

# Optimalizacija građenja nebodera u Strojarskoj korištenjem tehnologije naknadno prednapetih ploča

---

Petrović, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:840106>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

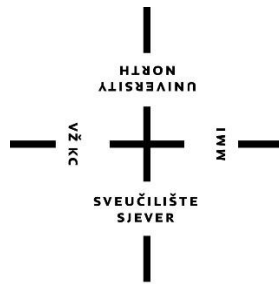
**Završni rad br. 360/GR/2019**

**Optimalizacija građenja nebodera u Strojarskoj korištenjem  
tehnologije naknadno prednapetih ploča**

**Nikolina Petrović, 1603/336**

Varaždin, kolovoz 2019. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 360/GR/2019

## **Optimalizacija građenja nebodera u Strojarskoj korištenjem tehnologije naknadno prednapetih ploča**

**Student**

Nikolina Petrović, 1603/336

**Mentor**

Predrag Presečki, dipl.ing.građ.

Varaždin, kolovoz 2019. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Nikolina Petrović	MATIČNI BROJ	1603/336
DATUM	25.07.2019.	KOLEGIJ	Montažno građenje
NASLOV RADA	Optimizacija građenja nebodera u Strojarskoj korištenjem tehnologije naknadno prednapetih ploča		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Optimalisation high rise building "Strojarska" using post tensioned tehnology		
MENTOR	Predrag Presečki	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof. dr. sc. Božo Soldo 2. Predrag Presečki, predavač 3. Miroslav Bunić, predavač 4. doc. dr. sc. Matija Orešković 5. doc. dr. sc. Aleksej Aniskin		

## Zadatak završnog rada

BROJ	360/GR/2019
OPIS	

Pristupnica će u radu analizirati tehnološki i vremenski aspekt primjene naknadno prednapetih stropnih ploča. Također, osim opisa konstrukcije u cijelini, naglasak će biti na principima i prednostima prednapreznja. U radu je potrebno obraditi sljedeće teme:

1. Općenito o stropnim pločama – montažna i monolitna varijanta
2. Opis konstrukcije tornja B
3. Analiza prednosti PT varijante prema klasičnoj kroz direktne i indirektne benefite
4. Opis tehnologija gradnje kojom je postignuto vremensko skraćenje na 7 dana po etaži
5. Zaključak

### Literatura:

- D. Jevtić: Prednapregnuti beton 1, Građevinska knjiga, Beograd, 1979.  
I. Tomičić: Betonske konstrukcije – odabrana poglavlja, DHGK, Zagreb, 1996.  
I. Tomičić: Betonske konstrukcije – prvo izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1984.  
J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije – priručnik, Školska knjiga, Zagreb, 2006.  
I. Podhorsky: Nosive konstrukcije I – drugo izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2008.  
Glavni i izvedbeni projekt konstrukcije projektnog biroa „Radionica statike d.o.o.“

ZADATAK URUČEN

22.08.2019.



## **Predgovor**

*Zahvaljujem se svom mentoru Predragu Presečkom, dipl.ing.grad. koji mi je svojim savjetima, znanjem i bogatim vlastitim iskustvom o naknadnom prednaprežanju pomogao u stvaranju ovog rada. Hvala i svim profesorima, predavačima s odjela graditeljstva, koji su nesebično podijelili svoje znanje i iskustvo na nas studente, kako bi nas pripremili za buduće inženjere.*

*Također hvala gospodinu Vukiću i gospodinu Lozančiću, koji su mi pružili potrebne materijale i sa zadovoljstvom ispričali sve o gradnji tornja.*

*Zahvaljujem se svojim roditeljima i bratu, koji su me podržavali od prvog dana studiranja i imali razumijevanja za mene.*

*Drage kolegice i kolege, s vama su studentski dani prolazili brže i bili puno zanimljiviji i veseliji.*

*Hvala svima!*

## Sažetak

U ovom završnom radu prikazane su osnovne vrste stropnih konstrukcija najčešće primjenjivanih u visokogradnji s naglaskom na naknadno prednapete stropne konstrukcije. Glavna karakteristika stropa je da horizontalno dijeli prostor formirajući etaže. Stropne konstrukcije moraju preuzeti vertikalna i horizontalna opterećenja te ih prenijeti na konstruktivne elemente, koji se nalaze ispod. Prema načinu izvođenja stropovi se dijele na: monolitne, polumontažne i montažne stropove. U radu su upravo i opisane te vrste stropova sa svim prednostima i nedostacima. Detaljno su objašnjenje pojedine podjele stropova sa svim karakteristikama. Budući da je rad usredotočen na toranj B Strojarska, opisana je njegova konstrukcija. Prikazana je analiza prednosti naknadnog prednaprezanja naspram monolitne ploče kroz direktne i indirektne benefite. Analiza je predočena kroz cijenu i količinu ugrađenog materijala. Na kraju je objašnjena tehnologija građenja tornja B – 7 dana, jedna etaža.

**Ključne riječi:** naknadno prednapinjanje, stropne ploče, analiza montažne i monolitne varijante, tehnologija građenja, toranj B Strojarska

## Abstract

In this final paper, it are shown main types of ceiling panels which are commonly used in structural engineering with emphasis on post-tension ceiling panels. The main characteristics of ceiling panels is to divide the space horizontally, forming floors. Ceiling panels must take up the vertical and horizontal loads and transfer them to other constructive elements below. According to the way of execution, ceiling panels are dividing into: monolithic ceilings, semi-prefabricated and prefabricated ceilings. In this paper are also describes these types od ceilings with all the advantages and disadvantages. There is a detailed explanation of each ceilings division with all its characteristics. Since the work is focused on Tower B „Strojarska“, construction of tower B is described. Analysis of the advantages of post-tension showed against the monolithic ceiling panels, through direct and indirect benefits. The analysis is presented through the price and quantity of the incorporated material. Finally, the technology for the construction of tower B – 7 days, one floor, is explained.

**Key words:** post-tension, ceiling panels, analysis monolithic and prefabricated versus, construction tehnology, tower B „Strojarska“

## Popis korištenih kratica

<b>AB</b>	Armirani beton
<b>CFA</b>	Continous Flight Auger
<b>PT</b>	Post-tension – naknadno prednaprezanje
<b>BDP</b>	Bruto domaći proizvod
<b>cca.</b>	Otprilike
<b>m</b>	Metar
<b>cm</b>	Centimetar
<b>m<sup>2</sup></b>	Metara kvadranih



# Sadržaj

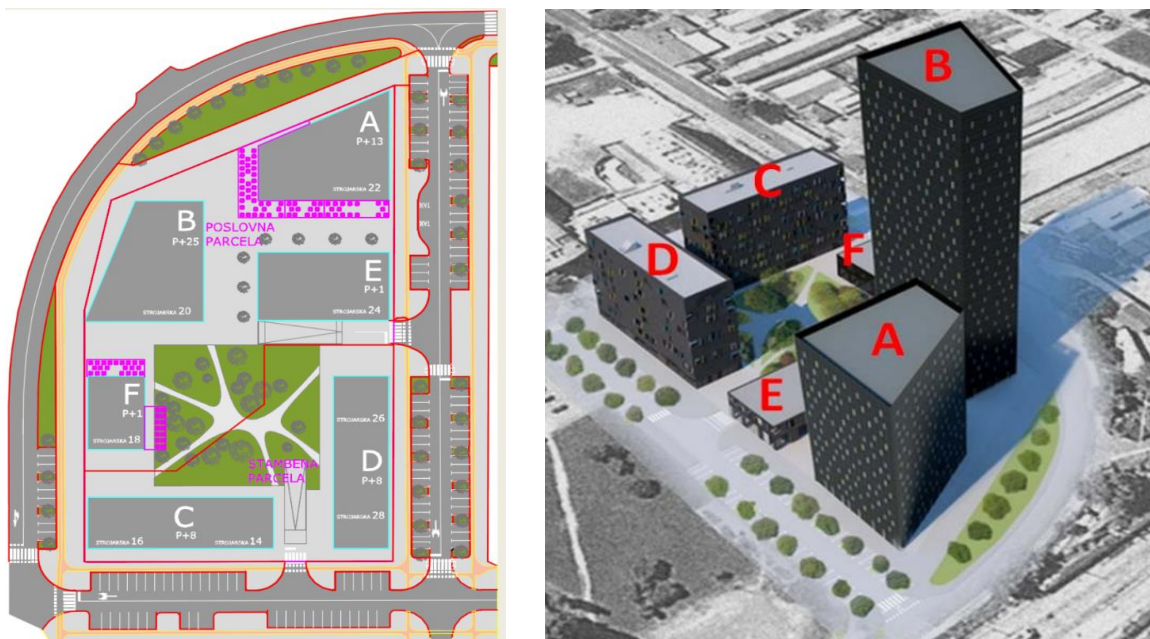
1. Uvod .....	1
2. Monolitne i montažne stropne ploče .....	2
2.1. Monolitne stropne ploče .....	2
2.1.1. Ravne monolitne stropne ploče .....	2
2.1.2. Monolitna AB ploča sa gredama .....	6
2.1.3. Sitnobrebričasti strop .....	8
2.2. Montažne stropne ploče .....	11
2.2.1. Prednapregnute šuplje ploče .....	12
2.2.2. Omnia strop .....	13
2.2.3. Fert stropovi .....	14
2.2.4. Naknadno prednapeti beton .....	15
3. Opis konstrukcije tornja B .....	17
3.1. Nadzemne etaže .....	17
3.2. Podzemne etaže .....	19
4. Analiza prednosti PT varijante prema klasičnoj ploči .....	22
5. Opis tehnologije gradnje tornja - 7 dana jedna etaža .....	27
6. Zaključak .....	35
7. Literatura .....	36

# 1. Uvod

Poslovni kompleks Strojarska smješten je u užem središtu Grada Zagreba, između Autobusnog kolodvora i bivšeg zemljišta TŽV Gredelj. Povezan je Strojarskom ulicom, koja spaja Branimirovu ulicu na sjeveru i Ulicu grada Vukovara na jugu. Zemljište na kojem je izgrađen kompleks, prethodno je služilo kao deponij vozila Zagrebparking-a.

Tadašnji vlasnik zemljišta, Zagrebačka nadbiskupija, je raspisala natječaj za idejno urbanističko arhitektonsko rješenje za tu lokaciju. Natječaj se održavao od 1. srpnja 2011. do 6. rujna 2011. godine. Pristiglo je 39 radova, dakle potencijalnih rješenja. Na natječaju je pobijedila tvrtka PROARH d.o.o. koja je zaslužna za arhitektonsko djelo. Investitor ovog kompleksa je tvrtka VMD PROMET d.o.o., glavni izvođač je tvrtka TEAM d.d., a projekt konstrukcije izradila je tvrtka RADIONICA STATIKE d.o.o. Kabele i prednapinjanje provela je tvrtka BBR ADRIA.

Kompleks je stambeno poslovne namjene, koji se nalazi na bruto razvijenoj površini od 60 000m<sup>2</sup>. Površina poslovnog dijela iznosi 6 420m<sup>2</sup>, a stambenog dijela 3 820m<sup>2</sup>. Na toj lokaciji se nalaze šest zasebnih građevina koji su podijeljeni na zgrade: A, B, C, D, E i F. Poslovni kompleks nadzemno ima četiri odvojene dilatacije (zgrade) različite katnosti i visine. Zgrade A, B, E i F su zgrade poslovne namjene, a C i D stambene namjene.



Slika 1.1 Prikaz stambeno poslovnog kompleksa „Strojarska“

U ovom radu najviše pažnje bit će posvećeno tornju B, koji je ujedno i najviša zgrada tog kompleksa, ali i u Republici Hrvatskoj.

## **2. Monolitne i montažne stropne ploče**

### **2.1. Monolitne stropne ploče**

Monolitne stropne ploče izrađuju se na licu mjesta (na gradilištu), izlivanjem svježe betonske mase u prethodno pripremljenu oplatu sa projektiranom armaturom. S obzirom na takav način izvođenja, monolitne stropne ploče imaju svoje prednosti i mane.

Prednosti monolitnih stropnih ploča:

1. Čvrsta konstrukcija
2. Vatrootporne
3. Trajne
4. Male konstruktivne visine
5. Dobro ukružuje građevinu

Nedostaci monolitnih stropnih ploča:

1. Velika vlastita težina
2. Slab toplinski i zvučni izolator

Kako bi se moglo pristupiti izvođenju radova, potrebno je izraditi statički proračun, napraviti nacрте savijanja armature i nacрте oplate. Statički proračun mora biti odobren.

Prema vrsti konstrukcije razlikujemo:

1. Ravne ploče
2. Ploče sa gredama
3. Sitnobrečastu konstrukciju

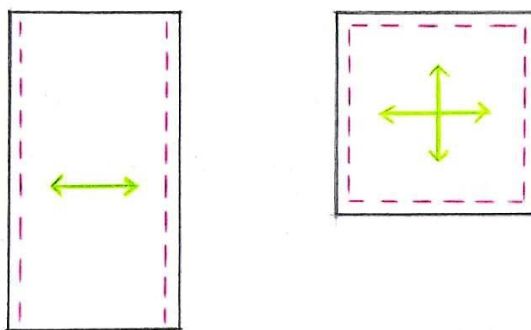
#### **2.1.1. Ravne monolitne stropne ploče**

Ravne ploče su površinski nosači kod kojih opterećenje djeluje okomito na njihovu ravninu. Koriste se za raspone najčešće od 5 do 8m, a debljina ploče je između,  $d=16-25\text{cm}$ . Debljina stropne ploče dobiva se statičkim proračunom, a ovisi o: opterećenju, rasponu i razredu betona. Takve ploče su opterećene na savijanje, pri čemu dolazi do pojave tlačnih i vlačnih naprezanja. Znamo da beton ima odličnu tlačnu čvrstoću i zato njega iskorištavamo za preuzimanje tlačnih naprezanja, a armaturu za preuzimanje vlačnih naprezanja. Prilikom popuštanja betona pod

utjecajem opterećenja, dolazi do pojave pukotina na nosaču. Tada armatura preuzima glavnu ulogu, da osigura nosivost i stabilnost nosača. Ploča se na zidovima povezuje sa horizontalnim serklažima.

Način armiranja uvjetovan je statičkim sustavom ploče, stoga razlikujemo:

1. Ploča s glavnom armaturom u jednom smjeru
2. Ploča s glavnom armaturom u dva međusobno okomita smjera

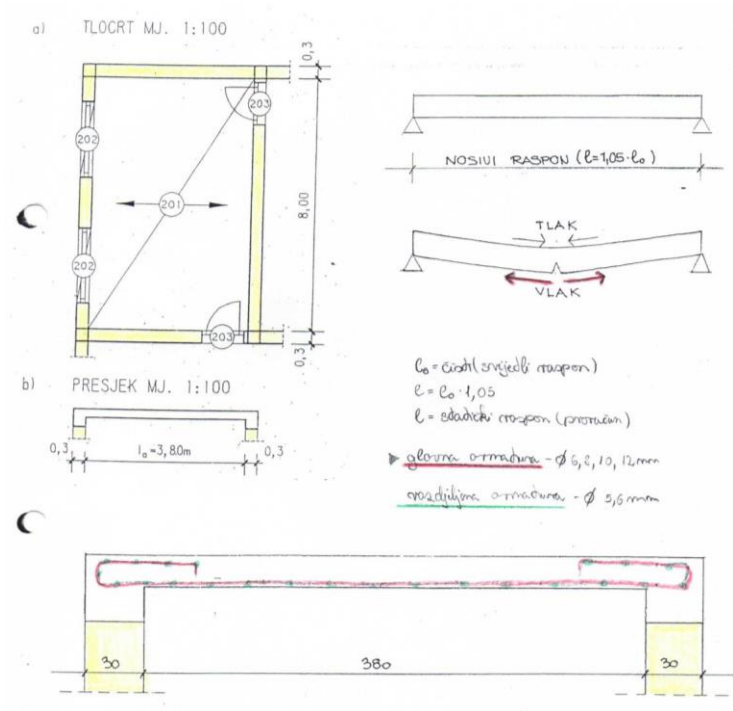


*Slika 2.1 Smjer nosivosti armature*

Podjela prema načinu oslanjanja:

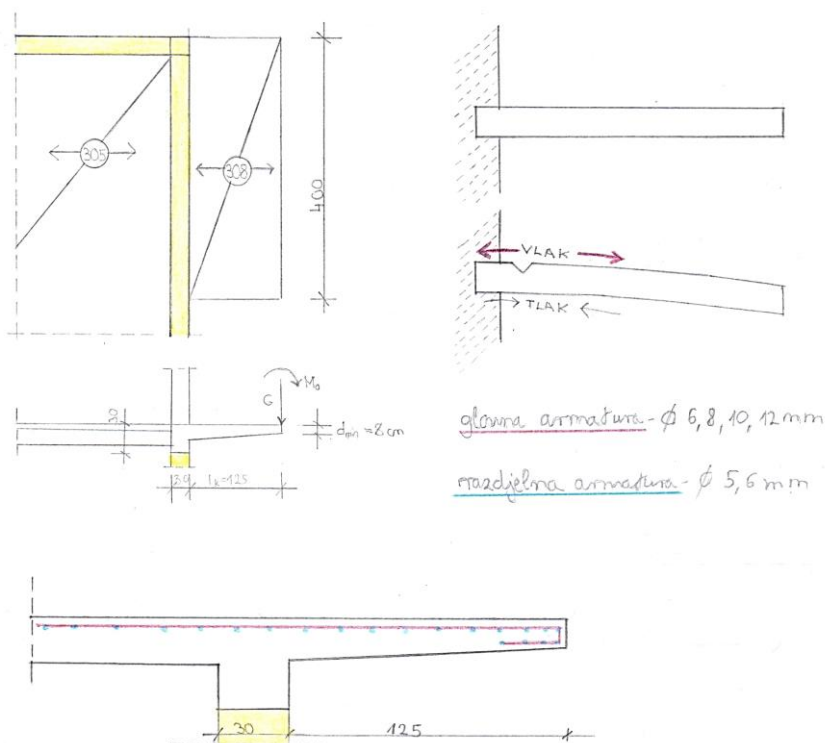
1. Slobodno položene (poduprte) ploče
2. Konzolne ploče
3. Ploče sa prepustom
4. Upete ploče
5. Kontinuirane ploče

Slobodno položene ploče nalaze se nad jednim nosivim rasponom i njihova karakteristika je da se oslanjanju na obodne nosive zidove. Prema statičkom sustavu, slobodno poduprt nosač je s jednim pokretnim i jednim vodoravno pokretnim ležajem, na svojim krajevima. Nosive su u dva smjera ili u jednom smjeru, kad je duža stranica dvostruko ili više, veća od kraće stranice. Uslijed opterećenja na ploču, ploča se savija, te se tlak nalazi u gornjoj zoni ploče, a vlak u donjoj zoni. Slijedom toga, potrebno je staviti armaturu u donju zonu, kako bi mogla preuzeti sva vlačna naprezanja uz obvezno sidrenje armature.



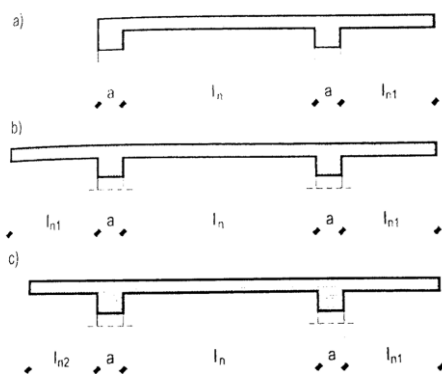
Slika 2.2 Slobodno položena ploča

Konzolne ploče su upete na jednoj strani, a ostali krajevi (stranice) su slobodni. Prilikom projektiranja važno je osigurati dobru upetost, a pri armiranju dovoljnu duljinu sidrenja armature. Kod konzolnih ploča tlak se nalazi u donjoj zoni, a vlak je u gornjoj zoni, stoga se ovdje armatura postavlja u gornjoj zoni. Najčešće se izvode kao prijepust stropne konstrukcije.



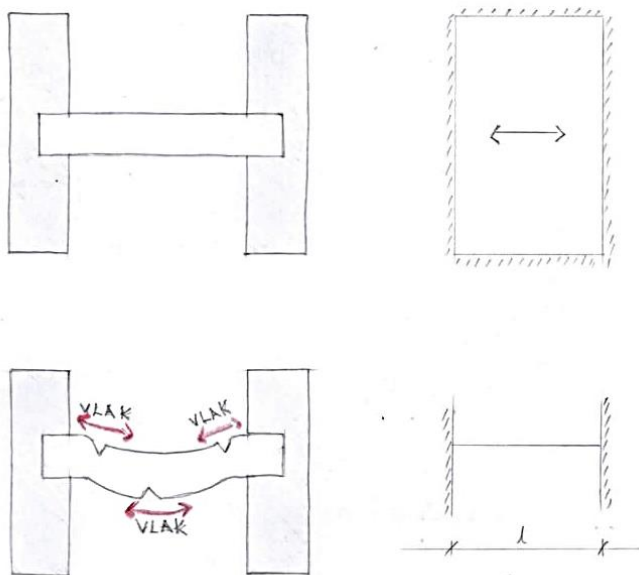
Slika 2.3 Konzolna ploča

Kad je jedan ležaj od ploče, preko raspona, pomaknut od kraja prema unutrašnjosti nosača, govorimo o ploči s jednim prijepustom. Ako su oba ležaja pomaknuta prema unutrašnjosti ploče tada je riječ o ploči sa dva prijepusta. Duljine prijepusta variraju, u granicama u kojima variraju i duljine prepuštenih ploča, to jest do 3m. Razmaci između ležajeva mogu biti znatno veći nego kod slobodno položenih ploča. Prijepusti omogućavaju rasterećenju ploče. Negativni moment u ležaju smanjuje pozitivni moment u polju ploče, time dobivamo ploču manje debljine za isti raspon. Najčešća primjena takvih ploča je u zgradarstvu, ali i na mostovima.



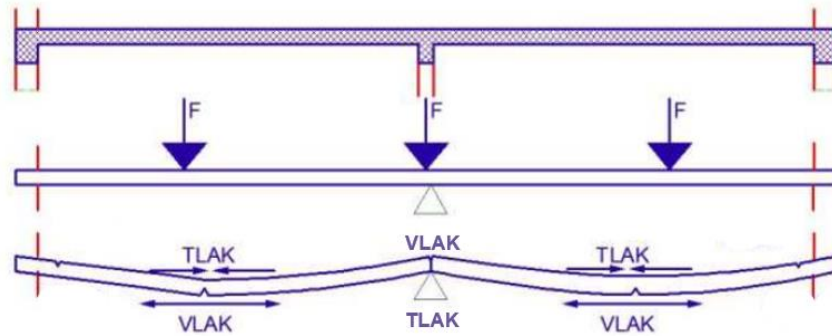
Slika 2.4 Ploča sa prijepustom

Upete ploče se rijetko susreću u suvremenom graditeljstvu zbog toga što je masa zidova nedostatna za upetost. Način armiranja je sličan kao i kod slobodno položene ploče. Glavna armatura se postavlja u donjoj zoni, a iznad ležajeva se podiže i u gornju zonu. Prisutnost vlaka je na mjestima upetosti u gornjoj zoni i na sredini nosača u donjoj zoni.



Slika 2.5 Upeta ploča

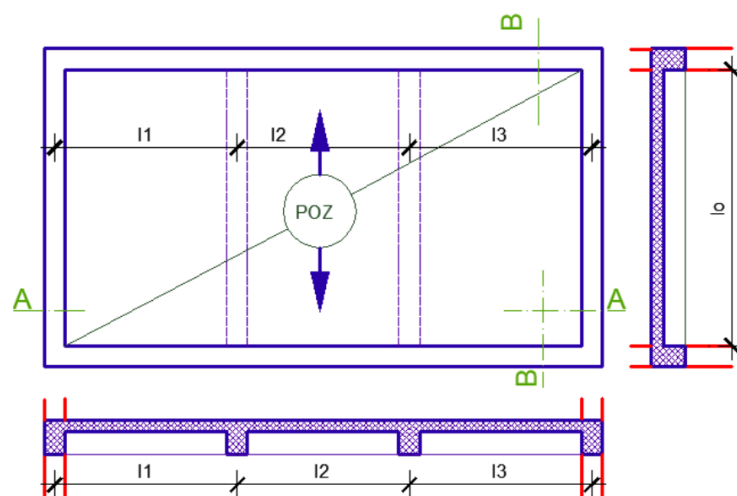
Kontinuirane ploče su plošni nosači koji bez prekidanja (kontinuirano) prelaze preko više od dva ležaja. Ovakvi nosači spadaju u statičke neodređene nosače. Krajnji ležajevi mogu biti slobodni, upeti i djelomično upeti, dok se ležajevi koji se nalaze između krajnjih uvijek ponašaju kao upeti. Kontinuirane ploče najčešće su nepromjenjive debljine, ali uz ležajeve mogu imati ojačanja koja nazivamo vutama. Kod proračuna kontinuiranih nosača moramo znati nepovoljne položaje promjenjivog opterećenja (jednoliko rasprostrto opterećenje  $q$ ).



Slika 2.6 Kontinuirana ploča

### 2.1.2. Monolitna AB ploča sa gredama

Ploče sa gredama koriste se kod većih raspona i većih opterećenja. Budući da ravne ploče jako ovise o rasponu i najčešće prenose opterećenje u jednom smjeru, u tom slučaju postale bi visoke, teške i neekonomične. Zbog toga se polazi korištenjem ploče sa gredama. Visina grede je najčešće 30-60cm. Razmak greda je između 300-600cm (raspon ploče). Ukoliko je raspon ploče veći, potrebno je postaviti sekundarne grede. Širina grede je od  $\frac{1}{2}$  do  $\frac{1}{3}$  visine grede. S povećanjem raspona grede, povećava se visina grede.

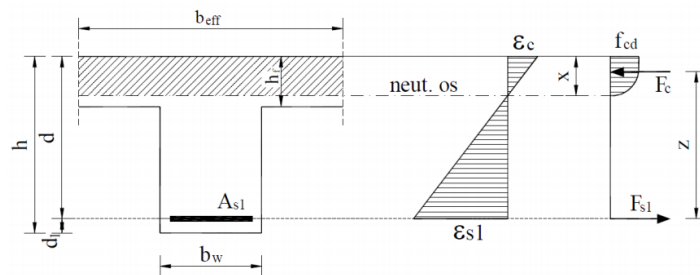


Slika 2.7 Tlocrt i presjeci AB ploče sa gredama

U statičkom smislu, greda se računa kao T nosač sastavljen od grede i ploče. Ovaj presjek je nastao iz pravokutnog presjeka. Odbacili su se nepotrebni dijelovi mase koji se nalaze ispod neutralne osi. Razlog tome je da se proširi tlačno područje betona ili dođe do monolitnog povezivanja dvaju različitih konstrukcijskih sustava: ploče i rebra. Važno je da veza između rebra i ploče bude monolitna, a to se postiže ugradnjom dovoljnih brojeva vilica u rebru. Osim vilica u rebru, postiže se i postavljanjem uzdužne armature u ploči, koja je okomita na vilice u rebru.

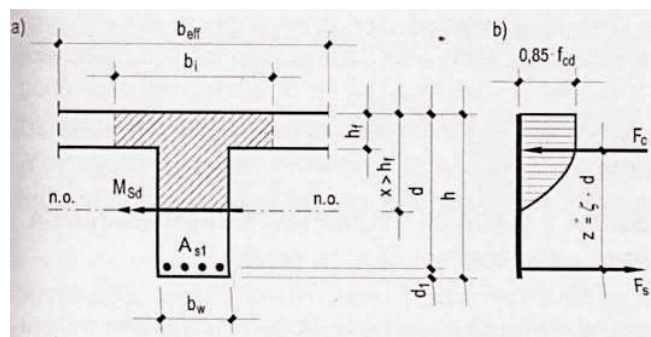
Na jednom nosaču, ovisno o njegovom statičkom rješenju, kao i opterećenju kojem je izložen, možemo uočiti tri slučaja presjeka T. Na slici se vidi da je tlak u gornjoj zoni u polju, a u neposrednoj blizini i nad ležajem tlak je u donjoj zoni. Za dimenzioniranje mjerodavan je onaj presjek u kojem se pojavljuju ekstremne vrijednosti momenata savijanja.

- 1) Presjek T kod kojega neutralna os prolazi kroz ploču. Proračunavamo kao punu gredu kvadratnog ili pravokutnog presjeka, širine  $b_{eff}$



Slika 2.8 Dimenzioniranje T-presjeka na pozitivan moment savijanja

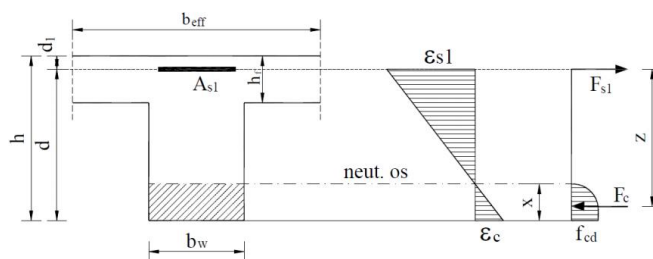
- 2) Presjek T kod kojega neutralna os prolazi kroz rebro. Presjek proračunavamo kao presjek T sa smanjenom širinom  $b_i < b_{eff}$ , ali još uvijek je  $b_i > b_w$



Slika 2.9 Dimenzioniranje T-presjeka na pozitivan moment savijanja



- 3) U području negativnih momenata (ležaj prijepusta i međupotpore kontinuiranih nosača), kada je stlačen donji dio presjeka, presjek T proračunavamo kao gredu pravokutnog presjeka širine  $b_w$



Slika 2.10 Dimenzioniranje T-presjeka na negativan moment savijanja

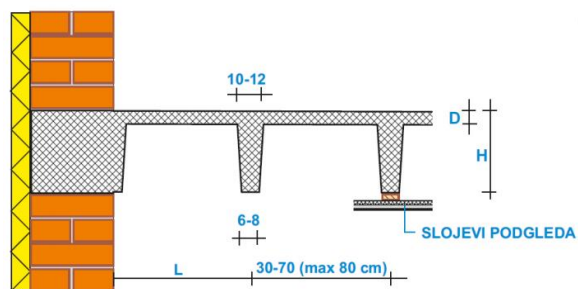
Najmanja visina  $h_{min}$  određena je uvjetom progiba  $h_{min} = \frac{l}{20} \cdot l_i$ , dok statičku visinu računamo:  $d = 0,9 \cdot h$

Ukupna visina nosača često je uvjetovana arhitektonskim zahtjevima (spušteni strop, mogućnost smještaja različite instalacije) koje mogu biti razlog značajnih razlika u visini u odnosu na statički proračun.

Uzdužna armatura kod nosača presjeka T mora se postaviti preko slobodnog ili djelomično upetog krajnjeg ležaja. Dimenzioniranje presjeka najviše ovisi o položaju neutralne osi i o predznaku momenta savijanja. Je li gornja zona tlačno opterećena ili donja zona vlačno.

### 2.1.3. Sitnobreičasti strop

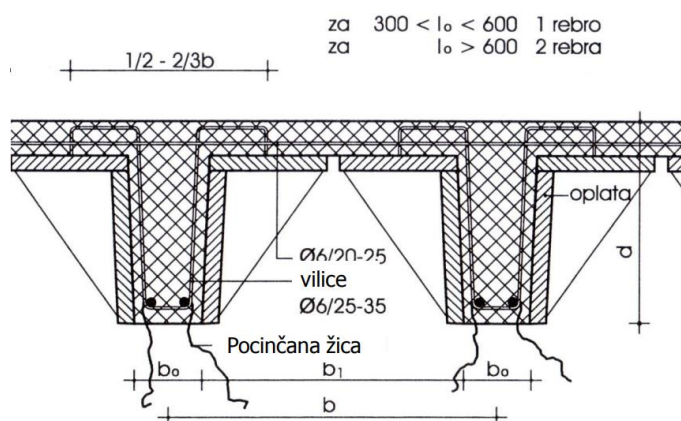
Kako bismo savladali velike raspone u armiranobetonskim konstrukcijama, naše ploče bi bile velikih visina i imale veliku vlastitu težinu. Izbjegavanjem toga opisanog, izvodi se tanka ploča na nizu paralelnih rebara (monolitna veza), čiji međusobni razmak nije veći od 80cm (razmak mjeren od osi do osi rebara). Ukoliko je razmak veći, strop poprima karakteristike ploče s presjekom T, odnosno ploče s rebrom. Sitnobreičasti stropovi mogu biti opterećeni najvećom dopuštenom vrijednošću koja iznosi  $q = 5 \text{ kN/m}^2$  (bez vlastite težine). Ove vrste ploča najčešće su se izvodile 60-ih godina prošlog stoljeća. Danas se manje izvode zbog suvremenije oplate.



Slika 2.11 AB monolitni sitnorebričasti strop

Ploča je sastavni dio stropa, koja preuzima uzdužna tlačna naprezanja od savijanja. Savija se i u smjeru okomitom na rebra. Debljina tlačne ploče iznosi najmanje  $\frac{1}{10}$  osnog razmaka rebara, ali ne smije biti manja od 5cm. Bitno je naglasiti da za ovaj sustav stropne ploče nije potreban statički proračun. Armatura se postavlja okomito na smjer rebara. Armatura ploče sastoji se od najmanje 4  $\varnothing 6$ mm na svakih 25cm okomito na smjer rebara. Na tu armaturu se postavlja usporedna armatura s pružanjem rebara, najmanje 1  $\varnothing 6$  mm između rebara. Prijepusti vilica preuzimaju momente savijanja u ploči iznad rebara. Vilice imaju zadatak povezivanja vlačnog i tlačnog pojasa betona te preuzimanja posmičnih naprezanja. Obavezno se izvode zatvorenog oblika sa prijklopom koji osigurava vezu ploče i rebara i preuzimanja negativnih momenata.

Uzdužna rebra povezuju vlačni i tlačni pojas sitnorebrastog sklopa, a preuzimaju kose vlačne sile i služe za smještaj armature u vlačnom pojasu. Oni mogu biti pravokutnog ili trapeznog poprečnog presjeka. Trapezni presjek je bolji jer omogućuje lakše skidanje oplata. Širina rebara na najužem dijelu mora biti  $\geq 8$ cm (8-12cm), a ukupna visina stropa ne smije biti manja od  $l_{eff}/20$  do  $l_{eff}/15$ , niti veća od 40cm. U uzdužnom rebru vilice se postavljaju s najvećim razmakom od 25cm.



Slika 2.12 AB monolitni sitnorebričasti strop

Kako bi se osiguralo zajedničko djelovanje uzdužnih rebara i spriječilo njihovo izvijanje, sitnorebrasta konstrukcija izvodi se s poprečnim rebrima. Ona pridonose i boljem rasprostiranju

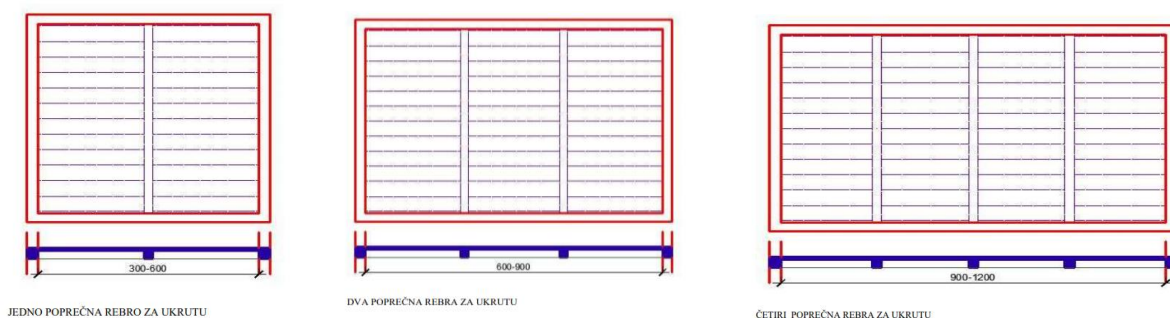
opterećenja. Ukoliko dođe do preopterećenja jednog uzdužnog rebra, rebra za ukrutenje prenose opterećenje na susjedna rebra. Iz tog razloga se postavljaju na svakih 3m. Broj rebara za ukrutenje ovisi o rasponu nosača:

do 3m → ne treba rebro za ukrutu

od 3m do 6m → jedno rebro za ukrutu u sredini raspona

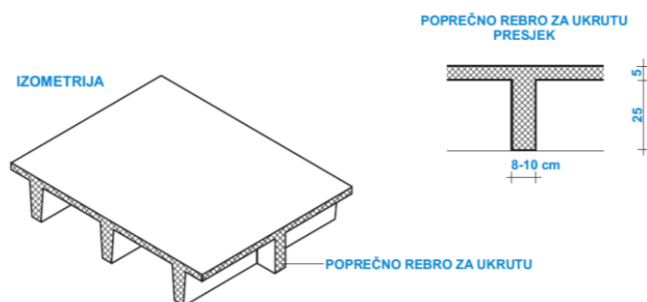
od 6m do 9m → dva rebra za ukrutu u trećinama raspona

od 9m do 12m → tri rebra za ukrutu u četvrtinama raspona



Slika 2.13 Prikaz poprečnih rebara

Poprečna rebra izvode se iste visine kao i uzdužna rebra. Armatura rebra za ukrutenje sastoji se od vilica i od dvije šipke, od kojih se jedna postavlja u gornjem, a druga u donjem dijelu presjeka. Između rebara se može postaviti ispuna od šupljih uložaka, čime se gubi postavljanje oplata, a dobiva se bolja toplinska i zvučna izolacija. Tlačna ploča ne smije biti manja od 5cm. Ispuna ne ulazi u obzir prilikom proračuna.



Slika 2.14 Prikaz poprečnog rebra u izometriji i presjeku

Dimenzioniranje sitnobrečastog stropa ovisi o položaju neutralne osi:

- 1) Ako neutralna os prolazi tlačnom pločom, rebro dimenzioniramo kao pravokutni presjek, dimenzija  $b_{eff} \cdot h$ ,

- 2) Ako neutralna os prolazi kroz rebro, a gornji dio presjeka je pritom stlačen, dimenzioniramo kao presjek T, gdje zanemarujemo nosivost stlačenog dijela rebra.

## 2.2. Montažne stropne ploče

Danas je graditeljstvo otišlo korak dalje. Kažu: „Vrijeme je novac.“ Potaknuti tom činjenicom, inženjeri su pronašli praktična rješenja kako se može uštedjeti na vremenu, poboljšati kvalitetu elementa i na kraju postići jeftiniju gradnju. Sve to, može se postići montažnim građenjem. Montažno građenje karakterizira proizvodnja AB elemenata u specijaliziranim tvornicama, koji se potom dopremaju na gradilište, te se izvodi montiranje AB elemenata na gradilištu.

Prednosti montažnog građenja:

1. Elementi se proizvode u optimalnim uvjetima
2. Proizvodnja elemenata ne ovisi o vremenskim prilikama
3. Obrtnička proizvodnja zamjenjena je industrijskom
4. Smanjena upotreba skela i oplata
5. Smanjeno je stezanje konstrukcije (elementi su već stabilizirani)
6. Montiranje suhim postupkom, time se ne unosi vlaga u građevinu
7. Istodobno se mogu graditi grubi i završni radovi
8. Manji broj kvalificiranih radnika na gradilištu

Nedostaci montažnog građenja:

1. Potrebna su velika početna ulaganja
2. Povećni su transportni troškovi
3. Poteškoće pri gradnji predstavljaju spojnice, ali one za 40% smanjuju utjecaj promjene temperature
4. Postoji opasnost od uniformiranosti građevina

Podjela montažnih sistema s obzirom na:

1. Konstrukciju (velikoplošni, skeletni, prostorni, mješoviti)
2. Upotrebjene materijale (laki beton, teški beton, opeka, drvo, metal...)
3. Težinu montažnih elemenata (laki, srednji i teški)
4. Postotak montaže (polumontažni – 50%, montažni 50-90%, totalna montaža > 90%)
5. Mjesto proizvodnje (poligon, pogon)

6. Namjenu objekta (stambeni, javne zgrade, hale, dvorane, mostovi, objekti niskogradnje...)
7. „Otvorenost sistema“ (otvoreni i zatvoreni)

Budući da se danas može apsolutno sve napraviti da bude montažno, a to je poprilično preopširno za opisati svaki element, najveći naglasak će biti na montažnim stropnim pločama. Montažne stropne ploče imaju istu funkciju kao i monolitne. Konstruktivan sustav čine stup i ploča, odnosno stup i greda kao okvir i stropna ploča. S obzirom na to da zidovi nisu nosivi, mogu biti lagani i od svih raspoloživih materijala, te je skeletni sustav vrlo prilagodljiv. Također, seizmička stabilnost ovih objekata je vrlo dobra. Izgled i karakteristike montažnih i stropnih ploča ovise od proizvođača do proizvođača.

Prednosti primjene montažnih stropnih konstrukcija u odnosu na monolitne AB ploče:

1. Jednostavnost i ekonomičnost
2. Veća preciznost izrade elemenata
3. Brža i sigurnija izvedba stropnih ploča bez korištenja oplata
4. Relativno mala vlastita težina
5. Bolja toplinska i zvučna izolacija
6. Savladavanje većih raspona

U graditeljstvu postoji mnoštvo različitih sistema montažne izvedbe stropnih konstrukcija. No, velikih razlika nema, svi se baziraju na sličnu shemu proizvodnje i montiranja. Najčešće je riječ o načinu izrade elementa, njihovom obliku ili materijalu od kojeg su ti elementi napravljeni. U slijedećim potpoglavljima, bit će riječ samo o nekim sistemima koji se najviše koriste u suvremenom graditeljstvu.

### **2.2.1. Prednapregnute šuplje ploče**

Šuplja ploča je montažni prednapregnuti element, olakšanog poprečnog presjeka. U sebi ima užad za prednaprezanje koja je jedina armatura u cijelom tom nosaču. Težina takvog nosača je 38-54% manja, nego težina punog betonskog presjeka istih dimenzija. Zahvaljujući užadi za prednaprezanje, šuplje ploče mogu savladati velike raspone, za razliku klasičnih monolitnih AB ploča. Šuplje ploče mogu bez ikakvog problema premostiti raspone i do 14m bez oslonca, što odgovara osnom rasponu greda od 15m. Taj način omogućuje gradnju različitih objekata koji zahtijevaju velike raspone, kao što su to: hale, dvorane, podzemne garaže, škole, bolnice itd. Ovaj

sistem gradnje zahtjeva postavljanje manjeg broja nosivih elemenata, na većem međusobnom razmaku, što omogućuje bržu i ekonomičniju gradnju.

Prednapregnute šuplje ploče, ne moraju se isključivo primjenjivati samo u armiranobetonskim konstrukcijama, već i sa drugim konstrukcijama. Mogu se primjeniti u zidanim i čeličnim konstrukcijama, bez obzira je li riječ o montažnom ili klasičnom načinu građenja. Šuplje ploče se najčešće upotrebljavaju za međukatne konstrukcije, ali mogu se iskoristiti i kao fasadni paneli, gredni elementi ili kao ploče za mostove. Nakon montaže, ne zahtijevaju nikakvu dodatnu obradu i njihova donja površina je izuzetno glatka. Zbog automatske proizvodnje elementi su precizni, što omogućuje njihovo uredno slaganje u konstrukciji.



*Slika 2.15 Prikaz montaže šupljih ploča*

### **2.2.2. Omnia strop**

Omnia strop je polumontažni AB strop ravnog poprečnog presjeka. Strop se sastoji od: montažne ploče minimalne debljine 4cm, armirane mrežastom armaturom i dodatnog betona čija debljina iznosi prema proračunu. Ovi stropovi se tretiraju kao linijske ploče koje nose pretežno u jednom smjeru, ali može se postići njihova nosivost i u dva smjera. Tako da se se doda armatura i u drugom smjeru, slično kao i kod klasičnih ploča. Izvodi se kao predgotovljena ploča debljine 4cm, koja je armirana mrežastom armaturom i odgovara rešetkastim nosačima. Montira se uz podupiranje, te se ugrađuje armatura na spojevima ploča. Betonira se do pune visine (statički određeno). Omnia ploča se proračunava kao puna AB ploča.

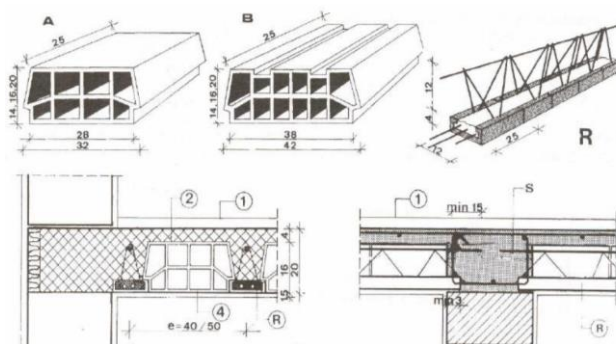
Poludovršene ploče podižu se dizalicama na zahtjevanu visinu. Vidljivi dio armature upravo i služi za lakši transport, odnosno prenošenja ploča. Na gradilištu se postavlja mreža u gornjoj zoni, te se ploča još dodatno izbetonira i time konstrukcija postaje cjelovita. U omnia ploče ugrađuju se kutije za elektroinstalacije i svi potrebni prodori i otvori koji su potrebni za izvođenje daljnjih radova. Koristi se za višekatne objekte.



*Slika 2.16 Prikaz montaže omnie ploče*

### 2.2.3. Fert stropovi

Fert stropovi su polumontažni stropovi rebričastog poprečnog presjeka. Sastoji se od predgotovljenih gredica, ispune i tlačne ploče. Predgotovljene gredice predstavljaju opekarsko korito sa postavljenim armatunim koševima. Njihova visina je 16cm, a rasponi se kreću do 660cm. Osni razmak gredica je 40 ili 50cm. Nalijeganje gredica na nosivi zid je 4-6cm, a armatura 12cm. Gredice se naručuju prema nacrtima i podacima iz statičkog proračuna. Ispuna čine šuplji opekarski elementi, specifičnog oblika. Tlačna ploča je debljine 4cm, armirana mrežama i ona se izvodi na gradilištu. Sveukupna debljina fert stropa je 20cm, predgotovljeni elementi su 16cm i tlačna ploča 4cm.



*Slika 2.17 Izometrija ispune i gredice i presjek fert stropa*

Gradnja je brza jer nije potrebna oplata, već je potrebno samo podupiranje prije početka izrade stropa. Podupirači se postavljaju na razmaku 1-1,5m. Ono što je itekako važno, strop je relativno



male težine, gotovo u cijelosti je izrađen od opeke. Opeka ima puno bolja toplinska i zvučna svojstva za razliku od betona. Što se tiče same izvedbe fert stropa, potrebno je osigurati gredicama horizontalni ležaj na nosivim zidovima koristeći odgovarajući cementni mort. Prva gredica se polaže uz zid, a sljedeće na osnim razmacima. Rebra za ukrutu se izrađuju širine 12-15cm, armiraju se prema statičkom proračunu. Obično idu četiri šipke i vilice. Za raspon 4,9m stavlja se jedno rebro za ukrutu, a za raspon 5-6m postavljaju se dva rebra za ukrutu.

Postoji danas jako puno proizvođača kojima je inspiracija upravo fert strop. Oni su svoje stropove usavršili i danas se može vidjeti njihova najveća primjena u graditeljstvu. Najpoznatiji sustavi su Porotherm stropovi i „Bijeli strop“ od tvrtke Ytong.



*Slika 2.18 Porotherm strop (slika lijevo) i „Bijeli strop“ (slika desno)*

#### **2.2.4. Naknadno prednapeti beton**

Kod naknadnog napinjanja natege se postavljaju u zaštitne cijevi koje idu niz duljinu nosača ili unutar debljine ploče. Tijekom betoniranja i očvršćivanja betona, natege u cijevima nisu napete i slobodne su. Tek kad beton dobije potrebnu tlačnu čvrstoću (koja je zadana proračunom) može se započeti sa napinjanjem natega. Natege se napinju pomoću hidrauličnih preša koje se pritom oslanjaju na sam nosač. Kada se ostvari projektirana sila prednapinjanja, natega se fiksira u nosač pomoću sidra. Tip sidra ovisi o sustavu prednapinjanja. Princip izgleda ovako: sila sa užeta se prenosi na sidro pomoću klina (trenjem), a pomoću sidrene pločice na beton. Ukoliko se koristi sustav BBRV, tada je svaka žica pojedinačno usidrena pomoću glavnice hladno oblikovane na kraju žice.





*Slika 2.19 Postupak prednaprezanja pomoću hidraulične preše za „unbonded“ kabele*

Nakon napinjanja, natege je potrebno zaštititi od korozije. Najviše nakon trideset dana od sidrenja, u slobodni prostor cijevi s nategama ubrizgava se smjesa za injektiranje pomoću crpke za injektiranje. Smjesa za injektiranje može biti cementni mort. Ono što je bitno je to da cement mora biti iste kvalitete kao i cement kojim se izradio nosivi element. Bitno je da je smjesa u početku fluidna, a kasnije kad dođe do stvrdnjavanja mora imati potrebnu čvrstoću i što manje skupljanje. Smjesa ima dvostruku ulogu. Štiti natege od korozije i u isto vrijeme osigurava čvrstu vezu između betona i natege. Zaštita od korozije može se riješiti i bez direktnog dodira visokovrijednog čelika s betonom, tako da se on kao već gotov tvornički proizvod, nalazi u plastičnoj cijevi sa zaštitnom masti („unbonded“ sistem). Prednapete konstrukcije kod kojih je obavljeno injektiranje, pokazuju veću nosivost i manje širine pukotina. Prednost napinjanja je u tome što natega prati krivulju mjerodavnih momenata savijanja. Glavna filozofija prednaprezanja je unos tlačne sile u beton i skretnih sila. Skretne sile su posljedice zavojitog oblika vođenja kabela. Smjer skretnih sila je u polju suprotan gravitacijskom opterećenju, pa one odižu ploču.



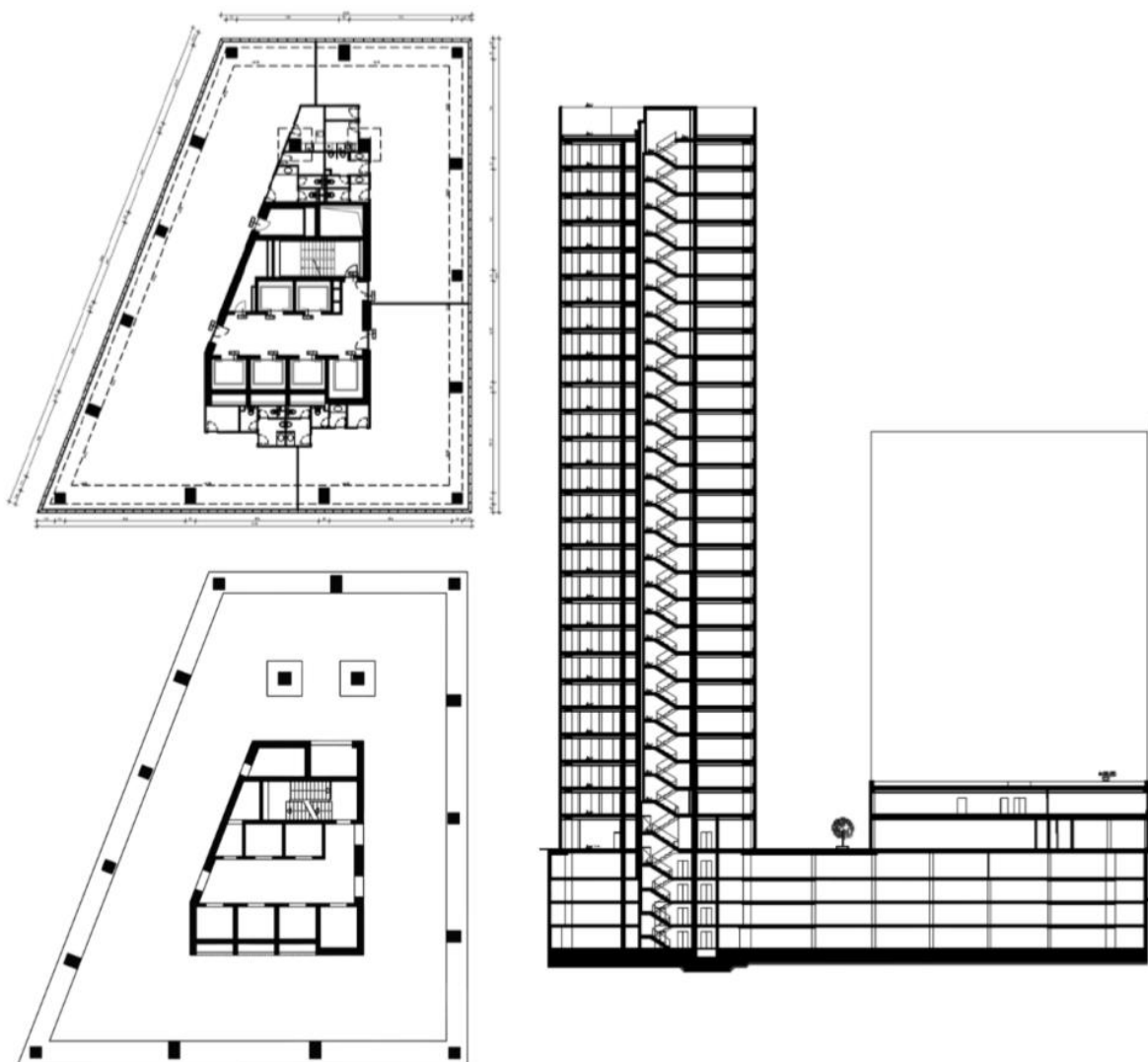
*Slika 2.20 „Bonded“ i „unbonded“ kabele za prednaprezanje*

### 3. Opis konstrukcije tornja B

#### 3.1. Nadzemne etaže

Toranj B je među najvišim zgradama u Republici Hrvatskoj. Zgrada se sastoji od 4 podzemne etaže i 27 nadzemnih etaža. Nadzemna visina tornja iznosi  $H=97,80\text{m}$ . Tlocrtna dimenzija tornja B su  $32,8 \times 35,8\text{m}$ . Visina nadzemnih etaža je  $h_{\text{kat}} = 3,50\text{m}$ , dok je visina prizemlja i tehničke etaže  $h_{\text{priz}} = 4,55\text{m}$ .

Toranj je projektiran kao monolitna armiranobetonska konstrukcija. Glavne vertikalne nosive elemente čine AB zidovi i AB okviri. Zidovi su promjenjive debljine  $t = 20\text{-}50\text{cm}$  i koncentrirani su oko središnje stubišno–liftne jezgre tlocrtnih dimenzija  $12,2 \times 15,2\text{m}$ . Rubni stupovi su pravokutnog presjeka dimenzija  $b/h = 100/110$  u prizemlju, a s visinom se smanjuju, te u vrhu iznose  $b/h = 50/50$ . Stupovi sa gredama presjeka su dimenzija  $b/h = 100/50\text{cm}$  i čine obodne okvire, koji zajedno sa zidovima jezgre osiguravaju potrebnu torzijsku krutost građevine. AB zidovi jezgre i obodni okviri osiguravaju horizontalnu stabilnost uslijed djelovanja potresa i vjetra. Krov tornja B je ravni krov. Stropne konstrukcije su naknadno prednapete ploče debljine  $h = 16\text{cm}$  s kapitalnim zadebljenjem iznad srednjih stupova debljine  $h = 35\text{cm}$ . Ploče se oslanjaju na AB zidove jezgre i na AB grede okvira. Vertikalna komunikacija kroz zgradu omogućena je s jednom stubišnom–liftnom jezgrom, koja se nalazi u sredini tornja.

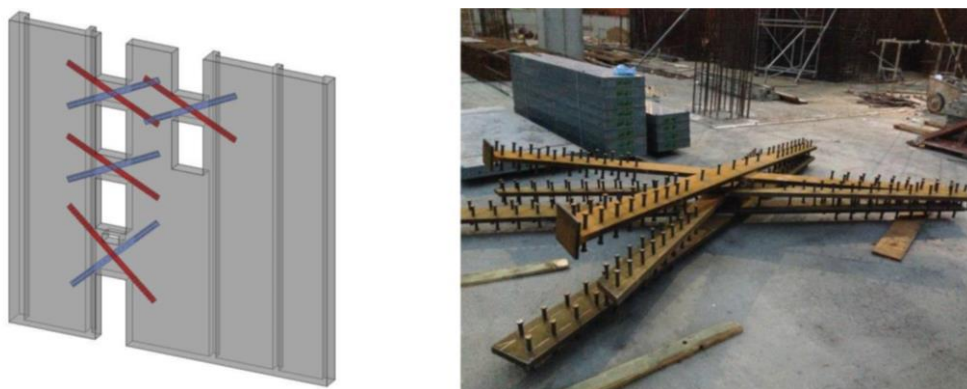


Slika 3.1 Arhitektonski tlocrt, shema konstrukcije i presjek tornja B

Stropne ploče su naknadno prednapete ploče debljine  $h = 16\text{cm}$ . Projektanti su radili dvije verzije stropnih ploča: klasična AB ploča i prednapeta ploča. Već u samom startu je vidljiva razlika; veća ekonomičnost, budući da je debljina klasične ploče trebala biti  $h = 22\text{cm}$ . Radi se o monolitnoj izvedbi i nakon tri dana, kada je beton postignuo minimalnu tlačnu čvrstoću potrebnu za prednaprezanje, započelo se s naknadnim prednaprezanjem ploče. Na ovoj zgradi primjenjen je sistem bez direktnog dodira s betonom (*unbonded tendons*), to jest u plastičnoj cijevi sa zaštitnom masti, radi korozije i bolje prionljivosti. Sistem je tipa BBR VT CMM 0106. Površina kabela iznosi  $1,5\text{cm}^2$ , a granica razvlačenja je  $f_{pk} = 1860\text{Mpa}$ . Kabeli su polagani principom tzv. slobodnog vođenja kabela. Struktura glavne konstrukcije s jezgrom je bila povoljna, nije se trebala vršiti naknadna monolitizacija ploče sa zidovima jezgri.

Što se tiče seizmike, jezgra se proračunavala kao jedinstvena vertikalna konzolna cijev. Budući da na jezgri ima otvora, nisu se mogli isključiti nadvoji iz nosivosti iznad otvora. Razlog tome je,

što onda konstrukcija ne bi imala dovoljnu krutost. S obzirom na taj problem, ugradili su se čelične dijagonale koje su imale ugrađene moždanike na sebi.



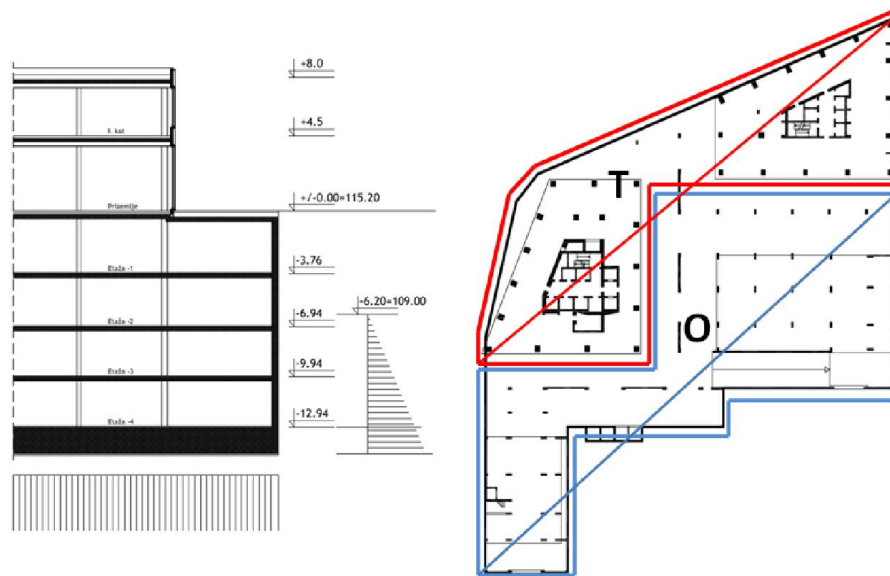
Slika 3.2 Prikaz čeličnih dijagonala

### 3.2. Podzemne etaže

Podzemni dio građevine projektiran je kao jedinstvena cjelina, to jest bez dilatacijskih reški i ukupno ima četiri podzemnih etaža. Razlog zašto je projektirana kao jedinstvena cijelina je, kako bi se osigurala potrebna krutost podzemnog dijela na bočni pritisak tla, na seizmičko opterećenje i vodonepropusnost. Podzemni dio se nalazi ispod svih građevina i ispod središnjeg trga. Tlocrtne dimenzije su 82,5 x 112,4m, a visina etaže  $h_{-1} = 3,55\text{m}$ ,  $h_{-2,-3,-4} = 3,06\text{m}$ . Podzemnu konstrukciju čine AB stropne ploče, AB vertikalni elementi (zidovi jezgre i obodni zidovi) i stupovi koji su ravnomjerno raspoređeni po tlocrtu. Zbog prihvata horizontalnih sila uslijed tzv. Backstay effect-a visokih tornjeva, ploča stropa etaže -1 iznosi debljine  $h = 40\text{cm}$  (unutar jezgre), a  $h = 30\text{cm}$  ispod objekta E i F, i 30-34cm ispod pristupnog trga. Ploča se na stupove oslanja preko kapitela debljine  $h = 50\text{cm}$ , zbog velikih reakcija ispod trga. AB ploča stropa etaže -2, -3, -4 je debljine  $h = 22, 25$  i 28cm, koja se oslanja na AB zidove i stupove bez greda i kapitela. Zidovi u podzemnim etažama su debljine  $t = 25$  i 30cm, dok su obodni zidove  $t = 30-35\text{cm}$  u etaži -4. Zahtjev investitora je bio, da se podzemni dio građevine izvede bez hidroizolacije, to jest da se proračuna kao „bijela kada.“ To je značilo da se mora provesti i dodatni proračun temeljne ploče i obodnih zidova na granično stanje ograničenja pukotina. „Bijela kada“ je armiranobetonska konstrukcija koja pored svoje nosive funkcije mora zadovoljiti i kao hidroizolacija. Kako bi to bilo omogućeno, potrebno je da konstrukcija bude izrađena od vodonepropusnog betona i debljina elementa ne bude manja od 30cm.

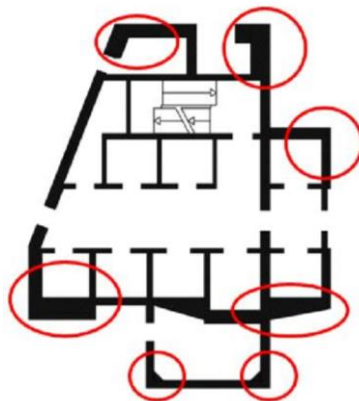
Proračun temeljne ploče i obodnih zidova bio je složen proces. Istražni radovi su pokazali da je podzemni dio građevine uronjen u podzemnu vodu za iznos od 8,74m. Da bi se izbjegle gumene brtve, morao se primjeniti proračun jedinstvene temeljne ploče opterećene različitim opterećenjima. Analizom su se dobila velika tlačna naprezanja ispod tornjeva A i B, i ukoliko se

temelji bez pojačanja tla doći će do velikih slijeganja temeljne ploče, preko 8cm. To je na području T (slika). Na području O dolazi do prisustva velikog uzgona, koji hoće podići cijelu ploču na tom dijelu. Kako bi se smanjila diferencijalna slijeganja, između ta dva područja, izvedeno je pojačanje temeljnog tla izvedbom AB pilotima. Promjer pilota je 63cm i dubine 11m ispod jezgri i stupova tornjeva A i B. Na ostalim dijelovima piloti su promjera 50cm i dubine 9m. Piloti su izvedeni CFA (Continuous Flight Auger) tehnologijom. CFA piloti su pogodni kod visokih razina podzemne vode, jer nije potrebno korištenje zacjevljenja ili isplake za održavanje stabilnosti stijenke bušotine. Analizom je utvrđeno da 50% tlačnog opterećenja preuzimaju piloti, a 50% temeljno tlo. Vlačno djelovanje preuzimaju piloti.



Slika 3.3 Prikaz područja podzemnih etaža koje su pod vodom i područje tlačnih naprezanja (T) i područje odizanja (O)

Debljina temeljne ploče iznosi  $h = 200\text{cm}$ , a glavna armatura se postavljala u gornju i donju zonu, te se postavljala posmična armatura sa zatvorenim vilicama. Temeljna ploča ima najveće poprečne sile na kutu jezgre, te se iz tog razloga vršilo zadebljanje kuteva zidova jezgre.



Slika 3.4 Prikaz zadebljanja zidova jezgri na spoju s temeljnom pločom



Radi smanjenja posmične sile stupova, stupovi su dilatirani od stropa -4, čime je povećana visina stupa na visinu dvije etaže. Dilatiranje stupa je postignuto izvedbom kapitela, na kojeg se oslanja ploča, a između stupa i ploče postavljen je stiropor. Time se postiglo da ploča i dalje bude kao kruti disk i prenosi opterećenje.



*Slika 3.5 Prikaz dilatiranja stupa*

## 4. Analiza prednosti PT varijante prema klasičnoj ploči

Investitor poslovno stambenog kompleksa Strojarska je tvrtka VMD Promet d.o.o. Prilikom projektiranja, investitor je zatražio da se razrade dvije moguće varijante: AB monolitna ploča i PT ploča. Htjeli su vidjeti što im je isplativije, brže i razmotriti druge faktore koji bi se mogli pojaviti prilikom izvođenja radova. Kako je riječ o velikom projektu i zahtjevnim građevinama, morali su sagledati i faktore koje se ne tiču toliko graditeljstva. Riječ je o ekonomskim, socijalnim i političkim faktorima. O tim faktorima itekako ovisi i razvoj graditeljstva. Treba spomenuti da se kompleks izvodio u periodu od srpnja 2012. godine do kolovoza 2014. godine.

Tih godina, Republika Hrvatska je bila u recesiji, BDP (Bruto domaći proizvod) je padao, a s njim gospodarstvo slabi. Kod projektiranja, a pogotovo kod potpisivanja ugovora, treba voditi računa i na takve stvari. Svi sudionici u gradnji morali su ući u ovaj posao s rezervom i dozom rizika. Rizici mogu biti različiti. Politički rizik najčešće podrazumijeva vjerojatnost promjene pojedinih zakonskih propisa koje mogu utjecati na novčane tokove projekta (promjena stopa određenih poreza ili uvođenje novog poreza). Valutni rizik koji može imati troškove ili koristi. Koristi za projekt će nastati ukoliko dođe do pada tečaja, a troškovi uslijed rasta tečaja. Rizik kamatne stope je vjerojatnost da će se kamatna stopa promijeniti u budućnosti u odnosu na planiranu. Jedan od bitnih rizika je rizik cijena. Vjerojatnost promjene prodajnih ili nabavnih cijena u odnosu na ugovorene. Taj rizik postoji kako u razdoblju izgradnje tako i u razdoblju uporabe. Razlog promjena cijena mogu biti zbog globalnih poremećaja ili inflacija. Cilj svih tih rizika da ih investitor prepozna i efikasno upravlja njima. Time omogućiti smanjivanje poslovnih rizika kako bi ukupna rizičnost projekta bila minimalna.



Slika 4.1 Potencijalni rizici prilikom poslovanja

Usprkos lošoj situaciji u državi, projekt je uspio; kompleks je izgrađen. Budući da su to bile krizne godine, u medijima se moglo čuti kako veliki broj poduzetnika zatvara svoje tvrtke ili ih stavlja u stečaj. Zatvaranje tvrtki ili odlazak u stečaj ima negativne socijalne posljedice. Radnici ostaju bez svojih plaća, bez posla, njihove obitelji smanjenih prihoda. Nemogućnosti rada u toj tvrtci, radnici traže bolja radna mjesta, te su spremni otići i u druge zemlje diljem svijeta. Time se pojavljuje problem pronalaska kvalitetnih, ali i dovoljnog broja radnika za rad na građevini. Napisane su samo negativne posljedice koje bi nas mogle zateći. Od pozitivnih posljedica ne treba strahovati, one su uvijek dobrodošle i idu na našu korist (veća dobit). Dok negativne nas mogu uvući u velike probleme, ako ih prilikom projektiranja nismo uzeli u obzir.

Kako su se napravile dvije varijante stropnih ploča tornja B, bilo je važno odabrati koja će se primijeniti prilikom izvođenja. PT ploče imaju funkciju postavljanja betonske konstrukcije pod tlakom u onim područjima gdje opterećenje uzrokuje vlačno naprezanje. Naknadno prednapinjanje primjenjuje tlačno naprezanje na materijal, koji smanjuje vlačno naprezanje s kojim se onda beton može suočiti pri opterećenju. Prednosti izvođenja stropnih ploča pomoću naknadnog prednapinjanja su:

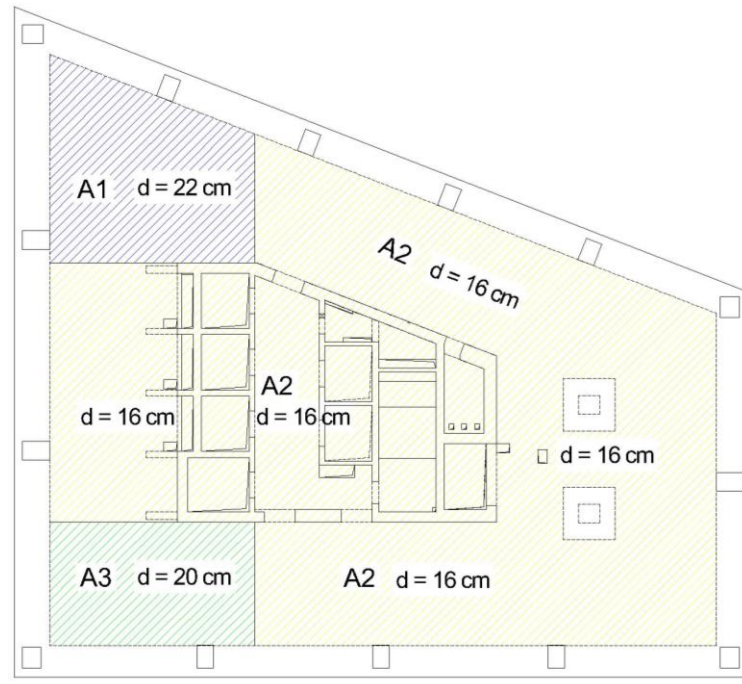
1. Savladavanje većih raspona
2. Postiže se znatno manja debljina ploče za razliku od monolitnih
3. Smanjena visina konstrukcije
4. Ušteda u materijalu i radnoj snazi (gotovo kod svih vrsta radova)
5. Manji progibi i smanjena mogućnost pukotina
6. Manja masa konstrukcije, niže težište i bolja seizmička otpornost
7. Smanjeno vrijeme građenja
8. Povećana otpornost na proboj iznad stupova
9. Bolja vodonepropusnost, otpornost na koroziju i trajnost

Primjenom PT ploča postiže se i do 80% manje oplata zbog manjih ciklusa (skidanje oplata prilikom prednapinjanja koje slijedi tri dana nakon betoniranja), kad čvrstoća betona postigne  $\geq 24\text{MPa}$ . Betonira se razredom betona C 30/37. Može se uštediti i do 50% betona, no to sve ovisi o rasponima i opterećenjima. Betonirati se mogu taktovi i do  $1\ 500\ \text{m}^2$  (ovisno o mogućnostima kod pojedinih objekata). Što se tiče armature, njezina količina je smanjena 60-70%. Time se postigla manja potreba za kvalificiranom radnom snagom i manjim rizicima pri postavljanju armature. Sve su to tvrdnje i činjenice koje nam govore da je gradnja PT pločama puno isplativija, brža i kvalitetnija.

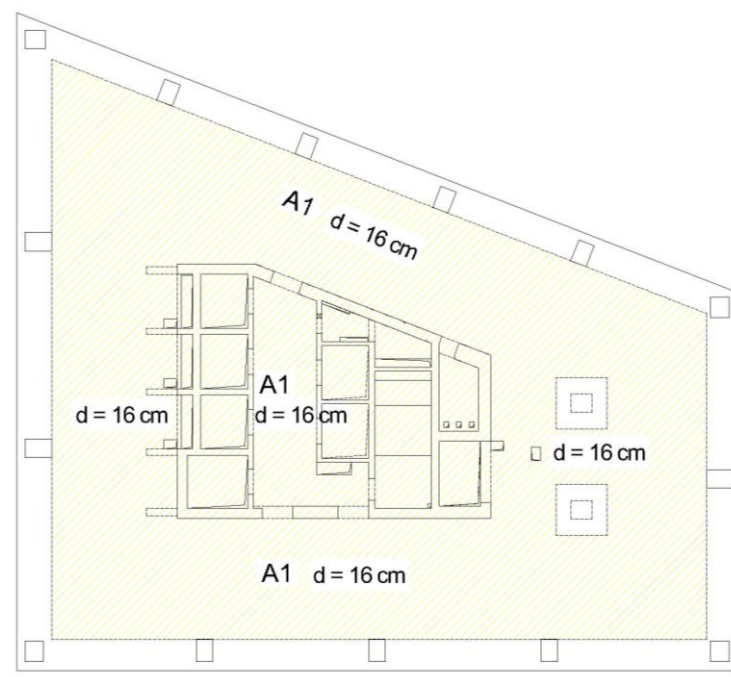
Kod klasične varijante imamo tri različite debljine ploča: 16, 20 i 22cm. Postavljanje oplata cijelom površinom AB monolitne stropne ploče je vrlo nezgodno, upravo zbog postojanja tih triju



različitih debljina. Da bi se to moglo izvesti, izvođač mora dobro razraditi planove oplata stropne ploče, imati vješte tesare koji će kvalitetno i pravilno postaviti oplatu. Ono što predstavlja najveći problem je to, što takva oplata uzima jako puno vremena – ekonomski neisplativo i zaista previše komplicira izvođenje radova. Pomnim razmišljanjem i sagledavanjem svih opcija, i pritom pazeći na moguće rizike tokom građenja, investitor je odabrao rješenje – PT ploče.



Slika 4.2 Prikaz različitih debljina ploča kod klasične varijante



Slika 4.3 Prikaz jednolike debljine ploče kod PT varijante

Kako sve prethodno rečeno ne bi ostalo bez ikakvih matematičkih izračuna, napravljene su dvije tablice koje će i potvrditi ono zašto je i u financijskom dijelu presudila PT ploča. U tablicama se nalaze upotrijebljeni materijali: beton, armatura i kabeli. Drugi stupac prikazuje ukupnu količinu materijala za jednu karakterističnu etažu tornja B. Količinu betona sam izračunala pomoću priloženih tlocrta etaže tornja B. Armaturu sam zbrojila iz iskaza armature za tu etažu. Podatak o količini ugrađenih kabela mi je napisan odmah na dobivenim nacrtima. Slijedi količina po m<sup>2</sup>. Označava koliku masu zauzima po površini od 1m<sup>2</sup>. Ukupna površina karakteristične etaže je 828,78m<sup>2</sup>. Cijena je po kvadratu odnosno kubiku. Bitno je naglasiti da su cijene uzete iz razdoblja kada se gradilo toranj B. Cijena je izražena u eurima, prosječni tečaj eura 2012. godinu iznosio je 7,517. Na temelju poznavanja ovih informacija dobivamo koliko iznosi jedna etaža tornja. Prilikom analize u obzir nije uzeta oplata AB monolitne i PT stropne ploče.

Prva tablica predstavlja utrošak materijala i cijenu AB monolitne stropne ploče. Iz tablice je vidljivo da je potrebno za jednu etažu ugraditi 192,375m<sup>3</sup> betona. Cijena 1m<sup>3</sup> iznosi 100 €, u tu cijenu je uključena cijena samog betona, transport i ugradnja betona. Na kraju ispadne da ova stavka iznosi 19 237,50 €. Osim betona, potrebno je ugraditi armaturu. U ovu stavku uključena je armatura u donjoj i gornjoj zoni, sve potrebne poprečne armature (vilice). Cijena 1kg iznosi 1 €. Time ova stavka iznosi 22 500 €. Kada se zbroje ove dvije stavke dobijemo konačnu cijenu AB monolitne stropne ploče. Ona iznosi 41 737,50 €.

MATERIJAL	KOLIČINA UKUPNO	KOLIČINA PO m <sup>2</sup>	CIJENA	UKUPNO
BETON	192,375 m <sup>3</sup>		100 €/m <sup>3</sup>	19 237,50 €
ARMATURA	22 500 kg	27,15 kg/m <sup>2</sup>	1 €/kg	22 500,00 €
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>41 737,50 €</b>

*Tablica 4.4 Količina ugrađenog materijala i cijena za AB monolitnu stropnu ploču*

Druga tablica prikazuje utrošak materijala i cijenu za PT ploču. Prva stavka je beton. Za ovu varijantu je potrebno 185,263m<sup>3</sup> betona. Armature je potrebno 13 326kg, a da bi mogli govoriti o naknadnom prednapinjanju, potrebno je ugraditi kabele. Količina kabela iznosi 3 200kg. Cijena kabela iznosi 3,4 € po kilogramu. Jedinična cijena betona i armature su iste kao i kod AB monolitne ploče. Kada se sve to pomnoži i zbroji, dobije se da PT ploča iznosi 42 732,30 €.

MATERIJAL	KOLIČINA UKUPNO	KOLIČINA PO m <sup>2</sup>	CIJENA	UKUPNO
BETON	185,263 m <sup>3</sup>		100 €/m <sup>3</sup>	18 526,30 €
ARMATURA	13 326 kg	16,10 kg/m <sup>2</sup>	1 €/kg	13 326,00 €
KABELI	3 200 kg	3,86 kg/m <sup>2</sup>	3,4 €/kg	10 880,00 €
<b>SVEUKUPNO:</b>				<b>42 732,30 €</b>

*Tablica 4.5 Količina ugrađenog materijala i cijena za PT ploču*

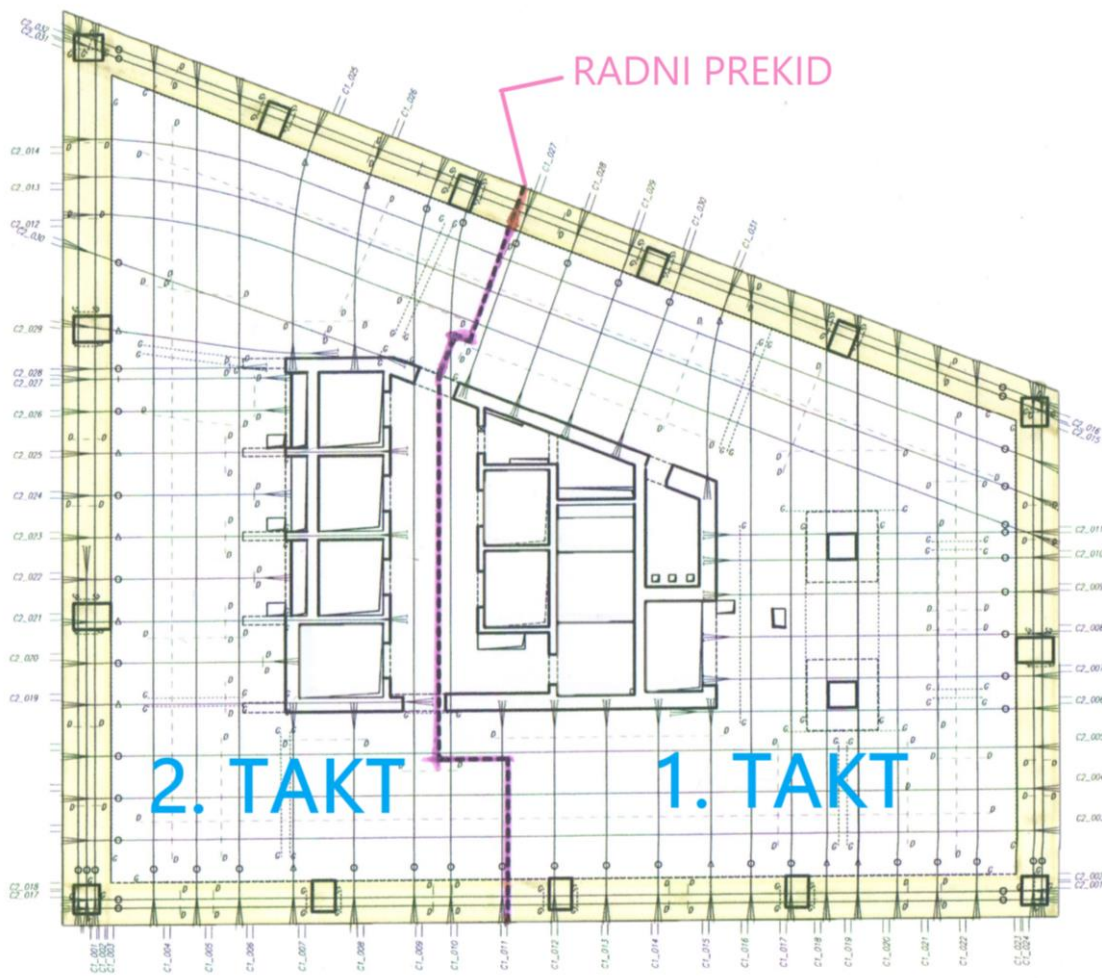
Iz priloženih tablica je vidljiva razlika u potrebnoj količini materijala za pojedinu varijantu. Tako nam je potrebno manje kubika betona i manja količina armature u PT varijanti. Dok jedino za tu varijantu moramo dodati kabele. To je što se tiče materijala, a što se tiče cijene, tu je PT varijanta skuplja za nekih 995 €. Iako je investitor uzeo skuplju varijantu, to ne mora značiti da je skuplje prošao, dapače, mogao je samo profitirati. Već ranije su napisane prednosti PT ploče i upravo su te prednosti presudile za konačnu odluku. Projekt je napravljen brže, kvalitetnije i estetski prihvatljivije, za razliku da je izabrana AB monolitna ploča.

## 5. Opis tehnologije gradnje tornja – 7 dana po etaži

Jedan od najvažnijih uspjeha tijekom i nakon završetka građevinskih radova je organizacija građenja. Već u samoj fazi projektiranja i izrade ideje, treba voditi računa kako ćemo izvesti pojedinu građevinu, kao što je to u ovom slučaju toranj B. Dobra organizacija može prepoloviti vrijeme izvođenje radova. Na većini gradilišta možemo vidjeti kako se izvode pojedini radovi, odnosno segmenti (izrada oplata, armiranje, betoniranje...). Svima njima je karakteristično da rade etažu po etažu. Napravi se ploča (bilo to temeljna ili stropna) i onda na nju postave zidovi, stupovi, grede i ostali elementi. Postavljanjem ploče, zaokružili su tu cijelu cijelinu jedne etaže. Takav princip je vidljiv na svim gradilištima. No, toranj B ima svoju posebnu priču, odnosno tehnologiju građenja.

Ideja inženjera je, da se napravi u sedam dana po jedna etaža. Budući da toranj B ima 27 nadzemnih etaža, to bi značilo da je potrebno 27 tjedana, odnosno cca. 6.5 mjeseci bez ikakvih utjecaja, koji bi mogli produžiti izvedbu. Opisat će se tehnologija građenja koja je znatno ubrzala građenje tornja, a tehnologija je bazirana na „cik - cak“ izmjeni dva takta sa bržim skidanjem oplata, zahvaljujući prednaprezanju.

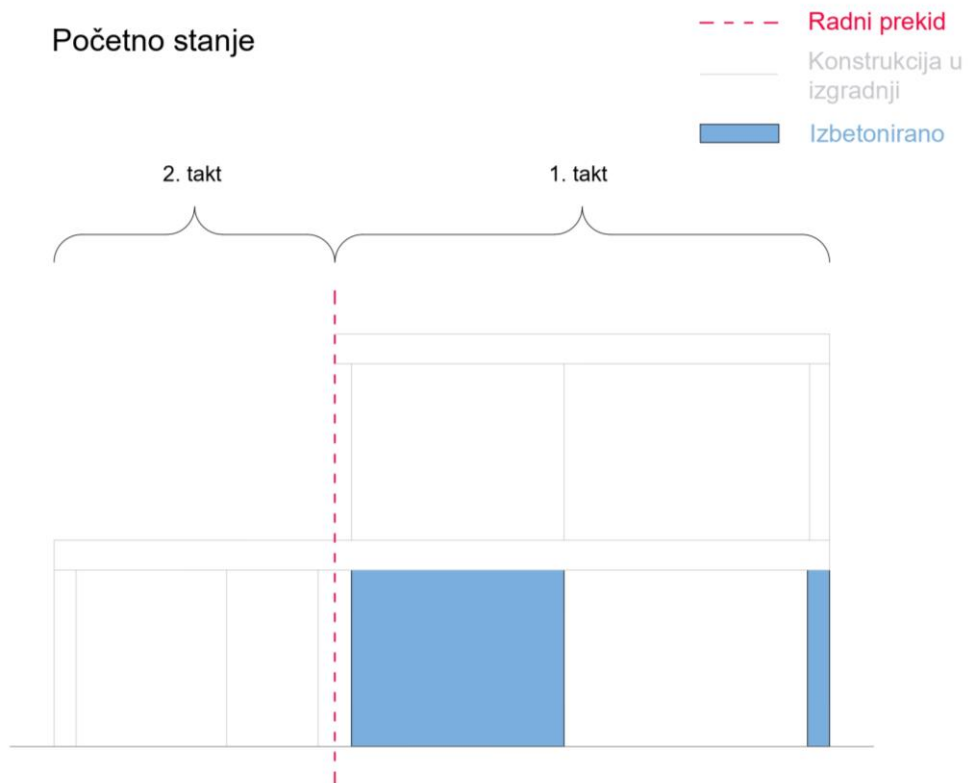
Na priloženoj slici možemo vidjeti tlocrt karakteristične etaže tornja B. Žutom bojom su obojane grede, čija je debljina  $d = 45\text{cm}$ , dok debljina stropne ploče iznosi  $d = 16\text{cm}$ . Crtkana linija (ružičaste boje) koja prolazi cijelom etažom i koja razdvaja jezgru, označava radni prekid. Radni prekid predstavlja granicu izvođenja radova po taktovima. Etaža je podijeljena na dva takta: 1. takt (desno od linije radnog prekida) i 2. takt (lijevo od linije radnog prekida). Svaki takt funkcionira i ponaša se kao zasebna cjelina i ne ovise jedno o drugome. Razlog zašto je postavljena linija prekida je, radi optimalizacije tehnološkog procesa i ljudskih resursa (najmanje praznog hoda pojedinih grupa radnika).



Crtež 5.1 Tlocrt karakteristične etaže tornja B

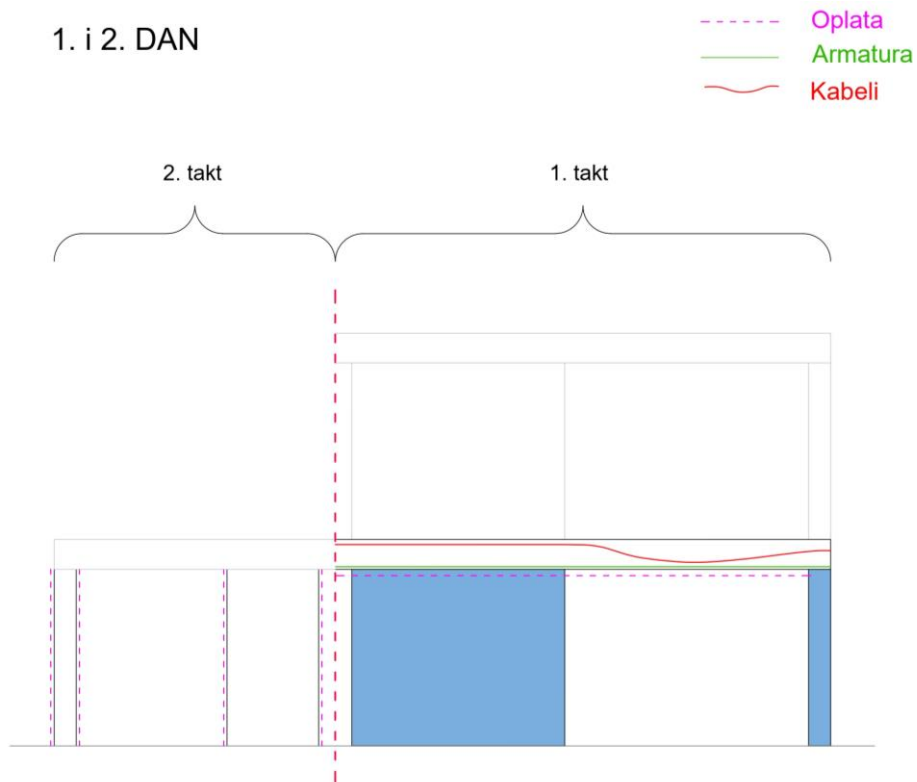
Iz tlocrta nam možda i nije najjasnije kako su oni to zamislili i kako se to zapravo izvodilo. Za bolje shvaćanje pomoći će nam presjeci, koji su pojednostavljeni i dovoljno jasno nacrtani kako bi mogli pratiti proces tehnologije gradnje etaže kroz sedam radnih dana.

Crtež predstavlja proizvoljno odabrani presjek na tlocrtu. Kako je prikazano na tlocrtu, tako je i ovdje prikazana linija radnog prekida, koja dijeli 1. i 2. takt. Na presjeku su prikazani konstruktivni elementi: stup, zid i stropna ploča. Te elemente ćemo pratiti, dakle, kako se odvijao proces njihovog izvođenja kroz tih sedam dana. Plavom bojom označeni su elementi koji su izvedeni (izbetonirani) i s njima (od njih) započinjemo pratiti gradnju. Sivom bojom su prikazani elementi koji će se tek izvesti. Kada nam je sad jasnije možemo započeti pratiti proces građenje.



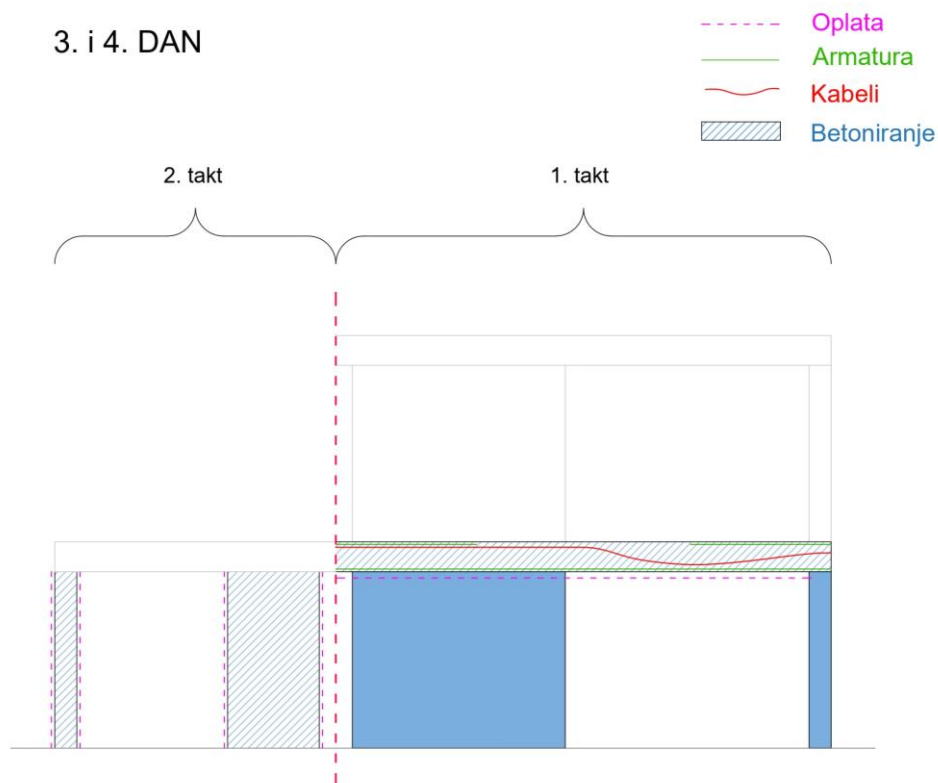
Crtež 5.2 Presjek tornja B i prikaz sheme izvođenja radova

Prvi dan građenja započinje postavljanjem oplata stropne ploče 1. takta. Riječ je o postavljanju oplatnih stolova koje podupiru podupirači. Oplata je prikazana crtkanom ružičastom bojom. Drugi dan se nastavlja s 1. taktom. Postavlja se armatura u donju zonu i ugrađuju se kabeli. Armatura je prikazana punom linijom u zelenoj boji, a kabeli u crvenoj. Osim izvođenja radova na 1. taktom, radovi započinju i na 2. taktom. U tom dijelu postavlja se oplata svih okolnih stupova i zidova jezgre.



Crtež 5.3 Prikaz sheme izvođenja radova 1. i 2. dan

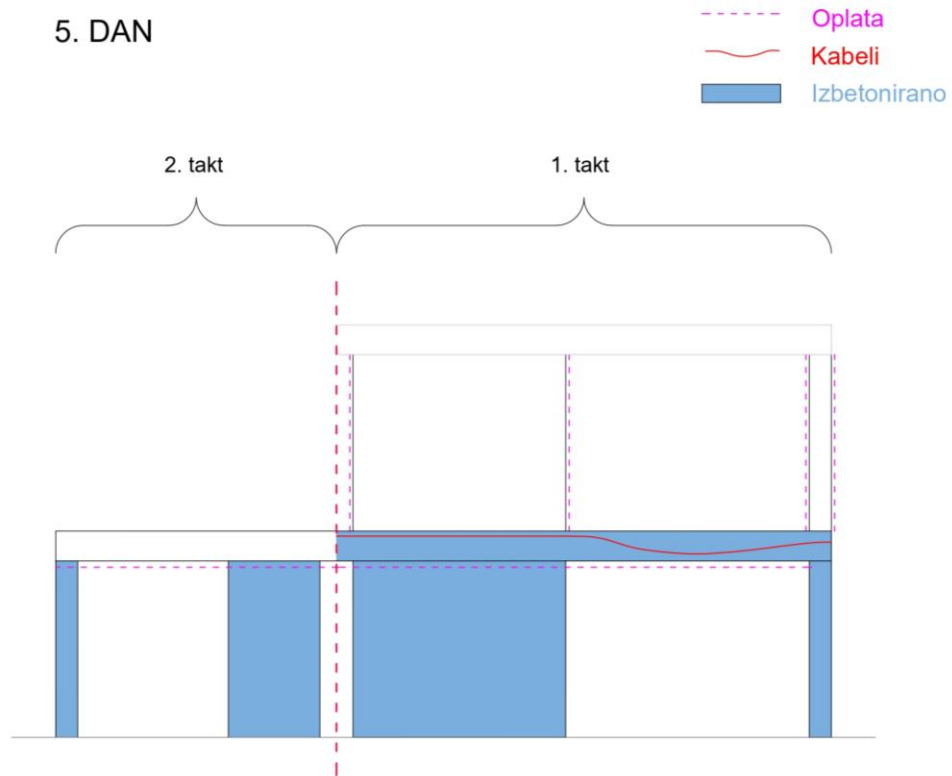
Treći dan se nastavlja ugrađivanjem kabela u 1. taktu. Također, u tom taktu postavlja se armatura u gornjoj zoni. Time su završile pripreme koje prethode betoniranju. U 2. taktu izvodi se betoniranje zidova i stupova, koje se nastavlja i sljedeći dan, dakle četvrti dan. Četvrti dan je cijeli u betoniranju. Dok se betoniraju zidovi i stupovi 2. takta, u 1. taktu se nakon kontrole i pregleda armature i kabela može započeti s betoniranjem stropne ploče. Betoniranje je označeno šrafurom betona. Time za sad, imamo sve stupove i zidove oba takta i ploču 1. takta, dok će se ploča 2. takta započeti sljedećeg dana.



Crtež 5.4 Prikaz sheme izvođenja radova 3. i 4. dan

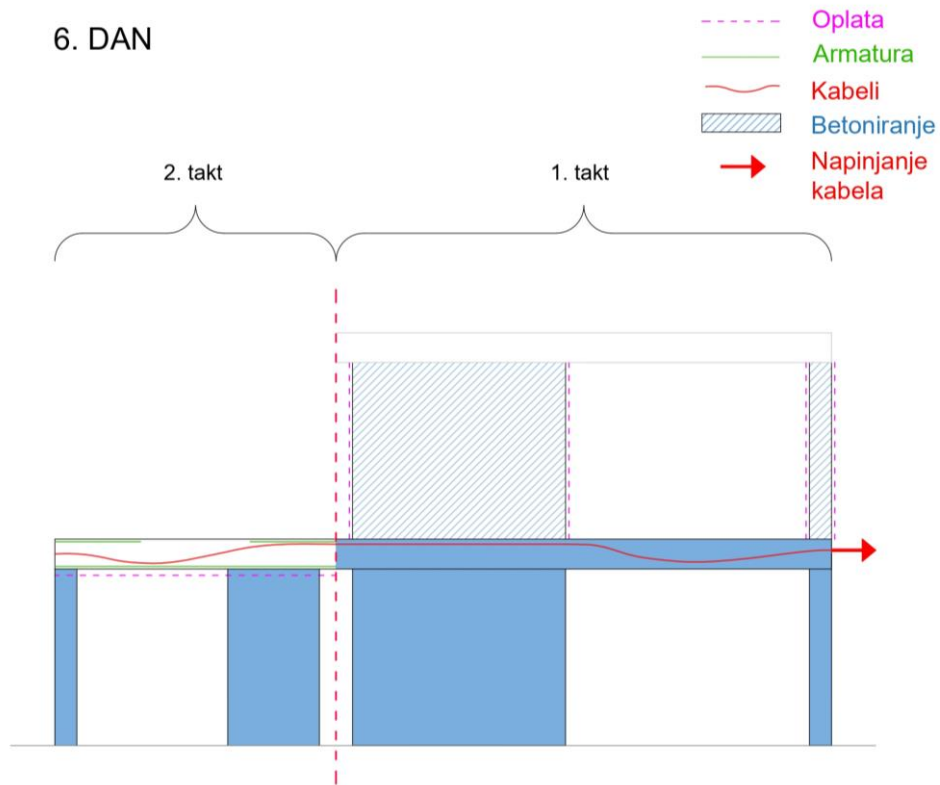


Nakon završetka betoniranja zidova i stupova 2. takta, za peti dan je isplanirano skidanje oplata sa zidova i stupova. Nakon što su se skinule oplata, moglo se započeti s postavljanjem oplatnih stolova stropne ploče 2. takta. Kod 1. takta se započinje izvođenjem iduće etaže. Postavlja se oplata zidova i stupova.



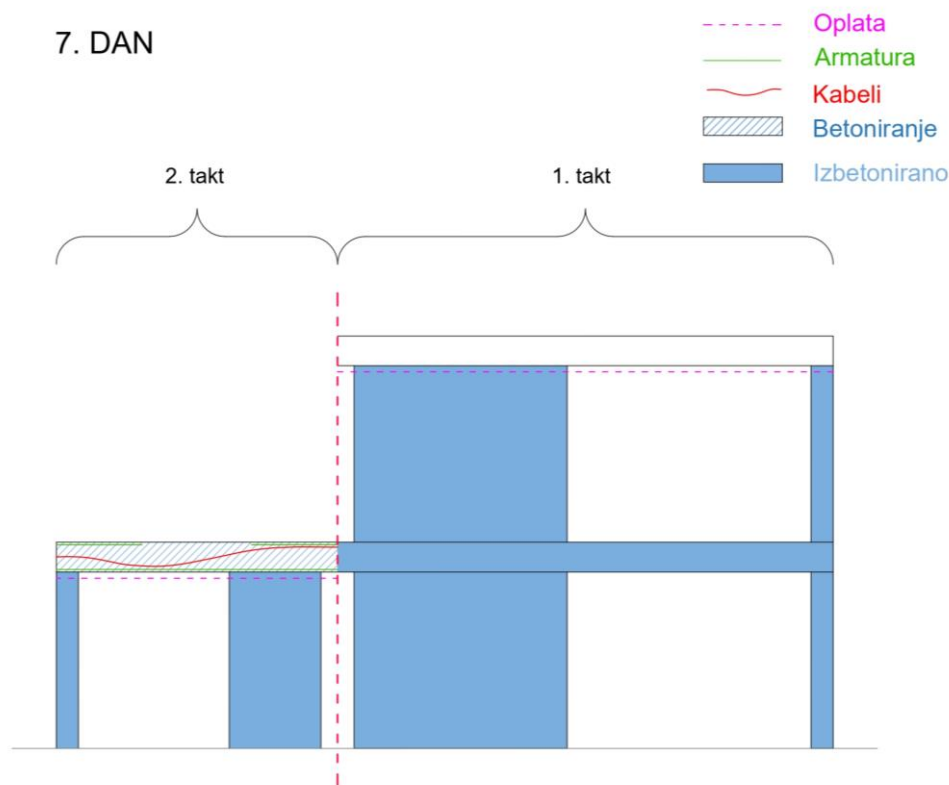
Crtež 5.5 Prikaz sheme izvođenja radova 5. dan

Šestog dana u 1. taktu uklanjaju se oplatni stolovi sa stropne ploče i izvodi se napinjanje kabela. Kako postepeno raste opterećenje na ploču, tako se i oni postepeno napinju. Osim napinjanja kabela, u tom taktu izvodi se betoniranje zidova jezgre i stupova. Istog dana, u 2. taktu, postavlja se armatura u donju i gornju zonu, ugrađuju se i kabela.



Crtež 5.6 Prikaz sheme izvođenja radova 6. dan

Sedmog dana, nakon obavljenog nadzora, može se započeti s betoniranjem ploče 2. takta. Paralelno se u 1. taktu skida oplata sa zidova i stupova. Nakon što se skinula oplata sa zidova i stupova, mogli su se postaviti oplatni stolovi stropne ploče u 1. taktu, ali iduće etaže. Postavljanjem oplata iduće etaže, završio je ciklus od sedam dana.



Crtež 5.7 Prikaz sheme izvođenja radova 7. dan

Kroz ovih pet crteža prikazana je cijela tehnologija gradnje etaže u sedam dana. Možemo primjetiti da se gradnja odvijala „cik – cak“, to jest, da se taktovi ne izvode paralelno, uvijek 2. takt zaostaje s 1. taktom. No bez obzira na to, postignuto je ono što su zamislili inženjeri, sedam dana, etaža jedna. Bitno je reći da ta tehnologija predstavlja ciklus, ciklus koji počinje s postavljanjem oplatnih stolova ploče 1. takta i završava postavljanjem oplatnih stolova ploče 1. takta, ali iduće etaže (iznad). Svi ostali radovi se odvijaju između. Brzina, učinkovitost i efikasnost su ovdje itekako bitni za spomenuti, zahvaljujući upravo tom radnom prekidu.

## 6. Zaključak

Zahvaljujući postojanju tehnologije naknadnog prednapreznja, u graditeljstvu je moguće savladavanje velikih raspona, bilo to u niskogradnji (mostovi) ili u visokogradnji. Naknadno prednapreznje je olakšao posao projektiranja i izvođenja radova. Također, doprinio je i u estetskom smislu, koji je itekako važan arhitektima. Tako je i ovdje, za slučaj tornja B. Primjenom PT stropne ploče postignuta debljina od 16cm. Da se uzela klasična varijanta, ploče bi imale čak tri različite debljine: 16, 20 i 22cm. Primjerice, na svakoj etaži uštedjelo se 10cm visine, čime bi dobili jednu etažu više za istu visinu zgrade. To nije baš mala razlika, jer danas u arhitekturi je svaki centimetar važan. Dobivanjem građevinske dozvole plaćaju se vodni i komunalni doprinosi za svaki kvadrat, svaki kubik prostora bez obzira imali vi korist od njega ili ne. Ta činjenica je itekako važna investitoru koji financira gradnju.

Analizirajući dvije varijante, mogu zaključiti da je PT ploča znatno isplativija. Iako je prema potrebnoj količini materijala cjenovno skuplja od AB monolitne ploče, zbog svojih prednosti, kao što su to: smanjena visina konstrukcije, ušteda u materijalu i radnoj snazi, smanjeno vrijeme građenja i druge, postaje privlačnija i bolja opcija za građenje. Budući da je riječ o velikom projektu, koji traje godinama, treba razmotriti sve moguće posljedice koje bi mogle utjecati na izgradnju tornja (rizici poslovanja). Po mom mišljenju, u svakom poslu treba sagledati negativne posljedice koje bi mogle imati za nas, za naš projekt. Ukoliko i dođe do toga, da brzo reagiramo i spriječimo daljnje negativno djelovanje. Od pozitivnih stvari ne trebamo strahovati, one su dobrodošle i idu u našu korist.

Tehnologija građenja tornja B je za mene izvrsno i dovitljivo rješenje inženjera, kako ubrzati proces građenja. Riječ je o velikom objektu; površine  $828,78\text{m}^2$ , i o većem obujmu posla kojeg je potrebno izvesti. Smatram da je ovo rješenje uspjelo zahvaljujući radnom prekidu, granici koja razdvaja dva takta i koji funkcioniraju sami za sebe, i primjeni PT ploče. Na temelju radnog prekida, izvršene podjele radnika po taktovima i uz dobru organizaciju gradilišta, uspješno je realiziran ovaj projekt. Definitivno veliki uspjeh u tome, što je postignuto da se u 7 dana napravi jedna etaža, s obzirom na veličinu zahvata. S takvom tehnologijom građenja mnoge tvrtke mogu konkurirati na tržištu i biti primamljivi investitorima. Obično posao dobivaju tvrtke koje nude brža, kvalitetnija rješenja s prihvatljivim cijenama.

Varaždin, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Nikolina Petrović

**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, NIKOLINA PETROVIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom OPTIMALIZACIJA GRAĐENJA NEBODERA U STROJARSKOJ (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova. KORIŠTENJE TEHNOLOGIJE NAKNADNO PREDNAPETIH PLOČA

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Nikolina Petrović  
(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, NIKOLINA PETROVIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom OPTIMALIZACIJA GRAĐENJA NEBODERA U STROJARSKOJ (upisati naslov) čiji sam autor/ica. KORIŠTENJE TEHNOLOGIJE NAKNADNO PREDNAPETIH PLOČA

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Nikolina Petrović  
(vlastoručni potpis)

## 7. Literatura

- [1] I. Tomičić: Betonske konstrukcije – odabrana poglavlja, DHGK, Zagreb, 1996.
- [2] D. Jevtić: Prednapregnuti beton 1, Građevinska knjiga, Beograd, 1979.
- [3] B. Behaim: Armirani beton, Kratis, Zagreb, 1995.
- [4] Glavni i izvedbeni projekt konstrukcije projektnog biroa „Radionica statike d.o.o.“
- [5] <http://www.bbr-adria.com/>, dostupno 13.08.2019.
- [6] <http://www.revizorska-komora.hr/> dostupno 16.08.2019.

## Popis slika

<i>Slika 1.1 Prikaz stambeno poslovnog kompleksa „Strojarska“</i>	1
<i>Slika 2.1 Smjer nosivosti armature</i>	3
<i>Slika 2.2 Slobodno položena ploča</i>	4
<i>Slika 2.3 Konzolna ploča</i>	4
<i>Slika 2.4 Ploča sa prijepustom</i>	5
<i>Slika 2.5 Upeta ploča</i>	5
<i>Slika 2.6 Kontinuirana ploča</i>	6
<i>Slika 2.7 Tlocrt i presjeci AB ploče sa gredama</i>	6
<i>Slika 2.8 Dimenzioniranje T-presjeka na pozitivan moment savijanja</i>	7
<i>Slika 2.9 Dimenzioniranje T-presjeka na pozitivan moment savijanja</i>	7
<i>Slika 2.10 Dimenzioniranje T-presjeka na negativan moment savijanja</i>	8
<i>Slika 2.11 AB monolitni sitnobreičasti strop</i>	9
<i>Slika 2.12 AB monolitni sitnobreičasti strop</i>	9
<i>Slika 2.13 Prikaz poprečnih rebara</i>	10
<i>Slika 2.14 Prikaz poprečnog rebra u izometriji i presjeku</i>	10
<i>Slika 2.15 Prikaz montaže šupljih ploča</i>	13
<i>Slika 2.16 Prikaz montaže omnie ploče</i>	14
<i>Slika 2.17 Izometrija ispune i gredice i presjek fert stropa</i>	14
<i>Slika 2.18 Porotherm strop (slika lijevo) i „Bijeli strop“ (slika desno)</i>	15
<i>Slika 2.19 Postupak prednaprezanja pomoću hidraulične preše za „unbonded“ kabele</i>	16
<i>Slika 2.20 „Bonded“ i „unbonded“ kabeli za prednaprezanje</i>	16
<i>Slika 3.1 Arhitektonski tlocrt, shema konstrukcije i presjek tornja B</i>	18
<i>Slika 3.2 Prikaz čeličnih dijagonala</i>	19
<i>Slika 3.3 Prikaz područja podzmenih etaža koje su pod vodom i područje tlačnih naprezanja (T) i područje odizanja (O)</i>	20
<i>Slika 3.4 Prikaz zadebljanja zidova jezgri na spoju s temeljnom pločom</i>	20
<i>Slika 3.5 Prikaz dilatiranja stupa</i>	21
<i>Slika 4.1 Potencijalni rizici prilikom poslovanja</i>	22
<i>Slika 4.2 Prikaz različitih debljina ploča kod klasične varijante</i>	24
<i>Slika 4.3 Prikaz jednolike debljine ploče kod PT varijante</i>	24
<i>Tablica 4.4 Količina ugrađenog materijala i cijena za AB monolitnu stropnu ploču</i>	25
<i>Tablica 4.5 Količina ugrađenog materijala i cijena za PT ploču</i>	26
<i>Crtež 5.1 Tlocrt karakteristične etaže tornja B</i>	28

<i>Crtež 5.2 Presjek tornja B i prikaz sheme izvođenja radova.....</i>	<i>29</i>
<i>Crtež 5.3 Prikaz sheme izvođenja radova 1. i 2. dan .....</i>	<i>30</i>
<i>Crtež 5.4 Prikaz sheme izvođenja radova 3. i 4. dan .....</i>	<i>31</i>
<i>Crtež 5.5 Prikaz sheme izvođenja radova 5. dan .....</i>	<i>32</i>
<i>Crtež 5.6 Prikaz sheme izvođenja radova 6. dan .....</i>	<i>33</i>
<i>Crtež 5.7 Prikaz sheme izvođenja radova 7. dan .....</i>	<i>34</i>