

# Tehničko-ekonomski aspekt primjene dviju tehnologija stropne konstrukcije građevine "Arena centar" u Zagrebu

---

**Tomašić, Valentino**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:120901>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-26**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

*Završni rad br. 256/GR/2016*

**Tehničko - ekonomski aspekt primjene dviju tehnologija  
stropne konstrukcije građevine "Arena centar" u Zagrebu**

**Valentino Tomašić, 4247/601**

Varaždin, rujan 2017. godine





**Sveučilište  
Sjever**

**Odjel za graditeljstvo**

**Završni rad br. 256/GR/2016**

**Tehničko - ekonomski aspekt primjene dviju tehnologija  
stropne konstrukcije građevine "Arena centar" u Zagrebu**

**Student**

Valentino Tomašić, 4247/601

**Mentor**

Predrag Presečki, dipl.ing.građ.

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

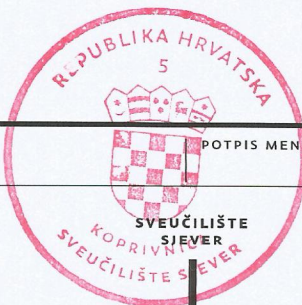
ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Valentino Tomašić	MATIČNI BROJ	4247/601
DATUM	08.06.2016.	KOLEGIJ	Montažno građenje
NASLOV RADA	Tehničko-ekonomski aspekt primjene dviju tehnologija stropne konstrukcije građevine "Arena centar" u Zagrebu		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Technical-economic aspect of the application of two technologies ceiling construction of the building "Arena Center" in Zagreb		
MENTOR	Predrag Presečki	ZVANJE	dipl.ing.građ.; predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof. dr. sc. Božo Soldo 2. Predrag Presečki, predavač 3. Ivan Špišić, predavač 4. Matija Orešković, predavač 5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	256/GR/2016
OPIS	<p>Pristupnik treba analizirati dva rješenja stropnih ploča na rasponima 8x16 m. Pojedine dilatacije rađene su montažnim gredama i šupljim pločama, a ostale tehnologijom naknadnog prednapetih monolitnih ploča. Analiziraju se prednosti i nedostaci ovih dviju tehnologija. U radu je potrebno obraditi sljedeće teme:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Uvodni dio, vrste stropnih konstrukcija za savladavanje velikih raspona 8x16m</li><li>2. Opis tehnologije montažnih stropnih ploča</li><li>3. Opis tehnologije naknadno prednapetih monolitnih stropnih ploča</li><li>4. Ekonomski aspekt usporedne analize obiju primjenjenih tehnologija na građevini</li><li>5. Zaključak</li></ol> <p>Literatura: Betonske konstrukcije - odabrana poglavlja, DHKG, Zagreb 1993. Eurocode 2 D. Jevetić : Prednapregnuti beton, Građevinska knjiga, Beograd 1979. Glavni projekt i izvedbeni projekt građevine "Arena centar" - Trgovačko zabavni centar, projekt UPIZM, Zagreb 2009. Bijan AAlami : Osnove proračuna naknadno napetih betonskih stropova, izdanje HUBITG, Zagreb 2009.</p>

ZADATAK URUČEN

10. 06. 2016



POTPIS MENTORA

*Predrag Presečki*

## **Predgovor**

*Zahvaljujem svom mentoru dip. ing. građ. Predragu Presečki na savjetima, uputama te materijalima prilikom izrade završnoga rada.*

*Posebno hvala svim profesorima i predavačima koji su mi tijekom studija na najrazličitije načine usadili mnoga znanja i učinili studiranje jednim od najljepših razdoblja obrazovanja.*

*Velika hvala mojoj obitelji na razumijevanju i podršci tijekom studiranja.*

*Hvala svim prijateljima na zajedničkom svladavanju studijskih obaveza i lijepim druženjima.*

## Sažetak

U ovom završnom radu prikazane su osnovne vrste stropnih konstrukcija najčešće primjenjivanih u viskogradnji s naglaskom na analiziranju stropnih konstrukcija koje se najčešće upotrebljavaju za stropove većih raspona. Strop je jedan od osnovnih konstruktivnih elemenata zgrade. Glavne karakteristike stropa su da dijeli prostor i formira katove ili etaže, preuzima vertikalna i horizontalna opterećenja, prenosi ih na ostale konstruktivne elemente, nosi slojeve poda s gornje strane te slojeve podgleda s donje strane. Stropovi se sastoje od tri osnovna dijela, a to su nosiva konstrukcija, slojevi poda te podgleda ili plafona. Osnovna podjela stropova prema načinu izvođenja je na monolitne stropove, polumontažne i montažne stropove. U radu je posebno analiziran i opisan proces te način gradnje stropnih konstrukcija na dva načina: montažnim sa šupljim montažnim pločama te monolitnim s naknadnim prednapinjanjem. Analizirana su oba načina gradnje te istaknute prednosti i nedostaci svakoga. Opisani su osnovni sustavi i načini izvođenja montažne gradnje te proces i način naknadno prednapinjanja stropnih konstrukcija. Oba načina savladanja stropnih raspona moguća su na razne načine i raznim sistemima, no u globalu svi ti sistemi uvelike nalikuju jedan na drugi te se razlikuju samo u detaljima. Kod montažnih stropnih konstrukcija razlikujemo nekoliko osnovnih načina savladavanja potrebnih raspona. To su montažne stropne konstrukcije od šupljih ploča, rebrastih ploča, masivnih ploča, kompozitnih stropnih konstrukcija, sitnorebrastih stropnih konstrukcija te stropova od gredica i ispuna. Kad je riječ o naknadnom prednapinjanju, postoji veliki broj različitih sistema, no svi su slični trima najpoznatijim i najraširenijim sistemima. To su BBR, Dywidag (Dywidag System international, DSI) i Freyssinet. Na konkretnom primjeru analizirana su oba načina s posebnim naglaskom na ekonomski aspekt.

**Ključne riječi:** stropne ploče, naknadno prednapinjanje, montažni stropovi, ploče velikih raspona

## **Popis korištenih kratica**

<b>AB</b>	armirani beton
<b>cca.</b>	okvirno/otprilike
<b>DSI</b>	Dywidag System international
<b>NN</b>	narodne novine
<b>PT</b>	post tension – naknadno prednapregnuto



## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Obrada zadatka .....	5
2.1. Montažne stropne konstrukcije .....	5
2.2. Naknadno prednapinjanje.....	16
2.2.1. Tehnologije naknadnog prednapinjanja .....	20
3. Praktični dio .....	26
3.1. Stropna konstrukcija izvedena montažno.....	29
3.2. Stropna konstrukcija izvedena monolitno uz naknadno prednapinjanje .....	30
4. Analiza .....	31
5. Zaključak.....	36
6. Literatura .....	37

## 1. Uvod

Stropne konstrukcije jedan su od najvažnijih građevinskih elemenata svake konstrukcije. Savladavanje što većih raspona na što ekonomičniji način oduvijek je težnja svih graditelja. Stropne konstrukcije horizontalne su nosive konstrukcije i one preuzimaju opterećenje svih struktura i sadržaja građevine te ih prosljeđuju na vertikalnu konstrukciju, a ujedno osiguravaju da ti sustavi djeluju zajedno pri preuzimanju horizontalnih djelovanja (npr. vjetar, potres) te zbog toga moraju imati prikladnu krutost i otpornost u vlastitoj ravnini i učinkovite spojeve s vertikalnim konstrukcijskim sustavima.

Tijekom povijest razvila su se mnogobrojna rješenja stropnih konstrukcija i načina izvedbe. Podjela samih stropnih konstrukcija jasno je definirana te se one dijele prema strukturi osnovnih elemenata i gradiva na tri primarne cjeline te prema načinu izvedbe na tri primarne cjeline.

Prema načinu izvedbe razlikujemo:

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

Prema strukturi osnovnih elemenata i gradiva razlikujemo:

1. Pločaste stropne konstrukcije – osnovno gradivo je beton prožet armaturom
2. Rebraste stropne konstrukcije – konstrukcija se sastoji od linijskih štapnih elemenata i tankih pločastih elemenata
3. Mješovite stropne konstrukcije – kombinacija greda i ploča

U ovom radu posebno će biti prezentirane razlike, prednosti i nedostaci monolitnih, polumontažnih i montažnih stropnih konstrukcija. Sam naziv „monolitno“ dolazi od grčkih riječi *monos* i *lithoskamen* što u doslovnom prijevodu znači „kao iz jednog kamena isklesano“. Monolitno označava jedinstvenost, cjelovitost ili nedjeljivost što su glavne karakteristike armiranobetonskih monolitnih stropova. Monolitni stropovi izrađuju se na licu mjesta te tamo ostaju trajno. Monolitni stropovi izrađuju se pomoću oplata i skela koji se mogu stvarati izvan samog mjesta uporabe, baš kao što se armatura obično priprema van mjesta konačne ugradnje dok se na licu mjesta definitivno postavlja i povezuje. Također se na isti način miješa i transportira betonska mješavina.

Postoje dvije osnovne podjele monolitnih stropova. To su armiranobetonske ploče i rebraste stropne ploče. Klasične armiranobetonske ploče uobičajne su debljine od 14-20 cm te prevaljuju raspone od 5 do 6 m jednosmjerno ili do 8x8 m dvosmjerno. Eventualno povećanje raspona ab ploča uzrokuje povećanje debljine ploče te većeg utroška armatura. Zbog toga one postaju teže, a ujedno i ekonomski skuplje te se u tim slučajevima više isplati prionuti drugim oblicima savladavanja takvih raspona. Prema statičkim karakteristikama ab ploča može biti oslonjena na dva ili više ležaja, može biti upeta na jednom ili više ležaja, konzolna ploča ili kontinuirano oslonjena. U novije vrijeme posebno su zanimljive ab ploče šuljeg presjeka čija je glavna karakteristika olakšavanje konstrukcija zbog izrade šupljina u samoj ploči.

Ab ploče također se mogu izvesti u obliku „gljivastih stropova“. Riječ je o stropovima s dvosmjernim ab pločama bez greda oslonjenima na stupove. Prednost ovog stropa je u slobodnom podgledu što se može iskoristiti za razne instalacije bez potrebe za spuštanjem stropa zbog greda. „Gljivasti stropovi“ imaju ojačane kapitule u dužini od 1/6 raspona od osi stupa za raspon koji savaljavaju na svaku stranu od stupa te tako sa 1/3 ojačanog kapitela nose 2/3 preostalog raspona. Jedan od načina izvođenja ploči za savladavanje većih raspona su i ploče s gredom odnosno tzv. „Henebique strop“. Budući da ploče na većim udaljenostima nisu ekonomične, izvode se ploče s gredama. Razmaci između greda su 1,5 do 3 m. Na većim rasponima izvode se uz primarne i sekundarne grede kojima se osigurava optimalan rapon ploče. Debljina ploče ovisi o rasponu, no u pravilo ne smije biti manja od 8 cm.

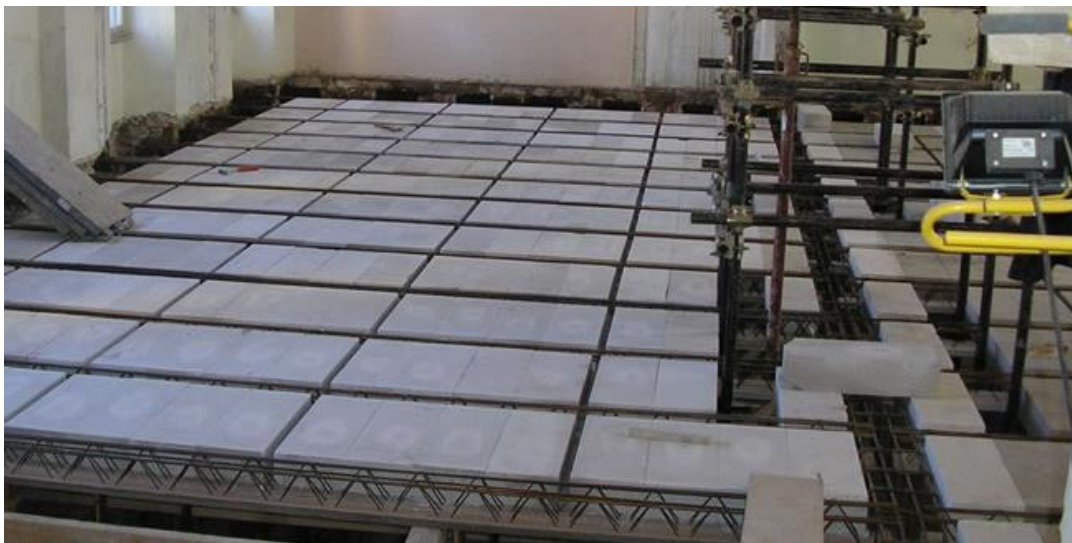


*Slika 1.1. – Primjer rebrastog stropa sustava Porotherm*

Uz armiranobetonske ploče u monolitnom načinu izvođenja stropnih konstrukcija postoje i rebrasti stropovi. Primjer slika 1.1. i slika 1.2. Rebrasti stropovi su stropovi koji imaju rebra odnosno tanje grede na manjem razmaku. Razmak između greda najčešće je od 40 do 70 cm. Rebra mogu biti postavljena u jednom ili dva smjera. Ab ploča koja je oslonjena na rebra zbog malog raspona male je debljine; minimalno 4 cm, a debljina se određuje približno kao 1/10 raspona koji prevaljuje. Rebra su tanka i debljina im je najmanje 5 cm te su zbog

ekonomičnosti na donjem kraju često uža, nego na gornjem. S obzirom da su rebra uska i visoka, kod rebara u jednom smjeru na većim rasponima potrebno je izvesti rebra za ukrućenje čiji je smjer poprijeko na smjer rebara. Rebra za ukrućenje postavljaju se u razmacima maksimalno od 3 m. Na ovaj način, tj. armiranobetonskim rebrastim stropom moguće je prevaliti veće raspone (veće i od 12 m) te je zbog toga česta uporaba istih.

Za većinu dosad spomenutih vrsta monolitnih stropova potrebne su razne vrste skela i oplata. Izvedba oplata i skela na licu mjesta zahtijeva povoljne vremenske uvjete i vremenske rokove za montiranje i uklanjanje istih što znatno usporava sam proces gradnje, a ujedno ga i poskupljuje. Zbog veće ekonomičnosti poseže se za drugim rješenjima, prije svega to su polumontažni stropovi. Elementi (grede ili rebra) za polumontažne stropove izrađuju se unaprijed u tvornici ili pogonu te ne ovise o samom gradilištu i uvjetima na njemu. Ti elementi dopremaju se i ugrađuju na mjesto ugradnje, a zatim slijedi druga faza izvedbe polumontažnog stropa. Između rebara ili greda postavlja se oplata ili šablone u koje se najprije postavi armatura, a zatim se na licu mjesta ugradi beton. Tako se dobivaju ploče koje horizontalno povezuju sva rebra i daju ravnu površinu ispod budućeg poda. Na tržištu postoji mnogo vrsta i sistema armiranobetonskih polumontažnih stropova koji se obično nazivaju po proizvođačima ili konstrukterima istih. Postoje sistem „Herbst“, sistem „Isteg“, sistem „Avramenko“, sistem „Ferenščak-Steinman“, sistem „Ferjan“, sistem „Betonproizvod“, sistem „KAT“, sistem „Fert stropa“, sistem „Bijelog stropa“, sistem „Monta“, sistem „Omnia ploča“ te mnogi drugi. Najčešće razlika između pojedinih sistema je u načinu savladavanja razmaka između rebara ili gredica te u tom slučaju svaki sistem ima samo sebi karakteristična svojstva ili oblik i način izvedbe.



*Slika 1.2. – Primjer rebrastog stropa sustava „Bijeli strop“*

Prema načinu izvedbe razlikujemo dvije osnovne vrste polumontažnih stropnih konstrukcija. To su stropne konstrukcije izvedene s oplatom i konstrukcije izvedene bez oplata. Kod izvedbe polumontažne nosive stropne konstrukcije s oplatom između gotovih ab rebara postavlja se oplata ili kalupi te se betonira sama stropna konstrukcija. Kod izvedbe polumontažnih stropova bez oplata između postavljenih ab rebara postavljaju se ulošci odnosno elementi koji trajno ostaju dio konstrukcije, a na njih dolazi betonska ploča koja se betonira na licu mjesta.

Uz monolitne i polumontažne konstrukcije postoje i montažne konstrukcije. Glavna razlika između polumontažnih i montažnih stropnih konstrukcija je u tome što se kod montažnih konstrukcija svaki nosivi element prefabricira van mjesta ugradnje uz izvedbu tlačne ploče za ukrotu na licu mjesta. To pospješuje brzinu gradnje, prvenstveno po tome što ugradnja ne ovisi o vremenskim uvjetima i okolnostima na gradilištu. Postoji nekoliko osnovnih vrsta montažnih stropova. Jedna vrsta posve je slična polumontažnim rebrastim stropovima, ali za razliku od polumontažnih gdje se ploča betonira monolitno u ovom slučaju su i rebra i ploča prefabricirani i direktno se ugrađuju na licu mjesta. Druga se vrsta sastoji od samih rebara ili greda koje se slažu jedna do druge te tako natrivaju prostor svojim širinama bez ploče ili uz dodatak ploče samo na gornjoj ili donjoj strani. Treća su vrsta stropovi od montažnih ploča koje bez greda preuzimaju terete i pokrivaju prostore. Četvrta su vrsta pokrovi od krovnih ploča koje se na nekim zgrada stavljaju iznad prostorije najviše etaže.

Uz sve navedeno, danas postoji podosta odličnih „novih“ tehnika savladavanja stropnih raspona koji kombiniraju najbolje elemente više sustava. Jedan od takvih načina gradnje stropnih konstrukcija je naknadno prednapinjanje monolitno izrađenih stropnih ploča. Najjednostavnije rečeno radi se o napinjanju armature betona naknadno, nakon samog betoniranja. Ovom tehnikom postižu se odlični rezultati na najzahtjevnijim građevinama. Navedenom tehnologijom mogu se savladavati veliki rasponi, dok se sama debljina ploče smanjuje. Znatna je ušteda na armaturi, brzini izvođenja, održavanja, a pruža i veću fleksibilnost objektu. Upravo će ovo biti jedno od najvažnijih poglavlja u daljnjem radu.

## 2. Obrada zadatka

### 2.1. Montažne stropne konstrukcije

Montažno građenje izvođenje je građevinskih objekata gotovim građevinskim elementima koji su prethodno proizvedeni te se ugrađuju na za to ranije predviđeno mjesto u konstrukciji, odnosno objektu. Montažno građenje nije novost, ono postoji oduvijek. U najstarije doba ljudi su izgrađivali građevinske elemente van mjesta ugradnje te ih transportirali i ugrađivali na za to predviđeno mjesto, najčešće na izvoru određenog građevinskog materijala. Tako su primjerice izrađene piramide, hramovi i drugi monumentalni objekti. Sve nam to pokazuje da je montažno građenje u osnovi prirodni proces izvođenja objekata. Ono što je novo i od presudne važnosti, danas, a i u bližoj povijesti jest da montažno građenje poprima obilježje industrijske tehnologije. Gotovi građevinski elementi od betona prvi su puta primjenjeni 1849. godine kada je francuski vrtlar Monier od betona izradio velike posude za cvijeće i armirao ih žicom te time stvorio građevinski element od armiranog betona koji ujedno u potpunosti odgovara prvom armiranobetonskom montažnom elementom. Ozbiljniji zaokret k montažnoj industrijskoj gradnji dogodio se po završetku 2. svjetskog rata kada je počela intenzivna industrijska proizvodnja raznih građevinskih elemenata u svrhu što brže obnove i gradnje zemalja.

Glavni razlozi okretanja montažnom-industrijskom graditeljstvu su povećanje produktivnosti i ekonomičnosti same gradnje. Ponekad je dovoljna tek jedna prednost ili osobina da se umjesto tradicionalnog monolitnog građenja prijeđe na montažno građenje.

Glavne prednosti montaže gradnje su:

- montažni građevinski elementi mogu se proizvoditi pod optimalnim i kontroliranim uvjetima tehnike, tehnologije, klime i produktivnosti
- prilikom proizvodnje postiže se bolja kvaliteta samog proizvoda zbog industrijskog načina proizvodnje i kontrole te stalnog (školovanog i osposobljenog) kadra
- postiže se bolja iskorištenost materijala, smanjuju se gubici i otpad

- omogućava se neprekidan rad u tijeku cijele godine, neovisno o sezoni i vremenskim prilikama, radi su u pogonu što je uvelike jednostavnije, sigurnije i brže od rada na skelama, visinama i raznolikim vremenskim uvjetima
- velike uštede na skelama i oplatama
- manji temperaturni utjecaji na rad konstrukcije
- montaža elemenata pretežito je suhim postupcima te se time u objekt unosi minimalno građevinske vlage što ubrzava završetak radova i početak korištenja građevina

Nedostaci montažnog građenja:

- potrebna su velika početna investicijska ulaganja (pogon, transportna mehanizacija, ugradbena mehanizacija...)
- troškovi transporta elemenata
- veliki broj spojeva koji predstavljaju i najveći izazov kod montažnog građenja
- opasnost od uniformiranosti ako se ne vodi računa i ne razlikuje tipizacija elemenata

Različiti autori dijele montažne sisteme na različite načine pa neke općeprihvatljive podjele nema, no jedna od najraširenijih podjela je:

- s obzirom na konstrukciju (velikoplošni, skeletni, prostorni, mješoviti)
- s obzirom na upotrebene materijale (laki beton, teški beton, opeke, drva, metala...)
- s obzirom na težine montažnih elemenata (laki, srednji i teški)
- s obzirom na postotak montaže (polumontažni - 50%, montažni- 50-90%, totalna montaža – više od 90%)
- s obzirom na mjesto proizvodnje (poligon, pogon)
- s obzirom na namjenu objekta (stambeni objekti, javne zgrade, hale, dvorane, mostovi, objekti niskogradnje...)
- s obzirom na „otvorenost sistema“ (otvoreni i zatvoreni)

Danas u svijetu postoji vrlo mnogo različitih sistema montažne izvedbe stropnih konstrukcija. Velikih razlika u sistemima nema. Najčešće je riječ o načinu izrade elementa, obliku elementa ili materijalu od kojeg je napravljen pojedini element jedinog sistema. Za potrebe ovog rada ostat ćemo fokusirani samo na sisteme montažnih ploča za stropne konstrukcije. Stropne konstrukcije su oslonjene na grede preko kojih se opterećenja prenose dalje na vertikalne stijenke. Stropne konstrukcije unutar kompletne konstrukcije djeluju kao dijafragme koje prenose horizontalna opterećenja na zidove i stupove. Glavne prednosti primjene montažnih stropnih konstrukcija u odnosu na tradicionalne načine gradnje su:

- jednostavnost i ekonomičnosti tvorničke izrade elemenata visoke kvalitete
- velika preciznost izvedbe elemenata konstrukcije čime se osigurava veća kvaliteta cjeline
- brzina i sigurnost izvedbe stropnih konstrukcija bez oplata
- minimalna potreba dodatnog betona i armature na mjestu ugradnje
- relativno mala vlastita težina stropnih konstrukcija
- odlična termička i zvučna izolacijska svojstva
- mogućnost postizanja većih raspona

Izgled i karakteristike montažnih stropnih konstrukcija uvelike ovise o vrsti proizvođača te su to ujedno i jedine razlike od sistema do sistema (od proizvođača do proizvođača). Postoje mnogi tipovi stropnih montažnih konstrukcija koji su u prošlosti bili patentirani kao proizvodi pojedinih tvornica. Masovna proizvodnja i uporaba montažnih stropnih konstrukcija počela je tijekom 60-tih i 70-tih godina 20. stoljeća. Većina tih sustava danas se više ne prakticira jer su usavršeni novi i bolji sistemi, no i oni se baziraju upravo na tim prvobitnim sistemima te postoje evidentne sličnosti. Upravo stoga važno je spomenuti neke od najpoznatijih. To su: sistem „J“ – inž. Perkovića, „HICO“ sistem, „Super 20“, „Koritasti nosač 16“, „Kajzer“, „DIN 4233“, „PB“ ing. Jevtić, „KAT 20“. Sličnost između svih navedenih i mnogih drugih sistema je u tome da ih čine uglavnom grede i blokovi ispune koji su naknadno armirani i zaljevani betonom te tako povezani u jednu kompaktnu cjelinu. Osnovna razlika između navedenih stropnih sistema je među oblicima i dimenzijama pojedinih konstruktivnih elemenata stropa.

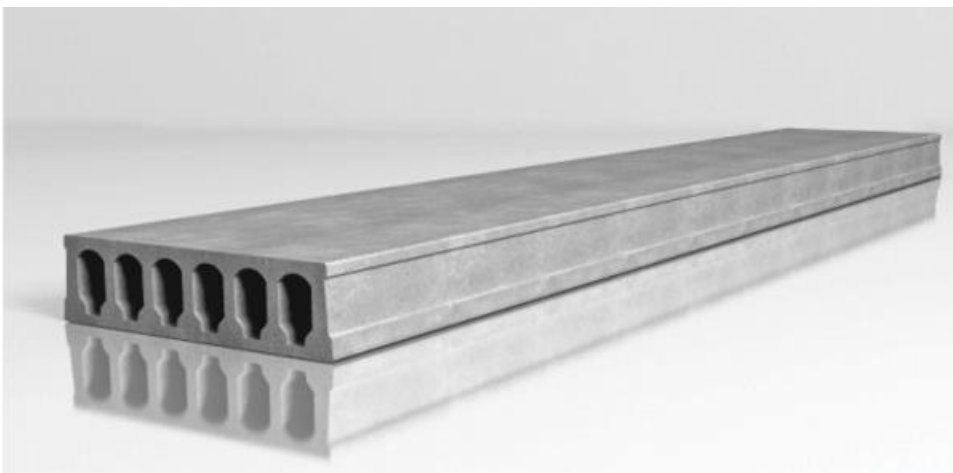
Podjela montažnih stropnih konstrukcija današnjeg doba prema glavnim konstruktivnim osobinama montažnih elemenata i načinu izvedbe:



1. Šuplje ploče
2. Rebraste ploče
3. Masivne ploče
4. Kompozitne stropne konstrukcije
5. Sitnorebrasti polumontažni stropovi
6. Stropovi od gredica i blokova

### 1) Šuplje ploče

Šuplje ploče montažni su međuspratni konstruktivni elementi s kontinuiranim unutrašnjim šupljinama koje umanjuju težinu elemenata i stvaraju efikasan nosivi presjek. Širina, dužina i debljina ploča razlikuju zbog različitih proizvođača i potreba. Parametri ploče ovise o funkciji ploče, opterećenju i razmaku oslonaca (raspon ploče). Tvornička proizvodnja ovakvih ploča omogućava postizanje visoke kvaliteta i preciznosti izrade. Šupljine mogu biti različitih oblika, a najčešće su ovalne ili kružne. Visina šupljina ne smije biti veća od  $h-5\text{cm}$ , promjer šupljine ograničen je s  $h-7,5\text{cm}$ , dok debljina donjeg ruba iznosi  $1,6\sqrt{h}$  ( $h$ -predstavlja ukupnu visinu elementa). Šupljine kod ovih ploča prvenstveno su postavljene radi smanjenja vlastite težine ploče i manjeg utroška materijala.



*Slika 2.1.1. - Šuplja betonska ploča sistema Širbegović*

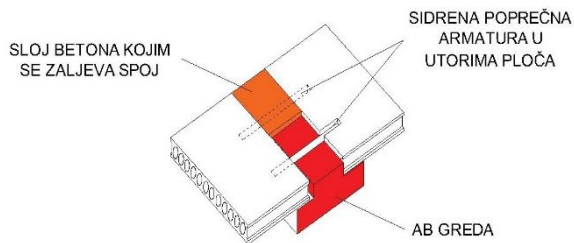
Vlastita težina šuplje betonske ploče gotovo je za 50% manja od klasične monolitne pune ploče. S obzirom na način armiranja ploče mogu biti nosive u jednom ili dva smjera, mogu biti armirane s ili bez prednapinjanja. Raspon koji savladavaju ploče bez prednapinjanja je do 9 m, dok one prednapete dosežu i do 20 m. Širina i visina ploča ovise o proizvođaču, no najčešće su 1,2 m i 0,6 m širine te 15 do 30 cm visine, iako postoje i do visine od 73 cm. Izvedba šupljina u pločama dobiva se na način da se kod betoniranja u ploču umetnu cijevi željenog oblika od plastike, vodootpornog kartona, gume ili sličnog materijala. Razmak između šupljina odabire se prema vrsti opterećenja te rasponu koji ploče savladavaju. Minimalan razmak je 20 mm. Šuplje ploče mogu se koristiti bez betoniranja tlačne ploče preko njih. Kod šupljih ploča izazov je izvedba šupljina za stubišta, liftove i slično. Na tim mjestima ploča je oslabljena jer se prekida kontinuitet, no posebnim elementima i taj problem se savladava. Uglavnom se tim elementima (prihvaticama) ploča oslanja na susjedne ploče. Maksimalni otvori definirani su od proizvođača te ovisi o vrsti sistema, opterećenju koje podnosi i rasponu koji savladava.



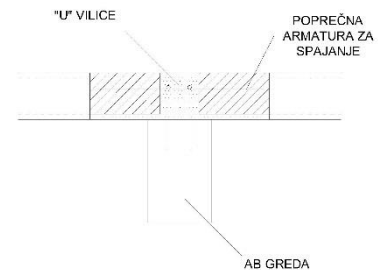
*Slika 2.1.2. - Stropna konstrukcija od šupljih betonskih ploča - sistem PGM-Hotic*

Ploče na krajevima imaju utore za armaturu. Kroz njih se produžuje armatura iz okolnih nosača (najčešće greda) i time se osigurava kompaktnost cijele konstrukcije. Sama ugradnja tih ploča na za to predviđeno mjesto uz transport najzahtjevniji je dio izvedbe svakog montažnog procesa gradnje stropne konstrukcije. Podizanje i ugradnja vrši se posebnim dizalima. U samim pločama postavljeni su dodatni utori za lakše dizanje i manevriranje elementima. Jedan od najvažnijih i kasnije mogućih kritičnih faza ugradnje šupljih ploča je izvedba spojeva. Kod izvedba spojeva potrebno je osigurati prijenos vertikalnog opterećenja iz šuplje ploče u gredu.

Taj prijenos osigurava se sidrenjem armature iz grede u ploču. Sam spoj može se izvesti različitim oblicima povezivanja armature. Način povezivanja ovisi o samom sistemu, odnosno proizvođaču te je specificiran za svaku ploču zasebno ovisno o okolnostima. Spojevi se nakon armiranja zapunjuju betonom uz obavezno vibriranje. Šuplje ploče oslanjaju se na grede, a duljina oslanjanja je minimalno 60 mm.



*Slika 2.1.3. - Spoj šupljih ploča s gredom*



*Slika 2.1.4. - Presjek spoja*

## 2) Rebraste ploče

Stropne konstrukcije od rebrastih ploča ugrađuju se jer podnose veća opterećenja, odnosno veću nosivost, mogu savladavati veći raspon (čak do 39 m), a ujedno je i vlastita težina manja nego kod primjerice šupljih ploča. Uobičajne širine rebrastih ploča su od 2,4 m do 3,0 m, a visine od 40 do 120 cm. Rasponi koje mogu savladavati ovise o tipu ploče. Postoje jednostrane T ploče (stropni raspon koji savladaju je do 30 m), a postoje i dvostruke T (TT) ploče koje savladavaju raspon do 24 m. Većina rebrastih ploča zahtijeva betoniranje i armiranje tlačne ploče sa samim elementima. Kod izvedbe konstrukcije potrebno je u stropu planirano izvesti otvore za provedbu instalacija i komunikacija. Dimenzije otvora strogo su definirane te ovise od sistema do sistema (od proizvođača do proizvođača).



*Slika 2.1.5. - Primjer stropne konstrukcije od rebrastih ploča - "Prefabricatspujol sistem"*

### **3) Masivne ploče**

Stropne konstrukcije od masivnih ploča rijetko se koriste. Razlog tome je u njihovoj velikoj težini, a samim time i mogućnosti savladavanja velikih raspona. Masivne ploče izrađuju se od laganog betona radi smanjenja vlastite težine i poboljšanja tehničkih svojstava. Pomoću masivnih ploča može se savladati raspon duljine tek do 6 m i uobičajne su širine od 30 do 60 cm, a visine od 10 do 25 cm.



*Slika 2.1.6. - Masivna betonska montažna ploča - "Crosbyconcreteproducts"*

#### 4) Kompozitne stropne konstrukcije

Kompozitne konstrukcije sastoje se od dva dijela. Predgotovljenih elemenata i sloja betona „in situ“. Dodavanje „in situ“ betona na gornjem dijelu predgotovljenih elemenata formira se poseban element koji se zajedno s predgotovljenim dijelovima ponaša kao jedinstvena spregnuta cjelina. Sloj betona koji se naknadno betonira mora biti armiran da bi se ponašao kompozitno s predgotovljenim elementima u konstruktivnom smislu. Čvrstoća betona može biti različita od sistema do sistema, no najčešće se uzima čvrstoća za predgotovljene elemente od C30/37 do C50/60, dok za „in situ“ beton C20/25 do C25/30. Prednosti primjene kompozitnih sistema su povećanje otpornosti na savijanje i posmična naprezanja stropnih ploča, bolja povezivanja stropnih ploča i greda, pri tome se osigurava siguran prijenos, opterećenje između pojedinih elemenata te s elementa na oslonce. U svakom slučaju „in situ“ beton okružuje predgotovljene elemente te formira monolitnu strukturu. Danas postoji veliki broj kompozitnih stropnih sistema. Postoje brojna rješenja s korištenjem šupljih ili rebrastih predgotovljenih elemenata i tlačnim slojem betona, no jedan od svakako najpoznatijih kompozitnih sistema je „Omnia“ sistem. Sam sistem sastoji se od montažnih ploča i dodatka „in situ“ betona. U samim Omnia pločama obično je ugrađena sva potrebna armatura, moguće je stvoriti omnia ploču nosivom u jednom i u dva smjera. Standardna dimenzija „Omnia“ ploča je od 10 m dužine, 0,3 do 2,2 m širine te 4 do 5 cm debljine. Glavne prednosti „Omnia“ sistema, kao i većine kompozitnih stropnih sistema, su izbjegavanje klasične oplata i tesarskih radova, brza izgradnja, manja težina, predgotovljenim elementima izvode se dimnjaci, instalacija i komunikacije.

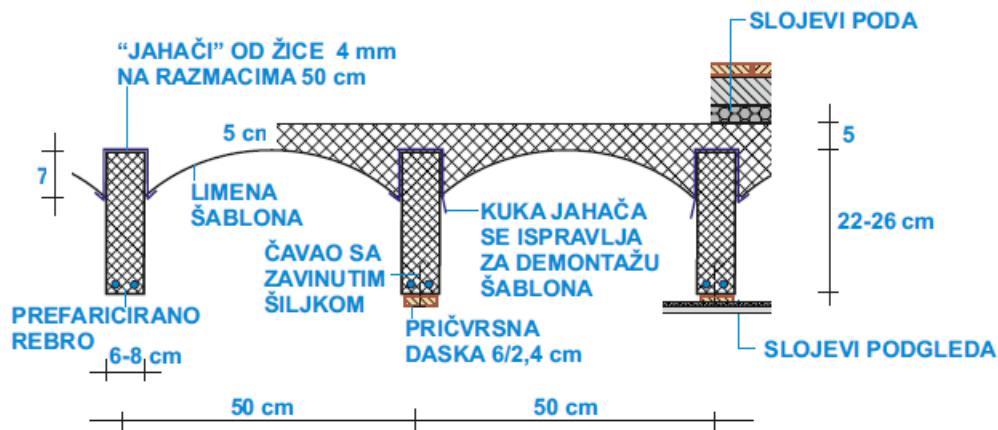


*Slika 2.1.7. - Strop od "Omnia" ploča - "Keeganprecast"*

### **5) Polumontažni sitnorebrasti stropovi**

Polumontažni sitnorebrasti stropovi primjenjuju se zbog znatne uštede gradiva (prvenstveno oplata i rada). Danas postoji čitav niz sitnorebrastih sistema stropnih konstrukcija. Neki od najpoznatijih su sustav „J-Perković“, sustav „Isteg“, sustav „Avramenko“, sustav „Herbst“, sustav „Ferjan“. Većina tih sustava u bližoj prošlosti imali su masovnu primjenu, no danas se koriste sve manje zbog novih tehnologija i učinkovitijih sistema. Sitnorebrasti stropovi savladavaju do 12 m raspona s time da raspon koji savladavaju ovisi o tome koliko poprečnih rebara imaju (jedno, dva ili tri). Proračun takvih stropova izvodi se kao i za monolitni sitnorebrasti strop. Sitnorebrasti stropovi proračunavaju se kao gradni nosači (T presjek u polju i pravokutni na ležaju). Polumontažni sitnorebrasti stropovi sastoje se uglavnom od AB prefabriciranih rebara koja se oslanjaju na krajevima na nosive zidove. Rebra se postavljaju na jednakim udaljenostima, a preko njih se izlijeva betonska ploča u odgovarajućoj oplati. Postoje sustavi koji se izvode s oplatom ili s „izgubljenom“ oplatom.

## POLUMOTAŽNI SITNOREBRASTI STROP SISTEM "ISTEG" PRESJEK



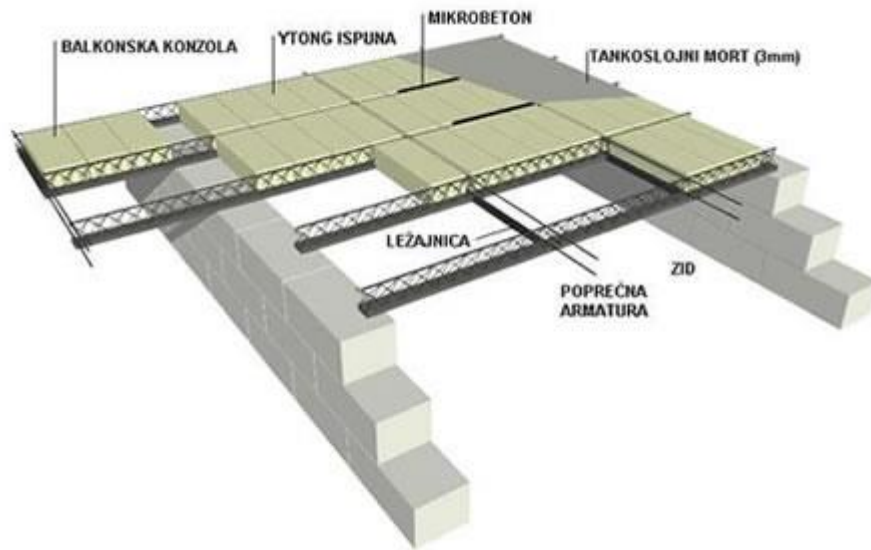
Slika 2.1.8. - "Isteg" sustav

### 5) Predgotovljeni stropovi od gredica i blokova (Stropovi s ispunama)

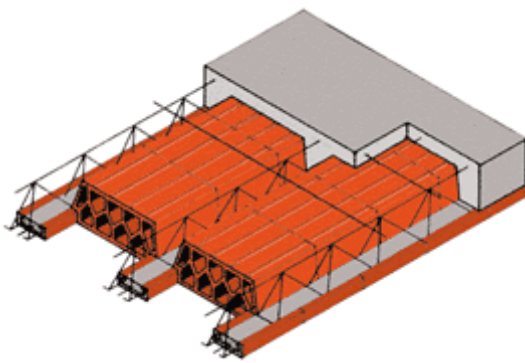
Veliki je broj proizvođača raznih sistema stropova s predgotovljenim gredicama i blokovima za ispunu. Ispune mogu biti šuplje, od betona, opeke i sličnog, a mogu biti i puni blokovi od laganog, plino ili pjeno betona (npr. siporex ili ytong). Stropovi s ispunom proračunavaju se ne uzimajući u obzir sudjelovanje tijela ispunne. Izuzetak su neki sustavi kod kojih je eksperimentalno dokazano da ispunna blokova s ispunom sudjeluju u nosivosti. Ova vrsta stropova u pravilu se izvodi s krutom AB pločom betoniranom na licu mjesta. Zadatak ploče je da primi tlačna naprezanja i poveže nosiva rebra u kompaktnu cjelinu. Ukoliko se strop izvodi bez ploče, potrebno je izvesti gušća rebra za ukrutu. Odabir povoljnog sustava za izvedbu na pojedinom objektu ovisi o nosivosti koju treba strop podnijeti, odnosno o rasponu koji savladava te o namjeni. Kao što smo spomenuli, veliki je broj sistema odnosno proizvođača ovakvih stropova. Neki od najčešće upotrebljivanih i najpoznatijih su:

- sustav „Fert“
- sustav „Monta“
- sustav „Voljak“
- sustav „Spong“
- sustav „Phoroterm“
- sustav „Bijeli dom“

- sustav „Sivi dom“



*Slika 2.1.9. - Sistem "Bijeli dom" (Bijeli strop)*



*Slika 2.1.10. i 11. - Stropna konstrukcija „Fert“*



## 2.2. Naknadno prednapinjanje

Poznato je da beton ima veliku otpornost na tlačnu silu i vrlo malu vlačnu čvrstoću. Iz toga proizlazi da beton dobro podnosi vlastitu težinu i tlačna naprezanja, a radi poboljšanja vlačne čvrstoće u beton se ugrađuje armatura. Vlačna naprezanja izazvana su skupljanjem, temperaturom, vanjskim opterećenjem i brzo dosežu vlačnu čvrstoću samog betona. Tada dolazi do pojave pukotina i onda armatura počinje imati ulogu i podnostiti opterećenja. Armatura ne nosi nikakvo opterećenje niti podnosi bilo kakvu silu dok sam beton ne počne pucati. Cilj naknadnog prednapinjanja je stvoriti tlačnu silu na betonskoj konstrukciji na mjestima gdje opterećenje uzrokuje vlačno naprezanje. Time eliminiramo ili smanjujemo normalna vlačna naprezanja na konstrukciji umjetno izazvanim silama. Posljedica je smanjenje potrebe za armaturom te forsiranjem čim veće iskorištenosti betona, odnosno njegovog odličnog svojstva, tlačne čvrstoće. Osim smanjenja potrebne armature naknadnim prednapinjanjem omogućava se korištenje tanjih betonskih presjeka, savladavanje većih udaljenosti između dvije potporne točke te se znatno pospješuje vremenski program izgradnje te često pozitivno utječe na ekonomičnost gradnje.

Na najosnovnijoj razini, naknadno prednapinjanje izuzetno je domišljat način za ojačavanje betona za vrijeme same izgradnje - koji ponekad čak omogućuje izgradnju konstrukcije kakva inače ne bi bila moguća. Funkcija naknadnog prednapinjanja je tlačiti betonsku konstrukciju na mjestima gdje opterećenje uzrokuje vlačno naprezanje. Naknadno prednapinjanje primjenjuje tlačno naprezanje na materijal, čime se poništava vlačno naprezanje kojemu bi beton mogao biti izložen pod opterećenjem.

Naknadno prednapinjanje najčešće se koristi kod izvedbe stambenih zgrada, garaža za parking, temeljnih ploča, mostova, stadiona.

Prednosti naknadnog prednapinjanja:

- brža izgradnja
- niži troškovi materijala (manje betona i čelika)
- fleksibilnost projektiranja
- savladavanje većih udaljenosti i površina
- mogućnost smanjenja troškova održavanja
- mogućnost povećanja budućeg opterećenja

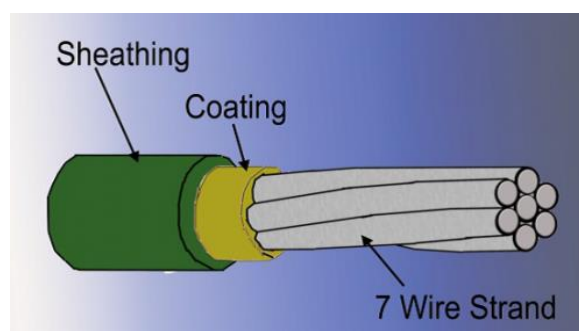
- mogućnost prilagodbe zbog promjene namjene zgrade
- smanjen utjecaj na okoliš

Nedostaci naknadno prednapregnutih konstrukcija:

- potrebna je stručna radna snaga
- potrebna je posebna (skupa) oprema
- potrebna je velika preciznost u projektiranju i izvođenju
- skuplje gradivo

Naknadno prednapinjanje primjenjuje se korištenjem natega za naknadno prednapinjanje koje se sastoje od čeličnih užadi ili šipki, zaštitnih cijevi, morta za injektiranje i sidra s obje strane natega.

Čelično uže koje se koristi za naknadno prednapinjanje ima vlačnu čvrstoću koja je četiri puta veća od vlačne čvrstoće prosječne armaturne šipke. Najveće dopušteno produljenje čelika za prednapinjanje je 3 do 7%. Zaštitne cijevi imaju zadatak ostvariti slobodan prostor u betonu za naknadno ugradnju vlačnih članaka, omogućiti klizanje natega pri napinjanju uz što manji otpor trenja te omogućiti prijanjanje natega i okolnog betona uz uporabu morta za injektiranje. Zaštitne cijevi moraju biti dobro zabrtvljene kako ne bi došlo do korozije. Kad se čelik napinje, rasteže se, a u potreban položaj fiskira se korištenjem sidra. Postoje dvije vrste sidara. Napetljivo sidro prenosi silu prednapinjanja s hidraulične preše na beton, dok nenapetljivo sidro silu prenosi s vlačnog članka na beton.



2.2.1. - Monostrand "unbonded" kabel

Dva su osnovna tipa naknadnog prednapinjanja. To su „unbonded“ i „bonded“ tehnologije naknadnog prednapinjanja. S obzirom na kontakt užadi s betonom razlikujemo dvije vrste tehnologija. Užad u zaštitnoj cijevi u koju ulazi injekcijska cementna smjesa (bonded tendons) i užad u plastičnoj cijevi sa zaštitnom masti (unbonded tendons), dakle užad bez

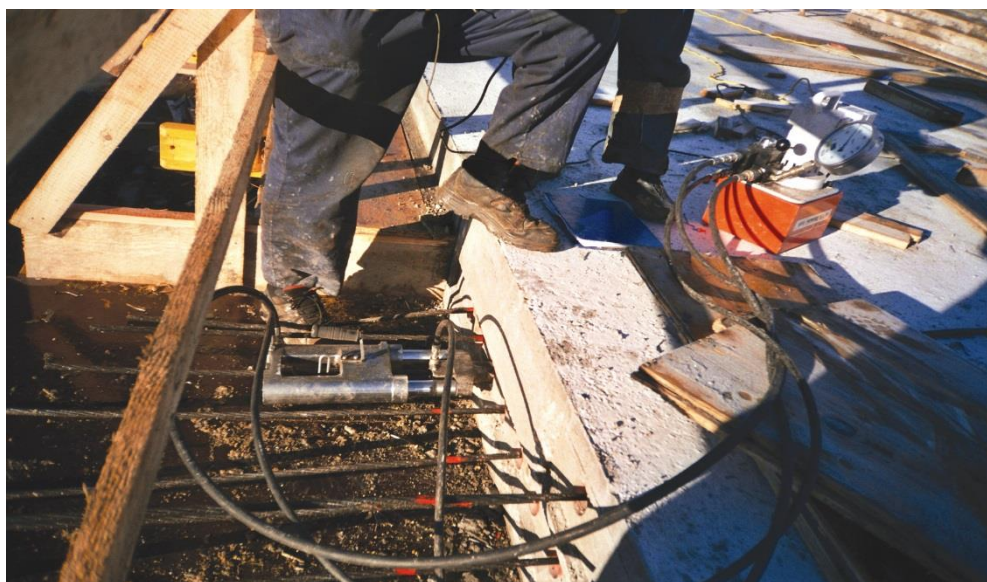
direktnog dodira s betonom. U visokogradnji danas je praksa da se većinom upotrebljava unbonded tehnologija zbog mnogobrojnih prednosti u odnosu na bonded sustave. Glavne prednosti unbonded izvođenja kabela su:

- veća brzina i praktičnost postavljanja, naročito ako se primjenjuje slobodno vođenje kabela
- radi manjeg trenja manji su padovi sile (koeficijent trenja za unbonded iznosi 0.05, a za bonded između 0.15 i 0.20) pa su mogući veći taktovi prednapinjanja.
- veća strelica unutar debljine ploče kod unbonded kabela daje veću skretnu silu. Zbog većeg promjera cijevi i većeg zaštitnog sloja bonded kabela, težišna linija bliže je osi ploče. Minimalni zaštitni sloj unbonded kabela ( kriterij vatrootpornosti) je 2 cm, a bonded kabela 3 cm.
- u zimskim uvjetima za unbonded kabele vrijede ista pravila kao za obične ab ploče dok je kod bonded kabela ograničenje temperature da se ispod +5 stupnja celzusa ne smije izvoditi injektiranje.
- minimalni razred tlačne čvrstoće za ploče unbonded kabela je C 25/30, a za injektirane C 30/37. Ovo može biti od velike važnosti ako kod primjerice projektirane čvrstoće betona ploča C 30/37 dođe do podbačaja čvrstoće, možemo se „izvući“ u dokazu kod unbonded kabela.
- unbonded kabeli tlocrtno gledano lakše zaobilaze prepreke i „gužvu“ u armaturi (kut skretanja može biti o odnosu 1:6). Poznato je da se na pločama često u zadnji čas pomaknu ili osvanu novi instalaterski otvori koje bonded kabeli ne bi mogli zaobići.
- praksa je pokazala da se prilikom ugradnje događaju oštećenja košuljice cijevi bonded kabela dok se unbonded kabeli mogu bez posljedica „nagaziti“ ili pasti na njih teži predmeti. Također je jedno istraživanje procijenilo da na oko 20% slučajeva nije korektno izvršeno injektiranje pa ta mjesta postaju potencijalno kritičnija.



*Slika 2.2.2. i 3. - Kablovi za naknadno prednapinjanje, priprema istih na gradilištu*

Jedini nedostatak unbonded kabela je što njegovo presjecanje unutar usidrenja isključuje djelovanje tog kabela na cijelom potezu između dva usidrenja. Ovaj nedostatak može se ublažiti sljedećim mjerama; označavanje sprejem linije kabela na oplati zbog čega ostaje trag na donjoj strani ploče glede bušenja. Na gornjoj strani ploče opasnost je bušenja prilikom stabilizacije oplata zidova i stupova. Jedno od rješenja je upiranje držača oplata na betonske blokove koji se sele. Ukoliko dođe do presijecanja jednog kabela od mnogobrojnih u široj zoni ploče obično je procjena projektanta da je ovo minimalno oslabljenje pokriveno koeficijentima sigurnosti. U slučaju presijecanja grupe kabela vrši se postupak izvačenja kabela i guranja prešom zamijenjujući ih na njihovo mjesto, s novim mjestom usidrenja.



*Slika 2.2.4. - Unos sile hidrauličkom prešom na silu od 223. KN (crvena markacija za izduženja)*

## 2.2.1. Tehnologije naknadnog prednapinjanja

Danas u svijetu postoji veliki broj sustava i načina prednapinjanja. Svi sustavi su u globalu više manje slični, razlikuju se u detaljima i bazirani su na sličan princip kao 3 najveća i najraširenija sustava, a to su: BBR, Dywidag (Dywidag System international, DSI) i Freyssinet.

### 1) BBR

BBR sustav prednapinjanja nazvan je po trojici osnivača: Maxu Birkenmaieru, Antoniu Brandestiniu i Mirku Robin Rosu. Tvrtka je započela s radom 1940. godine. Jedan od osnovnih razloga pokretanja tvrtke i općenito ovakvog načina građenja bila je nestašica materijala, prvenstveno čelika i cementa te smanjena dostupnost energije za proizvodnju. Upravo su ti problemi nagnuli trojicu osnivača BBR-a na istraživanje kako bi mogli uštedjeti na materijalu koristeći prednapeti beton umjesto običnog armiranog betona. Prvi značajan iskorak bio je 1948. kada su konstruirali kružno hladno oblikovano sidro te time otvorili vrata novim tehnološkim dostignućima. U narednom razdoblju 50-ih i 60-ih BBR je razvio zavidan broj sustava za prednapinjanje i naknadno prednapinjanje te tako stekao svojevrsnu nadmoć i prepoznatljivost u prednapinjanju betona koju besprijekorno drži i do današnjih dana uvodi stalno inovacije i poboljšanja sustava. Najvažniji i najpoznatiji BBR sustavi za naknadno napinjanje su:

- a) CONA CMI
- b) CONA CME
- c) CONA CMF
- d) CONA CMM
- e) CONA CMB

#### a) CONA CMI

Kod ovog sustava natege se nalaze unutar betonskog presjeka. CONA CMI sustav smatra se najmodernija i najnaprednija inovačica PT tehnologije. Površina užadi je 93,100,140 i 150 mm<sup>2</sup> dok je čvrstoća 1860 N/mm<sup>2</sup>. Ovaj sustav koristi se za izradu mostova, silosa, spremnika za plin, nuklearnih elektrana i stadiona. Može sadržavati od 1 (173kN) do 73 (20367 kN) užeta u natezi te se mogu napinjati na punu silu već pri niskim čvrstoćama betona. Snop užadi zatvoren je unutar valovite okrugle čelične ili BBR VT plastične cijevi. Za posebne se primjene, kao što su petlja-natege, mogu koristiti glatke okrugle čelične ili BBR VT plastične

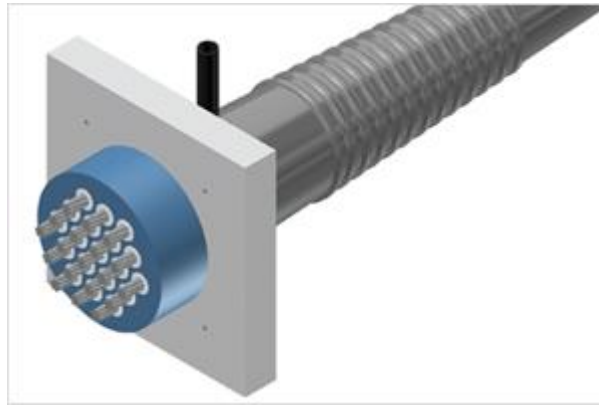
cijevi. Upotreba ravnog čelika ili BBR VT plastične cijevi također je moguća za manje veličine natega. Ispuna natega kod primjena s direktnom vezom s betonom provodi se pomoću BBR injekcijske smjese visokih performansi. Za primjene bez direktne veze s betonom, u cijev se može injektirati mast/vosak ili cirkulirajući suhi zrak. CONA CMI oprema za naknadno prednapinjanje može se ugraditi i kao potpuno električno izolirane natege da bi se pružila najviša moguća razina zaštite od korozije i mogućnost kontrole.



*Slika 2.2.1.1. i 2. - CONA CMI BT kružna prijenosna ploča s plastičnom cijevi*

#### b) CONA CME

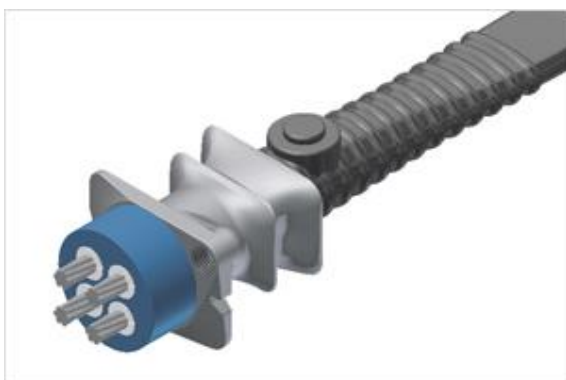
Kod ovog sustava natege se nalaze izvan betonskog presjeka. CONA CME sustav za naknadno prednapinjanje predstavlja jednu od najmodernijih tehnologija s više užadi za sve vrste naknadnog prednapinjanja izvan betonskog presjeka. Koriste se glatke zaštitne cijevi. Površina užadi je 140 i 150 mm<sup>2</sup>. Koristi se za izradu mostova te popravku i ojačanja svih vrsta konstrukcija. Može sadržavati od 1 (260 kN) do 73 (20367 kN) užeta u natezi. Glavne sastavnice područja usidrenja CONA CME sustava su klinovi, sidrena glava, element prijenosa sila i tuljak. Za prijenos sila na beton, CONA CME BT (prijenosna ploča) može se koristiti za veličine natege od 2 do 61 užeta, a CONA CME SP (kvadratna ploča) može se koristiti za 1 do 73 užeta.



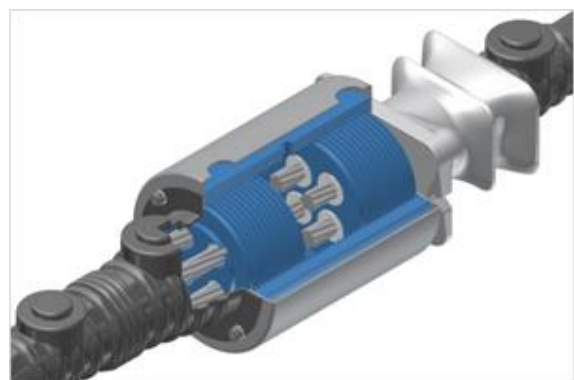
*Slika 2.2.1.3. - CONA CME SP kvadratna prijenosna ploča s plastičnom cijevi*

c) CONA CMF

CONA CMF sustav naknadnog prednapinjanja može se izvesti s direktnom vezom s betonom ili bez. CONA CMF predstavlja tehnologiju višestruke užadi za primjenu uz naknadno prednapinjanje unutar betonskog presjeka kad se sidrenje mora izvesti u vrlo tankim betonskim presjecima, kao što su ploče. Glavne sastavnice područja usidrenja CONA CMF sustava su klinovi, sidrena glava, element prijenosa sila i tuljak. Za prijenos sila na beton koristi se CONA CMF BT (prijenosna ploča) koji koristi napredni vlastiti prijenos sila u tri ravnine posebno razvijen za usidrenje u tankim poprečnim presjecima. Kod ovog sustava koriste se od 2 (346kN) do 4 (1116 kN) užeta u natezi. Površine užadi su 93 ,100, 140 i 150 mm<sup>2</sup> čvrstoće 1860 N/mm<sup>2</sup> te 165 mm<sup>2</sup> čvrstoće 1820 N/mm<sup>2</sup>.



*Slika 2.2.1.4. - CONA CMF BT*



*Slika 2.2.1.5. - Coupler H za spajanje*

#### d) CONA CMM

CONA CMM sustav naknadnog prednapinjanja je sustav unutar betonskog presjeka. Sustav se tipično koristi za viseće ploče parkirališta, stambenih zgrada, poslovnih prostora, trgovačkih centara, bolnica, hotela, sportskih objekata i kolnika mostova. CONA CCM sustavi dijele se na CONA CMM single i CONA CMM Two/Four. Kao što sam naziv kaže, razlika je u broju užeta (1, 2 ili 4). Sustav se može primjenjivati s ili bez direktne veze s betonom. Glavne sastavnice područja usidrenja CONA CMM single sustava su klin, monolitsko usidrenje i pojedinačna prijelazna cijev.



*Slika 2.2.1.6. - CONA CMM Single*



*Slika 2.2.1.7. - CONA CMM Two/Four*

#### e) CONA CMB

Radi se o tehnologiji višetruke užadi za posebne primjene izvan i unutar betonskog presjeka. Standardna konfiguracija natega je od 1 do 16 užadi površine 140, 150 i 165 mm<sup>2</sup>. Jedinstveni dizajn sustava nudi visoku razinu zaštite od korozije i u širokoj je upotrebi za prednapinjanje tornjeva vjetroagregata, ali i za ojačavanje željezničkih i cestovnih mostova.



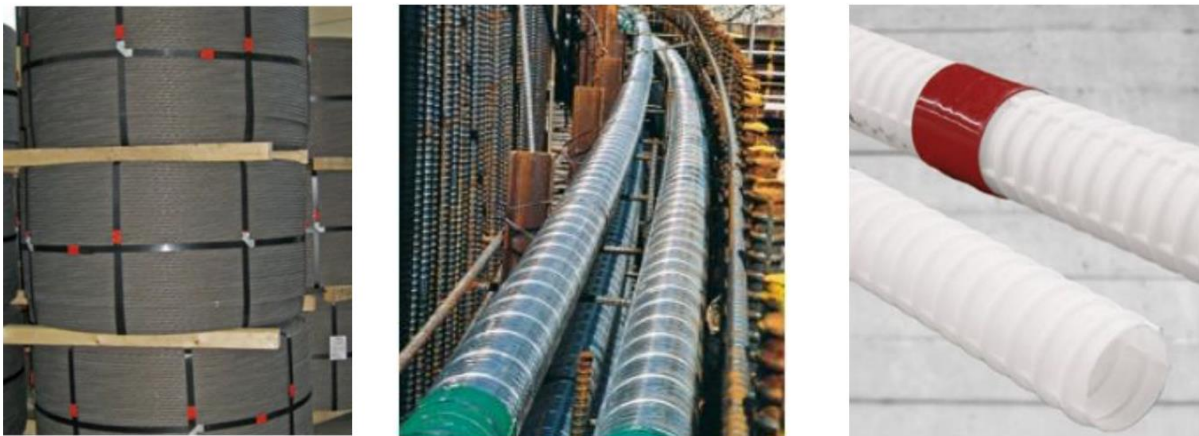
*Slika 2.2.1.8. - CONA CMB*



## 2) Dywidag ( Dywidag System international, DSI)

Tvrtka Dywidag nastala je 1865. godine, a osnovali su je Dyckerhoff i Widmann iz Njemačke. U početku Dywidag se specijalizirala za izgradnju mostova. Razvili su specijalnu armaturu s navojem koja se mogla jednostavno naknadno prednapeti. Spomenutom metodom armiranja stekli su veliki uspjeh i globalnu popularnost pa su krenuli s prodajom tog patenta drugim građevinskim tvrtkama. Ubrzo je upravo taj sistem gradnje donosio daleko više zarade tvrtci od mostogradnje pa su odlučili specijalizirati se upravo u području naknadnog prednapinjanja gdje su u samom svjetskom vrhu i danas. Dywidag system international (DSI) osnovana je 1979. godine te pod tim imenom nastavlja tradiciju i razvoj svojih sustava. Treba spomenuti da je DSI 2000. godine pokrenuo još jedan novi pogon. Radi se o proizvodnji sustava za miniranje i izradu tunela i tu također vidi velike mogućnosti za plasiranje svojih proizvoda od prednapregnutog i naknadno prednapetog betona.

Glavni aspekti DSI sistema su natege, sidra i zaštitne cijevi koje se pomalo razlikuju od ostalih. Natege se izrađuju od 7 hladno vučenih žica, npr. užadi 12,7 mm, 15,3 mm i 15,7 mm. Užadi se transportiraju na mjesto ugradnje u kolutima te teže i do 3,5 tone (Slika 20). Užad se ugrađuje u zaštitne cijevi od metala, polietilena i polipropilena radi zaštite od korozije. Promjer metalnih zaštitnih cijevi je od 25 mm do 160 mm (Slika 21) dok je promjer plastičnih zaštitnih cijevi (Slika 22) od 48 mm do 130 mm.



*Slika 2.2.1.9. - Užad, metalne zaštitne cijevi i plastične zaštitne cijevi*

Jedan od tri glavna čimbenika svakog sustava za naknadno prednapinjanje su sidra. Kod DSI sistema najčešće se koriste njihova multiplane anchorage SD (Slika 7.). Ona mogu podnositi do 15345 kN opterećenja. Za poprečne natege koriste se Plate anchorage SD sidra i ona podnose do 2511 kN opterećenja. Za prednapinjanje klasičnih ploča koriste se najčešće multiplane anchorage FMA sidra (Slika 8.) koja podnose do 1395 kN opterećenja.



*Slika 2.2.1.10. - Multiplane anchorage SD Slika 2.2.1.11. - Multiplane anchorage FMA*

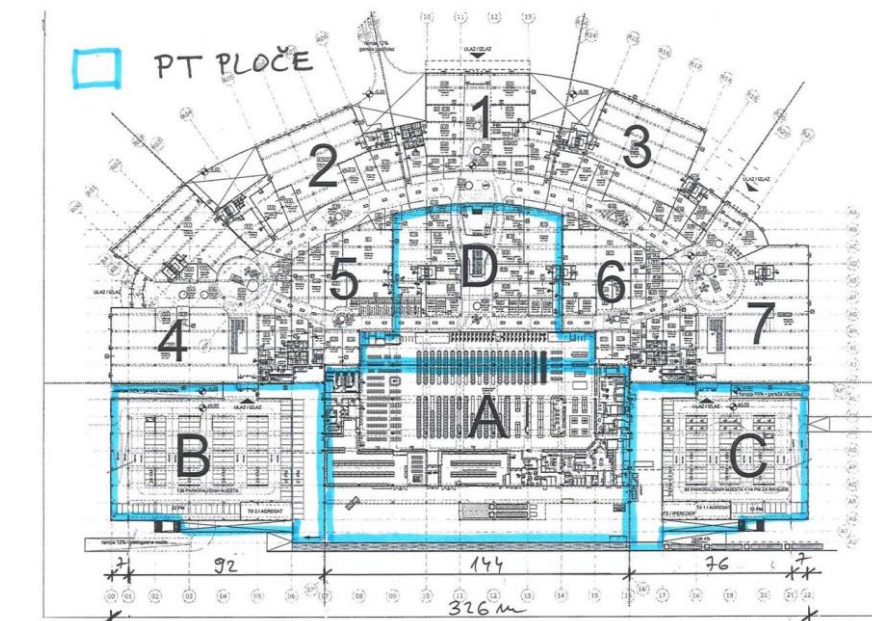
### 3. Praktični dio

U ovom dijelu ću analizirati dva rješenja stropnih ploča na rasponima 8x16 m. Idealan primjer za ovu analizu upravo je izgradnja trgovačkog centra „Arena centar“ u Zagrebu. Primjer Arena Centra zanimljiv je za usporedbu dviju tehnologija stropnih ploča iz razloga što je investitor odlučio pola površine dati izvođaču sa PT tehnologijom, a drugu polovicu s tehnologijom montažne gradnje.



*Slika 3.1. - Pogled na gotov kompleks od 150 000 m<sup>2</sup> trgovačkog centra „Arena Zagreb“*

Ukupna površina ploče za analizu je 128,0 m<sup>2</sup> koliko pokriva analizirana stropna konstrukcija. Pojedine dilatacije rađene su montažnim gredama i šupljim pločama, a ostale tehnologijom naknadnog prednapetih monolitnih ploča. U PT koncepciji rađene su plitke-široke grede, a u montaži prednapete grede na 16 metarskim rasponima, a na njima šuplje ploče na 8 metarskim rasponima.



*Slika 3.2. - Tlocrt Arena Centar, dilatacije A-D izvedene su monolitnim PT pločama, 1-7 montažnim elementima*



*Slika 3.3. Izvođenje, lijevo PT monolit, desno montaža*



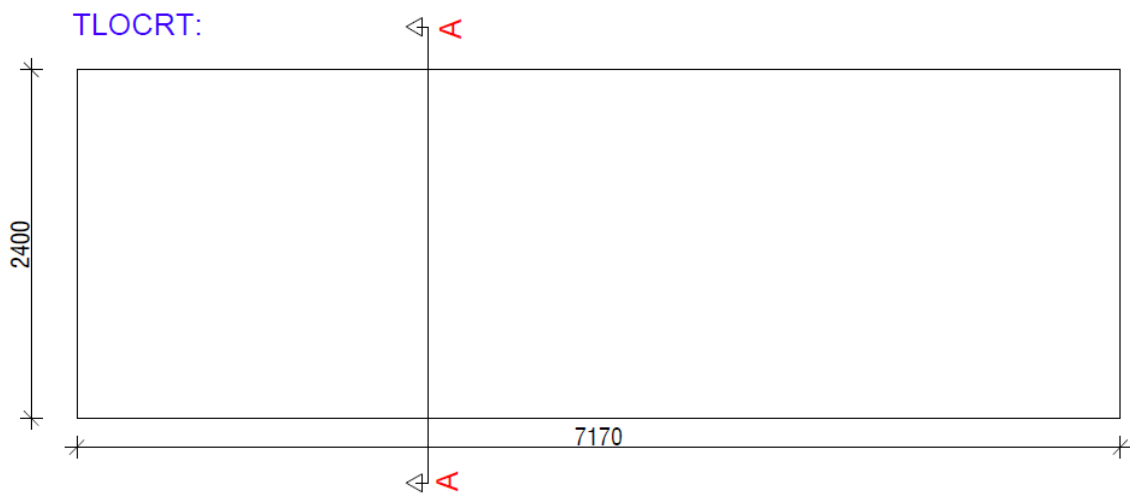
*Slika 3.4. - Dodir dilatacija dviju koncepcija. PT varijanta ima visinu plitke grede 55 cm, a montažni dio ukupno 130 cm*



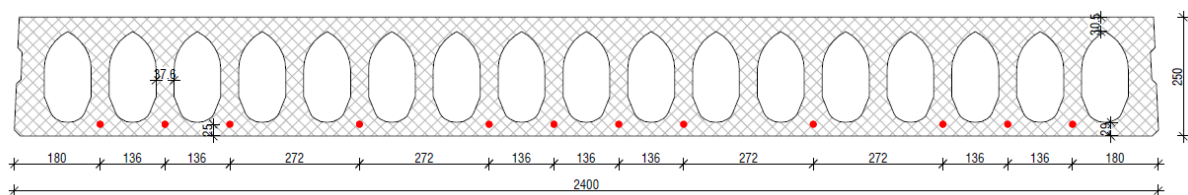
*Slika 3.5. - Izgradnja stropne konstrukcije – Arena Zagreb*

### 3.1. Stropna konstrukcija izvedena montažno

Prednapregnute šuplje ploče su montažni međuspratni konstruktivni elementi s kontinuiranim unutrašnjim šupljinama koje umanjuju težinu elemenata i stvaraju efikasan nosivi presjek. Širina, dužina i debljina ploča razlikuju se od proizvođača i potreba. Ti parametri ploče ovise o funkciji ploče, opterećenju i razmaku oslonaca (raspon ploče). Tvornička proizvodnja ovakvih ploča omogućava postizanje visokog kvaliteta i preciznosti izrade. U našem konkretnom slučaju korištene su šuplje ploče širine 120 cm i dužine 717,0 cm. Izvedene su od betona klase C 40/50 te svaka teži 2,75 t. Za savladavanje zadanog raspona (8mx16m) potrebno je ukupno 14 ploča.



Nacrt 1. – Primjer tlocert šuplje betonske ploče



Nacrt 2. Primjer presjek šuplje beonske ploče

OPIS POTROŠNJE	KOLIČINA	CIJENA	UKUPNA CIJENA
AB šuplje ploče	128 m <sup>2</sup>	355,97 kn/m <sup>2</sup>	45 564,16 kn
Transport ploča	(150 km)	10 000 kn	10 000 kn
Ugradnja ploča	(14 kom)	4 300 kn	

		3 700 kn	8 000 kn
Tlačna ploča C25/30 ( 5 cm) (Beton+transport betona+ugradnja)	6,5 m <sup>3</sup>	508,00+62,50+78,7 5=649,25 kn/ m <sup>3</sup>	4 222,13 kn
Greda + ugradnja + transport	2 kom	2 873 € / kom	42 807,70
<b>UKUPNO</b>			<b>110 593,99 kn</b>

\*Navedene cijene su bez PDV-a

### 3.2. Stropna konstrukcija izvedena monolitno uz naknadno prednapinjanje

Stropna konstrukcija izvedena je monolitno, ukupne površine 128,0 m<sup>2</sup> i prosječne debljine 28,25 cm. Projektirani beton za ugradnju je C30/37, uz ugradnju klasične armature te armature za naknadno prednapinjanje.

OPIS POTROŠNJE	KOLIČINA	CIJENA 1	CIJENA 2	CIJENA 3	PROSJEČNA CIJENA	UKUPNA PROSJEČNA CIJENA
Beton C30/37	36,16 m <sup>3</sup>	550,00 kn/m <sup>3</sup>	487,50 kn/m <sup>3</sup>	530,00 kn/m <sup>3</sup>	525,50 kn/m <sup>3</sup>	19 002,08 kn
Armatura 21 kg/m <sup>2</sup> (B500B)	2688,0 kg	8,48 kn/kg	8,00 kn/kg	7,90 kn/kg	8,13 kn/kg	21 853,44 kn
Oplata Montaža/demontaža	147,20 m <sup>2</sup>	86,00 kn/m <sup>2</sup>	77,5 kn/m <sup>2</sup>	88,75 kn/m <sup>2</sup>	84,08 kn/m <sup>2</sup>	12 376,58 kn
Obrada i ugradnja armature	2688,0 kg	1,70 kn/kg	1,50 kn/kg	1,55 kn/kg	1,58 kn/kg	4 247,04 kn
Ugradnja betona	36,16 m <sup>3</sup>	60,00 kn/m <sup>3</sup>	62,50 kn/m <sup>3</sup>	65,00 kn/m <sup>3</sup>	62,50 kn/m <sup>3</sup>	2 260,00 kn
Transport betona	15 km	73,75 kn/m <sup>3</sup>	82,50 kn/m <sup>3</sup>	80,00 kn/m <sup>3</sup>	78,75 kn/m <sup>3</sup>	2 847,60 kn
Naknadno prednapinjanje (uključeno 5 kg/m <sup>2</sup> BBRT15SUPER armature)	640,0 kg	3,2 € /kg			23,85 kn/kg	15 264,00 kn
					<b>UKUPNO:</b>	<b>77 850,74 kn</b>

\*Navedene cijene su bez PDV-a

## 4. Analiza

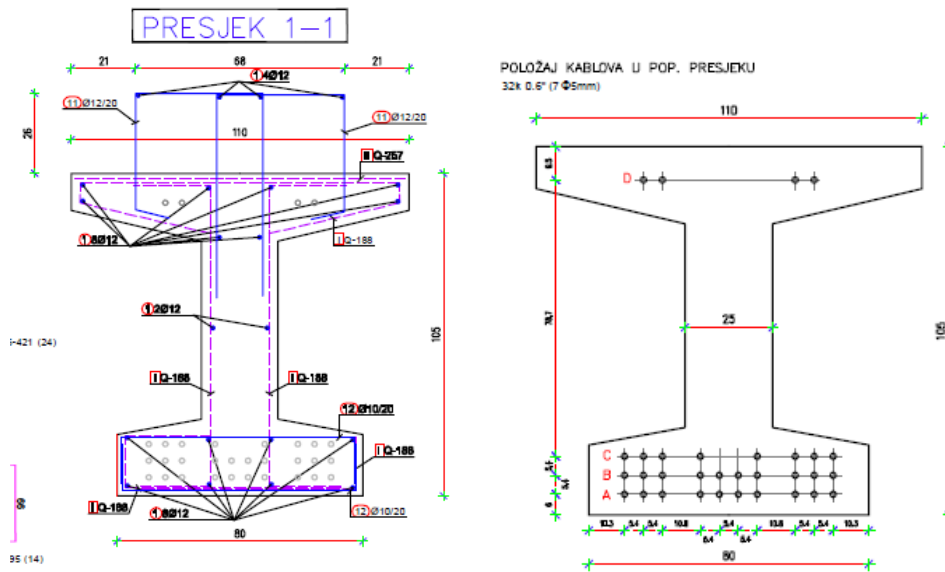
Dvije najznačajnije stavke kod analize stropne konstrukcije izvedene montažnim sistemom sa šupljim betonskim pločama same su ploče i grede. Grede se protežu cijelim nizom od 16 metara te na dvije grede naliježu sve ploče. Kod montažnog načina izvođenja stropne konstrukcije u kalkulacije su uzete šuplje betonske ploče dimenzije 120 cm širine, 717 cm dužine i debljine 26 cm. To su ujedno standardne dimenzije šupljih betonskih ploča koje se mogu lako nabaviti u mnogim pogonima za betonske elemente. Za savladavanje raspona 8m x 16m potrebno je ukupno 14 takvih ploči. Cijena jedne ploče je u prosjeku 355,97 kn/m<sup>2</sup>\*. Dakle, cijena jedne ploče bila bi 2254,58\* kn, dok sveukno za 128 m<sup>2</sup> ta cijena iznosi 45 564,16 kn\*. Do navedene cijene došli smo tražeći ponude pojedinih proizvođača AB šupljih ploča te izabrali srednju ponudu. Sljedeća stavka kalkulacija je prijevoz samih ploča od pogona za izradu do gradilišta. Prijevoz bi se organizirao na način da 2 otvorena šlepera transportiraju svaki po 7 komada ploča. Neki proizvođači sami nude i prijevoz ploča, no u pravilu nema bitne cjenovne razlike ako oni organiziraju ili se organizira na neki drugi način. Cijenu za prijevoz ploča dobili smo na temelju aritmetičke sredine nekoliko ponuda te ona iznosi 5000 kn\* po kamionu, odnosno ukupno 10 000 kn\* za cjelokupni transport.

Ugradnja ploča zasebna je stavka koja iziskuje posebne tehnologije te ljude osposobljene za to. Danas postoje mnoge tvrtke koje se bave upravo iznajmljivanjem raznih dizalica pa smo na temelju nekoliko ponuda došli do aritmetičke sredine cijene autodizalice od 40 tona koja nosi 6 tona na radijusu od maksimalno 14 m. Cijena iznosi 350 kn\* po satu rada s time da se minimalno računa 8 sati rada. To je ujedno i vrijeme u kojem bi se izmontirale ploče te tako ukupna cijena iznosi 2800 kn. Dodatno na tu cijenu dizalice plaća se 15 kn\* po kilometru za dolazak i odlazak dizalice. U računicu je uzeto da je dizalica dostupna u krugu od 50 km, tako da dolazak i odlazak stoji ukupno 1500 kn\*. Uz to kod ugradnje potrebna je stručna radna snaga. Predviđeno je da samu ugradnju ploča vrši 5 osoboljenih radnika. To povećava cijenu za 3700 kn\*.

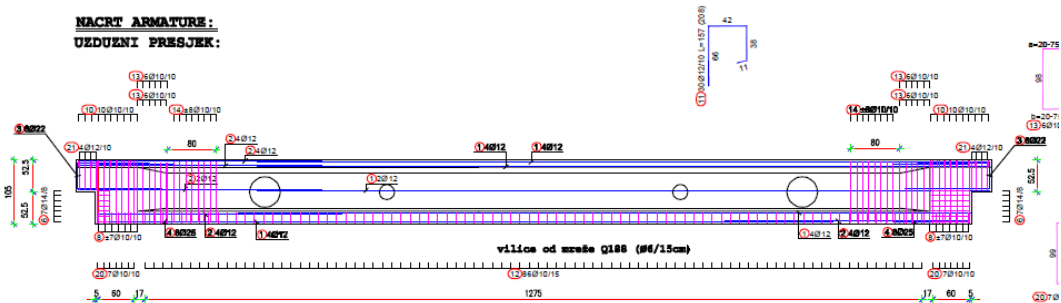
Uz AB šuplje ploče, najznačajnija stavka kalkulacija montažnog sistema izvođenja stropnih konstrukcija većih raspona, su predgotovljeni AB nosači na koje naliježu sve ploče te kao takvi preuzimaju sva opterećenja. Armirano betonski nosači koji su potrebni i kojima smo išli u kalkulaciju su „I“ nosači dužine 16 m, visine 105 cm te sačinjeni od betona klase C50/60/XC1, armatura B550B i užad za prednaprezanje Y1860 S7. Na temelju nekoliko ponuda



i kalkulacija dobili smo cijenu jednog nosača 2 873 € / kom odnosno 21 403 kn\* dakle ukupna cijana ove stavke je 42807,70 kn\*. U tu cijenu uračunata je izrada, transport i ugradnja nosača. Transport se vrši otvorenim šleperom, a ugradanja 40t dizalicom radijusa do 14m. Zamišljeno je da se ugradnja i transport odvija na vrlo sličan način kao i AB ploče zbog činjenice da se maksimalno iskoristi dizalica i osoblje za rad na što ekonomičniji način (paralelna ugradnja dvaju elemenata sistema).



Nacrt 3. i 4. – Presjek „I“ nosača – dio izvedbenog projekta „Arena centra“



Nacrt 5. – Uzdužni presjek i armatura „I“ nosača –dio projekta „Arena centar“

Sam sistem stropne konstrukcije sa šupljim montažnim pločama zamišljen je na način da na betonske ploče dolazi beton koji ukrućuje cijeli sistem. Na cijelu površinu od 128m<sup>2</sup> dolazi beton debljine 5 cm. Beton klase C25/30 doprema se na licu mjesta betonskom pumpom te ugrađuje na za to pripremljeno mjesto. Uz to potrebna je osposobljena radna snaga u vidu 4 čovjeka koji će ugraditi beton na odgovarajući način. Troškovi betona, njegovog transporta i ugradnje iznose 649,25 kn/m<sup>3</sup> , a to ukupno na potrebnih 6,5 m<sup>3</sup> ispada 4 222,13\*. Ova stavka

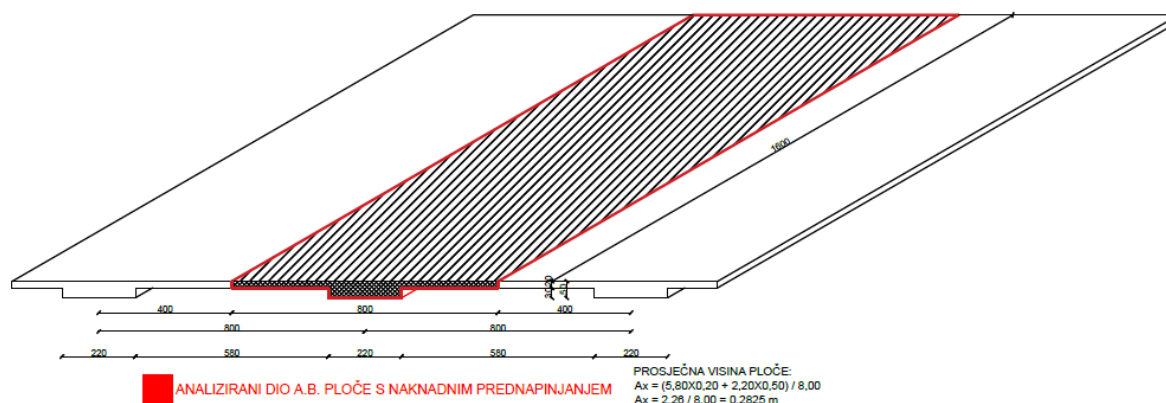
(beton, transport i ugradnja) posebno je obrađena kod analize monolitnog načina izvođenja stropne konstrukcije u nastavku ovog rada stoga su ovdje navedene samo ključne stavke.

Dosad smo naveli osnovne stavke koje uključuju gradnju stropne konstrukcije na montažni način, no treba spomenuti da postoji mogućnost cijelog niza radova koji su znatno kompliciraniji nego primjerice izvedba tih radova kod klasične monolitne gradnje. Primjerice, razni proboji kroz šuplje AB ploče izvode se posebnom tehnologijom. Ugradnja raznih prjemosnica, rezanje ploča uzduž i poprijeko itd. U nastavku donosimo neke od mogućih dodatnih radova te njihove cijene kojima bi se troškovi montažne izvedbe još više poskupili.

VSD rezanje po dužini = dosjedne ploče (PVSDLANG)	91,20 m	neto
VSD poprečni presjek Bez obrađenih rubova kod odrezane površine (PVSDSCHR)	152,00 m	neto
VSD Hammerkopfaussparung Aussparungen für Scheibenausbildung (PVSDHAMM)	247,76 kom	neto
VSD malo dubljenje otvora, pravokutno, do 0,25 m2 Obračun po elementu (PVSDA025)	247,76 kom	neto
VSD dubljenje otvora pravokutno, 0,26 - 0,50 m2 Obračun po elementu (PVSDA050)	495,52 kom	neto
VSD dubljenje otvora pravokutno, 0,51 - 0,75 m2 Obračun po elementu (PVSDA075)	743,28 kom	neto
VSD dubljenje otvora pravokutno, 0,76 - 1,00 m2 Obračun po elementu (PVSDA100)	991,04 kom	neto
VSD dubljenje otvora pravokutno, 1,01 - 1,50 m2 Obračun po elementu (PVSDA150)	1.483,52 kom	neto
VSD dubljenje otvora pravokutno, 1,51 - 2,00 m2 Obračun po elementu (PVSDA200)	1.982,08 kom	neto
VSD premosnica 16,0 cm, premazana Širina do 1,20 m (PVSDWR16)	532,50 kom	neto
VSD premosnice 20,0 cm, premazana Širina do 1,20 m (PVSDWR20)	615,00 kom	neto
VSD premosnica 26,5 cm, premazana Širina do 1,20 m (PVSDWR26)	712,50 kom	neto
VSD premosnica 32,0 cm, premazana Širina do 1,20 m (PVSDWR32)	780,00 kom	neto
VSD premosnica 40,0 cm, premazana Širina do 1,20 m (PVSDWR40)	1.027,50 kom	neto
VSD premosnice 45,0 cm, premazana Širina do 1,20 m (PVSDWR45)	1.230,00 kom	neto
VSD premosnica 50,0 cm, premazana Širina do 1,20 m (PVSDWR50)	1.312,50 kom	neto
VSD plosnato željezo, premazano Za VSD 16 do 50 cm (PVSDWRED)	0,00 kom	neto
VSD neoprenski ležaji 5,0 cm široko (PVSDNEOP)	125,40 m	neto

#### *Izvod iz ponude tvrtke Oberndorfer d.o.o.*

Paralelno s analizom ekonomskog aspekta montažne gradnje stropne konstrukcije analizirali smo isto tako i gradnju na monolitan način uz nakonadno prednapinjanje. Stropna površina koju analiziramo ista je kao i kod montažnog načina, dakle radi se o 128 m<sup>2</sup> te rasponu od 8x16 m.



*Slika 4.1. – Prikaz analiziranog dijela stropne konstrukcije u većem sistemu*

Najbitnija stavka kod monolitne gradnje svakako je beton. Projektom je zadano da beton treba biti marke C30/37 te prosječne debljine 28,25 cm. Sam raspon od 8 metara sastoji se od dijela od 5,80 m koji je visine 20 cm te dio od 2,20 m koji je visine 50 cm (greda „utopljena“ u ploču). Prikaz je predložen na slici 4.1. Potrebno je ukupno 36,16 m<sup>3</sup> betona. Poslali smo upite u nekoliko betonara te dobili nekoliko ponuda za beton tražene marke. Aritmetičkom sredinom tih ponuda dobili smo cijenu za traženi beton u iznosu od 525,50 kn/m<sup>3</sup>. Treba spomenuti da je to cijena betona bez ugradnje, samo dostava na gradilište. Transport na mjesto ugradnje smo odvojili u posebnoj stavci, iako kako smo dobili na temelju analize, nema bitne razlike ukoliko si sami organiziramo ugradnju (auto pumpa) ili to ponudi betonara u sklopu svoje usluge izrade betona. Sama ugradnja betona auto pumpom stoji u prosjeku 78,75 kn/m<sup>3</sup>. To podrazumijeva da je auto pumpu moguće nabaviti u krugu od 15-tak kilometara za tu cijenu, dok bi eventualne veće udaljenosti poskupjele samu ugradnju. U svim malo većim sredinama to ne predstavlja problem jer gotovo svaka betonara može osigurati vlastitu pumpu za ugradnju. Osim transporta betona na mjesto ugradnje, na samom gradilištu potrebna je radna snaga za ugradnju betona. Jednostavna ugradnja betona uz vibriranje vibracionom iglom te finim zaglađivanjem mogu izvesti 3 do 4 radnika osposobljena za taj rad odnosno zidari. Cijena same ugradnje betona u AB ploče kreće se oko 60 kn/m<sup>3</sup>. Aritmetičkom sredinom nekoliko ponuda dobili smo prosječnu cijenu od 62,50 kn/m<sup>3</sup>. Svi ukupni troškovi vezani uz beton (sam beton, transport na gradilištu, ugradnja) za izvedbu stropne konstrukcije na monolitan način te iznose 24 109,68 kn odnosno 30,97% cijene ukupne investicije.

Armatura ploče čini sljedeću važnu stavku monolitne izvedbe stropne konstrukcije. U ploču se ugrađuje klasična armatura u vidu armaturnih mreža te rebrastih šipki prema planu armature odnosno statičkom proračunu. Iz projektne dokumentacije zahtijeva se ugradnja 21 kg/m<sup>2</sup> armature klase B500B. U tu količinu ulaze i armaturni koševi na osloncima, odnosno armatura za horizontalne serklaže. Ukupna količina armature iznosi 2688 kg te smo aritmetičkom sredinom ponuda dobili da je cijena 8,13 kn/kg. Dakle, ukupna cijena armature iznosi 21 853,44 kn te čini 28% ukupne investicije. K tome treba još pridodati obradu i ugradnju armature. Obradu i ugradnju moraju vršiti osposobljeni armirači na mjestu ugradnje. Aritmetičkom sredinom traženih ponuda za izvođenje tih radova dobili smo cijenu od 1,58 kn/kg za obradu i ugradnju armature što ukupno ispada 4 247,04 kn. Uz klasično armiranje, posebnost ovog zahvata je naknadno prednapijanje. Naknadno prednapijanje uvelike štedi klasičnu armaturu te samim time znatno smanjuje ukupni financijski trošak same izvedbe stropne konstrukcije. Projektom je zadano da je za stropnu konstrukciju potrebno 5 kg/m<sup>2</sup>

armature za naknadno prednapijanje tipa BBRT15SUPER. Ukupna cijena zajedno s ugradnjom iste te naknadnim napijanjem iznosi 3,2 €/kg. To ispada na ukupnu količinu od 640 kg 15 264,00 kn odnosno 19,61% ukupne cijene.

S tim podacima dobivamo činjenicu da je trošak samog armiranja (klasično+naknadno) u izvođenju stropova velikih razmjera s metodom monolitnog građenja uz naknadno prednapijanje najzahtjevnija stavka, a samim time financijski najveća te iznosi 53% svih troškova stropne konstrukcije.

Uz sve navedeno za izvedbu stropne konstrukcije na monolitan način potrebna je i oplata. Samu montažu i demontažu trebaju izvesti osposobljeni tesari. Oplata je zamišljena da se izvede pomoću opažnih ploča. Cijena za montažu i demontažu kompletne oplata iznosi 84,08 kn/m<sup>2</sup> te to u konačnici ispada 10 762,66 kn.

Nakon sumiranja svih troškova došli smo do finalnih cijena dvaju načina savladavanja stropne konstrukcije. Iznos potreban za izvedbu stropne konstrukcije na montažni način je 110 593,99 kn, dok izvedba monolitnog stropa s naknadnim prednapijanjem stoji 77 850,74 kn. Montažni način gradnje skuplji je za 32 743,25 kn, odnosno za 29,61%. U obradi dviju navedenih tehnologija gradnje u ovom radu prezentirane su mnogobrojne prednosti i nedostaci pojedinih načina izvedbe. No, u konačnici, financijski aspekt jasno iskazuje da je monolitna gradnja uz naknadno prednapijanje za čak 29% isplativija od montažne gradnje. Zasiurno se postavlja pitanje zašto bi se onda uopće koristila montažna gradnja. Razlog je vrlo jednostavan, često u graditeljstvu tek jedna prednost pogoduje da se cijela izvedba vrši baš na određeni način, iako je to financijski gora opcija. S druge strane, samo jedna mana također može anulirati velike financijske uštede te prevagnuti u korist drugog načina izvođenja. Također treba uzeti u obzir da su sve navedene cijene korištene u obradi dobivene u gotovo maksimalnoj varijanti.

Činjenica je da mnogi izvođači koji imaju vlastite pogone, betonare ili tek dobre uvjete kod raznih dobavljača određeni materijal ili elemente mogu dobiti po znatno nižoj cijeni. Upravo to omogućuje da izvođači mogu ići s jeftinijim cijenama, a posebno se to može iskoristiti kod montažne gradnje. Mnogi veliki izvođači imaju vlastite pogone za proizvodnju montažnih elemenata te uigrane ekipe za ugradnju istih elemenata te vlastitu mašineriju za transport i ugradnju. Čimbenici su to koji dovode do toga da montažno građenje može biti konkurentno monolitnome i s ekonomskog stajališta, posebno kad se uzmu u obzir pojedine prednosti montažnog građenja (brzina izgradnje, kontinuitet kvalitete) kojima se može opravdati viša cijena ukupne izgradnje.

## 5. Zaključak

Analizirajući dva načina rješavanja istog zadatka dolazim do zaključka da je monolitni način gradnje s naknadnim prednapijanjem ekonomski isplativija varijanta u usporedbi s montažnom izvedbom. Analiza je provedena na danom primjeru savladavanje 8 metarskog raspona stropne ploče kao što je izvedeno na građevini Arena centra u Zagrebu. Naknadno prednapijanje noviji je način gradnje kojim se znatno pojeftinjuje izvedba određenih vrsta građevinskih radova, prije svega stropnih ploča za savladavanje većih raspona. U usporedbi s montažnom gradnjom na danom primjeru vidjeli smo da je financijska ušteda čak 29%. Ekonomski aspekt gradnje u potpunosti je na strani naknadnog prednapijanja. Unatoč tome svjedoci smo da u graditeljstvu često ekonomski najisplativija ponuda nije i najpovoljnija. Samo jedna prednost određenog načina gradnje može anulirati aspekt ekonomičnosti, također jedna mana može predstavljati razlog zanemarivanja aspekta ekonomičnosti. Upravo iz tog razloga važno je da imamo na izbor više načina savladavanja određenih zahtjeva u graditeljstvu, a na samom projektantu i investitoru je da donesu konačnu odluku. Aspekt ekonomičnosti zasigurno je jedan od najvažnijih aspekata kod izvedbe građevine, no nije i najvažniji. Najbolja izvedba dobiva se usklađivanjem kvalitete izvedbe, ekonomičnog pristupa te brzine gradnje. Često u graditeljstvu upravo kvaliteta izvedbe i želja za određenom brzinom radova anuliraju ekonomičnost. Važno je napomenuti da je ekonomičnost stvar trenutka. U ovom trenutku stanje je kakvo smo naveli, dok u nekom drugom vremenu (prije par godina ili za par godina) može biti znatno drugačije. Ekonomski aspekt u direktnoj je ovisnosti o globalnim događanjima: od raznih tečajeva, cijena nafte, rudarstva, globalnih i lokalnih kriza, volje političkih čelnika i lokalne zajednice. Najčešće se ekonomski aspekt uvelike mijenja sa samom promjenom lokacije izvedbe, a još značajnije s vremenom kada se gradi te to treba imati uvijek na umu kod ekonomskih usporedbi. No, u ovom trenutku za postavljeni primjer ekonomski aspekt na strani je monolitnog građenje s naknadnim prednapijanjem.

## 6. Literatura

- Rex, S.: Industrijski načini građenja, GF, Zagreb, 1981.
- Rex., S.: Industrijski način građenja II - Montažno građenje, GF Zagreb, 1983.
- Betonske konstrukcije - odabrana poglavlja, DHKG, Zagreb 1993.
- D. Jevetić : Prednapregnuti beton, Građevinska knjiga, Beograd 1979.
- Bijan AAlami : Osnove proračuna naknadno napetih betonskih stropova, izdanje HUBITG, Zagreb 2009.
- Eurocode 2
- [www.dywidag-systems.com](http://www.dywidag-systems.com)
- [www.bbr-adria.com](http://www.bbr-adria.com)
- [www.freyssinet.com](http://www.freyssinet.com)
- [www.bijelistrop.com](http://www.bijelistrop.com)
- [www.wienerberger.hr](http://www.wienerberger.hr)



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

## IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, VALENTINO TOMAŠIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom TEHNIČKO-EKONOMSKI ASPEKT PRIMJENE DVISU (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

VALENTINO  
TOMAŠIĆ

Valentino Tomašić  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, VALENTINO TOMAŠIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom TEHNIČKO-EKONOMSKI ASPEKT PRIMJENE DVISU (upisati naslov) čiji sam autor/ica. TEHNOLOGIJA STROPNE KONSTRUKCIJE GRAĐEVINE "ARENA CENTAR" U ZAGREBU

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

VALENTINO  
TOMAŠIĆ

Valentino Tomašić  
(vlastoručni potpis)