Ispitivanje polumontažnih stropnih konstrukcija

Jakšić, Lučana

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:633288

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Lučana Jakšić

Split, 2015.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Lučana Jakšić

Ispitivanje polumontažnih stropnih konstrukcija

Diplomski rad

Split, 2015.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **Lučana Jakšić**

BROJ INDEKSA: **494**

KATEDRA: **Katedra za otpornost materijala i ispitivanje konstrukcija**

PREDMET: **Ispitivanje konstrukcija**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: **Ispitivanje polumontažnih stropnih konstrukcija**

Opis zadatka: U ovom diplomskom radu potrebno je opisati postupak ispitivanja elemenata polumontažnih stropnih konstrukcija na primjeru stropnih konstrukcija tipa Bijeli strop i Sivi strop. U uvodnom dijelu treba navesti i opisati sve najvažnije i najčešće rabljene polumontažne stropne konstrukcije. U nastavku treba opisati postupak ispitivanja polumontažnih stropnih konstrukcija prema normama HRN EN 13369:2004 Opća pravila za predgotovljene betonske proizvode i HRN U.M1.047 Ispitivanje konstrukcija probnim opterećenjem i ispitivanje do sloma. Opisane postupke treba primijeniti na primjeru ispitivanja elemenata polumontažnih stropnih konstrukcija tipa Bijeli strop i Sivi strop, pri čemu treba opisati proizvodnju navedenih elemenata, postupak njihovog ispitivanja, te prikazati i objasniti dobivene rezultate ispitivanja.

U Splitu, 23. ožujka, 2015.

Voditelj Diplomskog rada:

Prof. dr. sc. Pavao Marović

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:

Prof.dr.sc. Ivica Boko

Ispitivanje polumontažnih stropnih konstrukcija

Sažetak:

U ovom diplomskom radu prikazane su i opisane polumontažne stropne konstrukcije koje se najčešće upotrebljavaju u visokogradnji. Opisani su postupci ispitivanja prema važećim propisima i normama, a zatim su ti postupci primjenjeni na primjeru ispitivanja predgotovljenih elemenata polumontažnih stropnih konstrukcija tipa „Bijeli strop“ i „Sivi strop“. Dobiveni eksperimentalni rezultati su uspoređeni s numeričkim vrijednostima.

Ključne riječi:

Polumontažni stropovi, postupci ispitivanja, predgotovljeni elementi

Testing of semi-prefabricated ceilings

Abstract:

In this thesis basic types of semi – prefabricated ceiling structures commonly used in building construction are presented. Metods of testing are described according to tehnical regulations and standards. Those methods are later applied on testing of precast elements of ceiling structures „White ceiling“ and „Grey ceiling“. Experimental results are then compared with numerical values.

Keywords:

semi-prefabricated ceilings, metods of testing, precast elements

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. POLUMONTAŽNE STROPNE KONSTRUKCIJE 3

2.1. Polumontažni sitnorebrasti stropovi 3

2.1.1. Stropovi sustava Isteg 3

2.2. Polumontažni stropovi od punih i šupljih ab ploča 4

2.2.1. Stropovi sustava Omnia 4

2.2.2. Stropovi od prednapregnutih šupljih ploča 6

2.3. Polumontažni stropovi sa šupljim tijelima 7

2.3.1. Stropovi sustava Monta 7

2.3.2. Stropovi sustava Fert 9

2.3.3. Stropovi s prednapetim opečnim gredicama (SPOG) 13

2.3.4. Stropovi sustava Voljak 14

2.3.5. Bijeli strop 17

2.3.6. Sivi strop 19

3. ISPITIVANJE POLUMONTAŽNIH STROPNIH KONSTRUKCIJA 21

3.1. Ispitivanje konstrukcija probnim opterećenjem i ispitivanje do sloma 21

4. PROIZVODNJA I ISPITIVANJE ELEMENATA BIJELOG I SIVOG STROPA 24

4.1. Proizvodnja elemenata Bijelog stopa 24

4.2. Ispitivanje elemenata Bijelog stopa 26

4.2.1. Pripreme za ispitivanje 26

4.2.2. Instrumenti za ispitivanje 27

4.2.3. Predviđene sheme opterećenja 28

4.2.4. Provedba ispitivanja 29

4.2.5. Rezultati ispitivanja 31

4.3. Ispitivanje elemenata sivog stopa 35

4.3.1. Pripreme za ispitivanje 35

4.3.2. Instrumenti za ispitivanje 35

4.3.3. Provedba ispitivanja 35

4.3.4. Rezultati ispitivanja 40

4.4. Usporedba rezultata ispitivanja s računskim veličinama i komentar rezultata 42

5. ZAKLJUČAK 44

6. LITERATURA 45

1. UVOD

Stropne konstrukcije su horizontalne nosive konstrukcije. Preuzimaju opterećenje svih struktura i sadržaja građevine i dalje ih predaju vertikalnoj konstrukciji, te osiguravaju da ti sustavi djeluju zajedno pri preuzimanju horizontalnog djelovanja (vjetar, potres), odnosno djeluju kao horizontalne dijafragme. Zato moraju imati prikladnu krutost i otpornost u vlastitoj ravnini, te učinkovite spojeve s vertikalnim konstrukcijskim sustavima (čelične spone ili armiranobetonski horizontalni serklaži). To je posebno bitno kod zgrada složene i neujednačene strukture gdje osiguravaju jednake pomake svih vertikalnih ukrućenja u razini jedne etaže, što pridonosi otpornosti na seizmičko djelovanje.

Prema strukturi osnovnih elemenata i gradiva razlikujemo:

1) Pločaste stropne konstrukcije - osnovno gradivo je beton prožet sa šipkama armature; ploče imaju homogenu strukturu,
2) Rebraste stropne konstrukcije - konstrukcija se sastoji od linijskih štapnih elemenata i tankih pločastih elemenata,
3) Mješovite stropne konstrukcije – kombinacija greda i ploča.

Prema načinu izvedbe razlikujemo:

1) Monolitne stropne konstrukcije,
2) Polumontažne stropne konstrukcije,
3) Montažne stropne konstrukcije.

U ovom diplomskom radu naglasak će biti stavljen na polumontažne stropne konstrukcije. Rad je tematski podijeljen u dva dijela. U prvom dijelu će biti prikazane vrste polumontažnih stropova koje se najčešće koriste u visokogradnji: stropovi sustava Isteg, stropovi sustava Omnia, stropovi od prednapregnutih šupljih ploča, stropovi sustava Monta, Stropovi sustava Fert, stropovi s prednapetim opečnim gredicama (SPOG), stropovi sustava Voljak, Bijeli strop i Sivi strop. Biti će opisani i prikazani svi elementi stropova, te će ukratko biti opisan način izvođenja pojedinog stropa.

U drugom dijelu bit će objašnjen postupak ispitivanja polumontažnih stropova. U općem dijelu bit će navedeni propisi i norme kojih se treba pridržavati pri ispitivanju, dok će u praktičnom dijelu biti prikazano detaljno ispitivanje polumontažnih stropova na primjeru

konstrukcija tipa "Bijeli strop" i "Sivi strop". Ukratko će se opisati proces proizvodnje pojedinog elementa koji se ispituje, bit će opisane pripreme za ispitivanje, korišteni instrumenti i sam proces ispitivanja, te će se navesti rezultati ispitivanja i usporediti s računskim (teorijskim) vrijednostima.

2. POLUMONTAŽNE STROPNE KONSTRUKCIJE

Polumontažni sustav gradnje zasniva se na upotrebi prethodno proizvedenih elemenata (gredice, ispuna), te naknadnog betoniranja čime se postiže monolitizacija. Prednost polumontažnih sustava leži u jednostavnosti izvedbe, zahtijevaju malo dodatne opreme (oplata, skela), te nije potrebna specijalizirana radna snaga. Uz to, gradnja je jeftinija i brža jer je izrada konstruktivnih elemenata neovisna o vremenskim uvjetima, a proizvode se u tvornicama u kontroliranim uvjetima i po potrebi transportiraju na gradilište.

Prema statičkoj funkciji razlikujemo stropove koji djeluju poput ravnih ploča, ploča s rebrima, te ploča sa sitnim rebrima između kojih su ili prazni zračni prostori ili neki konstruktivni i izolacijski ulošci.

2.1. Polumontažni sitnorebrasti stropovi

Stropna konstrukcija sastoji se od montažnih armirano betonskih gredica i betonske ploče koja se izvodi na licu mjesta. Gredice se transportiraju iz tvornice i montiraju na gradilištu. Između rebara se postavlja oplata u koju se stavlja armatura, a zatim se ugrađuje betonska mješavina, pri čemu se dobiva ravna površina ispod budućeg poda.

Prednost ovih stropova je ušteda u gradivu (prvenstveno oplati), te u radnoj snazi, dok je nedostatak smanjena krutost u odnosu na monolitno izvedeni sitnorebrasti strop.

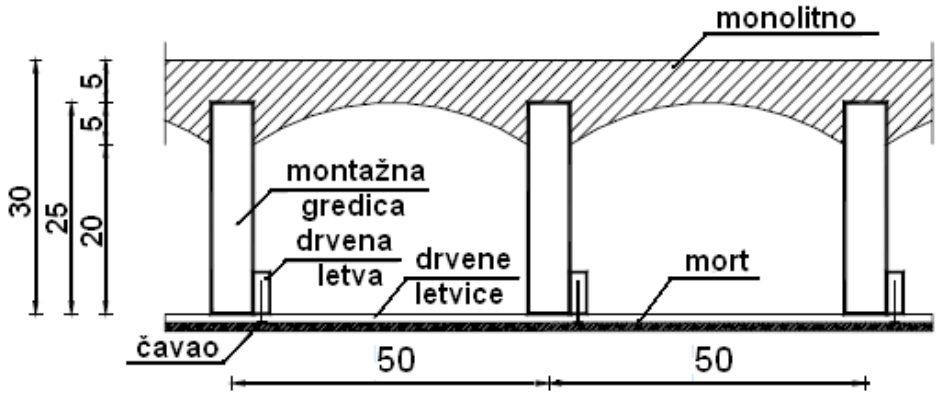
Ovi stropovi se pojavljuju u više varijanta, a obično se nazivaju po stručnjacima koji su ih prvi projektirali.

2.1.1. Stropovi sustava Isteg

Sustav stropova Isteg (Slika 2.1) bio je izrazito zastupljen u našim krajevima u razdoblju 60-ih i 70-ih godina 20. stoljeća. Nazvan je po autorima Isteg – čelika, iako se danas rebra armiraju i s običnim čeličnim šipkama.

Glavni nosivi elementi Isteg stropa su unaprijed proizvedene grede (rebra) koja se postavljaju na osnim razmacima do 50 cm. Rebra su široka 6 do 8 cm, a visoka 25 do 30 cm. Dvostruko su armirana kako se ne bi slomila pri transportu i montaži. Nakon postavljanja rebara s gornje strane, po cijeloj dužini rebra postavljaju se jahači od tanke žice na koje se oslanja

svođena limena ploča koja služi kao oplata za betonsku ploču. Nastali betonski svod debljine je 4 do 5 cm u tjemenu i iznad rebara.



Slika 2.1: Poprečni presjek stropa sustava Isteg

2.2. Polumontažni stropovi od punih i šupljih ab ploča

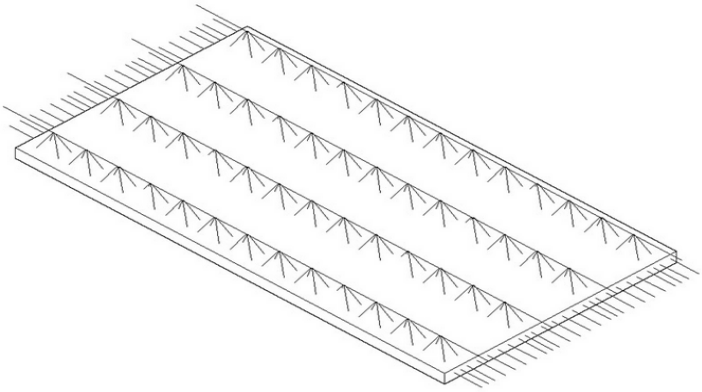
Polumontažni stropovi od punih i šupljih ab ploča sastoje se od pune ili šuplje predgotovljene ploče armirane mrežastom armaturom i dobetoniranog betonskog sloja koji se izvodi na licu mjesta. Ovisno o odnosu kraćeg i dužeg raspona te ležajnim i rubnim uvjetima, mogu prenositi opterećenje u jednom ili u oba smjera. Poželjno ih je kad god je to moguće projektirati kao ploče koje nose u dva ortogonalna pravca.

2.2.1. Stropovi sustava Omnia

Stropovi sustava Omnia (Slika 2.2) koriste se kod izvođenja međukatnih konstrukcija višestambenih zgrada. Stropna konstrukcija se sastoji od armiranobetonske montažne ploče i naknadno betoniranog dijela.

Slika 2.2: Poprečni presjek stropa sustava Omnia

Omnia ploča (Slika 2.3) debljine je minimalno 4 cm (najčešće 5-6 cm), širine 220 cm, a dužine prema potrebi. Unaprijed se armira donja zona, te se izvode odgovarajući rešetkasti nosači od šipki malog profila, koji služe kao poprečna armatura za sprezanje montažnog i dobetoniranog dijela.

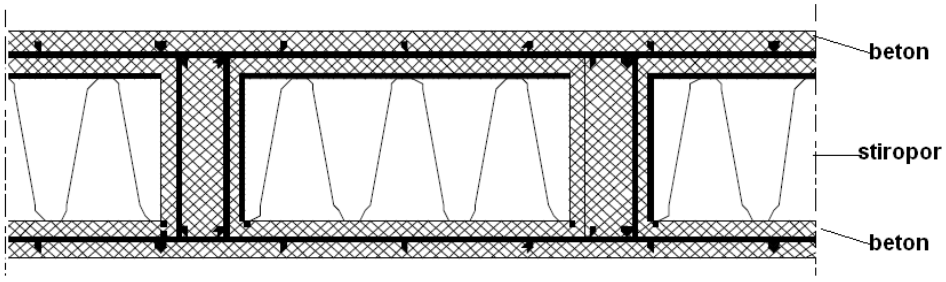


Slika 2.3: Omnia ploča

Ploče se podižu dizalicom na mjesto ugradnje i montiraju uz podupiranje na potrebnim razmacima dobivenim prema statičkom proračunu. Na gradilištu se postavlja armatura na spoju ploča, te mrežasta armatura gornje zone, nakon čega se stropna ploča dobetonira do pune debljine. Podupirači se skidaju najmanje 14 dana nakon betoniranja.

Armatura koja se ugrađuje na gradilištu najčešće je konstruktivna i tada se ploče ponašaju kao linijski nosači koji nose samo u jednom smjeru. Po potrebi se postavlja i nosiva armatura okomito na spojnice pojedinih elemenata i tada se dobiva ploča nosiva u dva smjera.

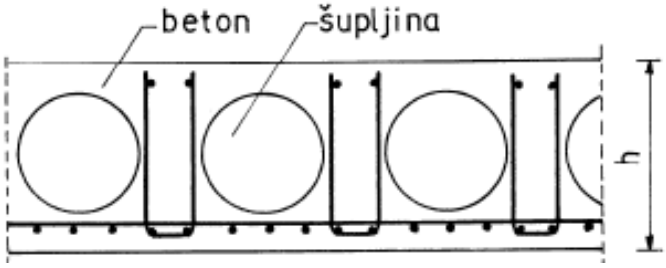
Za veće raspone stropova moguće je primijeniti omnia stropove sa štednim uloščima (npr. stiropor) (Slika 2.4). Takvi stropovi se sastoje od donjeg pojasa debljine 4-5 cm koji sadrži glavnu vlačnu armaturu u donjoj zoni, i linijskih rebara koji se postavljaju u kraćem smjeru. Između rebara se umeću ulošci od nekog laganog materijala.



Slika 2.4: Poprečni presjek omnia stropa sa štednim uloščima

2.2.2. Stropovi od prednapregnutih šupljih ploča

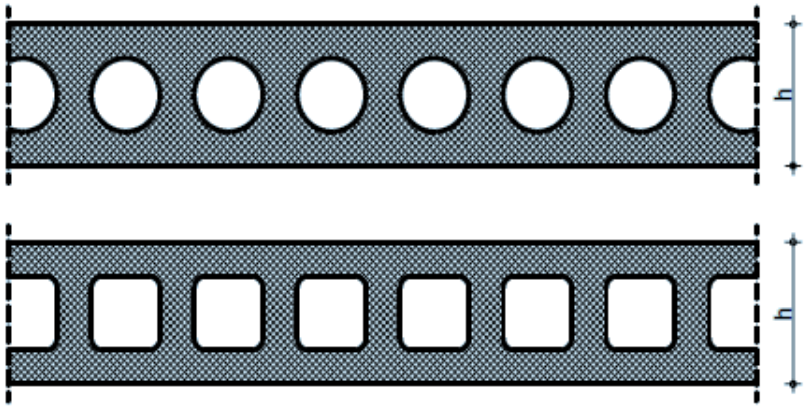
Sustav stropova od prednapregnutih šupljih ploča (Slika 2.5) koristi se u gradnji industrijskih, skladišnih i stambenih objekata i predstavlja svojevrsnu inovaciju u odnosu na pune pločaste, klasično armirane stropne konstrukcije. Pogodni su kod većih raspona i kad su potrebne veće visine presjeka, jer se izvođenjem šupljina smanjuje vlastita težina konstrukcije. Sastoje se od prefabriciranih prednapetih šupljih ploča i naknadno betoniranog sloja.



Slika 2.5: Poprečni presjek stropa od prednapregnutih šupljih ploča

Standardna širina ploča iznosi 120 cm, a ponekad su potrebni i uži elementi. Dužina i visina variraju ovisno o tipu ploče (Slika 2.6). Prednapinjanje se provodi na stazi za prednapinjanje. Otvori u pločama se izrađuju u tvornici, nakon punjenja betonom, a prije nego se stvrdne, dok se otvori na donjoj strani ploče izvode na gradilištu.

S montažom ploča započinje se u sredini polja, tako da se sva odstupanja razdijele na obe strane polja. Da bi se spriječili eventualne razlike u progibima uslijed sila prednaprezanja, potrebno je izvršiti izravnanje u sredini raspona ploča. To se postiže u donjoj etaži pomoću gredica i vertikalnih podupirača. Nakon montaže pristupa se armiranju spojeva između ploča, te se oni ispunjavaju betonom propisane kvalitete.



Slika 2.6: Različiti tipovi prednapregnutih šupljih ploča

2.3. Polumontažni stropovi sa šupljim tijelima

Glavne nosive elemente polumontažnih stropova sa šupljim tijelima čine gredice od armirane šuplje opeke ili armiranog betona, dok nenosive gredice služe kao ispuna. Gredice su na donjoj strani šire, a na gornjoj uže, pa složene jedna uz drugu formiraju kanale koji se ispunjavaju betonskom smjesom i dodatno armiraju. Na taj način između gredica nastaju rebra od armiranog betona. Nakon montaže i zapunjavanja betonom preko gornje površine cijelog stropa se postavlja mrežasta armatura i betonira tlačna ploča koja povezuje gredice u cjelinu.

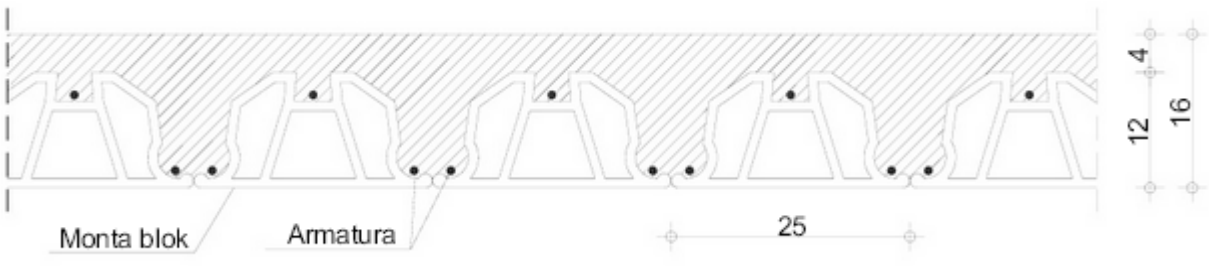
Prednost ovih stropova je montaža bez dizalice, te izvedba bez oplate. Osobito su pogodni za stambene i uredske zgrade, te druge zgrade s manjim rasponima i opterećenjima.

Pojedine vrste stropova sa šupljim tijelima razlikuju se po materijalu od kojeg su izgrađene gredice i ispuna, te po nosivosti i mogućnosti primjene. U prošlosti su se najviše primjenjivali stropovi s gredama od armirane šuplje opeke (sustavi Monta i Fert), dok se danas češće primjenjuju stropovi s prednapetim opečnim gredicama i stropovi s gredicama i ispunom od armiranog betona (Bijeli i Sivi strop)

2.3.1. Stropovi sustava Monta

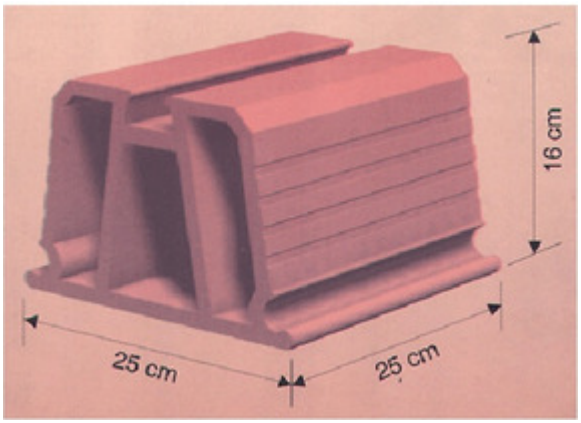
Stropovi sustava Monta (Slika 2.7) primjenjuje se u zgradarstvu za kontinuirano stalno i promjenjivo opterećenje, a ne smiju se postavljati ondje gdje je moguće opterećenje vozilom, strojevima ili koncentriranim teretima. Imaju obilježja dobrog zvučnog i toplinskog izolatora.

Sastoje se od predgotovljenih armiranih opečnih gredica između kojih se betonira rebro, a iznad ploča.



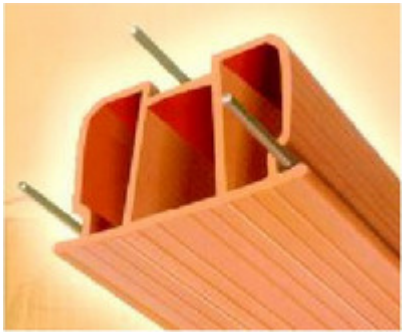
Slika 2.7: Poprečni presjek stropa sustava Monta

Najpoznatiji tipovi Monta opeke su Monta 8, Monta 12, Monta 16 i Monta 20, pri čemu broj iza naziva predstavlja visinu bloka (Slika 2.8). Dužine blokova su 25 i 33 cm, a širine 20 i 25 cm. Oblik i sustav postavljanja ovisi o proizvođaču. Tlačna čvrstoća opeke mora biti minimalno 20 N/mm^2.



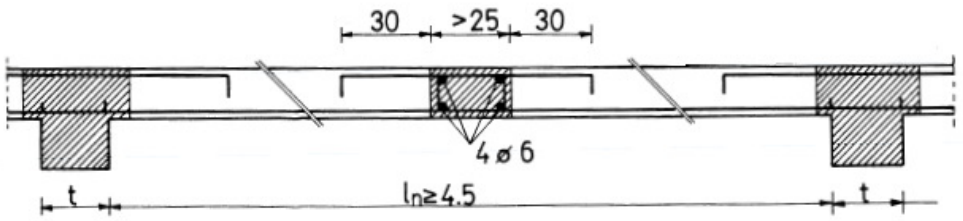
Slika 2.8: Monta opeka

Monta opeka ima žlijebove u koje se ulaže armatura (Slika 2.9), a zatim se ispunjavaju cementnim mortom. Žlijebovi za nosivu armaturu nalaze se na donjem dijelu s obe strane, dok je na gornjem dijelu samo jedan žlijeb za montažnu armaturu. Betonsko rebro i ploča izvode se na licu mjesta.



Slika 2.9: Monta opeka s umetnutom armaturom

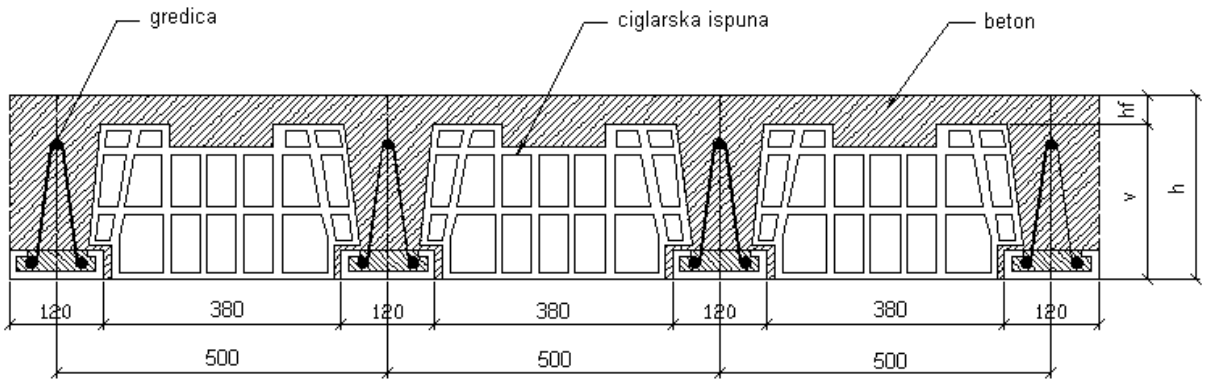
Za izvedbu stropa nije potrebna oplata, ali je potrebno podupirati nosive elemente minimalno svaka 3 m. Gredice čiji je svijetli raspon veći od 4,5 m moraju imati u sredini armirano betonsko spojno rebro (Slika 2.10).



Slika 2.10: Dimenzije i armatura spojnog rebra

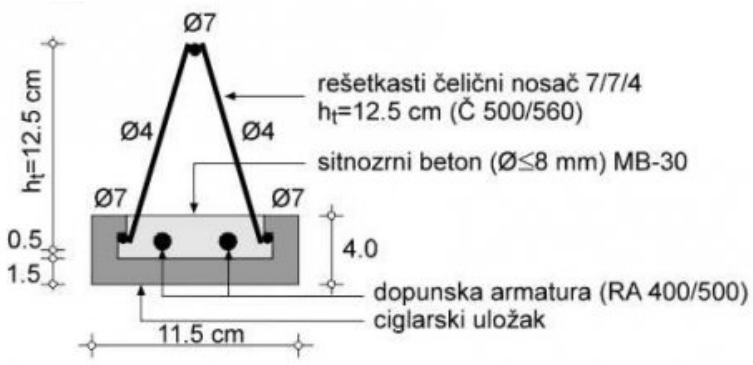
2.3.2. Stropovi sustava Fert

Fert strop (Slika 2.11) je namijenjen individualnoj stambenoj gradnji. Sastoji se od predgotovljenih opečnih gredica armiranih uzdužnom armaturom i RAN-om, ispune od šuplje opeke, te tlačne ploče i rebara koji se zajedno betoniraju na mjestu izvedbe stropa.

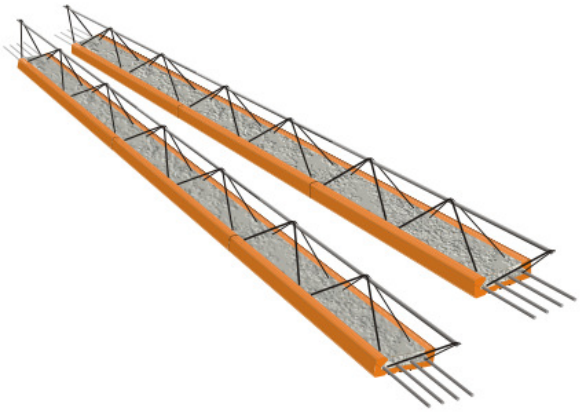


Slika 2.11: Poprečni presjek Fert stropa

Sastavni dijelovi Fert gredica (Slika 2.12) su podložna pločica, armatura i sitnozrni beton. Podložna pločica se sastavlja od niza opekarskih blokova dužine 25 cm, širine 12 cm, s dnom debelim 13 mm i s dvije bočne stranice visoke po 38 mm. Prostor između stranica zapunjava se 25 mm debelim slojem sitnozrnog betona. Armatura se unaprijed priprema od 2-5 vlačnih i jedne tlačne šipke. Vlačne šipke se povezuju s tlačnom zavarivanjem na koso stršeće šipke vilica. Duljina gredica (Slika 2.13) se određuje prema potrebi projekta (2,0 – 6,6 m). Postavljaju se na jednakim osnim razmacima od 40 ili 50 cm.



Slika 2.12: Poprečni presjek Fert gredice

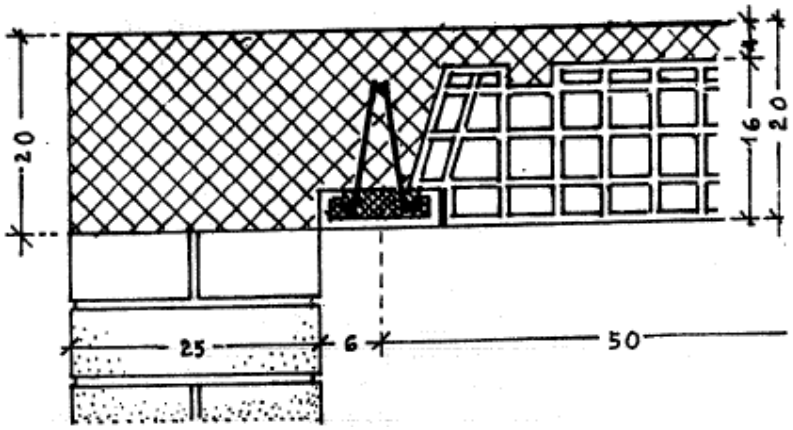


Slika 2.13: Fert gredica

Šuplji opečni blokovi za ispunu (Slika 2.14) duljine su 24,5 cm, širine 43 cm s istakama za nalijeganje, odnosno 37,5 cm bez tih istaka. Visina blokova najčešće je 14 ili 16 cm.

Slika 2.14: Šuplji blok za ispunu

Gredice se oslanjaju na nosive zidove ili grede. Početna i završna gredica se montiraju tik uz poprečni zid (Slika 2.15), pa se betoniraju zajedno s horizontalnim serklažem, čime se zid i stropna konstrukcija monolitno povezuju. Ako se gredice izravno oslanjaju na zidove, minimalna dužina nalijeganja iznosi 5 cm (zid/gredu treba prethodno izravnati).

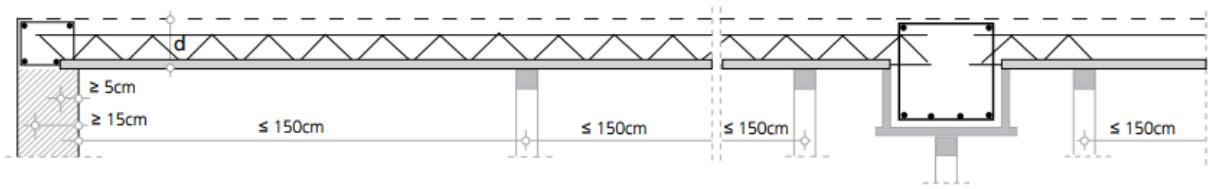


Slika 2.15: Presjek serklaža i početne gredice

U fazi izvedbe gredice se podupiru na razmaku ne većem od 150 cm (Slika 2.16). Podupore trebaju nalijegati na čvrstu podlogu, te biti horizontalno ukrućene.

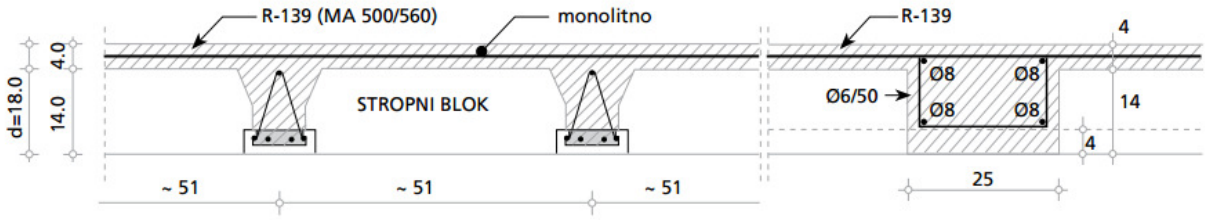
Za raspone do 5 m gredici je u sredini potrebno dati nadvišenje L/300, a kod raspona preko 5 m nadvišenje L/200, pri čemu je L duljina gredice.

Kod stropova čiji je raspon veći od 4,0 m potrebno je izvesti rebro za ukrućenje u sredini raspona, a ukoliko je raspon veći od 5 m izvode se dva rebra u trećinama raspona. Rebra se postavljaju poprečno na gredice, a služe za jednoličniju raspodjelu opterećenja stropa na glavna rebra koja čine gredice i naknadno betonirani dio. Rebra za ukrućivanje armiraju se uzdužnom armaturom 4Ø8 i poprečnom Ø6/50.



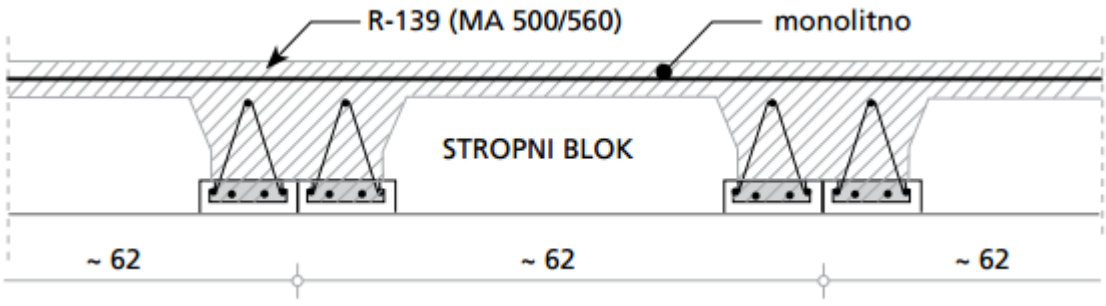
Slika 2.16: Uzdužni presjek Fert stropa

Nakon što stručna osoba utvrdi da su podupore pravilno izvedene, pristupa se izvedbi monolitnog dijela stropa. Ukoliko projektom nije određeno drugačije, koristi se beton minimalno C 25/30, koji mora biti ispravno ugrađen, nabijen i njegovan. Prije ugradbe betona, postavlja se sva potrebna armatura (Slika 2.17), koja mora biti nepomična za vrijeme betoniranja. Tlačna ploča se armira okomito na gredice 1 cm ispod vrha stropa armaturnom mrežom R-139 po cijeloj površini stropa. Prije betoniranja podlogu je potrebno očistiti i dobro zasititi vodom. Debljina ploče je 4 cm, a za raspone preko 5 m debljina je 5 cm. Kad monolitni beton postigne najmanje 70% računske čvrstoće, pristupa se otpuštanju podupora gredica. U normalnim uvjetima za to je potrebno 7 – 10 dana.



Slika 2.17: Armatura ploče i rebra za ukrutu

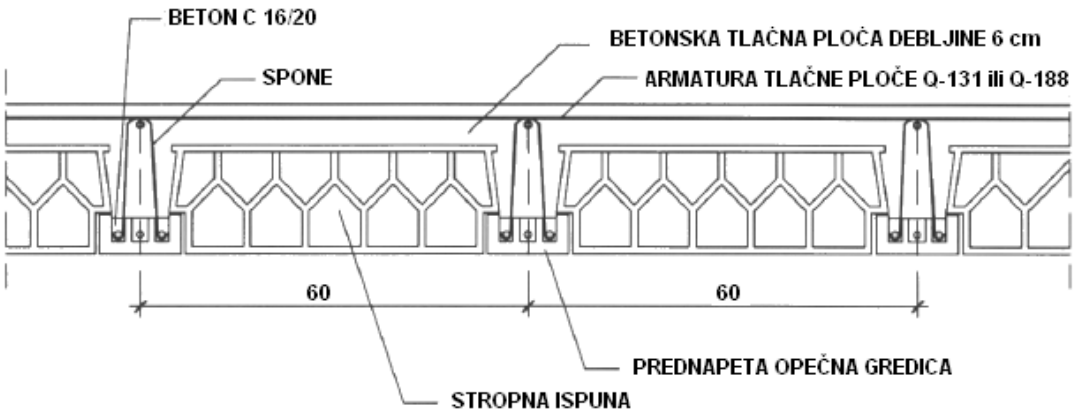
Uz uobičajenu izvedbu stropa s jednostrukim gredicama, postoji i varijanta s udvojenim gredicama (Slika 2.18).



Slika 2.18: Strop s udvojenim gredicama

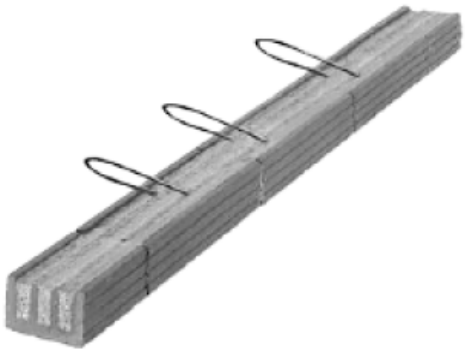
2.3.3. Stropovi s prednapetim opečnim gredicama (SPOG)

Stropna konstrukcija kod stropova s prednapetim opečnim gredicama (SPOG) se sastoji od prednapetih opečnih gredica, ispune od šuplje opeke, te tlačne ploče i rebara koji se zajedno betoniraju na mjestu izvedbe stropa (Slika 2.19).



Slika 2.19: Poprečni presjek stropa s prednapetim opečnim gredicama

Prednapete opečne gredice (Slika 2.20) proizvode se u tvornici, na stazi za adhezijsko prednapinjanje. Duljina im se određuje prema potrebi projekta. Gredice se sastoje od opečnih kanalica ispunjenih mikrobetonom i prednapete armature od hladno vučenih glatkih žica Ø2,5. Broj žica varira s obzirom na potrebnu nosivost. Za preuzimanje poprečnih sila na krajevima se nalaze spone Ø4,2.



Slika 2.20: Prednapeta opečna gredica

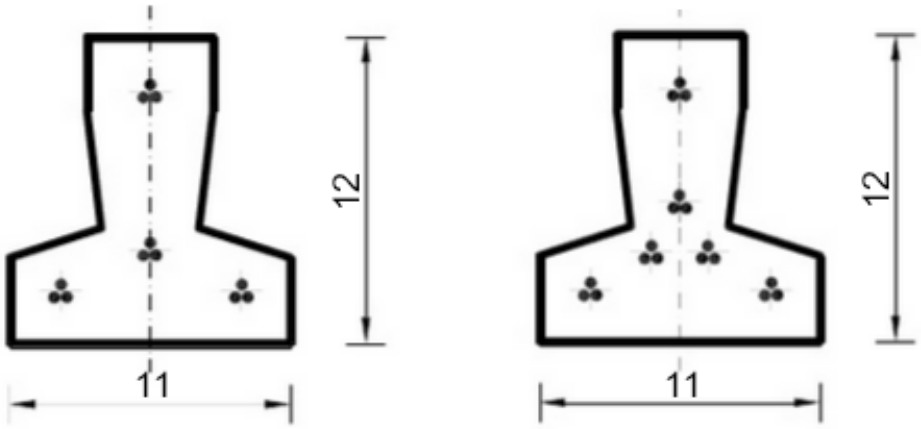
Gredice se postavljaju na osnim razmacima od 60 cm, a između se umeću šuplji opečni blokovi visine 16 cm, a duljine 25 cm. U fazi izvedbe gredice se podupiru na razmaku od 150 cm. Predviđeno nadvišenje u polovici raspona, prije betoniranja tlačne ploče iznosi L/300.

Stropovi se izvode do raspona od 6,0 m. Ukoliko je raspon veći od 3,0 m, potrebno je poprečno na gredice izvesti rebro za ukrućivanje kako bi se postigla ravnomjernija raspodjela opterećenja na glavna rebra i naknadno betonirani dio. Rebra za ukrućivanje armiraju se uzdužnom armaturom 4Ø10 i poprečnom Ø8/25.

2.3.4. Stropovi sustava Voljak

Stropovi sustava Voljak (Slika 2.21) upotrebljavaju se za gradnju međukatnih konstrukcija, ravnih i kosih krovnih ploča, pokrova industrijskih objekata te manjih mostova i propusta. Sastoje se od prednapetih betonskih gredica, šupljih betonskih međuelemenata te betonske ispune i tlačne ploče koje se lijevaju na licu mjesta.

Gredice imaju oblik obrnutog T – presjeka. Visina im je 12 cm, širina stope 11 cm, a debljina hrpta od 4,0 cm do 4,4 cm. Proizvode se u dva tipa – T4 i T6 (Slika 2.21). Gredice T4 su prednapete s 4, a gredice T6 sa 6 snopova pletene žice od hladnog čelika 3Ø2.5 mm. Prednaprezanje se vrši po sistemu adhezije između žice i betona.



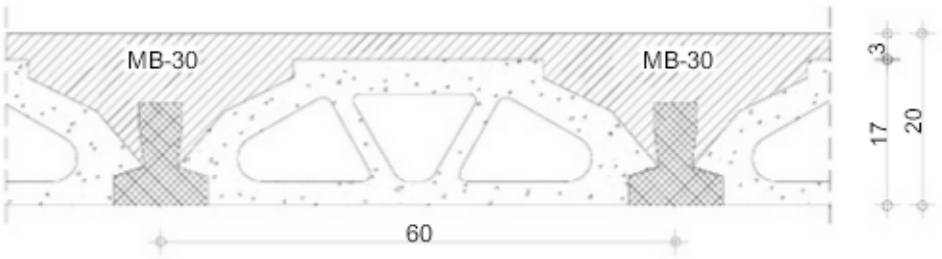
Slika 2.21: Poprečni presjek gredica T4 i T6

Gredice se postavljaju na osnom razmaku od 60 cm. Međuprostori između gredica se ispunjavaju prefabriciranim šupljim betonskim blokovima dimenzija 48,0 x 19,0 x 17,0 cm (Slika 2.22).

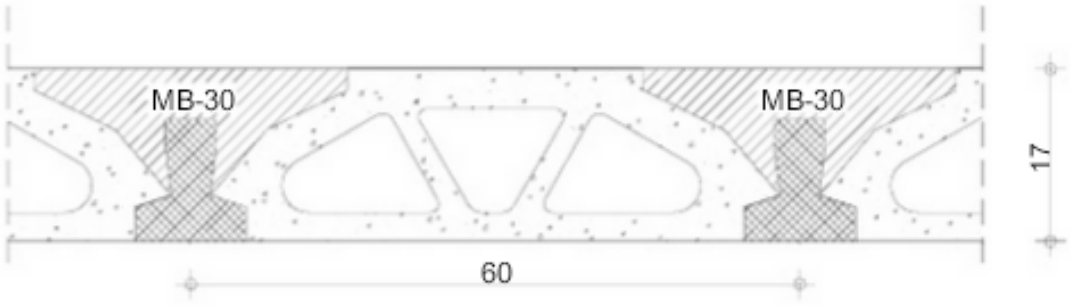
Slika 2.22: Šuplji blok za ispunu

Stropovi se izrađuju do raspona od 6,0 m. Montaža se vrši podupiranjem na sredini raspona, uz nadvišenje podupore od 4 mm za svaki metar raspona. Na licu mjesta se izvode betonska ispuna i betonska ploča koja se armira mrežom R-196.

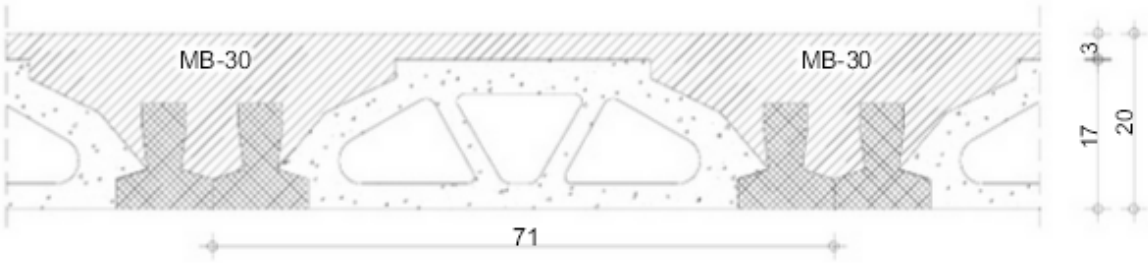
Stropovi se izvode do visine od 17 cm (MK – 17) ili 20 cm (MK – 20), što u kombinaciji s jednom ili udvojenim gredicama, te tipom gredica T4 ili T6 daje ukupno 8 tipova stropa: MK-20 – T6 ili T4 (Slika 2.23), MK-17 – T6 ili T4 (Slika 2.24), MK-20 – 2T6 ili 2T4 (Slika 2.25), MK-17 – 2T6 ili 2T4 (Slika 2.26).



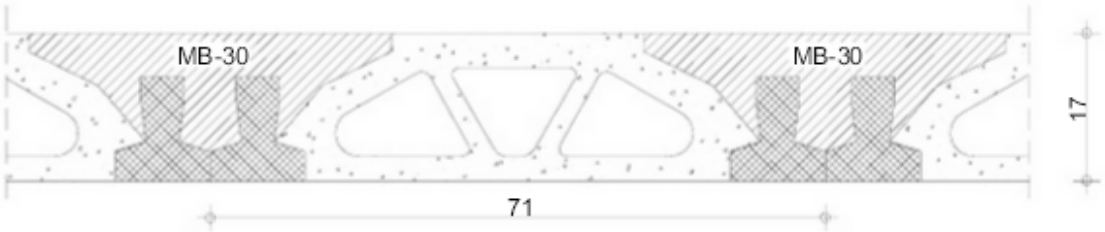
Slika 2.23: Poprečni presjek stropa tipa MK-20 – T6 ili T4



Slika 2.24: Poprečni presjek stropa tipa MK-17 – T6 ili T4



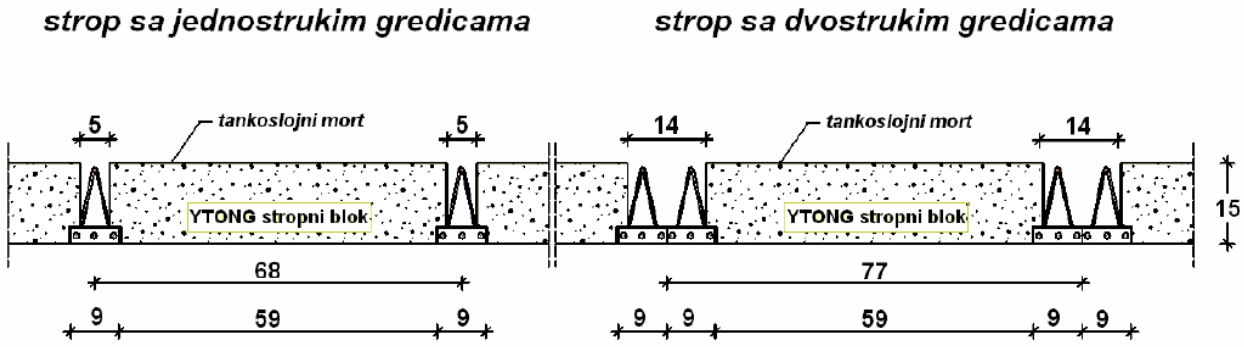
Slika 2.25: Poprečni presjek stropa tipa MK-20 – 2T6 ili 2T4



Slika 2.26: Poprečni presjek stropa tipa MK-17 – 2T6 ili 2T4

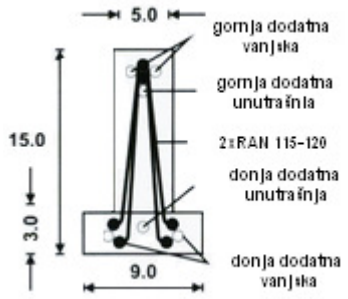
2.3.5. Bijeli strop

Bijeli strop (Slika 2.27) je roštiljna konstrukcija koja se koristi za gradnju međukatnih konstrukcija, ravnih i kosih krovnih ploča i stubišta. Sastoji se od predgotovljenih gredica, ležajnica i porobetonskih blokova, te od poprečnih rebara koja se izvode na licu mjesta ugrađivanjem sitnozrnog betona, te gornjeg sloja od tankoslojnog morta.



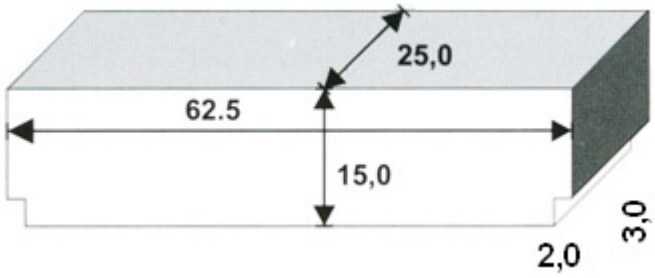
Slika 2.27: Poprečni presjek Bijelog stropa

Gredica se sastoji od glavnog kostura koji je kombinacija dva modificirana RAN nosača u obliku rešetkaste konstrukcije, od dodatne armature gornjeg i donjeg pojasa (pri čemu se razlikuju različiti tipovi), te od izbetonirane donje pojasnice (Slika 2.28). Koncipirana je kao samonosivi nosač u svim fazama gradnje, pa joj se stoga daje nadvišenje. Po potrebi se i dodatno nadvisuje podupiranjem, koje je obavezno pri rasponima većim od 3.0 m.



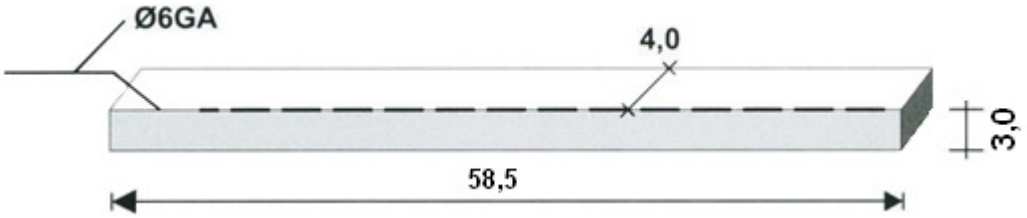
Slika 2.28: Poprečni presjek gredice

Gredice se postavljaju na razmaku ne većem od 65 cm. Između njih se postavljaju predgotovljeni porobetonski blokovi zapreminske mase 700 kg/m^3 (Slika 2.29). Uobičajene dimenzije bloka su 62,5 x 25 x 15 cm, s time da se piljenjem mogu prilagoditi manjim rasponima.



Slika 2.29: Stropni blok

Nakon montaže 4-6 blokova postavlja se ležajnica (Slika 2.30), koja služi kao oplata poprečnog rebra. S obzirom na širinu rebra, postavljaju se jednostruko, dvostruko, trostruko ili višestruko. Za funkciju poprečnog rebra, provlači se rebrasta armatura Ø8 u gornju i donju zonu.

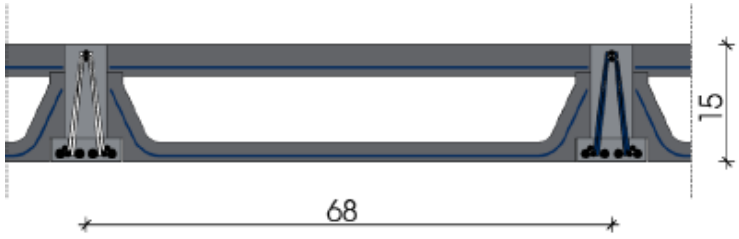


Slika 2.30: Ležajnica

Monolitizacija se vrši pomoću sitnozrnog betona koji se nalijeva u gredice i poprečna rebra. Nakon 4 ili više sati gornja površina se prelijeva tankoslojnim mortom koji se zaravnjuje metlom. Nakon 24 sata mogu se ukloniti potpore.

2.3.6. Sivi strop

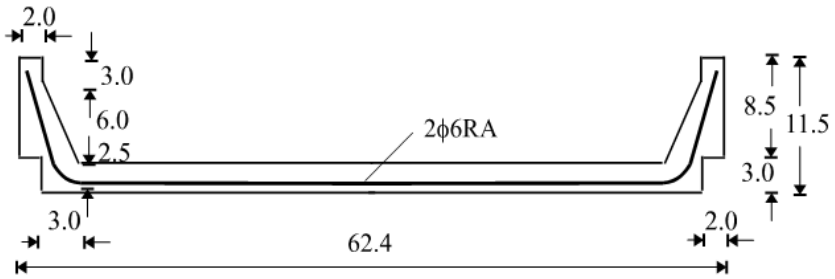
Sivi strop (Slika 2.31) je roštiljna konstrukcija koja se koristi za gradnju međukatnih konstrukcija, ravnih i kosih krovnih ploča i stubišta. Sastoji se od predgotovljenih gredica, ležajnica, bočnica i šupljih porobetonskih blokova, te od poprečnih rebara koja se izvode na licu mjesta ugrađivanjem sitnozrnog betona, te gornjeg sloja od tankoslojnog morta.



Slika 2.31: Poprečni presjek sivog stropa

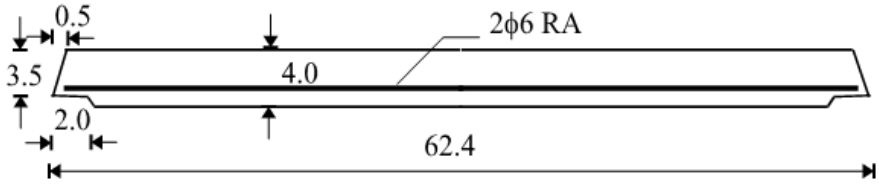
Kod Sivog stropa upotrebljavaju se jednake grede i ležajnice kao i kod bijelog stropa. Jedina razlika je u ispuni. Dok se kod Bijelog stropa za ispunu koriste puni porobetonski blokovi, kod Sivog stropa blokovi su šuplji, sastavljeni od donjeg dijela – kadice (Slika 2.32) i gornjeg – poklopnice (Slika 2.33).

Kadica (Slika 2.32) je koncipirana kao armirano betonsko korito, u uzdužnom presjeku U – oblika, a u poprečnom pravokutnog presjeka. Na donjem rubu ima zasjeke za nalijeganje na pojasnicu grede.



Slika 2.32: Poprečni presjek kadice

Poklopnica (Slika 2.33) je koncipirana kao armirano betonska ploča, odabranih dimenzija kao nosivom elementu u fazi montaže, ali i u fazi gotove konstrukcije.



Slika 2.33: Poprečni presjek poklopnice

Nakon postavljanja 4-6 blokova izvode se poprečna rebra. Oplatu s donje strane čine ležajnice, a bočno bočnice. Poprečno rebro se armira s rebrastom armaturom Ø8 u gornjoj i donjoj zoni.

Monolitizacija se vrši pomoću sitnozrnog betona koji se nalijeva u gredice i poprečna rebra. Spojevi blokova, a po želji i površina bloka preliju se cementnim mlijekom uz dodatak kamene prašine. Površina se zaravnjuje metlom.

3. ISPITIVANJE POLUMONTAŽNIH STROPNIH KONSTRUKCIJA

Ispitivanje konstrukcija je znanstvena disciplina koja se bavi ispitivanjem određenih svojstava konstrukcije, građevine i građevinskih proizvoda u svrhu utvrđivanja je su li ona pogodna za predviđenu namjenu. Potrebno je dokazati njihovu usklađenost s projektom i ispitivanje provesti u skladu s pripadajućim normama i propisima.

Sve vrste međukatnih konstrukcija ispituju se prema općoj hrvatskoj normi HRN EN 13369:2004 [1]. Ispitivanje se provodi pokusnim opterećenjem s ciljem dokazivanja nosivosti i uporabljivosti. Za ispitivanje polumontažnih stropnih konstrukcija posebno su važni Tehnički propisi za betonske konstrukcije [2], konkretno Prilog B u kojem su propisani svi zahtjevi koje moraju ispunjavati predgotovljeni betonski elementi. Ispitivanje nosivosti provodi se u skladu s normom HRN U.M1.047, Službeni list 4/87, 1987 [3].

Predgotovljeni betonski elementi izrađeni prema projektu betonske konstrukcije ispituju se prema tom projektu, a smiju se ugraditi u betonsku konstrukciju tek nakon potvrđene sukladnosti betona, odnosno betona i armature, te nakon dokazane uporabljivosti.

Predgotovljeni betonski proizvodi proizvedeni prema tehničkoj specifikaciji ispituju se prema toj specifikacij, a smiju se ugraditi u konstrukciju ukoliko je izdana isprava o sukladnosti te ostvarena sukladnost zahtjevima projekta te betonske konstrukcije.

Prije same ugradnje provode se još i nadzorne radnje prema normi HRN EN 13670-1:2006 [4] čime se osigurava da su rukovanje, skladištenje i zaštita predgotovljenog elementa u skladu sa zahtjevima iz projekta.

3.1. Ispitivanje konstrukcija probnim opterećenjem i ispitivanje do sloma

Svi elementi od kojih se izgrađuju nosive konstrukcije ispituju se probnim opterećenjem te ispitivanjem do sloma. Ispitivanje se provodi u laboratorijima za ispitivanje konstrukcija ili na samoj građevini te se dolazi do podataka o nosivosti, krutosti i eventualnoj dotrajalosti.

Probnim opterećenjem ispituje se usklađenost s projektom ili normom, usklađenost izvedenih i predviđenih radova, sposobnost konstrukcije za preuzimanje predviđenih opterećenja te se prati pojava, razvoj i širenje pukotina. Probnim opterećenjem se ne mogu ispitati granična stanja sloma, već se u tu svrhu provodi ispitivanje do sloma kojim se osim graničnog stanja

sloma (nosivosti) utvrđuju i granična stanja pomaka i deformacija, prslina i pukotina, granično stanje pojave nestabilnosti, popuštanja spojeva, gubitka prionjivosti betona i čelika, korozije i dr.

Prije samog ispitivanja potrebno je pregledati projektnu dokumentaciju i dokumentaciju o ispitivanju materijala te izraditi program ispitivanja. Određuju se položaj i veličina opterećenja na način da odgovaraju najnepovoljnijem statičkom ili dinamičkom opterećenju u projektu, dok pri ispitivanju do sloma opterećenje odgovara teretu kojim se postiže slom.

Kad se ustvrdi ispravnost dokumentacije provodi se detaljan pregled i snimanje konstrukcije prije nanošenja opterećenja. Postavljaju se mjerni uređaji na mjesta koja su unaprijed utvrđena programom ispitivanja. Zatim se pristupa opterećivanju do najvećeg predviđenog opterećenja. Ono se provodi postupno, kod ispitivanja probnim opterećenjem u najmanje 4 jednaka koraka, a kod opterećivanja do sloma u najmanje 10 jednakih koraka. Stalno se prati stanje na konstrukciji, te se nakon svakog provedenog koraka mjere potrebne veličine (progibi, deformacije). Idući korak nanošenja opterećenja nanosi se tek nakon što dođe do stabilizacije u prethodnom koraku (ako je prirast pomaka i deformacija u periodu od 5 minuta manji od 15% prethodnog prirasta za isti vremenski period ili manji od greške mjernog instrumenta).

Kad se na konstrukciju nanese najveće predviđeno probno opterećenje, ono na njoj mora ostati najmanje 16 sati (za čelične konstrukcije 4 sata). U tom periodu se promatra držanje konstrukcije kroz mjerenje pomaka i kutova zaokreta, opažanja pojava razvoja i veličine prslina, lokalnih defekata, kao i sloma konstrukcije u najmanje 4 navrata. Nakon toga se pristupa rasterećenju i konstrukcija se promatra dok se ne ispune uvjeti o veličini trajnih pomaka.

Konstrukcija izložena probnom opterećenju zadovoljava uvjete za tehnički ispravnu konstrukciju ako su izmjerene veličine progiba i deformacija manje od računskih vrijednosti, te ako su širine pukotina manje od dopuštenih i ne utječu na funkcionalnost i estetski izgled konstrukcije. Također, izmjereni zaostali progibi 16 sati nakon rasterećenja moraju biti manji od propisanih za određeni tip konstrukcije.

Do graničnog stanja nosivosti dolazi kad pri određenom opterećenju dođe do sloma ili gubitka stabilnosti konstrukcije ili bilo kojeg njenog dijela ili presjeka, ako dođe do lokalnog sloma koji se povećava bez prirasta opterećenja, ako se prirast deformacija i progiba ne smanjuje pri konstantnom opterećenju (mjereno tri puta uzastopce u istim vremenskim intervalima), te ako dođe do gubitka prionjivosti između betona i armature.

Konstrukcija izložena ispitivanju do sloma zadovoljava uvjete za tehnički ispravnu konstrukciju ako su izmjereni progibi manji od računskih vrijednosti, te ako konstrukcija zadovoljava glede graničnih stanja nosivosti, pomaka i deformacija, stanja prslina i stabilnosti. Konstrukcija zadovoljava glede nosivosti ukoliko je do sloma došlo pri opterećenju jednakom ili većeg od onog predviđenog projektom, odnosno određenim propisima.

Na kraju ispitivanja podnosi se izvještaj koji sadržava sve relevantne podatke o konstrukciji, postupku ispitivanja, uporabljenim instrumentima, potrebne teorijske proračune, podatke o mjerenjima tijekom ispitivanja, uspoređivanje teorijskih i izmjerenih veličina kao i zaključak o ponašanju konstrukcije.

4. PROIZVODNJA I ISPITIVANJE ELEMENATA BIJELOG I SIVOG STROPA

4.1. Proizvodnja elemenata Bijelog stopa

Izradu gredica i ležajnica praktično je organizirati na samom gradilištu. Kalupi za proizvodnju (Foto 4.1) su lako prenosivi, pa je takav način proizvodnje racionalan kod većih površina koje se prekrivaju Bijelim stropom. Gredice se proizvode "po mjeri", prilagođene konkretnom projektu, pa su različitih tipova i dužina.

Za betoniranje donjeg pojasa gredice i ležajnice upotrebljava se mikro beton klase C20/25.

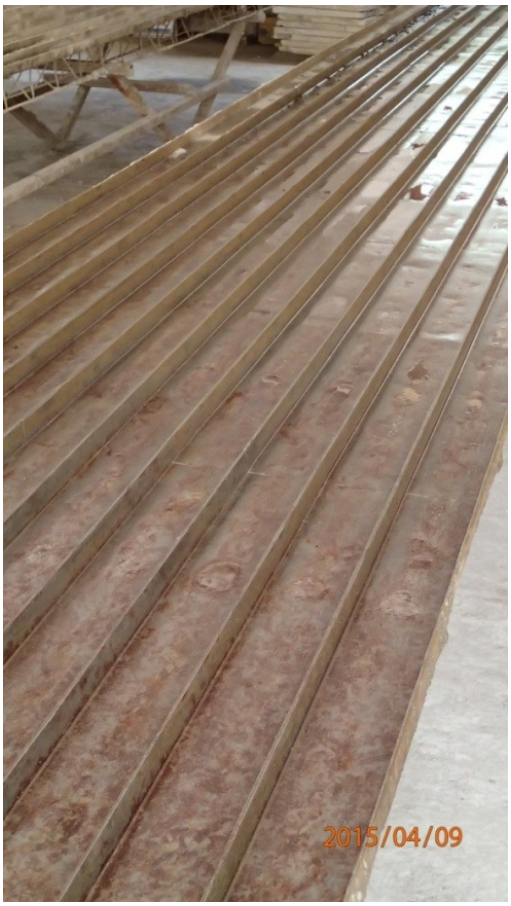


Foto 4.1: Kalupi za proizvodnju gredica

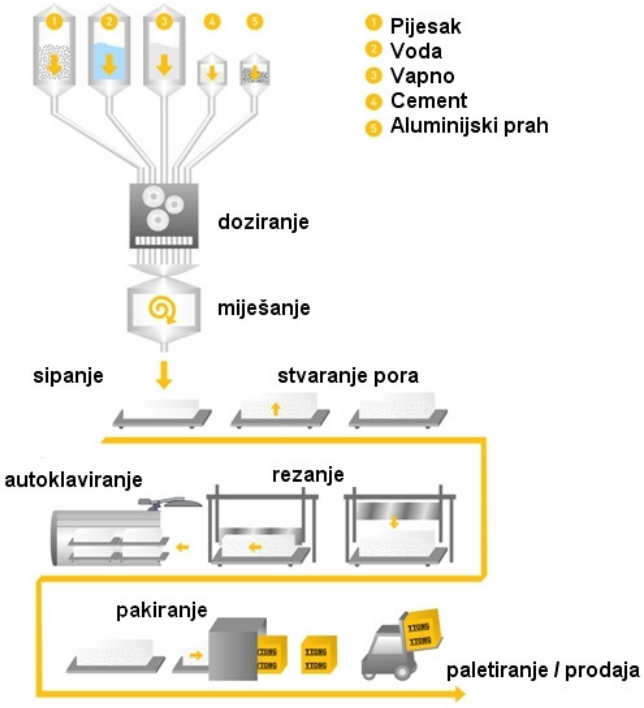
Gredice se armiraju zavarenim rešetkastim armaturnim nosačima (Foto 4.2) koji su proizvedeni iz čelika klase B500A. Dodatna armatura je također B500A. Šipke se postavljaju tako da međusobna svijetla udaljenost šipki po visini u tlačnom presjeku ne bude veća od ½ promjera uporabljenih šipki. Gotove gredice se skladište na propisani način (Foto 4.3).

Foto 4.2: Armaturne šipke gredica

Foto 4.3: Gotove gredice

Za ispunu se koriste Ytong blokovi koji se proizvode u tvornici (Slika 4.1). Izrađeni su od porobetona koji se priprema miješanjem pijeska, vode, vapna, cementa i aluminijskog praha. Pripremljena masa se lijeva u kalupe do polovice visine. Nakon reakcije ostalih sirovina s aluminijskim prahom, kalup se puni do kraja. Na taj način se dobiva porasta struktura.

Nakon očvršćivanja betona pristupa se rezanju blokova te oblikovanju pera i utora koji olakšavaju zidanje, te rukohvata za prenošenje težih blokova.



Slika 4.1: Proces proizvodnje Ytong blokova

4.2. Ispitivanje elemenata Bijelog stopa

4.2.1. Pripreme za ispitivanje

Kako za elemente konstrukcije "Bijeli strop" ne postoji izravna hrvatska norma, to je ispitivanje osim u skladu s općom hrvatskom normom HRN EN 13369:2004 provedeno i u sukladnosti s općom literaturom kao i uobičajenom svakodnevnom inženjerskom praksom.

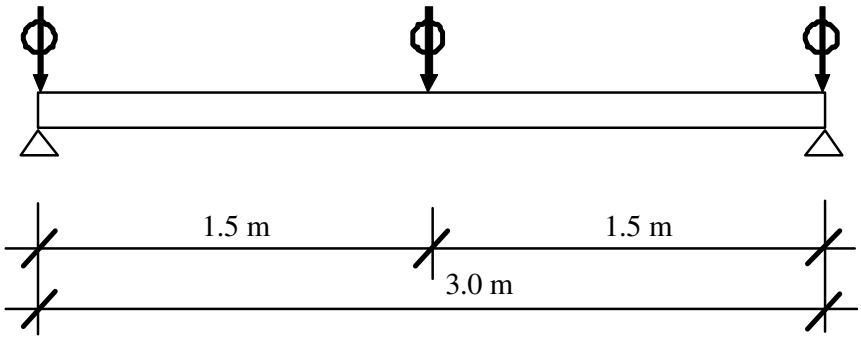
Gredice se ispituju 2 puta godišnje od strane ovlaštene pravne osobe, prema Zakonu o građevnim proizvodima NN 86/08 [5].

4.2.2. Instrumenti za ispitivanje

Analiziran je statički odgovor predgotovljenih gredica međukatne konstrukcije tipa "Bijeli strop" pri djelovanju probnog opterećenja. Za mjerenje pomaka korištene su digitalne mikrourice tipa Mitutoyo Absolute (Foto 4.4), s hodom od 50 mm, odnosno s točnošću mjerenja od stotinke milimetra.

Foto 4.4: Digitalna Mikrourica Mitutoyo Absolute

Promatrani su pomaci točaka nad osloncima te točke u sredini raspona (Crtež 4.1 i Foto 4.5). Te tri točke su odabrane kao karakteristične s obzirom na prethodno provedena teorijska i pokusna ispitivanja.



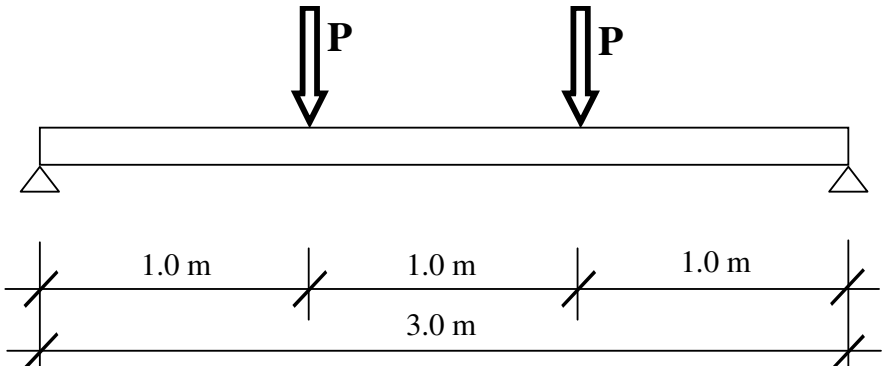
Crtež 4.1: Položaj mjernih mjesta

Foto 4.5: Položaj mjernih mjesta

4.2.3. Predviđene sheme opterećenja

Kao pokusni teret upotrebljavani su pojedinačni blokovi ispune. Oni su slagani oko trećina raspona te su simulirali koncentrirane sile u trećinama raspona (Crtež 4.2).

Opterećenje se postupno povećavalo dodavanjem blokova, u najmanje 10 koraka do sloma gredice.



Crtež 4.2: Raspored opterećenja

4.2.4. Provedba ispitivanja

Ispitivanje predgotovljenih betonskih gredica međukatne konstrukcije tipa "Bijeli strop" izvršeno je 09. travnja 2015. godine u mjestu Sitno Donje, u Pogonu za proizvodnju betonskih elemenata gdje su i proizvedene. Za vrijeme ispitivanja vrijeme je bilo vedro, sunčano, uz povremeni vjetar i temperaturu od cca 15° C.

Ispitivanje je izvršeno na tri predgotovljene gredice. Svaka je armirana s dva RAN nosača - 2ϕ7 u gornjoj zoni i 4ϕ7 u donjoj zoni, kosnici ϕ4. Gredice su postavljene na osnom razmaku od 3 m jer se taj razmak pokazao kao najkritičniji kod prethodnih ispitivanja.

Kao pokusni teret korišteni su blokovi ispune mase 14 kg (Foto 4.6). Postavljani su u više faza ručno, uz oprezno rukovanje (Foto 4.7, 4.8 i 4.9). Nakon svake faze mjereni su progibi na predviđenim mjestima. Slom ispitane gredice je prikazan na Foto 4.9.

Foto 4.6: Provedba ispitivanja (I. faza opterećenja)

Foto 4.7: Provedba ispitivanja (II. faza opterećenja)

Foto 4.8: Provedba ispitivanja (IV. faza opterećenja)

Foto 4.9: Provedba ispitivanja (VII. faza opterećenja) – lomno opterećenje

4.2.5. Rezultati ispitivanja

U Tablici 4.1 prikazane su sile opterećenja odnosno zamjenjujuće linijsko kontinuirano i površinsko kontinuirano opterećenje po pojedinim fazama opterećenja. Rezultati ispitivanja su očitani apsolutni pomaci na mjernim mjestima – u točkama na krajevima (oslonci S i J) i u sredini predgotovljenih gredica G1 (Tablica 4.2), G2 (Tablica 4.3) i G3 (Tablica 4.4).

Tablica 4.1: Faze opterećenja

Faza opterećenja	Sila P (kg)	Zamjenjujuće linijsko kontinuirano opterećenje q(kg/m^1)	Zamjenjujuće površinsko kontinuirano opterećenje (kg/m^2)
I	28	25	37,5
II	56	50	75,0
III	84	75	112,5
IV	112	100	150,0
V	140	125	187,5
VI	168	150	225,0
VII	196	175	262,5

Tablica 4.2: Očitane veličine apsolutnih pomaka (mm) za gredicu G1

Faza opterećenja	Očitani rezultati (mm) – G1		
	Oslonac S	Sredina raspona	Oslonac J
I	0,06	3,08	0,33
II	1,85	6,52	0,68
III	2,80	10,07	1,04
IV	3,64	13,48	1,36
V	4,36	16,87	1,65
VI	4,92	20,29	1,90
VII		Slom	

Do sloma je došlo u VII. fazi opterećenja, nakon postavljenih 6 od 8 blokova, uslijed naglog izvijanja gornjih armaturnih šipki u cca ½ raspona.

Tablica 4.3: Očitane veličine apsolutnih pomaka (mm) za gredicu G2

Faza opterećenja	Očitani rezultati (mm) – G2		
	Oslonac S	Sredina raspona	Oslonac J
I	1,05	3,22	0,68
II	2,01	6,36	1,13
III	2,87	9,31	1,47
IV	3,66	12,24	1,76
V	4,38	15,43	2,02
VI	4,90	18,67	2,29
VII		Slom	

Do sloma je došlo u VII. fazi opterećenja. Nakon postavljenih 2 od 8 blokova uočen je početak izvijanja gornjih armaturnih šipki u cca ½ raspona, dok je nakon postavljanja 4 od 8 blokova došlo do potpunog izvijanja što je uvjetovalo slom gredice.

Tablica 4.4: Očitane veličine apsolutnih pomaka (mm) za gredicu G3

Faza opterećenja	Očitani rezultati (mm) – G3		
	Oslonac S	Sredina raspona	Oslonac J
I	1,24	2,94	0,54
II	2,13	6,02	1,00
III	2,99	9,13	1,35
IV	3,75	12,17	1,66
V	4,45	15,11	1,91
VI	4,95	18,28	2,14
VII		20,02 (slom)	

Do sloma je došlo u VII. fazi opterećenja, neposredno nakon postavljanja zadnjeg bloka, uslijed naglog izvijanja gornjih armaturnih šipki u cca ½ raspona.

Karakteristični izgled mjesta sloma prikazan je na Foto 4.10.

Foto 4.10: Izgled mjesta sloma

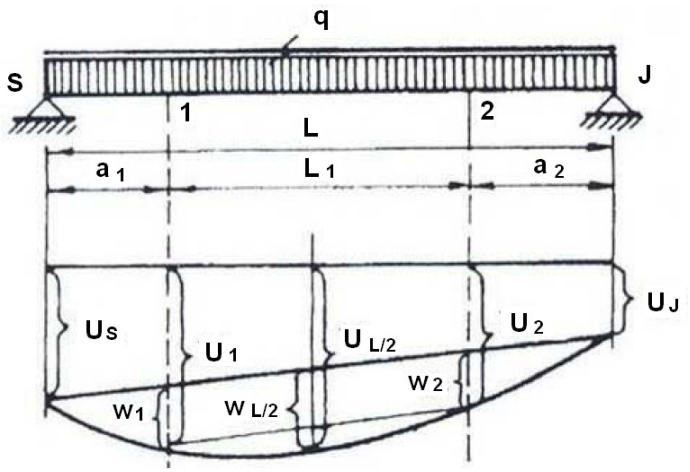
Osim apsolutnih pomaka promatranih točaka koje smo izravno mjerili i očitali s mikrourice, zanima nas i relativni pomak središnje točke svake gredice (Tablica 4.5). Taj relativni pomak predstavlja progib grede i dobiva se računski eliminacijom pomaka oslonaca. Postupak se provodi na sljedeći način (Crtež 4.3):

$$w_1 = U_1 - U_J - \left[(U]_S - U_J\right) \cdot \frac{a_2 + L_1}{L}$$

$$w_2 = U_2 - U_J - \left[(U]_S - U_J\right) \cdot \frac{a_2}{L}$$

$$w_{\frac{L}{2}} = U_{\frac{L}{2}} - U_J - \left[(U]_S - U_J\right) \cdot \frac{1}{2} = U_{\frac{L}{2}} - \frac{U_S + U_J}{2}$$

Veličine U_i predstavljaju apsolutne pomake pojedinih točaka, dok veličine w_i predstavljaju relativne pomake.



Crtež 4.3: Postupak eliminacije pomaka oslonaca

Tablica 4.5: Relativni pomaci (mm) gredica G1, G2 i G3

Faza opterećenja	Očitani rezultati (mm)		
	Gredica G1	Gredica G2	Gredica G3
I	2,89	2,36	2,05
II	5,26	4,79	4,46
III	8,15	7,14	6,96
IV	10,98	9,53	9,47
V	13,87	12,23	11,93
VI	16,88	15,08	14,74
VII	slom	slom	slom

4.3. Ispitivanje elemenata sivog stopa

4.3.1. Pripreme za ispitivanje

Kako za elemente konstrukcije "Sivi strop" ne postoji izravna hrvatska norma, to je ispitivanje osim u skladu s općom hrvatskom normom HRN EN 13369:2004 provedeno i u sukladnosti s općom literaturom kao i uobičajenom svakodnevnom inženjerskom praksom.

4.3.2. Instrumenti za ispitivanje

Kao nosivi elementi konstrukcije tipa "Sivi strop" upotrebljavaju se jednake gredice kao i kod konstrukcije tipa "Bijeli strop". Instrumenti kojima se ispituju, kao i sam postupak ispitivanja već su opisani u odjeljku 4.2.

Elementi blokova ispune – kadice i poklopnice ispitani su samo na nosivost pa nije bilo potrebno koristiti nikakve instrumente.

4.3.3. Provedba ispitivanja

Izvršena su ispitivanja savojne nosivosti kadica i poklopnica, te posmične nosivosti poklopnica. Kao teret su se koristili blokovi ispune mase 14 kg. Ispitane su 3 kadice i 2 poklopnice.

Kadice su opterećivane teretom u sredini raspona preko željeznih šipki na razmaku od po 3 cm od središnje linije. Ispitane su u prirodnom položaju "U" (Foto 4.11), te obrnutom položaju "∩" (Foto 4.12). Opterećenje se postupno povećavalo dok nije došlo do sloma (Foto 4.13 i 4.14).

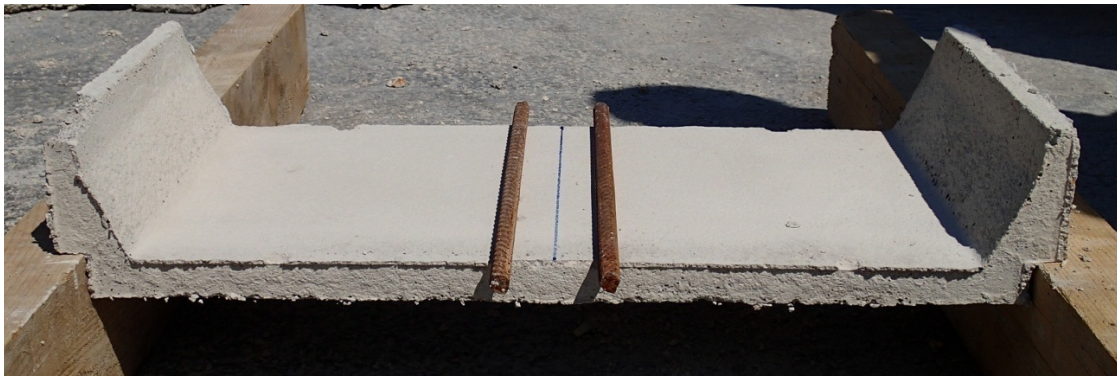


Foto 4.11: Priprema za opterećivanje kadice u položaju U

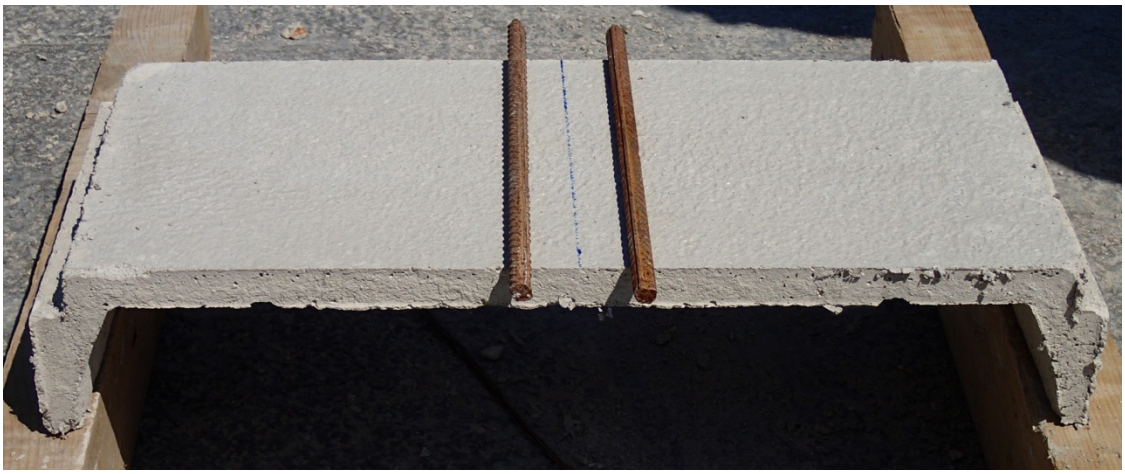


Foto 4.12: Priprema za opterećivanje kadice u položaju ∩

Foto 4.13: Provedba ispitivanja – kadica u položaju U

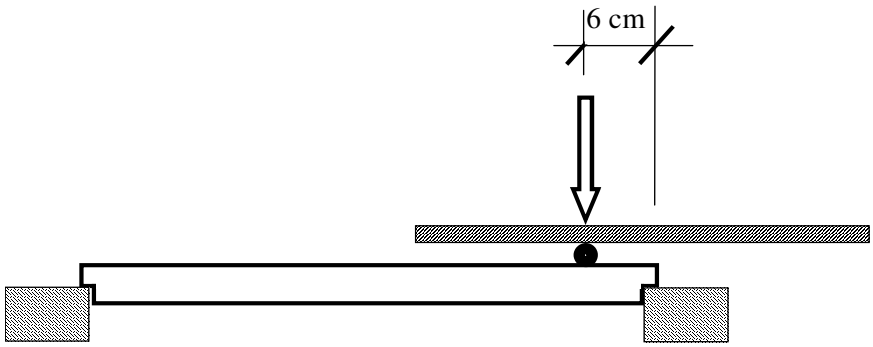
Foto 4.14: Provedba ispitivanja - kadica u položaju ∩

Za ispitivanje savojne nosivosti poklopnice su opterećivane teretom u sredini raspona preko željeznih šipki na razmaku od po 5 cm od središnje linije (Foto 4.15). Opterećenje se postupno povećavalo dok nije došlo do sloma (Foto 4.16).

Foto 4.15. Priprema za opterećivanje poklopnice

Foto 4.16: Provedba ispitivanja – poklopnice

Za ispitivanje posmiče nosivosti poklopnice su opterećivane teretom preko željezne šipke na udaljenosti od 6 cm od slobodnog ruba poklopnice (Crtež 4.4 i Foto 4.17 i 4.18). Opterećenje se postupno povećavalo (Foto 4.19 i 4.20) dok nije došlo do sloma.



Crtež 4.4: Shema ispitivanja posmične nosivosti

Foto 4.17: Priprema za opterećivanje poklopnice na posmičnu nosivost

Foto 4.18: Priprema podloge za opterećivanje poklopnice na posmičnu nosivost

Foto 4.19: Početak nanošenja opterećenja na poklopnicu za ispitivanje na posmičnu nosivost

Foto 4.20: Nanošenje opterećenja na poklopnicu za ispitivanje na posmičnu nosivost

4.3.4. Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja su savojne nosivosti kadica i poklopnica, te posmična nosivost poklopnica (Tablica 4.6). Sve veličine su izražene u kilogramima i predstavljaju ukupnu težinu (broj blokova x težina jednog bloka) blokova koje je pojedini element podnio prije sloma.

Tablica 4.6: Izmjerene veličine savojne nosivosti (kg)

Element	Savojna nosivost (kg)		
	Kadica U	Kadica ∩	Poklopnica
1	112	224	>532
2	140	210	>546
3	126	-	>602

Uočeno je da nosivost kadice ovisi o točnosti položaja armaturnih šipki po visini poprečnog presjeka (Foto 4.21). Kadice u položaju ∩ su pokazale bolju nosivost.

Do sloma poklopnica je došlo pucanjem veze između betona i armaturne šipke u jednoj polovini poklopnice gdje je došlo i do izvlačenja armaturnih šipki. Pucanje se dogodilo uslijed pojave i proširenja pukotine preko cijele visine betonskog presjeka.

Foto 4.21: Izgled mjesta sloma kadice

Kod ispitivanja posmične nosivosti poklopnica do sloma je došlo pri opterećenju većem od 500 kg (Foto 4.22). Posmična nosivost je još veća jer do sloma nije došlo zbog prekoračenja posmičnih naprezanja, već zbog gubitka bočne stabilnosti ispitivanog sustava. Zbog nesimetričnosti sustava došlo je do pojave horizontalne sile koja je gurnula opterećenje prema poklopnici.

Foto 4.22: Izgled mjesta sloma poklopnice pri ispitivanju posmične čvrstoće

4.4. Usporedba rezultata ispitivanja s računskim veličinama i komentar rezultata

Proračuni stropnih konstrukcija tipa "Bijeli strop" i "Sivi strop" provedeni su kombinacijom pojednostavljenih postupaka i složenih numeričkih modela. Provedeni su programom RAVNEL, te su za položaj i veličine opterećenja pri kojima su mjereni pomaci izračunate teorijske veličine unutrašnjih sila i pomaka.

Teorijski rezultati su preuzeti iz studije "Tipski projekt predgotovljene međukatne i krovne konstrukcije "Sivi strop" [6].

Usporedba izmjerenih i teorijskih (proračunatih) veličina progiba gredica u sredini raspona prikazana je u Tablici 4.7, dok su usporedbe izmjerenih i proračubatih veličina nosivosti kadica i poklopnica prikazane u Tablici 4.8.

Tablica 4.7: Usporedba izmjerenih i teorijskih (proračunatih) veličina progiba gredica

Faza opterećenja	Očitani rezultati (mm)			
	Gredica G1	Gredica G2	Gredica G3	Teorijski
I	2,89	2,36	2,05	2,03
II	5,26	4,79	4,46	4,02
III	8,15	7,14	6,96	6,50
IV	10,98	9,53	9,47	8,83
V	13,87	12,23	11,93	11,22
VI	16,88	15,08	14,74	15,24
VII	slom	slom	slom	17,94

Analizom izmjerenih i teorijskih veličina progiba uočava se da su se predgotovljene gredice ponašale konstruktivno ispravno. Izmjerene veličine progiba su u granicama očekivanih (zanemarivo su veće od proračunskih veličina).

Tablica 4.8: Usporedba izmjerenih i proračunatih veličina nosivosti (kg) kadica i poklopnica

Element	Savojna nosivost (kg)		
	Kadica U	Kadica ∩	Poklopnica
1	112	224	>532
2	140	210	>546
3	126	-	>602
Teorijska nosivost (kg)			
za vrijeme slaganja	216	216	216
u uporabi	216	216	335

Ako promatramo prosječne vrijednosti izmjerenih veličina nosivosti poklopnica [((>532)kg + (>546) kg + (602) kg)/ 3 = (>560) kg], uočavamo da su one veće od proračunatih vrijednosti i u fazi slaganja i u fazi uporabe. Kadice postavljene u položaj ∩ također zadovoljavaju po nosivosti [(224kg + 210kg)/2 = 217 kg], dok su prosječne vrijednosti izmjerenih veličina nosivosti kadica u položaju U [(112 kg + 140 kg + 126 kg)/3 = 126 kg] manje od proračunatih i u fazi slaganja i u fazi uporabe.

Proračunate vrijednosti dobivene su za ekstremni slučaj opterećenja koji se u praksi veoma rijetko može pojaviti tako da se može smatrati da su svi elementi zadovoljili prilikom ispitivanja.

5. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu prikazane su i opisane najvažnije i najčešće rabljene polumontažne stropne konstrukcije. Napravljena je podjela s obzirom na strukturu osnovnih elemenata i statičku funkciju pa su posebno prikazani polumontažni sitnorebrasti stropovi – stropovi sustava Isteg, polumontažni stropovi od punih i šupljih AB ploča, te polumontažni stropovi sa šupljim tijelima: stropovi sustava Monta, stropovi sustava Fert, stropovi s prednapetim opečnim gredicama (SPOG), stropovi sustava Voljak, Bijeli strop i Sivi strop. Navedeni su namjena i područje primjene pojedinog stropa, te najvažnije karakteristike. Prikazani su poprečni presjeci stropova s pripadnim dimenzijama, te su prikazani i opisani svi elementi od kojih se sastoje. Ukratko je opisan način izvedbe pojedinog stropa – redoslijed montaže, armiranje, eventualno nadvišenje i podupiranje.

U nastavku je opisan način ispitivanja polumontažnih stropnih konstrukcija. Navedeni su najvažniji propisi i norme koji se koriste: HRN EN 13369:2004: Opća pravila za predgotovljene betonske elemente [1], Tehnički propisi za betonske konstrukcije [2], HRN U.M1.047: Ispitivanje konstrukcija probnim opterećenjem i ispitivanje do sloma [3], HRN EN 13670-1:2006: Izvedba betonskih konstrukcija [4]. Posebno je objašnjen kompletan postupak ispitivanja prema normi HRN U.M1.047, od same pripreme za ispitivanje, provođenja ispitivanja, utvrđivanja traženih svojstava do pisanja izvještaja.

Zatim su ti postupci ispitivanja primijenjeni na konkretni slučaj – ispitivanje elemenata polumontažnih stropnih konstrukcija tipa "Bijeli strop" i "Sivi strop" koje je izvršeno 09. travnja 2015. godine u mjestu Sitno Donje, u Pogonu za proizvodnju betonskih elemenata. Ukratko je opisan proces proizvodnje gredica i betonskih blokova, a zatim priprema za ispitivanje i sam proces ispitivanja. Predgotovljeni nosivi elementi – gredice ispitivani su probnim opterećenjem do sloma. Opterećenje se nanosilo u fazama, prema unaprijed određenim shemama. Nakon svake faze su mjereni progibi pomoću mikrourica, te su oni kasnije uspoređeni s računski dobivenim vrijednostima, preuzetim iz studije Tipski projekt predgotovljene međukatne i krovne konstrukcije "Sivi strop″ [5]. Rezultati su bili u skladu s očekivanim. Elementi ispune – kadice (ispitivane u dva položaja – U i ∩) i poklopnice ispitivane su samo na nosivost, pa nisu bili potrebni nikakvi instrumenti. Opterećenje se nanosilo u fazama, dok nije došlo do sloma elementa. Poklopnice i kadice u položaju ∩ pokazale su zadovoljavajuću nosivost, dok je nosivost kadica u položaju U bila manja od proračunske.

6. LITERATURA

[1] ***Hrvatska norma HRN EN 13369:2004: Opća pravila za predgotovljene betonske elemente (EN 13369:2004)***, Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, 2004.

[2] ***Tehnički propisi za betonske konstrukcije***, Narodne Novine br. 101/2005, Zagreb, 2005.

[3] ***Hrvatska norma HRN U.M1.047: Ispitivanje konstrukcija probnim opterećenjem i ispitivanje do sloma***, Službeni list br. 4/87, siječanj 1987.

[4] ***Hrvatska norma HRN EN 13670-1:2006: Izvedba betonskih konstrukcija – 1. dio: Općenito (EN 13670-1:2000)***, Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, 2006.

[5] ***Zakon o građevnim proizvodima***, Narodne Novine br. 86/2008, Zagreb, 2008.

[6] ***Tipski projekt predgotovljene međukatne i krovne konstrukcije "Sivi strop"***, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2000. (glavni projektant: Prof. dr. A. Mihanović)

[7] ***P. Marović: Izvještaj o izvršenom pokusnom opterećenju i ispitivanju predgotovljenih gredica i blokova ispune međukatne konstrukcije tipa "Sivi strop"***, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, travanj 2015.

[8] ***Đ. Peulić: Konstruktivni elementi zgrada – 1. i 2. dio,*** CROATIAKNJIGA, Zagreb, 2002.

[9] ***M. Mittag: Građevinske konstrukcije***, Građevinska knjiga, Beograd, 2003.

[10] ***M. Crnogorac, I. Gukov, B. Galić, M. Župan: Stropne konstrukcije u standardnoj visokogradnji***, Građevinar, Vol. 52, br. 5, str. 271-277, 2000.

[11] ***V. Herak - Marović: Betonske konstrukcije 2: Stropovi***, interna skripta - zapisi s predavanja, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Sveučilište u Splitu, Split, 2008/2009.

[12] ***P. Marović: Ispitivanje konstrukcija,*** interna skripta - zapisi s predavanja, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Sveučilište u Splitu, Split, 2014.

[13] ***D. Grandić: Betonske i zidane konstrukcije: Stropovi i nadvoji od predgotovljenih opečnih elemenata,*** zapisi s predavanja, Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2012.

[14] ***Prednapregnute šuplje ploče,*** prospekt firme, SGP Gorica n.sol.o., Nova Gorica

[15] ***Tvrtka „Bijeli dom" d.o.o.***, URL: .http://www.bijelidom.hr (2015 – svibanj)

[16] ***Tvrtka „Ytong porobeton" d.o.o.***, URL: http://www.ytong.hr (2015 – svibanj)