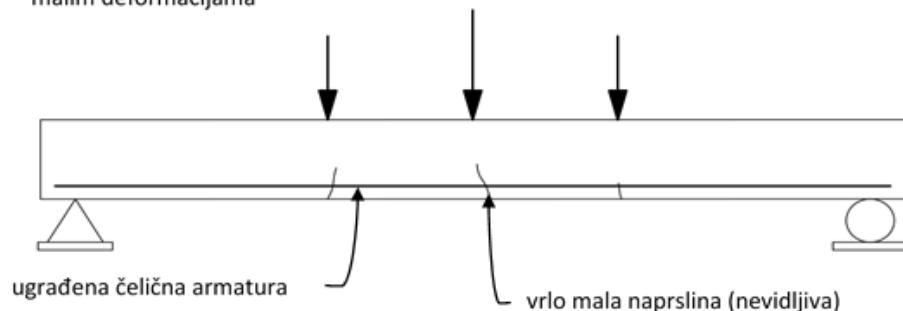
Time dolazimo do pojma armiranog betona, pod kojim podrazumjevamo da je u zategnutoj zoni betona postavljena čelična armatura čija je osnovna funkcija preuzimanje sila zatezanja. Pri tome, treba napomenuti da se čelična armatura koja, kako je ranije navedeno podjednako dobro podnosi naprezanja na pritisak i na zatezanje, može koristiti i za ojačanje pritisnute zone betona.

U tom smislu, beton bez armature naziva se nearmirani beton i služi za izradu pritisnutih elemenata ili elemenata sa zanemarljivim zatežućim naprezanjem.

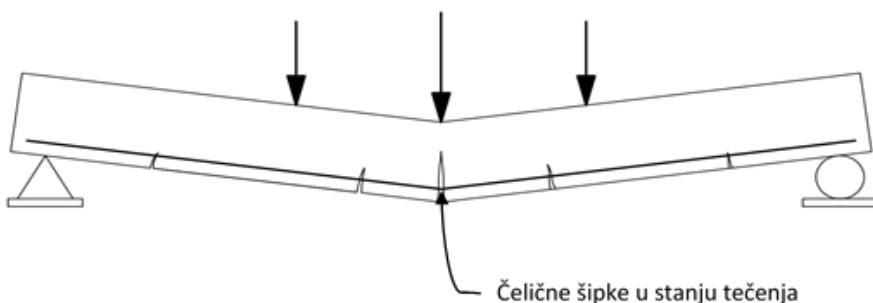
a) Nearmirana betonska greda otkazuje zbog zatezanja pri savijanju pri malom opterećenju



b) Armirano-betonska greda nosi opterećenje sa prihvatljivo malim deformacijama

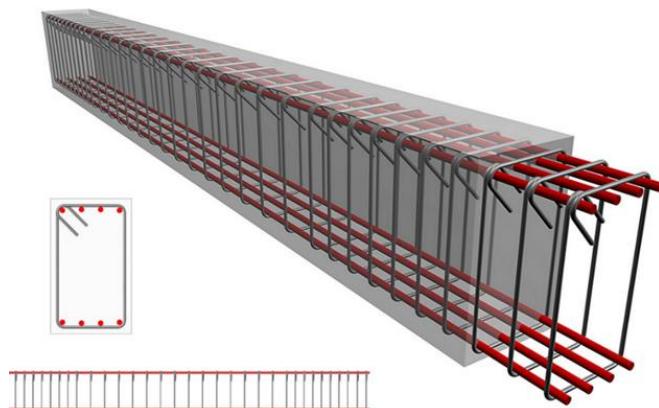


c) Duktilni lom pri graničnom opterećenju



Slika 5 – Principi ponašanja nearmiranih i armiranih betonskih konstrukcija

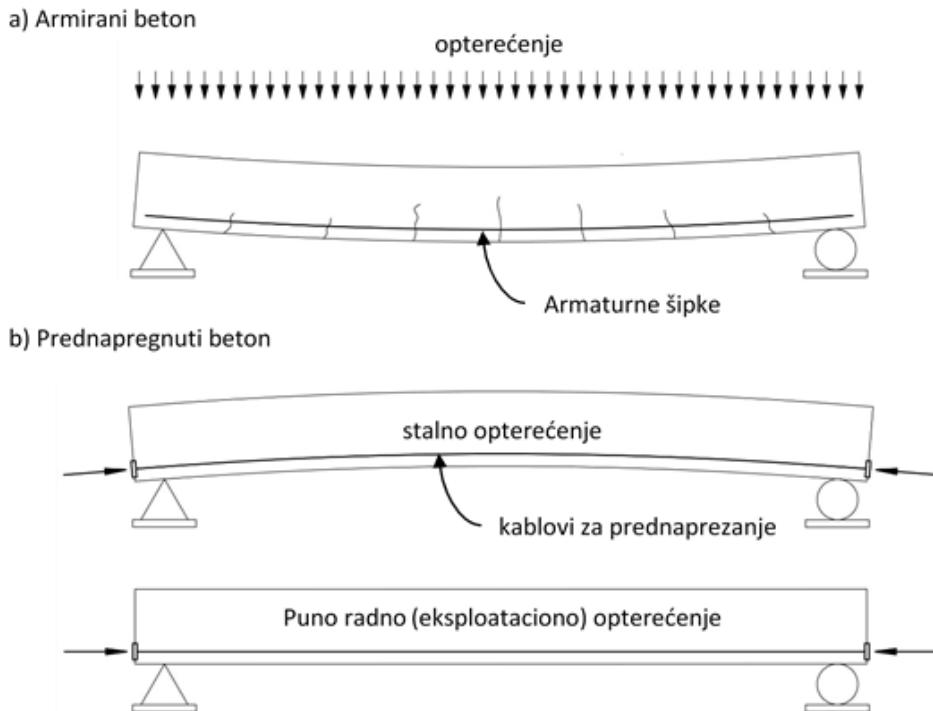
Kod razmatranja loma nearmiranog betona, ustanovljeno je da do loma dolazi iscrpljivanjem čvrstoće na zatezanje betona. Kad su u pitanju betonski elementi izloženi savijanju, takođe dolazi do otkazivanja elementa zbog dostizanja čvrstoće na zatezanje, dok naponi pritiska u betonu nisu ni blizu čvrstoće na pritisak. Dakle, do otkazivanja elementa dolazi zbog iscrpljivanja čvrstoće na zatezanje, dok čvrstoća na pritisak nije ni izbliza iskorištena.



Slika 6 – Armiranobetonska greda [25]

U tom smislu, je razvijen i drugi koncept razvoja betonskih konstrukcija u smislu savladavanja problema sa preuzimanjem zatežućih naponi kod betonskih konstrukcija kroz razvoj prednapregnutog betona.

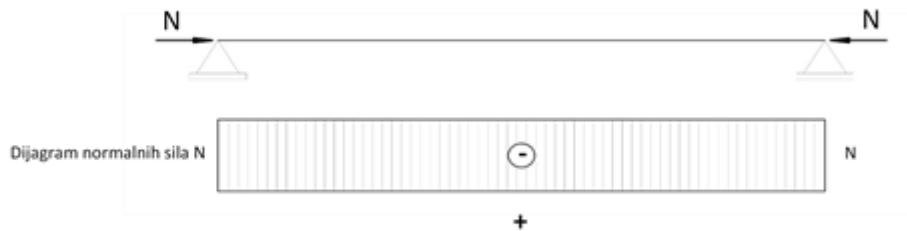
Naime, taj koncept se ogleda u eliminaciji zatežućih naponi, na način da se u presjek putem kablova za prednaprezanje (izrađenih od visokovrijednog čelika) unosi sila pritiska, prije apliciranja radnog opterećenja.



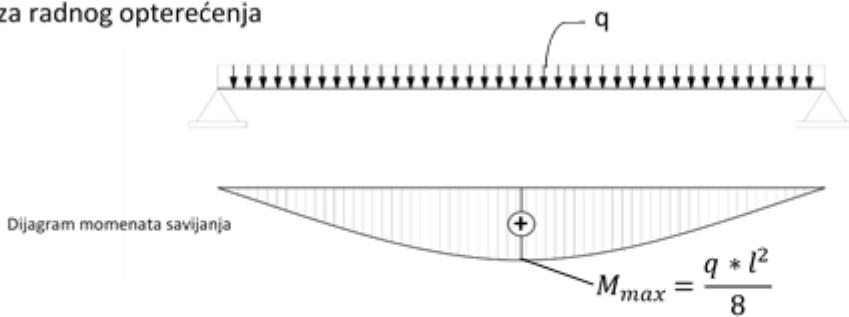
Slika 7 – Osnovni princip prednaprezanja betonskog elementa

Kao posljedicu prednaprezanja, element dobija kontra-ugib (vidi *Sliku 7*). Apliciranjem radnog opterećenja, sila pritiska se povećava, a zona zatezanja se eliminira, čime se cijeli presjek nalazi u stanju pritiska, što omogućava stvaranje betonskog presjeka bez naprslina i ekonomičnije poprečne presjeke (vidi *Sliku 8*).

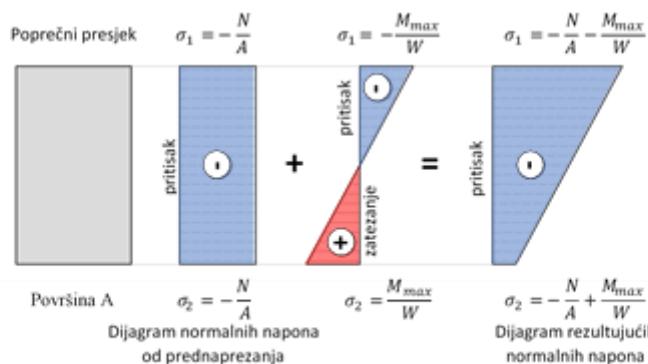
Faza prednaprezanja



Faza radnog opterećenja



Dijagram normalnih napona od radnog opterećenja



Slika 8 – Dijagrami napona u poprečnom presjeku pri prednaprezanju



Slika 9 – Prefabricirane prednapregnute Π – ploče [33]

U principu, postoje dvije vrste prednaprezanja kao postupka kojim se unosi sila pritiska u betonske elemente, a to su prethodno prednaprezanje i naknadno prednaprezanje.

Kod prethodnog prednaprezanja se kablovi za prednaprezanje od visokovrijednog čelika zatežu na stazi za prednaprezanje putem presa (vidi Sliku 10), pa se tek onda vrši betoniranje elemenata.



Slika 10 – Staza za prethodno prednaprezanje [39]

Kada beton dostigne predviđenu čvrstoću na pritisak, kablovi se otpuštaju i sila pritiska se atvezijom između betona i čeličnih kablova unosi u element (vidi Sliku 11).

Drugi način je naknadno prednaprezanje. Karakteristično za ovaj postupak je da se prvo izbetoniraju elementi sa ostavljenim cijevima u tijelu betona za prolazak kablova za prednaprezanje (vidi Sliku 12a).

a) zatezanje čelika za prednaprezanje



b) betoniranje



c) prenošenje prednaprezanja u betonski element



Slika 11 – Faze prethodnog prednaprezanja

a) betoniranje



b) prednaprezanje kablova



Slika 12 – Faze naknadnog prednaprezanja

Kada beton dostigne predviđenu čvrstoću na pritisak, čelična užad za prednaprezanje se provuku kroz ostavljene cijevi. Zatim se sa jedne strane učvršćuju putem fiksne kotve, a na drugoj strani se vrši prednaprezanje putem hidraulične prese (vidi Sliku 13).



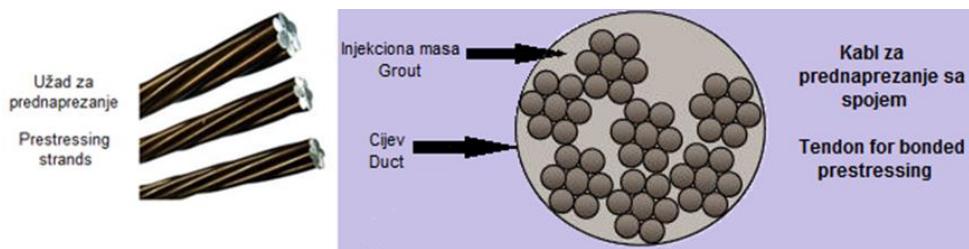
Slika 13 – Hidraulična presa za naknadno prednaprezanje

Nakon dostizanja prethodno proračunate sile prednaprezanja, kablovi se takođe kotve sa druge strane, čime se unosi sila prednaprezanja u element.



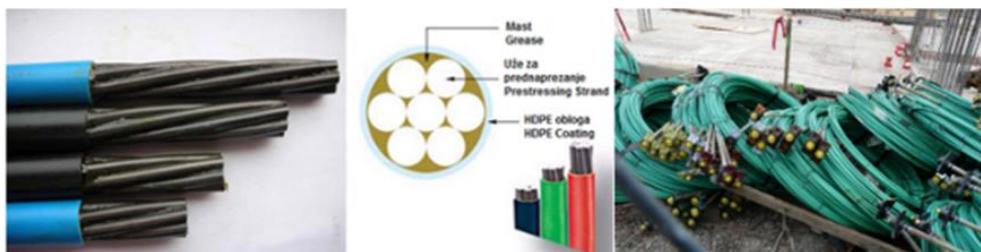
Slika 14 – Različite vrste kotvi za prednapregnute konstrukcije

Zavisno od vrste kablova za prednaprezanje, naknadno prednaprezanje može biti sa spojem i bez spoja. Kod prednaprezanja sa spojem, prostor između cijevi i užadi se zapunjava upumpavanjem injekcione smješte na bazi cementnog maltera visoke čvrstoće, koja uspostavlja atheziju između užadi i cijevi i čini kablove nepomjerljivim.



Slika 15 – Užad i kablovi za prednaprezanje sa spojem

Kod naknadnog prednaprezanja bez spoja, prostor između čelika za prednaprezanje i cijevi zapunjen je mašću, te omogućava pomjeranje čelične užadi u cijevima ali i osigurava antikorozivnu zaštitu čelika.



Slika 16 – Kablovi za prednaprezanje bez spoja

Radi izbjegavanja pogrešnog tumačenja pojma betonske konstrukcije, neophodno je istaći da novi koncept evropskih propisa (Eurokodovi), koji predstavlja najnoviji set evropskih standarda u oblasti graditeljstva i građevinskih radova, pod pojmom betonske konstrukcije podrazumjeva konstrukcije od nearmiranog betona, armiranobetonske konstrukcije i prednapregnute konstrukcije.

U novije vrijeme, pogotovo kod gradnje visokih objekata, sve se više primjenjuje beton visoke čvrstoće.

Tabela 1 – Podjela betona na osnovu čvrstoće na pritisak

Beton normalne čvrstoće Normal Strength Concrete	20-50 MPa
Beton visoke čvrstoće High Strength Concrete	50-100 MPa
Beton ultra visoke čvrstoće Ultra-High Strength Concrete	100-150 MPa
Posebni beton Especial Concrete	>150 MPa

Postoji više definicija šta je beton visoke čvrstoće. Smatra se da je beton visoke čvrstoće beton sa čvrstoćom na pritisak 50-100 MPa, dok se beton sa čvrstoćom na pritisak 100-150 MPa smatra betonom ultra visoke čvrstoće, mada se eksperimentira i sa posebnim betonima visoke čvrstoće sa čvrstoćom na pritisak većom od 150 MPa.

U proizvodnji betona visoke čvrstoće, mora se vrlo pažljivo voditi računa o agregatu i granulometrijskoj krivulji, primjenjenoj vrsti cementa uz smanjenje količine vode (vodenocementnog faktora), čime beton postaje neugradljiv, pa se moraju dodati aditivi kao plastifikatori i superplastifikatori ili silika.

U posljednje vrijeme su takođe razvijena i vlakna koja se dodaju betonskoj mješavini, a u cilju ograničenja širine naprslina u betonu ili poboljšanju karakteristika betona. Dodavanje vlakana betonu ga čini homogenijim i izotropnijim. Naime, kad se naprsline pojave u betonu, vlakna koja su nasumično orientirana u betonskom elementu profunkcioniraju na način da sprečavaju nastanak, razvoj i širenje naprslina, čime poboljšavaju čvrstoću i duktilnost betona.

Izbor vlakana koji će se koristiti za beton varira od sintetičkih do organskih materijala kao što su polipropilenska, poliesterska, karbonska, čelična, staklena ili ceulozna. Koja će se vlakna koristiti zavisi od svojstava vlakana kao što su promjer, gustina, modul elastičnosti, zatezna čvrstoća itd. i koje konkretno svojstvo betona želimo poboljšati. Takvi betoni se zovu mikroarmirani betoni (MAB) ili betoni armirani vlaknima.



Slika 17 – Različite vrste vlakana za MAB

S obzirom na navedena svojstva, betoni armirani čeličnim vlaknima primjenjuju se kod izgradnje kolovoznih konstrukcija, na poletno-sletnim stazama na aerodromima, pri stabilizaciji kosina, u industrijskim podovima, habajućim slojevima, dijelovima hidrotehničkih konstrukcija izloženih abraziji i nepovoljnim klimatskim okolnostima, za zaštitu konstrukcija izloženih visokim temperaturama, udarima, seizmičkim djelovanjima, tankim ljkusama i kupolama, kao i prefabriciranim elementima. U rasponskim konstrukcijama poput greda, ploča i stubova, vlakna se u beton dodaju samo kao dodatni sastojak, koji smanjuje rizik od pojave pukotina, a klasična čelična armatura preuzima zatežuće napone.

Posebnu vrstu betona čine lakoagregatni betoni, koji se proizvode korištenjem laganih poroznih agregata. Mogu se razvrstati u nekoliko podvrsta, jednozrni, keramzitni, betoni od zgure iz visokih peći i betoni s zrnima agregata male gustoće nekog prirodnog ili sintetičkog materijala.

Jednozrni betoni su betoni od kamenog agregata spravljeni s jednom ili dvije krupnije frakcije agregata i malom količinom cementa. Male su čvrstoće, a koriste se kao zamjena slabog tla kod temeljenja, kao podložni betoni, na ravnim krovovima i u druge namjene. Male su gustoće 1500 do 1700 kg/m³ i vrlo su porozni.

Keramzitni betoni proizvode se s agregatom od pečene ekspandirane gline. Odlikuju se niskim koeficijentom provodljivosti toplote. U mješavini sa sitnim kamenim agregatom mogu se dobiti čvrstoće betona na pritisak do 25 MPa. Gustoće su od 1200 do 1800 kg/m³.

U zemljama gdje nema dovoljno kamenog agregata dosta se koriste u izgradnji manjih zgrada. Kod nas je primjena neznatna prvenstveno zbog visoke cijene agregata.

Betoni od zgure iz visokih peći su dosta česti u proizvodnji, jer je zgura (šljaka) otpadni materijal i relativno je jeftina. Ekspandirana zgura je male gustoće od 100 do 200 kg/m³. Betoni od zgure s dodatkom sitnog agregata mogu dostići čvrstoću do 15 MPa, a gustoće su do 1.700 kg/m³. Vrlo su porozni ali posjeduju dobra toplotna izolacijska svojstva.

Osim navedenih proizvode se i betoni s umjetnim ili prirodnim zrnima laganih agregata kao što su zrna od perlita ili polistirena. Koriste se jedino kao toplotno izolacioni materijal.

Plinasti ili gas betoni proizvode se uvođenjem tvari koji u dodiru s cementom i vodom razvijaju gasove, koji u strukturi betona prave sitne mjehuriće. Mogu se samo tvornički proizvoditi jer očvršćavaju pod visokim pritiskom i na visokoj

temperaturi. Gustina im je 650 do 950 kg/m³. Kod nas su dobro poznati pod nazivom „Siporeks“.

Pjenasti betoni mogu se raditi i na gradilištu dodavanjem tvari koje u svježem betonu stvaraju mjehuriće, a u očvrsnom betonu stvaraju čelijastu strukturu. Male su čvrstoće, ali dobrih topotno-izolacionih karakteristika.

Teški betoni proizvode se s teškim agregatom koji mu daje povećanu gustoću. Primjenjuju se isključivo za zaštitu od zračenja u laboratorijima ili zdravstvenim ustanovama, kao i nuklearnim elektranama.

Kao agregat se koristi barit (barij-sulfat) koji ima gustoću oko 4.000 kg/m³ ili željezne rude. Dobijaju se betoni velike gustoće 3000 do 4000 kg/m³.

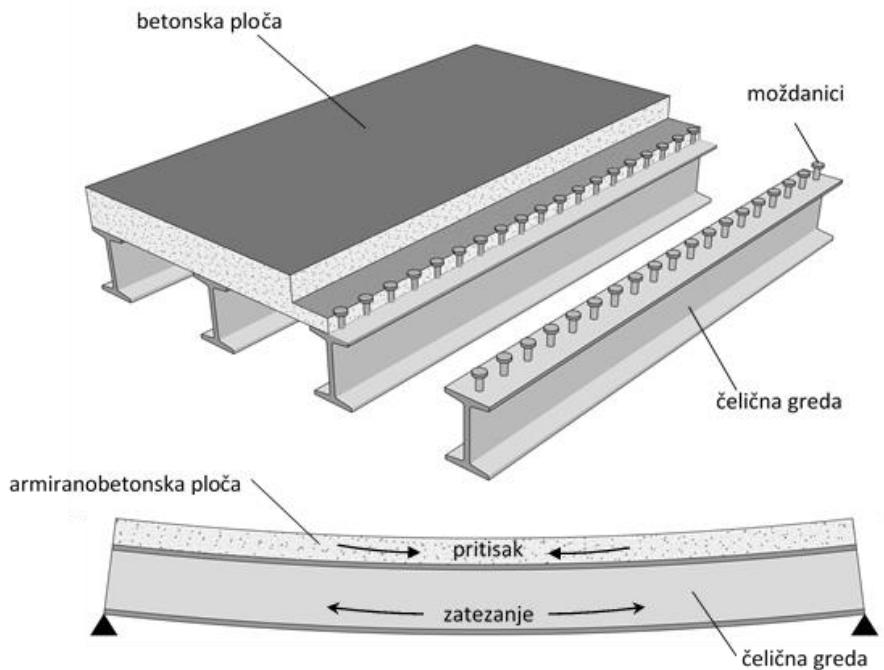
Prskani beton ili torkret-beton ugrađuje se pomoću pumpi sa komprimiranim zrakom. Torkret-beton se često koristi prilikom betoniranja kosih i vertikalnih zemljanih ili kamenih površina, s obzirom da eliminira potrebu za oplatom. Takođe se koristi za ojačavanje stijena, prilikom gradnje tunela, zaštite saobraćajnica od odrona i sl.



Slika 18 – Torkretiranje kosine [22]

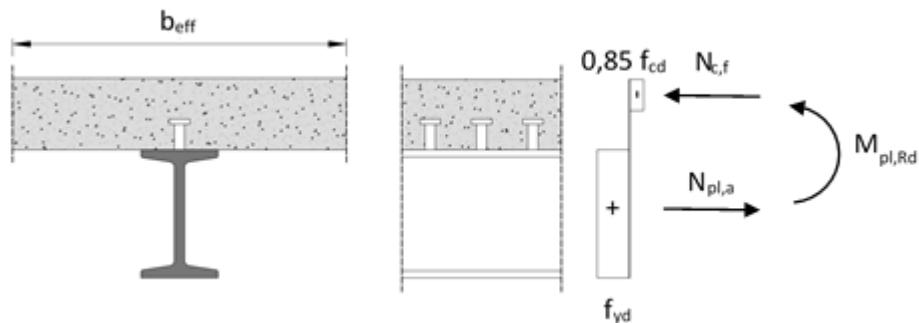
U savremenom graditeljstvu je prisutna još jedna vrsta konstrukcija koja u sebi sadrži beton. To su konstrukcije čiji je poprečni presjek sastavljen od čelične grede preko kojeg je izbetonirana armiranobetonska ploča, a oni su međusobno povezani moždanicima, koji onemogućuju proklizavanje između njih. Moždanicu osiguravaju ponašanje ovakvog poprečnog presjeka kao jedinstvene cijeline pri djelovanju vanjskog momenta savijanja (vidi *Sliku 19*).

Na taj način, beton kao materijal preuzima napone pritiska, čime se iskorištava njegovo najbolje svojstvo, dok se naponi zatezanja povjeravaju čeličnom profilu (vidi *Sliku 20*), te se tako dobija ekonomičan poprečni presjek. Ovakve konstrukcije zovu se spregnute konstrukcije od čelika i betona.



Slika 19 – Elementi spregnute konstrukcije [37]

Ovdje je važno napomenuti da se spregnute konstrukcije ne svrstavaju u betonske konstrukcije, nego se izučavaju kao posebna vrsta konstrukcija.

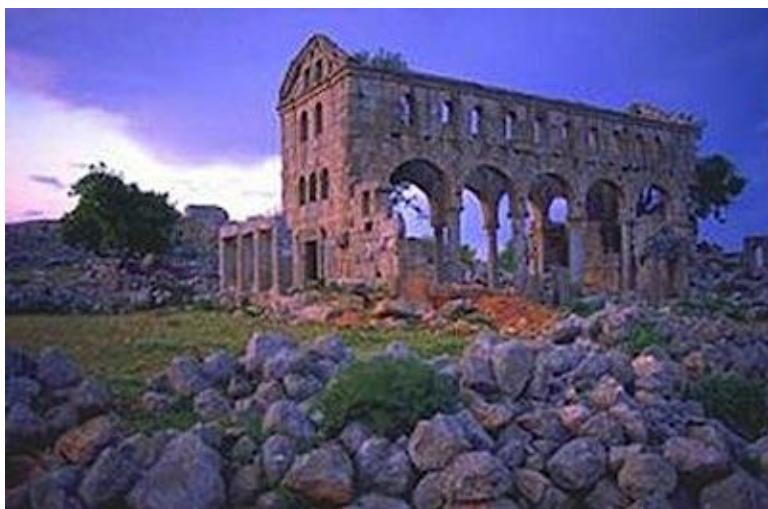


Slika 20 – Naponi pritiska i zatezanja u spregnutom elementu [28]

HISTORIJA BETONA I BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Stari Rimljani se u literaturi smatraju prvim graditeljima koji su koristili beton kao građevinski materijal. Međutim, porijeklo materijala koji nalikuje betonu seže čak puno dalje i ti tragovi su nađeni na području današnje Sirije i Jordana oko 6500 godina prije nove ere. Naime, stanovnici koji su živjeli na tom području u kamenom dobu su pravili ognjišta za grijanje i kuhanje, a emitovana toplota je dovela do žarenja stijena u neposrednom okruženju, tako da je proces proizvodnje kreča kao vezivnog sredstva otkriven sasvim slučajno.

Prve objekte, su koristeći malter, odnosno beton, sve do 700 godine prije nove ere „...(razlika između maltera i betona je uglavnom u krupnoći zrna agregata)“ [13] gradili Nabatejski trgovci i beduini na tom području, te gradili peći kako bi proizveli vezivno sredstvo za malter za izgradnju zidova kuća i podova od lokalnog kamenog materijala, pa čak i vodonepropusne rezervoare za vodu, što je bio i preduvjet njihovog opstanka u pustinjskom okruženju unutar oaza, a to su u Nabatejskom kraljevstvu čuvali kao tajnu.



Slika 21 – Drevni Nabatejski objekat [6]

Bili su takođe svjesni tehnoloških aspekata proizvodnje, optimalnog omjera vode i vezivnog sredstva, te potrebe nabijanja ovog vezivnog materijala kako bi smanjili pore i šupljine i time povećali njegovu čvrstoću.

Najstariji nalazi betona u Evropi datiraju iz perioda oko 5600 godine prije nove ere na području bivše Jugoslavije u dolini rijeke Dunav, gdje su pronađeni ostaci betonskih podova, debljine 25 cm preko podlage od rasplavljenog krečnjaka na mjestima nekadašnjih koliba.

U Kineskoj provinciji Gansu, su pronađeni artefakti betona zelenkasto-crne boje spravljenog od cementa pomiješanog sa pijeskom, slomljenim dijelovima grnčarije, kostiju i vode, koji je upotrebljen za izradu podova prije 5000 godina. Neku formu cementa su Kinezi u to doba koristili za izgradnju čamaca, kao i za gradnju Kineskog zida. Dokazano je putem spektrometara, da je ključni sastojak za izradu maltera kod Kineskog zida i drugih drevnih konstrukcija u Kini u to doba bio gluten iz riže. Neke od ovih konstrukcija i danas odolijevaju zubu vremena.

Stari Egipćani su 3000 godina prije nove ere počeli sa proizvodnjom blokova od blata armiranih slamom, što je materijal bliži nepečenoj cigli, nego betonu, ali su definitivno koristili gipsani i krečni malter kod izgradnje Velike piramide u Gizi, koji je korišten kao podloga vidljive kamene obloge završene piramide. U tu svrhu je proizvedeno oko pola miliona tona takvog maltera. U prilog tome govori i mural na zidu u Tebi (Thebes), koji je bio grad egipatskog boga Amona, a ujedno i glavni grad Egipta tokom Srednjeg i Novog kraljevstva, gdje se na gornjem dijelu murala vidi kako radnici pune zemljane čupove s vodom, koja se onda miješa sa krečom, da bi se dobio malter. Ispod se vide radovi na izgradnji kamene obloge sa tim malterom (Vidi *Sliku 22*)

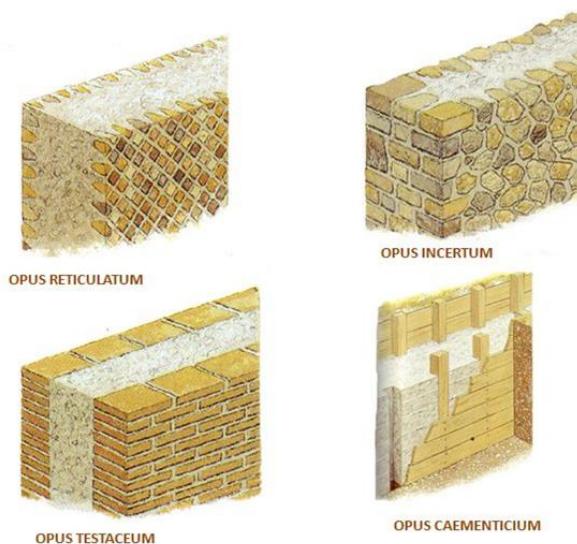


Slika 22 – Mural u Tebi (Thebes) [11]

Oko 600 godine prije nove ere, Stari Grci su otkrili prirodni pucolan na otoku Santorini, koje je imao hidraulička svojstva kada se pomiješa sa krečom. To je omogućilo izradu betona koji bi se stvrdnjavao pod vodom i na zraku. Grci su koristili ovu mješavinu za zaštitu zidova od nepečene cigle. Oni su takođe pravili i pseudobeton koji se sastojao od grubo lomljenog kamena sa malterom od kreča i pijeska, ali je njegova čvrstoća bila slaba da bi se koristila za izgradnju ozbiljnijih objekata.

Prvi primjeri primjene betona u Rimskom carstvu datiraju iz 300. godine prije nove ere. Rimljani su mu dali i ime koje dolazi iz Latinskog jezika – „concretus“ (izraz na engleskom jeziku za beton je concrete), što znači složen, odnosno sastavljen iz više dijelova. Međutim taj beton nije nalikovao betonu koji danas koristimo. U svojoj knjizi, „Armirani Beton 1“, Prof. dr. Ismet V. Tahirović navodi sljedeće:

„Smatra se da su Rimljani prvi put upotrijebili beton za temelje hramova Concordia i Castora 121 i 117 godine prije naše ere. Rimljani su upotrebljavali beton za izvođenje zidova, koje su nazivali opus caementicium. Ovi zidovi su se radili na taj način što su se na oba lica postavljali kameni blokovi, a međuprostor se ispunjavao lomljenim kamenom i lomljenim pločama od pečene gline koje su oni nazivali caementa. Zatim je svaki sloj zalijevan krečnim malterom, tako da on ispuni međuprostor. Kasnije, umjesto kamenih blokova, lice zida se sastojalo od malih kamenih komada, što je često zahtijevalo i primjenu oplate. Ovakva vrsta zida nazivana je opus incertum, od kojeg se razlikuje zid pod nazivom opus reticulum, kod koga se na licu zida kameni blokovi, čija čela su kvadratnog oblika, a postavljena pod kutem od 45 stepeni prema pravcu protezanja slojeva (horizontali). Ova vrsta zida je bila u primjeni oko 150 godina. Od prvog stoljeća prije naše ere sve do kraja Zapadnog Rimskog Carstva u upotrebi su bili zidovi nazvani opus testaceum, kod kojih je na licu zida, umjesto kamena bila opeka. Zidovi kod kojih su na licu zida bili i kameni blokovi i opeke nazivani su opus mixtum.“ [13]



Slika 23 – Rimski zidovi [35]

Oko 75 godine prije naše ere, Rimljani su razvili beton spravljen sa pucolanskim hidrauličnim cementom koji je bio mješavina kreča i vulkanskog pepela, a u sebi je sadržavao silicijum i aluminijum, a porijeklo mu je bilo blizu Puzzolia u Italiji, pa je na osnovu toga dobio ime pucolanski cement. Ovakva vrsta betona se koristila za izgradnju Koloseuma koji je izgrađen 82. godine nove ere kao i Rimskih kupatila.

Marcus Vitruvius Pollio (80. godine p.n.e – 15. godine n.e), pisac, arhitekt i inženjer Imperatora Augusta [Gaj Julije Cezar Oktavijan, (lat. Gaius Julius Caesar Octavianus)] je napisao deset knjiga o arhitekturi i graditeljstvu “De Architectvra” i u drugoj knjizi u šestom poglavlju navodi:

„Est etiam genus pulveris quod efficit naturaliter res admirandas. Nascitur in regionibus Baianis et in agris municipiorum quae sunt circa Vesuvium montem. Quod commixtum cum calce et efficit naturaliter res admirandas. Nascitur in regionibus Quod commixtum cum calce et caemento non modo ceteris aedificiis caemento non modo ceteris aedificiis praestat firmitatem, sed etiam moles cum struuntur in mari, sub aqua solidescunt.” [15]

odnosno u prevodu:

„Postoji vrsta praha koja po svojoj prirodi daje odlične rezultate. Pronalazi se u okolini Baie na teritoriji općina oko planine Vezuv. Kada se ova materija pomiješa sa krećom i drobinom, ne samo da ojačava zgrade i ruševine, nego se stvrđnjava i u vodi kada su oslonci objekata izgrađeni u moru.”

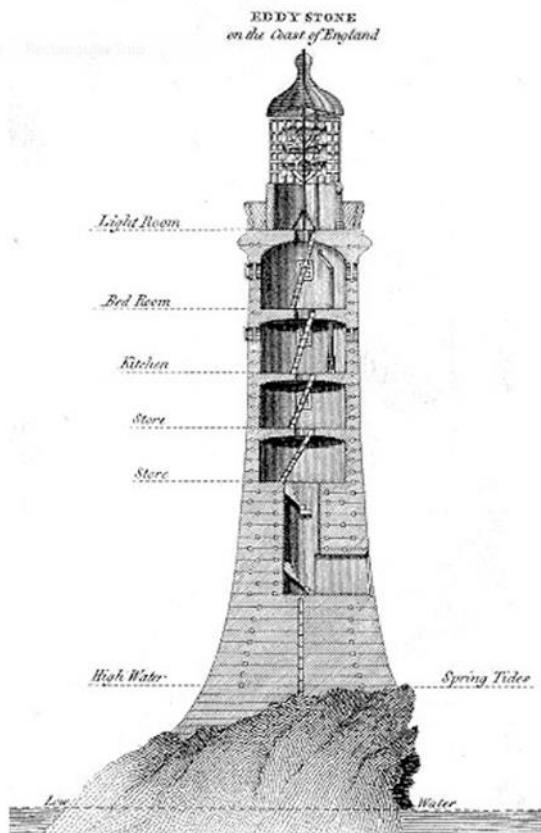
Ova vrsta betona je korištena i za izradu svodova i kupola, sa čije donje strane se obično vidi opeka, a u stvari se radi o betonskoj kupoli, dok je opeka predstavljala izgubljenu oplatu za svjež beton. Vjerovatno najpoznatiji objekat sa betonskom kupolom prečnika 46.5 m, izgrađen u ovo doba je Rimski Panteon, koji je završen 128. godine za vrijeme vladavine imperatora Hadriana. Ovaj objekat i danas ponosno stoji kao svjedočanstvo historije arhitekture i graditeljstva.



Slika 24 – Rimski Pantheon [35]

Nakon pada Rimskog carstva 476. godine i ulaskom u Srednji vijek, tehnologija izrade i primjene betona je praktično stala, a tehnike pripreme pučolanskog cementa su praktično izgubljene sve do 1414. godine do otkrića rukopisa koji ponovo pobudjuju zanimanje za beton.

Tek 1759. godine, John Smeaton je uspio proizvesti hidraulični cement zadovoljavajuće kvalitete kako bi povezao kamene blokove za rekonstrukciju svjetionika Eddystone Lighthouse u Cornwall-u u Engleskoj. Nakon eksperimentiranja sa materijalima iz Evrope i Britanskog ostrva, uspio je koristeći krečnjak iz Južnog Welsa i italijanski pučolan iz Civitavecchia.



Slika 25 - Svjetionik Eddystone, Cornwall, Engleska [6]

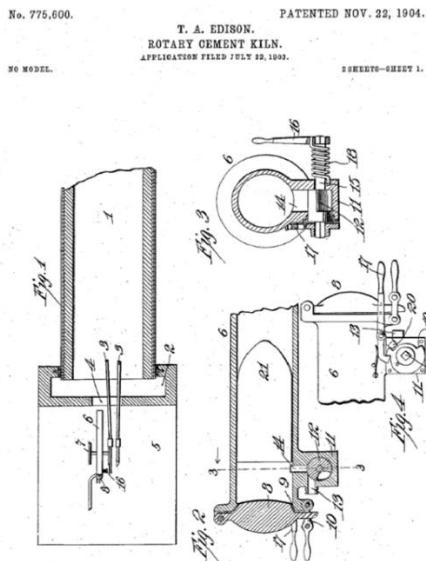
Konačno, prvi Portland cement je otkrio Joseph Aspdin 1824. godine, žarenjem krečnjaka i gline u peći do otklanjanja ugljjenioksida iz mješavine. Nazvan je Portland jer je u očvrsлом stanju nalikovao građevinskom Portland kamenu iz kamenoloma sa ostrva Portland, Dorset u Engleskoj, mada tadašnji portland cement nije imao današnje karakteristike portland cementa. Međutim, Isaac Johnson je 1845. godine pečenjem mješavine krečnjaka i gline na visokoj temperaturi proizveo klinker, od kojeg se mljevenjem proizvodi portland cement, koji odgovara portland cementu

koji imamo danas. Paralelno u ovom periodu počinju se saznanja o betonu širiti i u Francusku, gdje Louis Vicat razvija vještačko hidrauličko vezivo 1812. godine, a 1818. je naučno objasnio osobine hidrauličkih veziva i gradi prvi most od nearmiranog betona 1816. godine u Souillac-u u Francuskoj.



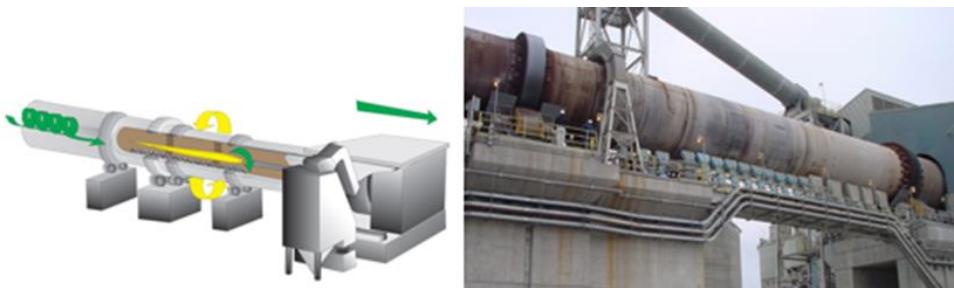
Slika 26 – Prvi most od nearmiranog betona u Souillac-u u Francuskoj 1816. god. [29]

U periodu od 1835 do 1850 godine, sistematično je uraden veliki broj ispitivanja u cilju utvrđivanja čvrstoća na pritisak i zatezanje cementa, kao i prva tačna hemijska analiza. Smatra se da je 1860. godine portland cement savremenog sastava prvi put proizveden. Proizvodnju portland cementa je tehnološki značajno unaprijedio Thomas Alva Edison koji je patentirao prvu dugu rotacionu peć koja je napravljena u Edison Portland Cement Works u New Village, u New Jersey, SAD i bila je duga 45 m.



Witnesses:
James A. White
William R. Delam
Inventor:
Thomas A. Edison
By George L. Bair,
Attorney

Slika 27 – Crtež rotacione peći za cement iz dokumenta o patentu Thomasa A. Edisona [26]



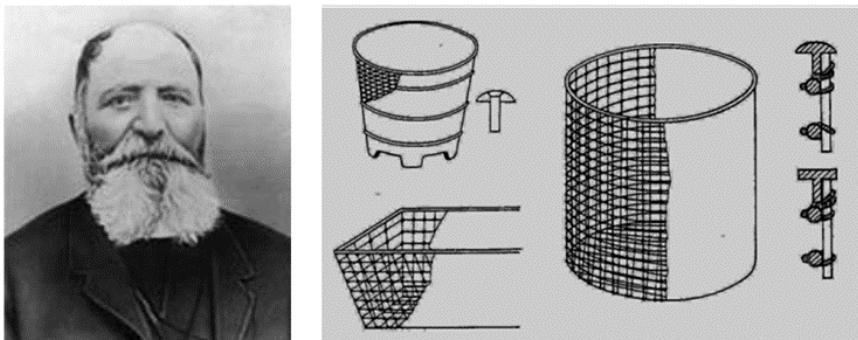
Slika 28 – Rotaciona peć za cement

Primjenom armature sa primarnom ulogom preuzimanja zatežućih sila u betonu došlo se do pojma armiranog betona. Ovaj postupak je prvi primjenio Joseph-Louis Lambot u Francuskoj, koji je napravio čamac od betona i armature 1848. godine, te je patentiran 1855. godine i iste godine i prikazan na Svjetskoj izložbi u Parizu. Prototip ovog čamca se čuva u Muzeju u Brignoles-u u Francuskoj.



Slika 29 – Čamac Joseph-Louis Lambot-a [41]

Nešto kasnije, 1868. godine, vrtlar Joseph Monier je eksperimentirao sa načinima da svoje posude za cvijeće učini trajnijim. Glinene saksije su bile krte i lako su se lomile pogotovo zbog korijenja biljaka. Iz tih razloga je počeo praviti saksije i rezervoare armirane žičanom mrežom. Monier ih je patentirao 1867. godine i prikazao na Svjetskoj izložbi 1867. godine u Parizu.



Slika 30 – Joseph Monier i patent posuda za cvijeće [27]

Medutim, nastavio je sa patentiranjem armiranog betona za cijevi i rezervoare, fasdane panele, grede, a 1875. godine je napravio i prvi most u armiranom betonu u Castle of Chazelet.



Slika 31 – Prvi most u armiranom betonu Castle of Chazelet , Francuska [34]

Armirani beton se u početku uglavnom koristio za izgradnju industrijskih objekata, mada je bilo pokušaja izgradnje stambenih objekata sa elementima od armiranog betona u Engleskoj i Francuskoj.



Slika 32 – Word's Castle, prva armiranobetonska kuća u SAD [23]

Međutim prvu kuću od armiranog betona je napravio William Ward u SAD 1875. godine, koja i danas стоји u Port Chester-u u New Yorku i pojavno imitira zidanu konstrukciju (vidi *Sliku 32*).

Prva visoka zgrada od armiranog betona je izvedena 1903. godine u Cincinnati-ju, Ohio u SAD sa 16 katova i visine oko 65 m pod nazivom "The Ingalls Building". Ovaj objekat je 1974. godine proglašen Nacionalnom historijskom građevinskom znamenitošću u SAD, a uvršten je u Nacionalni registar historijskih mesta u SAD 1975. godine.



Slika 33 – The Ingalls Building, Cincinnati, Ohio, SAD [38]

Poseban doprinos u razvoju armiranog betona dao je francuski preduzimač Francois Hennebique, koji je između ostalog patentirao 1892. godine stropne konstrukcije od armiranog betona sa monolitno spojenom pločom i rebrima.

Giovanni Antonio Porcheddu je koristeći tennološke principe Hennebique-a, projektirao i izgradio most Risorgimento u Rimu, raspona 100 m i ukupne dužine 159 m, preko rijeke Tibar. Izgradnjom ovog mosta je prvi put u istoriji oboren svjetski rekord u rasponu masivnih mostova sa armiranim betonom kao materijalom. Prilikom svečane inauguracije mosta, Kralj Victor Emmanuel III ga je nazvao "kraljem armiranog betona".



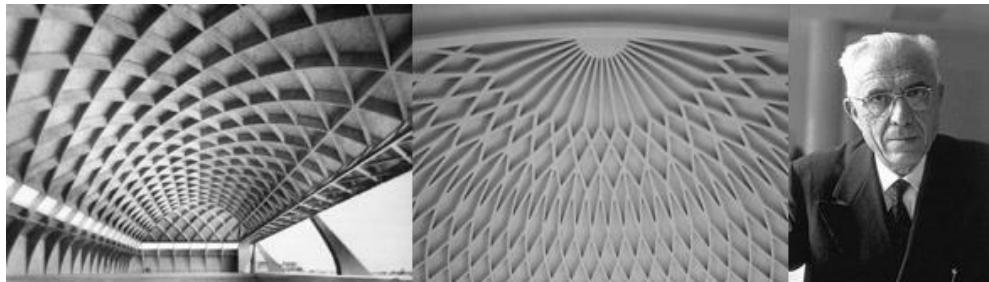
Slika 34 – Most Risorgimento u Rimu [30]

Izuzetno mjesto u razvoju betonskih konstrukcija, ali posebno prednapregnutog betona je dao Eugene Freyssinet, koji se smatra ocem prednapregnutog betona. Graditelj je nekoliko mostova uz primjenu naprednih tehnoloških rješenja, kao što je klizna oplata. Međutim možda ostaje najpoznatiji po primjeni prednapregnutog betona i postupka zaparivanja u cilju ubrzanog očvršćavanja betona kod sanacije pristanišne zgrade luke u Havre. Uvodi i pojam prednaprezanja u teoriju betonskih konstrukcija u članku pod naslovom “Nove ideje i putevi”, koji je objavljen u “Science et Industrie” 1930. godine. Jedan od njegovih najpoznatijih objekata je hangar za diražable u Orly-u raspona 90 m i visine 60 m izgrađen 1921. godine.



Slika 35 – Hangar na aerodromu Orly [10]

Posebno uspješna dijela u armiranom betonu je izgradio italijanski inženjer i arhitekt Pier Luigi Nervi, koji je bio poznat po svojoj genijalnosti i inovativnosti, posebno za armiranobetonske konstrukcije velikih raspona, ljske i prefabrikaciju u armiranom betonu. Jedno od njegovih najpoznatijih dijela je prefabricirana hala raspona 95 m izgrađena 1950. godine u Torinu, zatim zgrada Pirelli u Milandu 1955. godine, te Sportska dvorana "Palazzetto dello Sport" izgrađena 1957. godine za potrebe Olimpijskih igara u Rimu.



Slika 36 – Pier Luigi Nervi i njegovi objekti [32]

U dvadesetom vijeku, beton je kroz sve svoje forme zauzeo jedno od najvažnijih mjesta u savremenom graditeljstvu, od izgradnje industrijskih objekata, infrastrukturnih objekata, pa do arhitektonskih i visokih objekata.



Slika 37 – The Burj Khalifa, Dubai, UAE [31]

Jedno od posljednjih dostignuća u svjetskom graditeljstvu je izvedeno kao betonska konstrukcija, a radi se o trenutno najvišoj zgradi na svijetu "The Burj

"Khalifa" u Dubaiju u Ujedinjenim Arapskim Emiratima, visine 828 m, koja je zvanično otvorena 2010. godine, nakon šest godina gradnje.

Ovakav razvoj betonskih konstrukcija kroz istoriju su naravno pratila i omogućila naučna istraživanja. U početku se radilo o primjeni empirijskih iskustava u gradnji betonskih objekata, da bi se kasnije razvijale računske metode kod projektiranja betonskih konstrukcija, a koje su bile zasnovane na eksperimentalnim istraživanjima.

Još 1887. godine, Berlinska Firma Wayss und Cie, a na osnovu patenata Moniera daje prva pravila za korištenje betona u "Das System Monier". Coignet i de Tadesco su 1986 godine objavili knjigu "Procedes de Calcul", gdje se promovira metoda proračuna armiranobetonskih konstrukcija u eksploracionom stanju i usvaja se linearne raspodijela napona pritiska u presjeku pri opterećenju momentom savijanja, nazvana kasnije klasičnom metodom, pa se na osnovu ove metode pojavljuju prvi propisi iz ove oblasti u Francuskoj. U Njemačkoj, 1902. godine Emil Mörsch kao uposlenik tada Wayss & Freytag izdaje "Teoriju amiranobetonskih konstrukcija", koja postiže veliki uspjeh, s obzirom da je rezultirala verifikacijom na osnovu serija eksperimentalnih ispitivanja. Osnov za prve propise u Njemačkoj iz ove oblasti je bila takođe klasična metoda, pa se donose Uputstva 1904. godine. Najveći nedostatak ove metode je bio taj, što nije bilo moguće utvrditi trenutak, odnosno opterećenje koje dovodi do otkazivanja armiranobetonske konstrukcije.

Лолейт Артур Фердинандович је 1931. године зnio nove ideje u pogledu proračuna i projektiranja armiranobetonskih konstrukcija i inicirao teoriju loma, odnosno razmatranje armiranobetonskog presjeka u graničnom stanju, odnosno stanju loma.

Dugo vremena je u inženjerskoj upotrebi bila uglavnom klasična metoda, da bi metoda loma postepeno sve više potiskivala klasičnu metodu bližeći se kraju dvadesetog vijeka. Uporedo se razmatraju i aspekti trajnosti betonskih konstrukcija, odnosno deformacije konstrukcije, a posebno progibi, uzimajući i obzir elastične ali i plastične deformacije zbog skupljanja, puzanja i uticaja temperature, kao i širina pukotina u betonskim elementima, u cilju zaštite armature od korozije. Ovi fenomeni predstavljaju aspekte upotrebljivosti betonskih konstrukcija. Simbiozom pristupa metode loma i aspekata upotrebljivosti betonskih konstrukcija došlo se do metode pod nazivom Metoda graničnih stanja, koja podrazumjeva i objedinjava granično stanje nosivosti i granično stanje upotrebljivosti u pristupu projektiranja nosivih betonskih konstrukcija. Metoda graničnih stanja u projektiranju betonskih konstrukcija je danas opće prihvaćena u svijetu.

PREDNOSTI I NEDOSTACI BETONA

Svaki građevinski materijal ima svoje prednosti ali i nedostatke u poređenju sa drugim građevinskim materijalima. Beton se dominantno koristi za izradu konstrukcije objekata, mada se naravno primjenjuje i za druge namjene. U zavisnosti od čitavog niza faktora, projektant se odlučuje koji materijal primjeniti u izgradnji objekta. Iz tog razloga, neophodno je dobro poznavati kako prednosti, tako i nedostatke svakog materijala ponaosob.

U razmatranju prednosti nekog materijala, jedan od bitnih činilaca je dostupnost i cijena materijala na tržištu. Beton kao materijal je praktično dostupan svuda, uključujući i njegove sastojke. Tehnologija za spravljanje i ugradnju betona je česta i raspoloživa i ne zahtijeva visoko sofisticiranu radnu snagu, što sve zajedno čini beton dostupnim i ekonomičnim materijalom.

Skoro da nema ograničenja u oblikovanju betonskih konstrukcija, tako da su mogućnosti, kako u oblikovnom smislu, tako i sa aspekta izbora racionalnog statičkog sistema i aspekata izvođenja iznimne. Različitim pigmentima mogu se postići različite boje betona, ali isto tako se mogu na različite načine obraditi završni slojevi betona po pitanju teksture, u enterijeru, kao i eksterijeru.

Najpoznatije svojstvo betona je njegova čvrstoća na pritisak, što ga čini praktično nezamjenljivim kod konstrukcija dominantno opterećenim naponima pritiska, a ukoliko se izvodi kao armirani ili prednapregnuti beton, nudi mogućnost savladavanja ozbiljnih raspona kod ravnih konstrukcija.

Vjerovatno ni jedan drugi konstrukcioni material ne posjeduje trajnost kao beton. Najčešće mu nije potrebna nikakva posebna zaštita ukoliko je pravilno izveden i ukoliko se ne nalazi u izuzetno agresivnom okolišu. Za razliku od drugih materijala, beton tokom vremena dobija na svojoj čvrstoći. Nema procesa truljenja i korozije. Takođe za razliku od drugih materijala, troškovi održavanja su minimalni.

Armirani beton se takođe pokazao kao materijal koji se povoljno ponaša pri dinamičkim djelovanjima kao što je zemljotres, a zbog svojih svojstava praktično nema konkurenta kod izgradnje skloništa, objekata za zaštitu od radijacije kao i vojnih objekata za utvrđivanje.

Kada je u pitanju otpornost na požar betonskih elemenata, beton nema premca. Ni jedan drugi konstrukcioni materijal ne može obezbijediti otpornost na požar kao beton. Nije zapaljiv, ne gori, ne doprinosi gorenju, ne predstavlja požarno opterećenje, ne emituje toksične gasove u požaru.

Beton je materijal koji se može reciklirati i ponovo upotrijebiti, na način da se drobi, pa koristi u cestogradnju ili kao agregat za nove betonske konstrukcije, čime se smanjuje potreba za otvaranjem novih kamenoloma i eksploracija prirodnih agregata, ali istovremeno se smanjuje i potrebe za deponijama, što sve zajedno ima značajne okolinske efekte.

Pored svih prednosti koje beton pruža, projektant mora voditi računa i o nedostacima koje beton posjeduje. Beton je izuzetno težak materijal. Gustina nearmiranog betona je 2400 kg/m^3 , a armiranog betona 2500 kg/m^3 , te uzimajući u obzir i dimenzije elemenata, djelovanja od vlastite težine betonskog objekta su značajno veća od upotrebnih djelovanja na konstrukciju. U krajnjoj konsekvenци, to može dovesti do velikih naprezanja na nosivo tlo, što povećava dimenzije temeljne konstrukcije, ali često može zahtijevati i primjenu naprednih tehničkih rješenja temeljenja objekta i samim tim povećati cijenu objekta.

Čvrstoća na zatezanje betona iznosi 8-15 % čvrstoće na pritisak, što pokazuje da je beton anizotropan materijal. Gdje god se u betonu pojavi zatezanje, potrebno je imati armaturu koja će preuzeti sile zatezanja, a beton u toj zoni služi samo kao zaštita armature. Naponi zatezanja će u betonu dovesti do stvaranja pukotina, koje ne samo da mogu vizuelno biti neprihvatljive, nego mogu pojedine konstrukcije dovesti u neupotrebljivo stanje, kao npr. zbog curenja tečnosti ili gasova kod rezervoarskih konstrukcija ili do korozije čelične armature u betonu.

Poznato je već da beton tokom spravljanja i ugradnje, kao i tokom perioda njegе betona, mora imati odgovarajuće vanjske temperaturne uvjete. U takvим okolnostima je potrebno u betonsku mješavinu dodavati aditive. Ovo u konačnici poskupljuje betonske radove. Zbog visokih ili niskih temperatura potrebno je i posebnu pažnju posvetiti i njezi betona u takvim uvjetima.

Zbog prirode spravljanja betona, odnosno njegovog očvršćavanja u toku gradnje objekta kod monolitnih konstrukcija, potrebne su tehničke pauze u određenim vrstama radova, dok beton ne postigne specificiranu čvrstoću. Kod ovih konstrukcija, neophodna je i skela koja izaziva dodatne radove na njenoj montaži i demontaži, a i istovremeno smanjuje manipulativni prostor na gradilištu dok postoji potreba za njom.

U dodatku, beton je provodnik topote, što implicitno znači da je relativno slab izolator, pa je kod arhitektonskih objekata potrebno voditi računa o termoizolaciji betonskih elemenata, što se savremenim izolacionim materijalima relativno lako rješava. Ovo svojstvo betona obično ne predstavlja problem kod inženjerskih objekata.

Pojave skupljanja betona (smanjenja zapremine zbog isparavanja hemijski nevezane vode) i puzanja betona (povećanje deformacije elementa bez povećanja opterećenja), koje su vremenski zavisne, dovode do dimenzionalne nestabilnosti betonskog elementa tokom vremena, ali i do dodatnih naprezanja u betonu, posebno kod statički neodređenih sistema.

Betonske konstrukcije nisu fleksibilne u slučaju promjena u arhitektonskom smislu. Bilo kakve intervencije na betonskoj konstrukciji nakon gradnje, kako zbog razloga promjene namjene objekta, ojačanja ili sanacije betonske konstrukcije su teško izvedive i samim tim skupe, kao i naknadno utvrđivanje čvrstoće na pritisak betona ili količine i položaja ugrađene betonske armature u cilju naknadnog dokaza nosivosti prema izmjenjenim parametrima, posebno u slučaju postojećih objekata kod kojih ne postoji originalna projektna dokumentacija.

Za proizvodnju betona, milijarde tona prirodnih materijala se eksplloatiraju i prerađuju širom svijeta, koje ostavljaju ozbiljne posljedice na prirodni okoliš. Za proizvodnu betona, a posebno cementa, potrebne su ogromne količine energije, a smatra se da od ukupne emisije CO₂ kao stakleničkog plina u atmosferu, industrija cementa u svijetu emituje oko 5% ukupne emisije CO₂. Za proizvodnju jedne tone cementa potrebna je aproksimativno količina energije koja se dobije sagorjevanjem 200 kg uglja, pri čemu se oslobađa gotovo tona CO₂ u atmosferu.

Uzimajući u obzir sve navedene činjenice, prednosti i nedostatke betona, praktično da nema objekta u svijetu koji makar jedim dijelom nije izgrađen od betona. Beton je bez konkurenциje najviše upotrebljavan građevinski materijal u svijetu. Beton je materija koja je nakon vode najviše konzumirana na planeti. U prosjeku, svake godine, tri tone betona se proizvede po glavi svakog stanovnika u svijetu.

STANDARDI ZA PROJEKTOVANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA U EVROPI

Eurokodovi predstavljaju najnoviji set Evropskih standarda u oblasti graditeljstva i građevinskih radova. Razvijeni su na osnovu najnovijih naučnih dostignuća u saradnji eksperata članica Evropske Unije u proteklih 30 godina i predstavljaju bez dvojbe najsavremenije propise na svijetu u oblasti građevinskog konstrukterstva. Eurokodovi su postali praktično obavezni za sve javne radove u EU, a namjera je da postanu i standard za privatni sektor u Evropi i širom svijeta. Primarni cilj Eurocodova je da unaprijede sigurnost objekata ali i da povećaju konkurentnost evropske građevinske industrije, kao i stručnjaka i drugih industrija u neposrednoj vezi, unutar i van EU. Eurokodovi takođe trebaju postati i osnova za procjenu kvaliteta građevinskih proizvoda i dobijanje CE oznake.

Usvajanje i primjena Eurokodova nudi sljedeće prednosti:

- Obezbeđuje zajedničko razumjevanje principa kod projektovanju konstrukcija između investitora, korisnika, projektanata, izvođača radova i proizvođača građevinskih proizvoda;
- Unaprijeđuje kompetitivnost evropskih građevinskih kompanija, izvođača radova, projektanata i proizvođača građevinskih proizvoda u njihovim aktivnostima širom svijeta;
- Unaprijeđuje razmjenu usluga u građevinarstvu između članica EU i šire;
- Unaprijeđuje protok kvalitetnih građevinskih proizvoda između članica EU i šire;
- Omogućava zajedničku osnovu za istraživanja i razvoj u građevinskom sektoru;
- Omogućava razvoj zajedničke software-ske podrške u izradi projektne dokumentacije;
- Eurokodovi vode ka ujednačavanju nivoa sigurnosti objekata u različitim djelovima Evrope. [28]

Eurokodovi uključuju deset standarda (EN 1990 – 1999) koji razmatraju različite aspekte u građevinarstvu:

- ❖ EN 1990 Eurokod: Osnove projektovanja konstrukcija;
- ❖ EN 1991 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije;
- ❖ EN 1992 Eurokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija;

- ❖ EN 1993 Eurokod 3: Projektovanje čeličnih konstrukcija;
- ❖ EN 1994 Eurokod 4: Projektovanje spregnutih konstrukcija od betona i čelika;
- ❖ EN 1995 Eurokod 5: Projektovanje drvenih konstrukcija;
- ❖ EN 1996 Eurokod 6: Projektovanje zidanih konstrukcija;
- ❖ EN 1997 Eurokod 7: Geotehničko projektovanje;
- ❖ EN 1998 Eurokod 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija;
- ❖ EN 1999 Eurocode 9: Projektovanje aluminijskih konstrukcija.



Slika 38 – Organizacija eurokodova [28]

Svaki od Eurokodova sa izuzetkom EN 1990 je podijeljen u više djelova koji pokrivaju specifične aspekte. Ukupno postoji 58 dijelova raspoređenih u deset Eurokodova. Svaki od Eurokodova koji se odnose na materijale, sadrži Dio 1-1 koji se odnosi na projektovanje zgrada i drugih građevinskih konstrukcija i Dio 1-2 za projektovanje na dejstvo požara.

Eurokodovi za beton, čelik, spregnute konstrukcije, drvo i projektovanje na seizmička dejstva imaju Dio 2 koji razmatra projektovanje mostova. Ovi dijelovi 2 se koriste u kombinaciji s odgovarajućim općim dijelovima 1 za svaki navedeni materijal.

Evropski standard koji tretira projektovanje betonskih konstrukcija je Eurokod 2. Eurokod 2 se sastoji od četiri dijela:

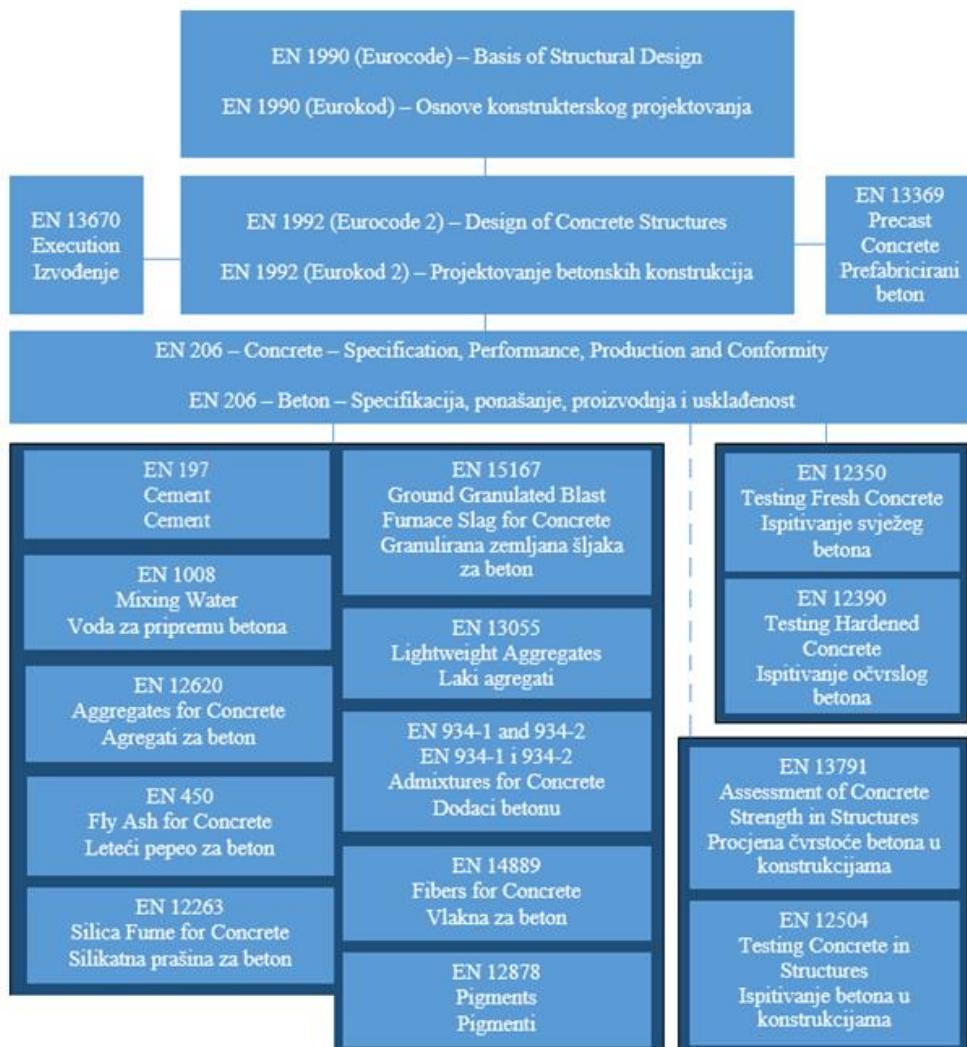
- ✓ EN 1992-1-1:2004: Eurokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade;

- ✓ EN 1992-1-2:2004: Eurokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija – Dio 1-2: Projektovanje na dejstvo požara;
- ✓ EN 1992-2:2005: Eurokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija – Dio 2: Betonski mostovi – Pravila za projektovanje i razradu detalja;
- ✓ EN 1992-3:2006: Eurokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija – Dio 3: Spremnici tečnih i rasutih materijala.

EN Eurokod 2 se primjenjuje u vezi sa EN 1990 Eurokod: Osnove projektovanja konstrukcija, EN 1991 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije, EN 1997 Eurokod 7: Geotehničko projektovanje i EN 1998 Eurokod 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija, kada se betonski objekti grade u seizmičkim zonama.

KLASIFIKACIJE BETONA

Čitav niz evropskih standarda regulira projektovanje, specifikaciju, proizvodnju i usklađenost betona i betonskih konstrukcija, kao i njihovih komponenata. Beton se u Evropi koristi u različitim klimatskim i geografskim uvjetima, a njegova upotreba je naslonjena na različite tradicije proizvodnje betona, projektovanja betonskih konstrukcija i aspekata izvođenja betonskih konstrukcija. U tom smislu, svrha evropskih standarda je da na svojstven način unificira beton i njegova svojstva i proces projektovanja i izvođenja betonskih konstrukcija kao jedinstvenog građevinskog proizvoda širom Evrope.



Slika 39 – Međusobni odnosi evropskih standarda za projektovanje i izvođenje betonskih konstrukcija kao i njihovih komponenata i standarda za ispitivanje [21]

Gustina betona zavisi od sastava betona, ali dominantno zavisi od vrste agregata. Evropski standard EN 206 dijeli beton u zavisnosti od njegove gustine prema sljedećoj tabeli:

Tabela 2 – Podjela betona prema gustini [21]

Definition of Concrete by Density Definicija betona u zavisnosti od gustoće	Density of concrete [kg/m^3] Gustina betona [kg/m^3]
Lightweight concrete Laki beton	$800 \leq \rho_c \leq 2000$
Normal-weight concrete Beton normalne težine	$2000 < \rho_c \leq 2600$
Heavy-weight concrete Teški beton	$\rho_c > 2600$

Za proračunske potrebe, gustina betona se obično uzima u vrijednosti od $\rho_c = 2400 \text{ kg/m}^3$. Armirani beton je teži od nearmiranog betona zbog sadržaja čelične armature, čija količina varira od elementa do elementa, mada je uobičajeno da se za proračunske potrebe kalkuliše sa vrijednošću od $\rho_c = 2500 \text{ kg/m}^3$. Svjež beton u sebi sadrži veliku količinu nevezane vode, pa je za proračun sopstvene težine betona kod privremenih konstrukcija, kao što su skele i oplate, kao i u transportne svrhe opravdano uzeti u proračun gustoću svježeg betona od $\rho_c = 2600 \text{ kg/m}^3$.

Evropski standard EN 206 uvodi dodatnu klasifikaciju za luke betone prema *Tabeli 3*, a u zavisnosti od njihove gustoće.

Tabela 3 – Podjela lakih betona prema gustini [21]

Density class Klasa gustoće	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Range of density tested in accordance with EN 12390-7 kg/m^3	$\geq 800 \text{ and } \leq 1000$	$> 1000 \text{ and } \leq 1200$	$> 1200 \text{ and } \leq 1400$	$> 1400 \text{ and } \leq 1600$	$> 1600 \text{ and } \leq 1800$	$> 1800 \text{ and } \leq 2000$
Raspon gustoće ispitana u skladu sa EN 12390-7 u kg/m^3	$\geq 800 \text{ i } \leq 1000$	$> 1000 \text{ i } \leq 1200$	$> 1200 \text{ i } \leq 1400$	$> 1400 \text{ i } \leq 1600$	$> 1600 \text{ i } \leq 1800$	$> 1800 \text{ i } \leq 2000$

Ranije je već navedeno da je najpoznatije svojstvo betona njegova izuzetna čvrstoća na pritisak. Na osnovu čvrstoće na pritisak, beton se klasificira u klase. Klasa betona se označava npr. sa C30/37. Slovo "C" dolazi kao početno slovo od engleske riječi "Concrete", što znači beton. Prvi broj označava minimalnu karakterističnu čvrstoću betona na pritisak određenu na probnim betonskim tijelima oblika cilindra ($f_{ck,cyl}$), izraženu u MPa, starosti betona od 28 dana. Probna tijela oblika cilindra su prečnika 150 mm i visine 300 mm. Drugi broj označava minimalnu karakterističnu čvrstoću betona na pritisak određenu na probnim betonskim tijelima oblika kocke ($f_{ck,cube}$), dimenzije strane 150 mm, pri starosti takođe od 28 dana i izraženu u MPa. Određivanje čvrstoće betona na pritisak se određuje ispitivanjem u skladu sa EN 12390-3. Kod projektovanja betonskih konstrukcija, projektant je taj koji određuje klasu čvrstoće betona. Klasa čvrstoće betona je jedan od najvažnijih parametara koji se uzima u obzir kod projektovanja betonskih konstrukcija kao i dokaza njihovog kapaciteta nosivosti. *Tabela 4* daje pregled klase betona prema čvrstoći na pritisak za beton normalne težine i teški beton.

Tabela 4 – Klase čvrstoće betona [21]

Compressive strength class Klasa čvrstoće betona	Minimum characteristic cylinder strength	Minimum characteristic cube strength
	Minimalna karakteristična čvrstoća cilindra	Minimalna karakteristična čvrstoća kocke
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Pri ovome treba imati u vidu da EN 1992 - Eurokod 2 podrazumjeva beton klase čvrstoće C55/67 i veće, kao beton visoke čvrstoće. Za laki beton, klase čvrstoće su definisne *Tabelom 5*, s tim što se klase čvrstoće lako betona označavaju slovima "LC" (Light Concrete).

Tabela 5 – Klase čvrstoće za laki beton [21]

Compressive strength class Klasa čvrstoće betona	Minimum characteristic cylinder strength	Minimum characteristic cube strength
	Minimalna karakteristična čvrstoća cilindra $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Minimalna karakteristična čvrstoća cilindra $f_{ck,cube}$ N/mm ²
LC8/9	8	8
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

Za svježu betonsku mješavinu je vrlo bitna mogućnost rada sa svježim betonom, odnosno ugradljivost betona u postupku građenja. Betonski elementi imaju različite oblike i dimenzije poprečnih presjeka, ponekad i sa teško dostavnim djelovima poprečnih presjeka, a beton se ugrađuje na različite načine i koristeći različita sredstva za ugradnju i nabijanje betona. Različiti betonski elementi imaju i različite količine i raspored armature, a nekad i vrlo kompleksne nacrte armature. Stepen obučenosti radnika koji ugrađuju beton je takođe različit. Svi ovi faktori utiču na ugradljivost svježe betonske mješavine.

U suštini, lakše je raditi sa svježim betonom tečnije konzistencije, ali istovremeno to obično znači povećanje količine vode, koja direktno utiče na čvrstoću betona, kao i na segregaciju betona. Sa druge strane, svjež beton mora imati i određenu koheziju, pogotovo ukoliko će se ugrađivati betonskom pumpom ili u slučajevima kada se ugrađuje sa određene visine.

U tom smislu potrebno je specificirati odgovarajuću konzistenciju betona. EN 206 specificira četiri vrste klasifikacija konzistencije betonske mješavine i to sa aspekata slijeganja, stepena zbijenosti, tečenja i viskoznosti svježe betonske mješavine kod samozbijajućeg betona.

Tabela 6 – Klase konzistencije prema slijeganju (slump test) [21]

Class Klasa	Slump tested in accordance with EN 12350 - 2 Ispitivanje slijeganja u skladu sa EN 12350 - 2 mm
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	≥ 220

Klase S1 označava suhu, odnosno polusuhu konzistenciju betonske mješavine koja se npr. upotrebljava za ugradnju ivičnjaka, ispuna, podloga cjevovoda, kosih rampi itd. Betonske mješavine klase konzistencije S2 imaju standardnu konzistenciju i koriste se za izradu temelja, ploča i konstrukcija općenito, predstavljaju vjerovatno najčešće korištenu i zahtijevanu konzistenciju betonske mješavine, dok se mješavine klase konzistencije S3 smatraju vlažnim betonom i koriste za beton koji se ugrađuje putem betonskih pumpi u temelje, ploče itd. Klase S4 se smatra vrlo vlažnom betonskom mješavinom koja se ugrađuje putem betonskih pumpi uključujući i betoniranje šipova. Klase S5 se smatra samoizravnjavajućom mješavinom. Klase konzistencije S4 i S5 su najčešće koriste za specijalne vrste betonskih radova.

Tabela 7 – Klase konzistencije prema stepenu zbijenosti [21]

Class Klasa	Degree of compatibility tested in accordance with EN 12350 - 4 Ispitivanje stepena zbijenosti u skladu sa EN 12350 - 4
C0	≤ 1.46
C1	1.45 – 1.26
C2	1.25 – 1.11
C3	1.10 – 1.04
C4	< 1.04
C4 applies only to lightweight concrete C4 se primjenjuje samo na laki beton	

Tabela 8 – Klase konzistencije prema rasprostiranju [21]

Class Klasa	Flow diameter tested in accordance with EN 12350 - 5 Ispitivanje prečnika rasprostiranja u skladu sa EN 12350 – 5 mm
F1	≤ 340
F2	350 – 410
F3	420 – 480
F4	490 – 550
F5	560 - 620
F6	≥ 630

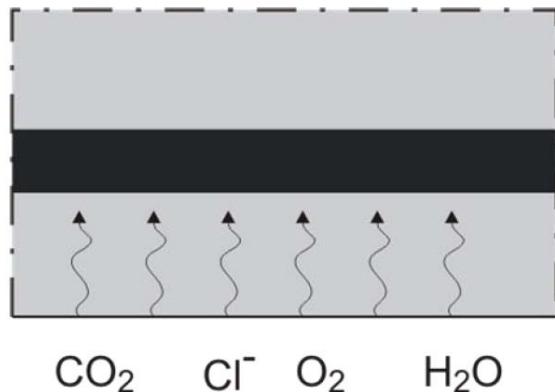
Tabela 9 – Klase konzistencije za samozbijajući beton prema viskoznosti [21]

Class Klasa	Slump – flow tested in accordance with EN 12350 - 8 Ispitivanje viskoznosti u skladu sa EN 12350 – 8 mm
SF1	550 - 650
SF2	660 - 750
SF3	760 - 850

The classification is not applicable to concrete with D_{\max} exceeding 40 mm.

Klasifikacija nije primjenjiva za beton sa maksimalnim prečnikom zrna agregata D_{\max} većim od 40 mm.

Pitanje trajnosti betonskih konstrukcija je direktno povezano sa okolinom u kojoj se takve konstrukcije nalaze, odnosno vanjskim uticajima iz okruženja, kao što je uticaj atmosferilija, hemijskog djelovanja, abrazije i drugih degradacionih procesa. U tom smislu, trajnost betonskih konstrukcija je neophodno razmatrati još u fazi projektovanja betonskih konstrukcija, ali i u vidu procjene kod već postojećih konstrukcija.



Slika 40 – Uticaj vanjskih djelovanja na korziju armature [16]

Jedan od osnovnih problema sa kojima se susreću betonske konstrukcije u agresivnim sredinama je korozija čelične armature, koja može biti izazvana različitim vanjskim uticajima, ali i omogućena neadekvatnim pokrovnim slojem betona, pukotinama u betonu ili neodgovarajućoj kvaliteti, odnosno poroznosti betona.



Slika 41 – Primjeri efekata agresivne sredine na betonske konstrukcije [16]

U tom smislu, u postupku projektovanja betonskih konstrukcija prema EN 1992-1-1 (Eurokod 2) je neophodno za predviđeni vijek trajnosti konstrukcije i projektovati adekvatnu debljinu pokrovног sloja betona, a u zavisnosti od klase izloženosti betonske konstrukcije. EN 206 određuje klase izloženosti betonske konstrukcije prema *Tabeli 10*.

Tabela 10 – Klase izloženosti betonskih konstrukcija [21]

Class Designation Oznaka klase	Description of the Environment Opis okoline	Informative Examples where Exposure Classes may Occur Informativni primjeri gdje se pojavljuju klase izloženosti
1 No risk of corrosion or attack 1 Bez rizika od korozije ili okolinskih djelovanja		
X0	<p>For concrete without reinforcement or embedded metal. All exposures except where there is freeze/thaw, abrasion or chemical attack.</p> <p>For concrete with reinforcement or embedded metal: Very dry</p> <p>Za beton bez armature ili ugrađenog metala. Sva izlaganja osim djelovanja smrzavanja / odmrzavanja, abrazije ili hemijskih djelovanja.</p> <p>Za beton sa armaturom ili ugrađenim metalom: Vrlo suho</p>	<p>Concrete inside building with very low air humidity</p> <p>Beton unutar objekata sa vrlo niskom vlažnošću zraka</p>
2 Corrosion induced by carbonation 2 Korozija izazvana karbonizacijom		
Where concrete containing reinforcement or other embedded metal is exposed to air and moisture, the exposure shall be classified as follows:		
Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal izložen zraku i vlazi, izloženost se klasificira kako slijedi:		
XC1	Dry or permanently wet Suho ili stalno vlažno	<p>Concrete inside building with low air humidity;</p> <p>Concrete permanently submerged in water.</p> <p>Beton unutar objekata sa niskom vlažnošću zraka;</p> <p>Beton stalno uronjen u vodu</p>
XC2	Wet, rarely dry Vlažno, rijetko suho	<p>Concrete surfaces subject to long-term water contact; Many foundations</p> <p>Betonske površine izložene dugotrajanom kontaktu sa vodom; Mnogi temelji</p>
XC3	Moderate humidity Umjerena vlažnost	<p>Concrete inside buildings with moderate or high air humidity; External concrete sheltered from rain.</p> <p>Beton unutar objekata sa umjerenom ili visokom vlažnošću zraka; Vanjski beton zaštićen od kiše.</p>
XC4	Cyclic wet and dry Naizmjenično vlažno i suho	<p>Concrete surfaces subject to water contact, not within exposure class XC2</p> <p>Betonske površine izložene kontaktu sa vodom koje nisu klasificirane pod XC2</p>

Tabela 10 – Klase izloženosti betonskih konstrukcija - nastavak [21]

Class Designation Oznaka klase	Description of the Environment Opis okoline	Informative Examples where Exposure Classes may Occur Informativni primjeri gdje se pojavljuju klase izloženosti									
<p>3 Corrosion induced by chlorides other than from sea water 3 Korozija izazvana kloridima čije porijeklo nije morska voda</p>											
<p>Where concrete containing reinforcement or other embedded metal is subject to contact with water containing chlorides, including de-icing salts, from sources other than from sea water, the exposure will be classified as follows:</p> <p>Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal izložen kontaktu sa vodom koja sadrži kloride, uključujući soli za odmrzavanje, čije porijeklo nije morska voda, izloženost se klasificira kako slijedi:</p>											
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>XD1</td> <td>Moderate humidity Umjerena vlažnost</td> <td>Concrete surfaces exposed to airborne chlorides Betonske površine izložene kloridima iz zraka</td> </tr> <tr> <td>XD2</td> <td>Wet, rarely dry Vlažno, rijetko suho</td> <td>Swimming pools, Concrete exposed to industrial waters containing chlorides Plivački bazeni, beton izložen industrijskim vodama koje sadrže kloride</td> </tr> <tr> <td>XD3</td> <td>Moderate humidity Umjerena vlažnost</td> <td>Parts of bridges exposed to spray contacting chlorides, Pavements, Car park slabs Dijelovi mostova izloženi sprejima koji sadrže kloride, kolovozi, ploče javnih garaža</td> </tr> </tbody> </table>			XD1	Moderate humidity Umjerena vlažnost	Concrete surfaces exposed to airborne chlorides Betonske površine izložene kloridima iz zraka	XD2	Wet, rarely dry Vlažno, rijetko suho	Swimming pools, Concrete exposed to industrial waters containing chlorides Plivački bazeni, beton izložen industrijskim vodama koje sadrže kloride	XD3	Moderate humidity Umjerena vlažnost	Parts of bridges exposed to spray contacting chlorides, Pavements, Car park slabs Dijelovi mostova izloženi sprejima koji sadrže kloride, kolovozi, ploče javnih garaža
XD1	Moderate humidity Umjerena vlažnost	Concrete surfaces exposed to airborne chlorides Betonske površine izložene kloridima iz zraka									
XD2	Wet, rarely dry Vlažno, rijetko suho	Swimming pools, Concrete exposed to industrial waters containing chlorides Plivački bazeni, beton izložen industrijskim vodama koje sadrže kloride									
XD3	Moderate humidity Umjerena vlažnost	Parts of bridges exposed to spray contacting chlorides, Pavements, Car park slabs Dijelovi mostova izloženi sprejima koji sadrže kloride, kolovozi, ploče javnih garaža									
<p>4 Corrosion induced by chlorides from sea water 4 Korozija izazvana kloridima iz morske vode</p>											
<p>Where concrete containing reinforcement or other embedded metal is subject to contact with chlorides from sea water or air carrying salt originating from sea water, the exposure will be classified as follows:</p> <p>Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal izložen kontaktu sa kloridima iz morske vode ili zraku koji nosi kloride iz morske vode, izloženost se klasificira kako slijedi:</p>											
XS1	Exposed to airborne salt but not in direct contact with sea water Izložen soli iz zraka ali ne u direktnom kontaktu sa morskou vodom	Structures near to or on the coast Konstrukcije blizu ili na obali mora									
XS2	Permanently submerged Stalno upravljene	Parts of marine structures Dijelovi konstrukcija u moru									
XS3	Tidal, splash and spray zones U zonama plime i zapljuškivanja	Parts of marine structures Dijelovi konstrukcija na moru									

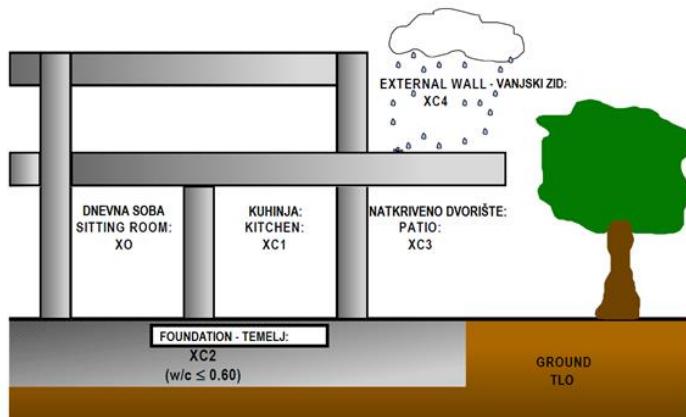
Tabela 10 – Klase izloženosti betonskih konstrukcija - nastavak [21]

Class Designation Oznaka klase	Description of the Environment Opis okoline	Informative Examples where Exposure Classes may Occur Informativni primjeri gdje se pojavljuju klase izloženosti
5 Freeze/thaw attack with or without de-icing agents 5 Djelovanje smrzavanja/odmrzavanja sa ili bez sredstava za odleđivanje		
Where concrete is exposed to significant attack by freeze/thaw cycles whilst wet, the exposure will be classified as follows:		
Kada je beton izložen ciklusima smrzavanja/odmrzavanja dok je mokar, izloženost se klasificira kako slijedi:		
XF1	Moderate water saturation, without de-icing agent Umjereni zasićen vodom, bez sredstva za odleđivanje	Vertical concrete surfaces exposed to rain and freezing Vertikalne betonske površine izložene kiši i smrzavanju
XF2	Moderate water saturation, with de-icing agent Umjereni zasićen vodom, sa sredstvom za odleđivanje	Vertical concrete surfaces of road structures exposed to freezing and airborne de-icing agents Vertikalne betonske površine cestovnih objekata izloženih smrzavanju i prskanih sredstava za odleđivanje
XF3	High water saturation, without de-icing agent Visoko zasićen vodom, bez sredstva za odleđivanje	Horizontal concrete surfaces exposed to rain and freezing Horizontalne betonske površine izložene kiši i smrzavanju
XF4	High water saturation, with de-icing agent or sea water Visoko zasićen vodom, sa sredstvom za odleđivanje ili morskom vodom	Road and bridge decks exposed to de-icing agents; Concrete surfaces exposed to direct spray containing de-icing agents and freezing Splash zones of marine structures exposed to freezing Cestovne i mostovske kolovozne ploče izložene sredstvima za odleđivanje; Betonske površine direktno izložene prskanju sredstvima za odleđivanje i smrzavanju Dijelovi konstrukcija na moru izloženih plimi i smrzavanju

Tabela 10 – Klase izloženosti betonskih konstrukcija - nastavak [21]

Class Designation Oznaka klase	Description of the Environment Opis okoline	Informative Examples where Exposure Classes may Occur Informativni primjeri gdje se pojavljuju klase izloženosti
6 Chemical attack 6 Hemijsko djelovanje		
Where concrete is exposed to chemical attack from natural soils and ground water, the exposure will be classified as follows:		
Kada je beton izložen hemijskom djelovanju prirodnog tla i podzemne vode, izloženost se klasificira kako slijedi:		
XA1	Slightly aggressive chemical environment Neznatno hemijski agresivna okolina	Concrete exposed to natural soil and ground water according to the Table 2 from EN 206:2013 Beton izložen prirodnom tlu i podzemnoj vodi prema EN 206:2013 – Tabela 2
XA2	Moderately aggressive chemical environment Umjereni hemijski agresivna okolina	Concrete exposed to natural soil and ground water according to the Table 2 from EN 206:2013 Beton izložen prirodnom tlu i podzemnoj vodi prema EN 206:2013 – Tabela 2
XA3	Highly aggressive chemical environment Visoko hemijski agresivna okolina	Concrete exposed to natural soil and ground water according to the Table 2 from EN 206:2013 Beton izložen prirodnom tlu i podzemnoj vodi prema EN 206:2013 – Tabela 2

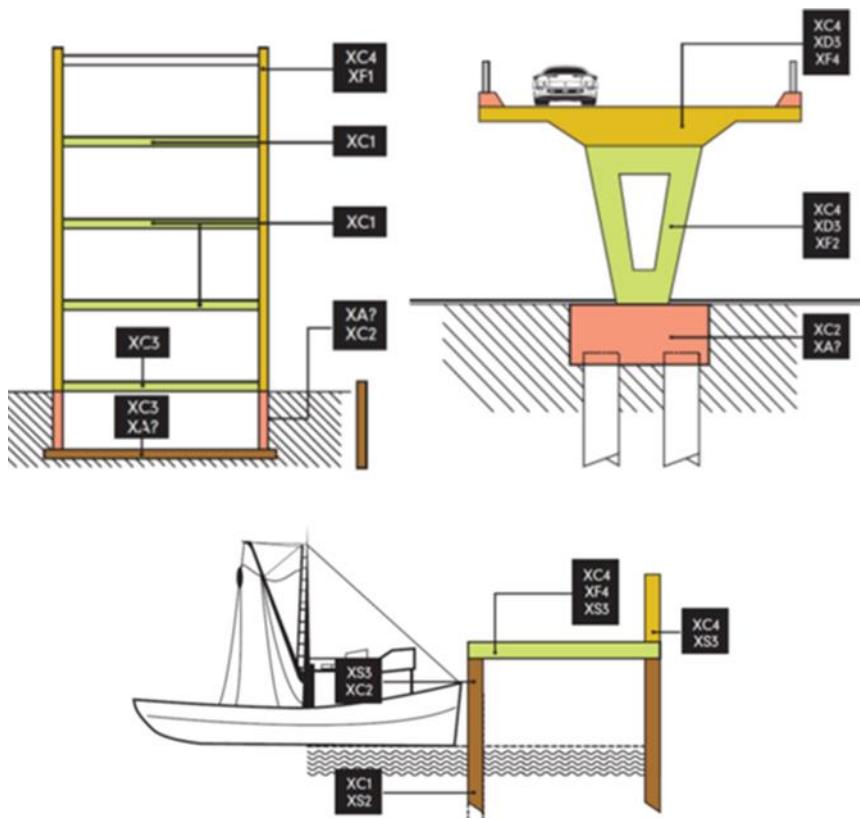
Analizom ovakve klasifikacije, može se doći do zaključka da skoro da ne postoji betonski objekat čiji se svi elementi nalaze u istoj klasi izloženosti, što može pričinjavati određeni problem u projektovanju i proračunu betonskih objekata.



Slika 42 – Različite klase izloženosti betonskih elemenata stambenog objekta [14]

Na Slikama 42 i 43, mogu se uočiti različite klase izloženosti betonskih elemenata za različite vrste objekata. Čak i kod malog stambenog objekta prikazanog na Slici 42 može se uočiti postojanje čak pet različitih klasa izloženosti.

Slična analiza može se vidjeti na Slici 43 kod višekatnog arhitektonskog objekta, mosta i pristaništa, gdje se takođe mora praktično za svaki element betonske konstrukcije posebno odrediti njemu svojstvena klasa izloženosti.



Slika 43 – Različite klase izloženosti betonskih elemenata kod različitih objekata [8]

LITERATURA

- [1] Bjegović D, Stipanović Oslaković I, 2015. "Practical Aspects in Concrete Mix Design", Presentation University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering, Department for Materials, Institut IGH, d.d., Zagreb, Croatia University of Twente, Faculty of Engineering and Technology, Construction Management and Engineering Department, Netherlands;
- [2] Čehić E, Kozlica S, Džidić S, 2016. "Concrete Consistency Testing during Construction of the Waste Water Collection and Treatment Plant in Bihać according to EN 206:2014" Book of Proceedings of the 12th International Scientific and Professional Conference on Contemporary and Theory and Practice in Construction, University of Banja Luka Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, December 7-8, 2016, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, ISBN 978-99976-663-3-8, UDK 69:71/72(082)(0.034.2) 624(082)(0.034.2), COBISS.RS-ID 6340024, pp 503-510;
- [3] Džidić S, 2015. "Otpornost betonskih konstrukcija na požar", Internacionalni BURCH Univerzitet Sarajevo, BIH, ISBN 978-9958-834-47-9; COBISS.BH-ID 22444550;
- [4] Džidić S, Kozlica S, Čehić E, 2016. "Experiences in Testing of Compressive Strength of Concrete during Construction of Waste Water Collection and Treatment Plant in Bihać according to BAS EN 206:2014", Book of Proceedings of the 12th International Scientific and Professional Conference on Contemporary and Theory and Practice in Construction, University of Banja Luka Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, December 7-8, 2016, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, ISBN 978-99976-663-3-8, UDK 69:71/72(082)(0.034.2) 624(082)(0.034.2), COBISS.RS-ID 6340024, pp 495-502;
- [5] Džidić S, Zečević B, 2017. "Eurocodes- Challenge of Modern Construction and Civil Engineering in B&H – Eurokodovi – Izazov savremenog graditeljstva u BiH", Book of Proceedings of the 3rd International Scientific and Professional Conference "SFERA 2017- Concrete Technologies", SFERA doo Mostar, Faculty of Civil Engineering of the University "Džemal Bijedić" Mostar, Faculty of Civil Engineering of the University of Mostar, Faculty of Architecture and Civil Engineering of the University of Niš and Faculty or Technology of the University of Tuzla, March 23-24, 2017, Mostar, Bosnia and Herzegovina, pp 42-57;
- [6] Gromicko N, Shepard K, 2011. „The History of Concrete“, InterNACHI;

- [7] Hasanović V, 2000, „Proračun armiranobetonskih konstrukcija prema Eurocode 2 (EC 2)”, Građevinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, BiH;
- [8] Irish Concrete Society, 2006. “The New Concrete Standards – An Introduction to EN 206-1”, Irish Concrete Society;
- [9] Reynolds, C. E, Steedman, J.C, Threlfall, A.J, 2008. “Reynolds’s Reinforced Concrete Designers’ Handbook”, Taylor & Francis Group, London, Eleventh Edition, ISBN 0-203-08775-5;
- [10] Songel J. M, 2010. “Form and Structure in Engineering and Visual Arts, Structures and Architecture” – Cruz (Ed.), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-49249-2;
- [11] Steiger R. W, 1995. „The History of Concrete - Part 1: From Prehistoric Rubble Mixes to Roman Cement“, The Aberdeen Group, Concrete Journal, Publication #J950584;
- [12] Šahinagić-Isović M, 2015. „Posebne vrste betona: mikroarmirani betoni“, Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru, Mostar, Bosna i Hercegovina;
- [13] Tahirović I. V, 2001. „Armirani beton 1“, IP „Svjetlost“ D.D, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, ISBN 9958-10-418-0;
- [14] Troli R, Collepardi M, 2015. “Technical Contradictions in the European Norm EN 2006 for Concrete Durability”;
- [15] Vitruvius, 1999, “Ten Books on Architecture”, translated by Ingrid D. Rowland, with commentary by others; Cambridge University Press;
- [16] Walraven J. C, 2008. “Eurocode 2: Design of concrete structures EN1992-1-1”, Symposium Eurocodes: Backgrounds and Applications, Brussels 18-20 February 2008.

STANDARDI I PROPIŠI

- [17] BAS EN 1992-1-1:2017 Evrokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [18] BAS EN 1992-1-2:2017 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija - Dio 1-2: Opća pravila - Projektiranje otpornosti konstrukcija na djelovanje požara, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina;

- [19] BAS EN 1992-2:2017 Eurokod 2: Proračun betonskih konstrukcija – Betonski mostovi – Proračun i pravila konstruktivnog oblikovanja, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [20] BAS EN 1992-3:2017 Eurokod 2 – Projektovanje betonskih konstrukcija – Dio 3: Spremniči tekućina i rastresitih materijala, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [21] BAS EN 206:2014 Beton - Specifikacije, performance, proizvodnja i usklađenost, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina;

INTERNET IZVORI

- [22] <http://aluminate.eu/products/concrete-admixtures/>
- [23] <http://cornerstoneag.blogspot.ba/2013/03/wards-castle-first-reinforced-concrete.html>
- [24] <http://civilengineersforum.com/6-differences-between-cement-concrete/>
- [25] <http://debug.pi.gr/Default.aspx?ch=14>
- [26] <http://edison.rutgers.edu/patents/00775600.PDF>
- [27] http://eitprblog.blogspot.ba/2014/04/blog-post_17.html
- [28] <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpage.php?id=134>
- [29] <http://structurae.net/structures/souillac-bridge>
- [30] <http://structurae.net/structures/risorgimento-bridge>
- [31] http://tallest-buildings.findthedata.com/compare/40-63/Burj-al-Arab_Hotel-vs-Burj-Khalifa
- [32] <http://www.archdaily.com/tag/pier-luigi-nervi>
- [33] <http://www.archiexpo.com/prod/alfanar/product-89130-915174.html>
- [34] <http://www.betonvecimento.com/>
- [35] <http://www.capitolivm.it/wp-content/uploads/2016/01/opus.jpg>
- [36] <http://www.porters.ca/products/aggregate/>
- [37] <http://www.steel-bridges.com/composite-beam-bridge.html>
- [38] http://www.waymarking.com/waymarks/WM3NXK_Ingalls_Building
- [39] <http://www.weckenmann.com/en/equipment-and-formwork/equipment-and-components/prestressing-technology/>
- [40] <https://erkrishneelram.wordpress.com/>
- [41] <https://www.beton.org/service/presse/details/betonkanu-regatta-am-22-juni-in-nuernberg/>

STUDIJA 2

OPTIMALIZACIJA PROJEKTNIH RJEŠENJA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH MONTAŽNIH HALA SA ASPEKTA UPOTREBLJIVOSTI I TRAJNOSTI

Husein Okugić

Sanin Džidić

POPIS SLIKA

<i>Slika 1 - Statički sistem okvira sa zglobnom vezom stubova i grede [33]</i>	78
<i>Slika 2 - Statički sistem okvira sa krutom vezom stubova i grede [41]</i>	79
<i>Slika 3 - Višestruki ram sa A ili I krovnim nosačima zglobno oslonjenim na stubove [41].....</i>	80
<i>Slika 4 - Višestruki ram sa I nosačima kruto povezanim sa srednjim stubom [4]..</i>	81
<i>Slika 5 - Višestruki ram sa krovnim gerberovim nosačima [46]</i>	81
<i>Slika 6 - Okvir sa zglobnom vezom stubova i temelja i zglobom u sredini prečke [32].....</i>	82
<i>Slika 7 - Višestruki ram sa zglobnim vezama kosih prečki na stubove sa konzolama [19].....</i>	83
<i>Slika 8 - Šedov krov kao montažna konstrukcija [30]</i>	84
<i>Slika 9 - Statičke šeme spratnih objekata sa neprekinutim stubovima i kombinacijom zglobne i krute veze sa stubovima [4].....</i>	85
<i>Slika 10 - Uobičajeni statički sistemi spratnih konstrukcija sa zglobnim vezama stubova [24].....</i>	85
<i>Slika 11 - Sistem montažne hale sa punim lučnim glavnim nosačem [24]</i>	86
<i>Slika 12 - Sistem montažne hale sa rešetkastim lučnim glavnim nosačima [24].....</i>	86
<i>Slika 13 - Princip rada prednapregnutog betona [6].....</i>	94
<i>Slika 14 - Položaj i vođenje kablova duž nosača [39].....</i>	96
<i>Slika 15 - Stupnjevi prednaprezanja kod prednapregnutih elemenata [22].....</i>	98
<i>Slika 16 - Ovisnost količine armature od stupnja prednaprezanja [28].....</i>	99
<i>Slika 17 - Staza i oprema za adheziono prednaprezanje [35]</i>	99
<i>Slika 18 - Presa za prednaprezanje kablova [37]</i>	100
<i>Slika 19 - Klinovi za sidrenje užadi [1]</i>	101
<i>Slika 20 - Vanjsko prednaprezanje poslije očvršćavanja betona [44]</i>	101
<i>Slika 21 - A ili I – 140 nosač podijeljen na pojedine presjeke</i>	128
<i>Slika 22 - Statičke veličine presjeka potrebne za proračun i analizu.....</i>	129
<i>Slika 23 - Količina i raspored armaturnog čelika i kablova za prednaprezanje unutar presjeka A i I – 140 nosača.....</i>	131
<i>Slika 24 - Primjena A nosača u konstrukcijama hala</i>	134
<i>Slika 25 - Dimenzije poprečnog presjeka A nosača</i>	135
<i>Slika 26 - Primjer primjene I – 140 nosača u konstrukcijama hala.....</i>	137
<i>Slika 27 - Dimenzije poprečnog presjeka I – 140 nosača</i>	138
<i>Slika 28 - Dijagram naprezanja betona na gornjoj zoni u sredini raspona za A nosače.....</i>	145
<i>Slika 29 - Dijagram naprezanja betona na donjoj zoni u sredini raspona za A nosače.....</i>	147

<i>Slika 30 - Dijagram naprezanja u armaturnom čeliku u sredini raspona za A nosače.....</i>	149
<i>Slika 31 - Dijagram naprezanja u čeliku za prednaprezanje u sredini raspona za A nosače.....</i>	151
<i>Slika 32 - Dijagram širine pukotine u sredini raspona za A nosače</i>	153
<i>Slika 33 - Dijagram progiba u sredini raspona za A nosače</i>	155
<i>Slika 34 - Dijagram naprezanja betona na gornjoj zoni u sredini raspona za I – 140 nosače.....</i>	159
<i>Slika 35 - Dijagram naprezanja betona na donjoj zoni u sredini raspona za I – 140 nosače.....</i>	161
<i>Slika 36 - Dijagram naprezanja u armaturnom čeliku u sredini raspona za I – 140 nosače.....</i>	163
<i>Slika 37 - Dijagram naprezanja u čeliku za prednaprezanje u sredini raspona za I – 140 nosače.....</i>	165
<i>Slika 38 - Dijagram širine pukotine u sredini raspona za I – 140 nosače</i>	167
<i>Slika 39 - Dijagram progiba u sredini raspona za I – 140 nosače</i>	169
<i>Slika 40 - Poređenje proizvodnih cijena za A i I – 140 krovne nosače</i>	180
<i>Slika 41 - Poređenje proizvodnih cijena po jednom metru dužnom (m') za A i I – 140 krovne nosače</i>	180

POPIS TABELA

Tabela 1 - Najniže klase betona za izradu prednapregnutih elemenata [39].....	102
Tabela 2 - Dopuseni naponi pritiska i zatezanja u betonu [37]	102
Tabela 3 - Proračunski upotrebni vijek betonskih konstrukcija [47]	111
Tabela 4 - Klase izloženosti u zavisnosti od uslova sredine [28]	112
Tabela 5 - Klasifikacija djelovanja iz okoliša [28]	113
Tabela 6 - Granične vrijednosti v/c, količine cementa [kg/m^3] i klase čvrstoće u zavisnosti od klase izloženosti okoline [16].....	115
Tabela 7 - Minimalne debljine pokrovnog sloja betona [22].....	116
Tabela 8 - Koeficijenti kombinacije djelovanja za konstrukcije [11].....	121
Tabela 9 - Parcijalni koeficijenti sigurnosti za djelovanja na konstrukcije za stalne i prolazne proračunske situacije [28].....	121
Tabela 10 - Parcijalni koeficijenti sigurnosti za svojstva materijala [27].....	122
Tabela 11 - Statičke veličine presjeka za A nosače.....	136
Tabela 12 - Statičke veličine presjeka I – 140 nosača	139
Tabela 13 - Geometrijske karakteristike presjeka za A i I – 140 nosač	140
Tabela 14 - Sile prednaprezanja i momenti za A i I – 140 nosač	141
Tabela 15 - Vrijednosti opterećenja u GSN i GSU za A i I – 140 nosač	142
Tabela 16 - Naprezanje betona na gornjoj zoni u sredini raspona za A nosače... <td>144</td>	144
Tabela 17 - Naprezanje betona na donjoj zoni u sredini raspona za A nosače	146
Tabela 18 - Naprezanje u armaturnom čeliku u sredini raspona za A nosače	148
Tabela 19 - Naprezanje u čeliku za prednaprezanje u sredini raspona za A nosače	150
Tabela 20 - Širina pukotine u sredini raspona za A nosače.....	152
Tabela 21 - Progibi u sredini raspona za A nosače	154
Tabela 22 - Rezultati proračuna za A nosače.	156
Tabela 23 - Naprezanje betona na gornjoj zoni u sredini raspona za I – 140 nosače	158
Tabela 24 - Naprezanje betona na donjoj zoni u sredini raspona za I – 140 nosače.....	160
Tabela 25 - Naprezanje u armaturnom čeliku u sredini raspona za I – 140 nosače.....	162
Tabela 26 - Naprezanje u čeliku za prednaprezanje u sredini raspona za I – 140 nosače	164
Tabela 27 - Širina pukotine u sredini raspona za I – 140 nosače	166
Tabela 28 - Progibi u sredini raspona za I – 140 nosače	168
Tabela 29 - Rezultati proračuna za I – 140 nosače.....	170
Tabela 30 - Određivanje potrebnog broja kablova za pojedine A nosače	175
Tabela 31 - Određivanje potrebnog broja kablova za pojedine I – 140 nosače ...	176

<i>Tabela 32 - Proizvodne cijene za A nosače.....</i>	178
<i>Tabela 33 - Proizvodne cijene za I – 140 nosače.....</i>	179

UVOD

Prednapregnute betonske montažne hale danas predstavljaju najveći stepen industrijalizacije građenja. Montažni način građenja primjenjuje se kako u Bosni i Hercegovini, tako i svugdje u svijetu. Osnovni princip je prefabrikacija elemenata konstrukcije, koji se prethodno izrađuju van samog gradilišta, a zatim se transportuju na gradilište gdje se spajaju (sklapaju) u jednu jedinstvenu cjelinu. Osnovni materijal za izradu ovakvih vrsta konstrukcija je beton od kojeg se izrađuju nosivi i nenosivi elementi hale, koji se montiraju u projektovanu konstrukciju. Betonske montažne hale su se izborile za svoje mjesto na tržištu zbog visokih troškova održavanja čeličnih konstrukcija na zaštitu od korozije i požara tokom upotrebnog vijeka konstrukcije.

Svaka betonska montažna hala se sastoji ne neophodno samo od klasično armiranih betonskih elemenata, već i od prednapregnutih, kojima se omogućava savladavanje velikih raspona. Pored toga, prednaprezanje ograničava napone, pukotine i deformacije na dozvoljenu vrijednost tokom cijelog upotrebnog vijeka hale. Prednaprezanje se vrši čeličnim žicama ili kablovima koji su skuplji od armaturnog čelika. Pošto montažne hale obično mogu imati ograničenje kod gradnje u visinu, često je kod nas i u svijetu zastavljen polumontažni način gradnje. Ovim sistemom se jedan dio konstrukcije izvodi na licu mjesta, dok se drugi formira od montažnih elemenata.

Problematika optimalizacije raspona glavnih prednapregnutih montažnih A, te $I - 140$ krovnih nosača sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti predstavlja ozbiljan inženjerski izazov. Ovi elementi se proizvode i koriste za potrebe izgradnje montažnih konstrukcija kao što su: industrijske hale, skladišni objekti, tržni centri, te poljoprivredni i sportski objekti.

Granično stanje upotrebljivosti (GSU) je stanje u kojem konstrukcija prestaje da zadovoljava određene eksploracione zahtjeve (progib, širina pukotine). Kada se konstrukcija dimenzionira prema GSU, mora se dokazati da je računska veličina izazvana naprezanjem (progib, širina pukotine) manja ili jednaka dopuštenoj graničnoj vrijednosti, kako bi konstrukcija bila u pogodnom stanju za upotrebu za koju je namijenjena. Veliki progibi mogu ugroziti funkcionalnost i izgled konstrukcije. Širine pukotine koje su veće od dopuštenih mogu izazvati propadanje konstrukcije (korozija čelika, propuštanje tekućine ili plina). Da bi montažne hale bile sigurne za sigurnost ljudi i određenu im namjenu, progibi i pukotine moraju biti u dozvoljenim granicama tokom upotrebnog vijeka konstrukcije.

ANALIZA POSTOJEĆIH SISTEMA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH MONTAŽNIH HALA U SVIJETU I NJIHOVE ZNAČAJKE

Montažni sistemi se projektuju tako da udovoljavaju svim statičkim zahtjevima i da je pri tome jednostavna montaža elemenata koji čine konstrukciju. Što se tiče veza i statičkih sistema, za montažne hale i konstrukcije vrijede ista pravila kao kod projektovanja klasičnih sistema. [4]

Nosači ili nosivi elementi montažnih konstrukcija prenose opterećenje na oslonce preko ležišta. Postoje tri osnovne vrste ležišta nosača, a to su: 1) pokretno ležište (pokretni zglob), 2) nepokretno ležište (nepokretni zglob), te 3) uklješteno ležište (uklještenje). [17]

Svaki statički sistem ima svoje karakteristične osobine čija su ležišta (veze) ključni i od velikog su značaja za proračun, te ponašanje montažne konstrukcije u cjelini. Pravac reakcije kod pokretnog ležišta je uvijek okomit na podlogu ležišta, dok kod nepokretnog ležišta pravac reakcije prolazi kroz oslončaku tačku. Ukoliko zbog temperaturnih uticaja postoji pomjeranje u pravcu ose nosača, tada se kao oslonac koristi pokretno ležište. Nepokretno ležište omogućuje zaokretanje ose nosača na mjestu oslanjanja, a ne dopušta bočno pomjeranje.

Svi statički sistemi konstrukcija se dijele u dvije velike skupine i to: 1) statički određene sisteme i 2) statički neodređene sisteme.

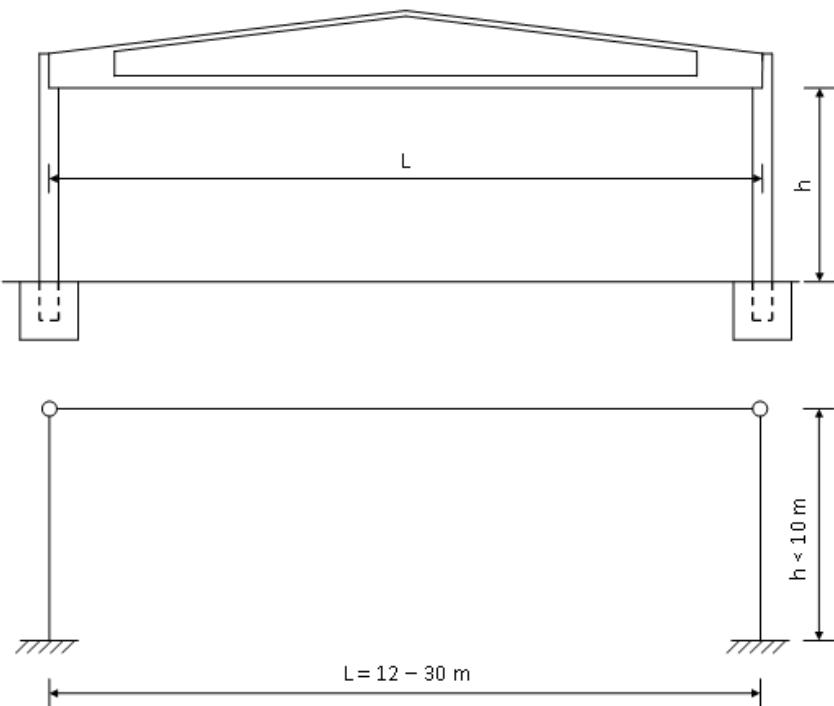
Kod statičkih određenih sistema moguće je reakcije (opterećenje) u osloncima odrediti pomoću statičkih jednačina ravnoteže (analitičkim ili grafičkim putem), dok se kod statičkih neodređenih sistema opterećenja oslonaca određuju i pomoću statičkih jednačina ravnoteže, te primjenom novih jednačina koji proizilaze iz elastičnih svojstava materijala. [18]

U sljedećim razmatranjima se prezentiraju i koncizno obrađuju najpoznatiji, najkorišteniji i preporučeni statički sistemi za projektovanje montažnih hala u svijetu. Uz to, obrađuju se i karakteristike svakog sistema posebno. Posebna pažnja se posvećuje vezama ili ležištima, jer su oni ključni za proračun i projektovanje.

Sistem okvira sa zglobnom vezom stuba i glavnog nosača

Ovaj sistem je jedan od najviše korištenih statičkih sistema montažnih hala kod nas i u svijetu. Na slici je prednapregnuti A nosač koji se nalazi između dva stuba (oslonca). Umjesto A nosača može biti i I prednapregnuti nosač. Krovna konstrukcija može biti formirana od Π ploča ili krovnih gredica. Ako se na A ili I nosač postavljaju

Π ploče, tada se kao pokrov obično upotrebljava trapezni lim, a ako je krov izведен od krovnih gredica, tada se kao pokrov upotrebljavaju krovni paneli.



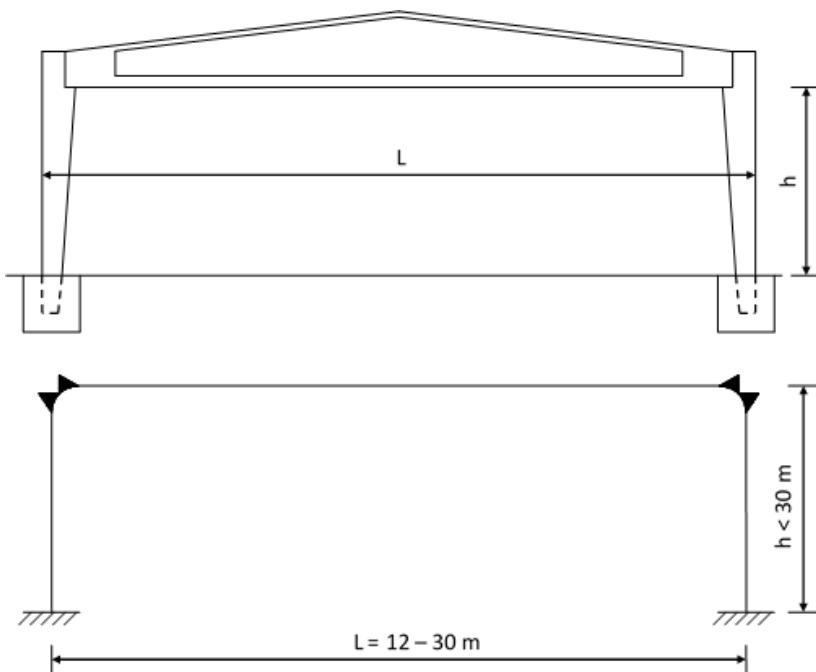
Slika 1 - Statički sistem okvira sa zglobnom vezom stubova i grede [33]

Zglobna veza stuba sa nosačem olakšava proračun jer se nosač proračunava kao slobodno oslonjen i nema negativnih momenata u gornjoj zoni na spoju nosača i stuba. Opterećenje sa nosača se prenosi direktno na stubove. Koristi se kod gradnje industrijskih hala i tržnih centara. [36]

Sistem okvira sa krutom vezom stuba i nosača

Ovakav način gradnje montažne hale je takođe primjenljiv kod nas i u svijetu, a pogodan je ako se želi postići veća visina objekta. Proračun je nešto složeniji nego prethodno opisan sistem. Izvedba veze grede sa glavnim nosačem je takođe nešto složenija, jer se mora dovoljno ankerisati kako bi se postigla čvrsta i trajna veza. U ovom slučaju postoji negativan moment savijanja na spoju grede i stuba koji zajedno čine ram. Ovaj sistem omogućava zaokretanje ose nosača na mjestu oslanjanja, pa se zbog toga stub mora proračunati i na horizontalno opterećenje.

Glavni nosač se proračunava na pozitivni moment savijanja u polju, te negativni nad osloncem. Negativni moment nastaje zbog same krute veze nosača i stuba, te zbog prednaprezanja.



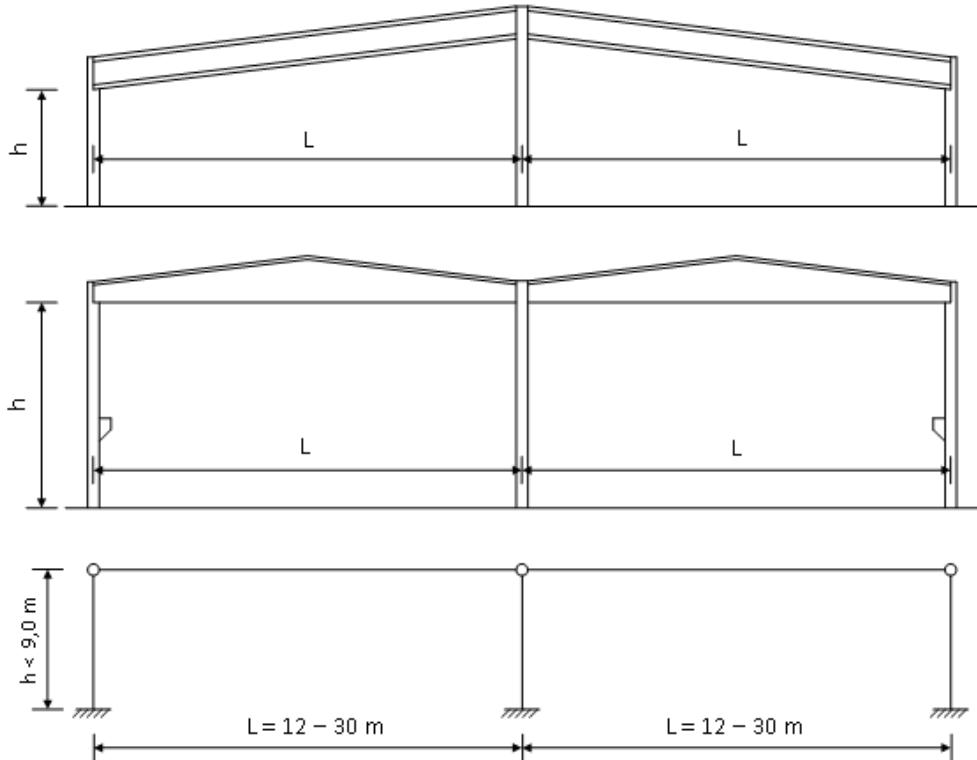
Slika 2 - Statički sistem okvira sa krutom vezom stubova i grede [34]

Kod montažnih hala koristi se adheziono prednaprezanje sa ravnim vođenjem kablova duž presjeka, zbog čega je iznos sile prednaprezanja isti u svim tačkama presjeka. Kako je moment nad osloncem mali, to će se uslijed prednaprezanja pojaviti negativni moment nad samim osloncem. Koristi se kod industrijskih hala, tržnih centara te za izgradnju nadstrešnica.

Sistem višestrukog rama sa zglobnom vezom stuba i glavnog nosača

Na narednoj slici je predstavljena dvovodna montažna hala. I nosači koji nose krovnu konstrukciju uglavnom su postavljeni pod nagibom 10 – 12%. Zbog malog nagiba, I nosači se proračunavaju kao da su postavljeni u ravnini. Ovakve konstrukcije se mogu graditi i kao spratne. Na stubovima se ostavljaju konzole na koje se oslanja nosač spratne konstrukcije koji je uglavnom T oblika. Na T nosače se zatim postavljaju Π ploče koje čine etažu, odnosno sprat.

A nosač, kao nosač krovne konstrukcije, može biti sa ili bez otvora koji smanjuju vlastitu težinu ili služe za prolaz instalacija u hali. A nosač se izrađuje sa dvostrešnim nagibom krovnih ploha od 10 ili 12%. Pri proračunu stubova uzima se opterećenje od spratne i od krovne konstrukcije. Koristi se kod izgradnje većih industrijskih hala, sajamskih centara, te u druge svrhe.

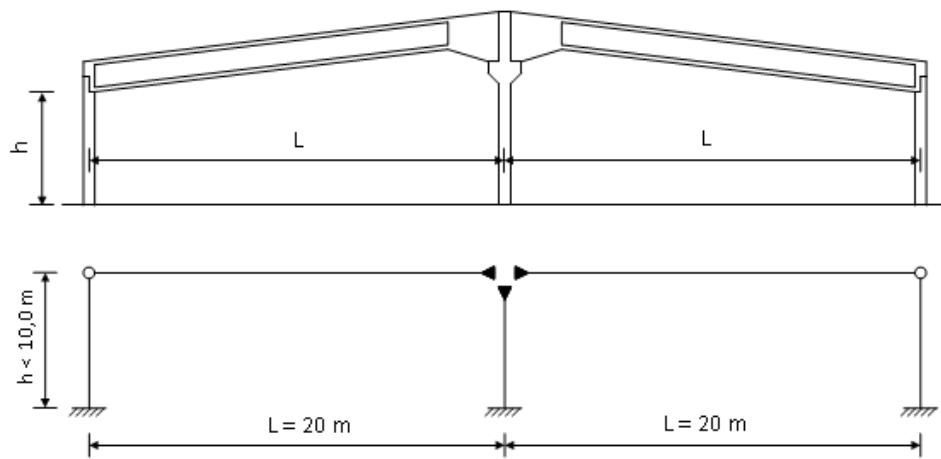


Slika 3 - Višestruki ram sa A ili I krovnim nosačima zglobno oslonjenim na stubove [41]

Sistem višestrukog rama sa krutom vezom stuba i glavnog nosača

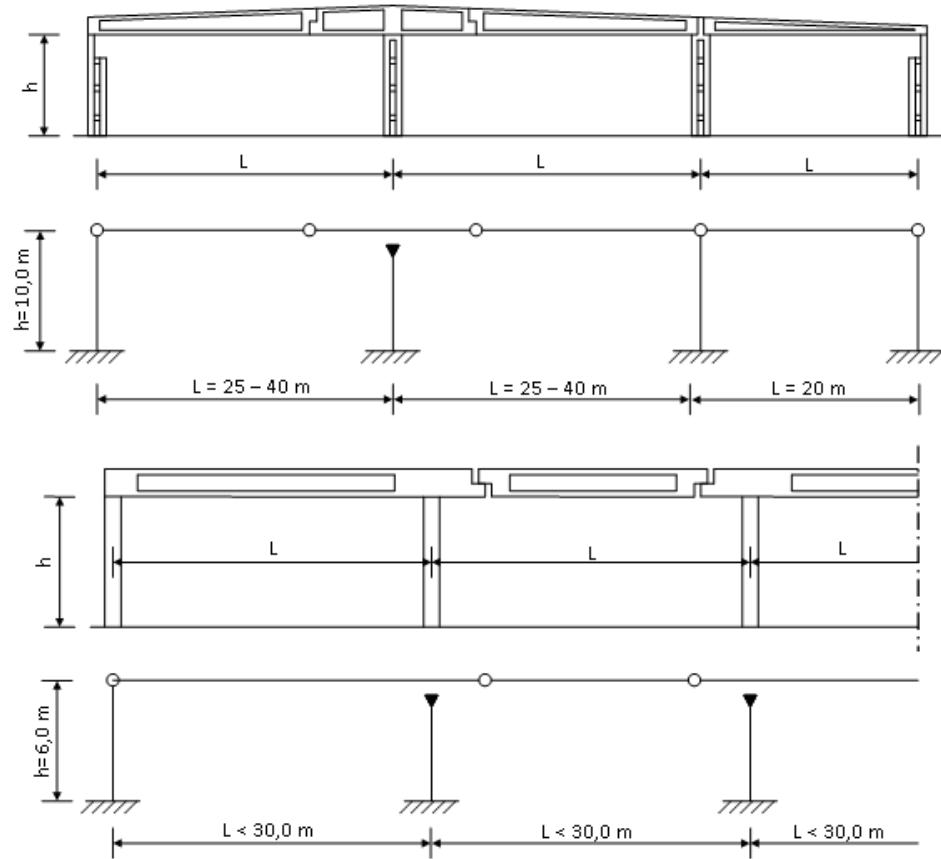
Sistem se takođe koristi kod nas i u svijetu. Veza I nosača na srednjem stubu se ostvaruje ankerisanjem, dok je na krajnjim stubovima veza sa glavnim nosačem zglobna. U gornjoj zoni nosača nad stubom se mora predvidjeti armatura za prihvatanje negativnih momenata savijanja.

Krovna konstrukcija može biti od Π ploča ili krovnih gredica. Ovim sistemom se može dobiti veća visina objekta. Može se koristiti kod industrijskih montažnih hala, sajamskih centara, objekata koji imaju specifične zahtjeve u pogledu gabarita, te kod hala koje se koriste kao garaže.



Slika 4 - Višestruki ram sa I nosačima kruto povezanim sa srednjim stubom [4]

Sistem višestrukog rama sa gerberovim krovnim nosačima



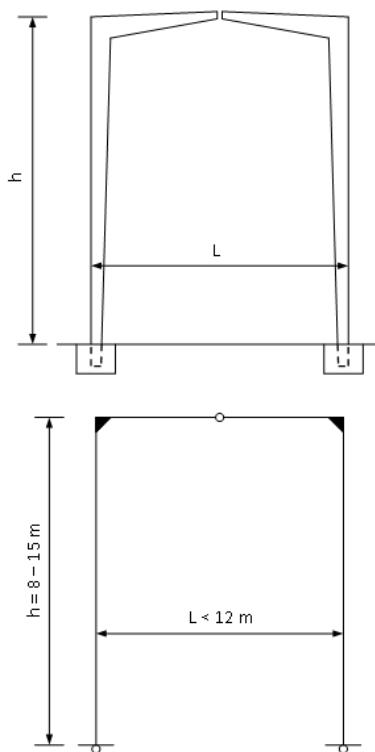
Slika 5 - Višestruki ram sa krovnim gerberovim nosačima [46]

Gerberovi nosači su široko zastupljeni kao sistemi montažnih hala u svijetu, dok se kod nas manje koriste. Gerberovi nosači (grede) se formiraju tako što se na kontinuiranu gredu koja je statički neodređena umetnu zglobovi, te se tako dobija nosač koji postaje statički određen. Umetanjem zglobova postiže se da moment na mjestu zgloba bude $M = 0 \text{ kNm}$, čime se postiže statička određenost nosača.

Kod ovakvih sistema u jednom se polju ne smije umetnuti više od dva zgloba, dok između dva zgloba mogu biti najmanje dva oslonca. Umetanjem zglobova dobija se niz prostih greda i greda sa propustima. Pri proračunu se nosač rastavlja u zglobovima i crta se šema rastavljanja. Ovakvi sistemi se koriste u mostogradnji, kod projektovanja rožnjača, te većih industrijskih hala. [40]

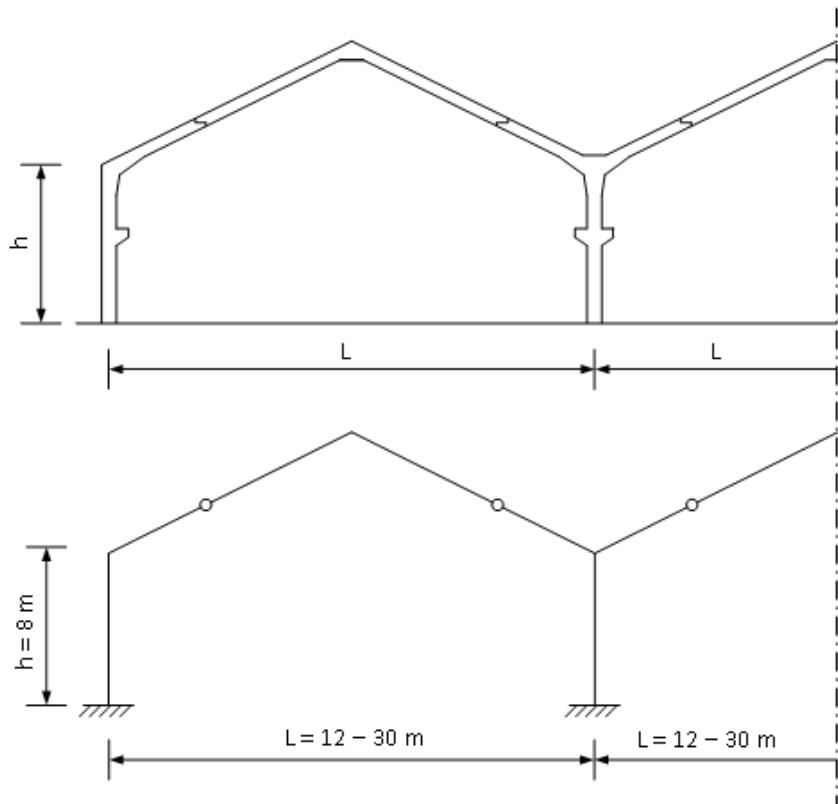
Sistem okvira sa zglobnom vezom stubova i temelja i zglobom u sredini prečke

Ovakav sistem montažnih hala je manje korišten kod nas i u svijetu nego dosad opisani sistemi. Koristi se kod nešto manjih raspona hala sa većom visinom konstrukcije. Stubovi se proračunavaju na vertikalno i horizontalno opterećenje, dok se prečka koja je u krutoj vezi sa stubovima proračunava na negativni moment savijanja. Prečka može biti pod različitim nagibima u odnosu na stub. Sistem se uglavnom koristi kod hala koje imaju posebne zahtjeve u pogledu gabarita.



Slika 6 - Okvir sa zglobnom vezom stubova i temelja i zglobom u sredini prečke [32]

Sistem višestrukog rama sa zglobnim vezama kosih prečki na stubove sa konzolama

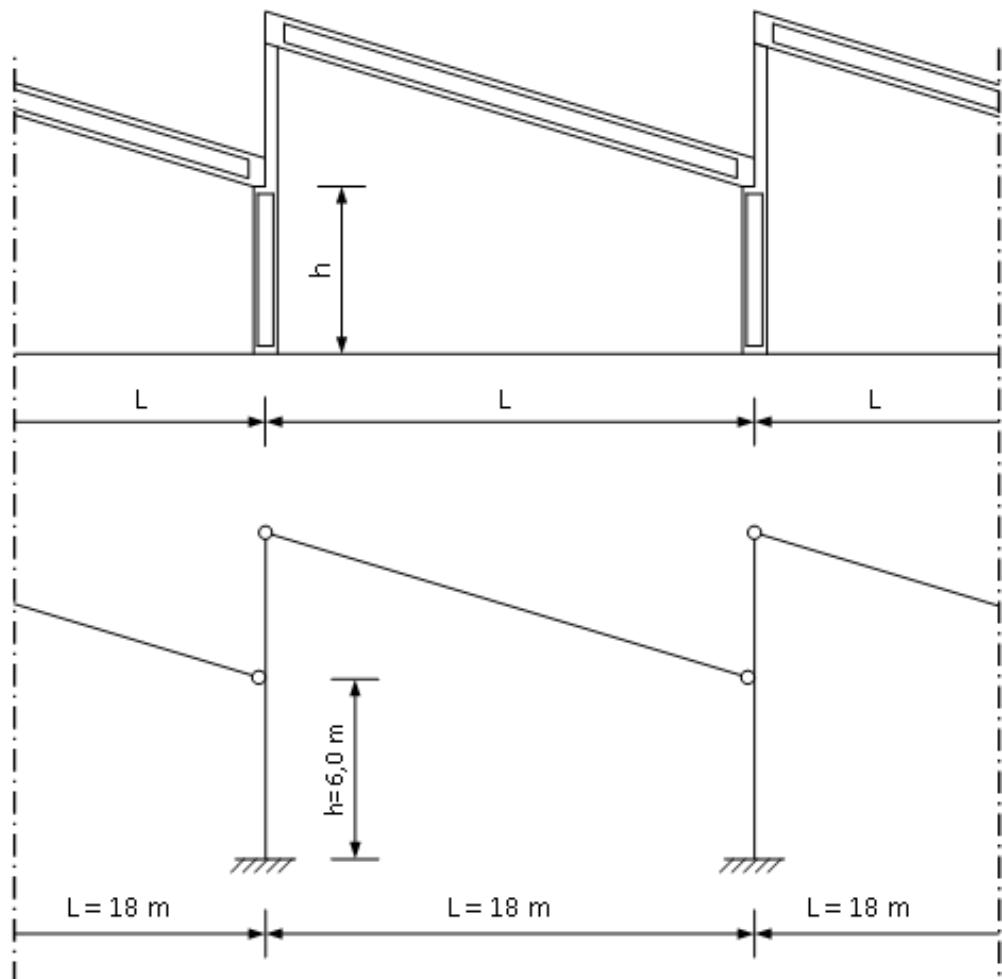


Slika 7 - Višestruki ram sa zglobnim vezama kosih prečki na stubove sa konzolama [19]

Sistem je više zastupljen u svijetu nego kod nas. Na ovaj način se mogu postići veći rasponi hale. Proračunava se kao Gerberov nosač. Zbog visine koja može biti i 8 m, ovakve se konstrukcije mogu raditi i kao spratne, a konzole na stubovima služe kao nosači spratne konstrukcije. Ovakav staticki sistem se može koristiti za izgradnju hala za male i srednje pogone, te skladišta i diskonta.

Sistem Šedovog krova kao montažne konstrukcije

Šedovi krovovi se takođe koriste kao montažne hale, te su više zastupljeni u svijetu nego kod nas. Veze stubova sa glavnim nosačima su zglobne, te je zbog toga jednostavan proračun. U ovom slučaju kao glavni nosači najviše se koriste grede I ili T presjeka koje su postavljene pod nagibom. Sistem se koristi za izgradnju malih i srednjih industrijskih hala, te kao skladišta, garaža, nadstrešnica i sportskih dvorana.

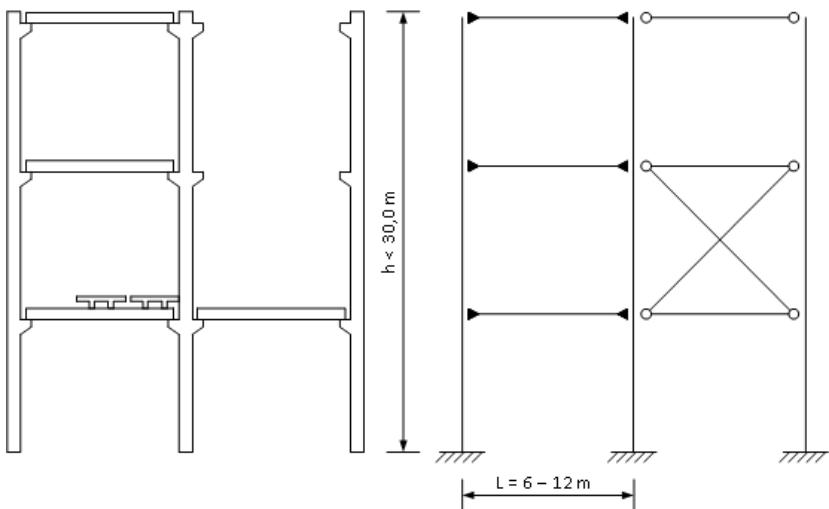


Slika 8 - Šedov krov kao montažna konstrukcija [30]

Sistem spratnih konstrukcija sa neprekinutim stubovima i kombinacijom zglobne i krute veze sa stubovima

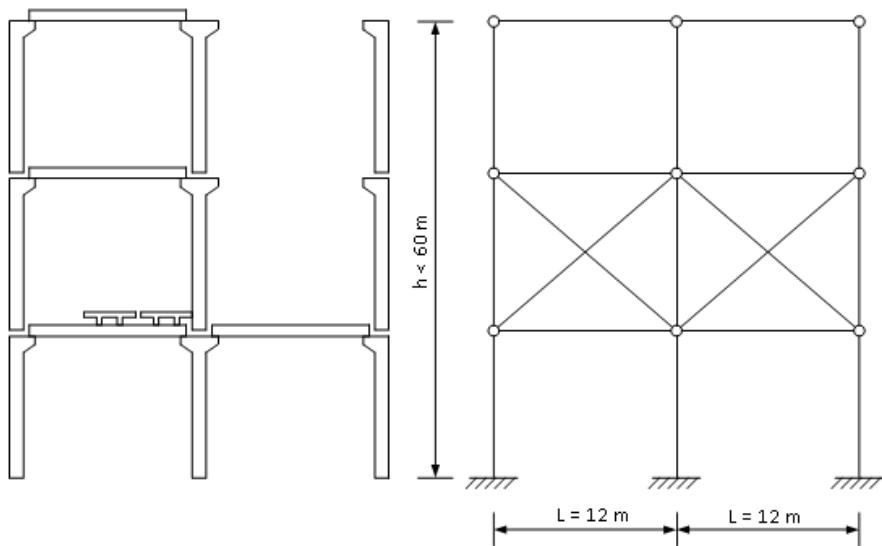
Ovo je sistem kojim se postiže veća visina objekta od svih dosad opisanih. Na stubovima su ostavljene konzole za nosače spratnih konstrukcija na koje su položene Π ploče. Nosači sprata mogu kruto ili zglobno biti povezani sa stubovima. Visina stubova može biti i do 30 m, kako bi se omogućilo formiranje etaža, odnosno spratova. Sistem se dosta koristi kako kod nas, tako i u svijetu.

Ima raznovrsne mogućnosti primjene kao što su: veliki i mali industrijski objekti, sajamski centri, ambulante, škole i obdaništa, tržni centri, upravni i poslovni centri, bolnice i bolnički kompleksi, te razni drugi vidovi primjene.



Slika 9 - Statičke šeme spratnih objekata sa neprekinutim stubovima i kombinacijom zglobne i krute veze sa stubovima [4]

Sistem spratnih konstrukcija sa zglobnim vezama sa stubovima



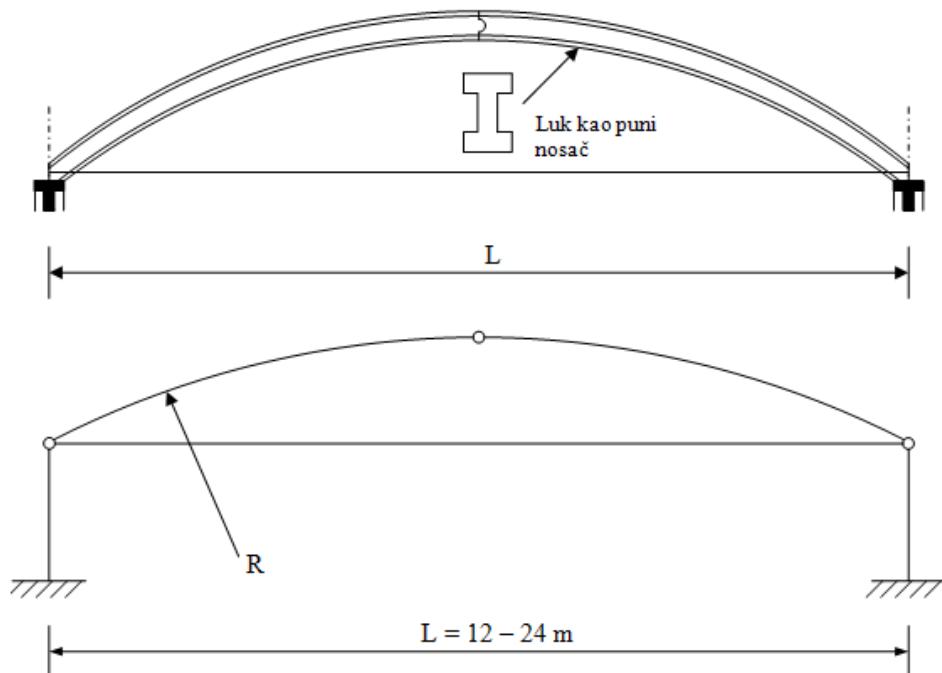
Slika 10. Uobičajeni statički sistemi spratnih konstrukcijasa zglobnim vezama stubova [24]

Sistem je dosta sličan prethodnom sistemu. Zglobna veza stubova omogućava postizanje velike visine objekta. Sistem se zasniva na tome, da se jedan montažni stub zglobno spaja sa prethodnim stubom, za razliku od prethodnog sistema, gdje se radi o neprekinutim stubovima. Spratna konstrukcija se formira na isti način koji je prethodno opisano.

Ovakvim se halama ostvaruje najveći stepen industrijalizacije građenja. Zbog svoje visine i širine, imaju različite vidove primjene kao što su: industrijske male i velike hale, škole i obdaništa, ambulante, bolnice, tržni i poslovni centri, te razni drugi vidovi primjene.

Montažna konstrukcija sa punim lučnim glavnim nosačem

Najveći trend današnjice u građenju montažnih hala predstavljaju hale sa lučnim glavnim nosačima. Ovakvi nosači često zamjenjuju ostale tipove težih glavnih nosača. Pored toga, nisu potrebni sekundarni nosači, što krovnu konstrukciju i samu halu čini lakšom. Ovakve se konstrukcije više grade u svijetu nego kod nas, jer zahtijevaju veća finansijska sredstva, te posebnu opremu u poređenju sa halama sa ravnim I ili A nosačima. Prednost im se takođe očituje u statičkom smislu i proračunu, jer je luk uglavnom opterećen na pritisak, što produžava trajnost i vijek konstrukcije. Na donjem dijelu luka je zatega, koji sprječava prekomjerno izduženje luka.



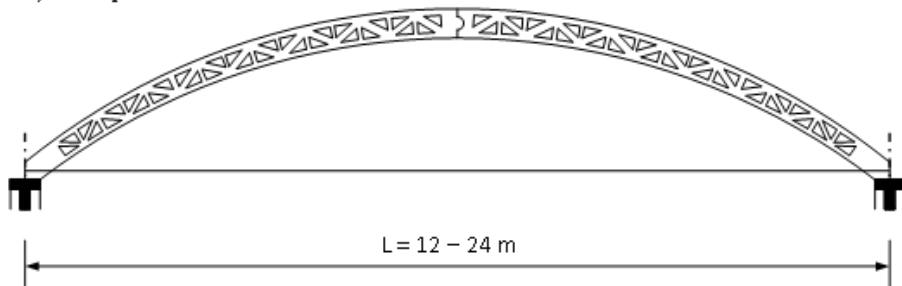
Slika 11 - Sistem montažne hale sa punim lučnim glavnim nosačem [24]

Konstrukcije ovog tipa su u građevinarstvu zauzele posebno mjesto i imaju raznolike vidove primjene, a najviše kao sportske i višenamjenske dvorane, te hale sa specijalnim zahtjevima u pogledu gabarita. Ovakve se hale također odlikuju posebnijim enterijerom i eksterijerom nego hale sa ravnim nosačima.

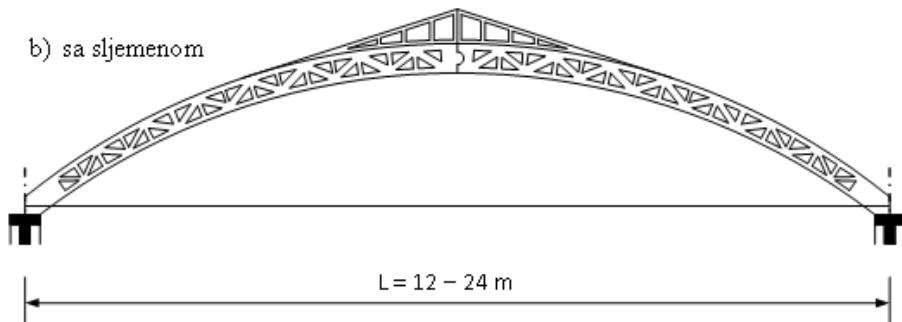
Montažna konstrukcija sa rešetkastim lučnim glavnim nosačima

U statičkom smislu, ovakva hala je istog tipa kao ona opisana u ranije, s tim što se ovdje radi o rešetkastim lučnim glavnim nosačima. Koristi se više u svijetu nego kod nas zbog složenosti proizvodnje i projektovanja ovakvih nosača. Najčešće izvedbe su: a) sa čistim rešetkastim lučnim nosačem, b) sa sljemenom i c) sa Šedovim svjetlosnim nastavkom. Primjenjuje se za gradnju sportskih i višenamjenskih dvorana.

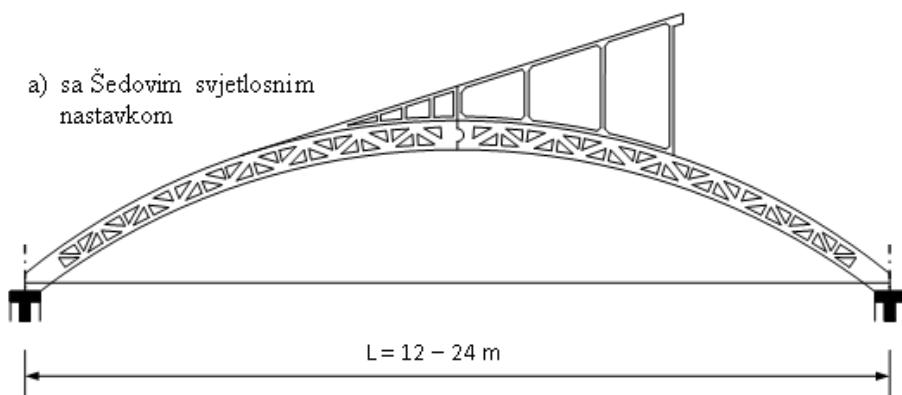
c) čisti parabolični oblik



b) sa sljemenom



a) sa Šedovim svjetlosnim nastavkom



Slika 12 - Sistem montažne hale sa rešetkastim lučnim glavnim nosačima [24]

TEORETSKE POSTAVKE

Da bismo bili u mogućnosti proučavati, pratiti i primjenjivati savremenu tehnologiju izrade montažnih elemenata, a time i gradnje montažnih hala u cjelini, potrebno je usvojiti elementarne spoznaje pomoću kojih je moguće dobiti optimalno rješenje konstrukcije. Pored toga, svaki projektant montažnih elemenata mora posjedovati dovoljno znanje o izboru kriterijuma optimalnosti, kako bi konstrukcija ispunjavala zahtjeve kao što su funkcionalnost, efikasnost, pouzdanost, tehnološke mogućnosti proizvodnje, estetski zahtjevi, ekonomičnost i cijena. Uz to, potrebno je da konstrukcija ima ono najvažnije, a to su zahtjevi u pogledu nosivosti, stabilnosti, upotrebljivosti i trajnosti.

Osnovne postavke optimalnosti projektnih rješenja montažnih hala

Optimalizacija projektnih rješenja montažnih hala je složen proces, koji uključuje rješavanje raznih problema i pitanja: [31]

- Izbor kriterijuma optimalnosti na osnovu kojeg će konstrukcija udovoljiti zahtjevima upotrebljivosti i trajnosti;
- Utvrđivanje svih mogućih ograničenja parametara konstrukcije, kako bi se obezbijedila izgradnja bez prekida i zastoja, te omogućila neprekidna proizvodnja elemenata;
- Ekomskska analiza troškova, te predračun radova i obima troškova u etapama izgradnje (pri izgradnji i upotrebi);
- Što realnije približavanje računskog modela fizičkom, te proračun stvarnih uslova na konstrukciji u periodu izgradnje;
- Formuliranje rješenja za definiranje planova ili sistema pomoću kojih će se izvršiti izbor varijanti koje na lak, brz, jednostavan i tačan način utvrđuju optimalne varijante;
- Znanje projektanta treba biti na visokom nivou, kako bi se riješio niz pitanja i problema, odnosno kako bi se na kraju dobila optimalna konstrukcija;
- Težiti ka tome da se optimalnim projektnim rješenjem udovolje zahtjevi konstrukcije u etapama njene izgradnje i upotrebe;
- U cilju brže razrade projekta, poželjan je timski rad.

Optimalizacija projektnih rješenja primjenom montažnog načina gradnje

Pod montažnim građenjem podrazumjeva se izvođenje građevinskih konstrukcija ili objekata koristeći gotove elemente koji su prethodno proizvedeni, a na gradilištu se montiraju u jedinstvenu cjelinu. Prefabrikacija (proizvodnja) građevinskih montažnih elemenata danas čini osnovu industrijalizacije građenja, te se sve više koristi kod nas i u svijetu. Bez montažnog načina gradnje danas je nezamislivo građenje hala, dvorana, a sve češće i mostova, te stambenih objekata. Na osnovu postojećih objekata kod nas i u svijetu, može se zaključiti da danas skoro ne postoje prepreke u građevinarstvu koje se ne mogu riješiti montažnim načinom gradnje.

Zahvaljujući montažnoj gradnji, te proizvodnji montažnih elemenata, posljednjih godina ostvaren je značajan napredak u građevinarstvu. Bez visokog razvoja proizvodnje montažnih elemenata, neki objekti koji danas postoje ne bi bili uspješno izvedeni. Montažno građenje potiče još od najstarijih dana. Dokaz za ovo su razni objekti kao što su piramide, hramovi i drugi objekti izrađeni od građevinskih elemenata (kameni blokovi, obrađeni dijelovi od drveta i sl.). Današnji način montažnog građenja u odnosu na građenje iz najstarijih dana je zasnovano na primjeni industrijske tehnologije. [15]

Montažnom gradnjom dobija se optimalno rješenje hale sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti. Montažni elementi su čvrsti, jer su izrađeni u tvornici gdje se mogu postići idealni uvjeti za njegu betona, te projektom zahtijevana klasa čvrstoće betona, što nije slučaj kod klasičnog građenja. Uz to, moguće je veoma tačno izvesti pokrovni sloj betona koji štiti armaturu od korozije. Sve nabrojano produžava vijek trajanja konstrukcije.

Glavna svrha montažnog građenja je povećanje produktivnosti, jer time građevinarstvo dostiže ostale industrijske djelatnosti u kojima je produktivnost veća. Pored toga, značajnu ulogu igraju ekonomski i druge opravdanosti, koje se često ne mogu postići tradicionalnim postupcima građenja.

Prednosti montažnog građenja su slijedeći: [24]

- Montažni građevinski elementi mogu se proizvoditi pod optimalnim uvjetima tehnologije, klime, produktivnosti, te tehničkih aspekata;
- Prilikom proizvodnje postiže se bolja kvaliteta zbog industrijskog načina proizvodnje, kontrole, te stalnog i sposobljenog kadra. Postiže se bolje iskorištavanje materijala, smanjuju se gubici i otpad materijala;

- Omogućuje se neprekidan rad u toku cijele godine, neovisno o sezoni i vremenskim prilikama. Radi se pod krovom i u "prizemlju", za razliku od rada na skelama i visini. Težak fizički rad se svodi na najmanju mjeru;
- Industrijska (a ne obrtnička) proizvodnja, bolje korištenje kapaciteta, serijska proizvodnja, tipizacija, modularna koordinacija, automatizacija;
- Velike uštede na skelama i oplatama;
- U proizvodnji i montaži radni kadar je stalan, obučen je uz rad i ne mora biti visoko obrazovan. Glavni cilj je industrijska proizvodnja. Radnik brzo stječe kvalifikaciju i osobne dohotke. Ovo je veoma važno kada je visoko obrazovanih kadrova sve manje, što je slučaj u svim razvijenim zemljama;
- Manji je temperaturni utjecaj na rad konstrukcije;
- Montaža elemenata se vrši pretežno suhim postupkom, a u objekat se unosi minimum građevinske vlage pa se može odmah koristiti;
- Brže gradenje, smanjivanje gradilišne režije, istodobno izvodenje grubih i završnih radova, a u nekim slučajevima je moguća i demontaža;
- Montažno građenje ponekad predstavlja jedini mogući način građenja;
- U određenim okolnostima u društvenom smislu jeftinije je građenje.

Pri izradi projektnih rješenja prednapregnutih montažnih hala u cilju optimalizacije istih, potrebno je poznavati i nedostatke montažnog građenja. To su: [24]

- Potrebna su velika investicijska (početna) ulaganja, koja se postepeno smanjuju određenim opsegom proizvodnje (minimalnom serijom);
- Troškovi transporta elemenata do gradilišta mogu biti veliki. Ovaj se problem može svesti na normalnu mjeru dobrom organizacijom prevoza ili proizvodnjom elemenata na gradilištu;
- Velik broj spojnica ili fuga na konstrukciji može predstavljati problem ali istovremeno se za oko 40% smanjuje učinak temperaturnog rada konstrukcije i omogućava se postizanje većih razmaka dilatacijskih spojeva;
- Postoji opasnost od uniformiranosti konstrukcije ukoliko se ne razlikuje tipizacija pojedinih elemenata od tipizacije cijelog objekta.

Nakon nabrojanih prednosti i nedostaka montažnog građenja sasvim je jasno zašto se danas sve više prelazi na ovakav način izgradnje. Mnogim prednostima poništava se mali broj nedostataka. Uz to, razlog može biti izbjegavanje sezonskog rada u procesu građenja, te nedostatak stručnih radnika. Pored ovog, najvažniji razlog za primjenu montažnog građenja je industrijalizacija u građenju i veća produktivnost, što se ne može postići tradicionalnim načinom građenja.

Optimalizacija povoljnim odabiru montažnog sistema

Optimalizacija projektnih rješenja često može zavisiti i od samog odabira montažnog sistema. Jedni sistemi zahtijevaju veća, a drugi manja finansijska sredstva. Jedni omogućavaju bržu gradnju, dok primjenom drugih gradnja teče sporije.

Postoji velik broj podjela montažnih sistema pa tako imamo: [24]

- Sa obzirom na konstrukciju (velikoplošni, skeletni, prostorni, te mješoviti sistemi);
- Sa obzirom na upotrebljene materijale (montažni sistemi od teških betona, od lakih betona, od opekarskih proizvoda, od drveta, od metala, od umjetnih materijala, od mješovitih materijala);
- Sa obzirom na masu montažnih elemenata (sistemi sa elementima mase do 3000 kg, sa elementima mase od 3000 do 7000 kg, te sistemi sa elementima mase preko 7000 kg);
- Sa obzirom na stepen montažnosti: 1. polumontažni sistem – manje od 50% elemenata se montira, a ostalo se izvodi na tradicionalan način, 2. montažni – 50 do 90% elemenata se montira, 3. totalna montaža – više od 90% objekta se radi od montažnih elemenata, dok se neznatan dio konstrukcije izvodi na gradilištu;
- Sa obzirom na mjesto proizvodnje (poligonalni sistemi – montažni elementi se proizvode na gradilištu, stacionirani – montažni elementi se proizvode u pogonima ili tvornicama);
- Sa obzirom na namjenu objekta: 1. stambeni, 2. za javne objekte visokogradnje (škole, bolnice, uredske zgrade, hoteli), 3. za privredne objekte i dvorane (hale, skladišta, poljoprivredni objekti, sportske dvorane, dvorane za kulturne priredbe, izložbene sale i slično), 4. za mostove, 5. za objekte niskogradnje, 6. za ostale objekte;

- Sa obzirom na "otvorenost" sistema (otvorene sisteme – montažni elementi se koriste za objekte iste namjene, zatvoreni sistemi – elementi se koriste samo za objekte koji su projektirani po tom sistemu).

Optimalizacija montažnih hala primjenom prednapregnutog betona

Prilikom izgradnje montažnih hala i drugih objekata montažnog tipa, potrebni su elementi većih raspona. Ovakvi se elementi izrađuju primjenom prednapregnutog betona, odnosno kao prednapregnuti elementi, od kojih su najčešći: A ili I krovni nosači, međuspratni nosači, te vezni nosači čiji se oblici projektuju po potrebi i u zavisnosti od tipa konstrukcije. [36]

Prvi prednapregnuti element bio je betonski nadvoj kojeg je davne 1886. godine patentirao američki inženjer iz San Francisca koji se zvao Henry Jackson. Godine 1928. napravljen je prednapregnuti nosač kod kojeg je upotrijebljen čelik velike čvrstoće, dok je nakon toga osnovana Međunarodna federacija za prednaprezanje, kao i Evropski odbor za beton. [48]

Pod prednaprezanjem se podrazumijeva vještačko uvođenje sile pritiska, koja eliminira napone zatezanja, te se na taj način dobija element bez pojave pukotina.

Prednaprezanje je postupak kojim se betonski element prije eksploatacije izlaže pritisku tako da pri pojavi opterećenja ostane pritisnut u svim zonama presjeka.

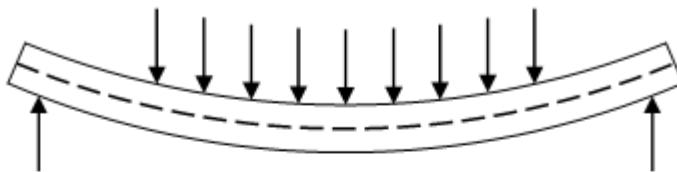
Prednaprezanje je dodatno opterećenje silom gdje zategnute čelične žice i kablovi u presjeku elementa prihvataju silu koja je proizvedena vještačkim putem, a zatim je prenose na beton kao silu pritiska.

Prednaprezanjem se element opterećuje tolikom silom pritiska u donjoj zoni, da se ista vrati na dozvoljenu vrijednost pri pojavi vanjskog opterećenja. [37]

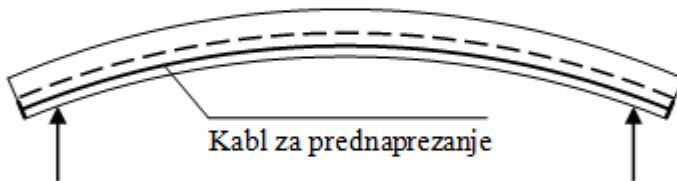
Na sljedećoj slici predstavljen je princip rada prednapregnutog betona, odnosno betona sa prednapregnutim čelikom.

Princip rada prednapregnutog betona može se objasniti na način da zamislimo gredu opterećenu koncentričnim ili jednakopodijeljenim opterećenjem kao na *Slici 13a*. Uslijed djelovanja opterećenja u donjoj zoni će se pojaviti pukotine i naponi zatezanja, a u gornjoj pritisak. Pošto u donjoj zoni naponi zatezanja dostižu maksimalnu vrijednost doći će do pojave pukotina, nakon čega se svi naponi zatezanja prihvataju armaturom. Pojava pukotina dovodi do ugrožavanja trajnosti konstrukcije.

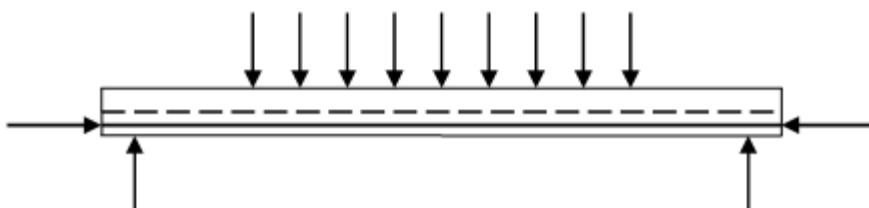
a) Prosta greda pod djelovanjem vanjskog opterećenja



b) Prosta greda pod djelovanjem sile prednaprezanja



c) Prosta greda pod djelovanjem vanjskog opterećenja i sile prednaprezanja



Slika 13 - Princip rada prednapregnutog betona [6]

Ukoliko se u donjoj zoni grede postave kablovi koji se prethodno zategnu i ankerišu na svojim krajevima, u gornjoj zoni će se pojaviti zatežući, a u donjoj zoni naponi pritiska, jer se kablovi nastoje vratiti u početni položaj, dok ankeri to ne dozvoljavaju (*Slika 13b*).

Uslijed vanjskog opterećenja na gornjoj ivici nosača, naponi su jednaki zbiru napona pritiska od sile prednaprezanja i napona od momenta savijanja, dok naponi na donjoj zoni mogu biti jednaki nuli ili projektovanim vrijednostima. Na ovaj se način povećava vijek trajanja konstrukcije, jer pukotina nema ili su ograničene. [7]

Prednosti prednapregnutog betona su sljedeće: [39]

- Element je bez pukotina u svim fazama opterećenja, što znatno produžava vijek trajanja elementa, a time i konstrukcije. Pošto nema pukotina ili su u ograničenim vrijednostima, armatura u elementu je zaštićena od korozije;
- Smanjeni su progibi, što takođe povećava trajnost konstrukcije;

- Upravljanje silom prednaprezanja omogućava eliminaciju svih negativnih utjecaja u elementu tokom upotrebnog vijeka konstrukcije;
- Povećana otpornost na zamor kao posljedica male promjene naprezanja u čeliku za prednaprezanje;
- Pukotine se zatvaraju nakon promjenljivih i izvanrednih djelovanja;
- Moguće je ubrzati i racionalizirati proces montažnog građenja;
- Deformacije uslijed promjenljivog dejstva su male, što daje veću trajnost konstrukciji;
- Zatezanje armature se vrši kontrolisano, što omogućava njeno maksimalno iskorištenje;
- Uštede u materijalu su velike;
- Moguće je utjecati na rubne uslove, odnosno projektovati željene napone na ivicama nosača, jer položajem sile prednaprezanja upravlja projektant;
- Savladavanje velikih raspona uz veliku viškost i manju masu.

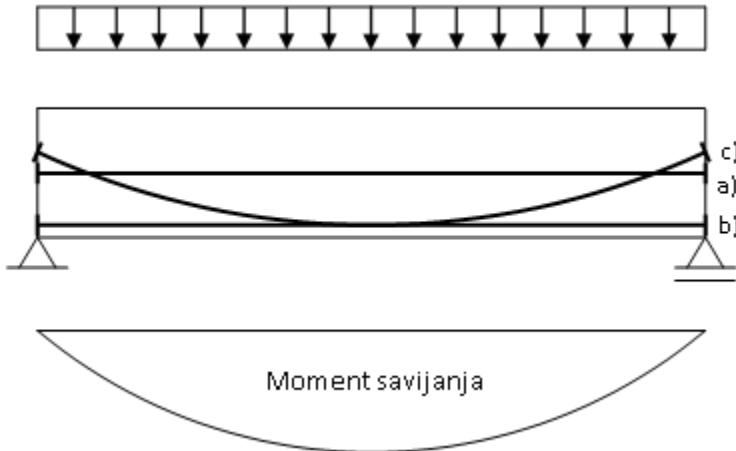
Nedostaci prednapregnutog betona su slijedeći: [39]

- Visoka cijena izrade, odnosno tehnološkog procesa proizvodnje;
- Potrebna je stalna kontrola sile prednaprezanja i redovno održavanje;
- Pri izradi prednapregnutih elemenata je potrebna posebna oprema, stručna radna snaga i velika preciznost u projektiranju;
- Za izradu prednapregnutih elemenata potreban je materijal sa povećanom čvrstoćom, što poskupljuje izgradnju konstrukcije.

Optimalizacija prednapregnutih glavnih nosača sa aspekta položaja i vođenja kablova duž nosača

Za prednapregnute elemente u primjeni su tri načina vođenja kablova duž nosača i to: a) centrični položaj kablova u nosaču; b) ekscentrični i c) parabolično vođenje kablova u elementu (*Slika 14*).

Centrično (ravno) vođenje kablova se često izbjegava, jer naponi na gornjoj ivici presjeka prekoračuju dozvoljene vrijednosti.



Slika 14 - Položaj i vođenje kablova duž nosača [39]

Ekscentrično (ravno) vođenje povoljno djeluje na napone u elementu i omogućava dobijanje željenih napona na ivicama presjeka. Ovakav način vođenja kablova se koristi u elementima za izgradnju montažnih betonskih hala.

Parabolično vođenje se primjenjuje kod naknadnog prednaprezanja, te omogućava upravljanje položajem sile prednaprezanja, koja se direktno suprotstavlja vanjskom opterećenju. Ovaj sistem se koristi najčešće kod mostova.[6]

Prednosti ravnog vođenja kablova su slijedeće: [37]

- Kablovi se brže i lakše postavljaju u opatu;
- Kablovi se ne postavljaju u rebra, nego u donju zonu nosača, što omogućava da rebra budu tanja. Ovo je često poželjno iz statickih ili konstrukcijskih razloga, te takođe smanjuje vlastitu težinu nosača;
- Može se iskoristiti maksimalni krak sile;
- Gubici uslijed trenja su minimalni;
- Ukoliko se primjenjuje naknadno prednaprezanje (ravno), moguće je smanjiti broj aktivnih žica za prednaprezanje na kraju nosača.

Nedostaci u slučaju ravnog vođenja kablova se ogledaju sljedećem: [37]

- Za preuzimanje dijela kontinuiranog djelovanja ne mogu se koristiti skretne sile;
- Ne stvara se rasterećenje uslijed djelovanja poprečnih sila;

- Ukoliko se radi o kontinuiranom nosaču, kablovi se moraju nastavljati, pa se zbog dužine nastavljanja povećava utrošak čelika za prednaprezanje.

Prednosti paraboličnog, odnosni zakriviljenog vođenja kablova su sljedeće: [37]

- Parabolično vođenje kablova omogućava konstantno stvaranje skretnih sila, koje se izravno suprotstavljaju vanjskom opterećenju;
- Moguće je ekonomičnije iskoristiti čelik za prednaprezanje, jer se oblik vođenja kablova može prilagoditi vanjskom opterećenju;
- Moguće je smanjenje pozicija sidrenja, jer se duži kablovi mogu postaviti kroz više polja,

dok su nedostaci sljedeći:

- Rebra nosača moraju biti deblja, posebno na mjestima gdje se sidre i spajaju kablovi;
- Postoje veliki gubici sile prednaprezanja zbog trenja.

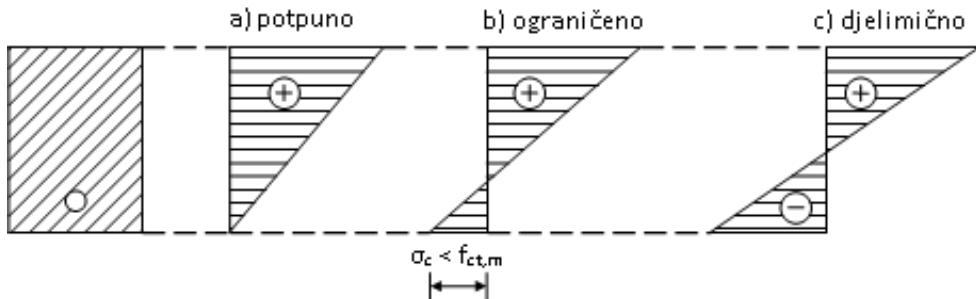
Optimalizacija glavnog nosača sa obzirom na vrstu prednaprezanja

Optimalizacija glavnog nosača se često postiže odgovarajućim izborom metode prednaprezanja. Kod projektovanja prednapregnutih montažnih hala i drugih konstrukcija, danas se koriste dvije vrste prednaprezanja glavnih nosača: [13]

- a) Prema stepenu ili veličini unešene sile (potpuno prednaprezanje, ograničeno i djelimično);
- b) Prema načinu (prethodno ili adhezionalno prednaprezanje; naknadno prednaprezanje: unutrašnje i vanjsko prednaprezanje).

Kao što je već rečeno, prednaprezaje prema stupnju može biti potpuno, ograničeno te djelimično i svako od njih ima svoje prednosti (*Slika 15*).

Potpuno prednaprezanje (Slika 15 a) je takvo kod kojeg za najnepovoljniju kombinaciju opterećenja nema pukotina niti napona zatezanja u betonu, a stepen prednaprezanja iznosi 1. Nedostatak je moguće prekomjerno izdizanje (deformacija) prednapregnutog nosača. Potpunim prednaprezanjem moguće je sva naprezanja u eksploataciji preuzeti sudjelovanjem čitavog presjeka elementa. Međutim, ovakvo prednaprezanje ima nekoliko važnih nedostataka, kao što su: veliki utrošak čelika za prednaprezanje, pojava nepredviđenih pukotina, pojava napona zatezanja u gornjoj zoni kada nema promjenljivog opterećenja, te nemogućnost korištenja duktilnosti.



Slika 15 - Stupnjevi prednaprezanja kod prednapregnutih elemenata [22]

Ograničeno (nepotpuno) prednaprezanje (Slika 15 b) je takvo kod kojeg se dopuštaju naponi zatezanja za najnepovoljnije kombinacije opterećenja u toku građenja i upotrebe, ali su oni manji od čvrstoće betona na zatezanje. Na taj način element je u stanju bez pojave pukotina. Stepen prednaprezanja je manji od 1.

Djelimično prednaprezanje (Slika 15 c) je takvo kod kojeg takođe postoje (dozvoljavaju se) pukotine u betonu, ali su one ograničene i pojavljuju se za određeno opterećenje. Stepen prednaprezanja je između 0,4 i 0,7. Pukotine koje se otvaraju djelovanjem promjenljivog opterećenja su kratkog trajanja, pa zbog toga ne utječu na trajnost elementa. Kada promjenljivo opterećenje prestane djelovati, pukotine se zatvaraju, pa je element dovoljno siguran od štetnih utjecaja.

Na taj način opasnost od korozije armature je svedena na minimum. Jedan dio opterećenja se prihvata prednaprezanjem, a drugi armaturalnim čelikom. Ovakav je način ekonomičniji i isplativiji od prethodna dva. Nedostatak je što zbog stalnog otvaranja i zatvaranja pukotina može doći do zamora elementa. [37]

Prednapregnuti elementi osim prednapregnutog čelika moraju imati i čeličnu armaturu za prijem sila zatezanja.

Stepen prednaprezanja k je odnos momenta dekompresije (kada na donjoj zoni nosača nastupi 0 N/mm^2) i ukupnog momenta, a izražava se formulom:

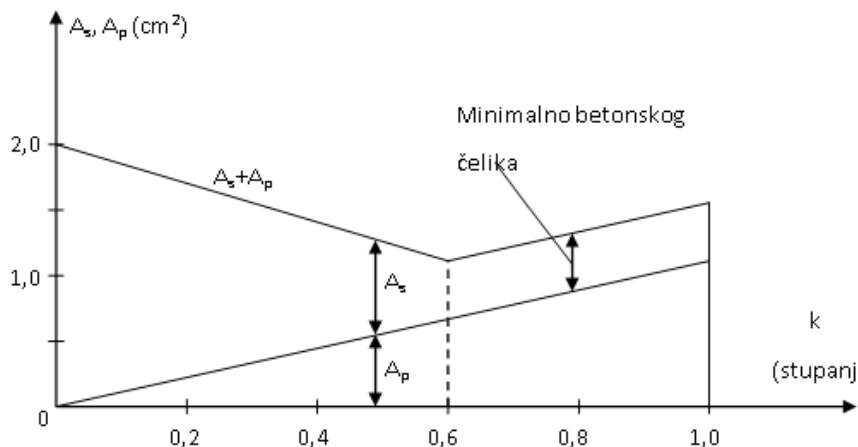
$$k = \frac{M_{\text{dek}}}{M_{g + \Delta g + q}} \quad (1)$$

gdje je:

M_{dek} moment uslijed kojeg u donjoj zoni nastupa 0 N/mm^2 (dekompresija),
 $M_{g + \Delta g + q}$ ukupni moment. [39]

Moment dekompresije je moment pri kojem se poništavaju naprezanja na donjem rubu nosača izazvana silom prednaprezanja. Svaki stepen prednaprezanja

zahtijeva da se u element ugradi i određena količina armaturnog čelika. Na *Slici 16* predstavljena je ovisnost količine armature od stupnja prednaprezanja.



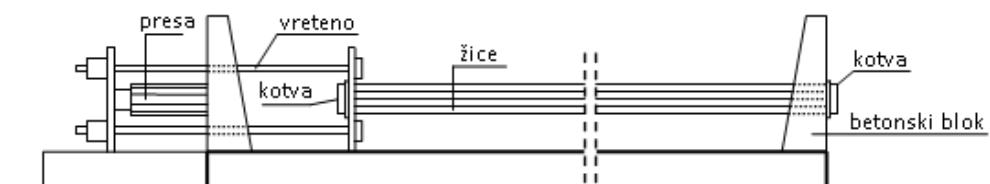
Slika 16 - Ovisnost količine armature od stepena prednaprezanja [28]

Sa slike je vidljivo da se za stepen prednaprezanja $k = 0,6$ dobiva ukupno najmanja površina armaturnog čelika i čelika za prednaprezanje. [22]

Obje vrste čelika su producijski assortimani valjaonica u željezarama, te se poduzimaju sve potrebne mjere za pripremu ovih čelika iz. [14]

Optimalizacija načinom prednaprezanja

Prethodno, adheziono, odnosno prednaprezanje prije očvršćavanja betona ili sa trenutnim spojem, vrši se na pistama ili stazama sastavnih dijelova prikazanih na Slici 17. Slika pokazuje da je jedan kraj žica, pomoću kotve, nepomično vezan za betonski blok. Drugi kraj žica, preko kotvi i vretena, spojen je sa presom.



Slika 17 - Staza i oprema za adheziono prednaprezanje [35]

Presom se žice zategnu do potrebne sile prednaprezanja. Tako žice ostaju u zategnutom stanju, nakon čega se betonira prednapregnuti element. Kada beton dostigne potrebnu čvrstoću (oko $0,7 \times f_{ck}$ i ne manju od 30 MPa), veza kablova sa

presom se prekida. Tako se, zbog adhezije žica i betona, sila prednaprezanja u čeliku za prednaprezanje prenosi kao sila pritiska na betonski element.

Ovaj se postupak primjenjuje kod montažnih prednapregnutih hala. Naponi u kablovima dostižu maksimalnu vrijednost tek na određenoj dužini unutar presjeka (dužina sidrenja), dok na kraju žice gdje ista izlazi iz nosača nema napona. Najbolji učinak adhezionog prednaprezanja se postiže ukoliko se ostvari dobra veza betona i čelika, što je najvažnije. [13]

Naknadno ili prednaprezanje poslije očvršćavanja betona se vrši presom (Slika 18) nakon što beton u potpunosti očvrstne i dostigne maksimalnu čvrstoću. Naravno, užad se prije prednaprezanja moraju uvući u kanale (čelične ili plastične cijevi), koji se u beton postavljaju prije betoniranja.



Slika 18 - Presa za prednaprezanje kablova [37]

Na jednom kraju ovakvih nosača kablovi su fiksirani (obično u beton) pomoću fiksne kotve (anker), a na drugom kraju se nalazi aktivna kotva pomoću koje se kablovi ankerišu nakon prednaprezanja. Danas su u primjeni razni sistemi za ankerisanje užadi na krajevima nosača (Slika 19).

Nakon prednaprezanja sila se na betonski element prenosi preko kotvi koje se nalaze na krajevima nosača. Kablovi kojima je vršeno prednaprezanje mogu se nakon istog injektirati pomoću cementnog morta za injektiranje. U takovom slučaju imamo prednaprezanje sa naknadnim spojem.

Umjesto injektiranja, kablovi se mogu ostaviti da slobodno djeluju u kanalima. Tada se radi o prednaprezanju bez spoja. Zbog zaštite kablova od korozije i mogućnosti sprezanja kablova i konstruktivnog elementa, danas je prihvatljivije i pogodnije koristiti prednaprezanje sa naknadnim spojem. [1]



Slika 19 - Klinovi za sidrenje užadi [1]

Prednaprezanje poslije očvršćavanja betona se može izvesti na dva načina:

- 1) unutrašnje (kabl se nalazi u presjeku);
- 2) vanjsko (kabl se nalazi izvan presjeka).

Na Slici 20 prikazano je vanjsko kablovsko prednaprezanje.



Slika 20 - Vanjsko prednaprezanje poslije očvršćavanja betona [44]

Optimalizacija prednapregnutih hala primjenom kvalitetnih materijala za izradu prednapregnutih elemenata

Zahtjevi za beton u Bosni i Hercegovini za izradu prednapregnutih hala i konstrukcija određeni su standardom BAS EN 206:2014, te ostalim standardima na koje taj standard upućuje. Za što bolju optimalizaciju prednapregnutih konstrukcija, beton se mora odabrat u skladu sa ovim standardima (*Tabela 1*).

Tabela 1 - Najniže klase betona za izradu prednapregnutih elemenata [39]

<i>Tip prednaprezanja</i>	<i>Najniža klasa čvrstoće betona na pritisak</i>
Prethodno (adheziono) prednaprezanje	C 30/37
Naknadno prednaprezanje	C 25/30

Beton za izradu prednapregnutih elemenata mora ispuniti sljedeće zahtjeve: 1) velika čvrstoća na pritisak, 2) mali iznos skupljanja i puzanja, te 3) velika trajnost. Ovim se produžava vijek trajanja konstrukcije. [29]

Pošto naprezanja u betonu utječu na trajnost konstrukcije, Eurokod 2 za određene klase betona ograničava napone u prednapregnutom nosaču u stanju upotrebe, te u fazi transporta na dozvoljene vrijednosti (*Tabela 2*). Ukoliko naponi nisu prekoračeni, pukotina u elementu nema, a ako ima, njihova širina je takođe unutar dozvoljenih vrijednosti. Na ovaj način se znatno produžava vijek trajanja konstrukcije.

Tabela 2 - Dopušteni naponi pritiska i zatezanja u betonu [37]

<i>Klasa betona</i>	<i>C30/37</i>	<i>C35/45</i>	<i>C40/50</i>	<i>C50/60</i>
f_{ck} [N/mm ²]	30,0	35,0	40,0	50,0
Dopušteni naponi pritiska u upotrebi [N/mm ²]	18,0	21,0	24,0	30,0
Dopušteni naponi pritiska u fazi transporta [N/mm ²]	13,5	15,8	18,0	22,5
Dopušteni naponi zatezanja, f_{ctm} [N/mm ²]	2,9	3,2	3,5	4,1

Kod projektovanja prednapregnutih ali i drugih vrsta konstrukcija (monolitnih i slično), posebna pažnja se takođe posvećuje iznalaženju napona i deformacija koje se javljaju na kontaktu temelja i tla, odnosno u samome tlu pod djelovanjem vanjskog opterećenja. [25]

Temelji hala mogu biti izgrađeni i od niže klase betona, nego gornji dio konstrukcije, kao što su krovni ili vezni nosači. Najčešće se primjenjuju temelji samci od armiranog betona, pravougaonog poprečnog presjeka i sa čašicom na gornjem dijelu za ulaganje stuba. Ako je tlo slabijih osobina, a opterećenje veće, potrebno je povećati dužinu nalijeganja. [26]

Čelik za prednaprezanje za primjenu kod montažnih hala takođe mora biti visoke kvalitete. Neki od zahtjeva koje čelik mora zadovoljavati su: visoka čvrstoća, niska relaksacija, zavarljivost, niska osjetljivost na koroziju, dobra prionljivost, otpornost na zamor, te geometrijska pravilnost. [28]

Kvalitet čelika za prednaprezanje karakteriše čvrstoća na zatezanje f_{pk} i karakteristična granica naprezanja $f_{p0.1,k}$ koja se odnosi na naprezanje sa nepovratnom deformacijom od 0,1%. Duktilnost čelika za prednaprezanje se ocjenjuje na osnovu minimalne postignute ukupne deformacije ϵ_{uk} i odnosa $f_p / f_{p0.1,k}$.

Za čelik za prednaprezanje je najvažnije da posjeduje dobru duktilnost pri izduženju kako je propisano standardima. Uz to, čelik mora zadovoljiti karakterističnu vrijednost deformacija pri maksimalnoj sili, te posjedovati duktilnost pri savijanju.

Čelik za prednaprezanje se na osnovu relaksacije dijeli na 3 klase: [37]

- Klasa 1: Žice i užad sa visokom relaksacijom;
- Klasa 2: Žice i užad sa niskom relaksacijom;
- Šipke.

Zbog malih promjena naprezanja i deformacija u čeliku, znatno se povećava otpornost na zamor, a time i produžava vijek konstrukcije.

Pored betona i čelika važna komponenta je injekciona smjesa koji se koristi za popunjavanje prostora između kablova i zaštitnih cijevi. Injektiranje se vrši pod pritiskom. Na taj način kablovi se štite od korozije i uspostavlja se dobra veza betona i kablova. Injektiranje se ne vrši na temperaturi manjoj od +5 °C, a idealna temperatura je oko 15 °C. Injektiranje se izvodi injekcionim smjesama koje su propisane standardom BAS EN 934 – 2: 2010.

Materijal za injektiranje mora zadovoljavati uslove kao što su fluidnost, čvrstoća na pritisak, smanjenje zapremine i izdvajanja vode, te postojanost na mrazu. Zbog odzračivanja, smjesa se injektira u najnižoj tački kabla. [29]

Postupak injektiranja se provodi kod naprezanja sa naknadnim spojem. Ukoliko se kablovi nakon prednaprezanja ostave da slobodno egzistiraju unutar presjeka dobija se prednaprezanje bez spoja. Ako se prostor između kablova i cijevi

ispuni injekcionom smjesom, dobija se prednaprezanje sa naknadnim spojem. U prvom slučaju, potrebno je pri proračunu oduzeti površinu otvora za cijevi od ukupne površine presjeka elementa, dok u drugom slučaju to nije potrebno, jer dolazi do promjene deformacija pod djelovanja ostalih opterećenja.

Prednaprezanje sa naknadnim spojem ima neke prednosti u odnosu na prednaprezanje bez spoja, a to su: [1]

- Moguća je ušteda u armaturnom čeliku;
- Zbog spoja kablova sa presjekom proračun je jednostavniji;
- Ovakvi elementi imaju veći moment otpora u graničnom stanju nosivosti, zahvaljujući vezi betona i kablova;
- Nema većih problema pri održavanju kotvi na krajevima nosača;
- Kablovi i kotve su zaštićeni od korozije.

Optimalizacija prednapregnutog glavnog nosača primjenom kvalitetnih sistema za prednaprezanje

Izrada kvalitetnih sistema za prednaprezanje je uslov za trajnost konstrukcije. U cilju izrade najboljih projektnih rješenja prednapregnutih hala sa ciljem da konstrukcija ima velik životni i upotrebnii vijek, potrebno je upotrijebiti sisteme najpoznatijih proizvodača.

Na tržištu postoje četiri najpoznatija sistema za prednaprezanje.

Sistem BBRV je razvijen od strane tri švicarska građevinska inženjera: M. Birkenmaier, A. Brandestin i M. R. Roš, koji su formirali studijsku grupu pod nazivom BBR u saradnji sa mašinskim inženjerom C. Vogtom. Tako je nastao sistem BBRV, koji predstavlja kvalitetnu tehnologiju za prednaprezanje betonskih i drugih konstrukcija.

Sistem Vorspann–Technik je sistem koji je nastao na osnovu poboljšanog Freyssinetova patenta. Koriste se pojedinačne šipke, žice i užadi, te snopovi žica i užadi. Primjenjen je u praksi za prednaprezanje mnogih konstrukcija.

Sistem Dywidag je najpoznatiji i prema mnogima najkvalitetniji sistem za prednaprezanje. Ovaj sistem je proizvod istoimene kompanije Dywidag, a vlasnici su Dyckerhoff i Widmann iz Münchena. Proizvodi uglavnom sisteme od pojedinačnih užadi te od šipki.

Sistem VSL je takođe prepoznatljiv sistem sa sjedištem u Bernu. Primjenom tehnologije ovog sistema sagrađeni su i popravljeni ali i ojačani mnogi mostovi, zgrade i druge konstrukcije specijalne namjene u Americi. [37]

Optimalizacija tehnološkog postupka proizvodnje prednapregnutih nosača kod projektovanja montažnih hala

Da bi element obavljao svoju funkciju u konstrukciji potrebno je da zadovoljavajućom tačnošću proći kroz sve korake tehnološkog postupka proizvodnje. Ekonomski racionalno projektovanje, odnosno istraživanje optimalnih konstrukcijskih rješenja, zasniva se na poznavanju tehnologije izrade konstrukcija, primjeni kvalitetnih materijala, te metodama proračunavanja i konstruisanja. U ovom istraživanju se razmatra postupak proizvodnje glavnih prednapregnutih nosača, kao najsloženiji tehnološki postupak kod izgradnje montažnih hala. Postupak proizvodnje ostalih elemenata (stubovi, temelji i sl.) obavlja se na isti način, samo bez postupka prednaprezanja, odnosno kao elementi bez prednaprezanja. [31]

Betonski nosači sa prednapregnutim čelikom proizvode se u skladu sa projektnom dokumentacijom u tvornicama sa svom opremom koja je potrebna za proizvodnju i uz praćenje kvaliteta proizvodnje. Danas se proizvodnja spomenutih nosača obavlja pomoću opreme najnovije tehnološke generacije. U proizvodnom procesu koriste se dva načina prednaprezanja nosača opisana ranije i to: [13]

- Prednaprezanje prije očvršćavanja betona (adheziono/prednaprezanje sa trenutnim spojem);
- Prednaprezanje poslije očvršćavanja betona (prednaprezanje sa naknadnim spojem/bez spoja).

Tehnološki postupak proizvodnje elemenata prednapregnutih prije očvršćavanja betona svodi se na slijedeće:

- 1) priprema oplate;
- 2) postavljanje armature;
- 3) prednaprezanje;
- 4) betoniranje;
- 5) vadenje elementa iz oplate;
- 6) skladištenje.

Tehnološki postupak proizvodnje elemenata prednapregnutih poslije očvršćavanja betona svodi se na sljedeće:

- 1) priprema oplate;
- 2) postavljanje armature i kanala (cijevi za kablove);
- 3) betoniranje;
- 4) vađenje elementa iz oplate;
- 5) prednaprezanje;
- 6) skladištenje.

Optimalizacija projektnih rješenja prednapregnutih hala proračunom

Optimalizacija se najčešće provodi sa ciljem da se ispunii funkcionalan zadatak konstrukcije, a to su takođe i upotrebljivost i trajnost. Proračunom se usvoje dimenzije elemenata, materijal, oblik, površina, te druge karakteristike potrebne za ispunjenje funkcionalnih zahtjeva konstrukcije. Za svaki se uslov određuju racionalne granice u okviru kojih se smatra da je uslov zadovoljen. Od skupa odabranih rješenja, traži se rješenje koje ispunjava tražene zahtjeve, a to su upotrebljivost i trajnost.

Kod prednapregnutih hala najčešće se vrši optimalizacija glavnog prednapregnutog nosača kao primarni cilj, jer od njegovog raspona zavisi raspon konstrukcije u cijelini. Ovo je važno ako se želi napraviti hala sa velikim rasponom, ali bez srednjeg stuba.

Granično stanje nosivosti

Granično stanje nosivosti predstavlja maksimalnu nosivost betonskog presjeka, odnosno stanje pri kojem dolazi do loma ili nekog drugog oblika otkazivanja elementa (konstrukcije), kao što su: gubitak ravnoteže, lom uslijed prekomjerne deformacije presjeka, te lom zbog zamora.

Kada se razmatra granično stanje statičke ravnoteže ili velikih pomjeranja, potrebno je dokazati da su proračunski utjecaji od destabilizirajućih djelovanja manji od stabilizirajućih.

Kada se razmatra granično stanje loma, potrebno je dokazati da je proračunska vrijednost unutrašnje sile ili momenta manja ili jednaka proračunskoj nosivosti.

Granično stanje upotrebljivosti

U ovom graničnom stanju razmatraju se tri kombinacije ili situacije:

- Rijetka kombinacija
- Česta kombinacija, i
- Kvazistalna kombinacija.

Potrebno je dokazati da je proračunski utjecaj od dejstava (određen na osnovu jedne od gornjih kombinacija) manji od nominalne vrijednosti ili funkcije koja zavisi od proračunskih svojstava materijala, na koju se odnose proračunski utjecaji od razmatranih djelovanja.

U stanju upotrebljivosti se određuju vrijednosti naprezanja, pukotina i deformacija (progiba) elementa, a zatim se dobijene vrijednosti upoređuju sa dopuštenim vrijednostima prema Eurocode 2. Proračunate vrijednosti moraju biti manje od dopuštenih. Često nije potrebno proračunavati pukotine ako se izračunavaju naprezanja i obrnuto. Ako su naprezanja u dopuštenim granicama, to vrijedi i za pukotine.

Najčešće se element proračunava za različite raspone (određuju se pukotine i progibi), pa se onda traži optimalno rješenje, pri čemu progibi i pukotine moraju biti u dopuštenim granicama, što znatno produžava vijek trajanja. [28]

UTICAJ NAPONA, PUKOTINA I DEFORMACIJA NA TRAJNOST I ŽIVOTNI VIJEK KONSTRUKCIJE

Trajinost je sposobnost konstrukcije da zadrži projektovanu, odnosno zahtijevanu razinu sigurnosti i upotrebljivosti tokom cijelog životnog vijeka bez povećanih troškova za održavanje i popravak. Trajinost konstrukcije najčešće zavisi od trajnosti materijala od kojeg su izrađeni njeni elementi ili dijelovi. Pri projektovanju konstrukcija najveći problem je danas nedovoljna trajnost. [22]

Pri projektovanju konstrukcije razmatraju se unutrašnja i vanjska djelovanja koja su bitna sa aspekta osiguranja trajnosti građevine. Cilj proračuna konstrukcije je postizanje zadovoljavajuće vjerovatnoće da će konstrukcija moći preuzeti sva opterećenja, koja se javljaju tokom izvođenja i eksploatacije, odnosno da ima željeni vijek trajanja.

Da bi konstrukcija imala željeni stepen sigurnosti i upotrebljivosti, kao i vijek trajanja, proračunom se moraju obuhvatiti sva granična stanja. Da bi se osigurala trajnost konstrukcije prema EC2, naponi, pukotine i deformacije (progibi) ne smiju prijeći dopuštene vrijednosti u graničnom stanju upotrebljivosti. [16]

Preveliki naponi u betonu i armaturi dovode do zamora materijala, te smanjenja trajnosti konstrukcije. Velike širine pukotina omogućavaju prodror tekućine ili plina u betonski element, što dovodi do propadanja čelika, odnosno smanjenja životnog vijeka konstrukcije. Ukoliko progib nije u okviru dopuštene vrijednosti takođe dolazi do zamora materijala, a samim tim i smanjenja trajnosti konstrukcije. [8]

Metode održavanja konstrukcije sa ciljem sprječavanja smanjenja trajnosti

Prevelika naprezanja u betonu i čeliku, velike širine pukotine, te progibi veći od dopuštenih mogu ograničiti upotrebnii vijek i trajnost konstrukcije. Sa tog aspekta treba se voditi računa o slijedećem: [23]

- 1) *Tehnički upotrebnii vijek* – Razdoblje u kojem su tehnička svojstva konstrukcije iznad minimalno prihvatljive razine, uz redovno održavanje konstrukcije. Odgovarajućim projektovanjem, izvođenjem, upotreborom i održavanjem građevine, tehnički upotrebnii vijek se mora uskladiti sa zahtijevanim upotrebnim vijekom. Zahtijevani upotrebnii vijek je kriterij koji postavlja investitor ili društvo;
- 2) *Ekonomski upotrebnii vijek* – Predstavlja period do kraja upotrebnog vijeka građevine koji može nastupiti čak i ako konstrukcija zadovoljava

tehnička svojstva. Ekonomski upotrebnii vijek je dostignut kada konstrukcija više ne ispunjava zahtjeve sa ekonomskog stajališta;

- 3) *Popravci* – Služe da se konstrukcija ponovo vrati u stanje u kojem su zadovoljeni svi uslovi sa aspekta trajnosti. Popravci imaju karakter održavanja, a vrše se u slučaju kada su svojstva konstrukcije narušena iznad dopuštene granice. Često imaju i karakter sanacije, koja se provodi zbog štete koja nastaje uslijed propadanja betona. Propadanje betona nastaje zbog korozije armature, pukotina izazvanih uticajima iz okoline, a postoji i mogućnost pojave negativne reakcije između agregata i cementa;
- 4) *Preventivno i unaprijed definisano održavanje* – Odnosi se na održavanje konstrukcije u skladu sa projektom i planom aktivnosti. Ovakva vrsta održavanja se provodi periodično od trenutka izgradnje konstrukcije, čak i ako na konstrukciji nisu vidljiva oštećenja elemenata ili drugih njenih dijelova;
- 5) *Pregledi konstrukcije* – Provode se u skladu sa unaprijed definisanim planom i programom, a obuhvataju aktivnosti kojima se utvrđuje trenutno stanje i ponašanje konstrukcije. Procjena stanja dotrajalosti objekata vrši se na osnovu vizuelne inspekcije. Projektovanjem konstrukcije se definiraju i metode održavanja, najčešće sa aspekta minimalnog održavanja, optimalnog ukupnog troška tokom upotrebnog vijeka ili optimalnog uticaja konstrukcije na okolinu. Prema rezultatima ispitivanja dotrajalosti konstrukcija, najčešći uzroci zbog kojih one propadaju su štetni utjecaji iz okoliša u kombinaciji sa klimatskim prilikama. Prisustvo vode kao sredstvo njihovog nekontrolisanog prenosa do najosjetljivijih tačaka konstrukcije je takođe jedan od glavnih razloga propadanja.

Pristupi projektovanju trajnosti konstrukcija

Da bi se osigurala trajnost konstrukcije prema EC2, naponi, pukotine i progibi se moraju ograničiti na dozvoljene vrijednosti u toku upotrebnog vijeka konstrukcije. Sa tog aspekta postoje dva pristupa projektovanju konstrukcija: [10]

- 1) Implicitno projektovanje trajnosti i
- 2) Eksplicitno projektovanje trajnosti konstrukcija.

Da bi se naponi, pukotine i progibi ograničili na dozvoljene vrijednosti u stanju upotrebljivosti, te se na taj način osigurala trajnost konstrukcije treba se

pridržavati pravila implicitnog projektovanja kako je opisano u dalnjem tekstu i tabelarno.

Pridržavanjem slijedećih pravila pri projektovanju negativan utjecaj napona, pukotina i deformacija na trajnost i životni vijek konstrukcije može se svesti na najmanju moguću mjeru. [22]

1) Određivanje prosječnog upotrebnog vijeka

Zavisno od vrste konstrukcije postoje 4 razreda sa različitim zahtijevanim proračunskim upotrebnim vijekom (*Tabela 3*). Implicitni pristup projektovanju trajnosti, temelji se na usvajanju predviđenog prosječnog upotrebnog vijeka koji je određen normama i iznosi najmanje 50 godina. [16]

Tabela 3 - Proračunski upotrebnii vijek betonskih konstrukcija [47]

<i>Razred</i>	<i>Zahtijevani proračunski vijek [godina]</i>	<i>Opis konstrukcije</i>
1	1 – 5	Privremene konstrukcije
2	25	Zamjenljivi dijelovi konstrukcije (ležišta, štapovi, grede kranskih staza i drugo)
3	50	Konstrukcije zgrada i obične konstrukcije
4	100	Mostovi, značajne građevine, inženjerske konstrukcije

2) Određivanje utjecaja klase izloženosti

Tehnički propisi za betonske konstrukcije propisuju da se uticaj okoliša mora uzeti u obzir, odnosno konstrukcija se mora svrstati u jednu od klasa izloženosti prema *Tabeli 4*. U projektu se unaprijed navodi kojoj klasi izloženosti konstrukcija pripada.

- 3) *Procjena običnih izdataka za održavanje* – Obuhvata planiranje i procjenu svih postupaka koji će se primijeniti na građevini, a posebno:
 - a) Zaštita odmah nakon izgradnje (premazi, obloge i drugo);
 - b) Uređaji za održavanje;
 - c) Ugrađeni uređaji i oprema;
 - d) Troškovi redovnih pregleda i zamjena.

Tabela 4 - Klase izloženosti u zavisnosti od uslova sredine [28]

Klase izloženosti	Opis	
1. Suhu okoliš	– Unutrašnjost stambenih ili uredskih zgrada	
2. Vlažan okoliš	a) Bez mraza	– Unutrašnjost zgrade sa velikom vlažnošću – Vanjski elementi – Elementi u neškodljivom tlu ili vodi
	b) Sa mrazom	– Vanjski elementi izloženi mrazu – Elementi u neškodljivom tlu ili vodi izloženi mrazu – Unutrašnji elementi izloženi velikoj vlazi ili mrazu
3. Vlažan okoliš sa mrazom i sredstvima za odmrzavanje	– Unutrašnji i vanjski elementi izloženi mrazu sa mogućnošću soljenja	
4. Morski okoliš	a) Bez mraza	– Elementi izloženi prskanju morskom vodom ili uronjeni u nju – Elementi na zraku zasićenom solju
	b) Sa mrazom	– Elementi izloženi prskanju morskom vodom ili uronjeni u nju – Elementi na zraku zasićenom solju izloženi smrzavanju
5. Hemijski štetan okoliš	a)	– Neznatno hemijski štetan okoliš – Štetna industrijska atmosfera
	b)	– Umjерено hemijski štetan okoliš
	c)	– Hemijski vrlo štetan okoliš

- 4) *Određivanje sastava betona i pravila izvođenja* – Trajinost konstrukcije zavisi od trajnosti armature (korozija) i trajnosti betona (smrzavanje, abrazija, karbonizacija). Najvažnija mjera zaštite konstrukcije je sastav betona, koji se najviše odnosi na maksimalni vodocementni faktor, minimalni sadržaj cementa, te minimalnu klasu čvrstoće betona. Prema normi EN 206, konstrukcija se za potrebe određivanja sastava betona svrstava u klase izloženosti prema *Tabeli 5*.

Tabela 5 - Klasifikacija djelovanja iz okoliša [28]

<i>Oznaka klase</i>	<i>Opis okoliša / izloženost</i>	<i>Primjer</i>
1. Nema rizika od korozije		
X0	Beton bez armature, nema smrzavanja ili hemijskog djelovanja. Beton sa armaturom u vrlo suhom okolišu.	Elementi unutar građevine sa vrlo niskom vlažnosti zraka.
2. Korozija prouzročena karbonizacijom		
XC1	Suhi ili stalno vlažni okoliš	Elementi unutar građevine sa niskom vlažnosti. Beton stalno u vodi.
XC2	Vlažni, rijetko suhi	Elementi dugotrajno izloženi vodi. Većina temelja.
XC3	Umjereni vlažni	Elementi unutar građevina sa niskom ili umjerenom vlažnosti. Vanjski elementi zaštićeni od kiše.
XC4	Izmjenično vlažni i suhi	Elementi u dodiru sa vodom, ali ne dugotrajno.
3. Korozija prouzročena kloridima, ali ne iz mora		
XD1	Umjereni vlažni	Elementi izloženi kloridima iz zraka.
XD2	Vlažni, rijetko suhi	Plivališta, elementi izloženi otpadnim industrijskim vodama.
XD3	Naizmjenično vlažni i suhi	Dijelovi mostova izloženi prskanju kloridima, kolnici, parkirališta.
4. Korozija prouzročena kloridima iz mora		
XS1	Elementi izloženi solima iz zraka, ali ne u direktnom dodiru sa morskou vodom	Konstrukcije blizu mora ili na obali.
XS2	Stalna uronjenost u more	Elementi ispod razine mora.
XS3	Područja plime i oseke i područje zapluskivanja	Elementi naizmjenično uronjeni i na zraku.

Tabela 5 (nastavak) - Klasifikacija djelovanja iz okoliša [28]

Oznaka klase	Opis okoliša / izloženost	Primjer
5. Korozija prouzročena smrzavanjem i odmrzavanjem sa soli ili bez nje		
XF1	Umjerena zasićenost vodom bez soli	Vertikalne površine betona izložene kiši i smrzavanju.
XF2	Umjerena zasićenost vodom sa soli	Vertikalne betonske površine cestovnih konstrukcija izložene smrzavanju i solima za odmrzavanje iz zraka.
XF3	Visoka zasićenost vodom bez soli	Horizontalne površine betona izložene kiši i smrzavanju.
XF4	Visoka zasićenost vodom sa soli	Kolničke ploče, površine izložene prskanju solima i smrzavanju. Područja izložena vlaženju iz mora i smrzavanju.
6. Hemijska djelovanja		
XA1	Blago hemijski agresivan	
XA2	Umjерено hemijski agresivan	
XA3	Jako hemijski agresivan	

EC2 daje preporuke za granične vrijednosti sastava betona i svojstva u zavisnosti od klase izloženosti prema *Tabeli 6*. Vrijednosti u tabeli zasnivaju se na pretpostavci predviđenog upotrebnog vijeka konstrukcije od 50 godina. Uz to, EC2 takođe preporučuje i potrebnu debljinu pokrovног sloja betona, u zavisnosti od klase izloženosti, sadržaju cementa i vodocementnom faktoru prema *Tabeli 7*. [22]

Projektovanje trajnosti prema ponašanju (eksplicitno projektovanje) je prikladno u sljedećim slučajevima: [10]

- a) Zathijevani upotrebni vijek je veći od 50 godina;
- b) Radi se o posebnoj vrsti konstrukcije kod koje postoji manja vjerovatnoća otkazivanja;
- c) Posebno agresivan okoliš;
- d) Očekuje se visoka kvaliteta izvedbe;
- e) Primjenjuje se strategija upravljanja i održavanja višeg stepena;
- f) Izgrađuje se veći broj sličnih konstrukcija ili elemenata;
- g) Primjenjuju se novi ili različiti materijali.

Tabela 6 - Granične vrijednosti v/c, količine cementa [kg/m³] i klase čvrstoće u zavisnosti od klase izloženosti okoline [16]

<i>Klasa izloženosti</i>			<i>Granične vrijednosti</i>			
<i>Oznaka</i>	<i>Djelovanje</i>		<i>Max v/c</i>	<i>Min. cementa [kg/m³]</i>	<i>Min. klasa</i>	
X0	Nema rizika		–	–	C12/15	
XC	1	Karbonatizacija (H ₂ O, CO ₂)	Suho ili u vodi	0,65	260	C25/25
	2		Stalna vlaga	0,60	280	C25/30
	3		Umjerena vlaga	0,55	280	C30/37
	4		Vlaženje / sušenje	0,50	300	C30/37
XD	1	Kloridi koji nisu iz mora (H ₂ O, Cl)	Umjerena vlaga	0,55	300	C30/37
	2		Stalna vlaga	0,55	300	C30/37
	3		Vlaženje / sušenje	0,45	320	C35/45
XS	1	Kloridi iz mora (H ₂ O, Cl)	Bez dodira sa vodom	0,50	300	C30/37
	2		U vodi	0,45	320	C35/45
	3		Plima / oseka	0,45	340	C35/45
XF ¹⁾	1	Smrzavanje / odmrzavanje + soli	Umjerena zasićenost vodom	0,55	300	C30/37
	2 ²⁾		Umjerena zasićenost vodom + soli	0,55	300	C25/30
	3 ²⁾		Visoka zasićenost vodom	0,50	320	C30/37
	4 ²⁾		Visoka zasićenost vodom + soli	0,45	340	C30/37
XA	1	Hemijsko djelovanje	Neznatno škodljivo	0,55	300	C30/37
	2 ³⁾		Umjereno škodljivo	0,50	320	C30/37
	3 ³⁾		Vrlo škodljivo	0,45	360	C35/45

¹⁾ AGREGAT OTPORAN NA SMRZAVANJE; ²⁾ MINIMALNA KOLIČINA ZRAKA OD 4,0 %; ³⁾ SULFATNO OTPORNİ CEMENT

Tabela 7 - Minimalne debljine pokrovнog sloja betona [22]

Najmanji zaštitni sloj [mm] ^{1) 2)}	Klasa agresivnosti (izloženosti) prema tabeli 4.2.								
	1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c ³⁾
Betonski čelik	15	20	25	40	40	40	25	30	40
Čelik za prednaprezanje	25	30	35	50	50	50	35	40	50

¹⁾ Za pločaste elemente i razrede od 2 do 5 smije se smanjiti za 5 mm
²⁾ Za betone klase C 40/50 i veće, u slučaju armiranog betona klase izloženosti od 2a do 5b i u slučaju prednapregnutog betona klase izloženosti od 1 do 5b smije se smanjiti za 5 mm, ali ne smije biti manji od propisanog za razred izloženosti 1
³⁾ Upotrebljavati zaštitne premaze

Postupak proračuna se zasniva na modelima mehanizama degradacije betona i betonskih konstrukcija pri čemu se razmatra slijedeće: [23]

- a) Modeliranje karbonatizacije;
- b) Modeliranje djelovanja klorida;
- c) Modeliranje napredovanja korozije;
- d) Modeliranje razvoja pukotine i
- e) Deterministički proračun.

Faktori od kojih zavisi trajnost konstrukcije su slijedeći: [47]

1) Unutrašnja svojstva konstrukcije:

- a) Vrsta i kvalitet materijala – Potrebno je da materijal posjeduje osobine kao što su homogenost, poroznost, vodonepropusnost, plinopropusnost, prionljivost, čvrstoća na zatezanje. Uz to, važna je i morfologija pora, jer se sastavom i njegovim betona poboljšava svojstvo propusnosti;
- b) Odabrana konstrukcija i detalji – Odabire se tip konstrukcije sa obzirom na upotrebnu djelovanja i učinke okoliša, pri čemu se vodi računa o konstruisanju detalja i mogućnosti zamjene. Treba izbjegavati detalje koji svojim propadanjem ubrzavaju propadanje drugih elemenata;
- c) Način i postupci izgradnje – Uključuje izvedbu različitih spojeva u konstrukciji, neujednačenost materijala u velikim konstrukcijama, te postupke izgradnje koji izravno utječu na svojstva trajnosti;

d) Zaštita elemenata konstrukcije – impregnacija, premazi, oblaganja.

2) *Djelovanje okoliša:*

a) Djelovanje prirodnih sila i pojava – Snijeg, vjetar, led, kiša, sunce, temperaturne promjene, morska voda i drugo;

b) Umjetna onečišćenja – Negativni utjecaji koji su posljedica ljudske industrijske aktivnosti;

c) Namjerna djelovanja – npr. posipanje soli na prometnicama.

3) *Učinci upotrebnog opterećenja;*

4) *Održavanje.*

Trajinost prednapregnutih betonskih montažnih hala

Izvođenje radova za vrijeme izgradnje montažnih hala može imati velik uticaj na trajnost ovakvih konstrukcija. Da bi se postigla zadovoljavajuća otpornost na agresivna djelovanja sredine, a time i osigurala trajnost konstrukcije, potrebno je odabratи prikladan i odgovarajući materijal, te kontrolisati spravljenje, ugrađivanje i njegu betona. Sve to treba biti u skladu sa zahtjevima odgovarajućih međunarodnih i nacionalnih standarda.

Projektovanje takođe može uticati na trajnost hale. Kod montažnih elemenata, najvažnije je osigurati minimalni pokrovni sloj betona radi prenošenja sile spoja (prionljivost betona i armature), zaštite od požara, te korozije. Kablovi za prednaprezanje su veoma osjetljivi na koroziju, uslijed koje dolazi do smanjenja poprečnog presjeka samih kablova, pada sile prednaprezanja, pojave pukotina i progiba, te na kraju smanjenja trajnosti i životnog vijeka konstrukcije. Uz to, potrebno je osigurati i odgovarajuće razmake za kablove i betonski armaturni čelik.

Kada je riječ o montažnim halama, sve gore nabrojane zahtjeve za osiguranje trajnosti je lako ispuniti, jer se montažni elementi rade u tvornici, a nakon proizvodnje se prevoze na gradilište, gdje se sklapaju u konstrukciju. Zadovoljenje svih ovih zahtjeva je bitno sa aspekta napona, pukotina i deformacija (progiba) u elementu, koji se ograničavaju za granično stanje upotrebljivosti još u fazi projektovanja. Međutim, ukoliko se u fazi izrade elementa ne posveti dovoljna pažnja (pokrovni sloj betona, razmak kablova i armaturnog čelika), veliki naponi, pukotine i progibi se mogu pojaviti još u ranoj fazi životnog vijeka montažne hale (zbog korozije armature i nedovoljne prionljivosti sa betonom). Stoga, da bi se dobila hala odgovarajućeg

životnog vijeka, potrebno je da se projektant pridržava svih pravila sa aspekta trajnosti konstrukcije.

PRIMJENA EC2 U PRORAČUNU GRANIČNIH STANJA UPOTREBLJIVOSTI BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Pored zahtjeva za trajnost konstrukcije koji su prethodno prezentirani, svaki element konstrukcije je u fazi projektovanja potrebno dimenzionirati na granično stanje nosivosti (lom) i granično stanje upotrebljivosti. Ova dva granična stanja čine osnovu za dimenzioniranje konstrukcija, odnosno za osiguranje trajnosti, stabilnosti i sigurnosti. Proračun konstrukcija prema graničnim stanjima se ne razlikuje bitno za montažne i monolitne konstrukcije. Međutim, važno je da projektant vodi računa o vezama pojedinih elemenata, koji su od izuzetne važnosti za ponašanje i proračun montažnih, odnosno monolitnih konstrukcija.

Granično stanje nosivosti (Ultimate Limit State – ULS)

Granično stanje nosivosti ili loma odgovara maksimalnom kapacitetu nosivosti elementa, a odnosi se na slijedeće: [27]

- Gubitak ravnoteže konstrukcije ili njezinih elemenata koji se posmatraju kao kruto tijelo (klizanje, prevrtanje, izvijanje);
- Granično stanje loma ili prekomjerne deformacije kritičnog presjeka;
- Gubitak ravnoteže zbog prevelikog deformiranja (teorija II. reda);
- Granično stanje loma uzrokovano zamorom materijala;
- Transformacija konstrukcije u mehanizam (teorija plastičnosti).

Ovisno o ponašanju materijala, proračun se može provoditi po linearnoj teoriji, linearnej teoriji sa ograničenom preraspodjelom, teoriji plastičnosti i nelinearnoj teoriji. Proračun u ovom istraživanju se provodi koristeći linearnu teoriju elastičnosti koja se najviše koristi.

Betonski elementi se dimenzioniraju prema ULS. Kontrola napona, pukotina i progiba se vrši za SLS, pri čemu je potrebno poznavati dva naponska stanja: naponsko stanje I (neraspucali presjek) i naponsko stanje II (raspucali presjek) [2 i 3].

Lom presjeka savijanjem sa uzdužnom silom ili bez nje može nastati iz slijedećih razloga: [27]

- *Zbog iscrpljenja armature u donjoj zoni* – Ovakav tip loma nastaje trenutno, a količina armature nije dovoljna da prihvati napone zatezanja pri prelazu iz naponskog stanja I u stanje II. Presjek je potrebno armirati minimalnom armaturom da se lom ne bi dogodio;

- *Zbog iscrpljenja betona na pritisak* – Lom takođe nastaje zbog iscrepljenja nosivosti armature, ali nakon pojave manjih, a zatim i većih pukotina i deformacija u donjoj zoni. Ovakav tip loma se zove duktilni lom;
- *Zbog istovremenog iscrpljenja armature u donjoj zoni i betona u gornjoj zoni* – Ovakav lom se zove balansirani lom, a nastaje uz prethodno naglašene pukotine i deformacije.

Dokaz nosivosti presjeka se sprovodi nakon što je izvršena analiza djelovanja na nosač, kojom se moraju obuhvatiti sva stalna i promjenljiva djelovanja koja djeluju na nosač. Počinje se od vlastite težine nosača i nijedno djelovanje se ne smije izostaviti.

Osnovne pretpostavke na kojima se zasniva određivanje kapaciteta nosivosti presjeka u graničnom stanju nosivosti su: [16]

- Ravni presjeci ostaju ravni i nakon savijanja (Bernoulli–jeva hipoteza ravnih presjeka). Dilatacije su linearne raspoređene po visini presjeka;
- Beton ne sudjeluje u preuzimanju sila zatezanja, odnosno silu zatezanja preuzima čelična armatura;
- Prepostavlja se potpun spoj (prionljivost) između betona i armature;
- Pojednostavljaju se (idealiziraju) računski dijagrami $\sigma_c - \varepsilon_c$ za beton, $\sigma_s - \varepsilon_s$ za armaturalni i prednapregnuti čelik, kojima se približno uzimaju u obzir elastoplastične osobine betona i čelika.

Pošto veći broj opterećenja (snijeg, korisno, vjetar) u graničnom stanju nosivosti ne mogu djelovati istovremeno koriste se kombinacije opterećenja.

S tim u vezi postoje četiri reprezentativne vrijednosti: [11]

- Karakteristična vrijednost jednog od promjenljivih opterećenja (Q_k);
- Vrijednost u kombinaciji ($\Psi_0 \times Q_k$);
- Česta vrijednost ($\Psi_1 \times Q_k$);
- Nazovistalna ili kvazistalna vrijednost ($\Psi_2 \times Q_k$).

Vrijednosti koeficijenata prema EC2 dati su u *Tabeli 8*.

Tabela 8 - Koeficijenti kombinacije djelovanja za konstrukcije [11]

Promjenljivo djelovanje	Vrijednost u kombinaciji Ψ_0	Česta vrijednost Ψ_1	Kvazistalna vrijednost Ψ_2
Upotrebljiva opterećenja u zgradama			
– Stambeni prostori	0,7	0,5	0,3
– Uredi	0,7	0,5	0,3
– Prostori za veće skupove ljudi	0,7	0,7	0,6
– Trgovine	0,7	0,7	0,6
– Skladišta	1,0	0,9	0,8
Prometna opterećenja u zgradama			
– Težina vozila $\leq 30 \text{ kN}$	0,7	0,7	0,6
– Težina vozila $> 30 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
– Krovovi	0,0	0,0	0,0
Opterećenje vjetrom na zgrade	0,6	0,5	0,0
Opterećenje snijegom	0,6	0,2	0,0
Temperatura u zgradama (osim požara)	0,6	0,5	0,0

Za proračun u ovoj studiji iz Tabele 8 bitni su: krovovi (koeficijent za sve kombinacije je 0.0) i dejstvo snijega (0.6, 0.2, 0.0).

Parcijalni koeficijenti sigurnosti za opterećenja ili rezne sile ovise o vrsti i karakteru opterećenja (povoljno, nepovoljno) i prema EC2 dati su u Tabeli 9. Parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale γ_m dati su u Tabeli 10.

Tabela 9 - Parcijalni koeficijenti sigurnosti za djelovanja na konstrukcije za stalne i prolazne proračunske situacije [28]

Djelovanje	Parcijalni koeficijenti sigurnosti γ_F		
	Vrsta djelovanja		
	Stalno γ_G	Promjenljivo γ_Q	Prednaprezanje γ_P
Nepovoljno	1,35	1,5	1,0 ili 1,1
Povoljno	1,0	0	1,0 ili 0,9

Tabela 10 - Parcijalni koeficijenti sigurnosti za svojstva materijala [27]

Vrsta kombinacije	Parcijalni koeficijenti sigurnosti γ_m	
	Beton γ_c	Betonski i prednapregnuti čelik γ_s
Osnovna kombinacija	1,50	1,15
Slučajna kombinacija	1,30	1,0

Uobičajena (stalna) proračunska kombinacija za GSN je:

$$E_d = \sum_j (\gamma_G \times G_{k,j}) + \gamma_Q \times Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\gamma_Q \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}) + \gamma_P \times P_k \quad (2)$$

gdje su

- $\gamma_G, \gamma_Q, \gamma_P$ parcijalni koeficijenti sigurnosti za djelovanje dati u Tabeli 10,
- $G_{k,j}, Q_{k,i}$ karakteristične veličine za stalna i ostala promjenljiva dejstva,
- $O_{k,1}$ karakteristična veličina jednog, jedinog ili vodećeg promjenljivog dejstva,
- P_k karakteristična veličina sile prednaprezanja. [38]

U ovoj studiji postoje dva promjenljiva dejstva na krovne nosače: upotrebljivo dejstvo i snijeg. GSN je prvo izračunato samo sa stalnim i upotrebnim djelovanjem. U drugom slučaju je kao vodeće opterećenje uzet snijeg ($Q_{k,1} = \text{snijeg}$), a onda upotrebljivo djelovanje ($Q_{k,1} = \text{upotrebljivo djelovanje}$). Od ove tri vrijednosti djelovanja u GSN, odabrana je varijanta sa najvećom vrijednošću.

Računska nosivost presjeka u funkciji je karakteristične čvrstoće betona i granice popuštanja čelika, dimenzija presjeka i površine armature. Na Slikama 20, 21 i 22 su prikazani dijagrami naprezanje – deformacija za materijale (beton, prednapregnuti i armaturni čelik) koji su u ovom istraživanju primjenjeni za proračun A i I – 140 nosača.

Uslov nosivosti presjeka bit će zadovoljen ako je računska vrijednost rezne sile S_d manja ili jednaka računskoj nosivosti presjeka R_d : [27]

$$S_d \leq R_d \quad (3)$$

Kod dokazivanja graničnog stanja nosivosti prednapregnutih nosača moraju biti ispunjeni sljedeći uslovi: [43]

- Potrebna količina kablova za prednaprezanje mora biti manja ili jednaka usvojenoj količini kablova, odnosno $A_{p,req} \leq A_{p,prov}$;

- Potrebna količina armaturnog čelika u donjoj zoni mora biti manja ili jednaka usvojenoj količini armaturnog čelika, odnosno $A_{s1,req} \leq A_{s1,prov}$;
- Potrebna količina armaturnog čelika u gornjoj zoni mora biti manja ili jednaka usvojenoj količini armaturnog čelika, odnosno $A_{s2,req} \leq A_{s2,prov}$;
- Potrebna količina poprečne armature mora biti manja ili jednak usvojenoj količini armature, odnosno $(A_{sw}/S)_{req} \leq (A_{sw}/S)_{prov}$;
- Moment nosivosti presjeka mora biti veći ili jednak momentu u GSN, tj. $M_{Rk} \geq M_{Ed,GSN}$.

Granično stanje upotrebljivosti (Serviceability Limit State – SLS)

Granično stanje upotrebljivosti je stanje elementa ili konstrukcije pri kojem je, pod utjecajem najnepovoljnijih djelovanja u toku eksploatacije, dostignut neki od konvencionalno utvrđenih kriterija, koji uslovjava normalno korištenje i ponašanje konstrukcije u toku eksploatacije.

U graničnom stanju upotrebljivosti razmatraju se slijedeće kombinacije djelovanja: [38]

- *Rijetka kombinacija* – Uzima u obzir smanjenu vjerovatnoću istovremenog djelovanja više promjenljivih nezavisnih opterećenja sa njihovom najnepovoljnijom vrijednošću. Ova kombinacija je vrlo rijetka, a tokom životnog vijeka konstrukcije događa se jednom ili nijednom;
- *Česta kombinacija* – Može se koristiti za provjeru graničnog stanja nosivosti uzimajući u obzir izvanredna djelovanja i za povratna granična stanja upotrebljivosti. Ova kombinacija se događa npr. jedanput godišnje;
- *Kvazistalna kombinacija* – Može se koristiti za provjeru povratnog graničnog stanja upotrebljivosti. Ovakva se kombinacija javlja npr. jednom sedmično. U ovom radu kvazistalna kombinacija predstavlja ukupno stalno dejstvo, jer se radi o krovnim nosačima.

Rijetka kombinacija: [11]

$$E_{d,rare} = \sum_j G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} \times Q_{k,i}) + P_k \quad (4)$$

Česta kombinacija: [11]

$$E_{d,freq} = \sum_j G_{k,j} + \psi_{1,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \times Q_{k,i}) + P_k \quad (5)$$

Kvazi-stalna (permanentna, nazovistalna) kombinacija: [11]

$$E_{d,perm} = \sum_j G_{k,j} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \times Q_{k,i}) + P_k \quad (6)$$

Vrijednosti koeficijenata Ψ date su u *Tabeli 8*. U ovoj studiji, vrijednosti za rijetku i čestu kombinaciju su izračunate tako što je kao vodeće djelovanje uzet snijeg ($Q_{k,1}$ = snijeg), a onda upotrebljivo opterećenje ($Q_{k,1}$ = upotrebljivo opterećenje). Od ove dvije vrijednosti dejstava odabrana je varijanta sa najvećom vrijednošću za rijetku i čestu kombinaciju.

U graničnom stanju upotrebljivosti se razmatraju dvije karakteristične vrijednosti sile prednaprezanja: [22]

$$\begin{aligned} P_{k,sup} &= P_{m0} \times r_{sup} \rightarrow r_{sup} = 1,05 \\ P_{k,inf} &= P_{m\infty} \times r_{inf} \rightarrow r_{inf} = 0,95 \end{aligned} \quad (7)$$

gdje je

$P_{k,sup}$ gornja karakteristična vrijednost sa koeficijentom $r_{sup} = 1,05$,

$P_{k,inf}$ donja karakteristična vrijednost sa koeficijentom $r_{inf} = 0,95$.

Tri osnovne kontrole koje se provode u graničnom stanju upotrebljivosti za osiguranje trajnosti konstrukcije su slijedeće:

- Kontrola napona;
- Kontrola pukotina i
- Kontrola progiba.

Granično stanje upotrebljivosti bit će zadovoljeno ako je ispunjen slijedeći uslov: [22]

$$E_d \leq C_d \quad (8)$$

gdje je

E_d računska veličina izazvana naprezanjem (napon, širina pukotine ili progib),

C_d adekvatna vrijednost veličini E_d koja je određena propisima ili drugim zahtjevima kao dopuštena granična vrijednost.

Kod dokazivanja graničnog stanja upotrebljivosti prednapregnutih nosača moraju biti ispunjeni slijedeći uslovi:

1) *Naponi:*

- U fazi transporta nosača, naponi u betonu na gornjoj i donjoj zoni presjeka trebaju biti ograničeni na slijedeće vrijednosti: $\sigma_{cg} \leq f_{ctm}$ i $\sigma_{cd} \leq 0,6 \times f_{ck}$, gdje je f_{ck} karakteristična čvrstoća betona, dok je f_{ctm} srednja vrijednost čvrstoće betona na zatezanje;
- Za rijetku kombinaciju uslov je: $\sigma_{cg} \leq 0,6 \times f_{ck}$ i $\sigma_{cd} \leq f_{ctm}$. Uslov za σ_{cd} ne mora biti ispunjen ali tada pukotina mora biti u ograničenoj širini;
- Za čestu kombinaciju djelovanja treba biti zadovoljen uslov dekompresije, odnosno napon na donjoj zoni mora biti: $\sigma_{cd} \leq 0 \text{ N/mm}^2$;
- Za kvazistalnu kombinaciju uslov je: $\sigma_{cg} \leq 0,45 \times f_{ck}$;
- Napon u prednapregnutom čeliku za rijetku kombinaciju djelovanja mora biti: $\sigma_p \leq 0,75 \times f_{pk}$, gdje je f_{pk} karakteristična vrijednost čvrstoće čelika za prednaprezanje;
- Napon u čeliku za armiranje za rijetku kombinaciju ne smije prekoračiti vrijednost: $\sigma_s = 0,8 \times f_{yk}$, gdje je f_{yd} karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje.

2) *Pukotine:*

- Pri rijetkoj kombinaciji, karakteristična širina pukotine mora biti manja ili jednaka graničnoj vrijednosti pukotine koja je data propisima, odnosno $W_k \leq W_g = 0,2 \text{ mm}$.

3) *Progibi:*

- Za kvazistalnu kombinaciju karakteristična vrijednost progiba mora biti manja od vrijednosti progiba, koja se dobije kada se raspon nosača podijeli sa 250, odnosno $\delta_{max} \leq L / 250$ (raspon / 250).

PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH TIPOVA MONTAŽNIH BETONSKIH HALA

U Bosni i Hercegovini najviše su zastupljene montažne hale sa *A* ili *I* krovnim nosačima. U ovoj studiji izvršena je analiza dva karakteristična tipa montažnih hala, a osnovni problem je optimalizacija raspona krovnih nosača, koji su kod montažnih hala od izuzetne važnosti. Oni određuju raspon hale, drže krovnu konstrukciju, te od njih zavisi ukupna sigurnost montažnih hala. Oba nosača imaju svoje prednosti i nedostatke, naročito sa aspekta graničnog stanja upotrebljivosti. Mnogi inženjeri, kako kod nas, tako i u svijetu, ulazu maksimalne napore pri projektovanju ovakvih ili sličnih nosača.

Projektovanje montažnih hala zahtijeva strogu kontrolu pukotina i progiba (deformacija) u graničnom stanju upotrebljivosti.

Granično stanje širina pukotina ima za cilj osiguranje montažnih konstrukcija od propadanja, prvenstveno korozijom čelika (čelika za armiranje i prednaprezanje), te u nekim primjerima od propuštanja tekućine ili plina. Ovo se posebno odnosi na hale koje spadaju u klasu izloženosti okoliša XD, XF, te XA. Pukotine u elementu nastaju nakon prekoračenja čvrstoće betona na zatezanje. Širine pukotina koje su veće od dopuštenih mogu da dovedu u pitanje ispravno funkcionisanje konstrukcije, te mogu prouzrokovati da izgled hale bude neprihvativ. Da bi se izbjegle sve gore nabrojane štetne posljedice za montažnu halu, pukotine u prednapregnutim elementima hale ne smiju prekoračiti vrijednost od 0,20 mm prema EC2.

Granično stanje deformacija (progiba) ima za cilj da osigura montažnu halu od oštećenja u samom sistemu i drugim nosivim elementima. Pod pojmom progib, najčešće se podrazumijeva izobličenje, deformacija, ugib, zakriviljenost, pomak, uvtanje i promjena nagiba. Velik progib uzrokuje pojavu pukotina u elementima, a samim tim i povećanje napona zatezanja. Nije sigurno boraviti u hali gdje progib u elementima prekoračuje dozvoljenu vrijednost. Progibi takođe nepovoljno utiču na ispravno funkcioniranje konstrukcije i uzrokuju da izgled samog elementa bude neprihvativ. Da se izbjegne nepovoljno djelovanje progiba na konstrukciju, maksimalni progib elementa pod kvazistalnom kombinacijom opterećenja treba da bude manji od $L / 250$ (raspon elementa podijeljen sa 250).

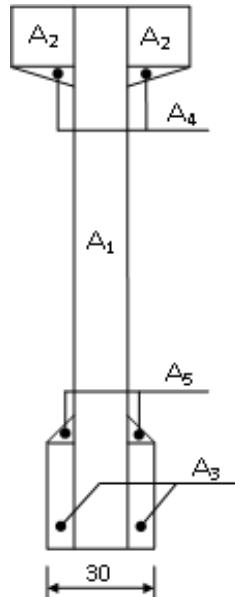
Istraživanje se provodi proračunom dvije vrste nosača prema EC2 uz varijaciju raspona (Eurokod 2 – Proračun betonskih konstrukcija). U obzir se uzimaju sva djelovanja koja djeluju na pojedini nosač. U proračunu su usvojene relativno male dimenzije poprečnih presjeka oba nosača, čime sami elementi imaju malu vlastitu težinu.

Oba nosača su prednapregnuta adheziono (prednaprezanje prije očvršćavanja betona). A i I nosači se u pojedinim kompanijama montažnih elemenata proizvode za različite raspone, za potrebe izgradnje malih i velikih hala.

U proračunu se za oba krovna nosača moraju odrediti statičke veličine poprečnog presjeka koje se upisuju u tabelu. Tabela se sastoji od 7 kolona. Značenje pojedinih kolona je sljedeće:

- Kolona 1* Dimenzije pojedinih elemenata ili presjeka;
- Kolona 2* Površine pojedinih elemenata ili presjeka;
- Kolona 3* Odstojanje težišta pojedinih presjeka od gornje ivice nosača;
- Kolona 4* Statički momenti pojedinih površina za gornju ivicu nosača;
- Kolona 5* Odstojanje od težišta pojedinih površina do težišta cijelog presjeka
- Kolona 6* Sopstveni momenti inercije pojedinih površina;
- Kolona 7* Položajni momenti inercije pojedinih površina ili momenti pojedinih površina za težišnu osu presjeka nosača.

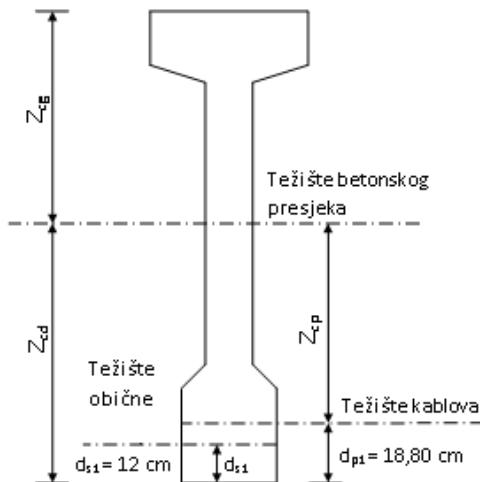
Za određivanje statičkih veličina presjeka, nosače je potrebno podijeliti na pojedine presjeke ili dijelove. "A" predstavlja površine pojedinih poprečnih presjeka.



Slika 21 - A ili I – 140 nosač podijeljen na pojedine presjeke

Težište armaturnog čelika od donje ivice presjeka je $d_{s1} = 12$ cm, dok su kablovi za prednaprezanje postavljeni tako da njihovo težište od donje ivice nosača bude $d_{p1} = 18,80$ cm (*Slika 22*).

Na *Slici 22* takođe su prikazani ostali detalji poprečnog presjeka potreбni za analizu, proračun, te optimalizaciju (vrijedi za oba krovna nosača).



Slika 22 - Statičke veličine presjeka potrebne za proračun i analizu

Oznake na *Slici 22* su:

Z_{cg} položaj težišta betonskog presjeka u odnosu na gornju ivicu nosača;

Z_{cd} položaj težišta betonskog presjeka u odnosu na donju ivicu nosača;

Z_{cp} položaj težišta prednapregnutog čelika u odnosu na težište betonskog presjeka ($Z_{cp} = Z_{cd} - d_{p1}$);

d_{p1} težište prednapregnutog čelika u odnosu na donju ivicu nosača ($d_{p1} = 18,80$ cm);

d_{s1} težište armaturnog čelika u odnosu na donju ivicu nosača ($d_{s1} = 12$ cm).

Ostali podaci potrebni za proračun i analizu krovnih nosača prema EC2 su:

- Pokrovni sloj betona za armaturni čelik: $C_{nom} = 25$ mm;
- Pokrovni sloj betona za čelik za prednaprezanje: $C_{nom} = 30$ mm;
- Osovinski razmak šipki armaturnog čelika: $U_s = 40$ mm;

- Osovinski horizontalni razmak kablova za prednaprezanje: $U_{p,h} = 50$ mm;
- Osovinski vertikalni razmak kablova za prednaprezanje: $U_{p,v} = 46$ mm.

Da bi se osigurala trajnost elementa moraju se ispuniti zahtjevi sa aspekta zaštite elementa od djelovanja požara. Požar ima uticaj na betonske elemente ukoliko su isti izloženi djelovanju požara. Ekperimentalno i proračunski je dokazano da armatura gubi nosivost kada dostigne temperaturu materijala oko $500 - 600$ °C. Takođe je dokazano da pokrovni sloj betona debljine $c_{nom} = 2$ cm može izdržati uticaj visoke temperature od 500 °C do dva sata, dok pokrovni od $c_{nom} = 5$ cm može izdržati djelovanje temperature od 1000 °C do četiri sata.

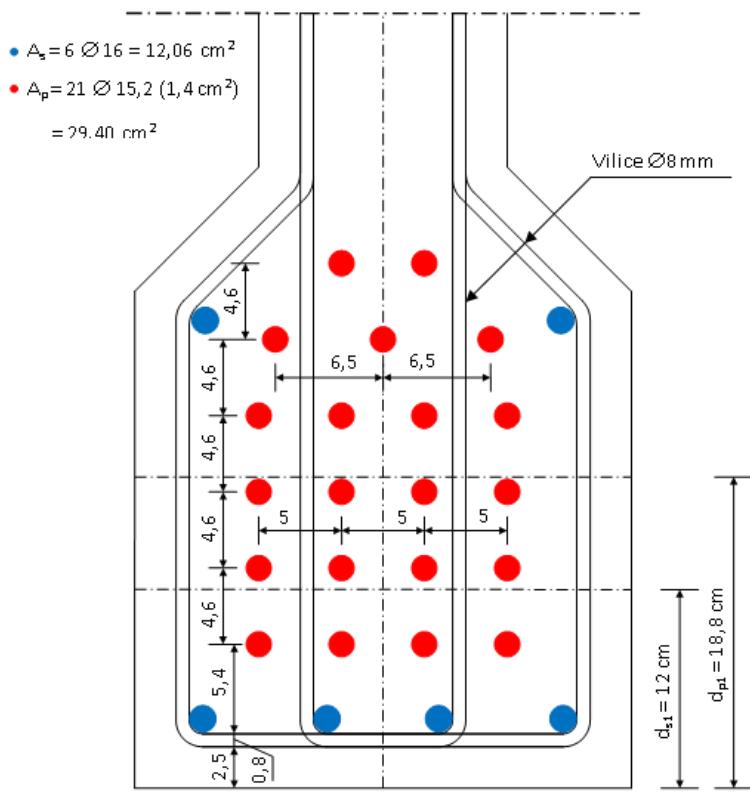
Pokrovni sloj betona kod krovnih nosača analiziranih u ovom istraživanju iznosi $c_{nom} = 2,5$ cm. Na osnovu svega gore rečenog, može se reći da elementi razmatrani ovdje ispunjavaju zahtjeve sa aspekta zaštite od požara, te da je debljina pokrovnog sloja betona dovoljna. Uz to, montažni elementi se izrađuju od veće klase čvrstoće betona, što u kombinaciji sa pokrovnim slojem betona dodatno doprinosi zaštiti elementa od požara. [12]

Za ovu studiju predviđeni su kablovi za prednaprezanje glavnih krovnih nosača tipa Dywidag 1670/1860 ($f_{p0,1k} / f_{pk} \rightarrow N/mm^2$), gdje je $f_{p0,1k}$ naprezanje pri $0,1\%$ zaostaloj deformaciji, a f_{pk} je karakteristična čvrstoća na zatezanje. Modul elastičnosti je $E_p = 195000$ N/mm 2 .

Jedan kabl se sastoji od 7 žica. Promjer jednog kabla je $\varnothing = 15,24$ mm, a površina kabla je $A_p = 140$ mm 2 . Maksimalna vrijednost sile kojom se zatežu kablovi neposredno nakon prednaprezanja ne smije prekoračiti vrijednost $\sigma_{p,max} = 0,8 \times f_{pk} = 1488$ N/mm 2 .

Usvaja se ista količina čelične armature i kablova za prednaprezanje za oba krovna nosača kako je prikazano na *Slici 23*.

Površina poprečnog presjeka čelične armature i prednapregnutog čelika je veoma mala u odnosu na površinu bruto betonskog presjeka. Stoga će se u ovoj analizi pri proračunu krovnih nosača koristiti samo čisti (bruto) betonski presjek sa geometrijskim pokazateljima A_c i I_c , dok se idealizirani presjek A_{ci} i I_{ci} neće uzimati u obzir. Ovakav se pristup redovno primjenjuje u praksi. Gubici sile prednaprezanja su izračunati za raspone $A_5 = 32$ m i $I_4 = 27$ m, pod pretpostavkom da se ovi rasponi mogu savladati.



Slika 23 - Količina i raspored armaturnog čelika i kablova za prednaprezanje unutar presjeka A i I – 140 nosača

Djelovanje snijega na konstrukciju spada u slobodno promjenljivo djelovanje, čija vrijednost zavisi od nadmorske visine područja na kojem se hala gradi, kao i oblika krova hale. U ovoj analizi se kao mjesto na kojem će se hale graditi uzima grad Bihać (BiH) čija je nadmorska visina $h_{alt} = 231$ m.

Na karti područja djelovanja snijegom u BiH, grad Bihać spada u područje B za koje pri nadmorskoj visini od 231 m vrijedi karakteristično dejstvo snijega od $S_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$ (iz tabele karakterističnih vrijednosti dejstava snijegom). Kako je nagib krova montažnih hala manji od 15° to je koeficijent opterećenja snijegom (učinak oblika krova) $\mu_i = 0,8$.

Uz pretpostavku da gubitak topoteke kroz krov nema bitnog utjecaja na snježni pokrov, topotni koeficijent se uzima $C_t = 1,0$. Uz uobičajenu topografiju, gdje je izloženost vjetru uobičajena, koeficijent izloženosti iznosi takođe $C_e = 1,0$.

Najvažnije pitanje kod optimalnog projektovanja konstrukcija je izbor kriterija (uslova) optimalnosti. Da bi se formulirali i definirali kriteriji mora se poznavati problem istraživanja koji se obrađuje.

Da bi konstrukcija udovoljavala uslovima upotrebljivosti i trajnosti, te da bi se dobilo optimalno projektno rješenje, potrebno je da element u graničnom stanju upotrebljivosti ispunjava sve uslove koji garantiraju stabilnost i trajnost. Kriteriji optimalnosti prema EC2 sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti su slijedeći: [28]

- 1) Faza transporta nosača – u fazi prenosa, odnosno transporta nosača moraju biti ispunjeni slijedeći uslovi:
 - a) Naprezanje betona na gornjem rubu presjeka – Ovaj napon se ograničava na vrijednost: $\sigma_{cg} \leq f_{ctm} = 3,80 \text{ N/mm}^2$ (A nosač) i $\sigma_{cg} \leq f_{ctm} = 3,50 \text{ N/mm}^2$ (I – 140 nosač);
 - b) Naprezanje betona na donjem rubu – Ograničava se na vrijednost: $\sigma_{cd} \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 45 = -27 \text{ N/mm}^2$ (A nosač) i $\sigma_{cd} \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 40 = -24 \text{ N/mm}^2$ (I – 140 nosač).
- 2) Karakteristična (rijetka) kombinacija djelovanja:
 - a) Provjera raspucalosti presjeka (naprezanje betona u donjoj zoni) – Neraspucali su oni presjeci u kojima za rijetku kombinaciju opterećenja nije prekoračena srednja vrijednost čvrstoće betona na zatezanje, a koja iznosi: $\sigma_{cd} \leq f_{ctm} = 3,80 \text{ N/mm}^2$ (A nosač) i $\sigma_{cd} \leq f_{ctm} = 3,50 \text{ N/mm}^2$ (I – 140 nosač). Ova vrijednost može biti prekoračena, ali tada uslov pod e) mora biti zadovoljen;
 - b) Naprezanje u čeliku za armiranje – Naprezanje u čeličnoj armaturi pri rijetkoj kombinaciji ograničava se na vrijednost: $\sigma_s = 0,8 \times f_{yk} = 0,8 \times 500 = 400 \text{ N/mm}^2$;
 - c) Dokaz napona pritiska u betonu (naprezanje betona na gornjoj zoni) – Naprezanje u betonu pri rijetkoj kombinaciji treba biti u granici: $\sigma_{cg} = 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 45 = -27 \text{ N/mm}^2$ (A nosač) i $\sigma_{cg} = 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 40 = -24 \text{ N/mm}^2$ (I – 140 nosač);
 - d) Naprezanje u čeliku za prednaprezanje – Naprezanje u čeliku za prednaprezanje mora biti ograničeno na vrijednost: $\sigma_p = 0,75 \times f_{pk} = 0,75 \times 1860 = 1395 \text{ N/mm}^2$;
 - e) Dokaz širine pukotine – Za odabranu klasu izloženosti XC3, dopuštena širina pukotine pod rijetkom kombinacijom treba biti: $W_k \leq W_g = 0,2 \text{ mm}$.

3) Česta kombinacija djelovanja:

- a) Dokaz dekompresije (napon na donjoj zoni presjeka jednak nuli)
– Za klasu izloženosti XC3, dokaz dekompresije se provodi za čestu kombinaciju djelovanja, pri čemu napon betona u donjoj zoni mora biti ograničen na vrijednost $\sigma_c \leq 0 \text{ N/mm}^2$. Međutim, ovaj napon betona ne mora striktno biti jednak nuli, ali nije dopušteno ni da bude mnogo manji od nule. Preporučeno je u ovom slučaju da se dopuste samo mali naponi pritiska koji nisu mnogo manji od nule.

4) Kvazistalna kombinacija djelovanja:

- a) Dokaz napona pritiska u betonu – Za kvazistalnu kombinaciju opterećenja, napon pritiska u betonu ne smije prijeći vrijednost: $\sigma_{cg} \leq 0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 45 = -20,25 \text{ N/mm}^2$ (A nosač) i $\sigma_{cg} \leq 0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 40 = -18 \text{ N/mm}^2$ (I – 140 nosač);
- b) Dokaz deformacija (progib) – Pod kvazistalnom kombinacijom djelovanja, progib mora biti u granici: $\delta_{max} \leq L / 250$ (raspon / 250). Proračunata vrijednost progiba mora biti manja od vrijednosti progiba koja se dobije kada se raspon elementa (L) podijeli sa 250.

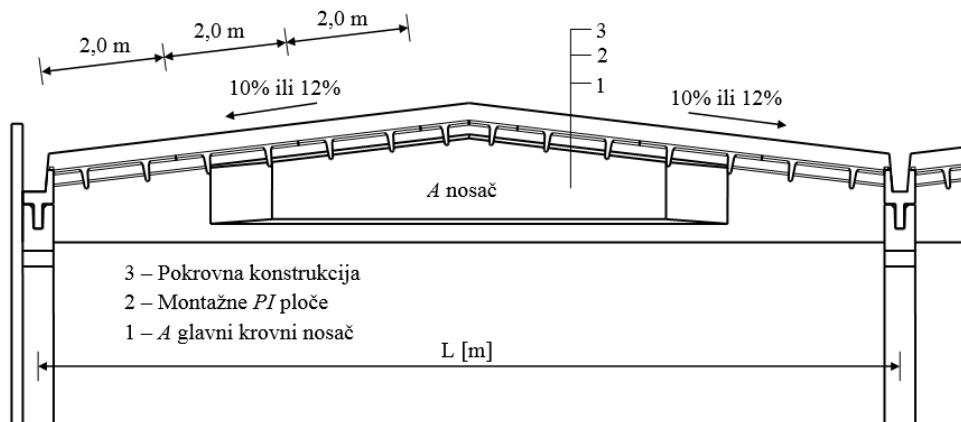
Navedene zahtjeve je potrebno provjeriti za $I - 140$, te A nosač i za sve odabранe raspone ovih nosača. Na osnovu toga, cilj je odabrati optimalni nosač na temelju zadovoljenja postavljenih kriterija.

Pored gore navedenih zahtjeva potrebno je odrediti i slijedeće:

- Moment (loma) nosivosti presjeka;
- Opterećenje pri kojem dolazi do pojave prve pukotine;
- Opterećenje pri kojem dolazi do dekompresije (kada je napon na donjoj zoni presjeka jednak nuli).

Analiza montažne hale sa A krovnim nosačem – projektno rješenje 1

Montažna hala sa A krovnim nosačem prikazana je na *Slici 24.*



Slika 24 - Primjena A nosača u konstrukcijama hala

Jedan od karakterističnih tipova montažnih betonskih hala koje se obrađuju u ovoj studiji je montažna hala sa A glavnim krovnim nosačem. Tipični primjeri ovakvih hala su trgovачki centri kod nas i u svijetu. Međusobni razmaci krovnih A nosača mogu biti različiti (6 m, 8 m, 10 m i 12 m). U ovom istraživanju uzima se hala kod koje je međusobni razmak A nosača 8,0 m. A nosači u ovoj studiji imaju dvovodni nagib krovnih ravni od 10 % ili 12 %. Kod manjih raspona A nosača, usvaja se nagib od 12 %, dok se kod većih raspona usvaja nagib od 10 % (*Slika 23*).

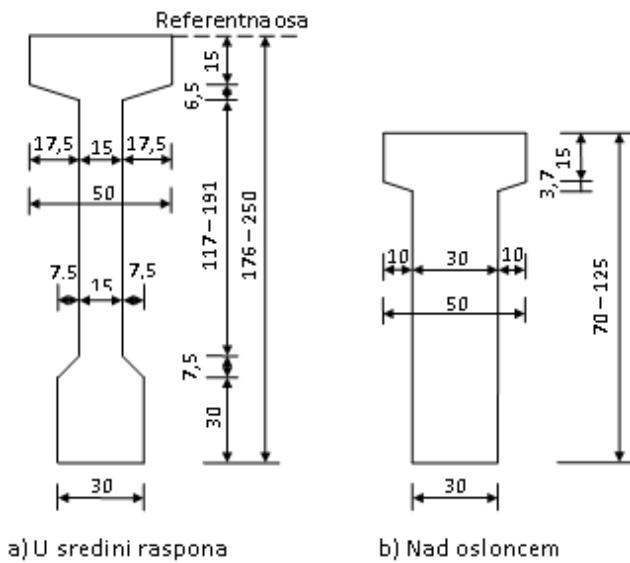
Kada se kao glavni nosač koristi A nosač, krovna konstrukcija se kod nas i u svijetu radi od montažnih Π ploča koje su oslonjene na A nosač. Π ploče se takođe izrađuju u rasponima koji odgovaraju međusobnim razmacima glavnih A nosača. Tako imamo slijedeće tipove montažnih Π ploča: $\Pi-6$, $\Pi-8$, $\Pi-10$ i $\Pi-12$ ploče.

Kako je u ovom slučaju odabrana hala sa razmakom glavnih nosača od 8,0 m, montažne ploče se takođe odabiru za isti razmak, odnosno uzima se ploča $\Pi-8$. Ploče $\Pi-8$ se rade u širini 2,0 m sa dva uzdužna rebra čiji osovinski razmak iznosi 1,0 m i poredane su jedna do druge po cijeloj dužini A nosača.

Na sljemuenu, gdje nije moguće postaviti ploču širine 2,0 m, izrađuje se posebna ploča u potrebnoj širini. Za ovakve potrebe tvornice posjeduju kalup koji ima mogućnost regulacije širine. Na Π -ploče se postavlja pokrovna konstrukcija, koju

čine slijedeći elementi: kamena vuna kao termoizolacija, letve, te pocinčani lim $T\ 40 \times 205$.

Osnovni podaci o geometriji poprečnog presjeka za A nosač dati su na *Slici 25.*



Slika 25 - Dimenzije poprečnog presjeka A nosača

Sa *Slike 24* je vidljivo da su Π montažne ploče jedna do druge postavljene po cijeloj dužini A nosača. Za manje raspone A nosača potreban je manji broj ploča, za veće raspone potreban je veći broj ploča. Na osnovu toga A krovni nosač je opterećen jednoliko-kontinuiranim dejstvom.

Stalno djelovanje je vlastita težina nosača $g_{k,1} = 10 \text{ kN/m}^3$, težina Π montažnih ploča $g_{k,2} = 1,87 \text{ kN/m}^2$ (*TP, Grupex-mont*) i težina pokrovne konstrukcije $g_{k,3} = 0,36 \text{ kN/m}^2$ (*TP, Grupex-mont*). Na osnovu toga imamo 3 stalna opterećenja.

Promjenljivo djelovanje je snijeg $q_{k,1} = 1,20 \text{ kN/m}^2$ i upotrebljivo djelovanje $q_{k,2} = 0,40 \text{ kN/m}^2$ tako da imamo 2 promjenljiva dejstva.

Krovovi montažnih hala spadaju u kategoriju H (neprohodni osim za održavanje i popravak), pa je iznos upotrebnog djelovanja $q = 0,4 \text{ kN/m}^2$. [28]

Kako su pozante sve vrijednosti djelovanja po 1m^2 krova, moguće je odrediti uticaj djelovanja po 1m^2 A nosača. Pošto se radi o hali kod koje je međusobni razmak A nosača $8,0 \text{ m}$, to vrijednosti djelovanja u kN/m^2 moraju biti pomnožene sa 8. Tako imamo slijedeće iznose dejstava po 1m^2 A nosača:

1. Stalno djelovanje:

- Vlastita težina A nosača: $g_{k,1} = 10.00 \text{ kN/m}'$
 - Π montažne ploče: $g_{k,2} = 1,87 \text{ kN/m}^2 \times 8 \text{ m} = 14,96 \text{ kN/m}'$
 - Pokrovna konstrukcija: $g_{k,3} = 0,36 \text{ kN/m}^2 \times 8 \text{ m} = 2,88 \text{ kN/m}'$
- Ukupno stalno djelovanje:** $\mathbf{g = 28 \text{ kN/m}'}$

2. Promjenljivo djelovanje:

- Snijeg: $q_{k,1} = 1,20 \text{ kN/m}^2 \times 8 \text{ m} = 9,60 \text{ kN/m}'$
- Upotrebljivo djelovanje: $q_{k,2} = 0,4 \text{ kN/m}^2 \times 8 \text{ m} = 3,20 \text{ kN/m}'$

A nosači se oslanjaju na stubove, koji na gornjem dijelu imaju glavu koja je prilagođena A nosačima. Slobodan prostor između A nosača i stuba se popunjava sitnozrnim betonom. Na osnovu toga, A nosači se proračunavaju kao proste grede sa zglobnim vezama sa stubom.

Klasa čvrstoće betona za A nosač je C 45/55, gdje je $f_{ck}/f_{ck,cube}$ karakteristična čvrstoća na pritisak betonskog cilindra prečnika 15 cm i visine 30 cm, odnosno kocke dimenzija $15 \times 15 \times 15$ cm. Čvrstoća na zatezanje za C 45/55 je $f_{ctm} = 3,8 \text{ N/mm}^2$, a modul elastičnosti je $E_{cm} = 36000 \text{ N/mm}^2$.

Armaturalni čelik je tipa B 500 B sa karakterističnom granicom popuštanja od $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$ i modulom elastičnosti od $E_s = 205000 \text{ N/mm}^2$.

Prednapregnuti čelik je tipa Dywidag kao što je spomenuto ranije.

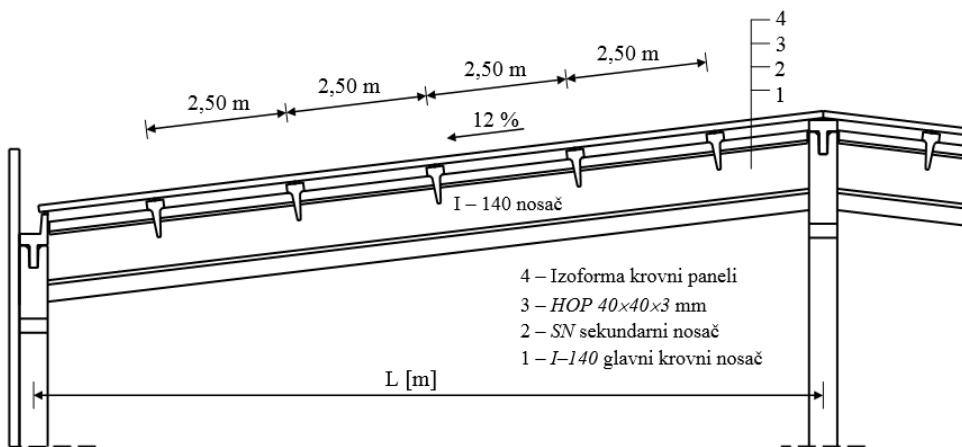
Pomoću dimenzija poprečnog presjeka A nosača sa *Slike 25*, te pojedinih presjeka nosača sa *Slike 21*, odredene su statičke veličine presjeka koje su date u *Tabeli 11*. Pošto se kod A nosača visina mijenja duž presjeka, u proračunu se koristi zamjenjujuća visina koja iznosi $h = 190$ cm. Opis tabele dat je u ranije.

Tabela 11 – Statičke veličine presjeka za A nosače

1	2	3	4	5	6	7
b/h	A_c	Z_n	$A_c \times Z_n$	$Z_{cg} - Z_n$	I_{co}	$A_c \times (Z_{cg} - Z_n)^2$
$A_1 = 15 \times 190$	2850	95	270750	3,8	8573750	41154
$A_2 = (17,5 \times 15) \times 2$	525	7,5	3937,5	83,7	9843,75	3677987,25
$A_3 = (7,5 \times 30) \times 2$	450	175	78750	83,8	33750	3160098
$A_4 = (17,5 \times 6,5/2) \times 2$	113,75	17,17	1953,1	74,03	400,5	623400,15
$A_5 = (7,5 \times 7,5/2) \times 2$	56,25	157,5	8859,4	66,3	263,7	247257,6
Σ	3995		364250		8618008	7749897

Analiza montažne hale sa krovnim nosačem I-140 – projektno rješenje 2

Montažna hala sa $I - 140$ krovnim nosačem prikazana je na *Slici 26*.



Slika 26 – Primjer primjene nosača I - 140 u konstrukcijama hala

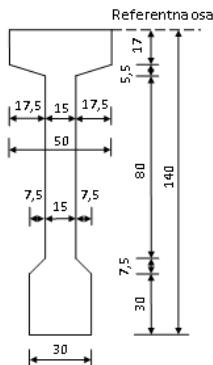
Drugi karakteristični tip montažnih betonskih hala koji je obrađen u ovoj studiji je montažna hala sa $I - 140$ glavnim krovnim nosačem. Tipični primjeri ovakvih hala su trgovački centri, a neki od njih su: Adna Komerc Bihać, Bingo Cazin, Supermarket Tuš Kamenica – Bihać, Hipermarket Cazin. Pored spomenutih, ovakve su hale sagrađene i za mnoge sportske objekte.

Međusobni razmaci krovnih $I - 140$ nosača mogu biti 6 m, 8 m, 10 m i 12 m. U ovom slučaju razmatra se hala kod koje je međusobni razmak $I - 140$ nosača 10,0 m. $I - 140$ nosač ima konstantnu visinu ($h = 140$ cm) duž cijelog presjeka, a postavlja se na stubove pod nagibom od 12% (*Slika 25*).

Kada se kao glavni nosač koristi $I - 140$ nosač, krovna konstrukcija se sastoji od SN krovnih gredica koje služe kao sekundarni nosači pokrova. Na gornjem dijelu SN nosača postavlja se metalni profil $HOP 40 \times 40 \times 3$ mm na kojeg se postavljaju Izoforma krovni sendvič paneli od mineralne vune, kod kojih je dobro naglašena otpornost na požar i protupožarna zaštita. Razmak krovnih gredica je 2,50 m i izrađuju se u rasponima koji odgovaraju međusobnim razmacima glavnih $I - 140$ nosača. Za hale većih raspona potreban je veći broj gredica, za manje raspone manji broj gredica.

Kako je u ovom slučaju odabrana hala sa razmakom glavnih nosača od 10 m, uzimaju se krovne gredice $SN - 30/65$.

Osnovni podaci o geometriji poprečnog presjeka za $I - 140$ nosač dati su na *Slici 27.*



Slika 27 - Dimenziije poprečnog presjeka $I - 140$ nosača

Sa *Slike 26* je vidljivo da su krovne gredice postavljene na međusobnom razmaku od 2,50 m na osnovu čega se može zaključiti da na glavni nosač djeluje koncentrično djelovanje.

Stalno djelovanje je: vlastita težina nosača $g_{k,1} = 8,244 \text{ kN/m}'$, težina SN krovnih gredica $g_{k,2} = 2,49 \text{ kN/m}'$ (*TP, Grupex-mont*), težina metalnog profila *HOP 40x40x3 mm* $g_{k,3} = 0,0324 \text{ kN/m}'$ (*TP, Grupex-mont*) i težina krovnih sendvič panela $g_{k,4} = 0,298 \text{ kN/m}^2$ (*TP, Izoforma paneli*). Dakle, na nosač djeluju 4 stalna djelovanja.

Promjenljivo djelovanje je: snijeg $q_{k,1} = 1,20 \text{ kN/m}^2$ i upotrebljivo djelovanje $q_{k,2} = 0,4 \text{ kN/m}^2$, što znači da djeluju 2 promjenljiva djelovanja.

Kao što je navedeno ranije, krovovi montažnih hala spadaju u kategoriju H (neprohodni krovovi osim za održavanje i popravak), pa je iznos upotrebnog djelovanja $q = 0,4 \text{ kN/m}^2$. [28] Za halu kod koje su međusobni razmaci glavnih nosača 10,0 m imamo slijedeće iznose djelovanja po $1\text{m}' I - 140$ nosača:

1. Stalno djelovanje:

– Vlastita težina $I - 140$ nosača: $g_{k,1} = 8,25 \text{ kN/m}'$

– SN krovne gredice:

$$g_{k,2} = (2,49 \text{ kN/m}' \times 10 \text{ m}) / 2,5 = 9,96 \text{ kN/m}'$$

– Metalni profil *HOP 40x40x3 mm*:

$$g_{k,3} = (0,0324 \text{ kN/m}' \times 10 \text{ m}) / 2,5 = 0,1296 \text{ kN/m}'$$

– Krovni sendvič paneli: $g_{k,4} = 0,298 \text{ kN/m}^2 \times 10 \text{ m} = 2,98 \text{ kN/m}'$

$$\text{Ukupno stalno djelovanje: } g = 21,30 \text{ kN/m}'$$

2. Promjenljivo djelovanje:

- Snijeg: $q_{k,1} = 1,20 \text{ kN/m}^2 \times 10 \text{ m} = 12 \text{ kN/m}'$

- Upotrebljivo djelovanje: $q_{k,2} = 0,4 \text{ kN/m}^2 \times 10 \text{ m} = 4 \text{ kN/m}'$

I - 140 nosač se oslanjaju na stubove na isti način kao i *A* nosač, te se proračunavaju kao proste grede sa zglobnim vezama sa stubom.

Klasa čvrstoće betona za *I - 140* nosač je C 40/50, gdje je f_{ck} / $f_{ck,cube}$ karakteristična čvrstoća na pritisak betonskog cilindra prečnika 15 cm i visine 30 cm, odnosno kocke dimenzija $15 \times 15 \times 15$ cm. Čvrstoća na zatezanje za C 40/50 je $f_{ctm} = 3,5 \text{ N/mm}^2$, a modul elastičnosti je $E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$.

Čelična armatura je tipa B 500 B sa karakterističnom granicom popuštanja od $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ i modulom elastičnosti od $E_s = 205000 \text{ N/mm}^2$.

Prednapregnuti čelik je tipa Dywidag kao što je spomenuto ranije.

Pomoću dimenzija poprečnog presjeka *I - 140* nosača sa *Slike 27* i pojedinih presjeka nosača sa *Slike 21*, određuju se statičke veličine presjeka koje su date u *Tabeli 12*.

I - 140 nosač je konstantne visine, te nepromjenljivog poprečnog presjeka po cijeloj svojoj dužini. Visina je $h = 140 \text{ cm}$.

Tabela 12 – Statičke veličine presjeka nosača I-140

1	2	3	4	5	6	7
b/h	A_c	Z_n	$A_c \times Z_n$	$Z_{cg} - Z_n$	I_{co}	$A_c \times (Z_{cg} - Z_n)^2$
$A_1 = 15 \times 190$	2850	95	270750	3,8	8573750	41154
$A_2 = (17,5 \times 15) \times 2$	525	7,5	3937,5	83,7	9843,75	3677987,25
$A_3 = (7,5 \times 30) \times 2$	450	175	78750	83,8	33750	3160098
$A_4 = (17,5 \times 6,5/2) \times 2$	113,75	17,17	1953,1	74,03	400,5	623400,15
$A_5 = (7,5 \times 7,5/2) \times 2$	56,25	157,5	8859,4	66,3	263,7	247257,6
Σ	3995		364250		8618008	7749897

Pošto se kod nosača *I - 140* visina mijenja duž presjeka, u proračunu se koristi zamjenjujuća visina koja iznosi $h = 190 \text{ cm}$. Opis tabele dat je u ranijim razmatranjima.

Postupak proračuna

Radi što jednostavnije i brže analize krovnih nosača svi podaci koji su potrebni za proračun su unijeti u slijedeće tabele.

Tabela 13 - Geometrijske karakteristike presjeka za A i I – 140 nosač

Oznaka	A nosač	I – 140 nosač	Jedinica mjere
A_p	29,40	29,40	cm^2
A_s	12,06	12,06	cm^2
A_c	3995	3297,5	cm^2
Z_{cg}	91,20	65,60	cm
Z_{cd}	98,80	74,40	cm
Z_{cp}	80	55,60	cm
x	38,70	30,60	cm
I_c	16367905	7356241	cm^4
I_{cr}	4901185	2421504	cm^4
W_{cg}	179473	112138	cm^3
W_{cd}	165667	98874	cm^3
W_{cp}	204599	132307	cm^3
d_{p1}	18,80	18,80	cm
d_{s1}	12	12	cm
d_p	171	121	cm
d_s	178	128	cm
$\alpha_{e,p}$	5,42	5,57	–
$\alpha_{e,s}$	5,69	5,85	–

Oznake u Tabeli 13:

A_p, A_s, A_c površina kablova, armaturnog čelika i betonskog presjeka

Z_{cg}, Z_{cd} položaj težišta betonskog presjeka u odnosu na gornju, odnosno donju ivicu presjeka

Z_{cp} udaljenost težišta betonskog presjeka i težišta kablova za prednaprezanje

x položaj neutralne ose u odnosu na gornju ivicu presjeka

I_c moment inercije neraspucalog (punog) presjeka

I_{cr} moment inercije raspucalog presjeka

W_{cg}, W_{cd} momenti otpora poprečnog presjeka u gornjoj i donjoj zoni

d_p, d_s	udaljenost težišta kablova, odnosno armaturnog čelika od donje ivice presjeka
d_p, d_s	udaljenost težišta kablova, odnosno armaturnog čelika od gornje ivice presjeka
$\alpha_{e,p}, \alpha_{e,s}$	odnos modula elastičnosti čelika za prednaprezanje (armaturnog čelika) i betona.

U *Tabeli 14* date su sile prednaprezanja i momenti koji su dobiveni proračunom iz prethodno određenih naprezanja čelika za prednaprezanje za 21 kabl sa ukupnom površinom od $A_p = 29,40 \text{ cm}^2$.

Gubici sile prednaprezanja izračunati su za $L = 32 \text{ m}$ (A nosač) i $L = 27 \text{ m}$ ($I - 140$ nosač) pod pretpostavkom da se ovi rasponi mogu savladati.

Tabela 14 - Sile prednaprezanja i momenti za A i I - 140 nosač

<i>Oznaka i način izračunavanja</i>	<i>A nosač</i>	<i>I - 140 nosač</i>
	<i>P [kN]</i> <i>M [kNm]</i>	<i>P [kN]</i> <i>M [kNm]</i>
$P_{\max} = \sigma_{p,\max} \times A_p$ $MP_0 = P_{\max} \times Z_{cp}$	4375 3500	4375 2433
$P_d = \sigma_{pd} \times A_p$ $MP_d = P_d \times Z_{cp}$	4281 3425	4281 2380
$P_{m0} = \sigma_{pm0} \times A_p$ $MP_{m0} = P_{m0} \times Z_{cp}$	3928 3142	3860 2146
$P_{m\infty} = \sigma_{pm,\infty} \times A_p$ $MP_{m\infty} = P_{m\infty} \times Z_{cp}$	3310 2648	3187 1772
$P_{k,sup} = P_{m0} \times r_{sup}$ $MP_{k,sup} = P_{k,sup} \times Z_{cp}$	4124 3299	4053 2254
$P_{k,inf} = P_{m\infty} \times r_{inf}$ $MP_{k,inf} = P_{k,inf} \times Z_{cp}$	3145 2516	3028 1684
M_{cr} $M_{cr,g}$	4599 603	3030 490
M_{dec}	3820,20	2591,50

Oznake u Tabeli 14:

P_{\max}	početna sila u kablovima odmah nakon prednaprezanja
P_d	silu mjerodavna za dokazivanje nosivosti elementa ($\sigma_{pd} = 0,9 \times f_{pk} / 1,15$) koja odgovara maksimalno iskorištenoj sili prednaprezanja
P_{m0}	sila prednaprezanja nakon trenutnih gubitaka
$P_{m\infty}$	konačna sila prednaprezanja nakon vremenskih gubitaka
$P_{k,sup}$	gornja karakteristična vrijednost sile prednaprezanja za dokazivanje graničnog stanja upotrebljivosti (koeficijent je: $r_{sup} = 1,05$)
$P_{k,inf}$	donja karakteristična vrijednost sile prednaprezanja za dokazivanje graničnog stanja upotrebljivosti (koeficijent je: $r_{inf} = 0,95$)
$M_{cr}, M_{cr,g}$	moment pri pojavi prve pukotine u donjoj, odnosno gornjoj zoni
M_{dec}	moment pri kojem dolazi do dekompresije ($\sigma_{cd} = 0 \text{ N/mm}^2$).

Tabela 15. Vrijednosti opterećenja u GSN i GSU za A i I – 140 nosač

Kombinacije opterećenja	Oznaka	A nosač [kN/m']	I – 140 nosač [kN/m']
1. Granično stanje nosivosti (GSN)	$E_{d,GSN}$	52,20	46,80
2. Granično stanje upotrebljivosti (GSU)			
a) Rijekta kombinacija (RK)	$E_{d,rare}$	37,60	33,30
b) Česta kombinacija (ČK)	$E_{d,freq}$	30	23,70
c) Kvazistalna kombinacija (KK)	$E_{d,perm}$	28	21,30

A i I – 140 nosači se proračunavaju za slijedeće raspone:

- A nosač: $A_1 = 14 \text{ m}; A_2 = 18 \text{ m}; A_3 = 22 \text{ m}; A_4 = 27 \text{ m}; A_5 = 32 \text{ m}; A_6 = 35 \text{ m};$
- I – 140 nosač: $I_1 = 14 \text{ m}; I_2 = 18 \text{ m}; I_3 = 22 \text{ m}; I_4 = 27 \text{ m}; I_5 = 32 \text{ m}; I_6 = 35 \text{ m}.$

Svi šest varijanti oba nosača se proračunavaju za sredinu raspona (L/2) prema EC2.

KOMPARATIVNA ANALIZA REZULTATA PRORAČUNA

U narednim razmatranjima se daje komparativna analiza i usporedba proračunatih krovnih nosača. Rezultati su koncizno predstavljeni tekstualno, te u obliku tabela i dijagrama. Na temelju rezultata proračuna, izvedeni su zaključci o ponašanju krovnih nosača u graničnom stanju upotrebljivosti.

Kriteriji optimalnosti ranije postavljeni, izračunati su za sve varijante raspona A i I – 140 krovnog nosača. Proračun je dovoljan da se odredi koji je najveći raspon krovnih nosača, pri kojem su zadovoljeni svi uslovi optimalnosti. Međutim, na osnovu izvršenih proračuna za svaki pojedini raspon oba krovna nosača nije dovoljan da se odrede dijagrami na osnovu kojih je moguće utvrditi ponašanje slijedećih šest faktora u graničnom stanju upotrebljivosti. Faktori su:

- 1) Naponi betona na gornjoj zoni;
- 2) Naponi betona na donjoj zoni;
- 3) Naponi u armaturnom čeliku;
- 4) Naponi u čeliku za prednaprezanje;
- 5) Pukotine i
- 6) Progibi.

Za potrebe određivanja dijagrama, gore navedeni faktori su proračunati za sve varijante raspona A i I – 140 nosača i za slijedeće vrijednosti dejstava:

- 1) Vlastita težina elementa (VT);
- 2) Kvazistalna kombinacija (KK);
- 3) Česta kombinacija (ČK);
- 4) Rijetka kombinacija (RK);
- 5) $E_d = 45 \text{ kN/m}'$ za A nosač, odnosno $E_d = 40 \text{ kN/m}'$ za I – 140 nosač;
- 6) Granično stanje nosivosti (GSN).

Proračun je izvršen na potpuno isti način, a rezultati su predstavljeni tabelarno i grafički.

Da bi dijagrami koji prikazuju prethodno navadenih šest faktora bili što tačniji, proračun je izvršen i za vrijednost djelovanja koje je veće od vrijednosti rijetke kombinacije djelovanja, a manje od vrijednosti djelovanja u graničnom stanju nosivosti.

U ovom slučaju odabранo je djelovanje od $E_d = 45 \text{ kN/m}'$ za A nosač, odnosno $E_d = 40 \text{ kN/m}'$ za $I - 140$ nosač.

Na horizontalnoj osi dijagrama su vrijednosti gore navedenih šest faktora, a na vertikalnoj osi su vrijednosti djelovanja (E_d) kojima su nosači izloženi tokom životnog vijeka, odnosno u graničnom stanju upotrebljivosti.

Iznad zadebljane linije na tabelama presjek je neraspucao (nema pukotine, $W_k = 0 \text{ mm}$). Ispod zadebljane linije presjek je raspucao (postoji pukotina, $W_k > 0 \text{ mm}$).

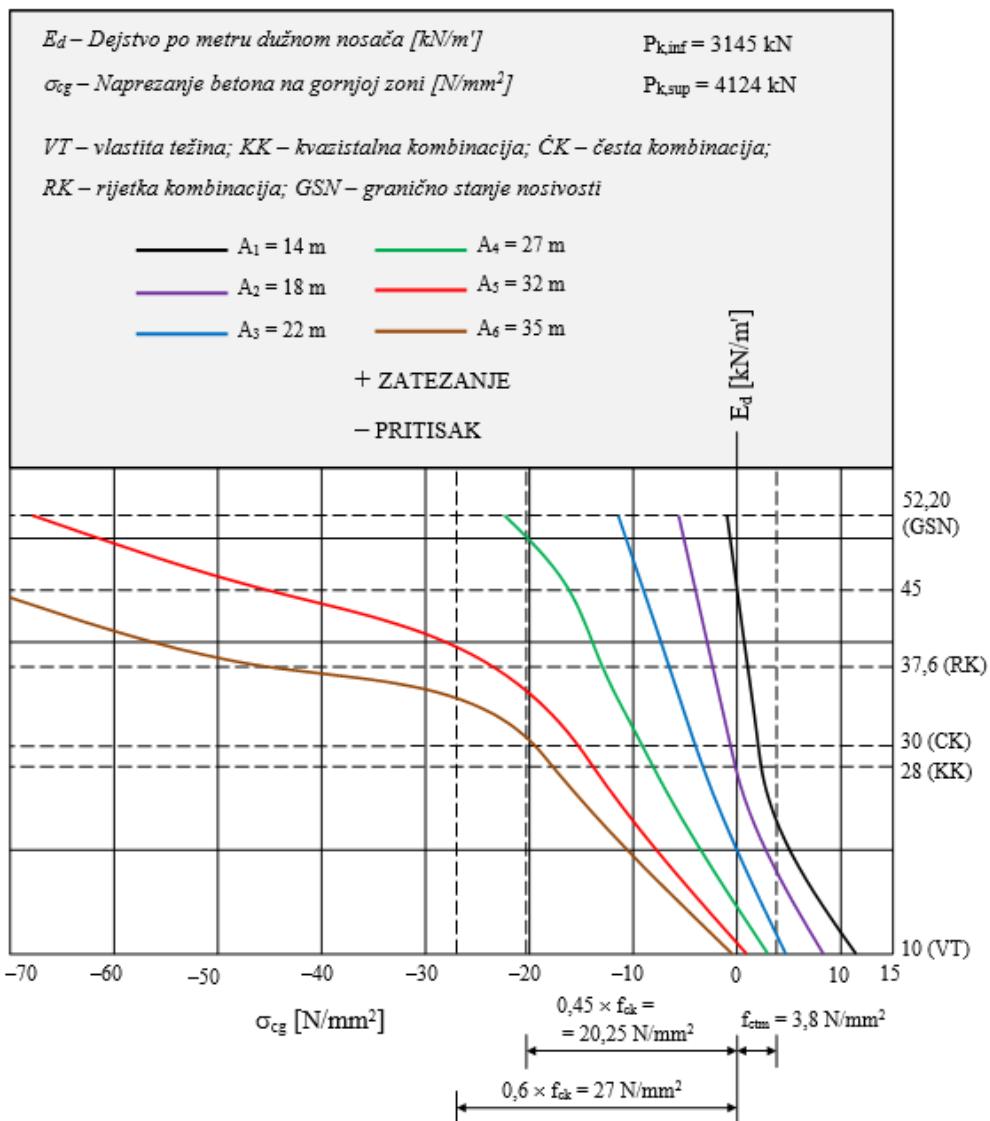
Rezultati proračuna za A glavni krovni nosač (projektno rješenje 1)

Naprezanje betona na gornjoj zoni

Tabela 16 - Naprezanje betona na gornjoj zoni u sredini raspona za A nosače

R. B.	E_d [kN/m']	$R. B. - Redni broj dejstva$ $E_d - Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']$ $\sigma_{cg} - Naprezanje betona na gornjoj zoni [N/mm^2]$ $M_{Ed} - Moment pri kojem dolazi do tog naprezanja [kNm]$ $VT - vlastita težina; KK - kvazistalna kombinacija; ČK - česta kombinacija;$ $RK - rijetka kombinacija; GSN - granično stanje nosivosti$						
		+ ZATEZANJE				- PRITISAK		
		$A_1 = 14 \text{ m}$	$A_2 = 18 \text{ m}$	$A_3 = 22 \text{ m}$	$A_4 = 27 \text{ m}$	$A_5 = 32 \text{ m}$	$A_6 = 35 \text{ m}$	
1.	10 (VT)	σ_{cg}	11,46	8,31	4,69	2,98	0,93	-0,47
		M_{Ed}	245	405	605	911,25	1280	1531,25
2.	28 (KK)	σ_{cg}	2,32	-0,17	-3,29	-8,07	-13,85	-17,74
		M_{Ed}	686	1134	1694	2551,5	3584	4287,5
3.	30 (ČK)	σ_{cg}	2,05	-0,62	-4	-9,10	-15,25	-19,45
		M_{Ed}	735	1215	1815	2734	3840	4594
4.	37,6 (RK)	σ_{cg}	1,02	-2,33	-6,52	-12,95	-23,44	-45,10
		M_{Ed}	922	1523	2275	3426	4813	5757,5
5.	45	σ_{cg}	0	-4	-9	-16,17	-45,21	-72,50
		M_{Ed}	1103	1823	2723	4101	5760	6891
6.	52,20 (GSN)	σ_{cg}	-0,97	-5,63	-11,45	-22,40	-67,85	-98,19
		M_{Ed}	1279	2114,10	3158,10	4757	6682	7993

Naprezanje betona na gornjoj zoni



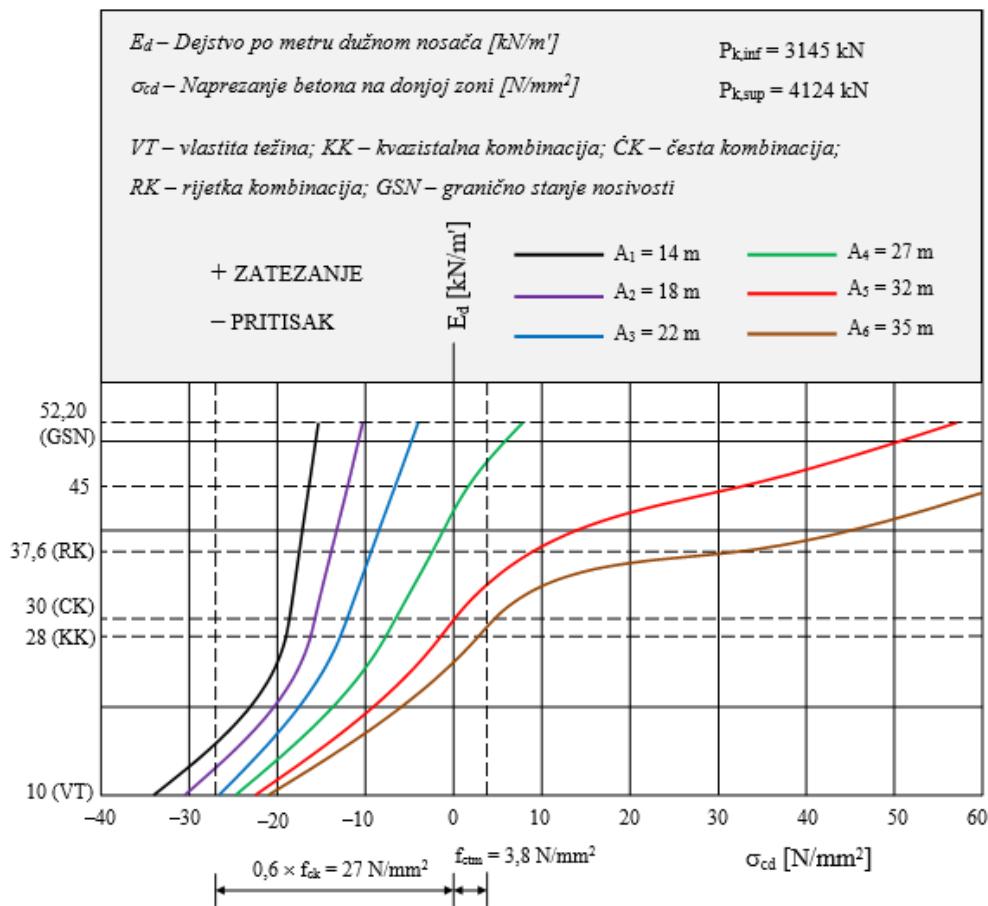
Slika 28 - Dijagram naprezanja betona na gornjoj zoni u sredini raspona za A nosače
(na osnovu Tabele 16)

Naprezanje betona na donjoj zoni

Tabela 17 - Naprezanje betona na donjoj zoni u sredini raspona za A nosače

R. B.	E_d [kN/m']	$R. B. - Redni broj dejstva$ $E_d - Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']$ $\sigma_{cd} - Naprezanje betona na donjoj zoni [N/mm^2]$ $M_{Ed} - Moment pri kojem dolazi do tog naprezanja [kNm]$ $VT - vlastita težina; KK - kvazistalna kombinacija; ČK - česta kombinacija;$ $RK - rijetka kombinacija; GSN - granično stanje nosivosti$						
			A ₁ = 14 m	A ₂ = 18 m	A ₃ = 22 m	A ₄ = 27 m	A ₅ = 32 m	A ₆ = 35 m
1.	10 (VT)	σ_{cd} M _{Ed}	-34 245	-30,5 405	-26,6 605	-24,73 911,25	-22,50 1280	-21 1531,25
2.	28 (KK)	σ_{cd} M _{Ed}	-19 686	-16,20 1134	-12,82 1694	-7,65 2551,5	-1,41 3584	2,85 4287,5
3.	30 (ČK)	σ_{cd} M _{Ed}	-18,62 735	-15,72 1215	-12,06 1815	-6,56 2734	0,12 3840	4,67 4594
4.	37,6 (RK)	σ_{cd} M _{Ed}	-17,50 922	-13,87 1523	-9,33 2275	-2,38 3426	9 4813	32,47 5757,5
5.	45	σ_{cd} M _{Ed}	-16,40 1103	-12 1823	-6,62 2723	1,70 4101	32,80 5760	62,63 6891
6.	52,20 (GSN)	σ_{cd} M _{Ed}	-15,34 1279	-10,30 2114,10	-4 3158,10	7,87 4757	57,11 6682	88,90 7993

Naprezanje betona na donjoj zoni



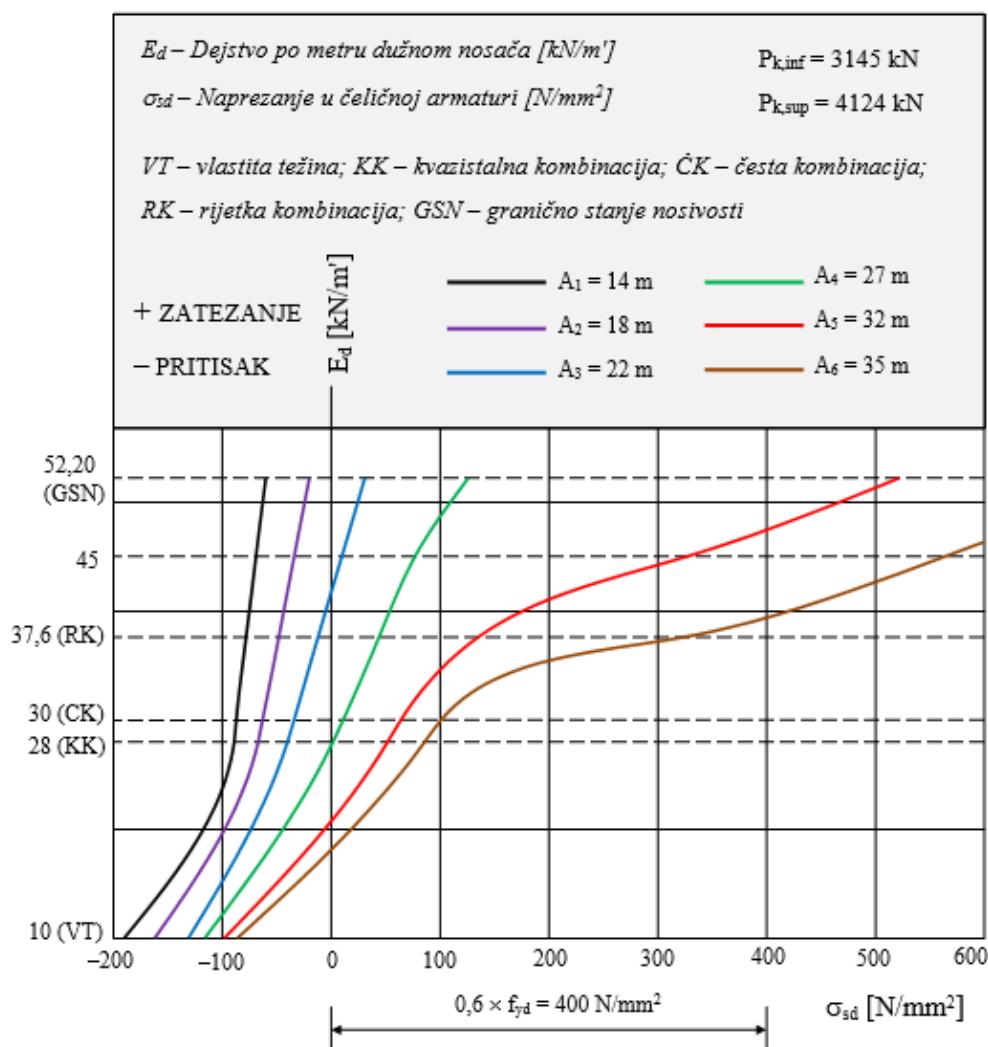
Slika 29 - Dijagram naprezanja betona na donjoj zoni u sredini raspona za A nosače (na osnovu Tabele 17)

Naprezanje u armaturnom čeliku

Tabela 18 - Naprezanje u armaturnom čeliku u sredini raspona za A nosače

R. B.	E_d [kN/m']	$R. B. - Redni broj dejstva$ $E_d - Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']$ $\sigma_{sd} - Naprezanje u čeličnoj armaturi [N/mm^2]$ $M_{Ed} - Moment pri kojem dolazi do tog naprezanja [kNm]$ $VT - vlastita težina; KK - kvazistalna kombinacija; ČK - česta kombinacija;$ $RK - rijetka kombinacija; GSN - granično stanje nosivosti$						
			$A_1 = 14 \text{ m}$	$A_2 = 18 \text{ m}$	$A_3 = 22 \text{ m}$	$A_4 = 27 \text{ m}$	$A_5 = 32 \text{ m}$	$A_6 = 35 \text{ m}$
1.	10 (VT)	σ_{sd} M_{Ed}	-190 245	-162 405	-131 605	-116 911,25	-98 1280	-86 1531,25
2.	28 (KK)	σ_{sd} M_{Ed}	-89 686	-67 1134	-40 1694	1,72 2551,5	52 3584	86 4287,5
3.	30 (ČK)	σ_{sd} M_{Ed}	-87 735	-63 1215	-34 1815	11 2734	64 3840	101 4594
4.	37,6 (RK)	σ_{sd} M_{Ed}	-78 922	-48 1523	-12 2275	44 3426	135 4813	324 5757,5
5.	45	σ_{sd} M_{Ed}	-69 1103	-34 1823	10 2723	77 4101	327 5760	565 6891
6.	52,20 (GSN)	σ_{sd} M_{Ed}	-60 1279	-20 2114,10	31 3158,10	126 4757	522 6682	785 7993

Naprezanje u armaturnom čeliku



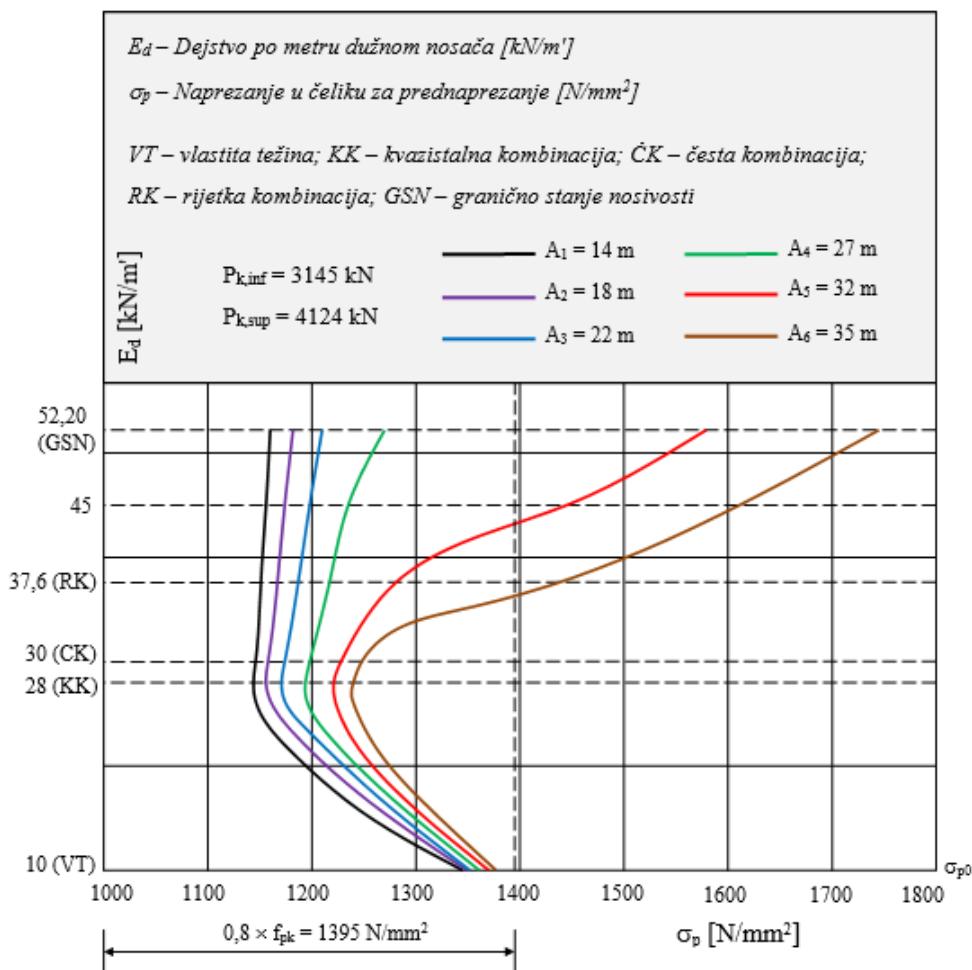
Slika 30 - Dijagram naprezanja u armaturnom čeliku u sredini raspona za A nosače
 (na osnovu Tabele 18)

Naprezanje u čeliku za prednaprezanje

Tabela 19 - Naprezanje u čeliku za prednaprezanje u sredini raspona za A nosače

R. B.	E_d [kN/m ²]	$R. B. -$ Redni broj dejstva $E_d -$ Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m]						
		$\sigma_{p0} -$ Naprezanje u pred. čeliku nakon početnih gubitaka [N/mm ²] $\sigma_{ps} -$ Naprezanje u pred. čeliku u graničnom stanju upotrebe [N/mm ²] $M_{Ed} -$ Moment pri kojem dolazi do tog naprezanja [kNm] $VT -$ vlastita težina; $KK -$ kvazistalna kombinacija; $ČK -$ česta kombinacija; $RK -$ rijetka kombinacija; $GSN -$ granično stanje nosivosti + ZATEZANJE - PRITISAK						
		$A_1 = 14 \text{ m}$	$A_2 = 18 \text{ m}$	$A_3 = 22 \text{ m}$	$A_4 = 27 \text{ m}$	$A_5 = 32 \text{ m}$	$A_6 = 35 \text{ m}$	
1.	10 (VT)	σ_{p0} M_{Ed}	1345 245	1349 405	1352 605	1361 911,25	1370 1280	1377 1531,25
2.	28 (KK)	σ_{ps} M_{Ed}	1144 686	1156 1134	1171 1694	1194 2551,5	1221 3584	1240 4287,5
3.	30 (ČK)	σ_{ps} M_{Ed}	1146 735	1158 1215	1174 1815	1198 2734	1228 3840	1248 4594
4.	37,6 (RK)	σ_{ps} M_{Ed}	1151 922	1167 1523	1187 2275	1217 3426	1281 4813	1438 5757,5
5.	45	σ_{ps} M_{Ed}	1156 1103	1174 1823	1198 2723	1235 4101	1445 5760	1611 6891
6.	52,20 (GSN)	σ_{ps} M_{Ed}	1160 1279	1182 2114,10	1210 3158,10	1270 4757	1579 6682	1745 7993

Naprezanje u čeliku za prednaprezanje



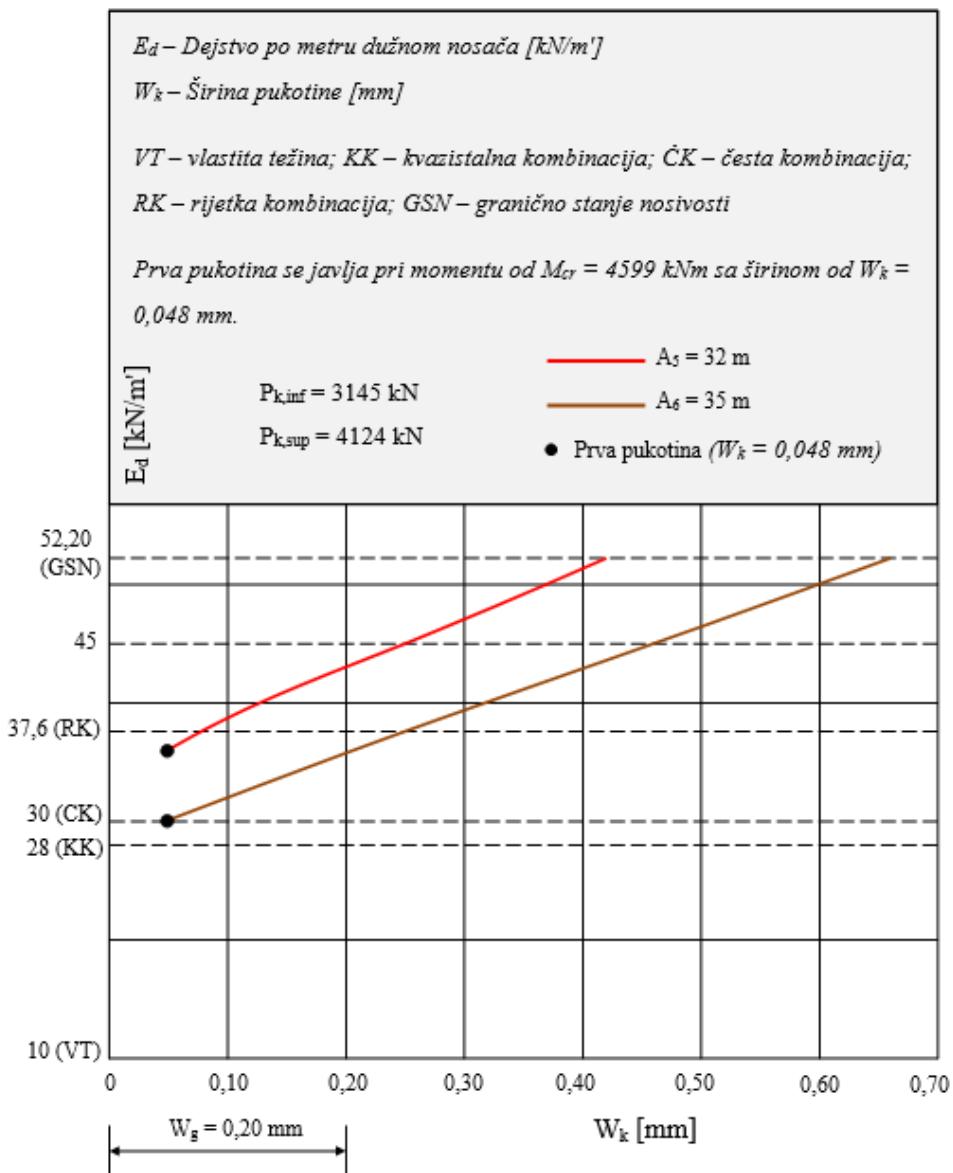
Slika 31 - Dijagram naprezanja u čeliku za prednaprezanje u sredini raspona za A nosače
(na osnovu Tabele 19)

Širina pukotine

Tabela 20 - Širina pukotine u sredini raspona za A nosače

R. B.	E_d [kN/m']	<i>R. B. – Redni broj dejstva E_d – Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']</i> <i>W_k – Širina pukotine [mm] M_{Ed} – Moment pri kojem dolazi do pukotine [kNm]</i> <i>VT – vlastita težina; KK – kvazistalna kombinacija; ČK – česta kombinacija; RK – rijetka kombinacija; GSN – granično stanje nosivosti</i>						
			$A_1 = 14 \text{ m}$	$A_2 = 18 \text{ m}$	$A_3 = 22 \text{ m}$	$A_4 = 27 \text{ m}$	$A_5 = 32 \text{ m}$	$A_6 = 35 \text{ m}$
1.	10 (VT)	W_k M_{Ed}	0 245	0 405	0 605	0 911,25	0 1280	0 1531,25
2.	28 (KK)	W_k M_{Ed}	0 686	0 1134	0 1694	0 2551,5	0 3584	0 4287,5
3.	30 (ČK)	W_k M_{Ed}	0 735	0 1215	0 1815	0 2734	0 3840	0 4594
4.	37,6 (RK)	W_k M_{Ed}	0 922	0 1523	0 2275	0 3426	0,078 4813	0,25 5757,5
5.	45	W_k M_{Ed}	0 1103	0 1823	0 2723	0 4101	0,25 5760	0,46 6891
6.	52,20 (GSN)	W_k M_{Ed}	0 1279	0 2114,10	0 3158,10	0,07 4757	0,42 6682	0,66 7993

Širina pukotine



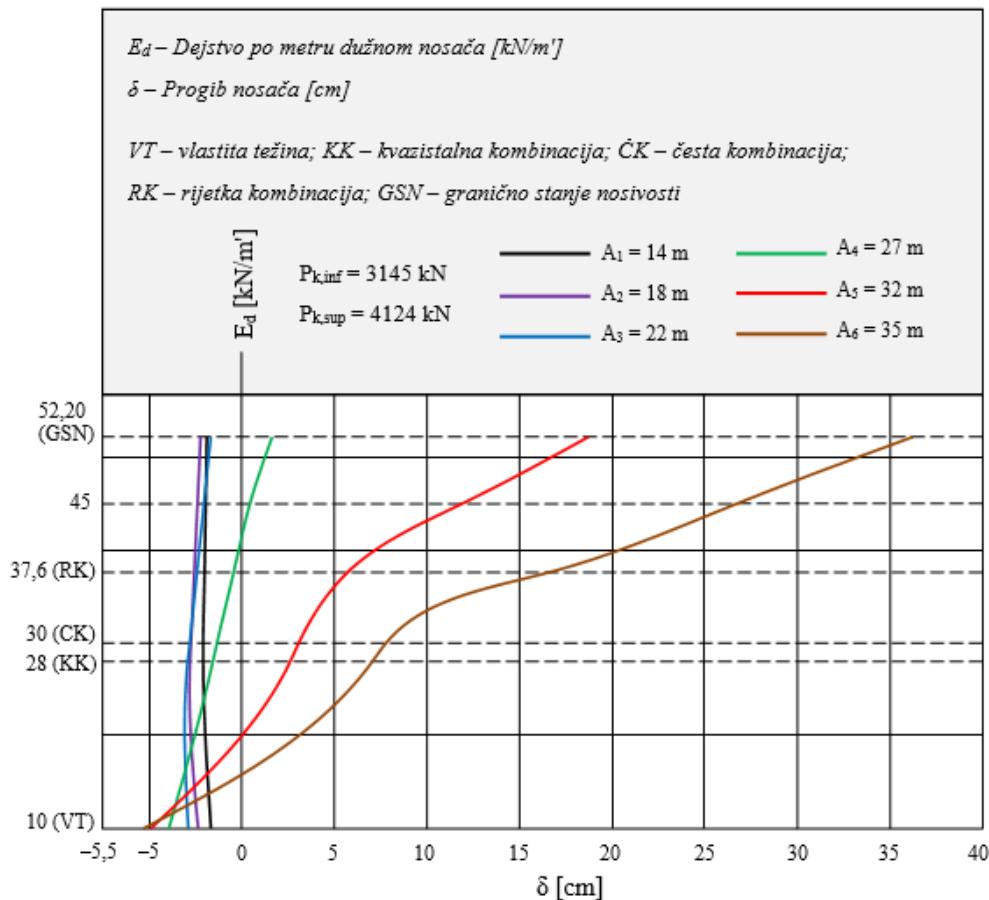
Slika 32 - Dijagram širine pukotine u sredini raspona za A nosače
(na osnovu Tabele 20)

Progib

Tabela 21 - Progibi u sredini raspona za A nosače

R. B.	E_d [kN/m']	<i>R. B. – Redni broj dejstva E_d – Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']</i>						
		$\delta_{t,td}$ – Kratkotrajni progib [cm]	$\delta_{t,ltd}$ – Dugotrajni progib [cm]	M_{Ed} – Moment pri kojem dolazi do tog progiba [kNm]				
		A ₁ = 14 m	A ₂ = 18 m	A ₃ = 22 m	A ₄ = 27 m	A ₅ = 32 m	A ₆ = 35 m	
1.	10 (VT)	$\delta_{t,td}$	-1,65	-2,35	-2,88	-3,93	-4,90	-5,30
		M_{Ed}	245	405	605	911,25	1280	1531,25
2.	28 (KK)	$\delta_{t,td}$	-2,08	-2,78	-2,91	-1,55	2,63	7,06
		M_{Ed}	686	1134	1694	2551,5	3584	4287,5
3.	30 (ČK)	$\delta_{t,td}$	-2,07	-2,73	-2,80	-1,33	3,09	7,80
		M_{Ed}	735	1215	1815	2734	3840	4594
4.	37,6 (RK)	$\delta_{t,td}$	-2	-2,56	-2,41	-0,43	5,72	16,60
		M_{Ed}	922	1523	2275	3426	4813	5757,5
5.	45	$\delta_{t,td}$	-1,94	-2,38	-2,03	0,45	11,91	26,73
		M_{Ed}	1103	1823	2723	4101	5760	6891
6.	52,20 (GSN)	$\delta_{t,td}$	-1,88	-2,22	-1,66	1,65	18,73	36,24
		M_{Ed}	1279	2114,10	3158,10	4757	6682	7993

Progib



Slika 33 - Dijagram progiba u sredini raspona za A nosače
 (na osnovu Tabele 21)

Odabir optimalnog A nosača

Tabela 22 - Rezultati proračuna za A nosače

Podaci i uslovi optimalnosti		A ₁ =14 m	A ₂ =18 m	A ₃ =22 m	A ₄ =27 m	A ₅ =32 m	A ₆ =35 m
	V	5,60	7,20	8,80	10,80	12,80	14,0
	m	14,0	18,0	22,0	27,0	32,0	35,0
1. Faza transporta nosača	a) $\sigma_{cg} \leq 3,80$ b) $\sigma_{cd} \leq -27$ E _d M _{Ed}	11,46 -34 10 245	8,31 -30,50 10 405	4,69 -26,60 10 605	2,98 -24,73 10 911,25	0,93 -22,50 10 1280	-0,47 -21 10 1531,25
2. Rijetka kombinacija	a) $\sigma_{cd} \leq 3,80$ b) $\sigma_{cd} \leq 400$ c) $\sigma_{cg} \leq -27$ d) $\sigma_p \leq 1395$ e) $W_k \leq 0,2$ E _d M _{Ed}	-17,50 -78 1,02 1151 0 37,60 922	-13,87 -49 -2,33 1167 0 37,60 1523	-9,33 -12 -6,52 1187 0 37,60 2275	-2,38 45 -12,95 1217 0 37,60 3426	9 135 -23,44 1281 0,078 37,60 4813	32,47 324 -45,10 1438 0,25 37,60 5757,5
3. Česta kombinacija	a) $\sigma_{cd} \leq 0$ E _d M _{Ed}	-18,62 30 735	-15,72 30 1215	-12,06 30 1815	-6,56 30 2734	0,12 30 3840	4,67 30 4594
4. Kvazistalna kombinacija	a) $\sigma_{cg} \leq -20,25$ b) $\delta_{t,hd} \leq L/250$ E _d M _{Ed}	2,32 -2,08 28 686	-0,17 -2,78 28 1134	-3,29 -2,91 28 1694	-8,07 -1,55 28 2551,5	-13,85 2,63 28 3584	-17,74 7,06 28 4287,5
	M _{des} E _{d,des}	3820,2 156	3820,2 94	3820,2 63,14	3820,2 42	3820,2 29,85	3820,2 25
	M _{cr} E _{d,cr}	4599 188	4599 114	4599 76	4599 50,47	4599 35,93	4599 30,04
	M _{Ed,GSN} E _{d,GSN}	1279 52,20	2114,1 52,20	3158,1 52,20	4757 52,20	6682 52,20	7993 52,20
	M _{Rk} E _{d,Rk}	7020 286	6933 171	6823 113	6801 74,63	6574 51,40	6391 41,74

Opis tabele:

V	zapremina elementa [m^3]
m	masa elementa [t]
σ_{cg}	naprezanje betona na gornjoj zoni [N/mm^2]
σ_{cd}	naprezanje betona na donjoj zoni [N/mm^2]
σ_{sd}	naprezanje u armaturnom čeliku [N/mm^2]
σ_p	naprezanje u čeliku za prednaprezanje [N/mm^2]
W_k	širina pukotine [mm]
$\delta_{t,ltd}$	dugotrajni progib [cm]
M_{dec}	moment pri kojem dolazi do dekompresije [kNm]
$E_{d,dec}$	djelovanje pri kojem dolazi do dekompresije [kN/m']
M_{cr}	moment pri kojem dolazi do pojave prve pukotine [kNm]
$E_{d,cr}$	djelovanje pri kojem dolazi do pojave prve pukotine [kN/m']
$M_{Ed,GSN}$	moment u graničnom stanju nosivosti [kNm]
$E_{d,GSN}$	opterećenje u graničnom stanju nosivosti [kN/m']
M_{Rk}	moment pri kojem dolazi do loma nosača [kNm]
$E_{d,Rk}$	djelovanje pri kojem dolazi do loma nosača [kN/m']
E_d	djelovanje po $1m'$ nosača [kN/m']
M_{Ed}	moment koji nastaje uslijed djelovanja E_d [kNm]

Optimalni nosač se odabire na osnovu prethodnih proračuna. Podaci u *Tabeli 22* su poredani istim redoslijedom kao i uslovi optimalnosti, a predstavljaju rezultate proračuna.

Prikazani dijagrami omogućuju da se ispita ponašanje nosača u graničnom stanju upotrebljivosti uz varijaciju raspona. Odabrani optimalni nosač mora zadovoljavati sve navedene uslove optimalnosti.

Uporedbom rezultata iz *Tabele 22* sa ranije navedenim uslovima optimalnosti moguće je odabrati optimalni A nosač. Najveći raspon A nosača pri kojem su zadovoljeni svi uslovi optimalnosti je raspon od $L = 32$ m. **Dakle, optimalni A nosač je $A_5 = 32$ m.**

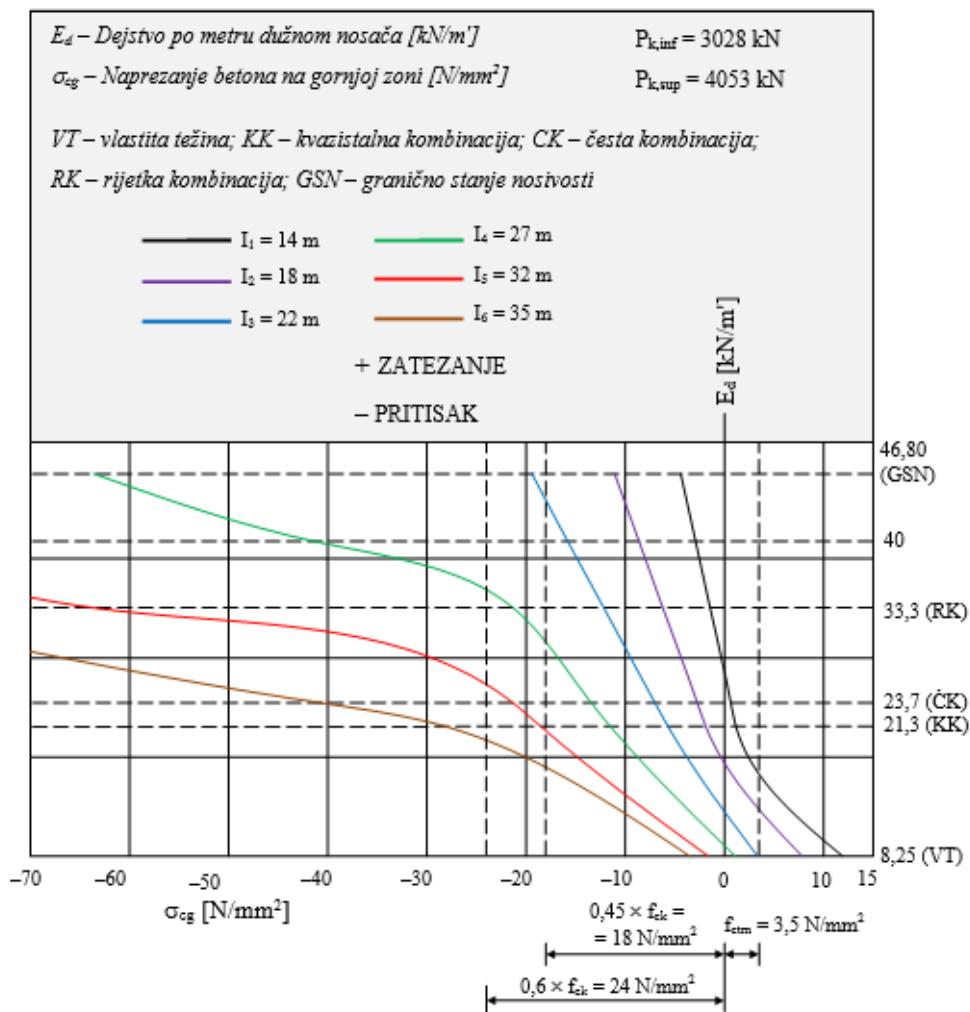
Rezultati proračuna za I – 140 glavni krovni nosač (projektno rješenje 2)

Naprezanje betona na gornjoj zoni

Tabela 23 - Naprezanje betona na gornjoj zoni u sredini raspona za I – 140 nosače

R. B.	E_d [kN/m']	<i>R. B. – Redni broj dejstva E_d – Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']</i> <i>σ_{eg} – Naprezanje betona na gornjoj zoni [N/mm²] M_{ed} – Moment pri kojem dolazi do tog naprezanja [kNm]</i> <i>VT – vlastita težina; KK – kvazistalna kombinacija; CK – česta kombinacija; RK – riješka kombinacija; GSN – granično stanje nosivosti</i> <i>+ ZATEZANJE – PRITISAK</i>						
			$I_1 = 14 \text{ m}$	$I_2 = 18 \text{ m}$	$I_3 = 22 \text{ m}$	$I_4 = 27 \text{ m}$	$I_5 = 32 \text{ m}$	$I_6 = 35 \text{ m}$
1.	8,25 (VT)	σ_{eg} M_{ed}	11,92 202,13	7,84 335	3,35 499,13	1,10 752	-1,62 1056	-3,47 1263,3
2.	21,3 (KK)	σ_{eg} M_{ed}	1,18 522	-1,86 863	-5,66 1289	-11,47 1941	-18,48 2727	-28,02 3262
3.	23,7 (CK)	σ_{eg} M_{ed}	0,66 581	-2,72 960	-7 1435	-13,42 2160	-21,31 3034	-40,65 3629
4.	33,3 (RK)	σ_{eg} M_{ed}	-1,44 816	-6,20 1349	-12,16 2015	-21,32 3035	-63,78 4263	-91,6 5099
5.	40	σ_{eg} M_{ed}	-2,90 980	-8,60 1620	-15,80 2420	-41,37 3645	-92,13 5120	-123 6125
6.	46,80 (GSN)	σ_{eg} M_{ed}	-4,39 1147	-11,06 1896	-19,41 2832	-63,58 4265	-119,18 5991	-153 7166

Naprezanje betona na gornjoj zoni



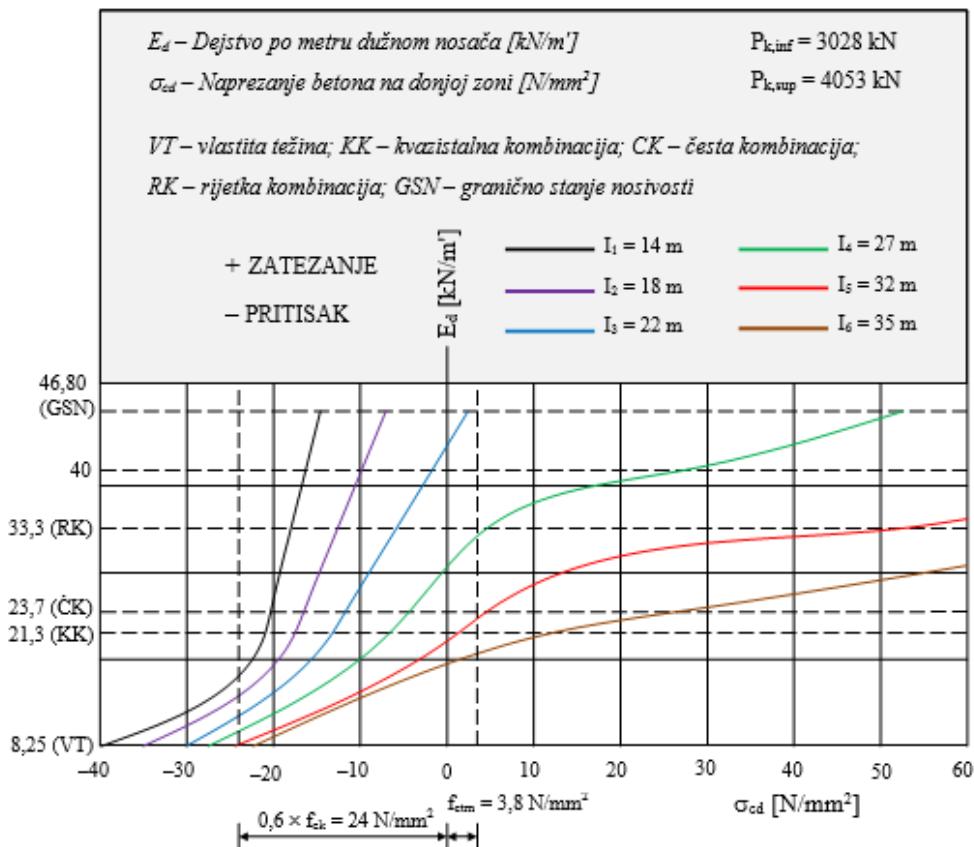
Slika 34 - Dijagram naprezanja betona na gornjoj zoni u sredini raspona za I – 140 nosače (na osnovu Tabele 23)

Naprezanje betona na donjoj zoni

Tabela 24 - Naprezanje betona na donjoj zoni u sredini raspona za I – 140 nosače

R. B.	E_d [kN/m']	$R. B. - Redni broj dejstva$ $E_d - Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']$ $\sigma_{cd} - Naprezanje betona na donjoj zoni [N/mm^2]$ $M_{zd} - Moment pri kojem dolazi do tog naprezanja [kNm]$ $VT - vlastita težina; KK - kvazistalna kombinacija; CK - česta kombinacija;$ $RK - rijetka kombinacija; GSN - granično stanje nosivosti$ + ZATEZANJE - PRITISAK						
			$I_1 = 14 \text{ m}$	$I_2 = 18 \text{ m}$	$I_3 = 22 \text{ m}$	$I_4 = 27 \text{ m}$	$I_5 = 32 \text{ m}$	$I_6 = 35 \text{ m}$
1.	8,25 (VT)	σ_{cd} M_{zd}	-39,80 202,13	-35 335	-30,05 499,13	-27,50 752	-24,42 1056	-22,32 1263,3
2.	21,3 (KK)	σ_{cd} M_{zd}	-20,93 522	-17,48 863	-13,17 1289	-6,58 1941	1,37 2727	12,24 3262
3.	23,7 (CK)	σ_{cd} M_{zd}	-20,33 581	-16,50 960	-11,70 1435	-4,36 2160	4,57 3034	26,52 3629
4.	33,3 (RK)	σ_{cd} M_{zd}	-18 816	-12,60 1349	-5,83 2015	4,59 3035	52,30 4263	84 5099
5.	40	σ_{cd} M_{zd}	-16,30 980	-9,83 1620	-1,73 2420	27,30 3645	84,90 5120	120 6125
6.	46,80 (GSN)	σ_{cd} M_{zd}	-14,61 1147	-7,03 1896	2,43 2832	52,56 4265	115,4 5991	155 7166

Naprezanje betona na donjoj zoni



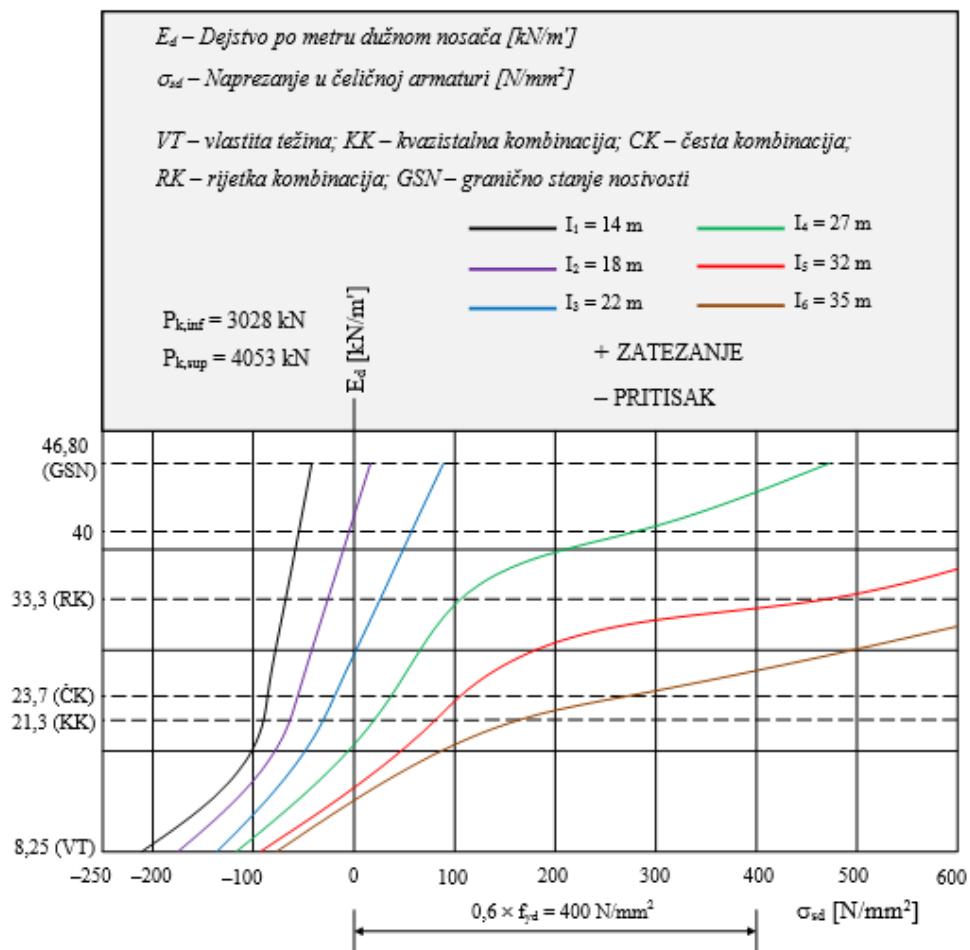
Slika 35 - Dijagram naprezanja betona na donjoj zoni u sredini raspona za $I - 140$ nosače (na osnovu Tabele 24)

Naprezanje u armaturnom čeliku

Tabela 25 - Naprezanje u armaturnom čeliku u sredini raspona za I – 140 nosače

R. B.	E_d [kN/m ²]	$R. B. - Redni broj dejstva$ $E_d - Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m]$ $\sigma_{sd} - Naprezanje u čeličnoj armaturi [N/mm2]$ $M_{sd} - Moment pri kojem dolazi do tog naprezanja [kNm]$ $VT - vlastita težina; KK - kvazistalna kombinacija; CK - česta kombinacija;$ $RK - riješka kombinacija; GSN - granično stanje nosivosti$ + ZATEZANJE - PRITISAK						
		$I_1 = 14 \text{ m}$	$I_2 = 18 \text{ m}$	$I_3 = 22 \text{ m}$	$I_4 = 27 \text{ m}$	$I_5 = 32 \text{ m}$	$I_6 = 35 \text{ m}$	
1.	8,25 (VT)	σ_{sd} M _{sd}	-211 202,13	-175 335	-136 499,13	-117 752	-93 1056	-77 1263,3
2.	21,3 (KK)	σ_{sd} M _{sd}	-90 522	-63,60 863	-30,60 1289	20 1941	81 2727	164 3262
3.	23,7 (CK)	σ_{sd} M _{sd}	-86 581	-56 960	-19,30 1435	37 2160	106 3034	273 3629
4.	33,3 (RK)	σ_{sd} M _{sd}	-68 816	-26 1349	26 2015	106 3035	471 4263	715 5099
5.	40	σ_{sd} M _{sd}	-55 980	-5 1620	57 2420	280 3645	721 5120	989 6125
6.	46,80 (GSN)	σ_{sd} M _{sd}	-42 1147	16,42 1896	89 2832	473 4265	954 5991	1252 7166

Naprezanje u armaturnom čeliku



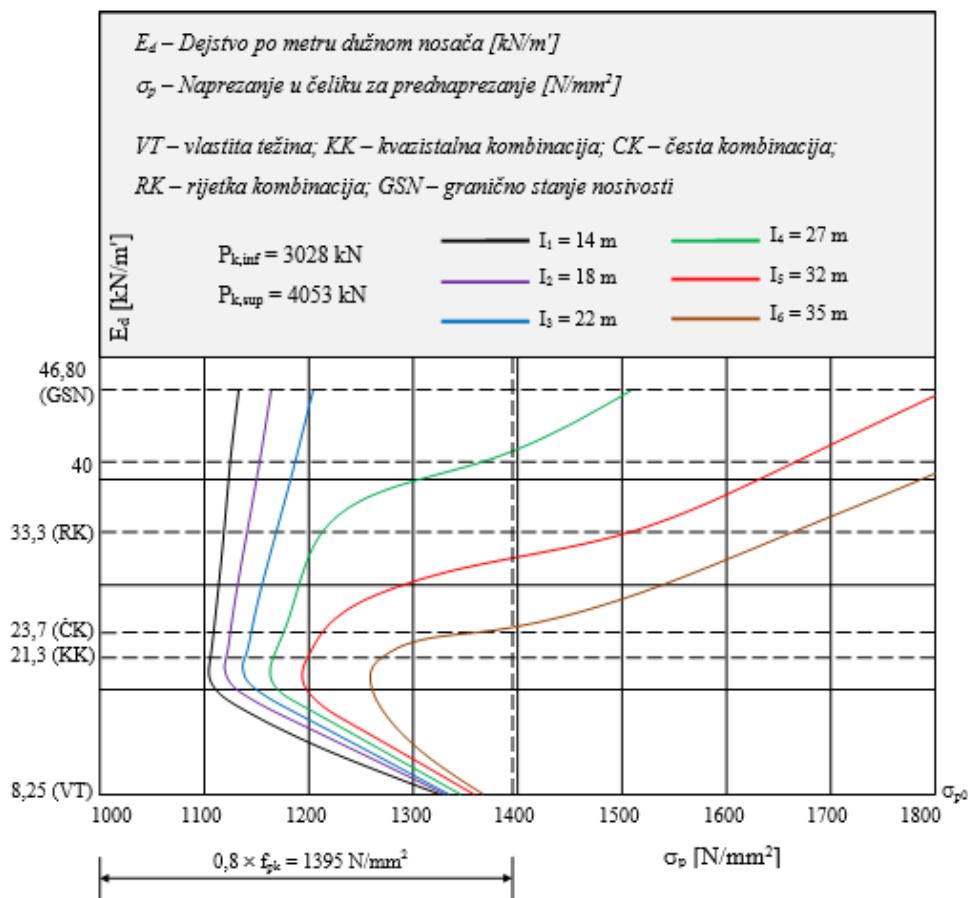
Slika 36 - Dijagram naprezanja u armaturnom čeliku u sredini raspona za I – 140 nosače (na osnovu Tabele 25)

Naprezanje u čeliku za prednaprezanje

Tabela 26 - Naprezanje u čeliku za prednaprezanje u sredini raspona za I – 140 nosače

R. B.	E_d [kN/m']	$R. B. - Redni broj dejstva$ $E_d - Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']$ $\sigma_{p0} - Naprezanje u pred. čeliku nakon početnih gubitaka [N/mm^2]$ $\sigma_{ps} - Naprezanje u pred. čeliku u graničnom stanju upotrebe [N/mm^2]$ $M_{Ed} - Moment pri kojem dolazi do tog naprezanja [kNm]$ $VT - vlastita težina; KK - kvazistalna kombinacija; CK - česta kombinacija;$ $RK - rijetka kombinacija; GSN - granično stanje nosivosti$ + ZATEZANJE - PRITISAK						
			$I_1 = 14 \text{ m}$	$I_2 = 18 \text{ m}$	$I_3 = 22 \text{ m}$	$I_4 = 27 \text{ m}$	$I_5 = 32 \text{ m}$	$I_6 = 35 \text{ m}$
1.	8,25 (VT)	σ_{p0} M_{Ed}	1325 202,13	1330 335	1334 499,13	1345 752	1358 1056	1367 1263,3
2.	21,3 (KK)	σ_{ps} M_{Ed}	1106 522	1121 863	1139 1289	1166 1941	1199 2727	1270 3262
3.	23,7 (CK)	σ_{ps} M_{Ed}	1109 581	1125 960	1145 1435	1176 2160	1213 3034	1361 3629
4.	33,3 (RK)	σ_{ps} M_{Ed}	1119 816	1141 1349	1169 2015	1213 3035	1508 4263	1664 5099
5.	40	σ_{ps} M_{Ed}	1125 980	1153 1620	1187 2420	1366 3645	1666 5120	1826 6125
6.	46,80 (GSN)	σ_{ps} M_{Ed}	1133 1147	1164 1896	1204 2832	1508 4265	1810 5991	1973 7166

Naprezanje u čeliku za prednaprezanje



Slika 37 - Dijagram naprezanja u čeliku za prednaprezanje u sredini raspona za I – 140 nosače (na osnovu Tabele 26)

Širina pukotine

Tabela 27 - Širina pukotine u sredini raspona za I – 140 nosača

R. B.	E_d [kNm']	$R. B. - Redni broj dejstva$ $E_d - Dejstvo po metru dužnom nosača [kNm']$ $W_k - Sirina pukotine [mm]$ $M_{Ed} - Moment pri kojem dolazi do pukotine [kNm]$ $VT - vlastita težina; KK - kvazistalna kombinacija; CK - česta kombinacija;$ $RK - rijetka kombinacija; GSN - granično stanje nosivosti$ + ZATEZANJE - PRITISAK						
			$I_1 = 14 \text{ m}$	$I_2 = 18 \text{ m}$	$I_3 = 22 \text{ m}$	$I_4 = 27 \text{ m}$	$I_5 = 32 \text{ m}$	$I_6 = 35 \text{ m}$
1.	8,25 (VT)	W_k M_{Ed}	0 202,13	0 335	0 499,13	0 752	0 1056	0 1263,3
2.	21,3 (KK)	W_k M_{Ed}	0 522	0 863	0 1289	0 1941	0 2727	0,11 3262
3.	23,7 (CK)	W_k M_{Ed}	0 581	0 960	0 1435	0 2160	0,055 3034	0,21 3629
4.	33,3 (RK)	W_k M_{Ed}	0 816	0 1349	0 2015	0,055 3035	0,38 4263	0,60 5099
5.	40	W_k M_{Ed}	0 980	0 1620	0 2420	0,21 3645	0,60 5120	0,84 6125
6.	46,80 (GSN)	W_k M_{Ed}	0 1147	0 1896	0 2832	0,38 4265	0,81 5991	1,08 7166

Širina pukotine

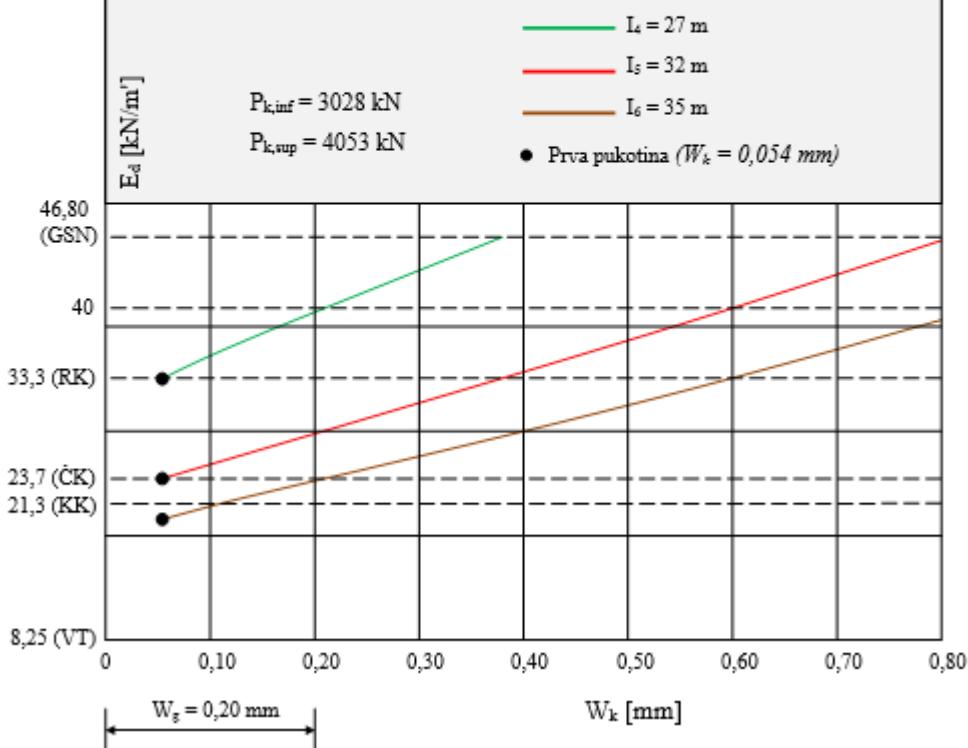
E_d – Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']

W_k – Sirina pukotine [mm]

VT – vlastita težina; KK – kvazistalna kombinacija; CK – česta kombinacija;

RK – rijetka kombinacija; GSN – granično stanje nosivosti

Prva pukotina se javlja pri momentu od $M_c = 3030 \text{ kNm}$ sa širinom od $W_k = 0,054 \text{ mm}$.



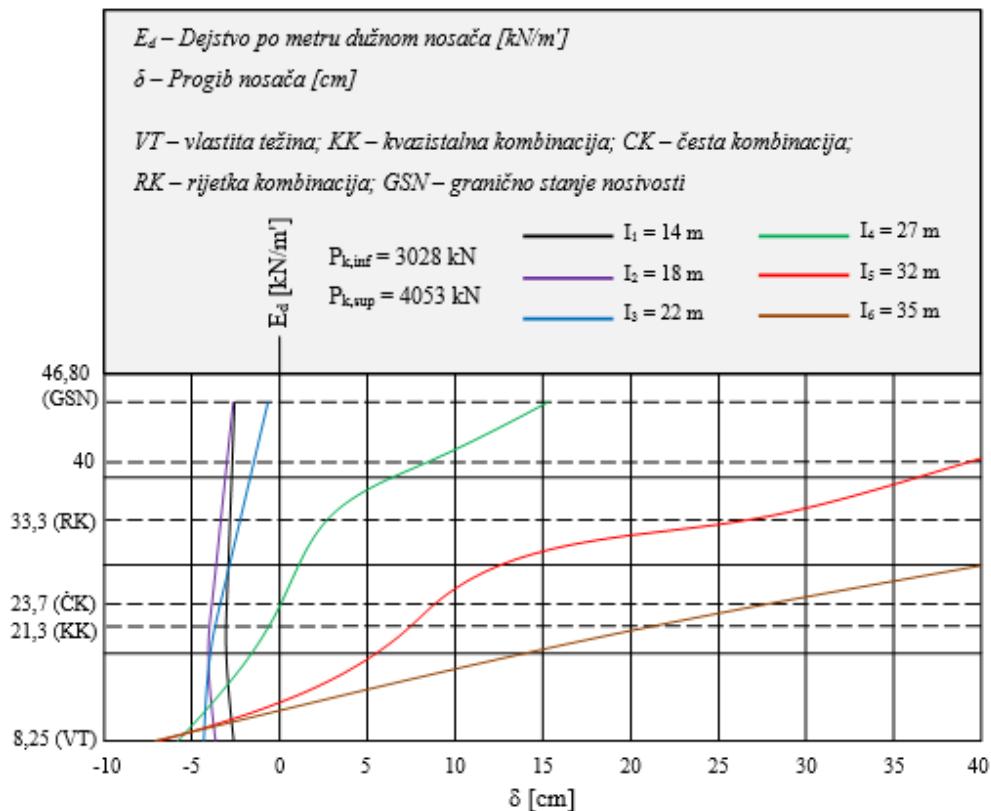
Slika 38 - Dijagram širine pukotine u sredini raspona za I - 140 nosače
(na osnovu Tabele 27)

Progib

Tabela 28 - Progibi u sredini raspona za I – 140 nosače

R. B.	E_d [kNm']	$R. B. - Redni broj dejstva$ $E_d - Dejstvo po metru dužnom nosača [kN/m']$ $\delta_{t,td} - Kratkotrajni progib [cm]$ $\delta_{t,hd} - Dugotrajni progib [cm]$ $M_{Ed} - Moment pri kojem dolazi do tog progiba [kNm]$ $VT - vlastita težina; KK - kvazistalna kombinacija; CK - česta kombinacija;$ $RK - rijetka kombinacija; GSN - granično stanje nosivosti$ + ZATEZANJE - PRITISAK						
			$I_1 = 14 \text{ m}$	$I_2 = 18 \text{ m}$	$I_3 = 22 \text{ m}$	$I_4 = 27 \text{ m}$	$I_5 = 32 \text{ m}$	$I_6 = 35 \text{ m}$
1.	8,25 (VT)	$\delta_{t,td}$ M_{Ed}	-2,62 202,13	-3,66 335	-4,32 499,13	-5,8 752	-6,82 1056	-7,10 1263,3
2.	21,3 (KK)	$\delta_{t,td}$ M_{Ed}	-3,06 522	-4 863	-3,68 1289	-0,61 1941	7,47 2727	21,24 3262
3.	23,7 (CK)	$\delta_{t,td}$ M_{Ed}	-3,02 581	-3,87 960	-3,40 1435	0,03 2160	8,77 3034	27,44 3629
4.	33,3 (RK)	$\delta_{t,td}$ M_{Ed}	-2,83 816	-3,36 1349	-2,26 2015	2,66 3035	26,42 4263	54,24 5099
5.	40	$\delta_{t,td}$ M_{Ed}	-2,70 980	-3,01 1620	-1,47 2420	8,46 3645	39,30 5120	71,44 6125
6.	46,80 (GSN)	$\delta_{t,td}$ M_{Ed}	-2,57 1147	-2,65 1896	-0,66 2832	15,31 4265	51,60 5991	88,50 7166

Progib



Slika 39 - Dijagram progiba u sredini raspona za I – 140 nosače
 (na osnovu tabele 28)

Odabir optimalnog I – 140 nosača

Tabela 29 - Rezultati proračuna za nosače I – 140 nosače

Podaci i uslovi optimalnosti		I ₁ =14 m	I ₂ =18 m	I ₃ =22 m	I ₄ =27 m	I ₅ =32 m	I ₆ =35 m
V		4,62	5,94	7,26	8,91	10,56	11,55
m		11,55	14,85	18,15	22,28	26,40	28,88
1. Faza transporta nosača	a) $\sigma_{eg} \leq 3,50$ b) $\sigma_{ed} \leq -24$ E_d M_{Ed}	11,92 -39,80 8,25 202,13	7,84 -35 8,25 335	3,35 -30,05 8,25 499,13	1,10 -27,50 8,25 752	-1,62 -24,42 8,25 1056	-3,47 -22,32 8,25 1263,30
2. Rijetka kombinacija	a) $\sigma_{ed} \leq 3,50$ b) $\sigma_{ed} \leq 400$ c) $\sigma_{eg} \leq -24$ d) $\sigma_p \leq 1395$ e) $W_k \leq 0,2$ E_d M_{Ed}	-18 -68 -1,44 1119 0 33,30 816	-12,6 -26 -6,20 1141 0 33,30 1349	-5,83 26 -12,16 1169 0 33,30 2015	4,59 106 -21,32 1213 0,055 33,30 3035	52,30 471 -63,78 1508 0,38 33,30 4263	84 715 -91,60 1664 0,60 33,30 5099
3. Cesta kombinacija	a) $\sigma_{ed} \leq 0$ E_d M_{Ed}	-20,33 23,70 581	-16,5 23,70 960	-11,70 23,70 1435	-4,36 23,70 2160	4,57 23,70 3034	26,52 23,70 3629
4. Kvazistalna kombinacija	a) $\sigma_{eg} \leq -18$ b) $\delta_{t,hd} \leq L/250$ E_d M_{Ed}	1,18 -3,06 21,30 522	-1,86 -4 21,30 863	-5,66 -3,68 21,30 1289	-11,47 -0,61 21,30 1941	-18,48 7,47 21,30 2727	-28,02 21,24 21,30 3262
	M _{asc} $E_{d,asc}$	2591,5 106	2591,5 64	2591,5 43	2591,5 28,44	2591,5 20,30	2591,5 17
	M _{ac} $E_{d,ac}$	3030 124	3030 75	3030 50,10	3030 33,25	3030 23,70	3030 19,80
	M _{Ed,GSN} $E_{d,GSN}$	1147 46,80	1896 46,80	2832 46,80	4265 46,80	5991 46,80	7166 46,80
	M _{Rk} $E_{d,Rk}$	4875 199	4854 120	4678 51,34	4351 47,75	3922 30,64	3455 22,57

Opis tabele:

V	zapremina elementa [m^3]
m	masa elementa [t]
σ_{cg}	naprezanje betona na gornjoj zoni [N/mm^2]
σ_{cd}	naprezanje betona na donjoj zoni [N/mm^2]
σ_{sd}	naprezanje u čeličnoj armaturi [N/mm^2]
σ_p	naprezanje u čeliku za prednaprezanje [N/mm^2]
W_k	širina pukotine [mm]
$\delta_{t,ltd}$	dugotrajni progib [cm]
M_{dec}	moment pri kojem dolazi do dekompresije [kNm]
$E_{d,dec}$	djelovanje pri kojem dolazi do dekompresije [kN/m']
M_{cr}	moment pri kojem dolazi do pojave prve pukotine [kNm]
$E_{d,cr}$	djelovanje pri kojem dolazi do pojave prve pukotine [kN/m']
$M_{Ed,GSN}$	moment u graničnom stanju nosivosti [kNm]
$E_{d,GSN}$	djelovanje u graničnom stanju nosivosti [kN/m']
M_{Rk}	moment pri kojem dolazi do loma nosača [kNm]
$E_{d,Rk}$	djelovanje pri kojem dolazi do loma nosača [kN/m']
E_d	djelovanje po $1m'$ nosača [kN/m']
M_{Ed}	moment koji nastaje uslijed opterećenja E_d [kNm]

Odabir optimalnog $I - 140$ nosača se vrši na isti način kako je to urađeno i za A nosače. U *Tabeli 29* su prezentirani rezultati proračuna $I - 140$ nosača. Rezultati su poredani istim redoslijedom kao i ranije navedeni uslovi optimalnosti. Odabrani nosač mora zadovoljiti sve uslove optimalnosti.

Pomoću dijagrama na *Slikama 34–39* moguće je razmotriti ponašanje nosača u graničnom stanju upotrebljivosti uz varijaciju raspona. Uporedbom rezultata iz *Tabele 29* sa navedenim uslovima optimalnosti moguće je odabrati optimalni $I - 140$ nosač. Najveći raspon $I - 140$ nosača pri kojem su zadovoljeni svi uslovi optimalnosti je raspon od $L = 27$ m. **Dakle, optimalni nosač $I - 140$ je $I_4 = 27$ m.**

Komentari rezultata proračuna

Ponašanje nosača obrađenih u ovoj studiji u graničnom stanju upotrebljivosti pri istoj količini armaturnog i prednapregnutog čelika značajno zavisi od raspona samih elemenata. Na osnovu dijagrama za A nosače (*Slike 28-33*), te dijagrama za nosače $I - 140$ (*Slike 34-39*) moguće je komentarisati ponašanje nosača u graničnom stanju upotrebljivosti pri varijaciji raspona.

Nosači: $A_1 = 14 \text{ m}$, $I_1 = 14 \text{ m}$

$A_1 = 14 \text{ m}$: Napon betona na gornjoj zoni, tek u graničnom stanju nosivosti (GSN) počinje prelaziti u pritisak, dok na donjoj zoni u betonu nema napona zatezanja. Naprezanje u armaturnom i prednapregnutom čeliku je daleko ispod dozvoljenih vrijednosti. Prva pukotina nastaje tek pri opterećenju od $E_{d,cr} = 188 \text{ kN/m}^2$, dok je progib negativan čak i u GSN. Ovo znači da je sila prednaprezanja prevelika i lako savladava raspon od $L = 14 \text{ m}$, odnosno sposobna je savladati i veći raspon.

$I_1 = 14 \text{ m}$: Situacija je slična kao kod A_1 nosača. Naprezanje betona na gornjoj i donjoj zoni, te u armaturnom i prednapregnutom čeliku su daleko ispod dozvoljenih vrijednosti. Progib je negativan čak i u GSN. Element počinje raspucavati tek pri opterećenju od $E_{d,cr} = 124 \text{ kN/m}^2$. Sila prednaprezanja je takođe prevelika i lako savladava raspon od $L = 14 \text{ m}$, odnosno ima mogućnost da savlada i veći raspon.

Nosači: $A_2 = 18 \text{ m}$, $I_2 = 18 \text{ m}$

$A_2 = 18 \text{ m}$: Naprezanja u betonu i čeliku (armaturnom i prednapregnutom) su nešto veći u odnosu na nosač $A_1 = 14 \text{ m}$ pri određenim kombinacijama djelovanja ali su i dalje daleko ispod dozvoljenih vrijednosti. Prva pukotina nastaje tek pri djelovanju od $E_{d,cr} = 114 \text{ kN/m}^2$, što je daleko veće čak i od rijetke kombinacije djelovanja i GSN. Sila prednaprezanja je i dalje prevelika, te lako savladava raspon od $L = 18 \text{ m}$. I dalje je moguće savladati veći raspon.

$I_2 = 18 \text{ m}$: Dekompresija ($\sigma_{cd} = 0 \text{ N/mm}^2$ za čestu kombinaciju djelovanja) nastupa tek pri dejstvu od $E_{d,dec} = 64 \text{ kN/m}^2$, što je daleko veće od djelovanja česte kombinacije $E_{d,freq} = 23,7 \text{ kN/m}^2$. Naponi u betonu, te armaturnom i prednapregnutom čeliku za pojedine kombinacije djelovanja su ispod dopuštenih vrijednosti. Sila prednaprezanja je i dalje velika i lako savladava raspon od $L = 18 \text{ m}$. Moguće je savladati još veći raspon.

Nosači: $A_3 = 22 \text{ m}$, $I_3 = 22 \text{ m}$

$A_3 = 22 \text{ m}$: Naponi u betonu i čeliku (armaturnom i prednapregnutom) imaju linearan prirast čak i u graničnom stanju nosivosti ali su veći u odnosu na nosač $L = 18 \text{ m}$. Prva pukotina nastaje pri djelovanju od $E_{d,cr} = 76 \text{ kN/m}^2$, što je mnogo manje u

odnosu na A nosače od $L = 14$ m i $L = 18$ m. Međutim, sila prednaprezanja i dalje lako savladava raspon od $L = 22$ m, te je zbog toga moguće savladati i veći raspon.

$I_3 = 22$ m: Naponi u betonu i čeliku (armaturnom i prednapregnutom) su veći u odnosu na nosač $I_2 = 18$ m zbog čega se čelik i beton počinju iskorištavati. Prirast napona u betonu, čeliku, te prirast progiba je linearan čak i u GSN. Prva pukotina nastaje pri djelovanju od $E_{d,cr} = 50,10$ kN/m', što je manje u odnosu na nosač $I_2 = 18$ m. I dalje je moguće savladati veći raspon.

Nosači: $A_4 = 27$ m, $I_4 = 27$ m

$A_4 = 27$ m: Prva pukotina nastupa pri djrlovsnu od $E_{d,cr} = 50,47$ kN/m', što je i dalje veće čak i od djelovanja rijetke kombinacije od $E_{d,rare} = 37,60$ kN/m'. Presjek nije raspucao, čak i pri najvećoj kombinaciji djelovanja. Prirast napona u betonu i čeliku (armaturnom i prednapregnutom), te progiba je linearan čak i u graničnom stanju nosivosti. Sila prednaprezanja i dalje ima mogućnost da savlada i veći raspon od $L = 27$ m.

$I_4 = 27$ m (optimalni $I - 140$ nosač): Djelovanje pri kojem dolazi do dekompresije je $E_{d,dec} = 28,44$ kN/m' i nešto je veće od djelovanja česte kombinacije $E_{d,freq} = 23,70$ kN/m'. $I - 140$ nosač raspona $L = 27$ m zadovoljava sve ranije navedene uslove optimalnosti. Prva pukotina nastupa pri djelovanju od $E_{d,cr} = 33,25$ kN/m', nakon čega dolazi do nelinearnosti napona u betonu i armaturi, te progibima. Sila prednaprezanja, kao beton i čelik (armaturni i prednapregnuti) su potpuno iskorišteni. Sila prednaprezanja više nema mogućnost da savlada veći raspon.

Nosači: $A_5 = 32$ m, $I_5 = 32$ m

$A_5 = 32$ m (optimalni A nosač): Nosač A_5 raspona $L = 32$ m zadovoljava sve uslove optimalnosti. Dekompresija nastaje pri djelovanju od $E_{d,dec} = 29,85$ kN/m', što odgovara djelovanju česte kombinacije $E_{d,freq} = 30$ kN/m'. Napon betona na donjoj zoni pri čestoj kombinaciji je $\sigma_{cd} = 0,12$ N/mm² i malo je veći od nule. Beton, čelik (armaturni i prednapregnuti) i sila prednaprezanja u ovom su slučaju potpuno iskorišteni zbog čega nije moguće savladati veći raspon.

$I_5 = 32$ m: Djelovanje pri pojavi prve pukotine iznosi $E_{d,cr} = 23,70$ kN/m' što znači da se prva pukotina pojavljuje već pri čestoj kombinaciji djelovanja, čije opterećenje iznosi $E_{d,freq} = 23,70$ kN/m'. Beton je potpuno iskorišten pri čestoj kombinaciji djelovanja, a armaturni i prednapregnuti čelik pri rijetkoj kombinaciji. Raspon $I - 140$ nosača od $L = 32$ m se ne može savladati.

Nosači: $A_6 = 35 \text{ m}$, $I_6 = 35 \text{ m}$

$A_6 = 35 \text{ m}$: Prva pukotina nastupa pri djelovanju od $E_{d,cr} = 30,04 \text{ kN/m}'$, a djelovanje česte kombinacije iznosi $E_{d,freq} = 30 \text{ kN/m}'$. Naponi u betonu i čeliku (armaturnom i prednapregnutom) prelaze dopuštene vrijednosti pri rijetkoj kombinaciji djelovanja, čime je sila prednaprezanja maksimalno iskorištena, te je nedovoljna da savlada raspon od $L = 35 \text{ m}$.

$I_6 = 35 \text{ m}$: Prva pukotina nastupa već pri djelovanju od $E_{d,cr} = 19,8 \text{ kN/m}'$, što je manje čak i od djelovanja kvazistalne kombinacije od $E_{d,perm} = 21,30 \text{ kN/m}'$ (stalno djelovanje). Znači da je presjek raspucao i bez djelovanja ukupnog stalnog dejstva. Djelovanje pri kojem nastupa lom nosača je $E_{d,Rk} = 22,57 \text{ kN/m}'$, što znači da je sila prednaprezanja maksimalno iskorištena. U ovom slučaju, nosač nema nikakvih izgleda da savlada raspon od $L = 35 \text{ m}$.

Potrebni broj kablova za prednaprezanje

Optimalan broj kablova za nosače $A_5 = 32 \text{ m}$ i $I_4 = 27 \text{ m}$ je $n = 21$ kabl sa ukupnom površinom od $A_p = 29,40 \text{ cm}^2$. Drugim riječima, raspon od $L = 32 \text{ m}$ (A nosač) i $L = 27 \text{ m}$ ($I - 140$ nosač) se može savladati sa $n = 21$ kablova za prednaprezanje.

21 kabl daje preveliku силу prednaprezanja za nosače $A_1 - A_4$, te nosače $I_1 - I_3$. Isto tako, sila prednaprezanja koja se dobije pomoću 21 kabla nije dovoljna da se savladaju rasponi $A_6 = 35 \text{ m}$, te rasponi $I_5 = 32 \text{ m}$ i $I_6 = 35 \text{ m}$. Prevelika sila prednaprezanja uzrokuje prekomjerno izdizanje nosača (kontraprogib), veliki napon pritiska na donjoj zoni i veliki napon zatezanja na gornjoj zoni, što se i može vidjeti na dijagramima za A i $I - 140$ nosače.

Zbog toga je potrebno odrediti potrebni broj kablova i za ostale raspone A i $I - 140$ nosača, kako bi dijagrami za bilo koji raspon oba nosača izgledali isto kao dijagrami za nosače $A_5 = 32 \text{ m}$ i $I_4 = 27 \text{ m}$ (optimalni nosači). Potrebni broj kablova je najlakše odrediti prema momentu nosivosti (loma) presjeka M_{Rk} , koji ne smije biti manji od momenta u graničnom stanju nosivosti $M_{Ed,GSN}$, a niti mnogo veći od njega (Tabele 30 i 31).

Tabela 30 - Određivanje potrebnog broja kablova za pojedine A nosače

Nosač	Moment u graničnom stanju nosivosti $M_{sd} [kNm]$	Pretpostavljeni broj kablova za prednaprezanje kojima je moguće savladati pojedine raspone [kom]	Moment nosivosti presjeka M_{Rk} [kNm] $M_{Rk} = \sigma_{pd} \times A_p \times \zeta \times d_p$	Rezultat
A ₁ = 14 m	1279	4 ($A_p = 4 \times 1,4 = 5,6 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 0,56 \times 0,959 \times 1,71 = 1337 \text{ kNm}$	$1337 \approx 1279$ Raspon A ₁ = 14 m se može savladati sa n = 4 kabla
A ₂ = 18 m	2114,1	7 ($A_p = 7 \times 1,4 = 9,8 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 0,98 \times 0,947 \times 1,71 = 2310 \text{ kNm}$	$2310 \approx 2114,1$ Raspon A ₂ = 18 m se može savladati sa n = 7 kablova
A ₃ = 22 m	3158,1	10 ($A_p = 10 \times 1,4 = 14 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 1,40 \times 0,932 \times 1,71 = 3248 \text{ kNm}$	$3248 \approx 3158,1$ Raspon A ₃ = 22 m se može savladati sa n = 10 kablova
A ₄ = 27 m	4757	15 ($A_p = 15 \times 1,4 = 21 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 2,10 \times 0,929 \times 1,71 = 4857 \text{ kNm}$	$4857 \approx 4757$ Raspon A ₄ = 27 m se može savladati sa n = 15 kablova
A ₅ = 32 m	Ovaj raspon je savladan sa n = 21 kablova za prednaprezanje ($A_p = 29,4 \text{ cm}^2$)			
A ₆ = 35 m*	7993	27 ($A_p = 27 \times 1,4 = 37,80 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 3,78 \times 0,873 \times 1,71 = 8216 \text{ kNm}$	$8216 \approx 7993$ Raspon A ₆ = 35 m se može savladati sa n = 27 kablova

Tabela 31 - Određivanje potrebnog broja kablova za pojedine I – 140 nosače

Nosač	Moment u graničnom stanju nosivosti M_{sd} [kNm]	Pretpostavljeni broj kablova za prednaprezanje kojima je moguće savladati pojedine rasponе [kom]	Moment nosivosti presjeka M_{Rk} [kNm] $M_{Rk} = \sigma_{yd} \times A_p \times \zeta \times d_p$	Rezultat
I ₁ = 14 m	1147	5 ($A_p = 5 \times 1,4 = 7 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 0,70 \times 0,941 \times 1,21 = 1160 \text{ kNm}$	$1160 \approx 1147$ Raspon I ₁ = 14 m se može savladati sa n = 5 kablova
I ₂ = 18 m	1896	9 ($A_p = 9 \times 1,4 = 12,60 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 1,26 \times 0,937 \times 1,21 = 2080 \text{ kNm}$	$2080 \approx 1896$ Raspon I ₂ = 18 m se može savladati sa n = 9 kablova
I ₃ = 22 m	2832	13 ($A_p = 13 \times 1,4 = 18,20 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 1,82 \times 0,903 \times 1,21 = 2895 \text{ kNm}$	$2895 \approx 2832$ Raspon I ₃ = 22 m se može savladati sa n = 13 kablova
I ₄ = 27 m	Ovaj raspon je savladan sa n = 21 kablova za prednaprezanje ($A_p = 29,4 \text{ cm}^2$)			
I ₅ = 32 m*	5991	33 ($A_p = 33 \times 1,4 = 46,20 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 4,62 \times 0,757 \times 1,21 = 6161 \text{ kNm}$	$6161 \approx 5991$ Raspon I ₅ = 32 m se može savladati sa n = 33 kabla
I ₆ = 35 m*	7166	44 ($A_p = 44 \times 1,4 = 61,60 \text{ cm}^2$)	$M_{Rk} = 1456 \times 6,16 \times 0,667 \times 1,21 = 7238 \text{ kNm}$	$7238 \approx 7166$ Raspon I ₆ = 35 m se može savladati sa n = 44 kabla

* Da bi se ovi rasponi savladali sa manjim brojem kablova, potrebno je povećati dimenzije poprečnog presjeka elementa. Potrebni broj kablova za ove raspone u Tabelama 30 i 31 vrijedi samo za iste dimenzije presjeka elemenata koji su obrađeni u ovoj studiji.

EKONOMSKA ANALIZA TROŠKOVA

U praksi se za svaki proizvedeni element radi kalkulacija cijene koštanja, koja omogućava definiranje cijena, a time i razvrstavanje troškova po jedinici proizvoda i naloga. Kalkulacija cijena je veoma važna za uspješno poslovanje kompanije, a predstavlja skup postupaka pomoću kojih se vrši obračunavanje troškova na proizvodni učinak kompanije, u cilju utvrđivanja odgovarajućih cijena (*Bišćević I, 1998.*). [9]

U ovom istraživanju izvršena je i analiza troškova za *A* i *I – 140* nosače koji su obrađeni u studiji. Za pojedine raspone oba nosača određena je proizvodna cijena elementa koja je takođe predstavljena u obliku dijagrama. Cijena je izračunata za nosače $A_1 - A_5$ i $I_1 - I_4$. Preostali rasponi (A_6, I_5, I_6) se ne mogu savladati, a da bi se savladali potrebne su veće dimenzije poprečnog presjeka elementa, te veća količina armaturnog čelika i čelika za prednaprezanje. Zbog toga se cijena elementa za te raspone ne može odrediti pomoću već postojećih dimenzija poprečnog presjeka, jer bi proračunata cijena bila znatno niža od stvarne cijene.

Cijene materijala i njihova ugradnja nisu iste za pojedine kompanije montažnih elemenata. Zbog toga, razmatraju se prosječne cijene materijala sa ugradnjom, koje vrijede isključivo na prostoru Bosne i Hercegovine. Svakoj cijeni za bilo koji nosač, potrebno je još dodati cijenu prijevoza elementa do gradilišta na kojem se gradi hala, cijenu montaže i PDV koji iznosi 17,0 %. Cijena prijevoza i montaže je takođe različita za sve pojedine kompanije.

Cijena kablova za prednaprezanje se utvrđuje na osnovu broja kablova koji su potrebni za savladavanje svakog pojedinog raspona *A* i *I – 140* nosača. Cijena armaturnog čelika *B 500 B* se određuje na osnovu potrebne količine armature (kg) po jednom metru dužnom nosača. Za elemente obrađene u ovom radu preporučena količina armaturnog čelika je 53 kg/m' za *A* nosač, odnosno 45 kg/m' za *I – 140* nosač. Cijena betona se utvrđuje prema klasi betona od kojeg su elementi izrađeni.

Proizvodne cijene za pojedine *A* i *I-140* nosače su date u *Tabelama 32 i 33.*

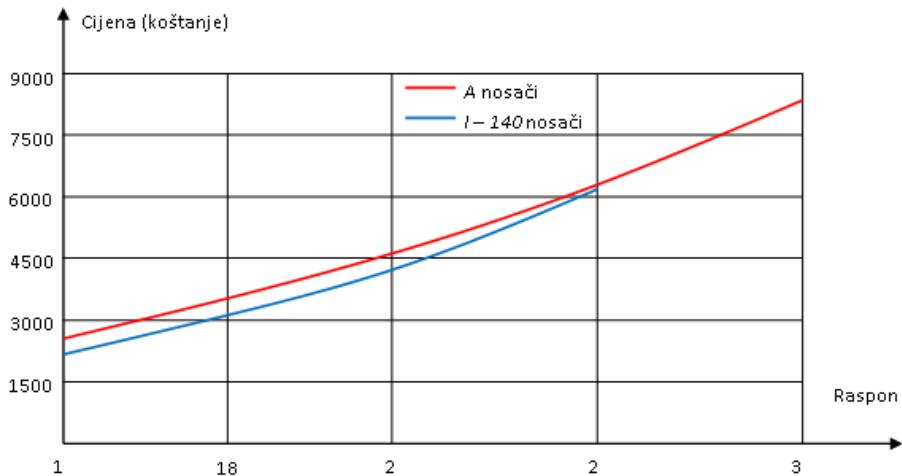
Tabela 32 - Proizvodne cijene za A nosače

A nosači			
MB 55 (C 45/55), B 500B, Dwywidag 1670/1860			
BETON: Betoniranje A nosača sa betonom MB 55. U cijenu je uključena nabavka, prijevoz, ugradnja u kalup i njega svježeg betona. Jedinična cijena je: 230 KM/m ³ .	ARMATURNI ČELIK: Nabavka, sječenje, savijanje, vezivanje i postavljanje šipkaste armature B 500B. Jedinična cijena je: 1,35 KM/kg.	KABLOVI ZA PREDNAPREZANJE: Nabavka, postavljanje u kalup i zatezanje presom kablova 1670/1860 tipa Dwywidag. Jedinična cijena je: 4,20 KM/kg. Težina kablova je: 1,102 kg/m ¹ .	UKUPNA PROIZVODNA CIJENA ELEMENTA: (Bez prijevoza i montaže gotovog elementa, bez PDV-a)
<i>A₁ = 14 m</i>			
5,6 m ³ × 230 KM = = 1288 KM	(53 kg × 14 m) × 1,35 KM = = 1001,7 KM	[(14 m × 4) × 1,102] × 4,20 KM = 259,19 KM	2549 KM (182 KM)
<i>A₂ = 18 m</i>			
7,2 m ³ × 230 KM = = 1656 KM	(53 kg × 18 m) × 1,35 KM = = 1287,9 KM	[(18 m × 7) × 1,102] × 4,20 KM = 583,18 KM	3527 KM (196 KM)
<i>A₃ = 22 m</i>			
8,8 m ³ × 230 KM = = 2024 KM	(53 kg × 22 m) × 1,35 KM = = 1574,1 KM	[(22 m × 10) × 1,102] × 4,20 KM = 1018,2 KM	4616 KM (210 KM)
<i>A₄ = 27 m</i>			
10,8 m ³ × 230 KM = = 2484 KM	(53 kg × 27 m) × 1,35 KM = = 1932 KM	[(27 m × 15) × 1,102] × 4,20 KM = 1874,5 KM	6290,5 KM (233 KM)
<i>A₅ = 32 m</i>			
12,8 m ³ × 230 KM = = 2944 KM	(53 kg × 32 m) × 1,35 KM = = 2289,6 KM	[(32 m × 21) × 1,102] × 4,20 KM = 3110,3 KM	8344 KM (260,8 KM)

Tabela 33 - Proizvodne cijene za nosače I-140

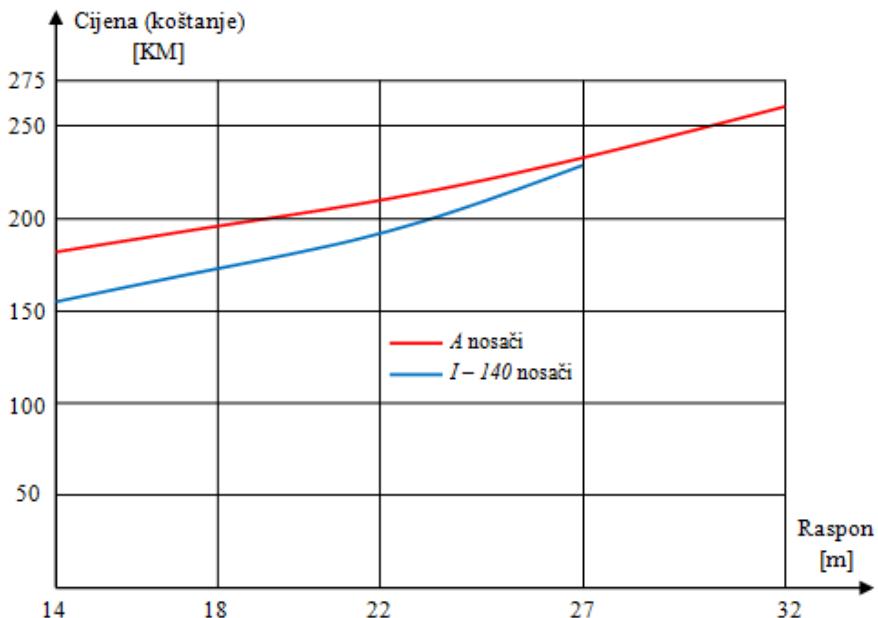
I - 140 nosači			
MB 50 (C 40/50), B 500B, Dywidag 1670/1860			
BETON:	ARMATURNI ČELIK:	KABLOVI ZA PREDNAPREZANJE:	UKUPNA PROIZVODNA CIJENA ELEMENTA:
Betoniranje I - 140 nosača sa betonom MB 50. U cijenu je uključena nabavka, prijevoz, ugradnja u kalup i njega svježeg betona. Jedinična cijena je: 215 KM/m ³	Nabavka, sječenje, savijanje, vezivanje i postavljanje šipkaste armature B 500B. Jedinična cijena je: 1,35 KM/kg.	Nabavka, postavljanje u kalup i zatezanje presom kablova 1670/1860 tipa Dywidag. Jedinična cijena je: 4,20 KM/kg. Težina kablova je: 1,102 kg/m ³ .	(Bez prijevoza i montaže gotovog elementa, bez PDV-a)
<i>I₁ = 14 m</i>			
4,62 m ³ × 215 KM = = 993,3 KM	(45 kg × 14 m) × 1,35 KM = 850,5 KM	[(14 m × 5) × 1,102] × 4,20 KM = 324 KM	2167,8 KM (155 KM)
<i>I₂ = 18 m</i>			
5,94 m ³ × 215 KM = = 1277,1 KM	(45 kg × 18 m) × 1,35 KM = 1093,5 KM	[(18 m × 9) × 1,102] × 4,20 KM 749,8 KM	3120,4 KM (173 KM)
<i>I₃ = 22 m</i>			
7,26 m ³ × 215 KM = = 1561 KM	(45 kg × 22 m) × 1,35 KM = 1336,5 KM	[(22 m × 13) × 1,102] × 4,20 KM 1323,7 KM	4221,2 KM (192 KM)
<i>I₄ = 27 m</i>			
8,91 m ³ × 215 KM = = 1915,7 KM	(45 kg × 27 m) × 1,35 KM = 1640,25 KM	[(27 m × 21) × 1,102] × 4,20 KM 2624,3 KM	6180 KM (229 KM)

Poređenje proizvodnih cijena za pojedine A i I - 140 nosače predstavljena je u obliku dijagrama na *Slici 40*.



Slika 40 - Poređenje proizvodnih cijena za A i I-140 krovne nosače

Na Slici 41 predstavljen je dijagramski prikaz cijene koštanja pojedinih A i I-140 nosača po jednom metru dužnom (m') nosača. Ove cijene su u Tabelama 32 i 33 navedene u zagradama, a dobiju se kada se cijena elementa podijeli sa rasponom istog elementa.



Slika 41 - Poređenje proizvodnih cijena po jednom metru dužnom (m') za A i I-140 krovne nosače

Kao što je očekivano cijena se kod oba nosača povećava sa povećanjem raspona, jer je za veće raspone potrebna i veća količina betona i čelika. Cijena A nosača za pojedine raspone tek je neznatno veća od cijene $I - 140$ nosača za iste raspone (*Slika 40*). To je zbog toga što $I - 140$ nosač ima manju visinu presjeka, a što se nadoknađuje većim brojem kablova i većom količinom armaturnog čelika nego kod A nosača.

Što se tiče cijena koštanja $I - 140$ nosač je optimalan, ali samo za hale raspona do $L = 27$ m. Za hale većih raspona optimalan je A krovni nosač, čija se cijena po metru dužnom ne razlikuje mnogo od cijene $I - 140$ nosača (*Slika 41*). Zbog toga se A nosač može koristiti i kod hala do $L = 27$ m umjesto $I - 140$ nosača. Ovo vrijedi samo ukoliko hala nije velika, odnosno ako nije potreban velik broj $I - 140$ nosača. Ako se gradi velika hala, kao npr. tržni centar, gdje je potreban veliki broj $I - 140$ nosača, te ako je poduzni razmak glavnih nosača do $L = 27$ m, tada bi se primjenom A nosača (umjesto $I - 140$) pričinili određeni ekonomski gubici.

ZAKLJUČAK

Montažne hale su konstrukcije čiji se elementi prethodno izrađuju u tvornicama, a zatim se na gradilištu montiraju u projektovanu konstrukciju. Postoji velik broj kompanija koje se bave projektovanjem montažnih hala. U ovoj studiji izvršena je optimalizacija raspona glavnih krovnih montažnih A i $I - 140$ nosača, kod kojih je korišteno adhezionalno prednaprezanje. Ovi nosači su proračunati uz varijaciju raspona i za svaki pojedini raspon praćen je tok promjene naprezanja u betonu, armaturnom čeliku i kablovima za prednaprezanje, te stanje pukotina i progiba.

Na osnovu provedenog proračuna, te pomoću prezentiranih dijagrama, koji opisuju ponašanje nosača u graničnom stanju upotrebljivosti, mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- Provedeni proračun A i $I - 140$ nosača uz varijaciju raspona, te istom količinom kablova za sve pojedine raspone, predstavlja doprinos poznavanju stvarnog ponašanja prednapregnutih krovnih nosača. Rezultati koji su dobiveni proračunom mogu poslužiti za verifikaciju budućih numeričkih modela simulacije ponašanja prednapregnutih nosača, opterećenih jednolikim ili koncentričnim djelovanjima;
- Ponašanje oba nosača u graničnom stanju upotrebljivosti značajno ovisi od raspona samih elemenata. Kako se raspon povećava, prirast napona u betonu i čeliku, te prirast pukotina i progiba postaje sve nelinearniji;
- Mehanizam ponašanja oba krovna nosača se svodi na slijedeće objašnjenje. Djelovanja pri kojem nastupaju dekompresija, prva pukotina i moment loma se smanjuju kako se raspon povećava. Do pojave prve pukotine, svi se nosači ponašaju linearno elastično. Prirast naprezanja u betonu i čeliku kao i prirast progiba je linearan, te u ovom području vrijedi Hukov zakon, da je naprezanje u čeliku proporcionalno opterećenju. Daljim prirastom djelovanja (nakon pojave prve pukotine), dolazi do blage nelinearnosti naprezanja u betonu, čeliku i progibima. Kako se djelovanje dalje povećava, dolazi do početka tečenja armature, a prirast naprezanja u betonu, armaturi i progibima postaje nelinearniji. Sa dalnjim porastom djelovanja, dolazi do izrazite nelinearnosti naprezanja u betonu, čeliku i progibima, te tečenja armaturnog čelika i kablova za prednaprezanje. Čelik i beton se počinju iskorištavati. Dalnjim porastom djelovanja dolazi do potpunog iskorištenja čelika i betona;
- Najveći raspon pri kojem su zadovoljeni svi kriteriji optimalnosti je $L = 32$ m (A nosač) i $L = 27$ m ($I - 140$ nosač), odnosno ovo su maksimalni

rasponi koji se mogu savladati nosačima koji su obrađeni u ovoj studiji. Pri ovim rasponima, naponi u betonu i čeliku, te pukotine i progibi su u krajnjim dozvoljenim granicama. Najveće dozvoljeno opterećenje za A nosač pri rasponu od $L = 32$ m je $E_{d,Rk} = 51,4 \text{ kN/m}'$, a za $I - 140$ nosač $E_{d,Rk} = 47,75 \text{ kN/m}'$ pri rasponu od $L = 27$ m. Takođe je veoma važno istaći, da se ovakvi i slični nosači u tvornicama montažnih elemenata proizvode do određenog raspona, jer je kompletan proizvodni proces (kalupi, oprema, troškovi, radna snaga) prilagođen za proizvodnju nosača do tog raspona;

- Na prikazanim dijagramima koji opisuju ponašanje nosača se može primijetiti da je sila prednaprezanja prevelika za raspone koji su manji od $A_5 = 32$ m i $I_4 = 27$ m, a nedovoljna da se savladaju još veći rasponi. Stoga je određen i optimalni broj kablova za sve pojedine varijacije raspona. Ugradnjom optimalnog broja kablova, dijagram za bilo koji raspon bi bio isti, kao dijagram za nosače A_5 i I_4 (optimalni nosači). Ovo praktično znači da optimalni nosači mogu biti svi od $L = 14 - 32$ m (A nosač) i $L = 14 - 27$ m ($I - 140$ nosač);
- Takođe je veoma važno istaći sljedeće. Za savladavanje raspona A nosača $L = 35$ m, uz iste dimenzije presjeka, bilo bi potrebno 27 kablova za prednaprezanje. Kod $I - 140$ nosača, za savladavanje raspona $L = 32$ m i $L = 35$ m uz iste dimenzije presjeka, bilo bi potrebno 33 kabla, odnosno 44 kabla za prednaprezanje. Pošto u donjoj zoni nema dovoljno prostora da se ugradi spomenuti broj kablova, potrebno je povećati širinu donje zone, što se posebno odnosi na $I - 140$ nosač kod kojeg se mora povećati visina presjeka, širina rebra, te klasa čvrstoće betona. Povećanjem dimenzija poprečnog presjeka i klase betona, bio bi potreban i manji broj kablova. Kod raspona $L = 14 - 32$ m (A nosač) i $L = 14 - 27$ m ($I - 140$ nosač) nije potrebno mijenjati dimenzije poprečnog presjeka elementa;
- Proizvodna cijena koštanja A nosača nije mnogo veća od cijene $I - 140$ nosača, iako I nosač ima manju površinu poprečnog presjeka. Manja visina presjeka se nadoknađuje većom količinom armaturnog čelika i većim brojem kablova. Stoga se ekonomski uštide mogu ostvariti samo kod velikih hala raspona do $L = 27$ m uz primjenu $I - 140$ nosača.

Na osnovu proračuna i razmatranja varijantnih rješenja u ovoj studiji dolazi se do slijedećih bitnih zaključaka za optimalna projektna rješenja prednapregnutih betonskih montažnih hala:

Optimalizacija sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti pri najvećem mogućem rasponu

- Sa aspekta pukotina optimalna rješenja su A nosač raspona $L = 32$ m (A_5 nosač) i $I - 140$ nosač raspona $L = 27$ m (I_4 nosač). Kod A nosača prva pukotina nastupa pri većem rasponu i dejstvu, nego kod $I - 140$ nosača, pa su za hale velikih raspona optimalna rješenja sa A glavnim krovnim nosačima;
- Sa aspekta progiba optimalna rješenja su nosači $A_5 = 32$ m i $I_4 = 27$ m. Prema EC2, ukupni progib ovih nosača za kvazistalnu kombinaciju djelovanja je ispod dozvoljene vrijednosti, tako da su konstrukcije osigurane od prevelikog progiba;
- Sa aspekta naprezanja u betonu i čeliku, optimalana rješenja su A nosač raspona $L = 32$ m (A_5 nosač) i $I - 140$ nosač raspona $L = 27$ m (I_4 nosač). Kod ovih nosača, beton i čelik (armaturni i prednapregnuti) su znatno iskorišteni pri navedenim rasponima, ali su i dalje u dozvoljenim vrijednostima. Iako su naponi u betonu i čeliku dobro iskorišteni kod oba nosača, ipak je sa A nosačima postignut veći raspon, tako da se i u ovom slučaju preferiraju hale sa A nosačima;
- Ugrađivanjem optimalnog broja kablova i dovođenjem sile prednapreza na potrebnu mjeru, svi rasponi koji su manji od $L = 32$ m (A nosač) i $L = 27$ m ($I - 140$ nosač) takođe mogu biti optimalni, zavisno od potrebnog raspona hale.

Optimalizacija sa aspekta minimuma težine ili zapremine

- Ukoliko je cilj da krovna konstrukcija ima malu težinu povoljnije su hale sa $I - 140$ nosačima (projektno rješenje 2). $I - 140$ nosači sa krovnim SN gredicama imaju manju težinu od A nosača i Π ploča.

Optimalizacija sa aspekta cijene koštanja, izrade i eksploatacije

- U ovom slučaju optimalna je hala sa $I - 140$ krovnim nosačima (projektno rješenje 2), ali za velike hale raspona do $L = 27$ m. Zbog manje zapremine (volumena) $I - 140$ nosača i krovnih gredica, manji je utrošak materijala, pa je u ovom slučaju i cijena konstrukcije nešto manja u odnosu na hale sa A nosačima.

LITERATURA

- [1] Allen A. H, 1978. "An Introduction to Prestressed Concrete", Cement and concrete association, USA;
- [2] Beganović M, 2007. „Betonske konstrukcije I“, Građevinski fakultet Univerziteta u Bihaću, Bihać, Bosna i Hercegovina;
- [3] Beganović M, „Betonske konstrukcije II“, Građevinski fakultet Univerziteta u Bihaću, Bihać, Bosna i Hercegovina;
- [4] Beganović M, 2007. „Montažne konstrukcije“, Građevinski fakultet Univerziteta u Bihaću, Bihać, Bosna i Hercegovina;
- [5] Beganović M, 2007. „Osnove mehanike loma betona“, Grafičar, Bihać, Bosna i Hercegovina;
- [6] Beganović M, „Složeni konstruktivni sistemi“, Građevinski fakultet Univerziteta u Bihaću, Bihać, Bosna i Hercegovina;
- [7] Beganović M, 2006. „Teorija i tehnologija betona“, Grafičar" Bihać, Bosna i Hercegovina;
- [8] Bijen J, 2003. "Durability of Engineering Structures – Design, Repair and Maintenance", I edition, Woodhead Publishing;
- [9] Bišćević I, 1998. „Ekonomika u tržišno poduzetničkim uslovima poslovanja“, Univerzitet u Bihaću – Viša ekomska škola Bihać, Bihać, Bosna i Hercegovina;
- [10] Bull W. J. & C. W. Yu, 2006. "Durability of Materials and Structures in Building and Civil Engineering", Whittles Publishing, Dunbeath – Caithness;
- [11] Chanakya A, 2009. "Design of Structural Elements – Concrete, Steelwork, Masonry and Timber Design to British Standards and Eurocodes", Third edition, Taylor and Francis e–Library, Abingdon Oxon;
- [12] Džidić S: 2015. „Otpornost betonskih konstrukcija na požar“, Internacionali BURCH Univerzitet Sarajevo, Sarajevo, Bosna i Hercegovina, ISBN 978-9958-834-47-9; COBISS.BH-ID 22444550;
- [13] Erić M & H. Erić, 1975. „Tehničar 2 – Građevinski priručnik“, VII izdanje, "Građevinska knjiga" Beograd, Beograd;
- [14] Hadžić R, 2003. „ Graditeljska mehanizacija“, Edicija građenje, Izdavač autor, Sarajevo, Bosna i Hercegovina;

- [15] Hadžić R, 2004., „Reprezentativne metode i tehnologije za građenje“, Edicija građenje, Izdavač autor, Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [16] Hasanović V, „Proračun armiranobetonskih konstrukcija – Eurocode 2“, Građevinski fakultet, Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [17] Karabegović I, 2004, „Statika“, III izdanje, Tehnički fakultet Univerziteta u Bihaću, Bihać, Bosna i Hercegovina;
- [18] Karačić T. & Živaljević LJ, 1983. „Statika građevinskih kosntrukcija“, III adaptirano izdanje, "Svetlost" OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo;
- [19] Katalog BG, Katalog "BOSING" Gradačac (armirano–betonski montažni sistem);
- [20] Okugić H, Džidić S, 2016, „Optimalizacija projektnih rješenja glavnih vezača tipa “A” kod prednapregnutih betonskih montažnih hala sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti prema EC2“, Proceedings of the 11th Scientific Research Symposium with International Participation "Metallic and Nonmetallic Materials: production-properties-application", Zenica, Bosnia and Herzegovina, April 21-22, 2016 (Zbornik radova, Proceedings COBISS.BH-ID 22950406);
- [21] Okugić H, Džidić S, 2016. „Optimalizacija projektnih rješenja prednapregnutih betonskih montažnih hala sa glavnim nosačima “Tipa I” prema Eurocode 2 sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti“, Proceedings of the 3rd International Scientific Meeting: State and Trends of Civil and Environmental Engineering – EGTZ 2016, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, June 2-4, 2016, pp 291-298, ISBN 978-9958-628-18-4, COBISS.BH-ID 23035142;
- [22] Radić J. & suradnici, 2006, „Betonske konstrukcije – Priručnik“, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, Hrvatska;
- [23] Radić, J, 2010. „Trajanost konstrukcija“, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, Hrvatska;
- [24] Rex S, 1983. „Industrijski način građenja - II dio - Montažno građenje“, Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb;
- [25] Selimović M, 2000. „Mehanika tla i temeljenje (Dio I: Mehanika tla)“, II izdanje, Građevinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić" u Mostaru: Univerzitetsko–sportsko–rekreacioni centar, Mostar, Bosna i Hercegovina;

- [26] Selimović M, 2000. „Mehanika tla i temeljenje (Dio II: Temeljenje)“, II izdanje, Građevinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić" u Mostaru: Univerzitetsko–sportsko–rekreacioni centar, Mostar, Bosna i Hercegovina;
- [27] Tomićić I, „Betonske konstrukcije“, III izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Društvo hrvatskih građevinskih konstruktora Zagreb, Zagreb, Hrvatska;

PROPIŠI I STANDARDI

- [28] BAS EN 1992-1-1:2017 Evrokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [29] Pravilnik o tehničkim propisima za građevinske proizvode koji se ugrađuju u betonske konstrukcije, Sl. Novine FBiH, br. 86, 2008;

INTERNET IZVORI

- [30] AP, DE, „Arhitektonsko projektovanje i dizajn enterijera“, www.redizajn-studio.blogspot.com/
- [31] Bešević M. T. & Tešanović A, 2012. „Optimalno projektovanje čeličnih konstrukcija skladišta sa aspekta utroška čelika“, Zbornik radova 21, 2012; www.gf.uns.ac.rs/~zbornik/doc/ZR21.09.pdf;
- [32] BH, „Betonske hale – lučni nosilci“, Dostupno na internet stranici: <http://www.gradbenistvo-glogovic.si/betonske-hale-lojni-gama-nosilci>;
- [33] BMO – hale, „Betonski montažni objekti (Hale)“ www.webgradnja.hr/images/specifikacije/1108/4.gif;
- [34] CFB, “Concrete Frame Buildings“, www.shaymurtagh.co.uk/wp-content/gallery/frame-buildings/smyth-hardware1.jpg;
- [35] Dwairi H, 2014. “Lecture 2.1 – Methods of Prestressing” – Presentation, The Hashemite University, Department of Civil Engineering, <http://pdf.thepdfportal.net/PDFFiles/292537.pdf>;
- [36] Grupex-mont, „Proizvodi i usluge GRUPEX-MONT Velika Kladuša“ <http://grupex.ba/product/product-name-9/>;
- [37] Gukov I, 2007. „Prednapeti beton – Predavanja“, Zagreb, www.grad.hr/gukov/pdf/prednapeti-beton.pdf;

- [38] Harapin A, „Dimenzioniranje betonskih konstrukcija prema TPBK (EC2) – Predavanja, Građevinsko–arhitektonski fakultet sveučilišta u Splitu, Split, <http://gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Betonske%20konstrukcije/Alen/Dimenzioniranje%20prema%20TPBK%20%28EC2%29.pdf>;
- [39] Herak – Marović V, 2006/07, Osnove prednapetih konstrukcija – Predavanja“, (Kolegij: Betonske konstrukcije II), <http://gradst.unist.hr/Portals/9/PropertyAgent/1167/Files/3929/13-BK2-Prednapete%20konstrukcije.pdf>;
- [40] Jokanović O. & Hadžović R, „Skraćena predavanja – Teorija konstrukcija I“, Univerzitet "Džemal Bijedić", Građevinski fakultet, Mostar; www.gf.unmo.ba/systems/file_download.ashx?pg=452&ver=2;
- [41] Katalog PI, Katalog PUT INŽENJERING (armirano–betonski montažni sistem), www.putinzenjering.com;
- [42] Markić R, Radnić J, Harapin A, Grgić N, 2012. „Eksperimentalna istraživanja prednapetih krovnih nosača“ http://www.gfmo.ba/e-zbornik/e_zbornik_04_04.pdf;
- [43] Primjer PPN, „Prednapeti beton (Primjer: prethodno prednapinjanje)“ http://www.grad.hr/mostovi/files/prednapeti/Vjezbe/primjer_prethodno%20prednapinjanje.pdf;
- [44] Sengupta K. A. & Menon D, 2012. “Prestresses Concrete Structures”, Presentation, Indian institute of Technology, http://nptel.ac.in/courses/IIT-MADRAS/PreStressed_Concrete_Structures/pdf/1_Introduction/1.4_Post-tensioning_Systems.pdf;
- [45] Burnaby, B. C, SRC, “Supermarket Roof Collapse, Canada, www.failures.wikispaces.com/SaveOnFoods,+Station+Square,+Burnaby,+BC
- [46] Varevac D, 2015. „Izvedba i oblikovanje konstrukcija II“, Prezentacija http://www.gfos.unios.hr/portal/images/stories/studij/specijalisticki-diplomski-strucni-studij/izvedba-i-oblikovanje-konstrukcija-ii/1_IOK2_Trajnost.pdf;
- [47] WiseGEEK, “Clear Answers for Common Questions” (What is prestressed concrete), www.wisegeek.com/what-is-prestressed-concrete.htm

STUDIJA 3

PRIMJENA CPR 305/2011 NA BETONSKE PREFABRIKOVANE ELEMENTE

Emir Bajramović

Sanin Džidić

POPIS SLIKA

<i>Slika 1 - Zahtjevi za izvoz proizvoda [19]</i>	200
<i>Slika 2 - Zakonski akti EU [19]</i>	201
<i>Slika 3 - Izgled CE oznake [30]</i>	204
<i>Slika 4 - Koraci do CE znaka [32]</i>	206
<i>Slika 5 - Osnovne karakteristike Starog, Novog i Globalnog pristupa [19]</i>	207
<i>Slika 6 - Moduli za CE označavanje [28]</i>	209
<i>Slika 7 - Veza između modula i ISO 9001 [19]</i>	211
<i>Slika 8 - Veza modula E, D, H sa ISO 9001 [19]</i>	212
<i>Slika 9 - Kontekst organizacije [20]</i>	218
<i>Slika 10 - Skrivene opasnosti u izboru konsultanta [11]</i>	224
<i>Slika 11 - Temeljne stope sa čašicom [18]</i>	228
<i>Slika 12 - Oblik i dimenzije temeljnih greda [18]</i>	229
<i>Slika 13 - Oblik i dimenzije armiranobetonskih stubova sa proširenom glavom [18]</i>	229
<i>Slika 14 - Oblik i dimenzije armiranobetonskih stubova sa običnom glavom [18]</i> ..	230
<i>Slika 15 - Oblik i dimenzije montažnih nosača [18]</i>	230
<i>Slika 16 - Oblik i dimenzije TL nosača [18]</i>	231
<i>Slika 17 - Oblik i dimenzije TU nosača [18]</i>	231
<i>Slika 18 - Oblik i dimenzije krovnih T nosača [18]</i>	232
<i>Slika 19 - Oblik i dimenzije sekundarnih nosača [18]</i>	232
<i>Slika 20 - Oblik i dimenzije krovnih TA nosača [18]</i>	233
<i>Slika 21 - Oblik i dimenzije međuspratnih π ploče [18]</i>	233
<i>Slika 22 - Oblik i dimenzije međuspratnih omnia ploča [18]</i>	234
<i>Slika 23 - Proizvodnja armiranobetonskog stuba</i>	237
<i>Slika 24 - Službeni list Evropske unije [18]</i>	239
<i>Slika 25 - Lista harmoniziranih standarda [28]</i>	239
<i>Slika 26 - Procedura ocjenivanja usklađenosti</i>	240
<i>Slika 27 - Lista notificiranih tijela za građevinske proizvode [28]</i>	247
<i>Slika 28 - Primjer EC deklaracije [27]</i>	248
<i>Slika 29 - Primjer pojednostavljene CE oznake [23]</i>	249
<i>Slika 30 - Primjer CE oznake prema metodi 1, za stubove [23]</i>	250
<i>Slika 31 - Primjer CE oznake prema metodi 1, za grede [23]</i>	251

POPIS TABELA

<i>Tabela 1 - Lista direktiva [17, 29]</i>	202
<i>Tabela 2 - Lista direktiva za koje nije potrebno CE označavanje [17, 29]</i>	203
<i>Tabela 3 - CE oznaka [19]</i>	205
<i>Tabela 4 - Sadržaj standarda ISO 9001:2015 [26]</i>	217
<i>Tabela 5 - Primjeri zainteresiranih strana i njihovih potreba i očekivanja</i>	219
<i>Tabela 6 - Tok procesa proizvodnje armiranobetonskih montažnih elemenata [23].....</i>	235
<i>Tabela 7 - Tok procesa proizvodnje prednapregnutih montažnih elemenata [23].....</i>	236
<i>Tabela 8 - Relevantne odredbe za linearne elemente (ZA1)</i>	241
<i>Tabela 9 - Sistem za atestaciju i verifikaciju stalnosti svojstava [5].....</i>	242
<i>Tabela 10 - Sistem atestiranja usklađenosti (ZA 2).....</i>	242
<i>Tabela 11 - Raspodjela zadataka ocjenjivanja usklađenosti za linijske konstrukcijske elemente u sistemu 2+ (ZA 3) [23].....</i>	243
<i>Tabela 12 - Inspekcija/kontrola opreme (D1)</i>	245

UVOD

Slobodan protok proizvoda je jedan od temelja jedinstvenog tržišta Evropske Unije. Da bi se proizvod iz Bosne i Hercegovine mogao izvesti u zemlje članice Evropske Unije, proizvod treba da zadovolji neke od sljedećih uslova:

- funkcionalnost,
- izgled (atraktivnost),
- povoljna cijena,
- rok isporuke,
- neophodni kvalitet za tu kategoriju proizvoda i
- djelotvoran marketing.

U tržišnoj ekonomiji ovi uslovi nisu zakonski obavezujući, ali ih ipak većina preduzeća mora ispuniti da bi osigurala svoj dio tržišta. Prilikom izvoza proizvođači moraju imati na umu da proizvod mora zadovoljiti zakonske zahtjeve koji su na snazi u zemlji uvoznika. Zakonski zahtjevi su uvijek u vezi sa sigurnom upotrebom proizvoda, odnosno sa eliminiranjem ili svođenjem potencijalnih opasnosti na propisani dozvoljeni nivo.

Prepreke koje bi mogle da nastanu zbog raznolikosti nacionalnih propisa regulisane su 1985. godine, usvajanjem Novog pristupa tehničkoj harmonizaciji i standardizaciji, koji sadržaj direktiva ograničava na definisanje bitnih zahtjeva koje proizvodi moraju da zadovolje da bi se našli na tržištu EU, a tehničke specifikacije proizvoda date su u usklađenim standardima.

Bitni zahtjevi tiču se zaštite zdravlja, bezbjednosti, zaštite potrošača i zaštite životne sredine. Svaka zemlja članica je zadržala pravo da postavi i dodatne uslove za plasman proizvoda na svoje tržište, ali takvih primjera je malo i tiču se uglavnom tradicije ili geografske specifičnosti.

Veliki broj proizvoda široke potrošnje i industrijskih proizvoda koji su obuhvaćeni direktivama Novog pristupa, moraju da imaju CE znak. Njime proizvođač garantuje da proizvod ispunjava sve zahtjeve date u direktivama koje se odnose na taj proizvod i da je obavljena procedura ocjenjivanja usaglašenosti.

Ova studija se bavi isključivo regulatornim zahtjevima koje proizvod mora zadovoljiti da bi se plasirao na tržište Evropske unije. U ovom slučaju radi se o prefabrikovanim betonskim elementima, odnosno linijskim elementima konstrukcije.

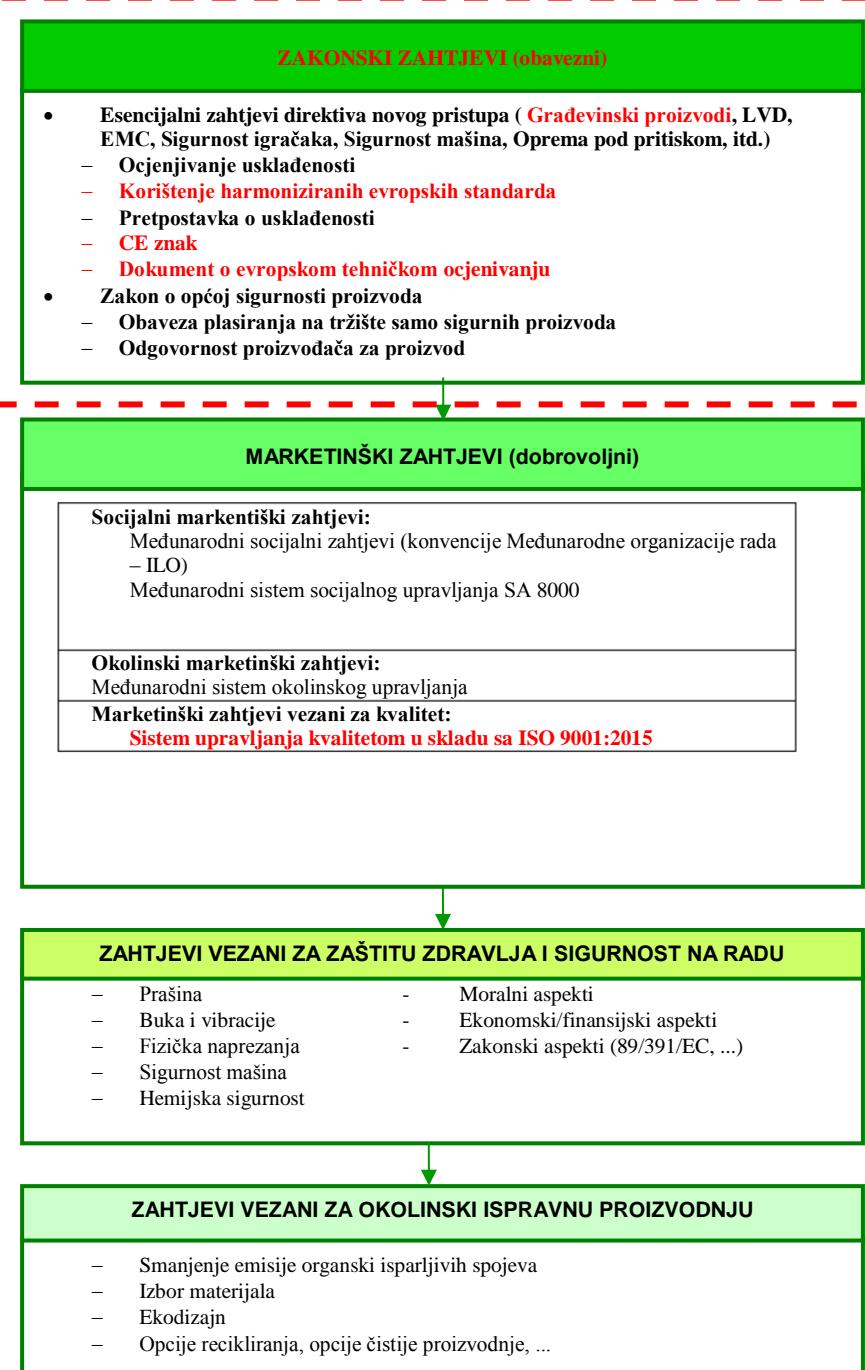
CE OZNAKA - PASOŠ ZA GRAĐEVINSKE PROIZVODE

Proizvodnja za strana tržišta pored očiglednih ekonomskih efekata može imati i svoju drugu stranu. Za dizajniranje proizvoda prema stranim standardima i specifikacijama, neophodno je stručno osoblje u proizvodnji. Isto tako, za proizvodnju prema stranim specifikacijama mogu biti neizbjegne promjene u proizvodnom procesu, pa proizvodni troškovi po jedinici proizvoda mogu biti viši kao rezultat tih promjena (nove mašine, novo osoblje).

Najčešće greške koje mogu napraviti kompanije pri izlasku na inostrano tržište su:

- neangažiranje kompetentnih savjetnika za izvoz (nemogućnost razumijevanja potreba tržišta),
- izostanak međunarodnog marketinškog plana (nemogućnost fokusiranja na najbolji način opsluživanja novih tržišta),
- nedovoljna opredijeljenost najvišeg rukovodstva za prevazilaženje početnih poteškoća i finansijskih zahtjeva,
- nedovoljna pažnja pri odabiru agenata i distributera,
- zanemarivanje izvoza u situacijama zadovoljavajućeg plasmana na domaćem tržištu,
- neravnopravan tretman domaćih i inostranih kupaca,
- nerazumijevanje ili nepoštovanje stranih kulturnih razlika u vezi sa poslovnim običajima i upotrebom proizvoda,
- nespremnost za modificiranje proizvoda u cilju zadovoljavanja propisa ili kulturnih sklonosti u drugim zemljama,
- nerazmatranje angažiranja neke izvozne kompanije ili drugog marketinškog posrednika koji dobro poznaje strane distributivne kanale,
- nerazmatranje licenciranja ili aranžmana zajedničkog ulaganja (joint-venture). [19]

Zahjevi koje bi izvoznici trebali zadovoljiti prikazani su na slijedećem dijagramu toka:



Slika 2 - Zahtjevi za izvoz proizvoda [19]

Fokus se u ovoj studiji stavlja na zakonske zahtjeve koji se odnose na izvoz građevinskih proizvoda na tržište EU.

Primarni zakonski akti EU čine osnivački ugovori koji postavljaju zakonski okvir i obuhvataju osnovne odredbe, kao što su organizacija i ciljevi EU. Na sljedećoj slici dat je šematski prikaz zakonskih akata EU.



Slika 3 - Zakonski akti EU [19]

Sekundarni zakonski akti EU imaju sljedeće oblike:

- ✓ Regulative (Uredbe) su direktno primjenjive u svim zemljama članicama EU i ne zahtijevaju posebne mјere za implementiranje na nacionalnom nivou. Ovi zakonski akti omogućavaju institucijama EU najveći uticaj na pravni sistem zemalja članica. Smatraju se sredstvima za unificiranje zakona, pošto su u cijelosti obavezujući u svim državama članicama;
- ✓ Direktive se smatraju sredstvima za harmonizaciju zakona država članica (eliminiraju kontradikcije između nacionalnih zakona). Nisu direktno primjenjive i zahtijevaju donošenje mјera za implementaciju na nacionalnom nivou. Obavezujuće su u pogledu ciljeva koje trebaju postići i nadležnim tijelima ostavljaju određen stepen slobode po pitanju inkorporiranja ciljeva u okviru nacionalnog pravnog sistema. Smatraju se najvažnijim zakonskim instrumentom za uspostavu i jačanje unutrašnjeg tržišta EU;
- ✓ Odluke su obavezujuće u cijelosti za one kojima su upućene. Mogu biti upućene jednoj ili svim državama članicama, privrednim subjektima i pojedincima;

- ✓ Preporuke i mišljenja su neobavezujući deklarativni instrumenti putem kojih institucije EU izražavaju svoja stajališta državama članicama, a nekada i pojedincima. [6, 19]

Direktive predstavljaju jedan od najefikasnijih/najfleksibilnijih elemenata sekundarnog zakonodavstva Evropske Unije, jer propisuju cilj koji je potrebno postići, a svaka država članica može izabrati način na koji će zakonski obezbjediti postizanje zacrtanog cilja direktive.

U tabeli ispod navedena je lista direktiva Novog pristupa za koje je potrebno CE označavanje i u legislative EU kojom je obuhvaćeno sljedeće:

Tabela 1 - Lista direktiva [17, 29]

Red. br.	Oznaka	Naziv direktive
1.	2009/48/EU	Toy Safety – Sigurnost igračaka
2.	305/2011	Construction products - Regulation (EU)-Regulativa o gradevinskim proizvodima
3.	2013/29/EU	Pyrotechnic Articles - Pirotehnička sredstva
4.	2013/53/EU	Recreational craft and personal watercraft – Plovila za rekreaciju
5.	2014/28/EU	Civil Explosives – Eksplozivi za civilnu namjenu
6.	2014/29/EU	Simple Pressure Vessels – Jednostavne posude pod pritiskom
7.	2014/30/EU	Electromagnetic Compatibility - Elektromagnetska kompatibilnost
8.	2014/31/EU	Non-automatic Weighing Instruments – Neautomatske vase
9.	2014/32/EU	Measuring Instruments – Mjerni instrumenti
10.	2014/33/EU	Lifts – Liftovi
11.	2014/34/EU	ATEX – Oprema i sistemi namjeni za rad u potencijalno eksplozivnim atmosferama
12.	2014/53/EU	Radio equipment – Radio oprema
13.	2014/35/EU	Low Voltage – Nisko naponska oprema
14.	2014/68/EU	Pressure equipment – Oprema pod pritiskom

15.	(EU) 2016/424	Cableway installations – Regulativa za žičare za prevoz osoba
16.	(EU) 2016/425	Personal protective equipment – Regulativa - Lična zaštitna oprema
17.	(EU) 2016/426	Gas appliances – Regulativa - Gasni uređaji
18.	93/42/EEC	Medical devices (MDD) – Medicinska sredstva
19.	90/385/EEC	Medical devices: active implantable – Medicinska sredstva: Aktivna implatabilna medicinska sredstva
20.	98/79/EC	Medical devices: in vitro diagnostic - Medicinska sredstva za in vitro dijagnostiku
21.	92/42/EEC	Heat water boilers - Vrelovodni kotlovi

U narednoj tabeli je dat je prikaz direktiva za koje nije potrebno CE označavanje.

Tabela 1 - Lista direktiva za koje nije potrebno CE označavanje [17, 29]

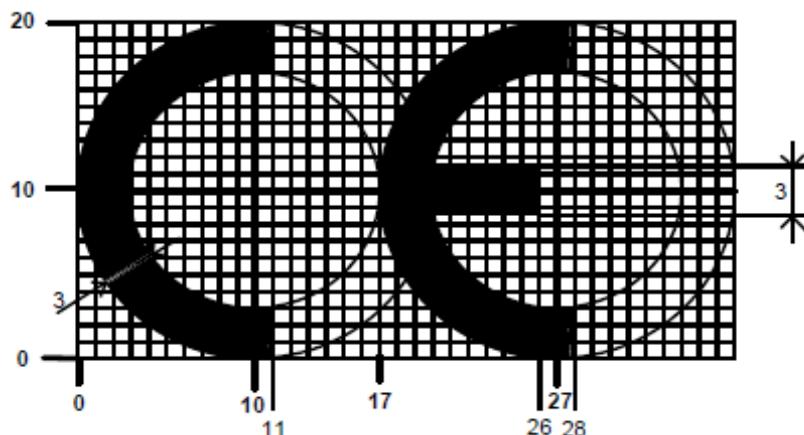
Red. br.	Oznaka	Naziv direktive
22.	2008/48/EC	Interoperability of both the Trans-European high-speed rail network and the Trans - European conventional rail network - Interoperabilnost transsevropskih željezničkih sistema velikih brzina i konvencionalnog sistema želježnica
23.	2014/90/EC	Marine equipment - Pomorska oprema
24.	2000/55/EC	Energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting – Zahtjevi za energetsku efikasnost balasta fluoroscentnog osvjetljenja
25.	1996/57/EC	Energy efficiency requirements for household electric refrigerators, freezers and combinations thereof - Zahtjevi za energetsku efikasnost kućanskih električnih frižidera, zamrzivača i njihovih kombinacija
26.	2000/14/EC	Noise emission in the environment by equipment for use outdoors – Emisija buke u okruženju uzrokovane opremom za korištenje na otvorenom prostoru
27.	2010/35/EU	Transportable pressure equipment – Prenosiva oprema pod pritiskom

CE oznaka (francuski: Conformite Europeenne-europske sukladnosti) nije oznaka kvaliteta, nego označava da je proizvod siguran za upotrebu, ako se koristi na predviđeni način. Oznaka potvrđuje da proizvod ispunjava bitne zahtjeve za sigurnost potrošača, zdravlja ili zaštite okoliša.

CE oznaka predstavlja oznaku proizvođača koja ukazuje da je:

- Proizvod projektovan i proizведен u skladu sa zdravstvenim, bezbjednosnim i drugim direktivama Evropske unije koje su relevantne za taj proizvod i koje predviđaju stavljanje CE oznake na njega;
- Proizvod projektovan i proizведен u skladu sa esencijalnim zdravstvenim i sigurnosnim zahtjevima direktiva Evropske unije koje su relevantne za taj proizvod i koje predviđaju stavljanje CE oznake na njega; i
- Izvršeno odgovarajuće ocjenivanje usklađenosti. [30]

Oznaka se mora sastojati od incijala "CE" čiji je oblik opisan u odluci Vijeća 93/465/EEC ili u primjenjivoj direktivi:



Slika 4 - Izgled CE oznake [30]

CE oznaka se ne smije postavljati na proizvode koji nisu obuhvaćeni direktivama Novog pristupa. Postavljanje CE oznake se zahtijeva zakonom, ne postavlja se iz konkurenčnih razloga i moraju je postaviti svi ekonomski operatori čiji proizvodi su obuhvaćeni pomenutim direktivama.

CE oznaka:

- je obavezna za proizvode obuhvaćene direktivama Novog pristupa;
- mora je postaviti proizvođač/ovlašteni predstavnik/uvoznik;

- usmjerena je prema institucijama sistema nadzora nad tržištem;
- nije znak kvaliteta;
- nije oznaka porijekla;
- mora biti postavljena na proizvod /natpisnu pločicu/pakovanje/prateće dokumente;
- mora biti vidljiva, čitka, neizbrisiva;
- ne može se kombinirati sa oznakama kvaliteta;
- mora se postaviti nakon sastavljanja EC deklaracije o usklađenosti,
- može sadržavati identifikacijski broj notificiranog tijela (ukoliko je uključeno u proceduru ocjenjivanja usklađenosti u fazi proizvodnje). [19]

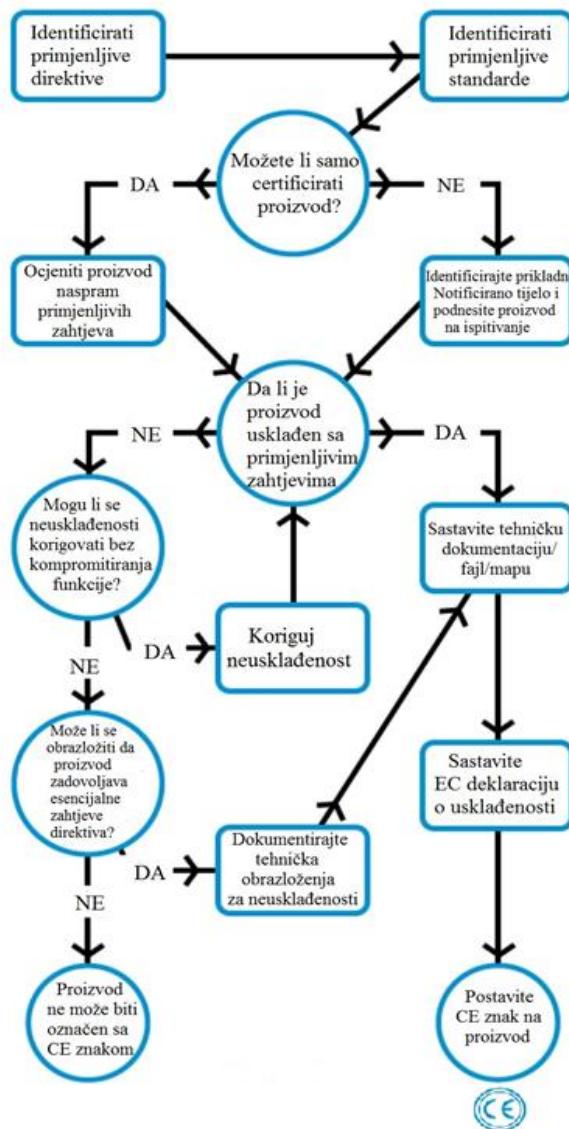
Ako je CE oznaka smanjena ili uvećana proporcije se moraju poštivati. Tamo gdje primjenjiva direktiva ne nameće specifične dimenzije, CE oznaka mora imati visinu od najmanje 5 mm. [12, 19]

Tabela 2 - CE oznaka [19]

CE oznaka se mora postaviti	CE oznaka se ne smije postaviti
<p>Kada je proizvod obuhvaćen sa jednom ili više direktiva Novog pristupa.</p> <p>Kada je proizvod usklađen sa odredbama primjenjivih direktiva Novog pristupa.</p> <p>Za proizvode kod kojih je procedura ocjenjivanja usklađenosti "samoocjenjivanje", CE oznaka se postavlja na proizvod bez intervencije treće strane. Kada postoji intervencija treće strane, proizvođač će također postaviti CE oznaku. Samo u slučajevima kada Notificirano tijelo učestvuje u kontroli faze proizvodnje, proizvođač će postaviti CE oznaku i broj notificiranog tijela koje je bilo uključeno u proceduru ocjenjivanja usklađenosti.</p>	<p>Kada proizvod nije obuhvaćen direktivama Novog pristupa.</p> <p>Kada proizvod nije usklađen sa odredbama primjenjivih direktiva.</p> <p>Prema tome ukoliko nadležni organi država članica EU i EEA utvrde da je CE oznaka pogrešno postavljena (tj. pogrešna procedura ocjenjivanja usklađenosti, problemi sa označavanjem, itd) proizvođač ili njegov ovlašteni zastupnik biće sankcionisani pod uvjetima nametnutim od strane države članice EU.</p>

Praktični koraci korišteni za usklađivanje proizvoda - prefabrikovanih betonskih proizvoda - Linijskih konstrukcijskih elemenata sa zahtjevima evropske regulative o građevinskim proizvodima CPR 305/2011 i relevantnim harmoniziranim standardima su prikazani na *Slici 4*.

KORACI DO CE OZNAKE



Slika 5 - Koraci do CE znaka [32]

Direktive "Starog pristupa" za proizvode u EU donosile su se kroz direktive na sektorskoj osnovi. Kako je svijet napredovao, direktive su se stalno morale nadopunjavati, a čitav je tehnološki napredak zahtijevao redovno i stalno prilagođavanje legislative. Ovo je dovelo do potrebe za usvajanjem nove regulatorne tehnike.

Osnovni elementi nove regulatorne tehnike nazvane "Novi pristup", a definirane u Rezoluciji vijeća iz 1985. godine, su:

- harmoniziranje legislative je ograničeno na usvajanje obaveznih *esencijalnih sigurnosnih zahtjeva* koje proizvodi moraju zadovoljiti prije plasmana na tržište EU;
- detaljne tehničke specifikacije proizvoda koji zadovoljavaju esencijalne zdravstvene i sigurnosne zahtjeve navedene u direktivama date su u *harmoniziranim standardima*;
- proizvođači mogu odabrati bilo koje tehničko rješenje koje zadovoljava esencijalne zahtjeve za proizvode usklađene sa *harmoniziranim standardima*, a prepostavlja se da zadovoljavaju odgovarajuće esencijalne zdravstvene i sigurnosne zahtjeve (*prepostavka o usklađenosti*);
- Primjena harmoniziranih ili ostalih standarda *ostaje dobrovoljna*.

Globalnim pristupom, usvojenim Rezolucijom vijeća u 1989. godini, uvodi se modularni pristup koji ocjenjivanje usklađenosti dijeli u određen broj operacija, tj. *modula*. Moduli definira zakonodavac s obzirom na tip proizvoda i uključene rizike i ovom Rezolucijom uvode se harmonizirani kriteriji za postavljanje i korištenje CE oznake. Osnovne karakteristike Starog, Novog i Globalnog pristupa sumirane su na sljedećoj slici.

Stari pristup	Novi pristup	Globalni pristup
<p>Detaljne direktive sa teh. specifikacijama (sektorski pristup)</p> <p>Nisu uzimale u obzir tehnički progres</p> <p>Potreba za redovitim prilagođavanjem legislative zbog tehničkog progrusa</p>	<p>Direktive sa navedenim esencijalnim zahtjevima</p> <p>Tehničke specifikacije date u harmoniziranim standardima</p> <p>Prepostavka o usklađenosti</p>	<p>Procedure ocjenjivanja usklađenosti</p> <p>Povjerenje kroz kompetentnost, (stručnost) i transparentnost</p>

Slika 5 - Osnovne karakteristike Starog, Novog i Globalnog pristupa [19]

Moduli se razlikuju prema fazi razvoja proizvoda (dizajn, prototip, puna proizvodnja), prema tipu uključenog ocjenjivanja (provjera dokumentacije, ispitivanju tipa, osiguranju kvaliteta) i osobama koje izvode ocjenjivanje (proizvođač ili treća strana). [1, 19]

Politika ocjenjivanja usklađenosti integrirana u Novi pristup prepoznaće da postoji nekoliko načina za demonstriranje usklađenosti, ili direktno ka esencijalnim zahtjevima ili ka harmoniziranim standardima. EU zakonodavci utvrđuju prikladne procedure ocjenjivanja usklađenosti u skladu sa mogućim rizikom i prema tome sa

zahtijevanim nivoima zaštite i povjerenja. Proizvodi obuhvaćeni direktivama Novog pristupa prije plasmana na tržište moraju biti podvrgnuti proceduri ocjenjivanja usklađenosti.

Ocenjivanje usklađenosti obuhvata:

- fazu dizajna proizvoda,
- fazu proizvodnje,
- ili obje faze.

Ove procedure moraju se slijediti da bi se postavila CE oznaka. U svim direktivama Novog pristupa dat je obim i sadržaj mogućih procedura ocjenjivanja usklađenosti. Procedure ocjenjivanja usklađenosti podijeljene su u skup od osam osnovnih modula i osam varijanti. Neki od ovih modula zahtijevaju intervenciju notificiranog tijela (vidjeti *Sliku 7*), a neki intervenciju prve strane – proizvođača. Proizvođač ima mogućnost odabira najprikladnije i najekonomičnije procedure ocjenjivanja usklađenosti između mogućnosti prezentiranih u primjenjivim direktivama s obzirom na rizike pridružene proizvodu. [19]

Moduli i varijante su sljedeći:

Modul A – Interna kontrola proizvodnje obuhvata fazu dizajna i proizvodnje i ovaj modul ne zahtjeva involviranje notificiranog tijela. Proizvođač sastavlja deklaraciju o usklađenosti (samoocjenjivanje).

Modul A1 – Interna kontrola proizvodnje + nadzirano ispitivanje proizvoda Obuhvata fazu dizajna i proizvodnje plus ispitivanja specifičnih aspekata proizvoda.

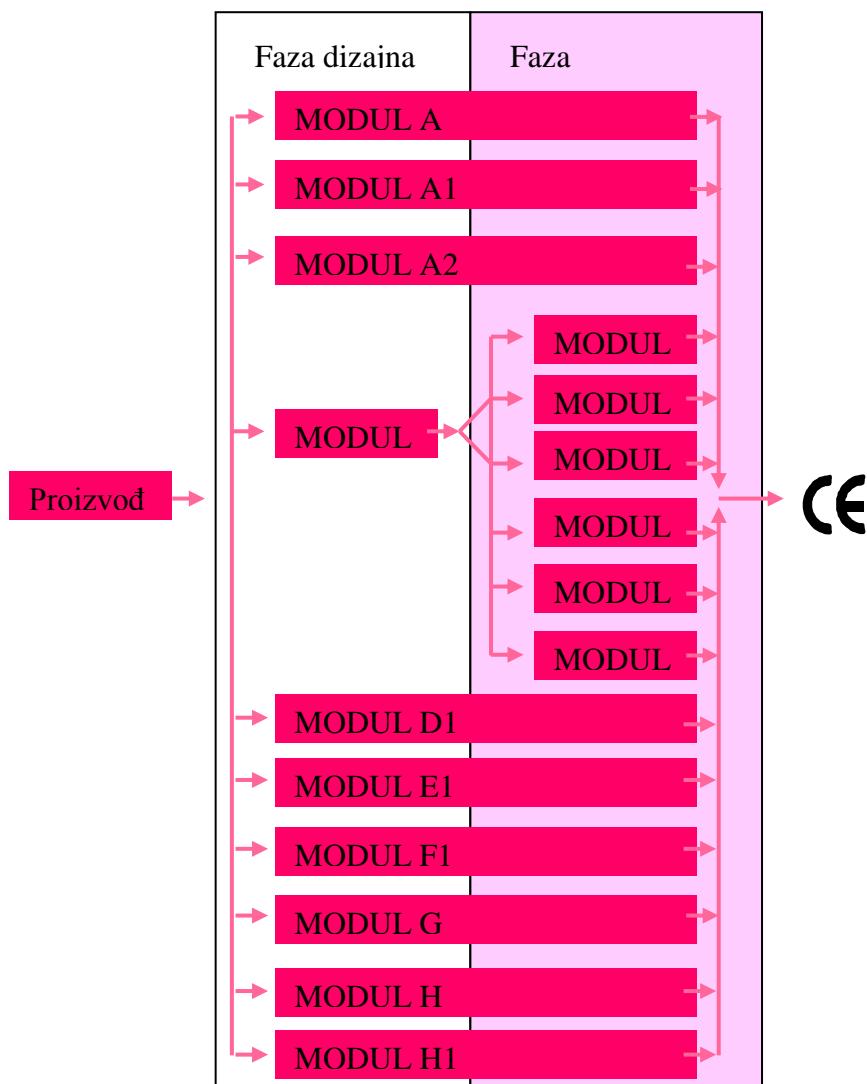
Modul A2 – Interna kontrola proizvodnje + nadzirane provjere proizvoda u slučajnim intervalima. Obuhvata fazu dizajna i proizvodnje sa ispitivanjem proizvoda u slučajnim intervalima.

Modul B – EC ispitivanje tipa - obuhvata fazu dizajna i mora ga slijediti jedan od modula C, D, E i F, koji obezbjeđuju ocjenjivanje usklađenosti u fazi proizvodnje. Notificirano tijelo izdaje certifikat o EC ispitivanju tipa.

Modul C – Usklađenost sa tipom - obuhvata fazu proizvodnje i slijedi modul B. Obezbeđuje usklađenost sa tipom kako je opisano u EC certifikatu o ispitivanju tipa, izdatom u skladu sa modulom B. Ovaj modul ne zahtjeva intervenciju notificiranog tijela.

Modul C1 – Usklađenost sa tipom - usklađenost sa tipom bazirano na internoj kontroli proizvodnje iz dodatak nadziranog ispitivanja proizvoda, slijedi nakon modula B, uz ispitivanje specifičnih aspekata proizvoda.

Modul C2 – Usklađenost sa tipom - usklađenost sa tipom bazirano na internoj kontroli proizvodnje sa nadziranjem i provjerom proizvoda u slučajnim intervalima slijedi nakon modula B, uz provjeru proizvoda u slučajnim intervalima.



Slika 6 - Moduli za CE označavanje [28]

Modul D – Osiguranje kvaliteta proizvodnje - obuhvata fazu proizvodnje i slijedi modul B. Notificirano tijelo je odgovorno za odobravanje i kontrolu sistema

kvaliteta za proizvodnju, inspekciju finalnog proizvoda i ispitivanja organizirana od strane proizvođača.

Modul D1- Osiguranje kvaliteta proizvodnje - obuhvata fazu dizajna i proizvodnje proizvoda, osiguranje kvaliteta proizvodnje i inspekciju finalnog proizvoda. Koristi se kao modul D uz dodatni zahtjev da proizvođač mora sastaviti tehničku dokumentaciju za dizajn proizvoda koju ocjenjuje notificirano tijelo.

Modul E – Osiguranje kvaliteta proizvoda - obuhvata fazu proizvodnje i slijedi modul B. Notificirano tijelo je odgovorno za odobravanje i kontrolu sistema kvaliteta za proizvod, inspekciju finalnog proizvoda i ispitivanja organizirana od strane proizvođača.

Modul E1 – Osiguranje kvaliteta proizvoda + inspekcija ispitivanja. Obuhvata fazu dizajna i proizvodnje proizvoda, koristi se kao i modul D1, bez dijela koji se odnosi na sistem kvaliteta, koji se fokusira na proizvodni proces.

Modul F – Verifikacija proizvoda - notificirano tijelo kontroliše usklađenost sa tipom kako je opisano u EC certifikatu o ispitivanju tipa izdatom u skladu sa modulom B, i izdaje certifikat o usklađenosti za proizvod.

Modul F1- Verifikacija proizvoda - obuhvata fazu dizajna i proizvodnje proizvoda, koristi se kao modul F bez modula B.

Modul G – Pojedinačna verifikacija proizvoda - obuhvata fazu dizajna i proizvodnje proizvoda. Notificirano tijelo ispituje svaki pojedinačni proizvod za koji izdaje certifikat o usklađenosti.

Modul H – Potpuno osiguranje kvaliteta - obuhvata fazu dizajna i proizvodnje proizvoda. Izvedeno je iz standarda za osiguranje kvaliteta EN ISO 9001, sa intervencijom notificiranog tijela zaduženog za odobravanje i kontrolu sistema kvaliteta za dizajn, proizvodnju, inspekciju finalnog proizvoda i ispitivanja organizirana od strane proizvođača.

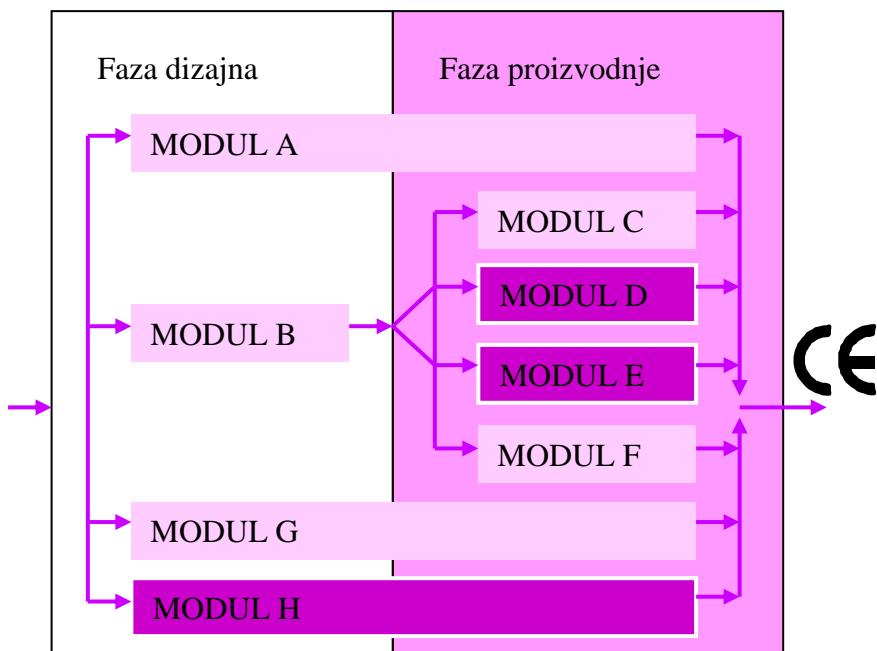
Modul H1 – Potpuno osiguranje kvaliteta + ispitivanje dizajna - obuhvata fazu dizajna i proizvodnje proizvoda. Koristi se kao i modul H uz EC ispitivanje dizajna. Po okončanom ispitivanju proizvođaču se izdaje EC certifikat o ocjenivanju dizajna.

Osiguranje kvaliteta je široko rasprostranjeno u Globalnom pristupu za ocjenjivanje usklađenosti. Tri od osam modula za ocjenjivanje usklađenosti tiču se standarda ISO 9001. Većina direktiva koje zahtijevaju intervencije notificiranih tijela uključuju module osiguranja kvaliteta.

Dosadašnja iskustva govore da proizvođači preferiraju ovaj način ocjenjivanja usklađenosti. Ključna zadaća notificiranih tijela putem procedura ocjenjivanja usklađenosti je da se osigura da proizvod zadovoljava esencijalne zahtjeve, čak i u slučajevima kada specifični standardi za proizvode nisu na raspolaganju, nisu primjenjivi ili proizvođač bira alternativni put koji vodi ka usklađenosti. Na ovaj način ističe se značaj za zahtijevanom stručnošću tijela koje ocjenjuju usklađenost.

Ovom konstatacijom opovrgava se stajalište da ocjenjivač treba da poznaje samo problematiku navedenu u standardima za osiguranje kvaliteta.

Zahtjeve modula D, E i H najlakše je ispuniti ukoliko posjedujemo certifikat sistema upravljanja kvalitetom u skladu sa standardom EN ISO 9001:2015 i zadovoljimo ostale zahtjeve.



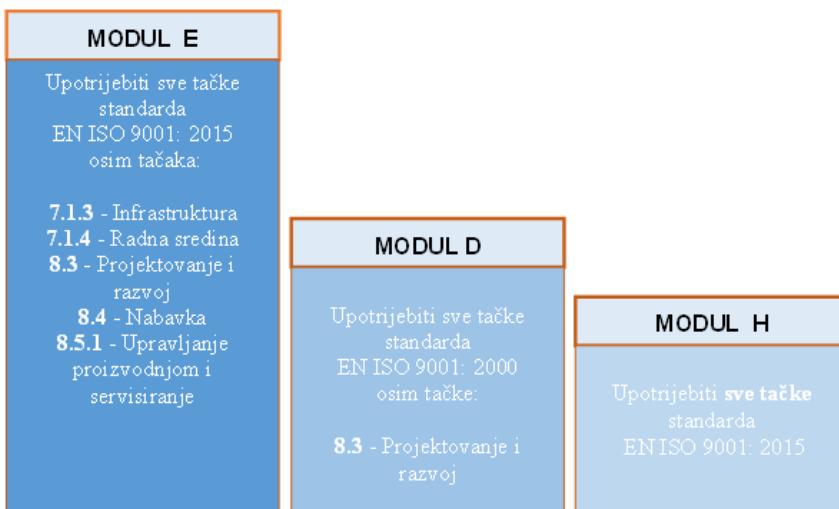
Slika 7 - Veza između modula i ISO 9001 [19]

Direktivama se eksplisitno ne zahtjeva certificiran sistem upravljanja kvalitetom ISO 9001. Da bi zadovoljili esencijalne zahtjeve direktiva, proizvođač mora osigurati da je sistem kvaliteta uveden i primjenjen na način kojim se obezbjeduje potpuno zadovoljavanje esencijalnih zahtjeva navedenih u relevantnim direktivama.

Prilikom uvođenja i implementiranja sistema upravljanja kvalitetom proizvođač mora zbog direktiva novog pristupa uvijek uzeti u obzir sljedeće:

- Ciljeve kvaliteta, planiranje kvaliteta, poslovnik o kvalitetu i nadzor nad dokumentacijom moraju potpuno biti posvećeni dobijanju proizvoda usklađenog sa esencijalnim zahtjevima;
- Esencijalne zahtjeve koji se odnose na proizvod, te se moraju utvrditi i dokumentirati kao i harmonizirani standardi ili primjenjena tehnička rješenja koja osiguravaju zadovoljavanje esencijalnih zahtjeva;
- Utvrđene standarde ili druga tehnička rješenja, koja se moraju primjeniti prilikom planiranja i provjeravanja da li se izrađenim planovima osigurava zadovoljavanje esencijalnih zahtjeva;
- Pri mjerenu i kontroli proizvodnih procesa i finalnih proizvoda, organizacija mora primjenjivati metode koje se nalaze u standardima ili druge prikladne metode kojima se osigurava zadovoljavanje esencijalnih zahtjeva;
- Dokumente sistema kvaliteta, kao što su izvještaji o ispitivanjima i kontrolama, certifikati o kalibracijama i podaci o kvalifikacijama osoblja koji moraju biti odgovarajući da osiguraju zadovoljavanje esencijalnih zahtjeva [24].

Na narednoj slici data je veza između modula D, E i H sa tačkama standarda EN ISO 9001: 2015.



Slika 8 - Veza modula E, D, H sa ISO 9001 [19]

Pored obaveznih uslova koje proizvođač mora da ispoštuje, kao što je postavljanje CE oznake na svoj proizvod, da bi taj isti proizvod plasirao na tržište EU, tako isto postoje uslovi koje nisu obavezni, ali mogu sprječiti izvoz proizvoda na određeno tržište. Prije svega, to je zahtjev za posjedovanje certifikata ISO 9001 i ISO 14001.

Organizacija UN-a za industrijski razvoj UNIDO napravila je o tome opsežno istraživanje, bazirano na sveobuhvatnoj anketi u velikom broju zemalja, a rezultati su dati u publikaciji pod nazivom „Implementacija međunarodnih standarda za sisteme upravljanja kvalitetom i okolinsko upravljanje“.

U izvještaju je navedeno da su implikacije u zemljama u razvoju i zemljama u tranziciji raznolike. Pozitivno je to da postoji zajedničko shvatanje da će certificiranje u skladu sa ISO 9000 pomoći da se proširi međunarodna trgovina i često se smatra da će to omogućiti da se udovolji zahtjevima inostranih kupaca i da se uspješno konkuriše uvoznim proizvodima.

Negativno je, pak, to da se rastući zahtjevi uvoznika iz razvijenih zemalja za certifikacijom po ISO 9000 smatraju potencijalnim trgovinskim barijerama. Barijerom se smatra i činjenica da se certifikati koje izdaju nacionalna certifikaciona tijela često ne priznaju na međunarodnom nivou. Troškovi certifikacije su također jedno ozbiljno pitanje. Ogomorna većina anketiranih (87%) priznaje da certifikate po ISO 9000 sve više traže inostrani kupci, a posebno oni na Bliskom istoku i Mediteranu. To isto traže i domaći kupci, ali daleko manje. Polovina domaćih kupaca ne traži certifikate po ISO 9000, a kod inostranih kupaca to je svega jedna četvrtina. Moguće rješenje za domaće kompanije moglo bi biti dobivanje certifikata od međunarodnih certifikacionih tijela, ali većina anketiranih smatra da je to daleko skuplje rješenje.

Kada su u pitanju certifikati po standardima ISO 14000 i okolinska politika države, kao i stepen upoznatosti sa tom politikom, situacija je komplikovanija nego u slučaju ISO 9000.

Većina anketiranih je ovako rangirala beneficije od uspostave i certificiranja sistema okolinskog upravljanja:

- Dokazivanje usklađenosti sa legislativom,
- Uдовoljavanje zahtjevima međunarodnih kupaca,
- Efikasnost u dostizanju obaveznih standarda,
- Zadovoljavanje međunarodne okolinske legislative,
- Povećanje vlastitog udjela u tržištu, itd.

Međutim, inostrani kupci čine značajnu grupu koja vrši pritisak za osiguranje usklađenosti sa okolinskom legislativom i za proizvodnju proizvoda koji su prijateljski orijentisani prema okolini. Kod velikih kompanija to je najviše uticalo da se izgradi sistem okolinskog upravljanja u skladu sa ISO 14000. Kod malih i srednjih kompanija ovaj uticaj je na drugom mjestu.

Nasuprot tome, uticaj domaćih kupaca na velike kompanije nije veliki, ali su male i srednje kompanije ocjenile taj uticaj značajnim. Skoro tri četvrtine anketiranih su potvrdili da udovoljavanje standardu ISO 14001 pomaže ulasku na nova tržišta ili jačanju svog učešća na postojećim, a to je posebno izraženo kod velikih kompanija.

Šezdeset posto anketiranih smatra da će uspostava „Šeme Evropske unije za eko menadžment i audit (EMAS)“ ojačati netarifne barijere trgovini.

Većina anketiranih izjasnila se u korist okolinskog obilježavanja karakteristika proizvoda i proizvodnih procesa. Jedna petina nacionalnih tijela za standardizaciju je već uspostavila nacionalne šeme za okolinsko obilježavanje, a još jedna petina će to uskoro uraditi.

Međutim, zahtjev uvoznika za okolinsko obilježavanje također se smatra netarifnom barijerom trgovini. [5]

ZNAČAJ KVALITETA GRAĐEVINSKIH PROIZVODA

Promjene na tržištu u današnje vrijeme su izuzetno brze. Najveću važnost za svaku organizaciju, koja se želi uključiti, ali i održati na konkurentnom nacionalnom i međunarodnom tržištu, predstavlja nivo kvaliteta proizvoda koji proizvodi ili usluge koju nudi.

Pri takvom širokom pogledu na kvalitet javljaju se tri glavna učesnika, od kojih svaki ima svoju odgovornost za kvalitet:

- Kupac, koji svojim željama i zahtjevima, te svojom sposobnošću utiče na kvalitet;
- Organizacija, koja proizvodi proizvode, odnosno nudi usluge i želi da zadovolji želje kupaca,
- Država, koja regulativom, zakonima i institucijama utiče na kvalitet življenja.

Kvalitet i upravljanje kvalitetom, vjerovatno, spadaju u najčešće korištene sintagme danas. Međutim, kod definicije „kvaliteta“ postoje razlike i kvalitet ima različito značenje za različite ljude. [13]

Philip Crosby	„Kvalitet je usklađenost sa zahtjevima“
Edward Deming	„Kvalitet je predvidljivi stepen uniformnosti i pouzdanosti uz niske troškove i prilagođenost tržištu“
Wayne	„Kvalitet je zadovoljstvo kupca“
Joseph Juran	„Kvalitet je prilagođenost svrsi i korištenju“
R. Andrejčić	„Kvalitet je integracija rada i integracija odgovornosti“
BAS EN ISO 9000:2015	„Kvalitet je stepen do kojeg skup svojstvenih karakteristika nekog predmeta ispunjava zahtjeve“

Interesantne su i neke izjave u vezi sa kvalitetom:

John Ford II	„Quality is Job Number 1 / Kvalitet je posao broj 1“
Norman Augustine	„Napraviti loš proizvod - to košta mnogo“
Margaret Tačer	„Kvalitet je kada se vrati kupac, a ne proizvod“
Philip Crosby	„Kvalitet donosi profit na pošten način“
Philip Crosby	„Manji je problem što rukovodstvo ne zna šta je kvalitet. Problem je što svi misle da znaju sve o tome.“
John F. Walsh	„Kvalitet na najbolji način osigurava vjernost kupca, on je ujedno najbolja odbrana od konkurenциje i jedini prav put rastu proizvodnje i profita.“

Kvalitet proizvoda i usluge se direktno ogleda u upotreboj vrijednosti, koja je uvijek dinamična veličina, zavisna od vremena, prostora, razvijenosti i brzine promjena, ne samo nekog tržišta, nego i društva u cjelini. [13]

Kvalitet je postao najznačajniji strateški faktor uspjeha organizacije. Kada organizacija stekne lošu reputaciju po pitanju kvaliteta, potrebno je dugo vremena da se ta situacija promjeni. Naime, 90 od 100 korisnika proizvoda ili usluge, ako su bili nezadovoljni, teže promjeni partnera, a svoje nezadovoljstvo prenose najmanje 21 osobi iz bližnjeg i daljnog okruženja. U slučaju da su zadovoljni, svoje zadovoljstvo prenose na najviše 9 osoba. [21]

Da bi organizacija postigla zadovoljstvo svojih kupaca, jedan od načina jeste implementacija sistema upravljanja kvalitetom. U dosadašnjim godinama upotrebe serije standarda ISO 9000 i na osnovu sakupljenih iskustava i kritika korisnika, došlo je do daljeg razvoja standarda, što se ogleda u sljedećem:

- standardi su jednostavni i pregledni,
- olakšana upotreba u svim djelatnostima (posebno usluge),
- praktični su i za upotrebu u malim i srednjim organizacijama,
- usmjereni su na kupca i traže mjerjenje zadovoljstva kupca,
- usmjerenost ka proizvodu/usluzi je pojačana, jer organizacija provjerava, da li njeni proizvodi odgovaraju zahtjevima tržišta i polaznim specifikacijama,
- usmjerenost ka saradnicima, jer svaki saradnik mora biti tako osposobljen, da može obavljati poslove u skladu sa zahtjevima i važećom praksom,
- bolje prilagođavanje organizacije,
- omogućavaju put ka poslovnoj izvrsnosti, jer zahtijevaju uspješnost rada cijele organizacije, neprestano postavljanje ciljeva i mjera za osiguranje zadovoljstva svih zainteresiranih i stalno poboljšanje,
- naglašava važnost procesno orijentiranog sistema upravljanja kvalitetom,
- bolja prilagodljivost ostalim sistemima upravljanja i lakši razvoj integralnih sistema upravljanja. [13]

Dobro oblikovan sistem upravljanja kvalitetom obuhvata sve aktivnosti organizacije, od početnog utvrđivanja do konačnog ispunjenja zahtjeva i očekivanja kupaca.

BAS EN ISO 9001:2015 je standard koji je neovisan o branši, te koji se kao takav može primjenjivati na sve vrste preduzeća. Ovaj standard predstavlja obiman model za uspostavljanje, implementaciju i ocjenjivanje sistema upravljanja kvalitetom i dijeli se u sljedeća poglavlja, prikazana u narednoj tabeli.

Tabela 4 - Sadržaj standarda ISO 9001:2015 [26]

	Predgovor - Uvod
Poglavlje 1	Područje primjene
Poglavlje 2	Upućivanje na referentne dokumente
Poglavlje 3	Termini i definicije
Poglavlje 4	Kontekst organizacije
Poglavlje 5	Liderstvo
Poglavlje 6	Planiranje
Poglavlje 7	Podrška
Poglavlje 8	Funkcioniranje
Poglavlje 9	Vrednovanje performansi
Poglavlje 10	Poboljšanje
Dodatak A	Pojašnjenje nove strukture
Dodatak B	Drugi međunarodni standardi

Poglavlje 1. Područje primjene (Scope)

Svi zahtjevi koji su utvrđeni u međunarodnom standardu su opće prirode i važe za sve organizacije, neovisno o njihovoј vrsti ili veličini ili vrsti njihovih proizvoda i usluga.

Poglavlje 2. Upućivanje na referentne dokumente

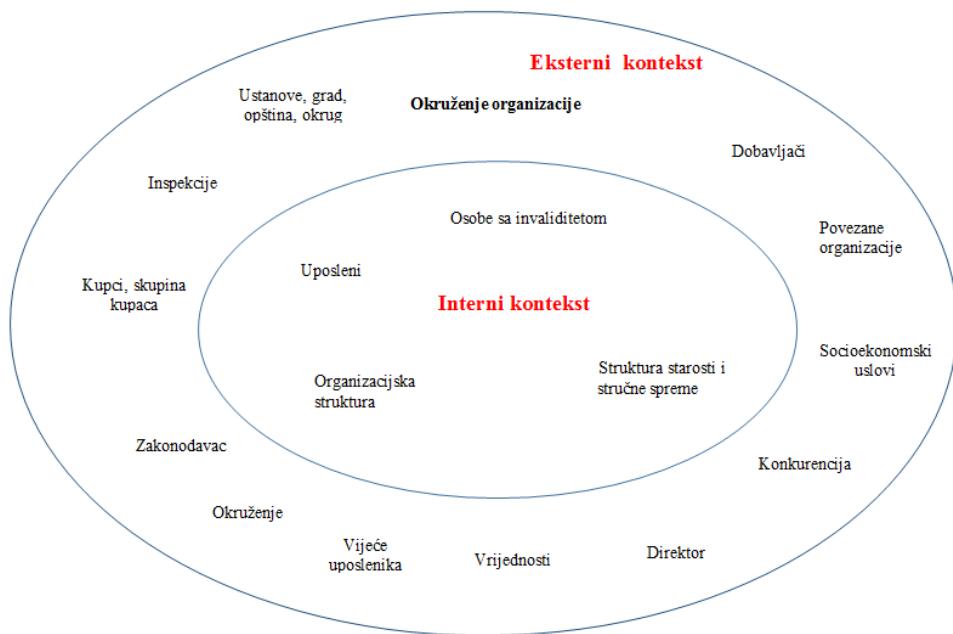
ISO 9000:2015- sistemi upravljanja kvalitetom-osnove i riječnik.

Poglavlje 3. Termini i definicije

Za primjenu ISO 9001 važeći su pojmovi po BAS EN ISO 9000:2015.

Poglavlje 4. Kontekst organizacije

Po ovoj tački organizacija treba da uzme u razmatranje sva eksterna i interna pitanja, koja mogu uticati na njegovo poslovanje. Na sljedećoj slici dat je spisak internih i eksternih pitanja.



Slika 9 - Kontekst organizacije [20]

Zainteresirana strana je osoba ili organizacija koja može uticati na odluku ili aktivnost, na koju može uticati odluka ili aktivnost ili koja može osjećati da ona utječe na nju. Potrebe i očekivanja zaintresiranih strana su različite, stoga organizacije trebaju da naprave spisak svojih zaintresiranih strana, i da odrede njihova očekivanja. U Tabeli 5, dat je jedan primjer zaintresiranih strana i njihova očekivanja od jedne proizvodne organizacije.

Bitno je napomenuti, da je potrebno razmatrati i one "neomiljene" zaintresirane strane, kao na primjer inspekciju. Organizacije trebaju da razmotre koja su očekivanja tih strana, te nastojati da sve ispune. U mnogim slučajevima, auditori se na terenu susreću sa situacijom da organizacije ne određuju očekivanja ovih zainteresovanih strana.

Poglavlje 5. Liderstvo

Najviše rukovodstvo je odgovorno za učinkovitost sistema upravljanja kvalitetom. Dalje je potrebno utvrditi politiku kvaliteta i ciljeve kvaliteta koje je

potrebno usaglasiti s kontekstom organizacije. Strateška orijentacija organizacije također pritom mora biti uzeta u obzir.

Odgovornost za sistem upravljanja kvalitetom nije moguće delegirati, međutim zadaci se mogu delegirati.

Orijentisanost prema kupcima podliježe posebnoj odgovornosti uprave. Rukovodstvo organizacije mora osigurati da se potrebe, zahtjevi i očekivanja kupaca pretvore u iskoristive zahtjeve.

Tabela 5 - Primjeri zainteresiranih strana i njihovih potreba i očekivanja¹

Zainteresirana strana	Potrebe i očekivanja
Kupci	Kvalitet proizvoda, cijena i performanse isporučenog proizvoda
Vlasnici/akcionari	Održiva profitabilnost Transparentnost
Ljudi u organizaciji	Dobro radno okruženje Sigurnost posla Priznanja i nagrade
Dobavljači i partneri	Međusobne koristi i kontinuitet isporuka Proširenje poslovnih kapaciteta
Društvo	Okolinska zaštita Etičko ponašanje Usklađenost sa zahtjevima zakona i regulativa
Banke i osiguranja	Dobra saradnja Niska kamatna stopa
Konkurenca	Težnja za korakom ispred konkurencije Bolja ponuda kupcu od konkurenata
Ustanove, grad, opština, okrug	Poticaji za zapošljavanje i investicije Riješeni imovinsko - pravni odnosi Zaštita životne sredine (ekologija, seminari)
Inspekcije	Pozitivan stav inspekcije na pravilan i zakonit rad Društva. Određene smjernice prilikom primjene "zakonskih propisa" koje su stavljeni van snage, a nisu donijeti novi propisi. Usaglašenost pozitivnih pravnih propisa i normativnih akata društva.

¹ BAS EN ISO 9004 (u tabeli su dodate još neke zainteresirane strane)

Poglavlje 6. Planiranje

Prilikom planiranja, organizacija mora da uzme u obzir potencijalne rizike u okviru svog poslovanja.

Rizik se može definisati kao potencijalna opasnost, te koje se mjere poduzimaju da se otkloni taj rizik, ili da se reducira. Preporuka preduzećima jeste da imaju registrator rizika, gdje će identificirati rizike u svojim procesima, pratiti ih, i držati pod kontrolom.

Neuzimanje rizika u obzir može rezultirati znatnim finansijskim gubicima ili može imati drastične posljedice na zadovoljstvo kupaca i drugih zainteresovanih strana.

Prema standardu, preduzeće mora već pri planiranju za cjelokupan sistem upravljanja kvalitetom koristiti sva adekvatna sredstva, kako bi utvrdilo da li negdje vrebaju rizici. Kada se prepozna takav izvor opasnosti, potrebno je preduzeti odgovarajuće korake kako bi se ovi rizici po mogućnosti preduprijedili.

Moguća je podjela rizika sa trećim stranama kao što su kupci, eksterni ponuđači, druge zainteresirane strane ili osiguranja. [20]

Najviše rukovodstvo mora postaviti ciljeve kvalitete, koji će pomoći u ostvarivanju politike kvalitete. Ciljevi moraju biti mjerljivi. Mora se definisati ko postavlja cilj, ko je zadužen za praćenje cilja, potrebni resursi za dostizanje cilja. Ciljeve treba postavljati kako najviše rukovodstvo na nivou preduzeća, tako i po glavnim procesima i po drugim pomoćnim procesima. Ciljeve je potrebno pratiti kroz njihovu realizaciju, i po potrebi poduzimati određene mjere, za njihovo dostizanje.

Poglavlje 7. Podrška

Poglavlje „Podrška“ sadrži opće zahtjeve vezane za odredbe i pripremanje resursa (ljudi, infrastruktura, okolina procesa, resursi za nadzor i mjerjenje), zahtjeve za znanjem, kompetencijama, svijesti, komunikacijom i za dokumentovanom informacijom, koji su potrebni za poboljšanje učinkovitosti sistema upravljanja kvalitetom i za ispunjavanje zahtjeva kupaca i smislu ispunjavanja zadovoljstva kupaca proizvodom i uslugama, te za postizanje namjeravanih rezultata. [20]

Ova tačka je podijeljena na sljedeće podtačke:

- **Resursi** - za uspješnost organizacije odlučujuću važnost ima pravovremena i efikasna primjena resursa. U te resurse spada osoblje, infrastruktura i procesno okruženje, kao i između ostalog i resursi za nadzor i mjerjenje.

- **Kompetencije** - Potrebno je uspostaviti kriterije za ocjenu kompetencija. Ovi se kriteriji mogu koristiti za ocjenu postojećeg osoblja, kao i kod prijema u radni odnos. Tamo gdje se kriteriji ne zadovolje, potrebno je poduzeti određene akcije.
- **Svjesnost** - Preduzeće mora da radi na podizanju svijesti svog osoblja, osoblje mora biti svjesno svojih aktivnosti, kako bi doprinjelo u dostizanju ciljeva kvalitete.
- **Komunikacija** - Preduzeće mora da utvrdi eksternu i internu komunikaciju. Rukovodstvo mora uspostaviti efikasnu komunikaciju. Mehanizmi komunikacije mogu uključivati: sastanke, razgovore, e-mail komunikaciju, seminare, itd.
- **Dokumentovana informacija** - Dokumentovana informacija može biti u bilo kojem obliku. Organizacija mora da utvrdi način čuvanja i odlaganja dokumentovanih informacija. Također dokumentovane informacije eksternog porijekla, koje utiču na sistem upravljanja kvalitetom se moraju identificirati i kontrolirati.

Poglavlje 8. Funkcionalnost

Poglavlje „Funkcionisanje“ obavezuje organizaciju da planira, usmjerava i procjenjuje procese realizacije. Za to je potrebno utvrditi odgovarajuća sredstva, postupke i metode, da bi se omogućilo kontinuirano poboljšavanje i optimiziranje procesa, postupaka i tokova. Cilj je u prvom redu da se za sve procese koji utiču na kvalitet, stvore takvi uslovi, da se mogu odvijati u kontroliranim uslovima i da se na taj način osigura da nastanu samo planirani rezultati, a ne slučajni proizvodi. Glavni cilj i mjerilo procjenjivanja organizacije i procesa je zadovoljstvo kupaca.

Ako se radi o dizajnu i razvoju, onda je proces planiranja od još većeg značaja. Zbog toga već u ranoj fazi dizajna i razvoja treba provesti planiranje i usmjeravanje. Za to je propisan plan dizajna i razvoja sa terminima, odgovornostima, razmatranjem interfejsa i propisanim nivoima provjere, procjene i odobravanja. Ovaj plan mora sadržavati propise o verificiranju i validiranju, uključujući i traženu procjenu pojedinih koraka procesa. Prioritet je izbjegavanje grešaka. Treba utvrditi metode koje će se koristiti.

Za upravljanje eksterno ponuđenim procesima, proizvodima i uslugama, organizacija mora utvrditi i uvesti regulativu koja jamči stavljanje svih potrebnih proizvoda i usluga u zahtijevanom kvalitetu, u bilo koje vrijeme na raspolaganje. Za to se, između ostalog, mora sprovesti procjena/revidirana procjena eksternih

isporučilaca, koja uzima u obzir posebnosti organizacije i ostvarenih proizvoda/usluga.

Obaveza označavanja služi za bržu, lakšu i sigurniju identifikaciju proizvoda, kako u proizvodnom procesu, tako i kod kupca. Moguće je da postoji, na osnovu vrste proizvoda, generalna i konkretnija obaveza označavanja.

Odgovornost organizacije ne završava se okončanjem krajnje provjere proizvoda. Ona mora osigurati da rukovanjem, skladištenjem, otpremanjem, transportom i pakovanjem neće doći do umanjenja kvalitete proizvoda.

Poglavlje standarda „Upravljanje neusklađenim izlazima“ reguliše kako se mora ophoditi prema neusklađenim rezultatima, jer organizacija mora spriječiti da se proizvodi/usluge s nedostacima dalje šire, isporučuju ili čak upotrebljavaju. Iz tog razloga neusklađeni izlazi moraju biti označeni na odgovarajući način, po potrebi izdvojeni i korigirani.

Zavisno od prirode i težine neusklađenih izlaza i pristup mora biti različit. Ako se radi o manjoj greški, često je dovoljna jednostavna dorada. Također i druga upotrebljena svrha ili rekategoriziranje robe su mogući načini tretiranja nesukladnih rezultata. Ukoliko nijedna od ovih mjera ne dolazi u obzir, proizvod se mora neizostavno povući ili uništiti. [19]

Poglavlje 9. Vrednovanje performansi

Organizacija koja želi sistemski, dalje razvijati svoj sistem upravljanja kvalitetom mora imati neophodne alate kako bi bila u stanju postići zadane ciljeve. Ciljevi kvaliteta koji su izvedeni iz procesa unutar organizacije i inovacije koje stoje u istom kontekstu, ne mogu biti samo definisani, a da se ne izvrši provjera da li su ciljevi zaista postigli očekivane rezultate.

Međutim, redovna kontrola i provjera se ne odnosi samo na vlastite zahtjeve za procese i proizvode. Posebno je potrebno da se u punom obimu ispune očekivanja i zahtjevi kupca i vanjskih partnera. Stoga je izvorni interes organizacije da svi procesi i tokovi funkcioniraju bez problema, kako bi se izbjegle greške i kako bi se na osnovu toga osigurala i dodatno povećala i sama ekonomičnost organizacije.

Organizacija mora utvrditi i uvesti postupke mjerjenja, monitoringa, analize i ocjene, koji osiguraju očekivane zahtjeve na proizvode i usluge unutar sistema upravljanja kvalitetom. Sastavni dio toga je i kontinuirana kontrola i poboljšanje proizvodnih, procesnih i uslužnih sposobnosti. Rezultati proistekli iz analize podataka i aktivnosti poboljšanja su ulazne vrijednosti za ocjenu sistema upravljanja kvalitetom. Iz ovih podataka i informacija daju se u redovnim razmacima odrediti realni i zahtjevani ciljevi kvaliteta.

Za uvođenje i održanje postupka za mjerjenje i analizu u svrhu utvrđivanja učinkovitosti sistema upravljanja kvalitetom uključujući i ciljeva kvaliteta su potrebne mjere. Rezultati mjerena se analiziraju i bilježe u sklopu preispitivanja od rukovodstva. Iz ovih pregleda se daju izvesti mjere za utvrđivanje zadovoljstva kupaca. Pored ovoga organizacija mora utvrditi metode za monitoring različitih procesnih varijabli (zahtjevi kupaca) i procesnih sposobnosti.

Kontrola procesne sposobnosti po pravilu se u organizaciji provodi kroz interne audite. Oni provjeravaju efektivnost i efikasnost svih procesa i aktivnosti jedne organizacije. Interni auditi vrše provjeru planiranih unosa (kakvi jesu) sa poslovnom praksom (kakvi bi trebali biti). Na ovaj način se pokazuju neusklađenosti i potencijali za poboljšanjem po pitanju kojih se onda mogu realizirati mjere poboljšanja.

Analiza i ocjenjivanje prikladnih podataka služi kao sredstvo za poticanje poboljšanja sistema upravljanja kvalitetom. Implementiranje korektivnih mjera, učinkovitost provedenih mjera u upravljanju rizicima i mogućnostima, ispitivanje uzroka nastanka grešaka kao i njihovo otklanjanje, vode kontinuiranom procesu poboljšanja.

Standard ISO 9001 od organizacije zahtjeva primjenu odgovarajućih metoda pomoću kojih je moguće mjeriti kvalitet proizvoda, usluga i procesa. Pri tome je potrebno detaljno analizirati koje se od mogućih metoda i gdje u cilju poticanja kvaliteta mogu primijeniti. [19]

Poglavlje 10. Poboljšanje

Organizacija se mora baviti poboljšanjem. Kako bi se ciljevi ispunili neophodno je sprovoditi redovna mjerena i ocjenjivanja proizvoda i usluga, podobnosti procesa, zadovoljstva klijenata, te zahtjeva ostalih zainteresovanih strana.

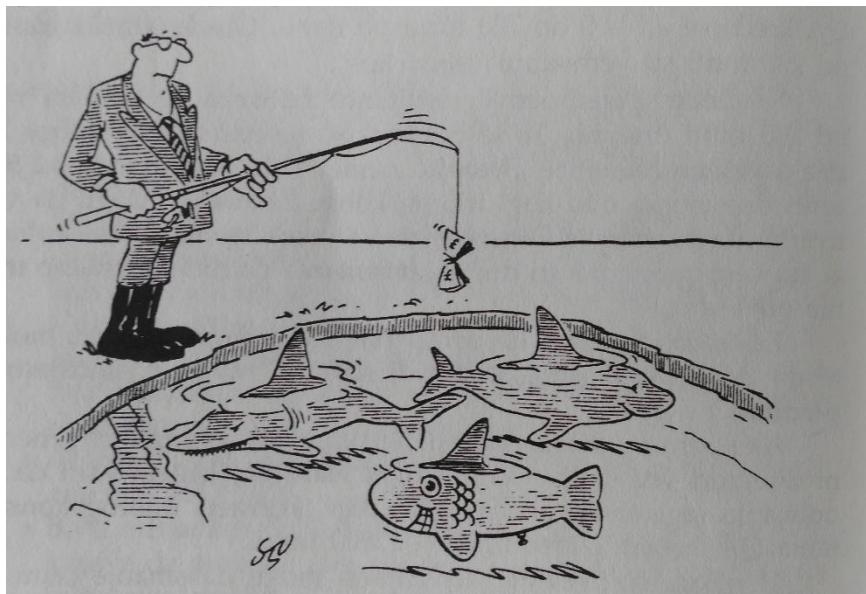
Mnogo je načina za identifikaciju i potencijalna poboljšanja. Svi rezultati mjerena se mogu analizirati, kako bi se odredilo gdje je potrebno poboljšanje.

Sistem upravljanja kvalitetom koji dobro funkcioniše se mora pobrinuti za to da se neka greška više ne ponovi. U suprotnom neće ispuniti svoj zadatak, a to su aktivno vladanje kvalitetom i ispunjavanje ciljeva. [19, 26]

U ovom procesu, pred rukovodstvo organizacija se postavlja pitanje da li da to organizacija uradi interno ili da angažuje konsultanta. Kao najvažniji faktor uspjeha organizacije navode težnju i ambiciju za ostvarivanje svrhovitoga uspjeha. Pa ipak, sama ambicija nije dovoljna, potrebno je znanje o tome kako ostvariti ciljeve. Konsultantske organizacije su upravo izvor takvoga znanja.

Međutim, konsultantske usluge su šarolik i sofisticiran fenomen kome se ne može pristupiti kao bilo kojoj drugoj robi ili usluzi. Bez obzira na prirodu problema zbog kojeg se angažiraju konsultantske usluge, treba se držati određenih pravila i principa kako bi projekt suradnje s konsultantima bio uspješan. [16]

U postupku identifikacije konsultanta za kontrolu kvaliteta, izuzetno je potrebno odvojiti "delfine" od "ajkula" (*Slika 10*). Potencijalni problem je što na površini izgledaju istovjetno.



Slika 10 - Skrivene opasnosti u izboru konsultanta [11]

Postoje konsultanti koji imaju osobine "delfina" (a to su visoka intelektualna razina, osjećaj i znanje), koji su spremni da daju adekvatne savjete za uvođenje i implementaciju zahtjeva određenih standarda i pošteno naplate svoju uslugu. S druge strane postoje konsultanti koji imaju osobine "ajkule", koristeći se "copy-paste" dokumentacijom i zahtjevom za urednom naplatom, ali bez suštinske želje i cilja da sistem u toj organizaciji zaživi.

Pitanja koja treba sa pažnjom razmotriti kod identifikacije konsultanta su sljedeća:

- Dosadašnja iskustva konsultanta za klijente u organizacijama slične veličine u istoj ili sličnoj industriji uz mogućnost provjere iskustava;
- Jednostavnost i razumljivost poslovnika kvalitete i operativne procedure;
- Detaljna analiza poslovne bogografije konsultanta i eventualno članova tima;

- Visina dnevnih troškova konsultanta i tima, kao i garantovani maksimum dana.

Na taj način se vrši odvajanje “delfina od ajkula”. [11] Osobni atributi konsultanta obuhvaćaju: etičnost, pažljivost, svjestranost, ustrajnost, odlučnost, samopouzdanost, komunikativnost, praktičnost, odgovornost i poticajnost.

OPIS PROIZVODA

Grupex d.d. Velika Kladuša kao proizvođač, na tržištu nudi 12 različitih elemenata iz grupe proizvoda - "AB prefabricirani montažni elementi".

Pripadajući elementi ove grupe su konstrukcijski oblikovani za prijem i prenos opterećenja do nosivog tla. Proizvode se u pripadajućim halama i dostavljaju do mesta montaže odgovarajućim transportnim sredstvima.

Osnovne komponente koje ulaze u sastav homogenizirane mješavine za proizvodnju armiranobetonskih prefabriciranih elemenata su cement, agregat, aditivi, voda i čelik. Cement, agregat, aditivi i čelik su komponente čije su recepture i kvaliteta utvrđene putem atesta za svaku vrstu navedenog materijala. Voda koja se koristi za spravljanje ovih elemenata je iz gradskoga vodovoda, čija je pH vrijednost 7 (neutralna). [18]

Harmonizirani standardi za program proizvoda "Armiranobetonski prefabricirani montažni elementi" su:

- EN 13 369:2014: Opća pravila za proizvode od prefabricovanog betona;
- EN 13 693:2005: Gotovi betonski proizvodi - Specijalni krovni element;
- EN 13 224:2007: Prefabrikovani proizvodi od betona - Rebraste međuspratne ploče;
- EN 14 991:2008: Gotovi betonski proizvodi - Elementi za temelje;
- EN 13 225:2013 Prefabrikovani betonski proizvodi - Linijski konstrukcijski elementi.

Proračun armiranobetonskih prefabriciranih montažnih elemenata je u skladu sa:

- EN 1992-1-1:2004: Eurokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za građevine.

Ranije je u ovoj studiji razmatran harmonizirani standard EN 13225:2013 Prefabrikovani betonski proizvodi - Linijski konstrukcijski elementi, a metodologija je ista i za druge standarde (Specijalni krovni element, Rebraste međuspratne ploče, Elementi za temelje).

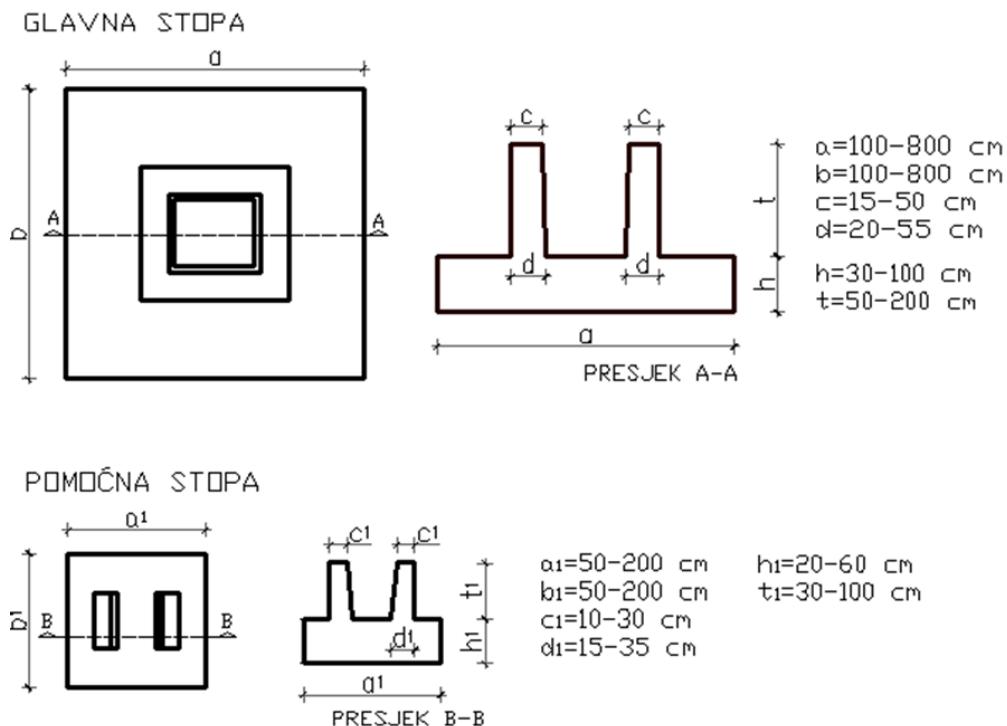
Temeljne stope sa čašom

Temeljne stope su elementi koji služe kao oslonac stubovima nosive konstrukcije kod montažnih objekata. Njihov zadatak jeste da preuzmu odgovarajuće opterećenje od stubova i prenesu ga na nosivo temeljno tlo.

Razlikujemo dvije vrste temeljnih stopa sa čašom:

- glavne temeljne stope; i
- pomoćne temeljne stope.

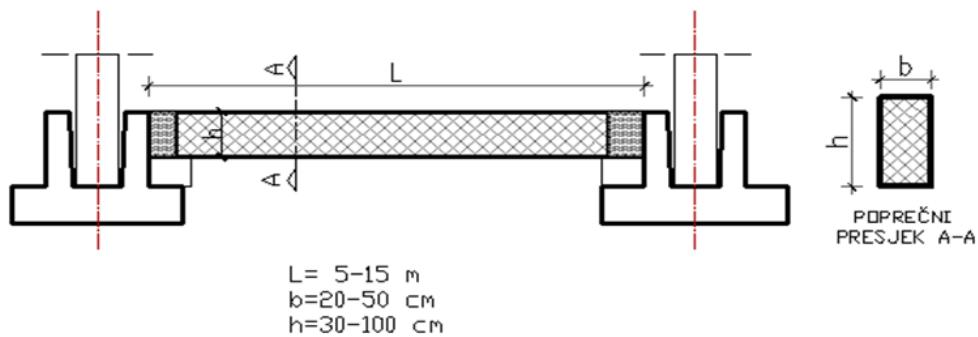
Dimenzije i oblik pomenutih temeljnih stopa sa čašom prikazani su na narednoj *Slici 11*:



Slika 11 - Temeljne stope sa čašicom [18]

Armiranobetonske temeljne grede

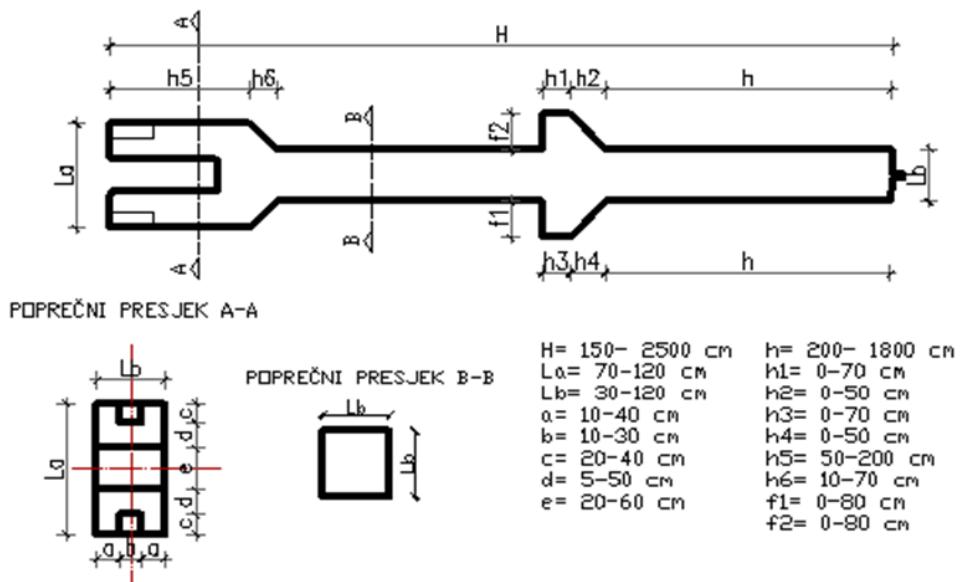
Temeljne grede su armirano-betonski elementi koji u montažnoj konstrukciji povezuju temeljne stope u jednu cjelinu. Oblik i dimenzije poprečnog presjeka ovih elemenata su prikazani na *Slici 12*.



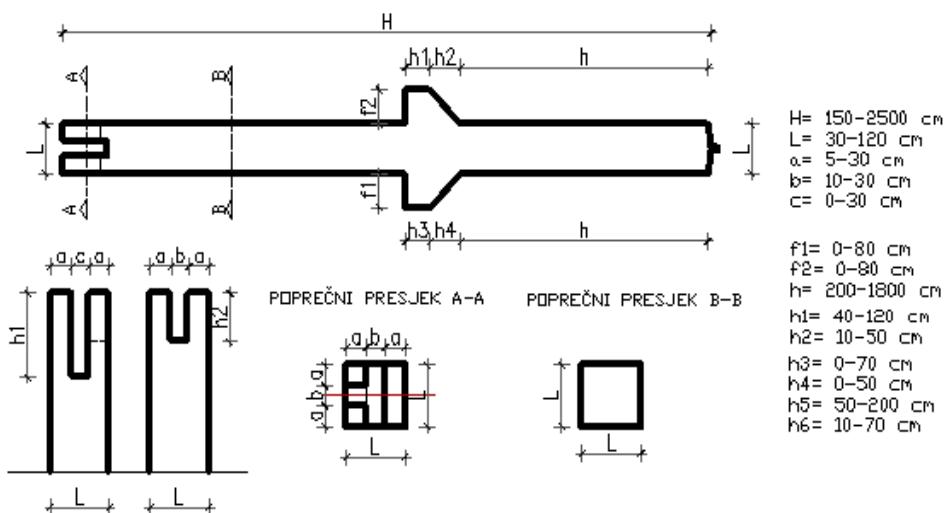
Slika 12 - Oblik i dimenzije temeljnih greda [18]

Armiranobetonski stubovi sa proširenom glavom

Armiranobetonski stubovi su elementi, koji u montažnim konstrukcijama preuzimaju opterećenje od međuspratnih nosača i krovne konstrukcije i prenose ga na temeljne stope. Dimenzije i oblik poprečnih presjeka ovih elemenata prikazani su na Slikama 13 i 14.



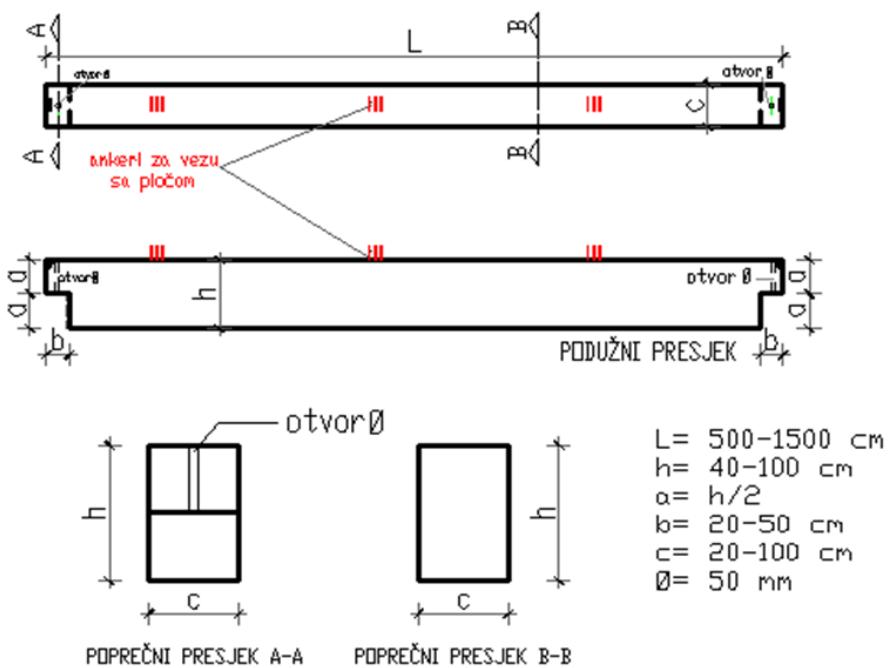
Slika 13 - Oblik i dimenzije armiranobetonskih stubova sa proširenom glavom [18]



Slika 14 - Oblik i dimenzije armiranobetonskih stubova sa običnom glavom [18]

Međuspratni nosači

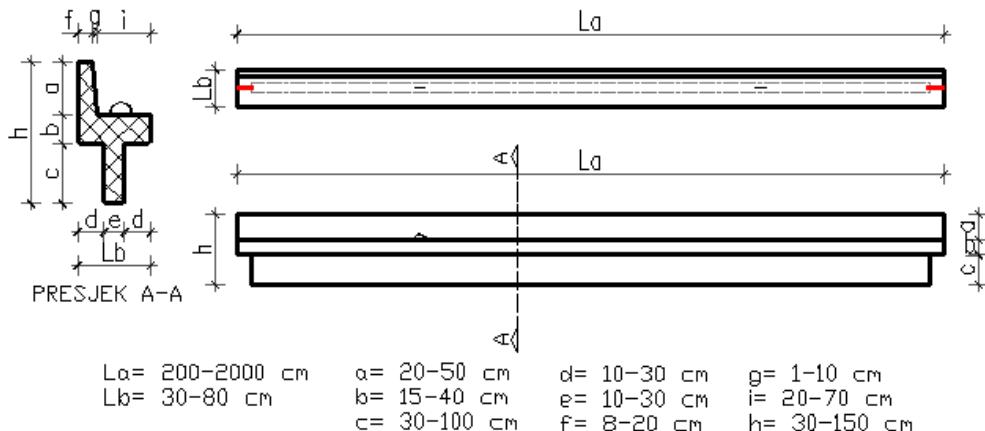
Međuspratni nosači su elementi koji u montažnim konstrukcijama preuzimaju opterećenje od međuspratnih ploča i prenose ga na stubove. Dimenzije i oblik poprečnog presjeka ovih elemenata su prikazani su na Slici 15. Mogu biti i izlomljene forme, pri čemu se koriste kao nosači tribina.



Slika 15 - Oblik i dimenzije montažnih nosača [18]

Krovni TL nosači

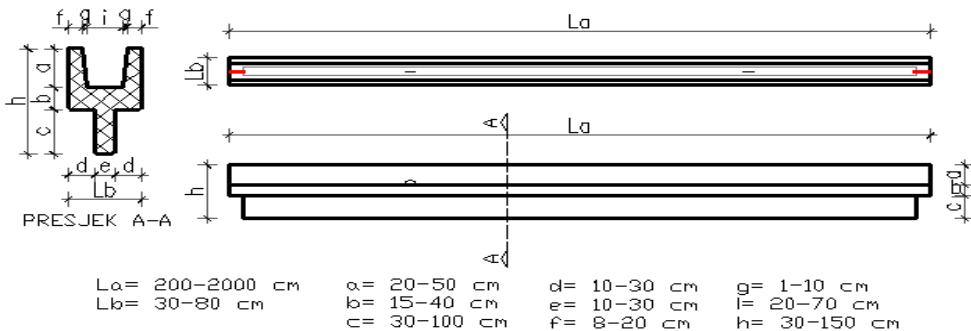
Krovni TL nosači su rubni elementi na krovnoj konstrukciji, koji imaju funkciju sekundarnog nosača, te pored toga služe za odvodnju vode. Dimenzije i oblik poprečnog presjeka ovih elemenata su prikazani su na *Slici 16*.



Slika 16 - Oblik i dimenzije TL nosača [18]

Krovni TU nosači

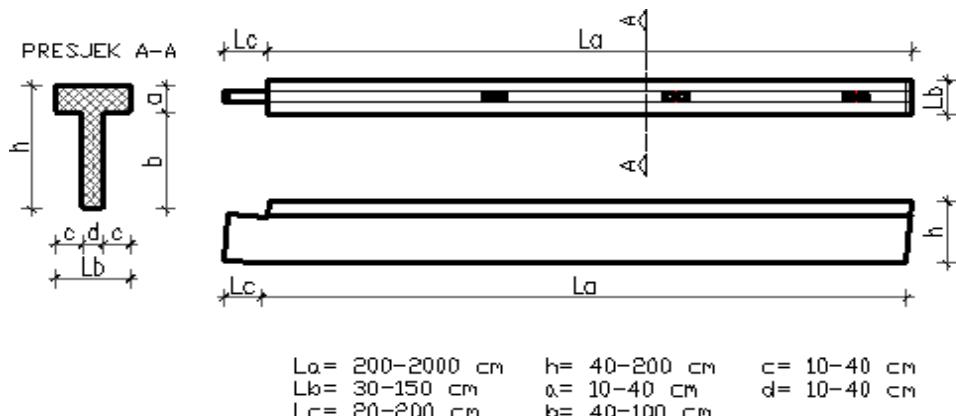
Krovni TU nosači su rubni elementi na krovnoj konstrukciji, koji imaju funkciju sekundarnog nosača, te pored toga takođe služe za odvodnju vode. *Slika 17* prikazuje dimenzije i oblik poprečnog presjeka ovih elemenata.



Slika 17 - Oblik i dimenzije TU nosača [18]

Krovni nosači

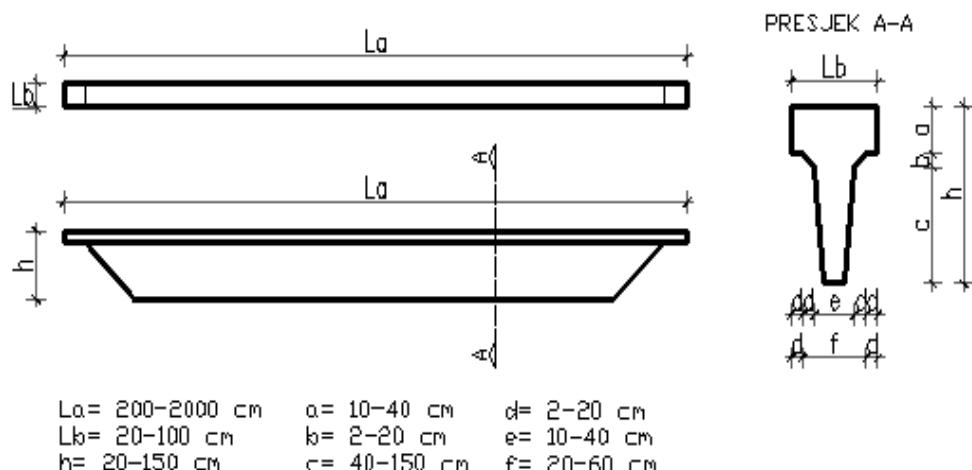
Krovni T nosači su primarni elementi krovne konstrukcije, koji preuzimaju opterećenje od sekundarnih nosača i prenose ga na stubove. Dimenzije i oblik poprečnog presjeka ovih elemenata prikazani su na *Slici 18*.



Slika 18 - Oblik i dimenzije krovnih T nosača [18]

Sekundarni nosači

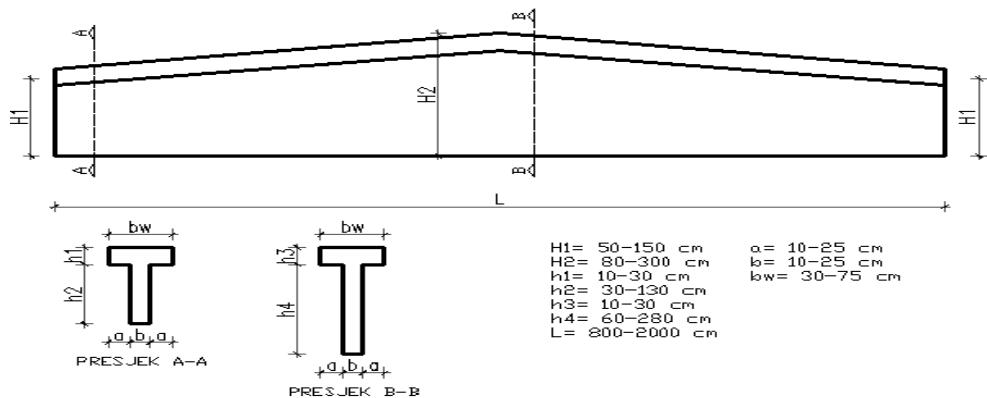
Sekundarni nosači su elementi krovne konstrukcije, koji preuzimaju opterećenje od krovnih panela i prenose ga na primarne nosače. Dimenzije i oblik poprečnog presjeka ovih elemenata dati su na Slici 19.



Slika 19 - Oblik i dimenzije sekundarnih nosača [18]

Krovni TA nosači

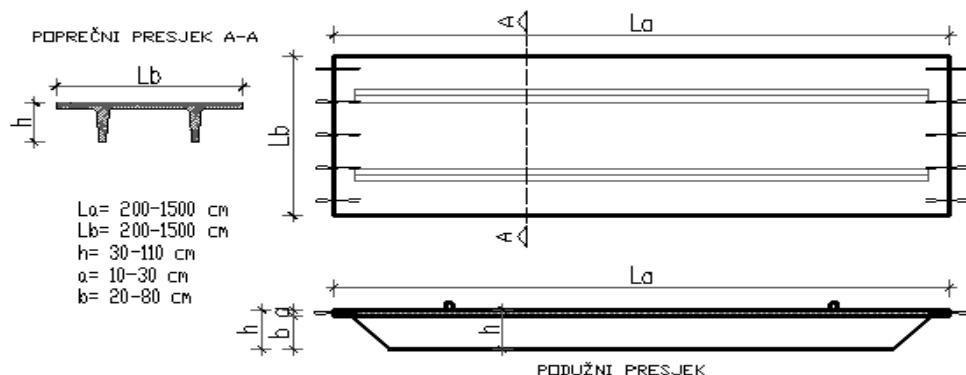
Krovni TA nosači su primarni elementi krovne konstrukcije koji preuzimaju opterećenje od sekundarnih nosača i prenose ga na stubove. Dimenzije i oblik poprečnog presjeka se nalaze na Slici 20.



Slika 20 - Oblik i dimenzije krovnih TA nosača [18]

Međuspratne II – ploče

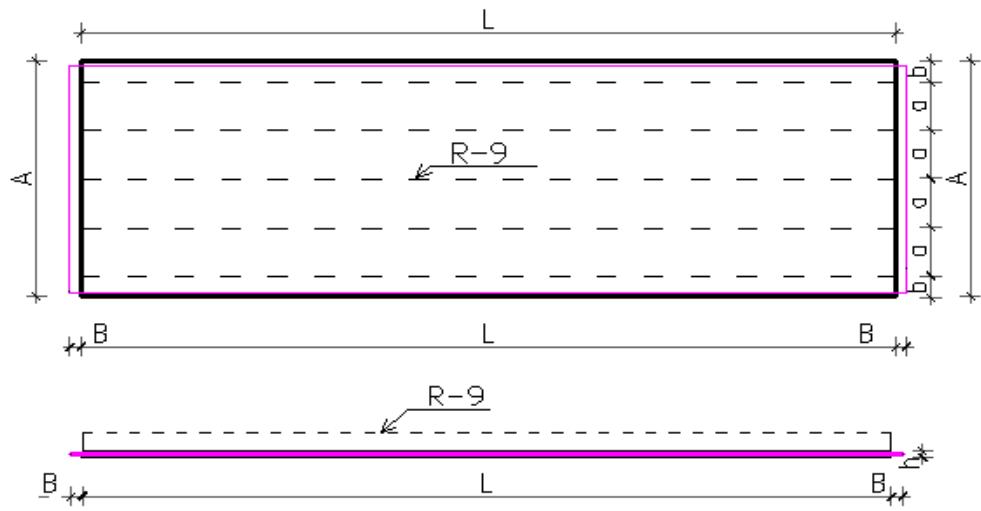
Međuspratne ploče su elementi u montažnim konstrukcijama koji su direktno izloženi vanjskim uticajima, te kao takve preuzimaju različita opterećenja i prenose ga na međuspratne nosače. Slika 21 daje dimenzije i oblik poprečnog presjeka ovih elemenata.



Slika 21 - Oblik i dimenzije međuspratnih π ploče [18]

Međuspratne omnia-ploče

Međuspratne omnia ploče su elementi u montažnim konstrukcijama preko kojih se na licu mjesta betonira dodatni sloj betona (topping), a kao takve su direktno izložene vanjskim uticajima, te preuzimaju različita opterećenja i prenose ih na međuspratne nosače.



$L = 100 - 800 \text{ cm}$
 $A = 100 - 300 \text{ cm}$
 $B = 5 - 30 \text{ cm}$

$a = 20 - 40 \text{ cm}$
 $b = 20 - 40 \text{ cm}$
 $h = 3 - 6 \text{ cm}$

Slika 22 - Oblik i dimenzije međuspratnih omnia ploča [18]

POSTAVLJANJE CE OZNAKE NA BETONSKE PREFABRIKOVANE ELEMENTE PROIZVOĐAČA U BOSNI I HERCEGOVINI

Proizvodni proces linijskih konstrukcijskih elemenata se dijeli na dva podprocesa jer obuhvataju različite aktivnosti:

1. Tok procesa proizvodnje armiranobetonskih montažnih elemenata
2. Tok procesa proizvodnje prednapregnutih montažnih elemenata.

Prije započinjanja svakog procesa prethodi preuzimanje radnih naloga kojima se upućuje data aktivnost. Neki od bitnih postupaka unutar procesa su: oblikovanje armature, čišćenje, pregradivanje, spravljanje svježe betonske mješavine, uzorkovanje betona itd, uz stalne kontrolne i vizuelne preglede.

Tabela 6 - Tok procesa proizvodnje armiranobetonskih montažnih elemenata [23]

Aktivnosti procesa proizvodnje armiranobetonskih montažnih elemenata su:
Preuzimanje radnih naloga
Oblikovanje armature i izrada armaturnog sklopa
Pregled armaturnog sklopa - Kontrolna tačka 1
Vadenje postojećeg elementa iz kalupa (ukoliko postoji)
Čišćenje, pregradivanje i premazivanje kalupa
Postavljanje armaturnog sklopa u kalup
Kontrola pokrovног sloja betona do armature - Kontrolna tačka 2
Izdavanje radioničkog naloga kontroloru betonare
Preuzimanje i vizuelna kontrola svježe betonske mješavine - Kontrolna tačka 3
Izlijevanje betona u kalup (uz vibriranje betona)
Uzorkovanje betona
Njega betona (po potrebi)
Vadenje elementa iz kalupa, te vizuelni pregled istog - Kontrolna tačka 4
Odlaganje elementa na skladište
Predaja elemenata centralnom skladištu

Tabela 7 - Tok procesa proizvodnje prednapregnutih montažnih elemenata [23]

Aktivnosti procesa proizvodnje prednapregnutih montažnih elemenata su:
Preuzimanje radnih nalogu
Oblikovanje armature
Pregled prethodno oblikovane armature - Kontrolna tačka 1
Priprema piste za postavljanje žica za prednaprezanje i armaturnog čelika
Čišćenje, pregradivanje i premazivanje kalupa
Postavljanje jednog dijela armaturnog sklopa
Uvlačenje žica za prednaprezanje
Postavljanje zaštitnih cijevi za relaksaciju kablova
Kontrola postavljene armature i žica za prednaprezanje - Kontrolna tačka 2
I faza utezanja žica za prednaprezanje - Kontrolna tačka 3
Postavljanje preostalog dijela armaturnog sklopa
II faza utezanja žica za prednaprezanje - Kontrolna tačka 4
Zatvaranje oplate
Kontrola pokrovnog sloja betona do armature i žica za prednaprezanje - Kontrolna tačka 5
Izdavanje radioničkog naloga kontroloru betonare
Preuzimanje i vizuelna kontrola svježe betonske mješavine - Kontrolna tačka 6
Izlijevanje betona u oplatu na pisti (uz vibriranje betona)
Uzorkovanje betona
Njega betona (po potrebi)
Ispitivanje prethodno uzorkovanih betonskih tijela
Otpuštanje sile prenaprezanja (prekid) žica za prednaprezanje - Kontrolna tačka 7
Odlaganje elemenata sa piste na skladište (prema rezultatima iz laboratorije)
Vizuelni pregled elementa - Kontrolna tačka 8
Predaja elemenata centralnom skladištu

Na *Slici 23* prikazana je proizvodnja armiranobetonског stuba u preduzeću Grupex d.d. Velika Kladuša.



Slika 23 - Proizvodnja armiranbetonskog stuba

Da bi se linijski nosač plasirao na tržište EU, proizvođač mora da sastavi tehničku dokumentaciju. Dokumentacija treba da sadrži sve informacije koje se odnose na fazu dizajna i fazu proizvodnje linijskih nosača.

Preporučuje se da tehnička dokumentacija, sadrži sljedeća navedena poglavlja:

- Opis proizvoda/familije proizvoda,
- Lista za provjeru esencijalnih zahtjeva svih primjenjivih direktiva,
- Analiza rizika - lista kritičnih komponenti,
- Lista primjenjenih standarda,
- Nadzor nad tržištem,
- Uputstva za upotrebu/montažu,
- Označavanje,
- Pakovanje/Materijal za pakovanje,
- Izvještaji o ispitivanjima,
- Podaci vezani za sigurnost sirovina/materijala/komponenti,

- Lista dijelova /Crteži/ Slike,
- Validacija pakovanja,
- Rezultati proračuna,
- Standardne radne procedure / Radne instrukcije/ Ispitne procedure za proizvodnju / Pravilnik fabričke kontrole proizvodnje,
- Certifikat o početnom ispitivanju tipa /Potvrda notificiranog tijela,
- Ostali certifikati (Certifikat upravljanja kvalitetom, certifikat okolinskog upravljanja, zaštite na radu itd.),
- Relevantni prilozi.

U skladu sa evropskom legislativom preporučeno je da se ista čuva deset godina od proizvodnje zadnjeg proizvoda.

Shodno Regulativi o gradevinskim proizvodima, postoje dvije “rute” za dokazivanje usklađenosti sa relevantnim zahtjevima:

- obavezujuća CEN² ruta (put),
- neobavezujuća EOTA³ ruta.

Ukoliko je proizvod koji se želi plasirati na tržište Evropske unije obuhvaćen harmoniziranim evropskim standardom, čije su reference objavljene u Službenom glasniku Evropske Unije, onda se za dokazivanje usklađenosti koristi tzv. CEN ruta, i to je slučaj sa linijskim konstrukcijskim elementima (BAS EN 13225:2013 - Prefabrikovani betonski proizvodi-Linijski konstrukcijski elementi).

Ukoliko proizvod nije obuhvaćen sa evropskim harmoniziranim standardom, onda proizvođač može dobrovoljno označiti svoj proizvod CE znakom, ali prvo treba provjeriti da li je isti obuhvaćen sa postojećim evropskim dokumentom za ocjenjivanje.

Ukoliko proizvod i njegova namjenjena primjena nisu u djelokrugu jednog evropskog dokumenta za ocjenjivanje, onda proizvođač može zahtjevati od tijela za ocjenjivanje usklađenosti da razvije evropski dokument za ocjenjivanje, i u tom slučaju procedura ocjenjivanja usklađenosti traje znatno duže. (vidjeti *Sliku 25*)

² Evropski komitet za standardizaciju (European Committee for Standardization – CEN)

³ European Organisation for Technical Assessment

Komunikacija Komisije u okviru provedbe Uredbe (EU) br. 305/2011 Europskog parlamenta i Vijeća o utvrđivanju uskladijenih uvjeta za stavljanje na tržište građevnih proizvoda i stavljanju izvan snage Direktive Vijeća 89/106/EEZ

(Objava naslova uskladijenih normi i upućivanja na njih u okviru zakonodavstva Unije o uskladijanju)

(Tekst značajan za EGP)

(2016/C 209/03)

Odredbe Uredbe (EU) br. 305/2011 imaju prednost u odnosu na moguće proturječne odredbe u uskladjenim normama.

ESO ⁽¹⁾	Referentni broj i naslov norme (i referentni dokument)	Referentni broj zamijenjene norme	Datum početka primjene norme kao uskladene norme	Datum završetka razdoblja istodobnog postojanja
--------------------	---	--------------------------------------	--	---

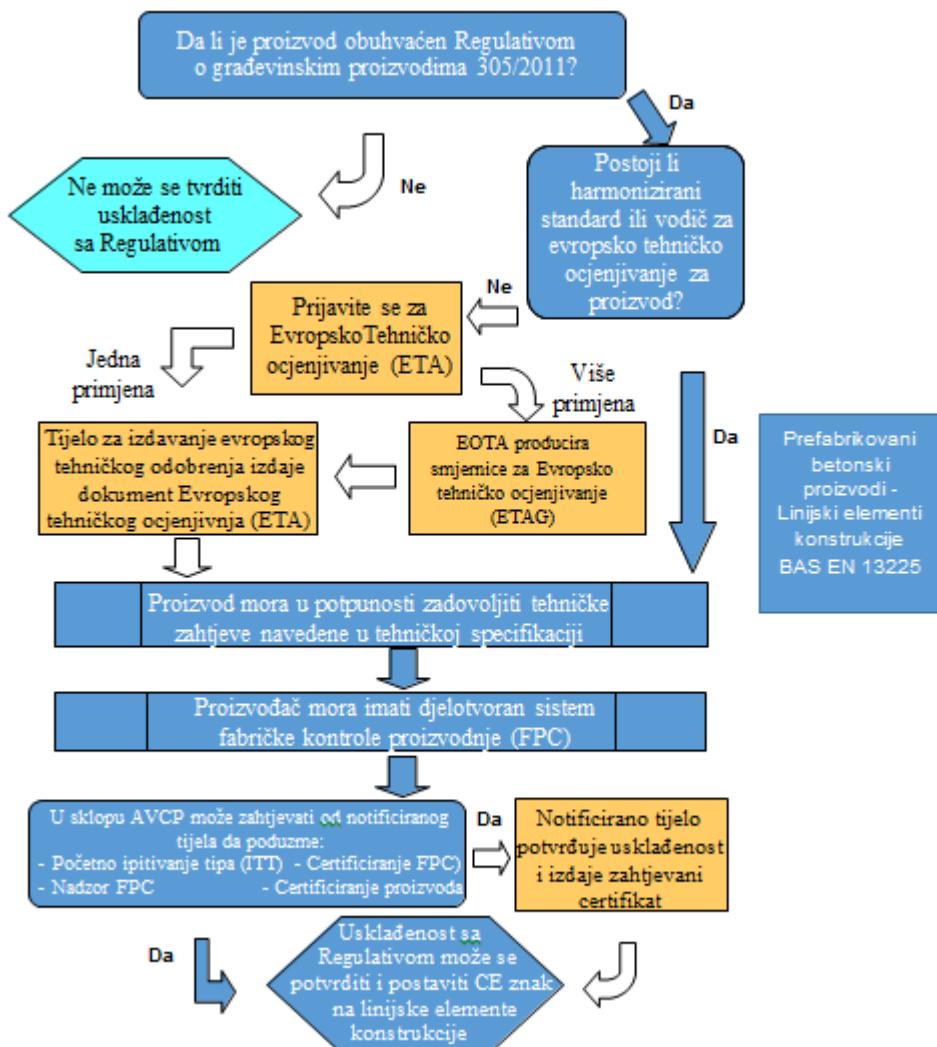
Slika 24 - Službeni list Evropske unije [18]

Za razliku od drugih direktiva novog pristupa za koje je potrebno CE označavanje, procedura ocjenjivanja uskladenosti (modul A, modul B, itd.), u regulative o građevinskim proizvodima 305/2011 označavaju se oznakom AVCP (1, 1+, 2+, 3, 4) kako je prikazano u Tabeli 7.

CEN	EN 13224:2011 Predgotovljeni betonski proizvodi – Rebrasti stropni elementi	EN 13224:2004 +A1:2007	1.8.2012.	Datum je istekao (1.8.2013.)
CEN	EN 13225:2013 Predgotovljeni betonski proizvodi – Linijski konstrukcijski elementi	EN 13225:2004	8.8.2014.	Datum je istekao (8.8.2015.)
CEN	EN 13229:2001 Kamini za ugradnju i otvoreni kamini na kruta goriva – Zahtjevi i metode ispitivanja		1.7.2005.	Datum je istekao (1.7.2007.)

Slika 25 - Lista harmoniziranih standarda [28]

Ocjenvivanje uskladenosti izvodi se definisanjem vrijednosti liste karakteristika (svojstava) koje se zovu "esencijalne karakteristike". Cjelokupna lista karakteristika može se pronaći u aneksu ZA evropskog harmoniziranog standarda BAS EN 13225:2013.



Slika 26 - Procedura ocjenivanja usklađenosti

AVCP (Atestation and Verification of Constancy Performances) sistem u nekim slučajevima zahtjeva uključivanje notificiranih tijela. U Tabeli 9, u zavisnosti od odabranog AVCP sistema mogu se vidjeti zadaci koje proizvođač i notificirano tijelo moraju uraditi.

Odarbani Sistem za atestaciju i verifikaciju stalnosti svojstava (AVCP) Prefabrikovanih betonskih proizvoda - Linijskih konstrukcijskih elemenata je prikazan u Tabeli 10.

Ocenjivanje usklađenosti prefabrikovanih betonskih proizvoda - Linijskih konstrukcijskih elemenata za esencijalne karakteristike navedene u Tabeli 8, bazira se

na proceduri za ocjenjivanje usklađenosti navedenoj u *Tabeli 11*, primjenom odredbe evropskog harmoniziranog standarda BAS EN 13225.

*Tabela 8 - Relevantne odredbe za linearne elemente (ZA1)*⁴

Esencijalne karakteristike		Odredba u ovom standardu	Nivoi i/ili klase	Napomene i jedinice
Čvrstoća na pritisak betona	Sve metode	4.2 Zahtjevi za proizvodnju	Nijedan	N/mm ²
Čvrstoća na zatezanje i granica razvlačenja (čelika)	Sve metode	4.1.3 Čelik za armiranje 4.1.4 Prednapregnuti čelik EN 13369:2013	Nijedan	N/mm ²
Mehanička otpornost	Metod 1	Informacije navedene u ZA 3.2	Nijedan	Geometrija i materijali
	Metod 2	4.3.3 Mehanička otpornost 4.2.3.2.1 Početni naponi zatezanja EN 13369:2013 4.2.3.2.4 Klizanje kablova za prednaprezanje EN 13369:2013	Nijedan	kNm, kN, kN/m N/mm ² mm
	Metod 3	4.3.3 Mehanička otpornost 4.2.3.2.1 Početni naponi zatezanja EN 13369:2013 4.2.3.2.4 Klizanje kablova za prednaprezanje EN 13369:2013	Nijedan	Specifikacije dizajna
Otpornost na požar (za kriterij nosivosti R)	Metod 1	Informacije navedene u ZA 3.2	R	Geometrija i materijali
	Metod 2	4.2.4.1 Otpornost na požar	R	Min
	Metod 3	4.2.4.1 Otpornost na požar	R	Specifikacije dizajna
Opasne supstance	Sve metode	4.3.9 Opasne supstance	Nijedan	
Otpornost na koroziju	Sve metode	4.3.7 Izdržljivost	Nijedan	Ambijentalni uslovi
Pojedinosti	Sve metode	4.3.1 Geometrijska svojstva 8. Tehnička dokumentacija	Nijedan	Mm /

⁴ Prevod iz EN 13225

Tabela 9 - Sistem za atestaciju i verifikaciju stalnosti svojstava [5]

AVCP sistemi	Certificiranje usklađenosti proizvoda	Certificiranje usklađenosti FPC	Deklaracija o usklađenosti	Početno ispitivanje tipa	Fabrička kontrola proizvodnje (FPC)	Ispitivanje uzorka prema propisanom ispitnom planu	Audit u fabričili ili na licu mjesata	Početna inspekcija fabrike i FPC	Kontinuirani nadzor FPC
	Notificirano tijelo	Notificirano tijelo	Proizvođač	Proizvođač ili Notificirano tijelo	Proizvođač	Proizvođač	Notificirano tijelo	Notificirano tijelo	Notificirano tijelo
1+	X		X	Notificirano tijelo	X	X	X	X	X
1	X		X	Notificirano tijelo	X	X		X	X
2+		X	X	Proizvođač	X	X		X	X
3			X	Notificirano tijelo	X				
4			X	Proizvođač	X				

Tabela 10 - Sistem atestiranja usklađenosti (ZA 2)⁵

Proizvod(i)	Namijenjena primjena	Nivo(i) ili klasa(e)	Sistem(i) atestiranja usklađenosti
Linijski konstrukcijski elementi	Konstrukcije	-	2+
Sistem 2+: Vidjeti direktivu 89/106 (CPD) Aneks III-2(ii) Prva mogućnost, uključujući certificiranje fabričke kontrole proizvodnje od strane ovlaštenog tijela na osnovu početne inspekcije fabrike kao i kontinuiranog nadzora, ocjenjivanje i odobrenje fabričke kontrole proizvodnje.			

Iz Tabele 11, vidi se da proizvođač mora napraviti:

- početno ispitivanje tipa,
- uspostaviti i implementirati sistem fabričke kontrole proizvodnje,
- provoditi kontinuirana ispitivanja na uzorcima uzetim u tvornici, dok odabrano notificirano tijelo provodi:
 - početnu inspekciju tvornice i provjeru sistema fabričke kontrole proizvodnje,
 - kontinuirani nadzor, ocjenjivanje i odobravanje sistema fabričke kontrole proizvodnje.

⁵ Prijevod iz EN 13225

Tabela 11 - Raspodjela zadataka ocjenjivanja usklađenosti za linijske konstrukcijske elemente u sistemu 2+ (ZA 3) [23]

Zadatak		Sadržaj zadatka	Primjenjive odredbe ocjenjivanja usklađenosti
Zadaci za koje je odgovoran proizvođač	Početno ispitivanje tipa ^a	Sve karakteristike navedene u Tabeli ZA.1	6.2
	Fabrička kontrola proizvodnje	Parametri koji se odnose na sve karakteristike navedene u Tabeli ZA.1	6.3
	Daljnje ispitivanje uzoraka uzetih iz fabrike	Sve karakteristike navedene u Tabeli ZA.1	6.3
Zadaci za koje je odgovorno tijelo za certificiranje fabričke kontrole proizvodnje	Inicijalna inspekcija fabrike i fabričke kontrole proizvodnje ^b	Parametri koji se odnose na EC navedeni u Tabeli ZA.1, relevantni za namijenjenu primjenu koji su poimenično deklarirani: Čvrstoća na pritisak betona; Čvrstoća na zatezanje i granica razvlačenja; Mehanička otpornost ^c ; Pojedinosti; Izdržljivost; Otpornost na požar R ^c	6.3
	Kontinuirani nadzor ocjenjivanje i odobravanje fabričke kontrole proizvodnje	Parametri koji se odnose na EC navedeni u Tabeli ZA.1, relevantni za namijenjenu primjenu koji su poimenično deklarirani: Čvrstoća na pritisak betona; Čvrstoća na zatezanje i granica razvlačenja; Mehanička otpornost ^c ; Pojedinosti; Izdržljivost; Otpornost na požar R ^c	6.3

^a Početno ispitivanje tipa (ITT) obuhvata kalkulaciju i/ili ispitivanje. Početno ispitivanja tipa kalkulacijom ne zahtijeva se kada se koristi metoda 1 i 3_a.

^b Obuhvata ocjenjivanje sistema fabričke kontrole proizvodnje, sadržaj dokumentiranih procedura koje se odnose na ITT (kalkulacijom i/ili ispitivanjem) i da se ove procedure slijede. Reference na ITT za mehaničku otpornost i otpornost na požar (kada se ocjenjuju kalkulacijom) mogu se izostaviti kada se primjenjuju metode 1 i 3_a.

^c Samo za metode 2 i 3_b.

Svrha početnog ispitivanja tipa je demonstriranje da proizvod zadovoljava specificirane zahtjeve. Početno ispitivanje tipa može biti:

- fizičko ispitivanje tipa - sastoji se u podnošenju reprezentativnog uzorka na laboratorijska ispitivanja,
- proračun - gdje se putem proračuna dokazuju relevantna svojstva proizvoda dobivena proračunskim putem, u slučajevima da je proizvod dizajniran u skladu sa EN 1992-1-1 ili standard za proizvod sa uobičajnim metodama dizajniranja ili u slučaju dokumentiranog dugoročnog iskustva ne zahtjeva se fizičko ispitivanje proizvoda, u ostalim slučajevima fizičko ispitivanje proizvoda se izvodi da bi se verificirala pouzdanost metode dizajniranja,
- kombinacija proračuna i ispitivanja. [24]

Ukoliko proizvođač ima pristup odgovarajućoj kalibrисаној ispitnoj opremi, fizičko ispitivanje tipa se može izvesti sa ovom opremom.

Proizvod se ne smije staviti na tržište ukoliko rezultati dobiveni nakon početnog ispitivanja tipa ne pokažu da je isti uskladen sa zahtjevima propisanim relevantnim standardom. Početno ispitivanje tipa se mora izvesti ukoliko dođe do promjene u dizajnu proizvoda, sastavu betona, vrsti čelika, metodu proizvodnje ili drugim modifikacijama koje značajno mogu uticati na svojstva proizvoda.

Proizvođač mora uspostaviti dokumentirati, održavati i implementirati sistem fabričke kontrole proizvodnje, kako bi osigurao da proizvod plasiran na tržište zadovoljava zahtjeve standarda BAS EN 13225 i da je uskladen sa specificiranim i deklarisanim vrijednostima definisanim tehničkom dokumentacijom.

Za proizvođača koji ima uspostavljen i implementiran sistem upravljanja kvalitetom u skladu sa standardom BAS EN ISO 9001:2015 i koji uzme u obzir specifične zahtjeve standarda za proizvod BAS EN 13225, smatra se da zadovoljava zahtjeve sistema fabričke kontrole proizvodnje.

Sistem fabričke kontrole proizvodnje mora definisati kompetencije, ovlašćenja i odgovornosti osoblja uključenog u sistem fabričke kontrole. Sistem fabričke kontrole proizvodnje sastoje se od priručnika fabričke kontrole proizvodnje, procedura, uputstava i drugih elemenata kojima je obrazložen prijem ulaznih sirovina, proizvodni proces, kontrola tokom procesa proizvodnje, kao i kontrola gotovih proizvoda.

Proizvođač mora u okviru svog proizvodnog procesa utvrditi elemente, koje mogu uticati na uskladenost proizvoda sa zahtjevanim tehničkim specifikacijama. Proizvođač mora planirati proizvodni proces na način da je gotov proizvod uskladen sa zahtjevima standarda za proizvod BAS EN 13225.

U okviru sistema fabričke kontrole proizvodnje proizvođač mora odrediti ili utvrditi inspekciju/kontrolu opreme osnovnih sirovina drugih ulaznih komponenti proizvodnog procesa, kao i gotovih proizvoda. Učestalost ovih inspekcija se definira na takav način da postoji trajna usklađenost sa specificiranim zahtjevima.

Primjer inspekcije opreme dat je u *Tabeli 12.*

*Tabela 12 - Inspekcija/kontrola opreme (D1)*⁶

	PREDMET	METOD	SVRHA	UČESTALOST
D1.1 Ispitna i mjerna oprema				
1	Oprema za ispitivanje čvrstoće			
2	Utezi i vase	Osim kao što je navedeno u ispitnoj metodi, kalibracija sa opremom koja je kalibrirana prema nacionalnim specifikacijama i koristi se ekskluzivno za te svrhe	Ispravno funkcioniranje i tačnost	Nakon ponovne montaže ili nakon velikih popravki Jedanput godišnje
3	Oprema za dimenzionalna mjerena			
4	Oprema za mjerjenje temperature i relativne vlažnosti			
D1.2 Oprema za skladištenje i proizvodna oprema				
1	Skladištenje materijala	Vizuelna inspekcija ili drugi odgovarajući metod	Odsustvo kontaminacije	Nakon montaže Sedmično
2		Vizuelna inspekcija	Ispravno funkcioniranje i čistoća	Dnevno
3	Utezi, vase i oprema za zapreminske doziranje	Kalibracija sa opremom koja je kalibrirana prema nacionalnim specifikacijama i koristi se ekskluzivno za te svrhe		Nakon ponovne montaže ili nakon velikih popravki Utezi i vase - jedanput godišnje Oprema za volumetrijsko zapreminske – dvaput godišnje

⁶ Prevod iz EN 13225

Žalba kupca na isporučeni proizvod, kao i rezultati ispitivanja tokom fabričke kontrole proizvodnje mogu ukazati da isti nije u skladu sa specificiranim zahtjevima. Proizvođač mora poduzeti sve potrebne mjere za eliminisanje neusklađenosti. Te mjere moraju biti dokumentirane i pokazati da li je finalni proizvod prihvativljiv ili nezadovoljavajući (odbaciti) ili se može deklasificirati (plasirati na tržiste u nižoj klasi).

Procedura koja se bavi sa neusklađenostima proizvodima i žalbama koje se odnose na specificirana svojstva, kao i poduzete korektivne mjere za eliminaciju neusklađenosti se moraju dokumentirati.

Notificirana tijela izvode ocjenjivanje usklađenosti (treća strana), a za njihovu notifikaciju Evropskoj komisiji odgovorne su države članice EU. Notificirana tijela moraju biti kompetentna (stručna) za izvođenje ocjenjivanja usklađenosti. Njihova kompetentnost je predmet nadzora od strane nacionalnih instituta za akreditaciju država članica.

Također moraju biti neovisna, nepristrasna i poštena. Ukoliko ne ispunjavaju zahtjeve za koje su notificirana, država članica povlači njihovu notifikaciju. Notificirana tijela rade na tržišnom principu, tako da proizvođač bira sa liste notificiranih tijela ono tijelo koje je najrelevantnije za njega, a presudjujući faktor za odabir tijela u većini slučajeva predstavlja cijena i jezik korespondencije. Lista notificiranih tijela objavljuje se u Službenom glasniku EU. Do danas u EU postoji oko 1700 notificiranih tijela za sve direktive Novog pristupa za koje je potrebno CE označavanje.

Primjer liste notificiranih tijela za proizvode obuhvaćene Regulativom o građevinskim proizvodima 305/2011, dat je na *Slici 27*.

LISTA TIJELA NOTIFICIRANIH PREMA DIREKTIVI: Uredba 305/2011 – Građevinski proizvodi

Naziv i adresa notificiranog tijela	Identifikacijski broj	Odluka	Familija proizvoda, proizvod namijenjena primjena	AVCP i funkcija tijela	Tehnička specifikacija
AIB-VINÇOTTE INTERNATIONA L S.A. Business Class Kantorenpark Jan Olieslagerslaan , 35 1800 Vilvoorde Belgium	0026	98/214/EC	Konstrukcijski metalni proizvodi i pomoćni (2/4): - Metalni konstrukcijski elementi: gotovi metalni proizvodi kao rešetke, nosači, stubovi, stepeništa, temeljni šipovi, noseći stubovi i talpe sjećene na veličinu sekcije za određene primjene i šine i pragovi. Oni mogu biti nezaštićeni i zaštićeni prevlakom protiv korozije, zavareni ili ne. (za upotrebu u okvirnim konstrukcijama i temeljima),	FPC certifikacijsko tijelo (Sistem 2+)	EN 1090-1:2009+A1:2011
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH Am Grauen Stein D-51105 Köln Germany	0035	98/214/EC	Konstrukcijski metalni proizvodi i pomoćni (1/4): Konstrukcijske metalne profili: vruće valjani, hladno oblikovani ili drugačije proizvedeni profili različitih oblika (T, L, H, U, Z, I, kanali, uglovi, šupljine, cijevi, ravnii proizvodi (ploče, limovi, trake), šipke, odlivci, otkivci napravljeni od različitih metalnih materijala nezaštićeni ili zaštićeni prevlakom protiv korozije (za upotrebu u metalnim konstrukcijama ili spregnutim konstrukcijama od metala i betona).	FPC certifikacijsko tijelo (Sistem 2+)	EN 10025-1:2004 EN 10088-4:2009 EN 10088-5:2009 EN 10210-1:2006 EN 10219-1:2006 EN 10340:2007 EN 10340:2007/AC:2008 EN 10340:2007/AC:2008 EN 10343:2009 EN 15088:2005
		98/214/EC	Konstrukcijski metalni proizvodi i pomoćni (2/4): - metalni konstrukcijski elementi: gotovi metalni proizvodi kao rešetke, nosači, stubovi, stepeništa, temeljni šipovi, noseći stubovi i talpe sjećene na veličinu sekcije za određene primjene i šine i pragovi. Oni mogu biti nezaštićeni i zaštićeni prevlakom protiv korozije, zavareni ili ne. (za upotrebu u okvirnim konstrukcijama i temeljima),	FPC certifikacijsko tijelo (Sistem 2+)	EN 1090-1:2009+A1:2011 EN 1090-1:2009/AC:2010 EN 1090-1:2009+A1:2011 EN 1090-1:2009+A1:2011
		98/214/EC	Konstrukcijski metalni proizvodi i pomoćni (3/4): Zavareni materijali (za upotrebu u konstrukterskim metalnim radovima)	FPC certifikacijsko tijelo (Sistem 2+)	EN 13479:2004
TÜV SÜD Industrie Service GmbH Westendstraße 199 80686 München Germany	0035	95/467/EC	Dimnjaci i specifični proizvodi (1/1): Prefabrikovani dimnjaci (elementi visine kata), linearni elementi dimnjaka (elementi ili blokovi) dimnjaci sa više omotača (elementi ili blokovi, dimnjaci sa jednom stjenkom.	FPC certifikacijsko tijelo (Sistem 2+)	EN 1457-1:2012EN 1457-2:2012 EN 1806:2006EN 1856-1:2009 EN 1856-2:2009EN 1857:2010 EN 1858:2008+A1:2011EN 12446:2011 EN 13063-1:2005+A1:2007 EN 13063-2:2005+A1:2007 EN 13063-3:2007 EN 13069:2005EN 13084-5:2005 EN 13084-5:2005/AC:2006 EN 13084-7:2012 EN 13084-7:2005/AC:2009 EN 13084-7:2012EN 13084-7:2012

Slika 27 - Lista notificiranih tijela za građevinske proizvode [28]

Nakon provedene procedure o ocjenivanju usklađenosti, proizvođač mora sastaviti deklaraciju o svojstvima. Model deklaracije o svojstvima dat je u Regulativi o građevinskim proizvodima br. 305/2011.

Primjer deklaracije o svojstvima za prefabrikovane betonske proizvode - linijske konstrukcijske elemente je dat na *Slici 28*.

Izjava o svojstvima:	(4) Naziv preduzeća Adresa preduzeća LOGO preduzeća			
Broj: Tip proizvoda: Prefabrikovani betonski proizvodi-Linijski konstrukcijski elementi	1) Identifikacijska oznaka: 2) Tip, serijski broj: 3) Namjeravana upotreba: 5) Ovlašteni predstavnik: Naziv i adresu ovlaštenog predstavnika ukoliko da ima 6) Ocjenjivanje i provjera stalnosti svojstava : Sistem 2+ 7) Notificirano tijelo: 8) Evropska tehnička ocjena: 9) Objavljena svojstva:			
Beton	Cvrstota na pritisak f_{ck} [N/mm ²] Celik za prednaprezanje Cvrstota istezanja f_{ik} [N/mm ²] Cvrstota popuštanja f_{yk} [N/mm ²]			
10) svojstva proizvoda su u skladu sa gornjom specifikacijom Ova izjava o svojstvima objavljena je pod isključivom odgovornošću proizvođača identificiranog u tački 4. Za proizvođača i u njegovo ime potpisao: (ime i funkcija) (mjesto i datum izdavanja)				BAS EN 13225-2013
				(potpis)

Slika 28 - Primjer EC deklaracije [27]

Proizvođač može naljepnicu CE oznake postaviti prema tri metode. Prema prvoj metodi, naljepnica CE oznake treba da sadrži sljedeće informacije:

- Identifikacijski broj notificiranog tijela,

- Naziv i adresu proizvođača (LOGO),
- Zadnje dvije cifre godine, kada je postavljena CE oznaka,
- Broj certifikata fabričke kontrole proizvodnje,
- Reference standarda za proizvod sa datumima verzije,
- Opis proizvoda - generičko ime i namjenjena primjena,
- Informacije o relevantnim esecijalnim karakteristikama/svojstva proizvoda. [23]

Preduzeće može da koristi pojednostavljenu CE oznaku. Tada CE oznaka treba da izgleda kao na *Slici 29.*



Slika 29 - Primjer pojednostavljene CE oznake [23]

Ukoliko se na naljepnici prikazuju geometrijski podaci i karakteristike materijala, naljepnica treba da izgleda kao što prikazano na *Slikama 30 i 31.*

Skica na naljepnici može biti ispuštena ukoliko su ekvivalentne informacije raspoložive u tehničkom listu.

Pored metode 1 naljepnice CE oznake, postoje još dvije metode koje određuju šta naljepnica treba da sadrži. Ove dvije metode su opisane u aneksu ZA standarda EN 13225:2013.



0035

Grupex d.d
Muslimanske brigade bb
Velika Kladuša
Bosna i Hercegovina
15
0123-CPR-456IGH

BAS EN 13225:2013

Prefabrikovani betonski proizvod-Linijski konstrukcijski element

Namjena: stub za konstrukcije

Beton:

Čvrstoća na pritisak $f_{ck} =$ [N/mm²]

Armatsurni čelik: $f_{tk} =$ [N/mm²]

Granična čvrstoća na zatezanje $f_{yk} =$ [N/mm²]

Čvrstoća (čelika) na razvlačenje



Serijski broj: C0

Tip 400*400*10 000

Za detaljnije tehničke informacije pogledati tehnički list.

Slika 30 - Primjer CE oznake prema metodi 1, za stubove [23]



0035

Grupex d.d
Muslimanske brigade bb
Velika Kladuša
Bosna i Hercegovina
15
0123-CPR-456IGH

BAS EN 13225:2013

Prefabrikovani betonski proizvod - Linijski konstrukcijski element

Namjena: greda za konstrukcije

Beton:

Čvrstoća na pritisak $f_{ck} =$ [N/mm²]

Armturni čelik:

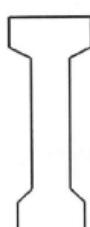
Granična čvrstoća na zatezanje $f_{tk} =$ [N/mm²]

Čvrstoća (čelika) na razvlačenje $f_{yk} =$ [N/mm²]

Prednaprezanje čelika

Granična čvrstoća na zatezanje $f_{pk} =$ [N/mm²]

Napon koji izaziva plastičnu deformaciju pri zatezaju od 0.1% $f_{p0.1k} =$ [N/mm²]



Serija IB
Tip 1 200 12 000

Za detaljnije tehničke informacije pogledati tehnički list.

Slika 31 - Primjer CE oznake prema metodi 1, za grede [23]

ZAKLJUČAK

Godišnji promet proizvoda sa CE znakom na tržištu EU je oko 1500 milijardi eura. Prema nekim neslužbenim procjenama, BiH izvozi na tržište EU proizvode sa CE znakom u vrijednosti od oko 15 miliona eura. Ovi brojčani parametri su najbolji pokazatelj u kom pravcu vlasti na svim nivoima u BiH moraju djelovati - ubrzati proces preuzimanja i usklađivanja zakonodavstva, jačati elemente infrastrukture kvaliteta za prioritetne oblasti kako bi privredni subjekti iz BiH mogli dobiti usluge po prihvatljivim cijenama.

Proces preuzimanja Evropskog tehničkog zakonodavstva u Bosni i Hercegovini odvija se u skladu sa odlukom Vijeća ministara o planu realizacije programa preuzimanja tehničkih propisa. Ovom odlukom su pojedina resorna ministarstva zadužena za preuzimanje relevantnih direktiva. Neke direktive su preuzete u Bosni i Hercegovini u zakodavni okvir u formi "naredbi".

Za preuzimanje evropske regulative o građevinskim proizvodima CPR 305/2011 prema navedenoj odluci zaduženo je Ministarstvo prometa i komunikacija BiH. Po ovom pitanju, na nivou resornog ministarstva do sada nije urađeno praktično ništa. Ova oblast u Bosni i Hercegovini uređena je zakonima na entitetskim nivoima, zakonima o građevinskim proizvodima FBiH i RS i nizom pravilnika.

Regulativa o građevinskim proizvodima br. 305/2011 nije preuzeta u zakonodavstvo Bosne i Hercegovine. Ulaskom Hrvatske u EU, proizvođači građevinskih proizvoda iz BiH moraju da zadovolje evropsku legislativu, odnosno Uredbu o građevinskim proizvodima, da bi iste mogli plasirati na tržište Hrvatske. Zbog postojećeg potencijala, Hrvatska predstavlja veoma interesantno tržište za bosanskohercegovačke proizvođače građevinskih proizvoda. Nažalost, BiH nije preuzela Regulativu o građevinskim proizvodima po tom osnovu, pa privreda BiH trpi velike štete.

Iako preuzimanje "acquis" (cjelukupnog pravnog naslijeda EU) znači preuzimanje oko 100 000 stranica propisa EU, pomoći i podrška Evropske komisije je tako dobro osmišljena, da i najmanje zemlje taj posao mogu efikasno provesti, ukoliko u tim zemljama postoji dobra volja i čvrsto opredjeljenje da se to uradi.

Da bi se građevinski proizvod iz BiH izvezao u Hrvatsku, odnosno u EU, isti mora imati CE oznaku i mora biti usklađen sa zahtjevima Regulative o građevinskim proizvodima. Da bi se taj isti proizvod plasirao, na tržišta FBiH i RS, on mora biti usklađen sa važećom legislativom u FBiH i RS. Ovdje treba istaći da postojeći zakonodavni okviri FBiH i RS sadrže dosta elemenata iz Direktive o građevinskim proizvodima 89/106/EC, koja je u EU stavljena van snage. Na taj način se kreiraju

dodatne tehničke barijere u trgovini za privredne subjekte iz BiH, jer se proizvodi moraju uskladiti sa važećim regulatornim okvirima na nivou entiteta. Ti proizvodi u FBiH moraju imati "E" oznaku, a proizvođači moraju provesti procedure ocjenjivanja usklađenosti slične onima propisanim evropskom legislativom, koristeći usluge ovlaštenih entitetskih tijela. Te usluge predstavljaju dodatne troškove za proizvođače. Da je BiH preuzeila Regulativu o građevinskim proizvodima uz istovremeno jačanje kapaciteta pomenutih tijela, proces plasmana proizvoda na navedena tržišta bio bi puno jednostavniji i u većini slučajeva jeftiniji za proizvođača.

CE oznaka je "pasoš za proizvod" da bi isti ušao na tržište EU, te govori da taj proizvod zadovoljava minimalne sigurnosne zahtjeve, koje je propisao zakonodavac. Međutim, da li će taj proizvod biti prihvaćen, zavisi od niza drugih faktora, kao što su atraktivnost proizvoda (da li su u proizvod ugrađeni rezultati relevantnih istraživanja i razvoja tehnologija), cijena, vrijeme isporuke istog, itd. Istraživanje i razvoj tehnologija je glavni razlog zašto su na svjetskom tržištu najuspješnije one zemlje koje najviše ulažu u istraživanje i razvoj. Ukoliko BiH i dalje nastavi ulagati oko 0,5% bruto društvenog proizvoda u istraživanje i razvoj, ona će i dalje, na žalost, najviše izvoziti sirovine i poluproizvode.

LITERATURA

- [1] Bajramović E, Puškar J, 2015. "Implementacija Uredbe (EU) 305/2011 o građevinskim proizvodima na nivou firme I-CRNI doo," Međunarodna naučna konferencija o proizvodnom inženjerstvu - RIM, Dubrovnik, Hrvatska;
- [2] Bajramović E, 2015. "Procedure preuzimanja direktiva Novog pristupa u zakonodavstvo Bosne i Hercegovine", 8. Naučna konferencija "Studenti u susret nauci" - StES, Banja Luka, Bosna i Hercegovina;
- [3] Bajramović E, Džidić S, 2017. "Application of CPR 305/2011 to Precast Concrete Elements", Book of Proceedings, 5th International Conference "Contemporary Achievements in Civil Engineering", Faculty of Civil Engineering Subotica of the University of Novi Sad, April 21, 2017, ISBN 978-86-80297-68-2, UDK: 624.012.36:006.44, DOI:10.14415/konferencijaGFS2017.047, pp 451-459, Subotica, Serbia;
- [4] Bijelić D, 2012. "Vodić za CE oznaku", Banja Luka, Bosna i Hercegovina;
- [5] Bijela knjiga EU, "Slobodan protok i sigurnost industrijskih proizvoda", TIM KNOW HOW, Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [6] "Certifikacija proizvoda i projektovanje sistema menadžmenta kvalitetom", 2004. Vanjskotrgovinska komora BiH;
- [7] "Construction Products Regulation (CPR)" No. 305/2011, Official Journal of the European Union, 2011;
- [8] Džidić S, 2014. "Importance of the Synergic Application og the EU Regulation on Construction Products (EU CPR 305/2011) from the Fire Safety Aspects", International Conference Fire Protection as Part of the Integral Fire and Rescue System, Institute for Fire Protection, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina;
- [9] Džidić S, 2013. "Synergy Importance of the Construction Products Quality from the Standpoint of Fire Safety and Energetic Properties", International Scientific Research Conference Environment Protection between Science and Practice, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina;
- [10] DNV-GL, ISO 9001:2015, 2015. "Quality Management System - Requirements";

- [11] Glušica Z. 2002. "Implementacija ISO 9000:2000", MOBES QUALITY, Novi Sad, Srbija;
- [12] Hromić S, Bašić H, 2013. "Standardizacija/CE označavanje u svjetlu podizanja konkurentnosti kompanija u BiH", 8. Naučno-stručni skup KVALITET, Neum, Bosna i Hercegovina;
- [13] Klarić S, 2005. "Upravljanje kvalitetom", Mašinski fakultet Mostar, Bosna i Hercegovina;
- [14] Kudahl C, Futo P, Pašić A, 2011. "Uticaj uvođenja Direktive o građevinskim proizvodima u zakonodavstvo BiH", EUSIP Projekat, Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [15] Popović P, 2010. "Akreditacija i ocjenivanje usklađenosti", Univerzitet Singidunum, Beograd, Srbija;
- [16] Rupčić N, "Kako odabratи najboljeg konsultanta", Ekonomski fakultet, Rijeka, Hrvatska;
- [17] Tanović E, 2012. "Standardizacija-Priručnik za upotrebu u visokošolskoj nastavi i permanentnom obrazovanju u poduzećima", Institut za standardizaciju BiH, Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [18] Tehnički File, "Armirano-betonski prefabrikovani elementi" 2016. Grupex dd, Velika Kladuša, Bosna i Hercegovina;
- [19] TIM Know How, 2006. "CE označavanje-preduslov za izvoz tehničkih industrijskih proizvoda", IFC International Finance Corporation, Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [20] TUV Akademija, 2015. "Predstavnik rukovodstva za kvalitet", Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [21] Vušanović V. i dr. 2003. "Sistem kvaliteta ISO 9001:2000", Univerzitet Novi Sad, Srbija.

STANDARDI I PROPISI

- [22] BAS EN 206 - Beton-Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost, Institut za standardizaciju BiH, Sarajevo, 2013;
- [23] BAS EN 13225 - Prefabrikovani betonski proizvodi - Linijski konstrukcijski elementi, Institut za standardizaciju BiH, Sarajevo, 2013;

- [24] BAS EN 13369 - Opća pravila za prefabrikovane betonske elemente, Institut za standardizaciju BiH, Sarajevo, 2013;
- [25] BAS EN ISO 9000 - Sistemi upravljanja kvalitetom-Osnove i riječnik, Institut za standardizaciju BiH, Sarajevo, 2015;
- [26] BAS EN ISO 9001- Sistemi upravljanja kvalitetom-Zahtjevi, Institut za standardizaciju BiH, Sarajevo, 2015;
- [27] “Construction Products Regulation (CPR)” No. 305/2011, Official Journal of the European Union, 2011.

INTERNET IZVORI

- [28] <https://ec.europa.eu/>
- [29] <http://www.newapproach.org/>
- [30] <http://www.kvalitet.org.rs/>
- [31] <http://www.bas.gov.ba/>
- [32] <https://cemarking.net/>

