# Problematika proboja naknadno prednapetih stropnih ploča

**Puškarić, Petra**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:040015

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

University North Digital Repository

Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 361/GR/2019**

# Problematika proboja naknadno prednapetih stropnih ploča

**Petra Puškarić, 0936/336**

Varaždin, kolovoz 2019. godine

Sveučilište Sjever

**Graditeljstvo**

**Završni rad br. 361/GR/2019**

# Problematika proboja naknadno prednapetih stropnih ploča


**Student**

Petra Puškarić, 0936/336

**Mentor**

Predrag Presečki, dipl.ing.građ.



Varaždin, kolovoz 2019. godine

**Sveučilište Sjever**
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL: Odjel za graditeljstvo

PRISTUPNIK: Petra Puškarić | MATIČNI BROJ: 0936/336

DATUM: 25.07.2019. | KOLEGIJ: Montažno građenje

NASLOV RADA: Problematika proboja naknadno prednapetih stropnih ploča

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: Punching problem in post tensioned slabs

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: 361/GR/2019

OPIS:
Opis: Pristupnica će u radu analizirati kontrolu proboja direktnog oslanjanja stupa i ploče na stambeno-poslovnoj građevini „Ilica-Maričićeva" u Zagrebu. Opisat će se i osnovni principi prednaprezanja sa naglaskom na smanjenju probojne sile od vođenja kabela. U radu je potrebno obraditi sljedeće teme:

1. Općenito o prednaprezanju stropnih ploča
2. Problematika proboja stropne ploče
3. Smanjenje probojne sile prednapinjanjem
4. Opis dijela građevine na kojem se analizira proboj
5. Proračun proboja na ploči prizemlja i kata
6. Zaključak

Literatura:
D. Jevtić: Prednapregnuti beton 1, Građevinska knjiga, Beograd, 1979.
I. Tomičić: Betonske konstrukcije – odabrana poglavlja, DHGK, Zagreb, 1996.
I. Podhorsky: Nosive konstrukcije I – drugo izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2008.
D. Aničić: Prednapeti beton – drugo izdanje, Građevinski fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera
Glavni i izvedbeni projekt projektnog biroa „Rubing d.o.o."

ZADATAK URUČEN: 22.08.2019 | POTPIS MENTORA

## Sažetak

U ovom završnom radu prikazat ću naknadno prednapinjanje stropnih ploča koje su direktno oslonjene samo na stupove. Budući da se na takvim konstrukcijama često javlja problematika proboja, naglasak je na smanjenju probojne sile umjetno izazvanim silama, to jest silama prednapinjanja koje se postižu ugradnjom čeličnih kabela. Prikazane su vrste takvih kabela, kao i način postavljanja. Također prikazana je i analiza kontrole proboja stropnih ploča na stambeno-poslovnoj građevini „Ilica - Maričićeva“ u Zagrebu.

Napravljen je proračun ploče prizemlja i prvog kata za unutrašnje stupove građevine.



Ključne riječi: naknadno prednapinjanje, stropna ploča, proboj



## Summary

In this final exam, I will show the subsequent prestressing of ceiling panels that are directly supported on columns only. In that structures punching shear is often problem, the emphasis is on reducing the breakthrough force caused by artificially induced forces, the prestressing forces achieved by the installation of steel cables. Types of such cables are shown as well as the method of installation. Also presented is an analysis of the punching shear control of ceiling panels at the residential-office building „Ilica – Maričićeva“ in Zagreb.

The calculation of the ground floor and the first floor for the internal columns of the building was made.



Keywords: post tensioning, flat slab, punching shear

# Popis korištenih kratica

| | |
|---|---|
| **PT** | post-tension – naknadno prednapinjanje |
| **AB** | armirani beton |
| **m** | metar |
| **tzv.** | takozvani |

# Sadržaj


1. Uvod……1
2. Općenito o prednapinjanju stropnih ploča……...2
   2.1. „Bonded“ i „unbonded“ tehnologija…….3
   2.2. Usidrenje kabela……5
   2.3. Princip „slobodnog vođenja kabela……...7
3. Problematika proboja stropne ploče…….9
   3.1. „Schock Bole“ i „Halfen-Deha“……..10
4. Opis građevine gdje analiziramo problem proboja……12
5. Proračun proboja na ploči prizemlja i kata……17
   5.1. Proračun proboja ploče prizemlja za unutrašnji stup „SØ“…….18
   5.2. Proračun proboja ploče kata za unutrašnji stup „S1“…….23
6. Zaključak……26
7. Literatura……27

# 1. Uvod

Beton je umjetni kamen, to je materijal velike tlačne a male vlačne čvrstoće. Vlačna naprezanja izazvana skupljanjem, temperaturom i vanjskim opterećenjem vrlo brzo dostižu vlačnu čvrstoću betona te dolazi do raspucavanja u armiranobetonskim konstrukcijama. Nakon pojave pukotina sva vlačna naprezanja prihvaćaju se armaturom.

Cilj prednapinjanja je eliminirati ili barem smanjiti vlačna naprezanja u svim presjecima pomoću djevovanja umjetno izazvanih sila. Takve sile nazivamo silama prednapinjanja. Smanjenje vlačnih naprezanja postiže se ugradnjom kabela od visokovrijednog čelika koji prilikom napinjanja preko usidrenja unose tlačnu silu u ploču, posljedica toga je smanjenje progiba. Takvim postupkom smanjuje se i proboj stropne ploče te je omogućeno izravno oslanjanje ploče na stupove.

Postoje dvije vrste primjene ovakvih kabela, to su „bonded“ i „unbonded“ tehnologija. Razlika se očituje u tome što užad primjenom bonded tehnologije ima direktan dodir s betonom, dok užad primjenom unbonded tehnologije nema. U ovom radu usmjerit ću se na unbonded kabele te navesti njegove prednosti, također na građevini gdje ću analizirati kontrolu proboja primijenjena je unbonded tehnologija.

Kabeli preko sidrenih ploča unose tlačnu silu u beton. Svaki kabel je na jednom kraju pasivno, a na drugom kraju aktivno usidren, iz aktivno usidrenog kraja viri kabel gdje se hidrauličkom prešom unosi sila prednapona. Vođenje kabela vrši se principom „slobodnog vođenja kabela“, takav način unaprijedio je primjenu naknadno prednapetih ploča najviše u segmentu jednostavnosti polaganja i brzine izvođenja.

Kritični element sustava ploče oslonjene direktno na stupove je sam spoj ploče i stupa gdje se i pojavljuje opasnost od proboja ploče. U trenutku kada nastupi proboj, stup i ploča se fizički odvoje što dovodi do značajnog poremećaja ravnoteže sustava kojeg ti elementi čine i vrlo često takav poremećaj dovodi do većeg urušavanja. Takva pojava događa se iznenada, no iako je riječ o sustavu koji zahtjeva oprez pri projektiranju, oslanjanjem ploče samo na stupove dobivaju se višestruke koristi koje će biti navedene u radu.

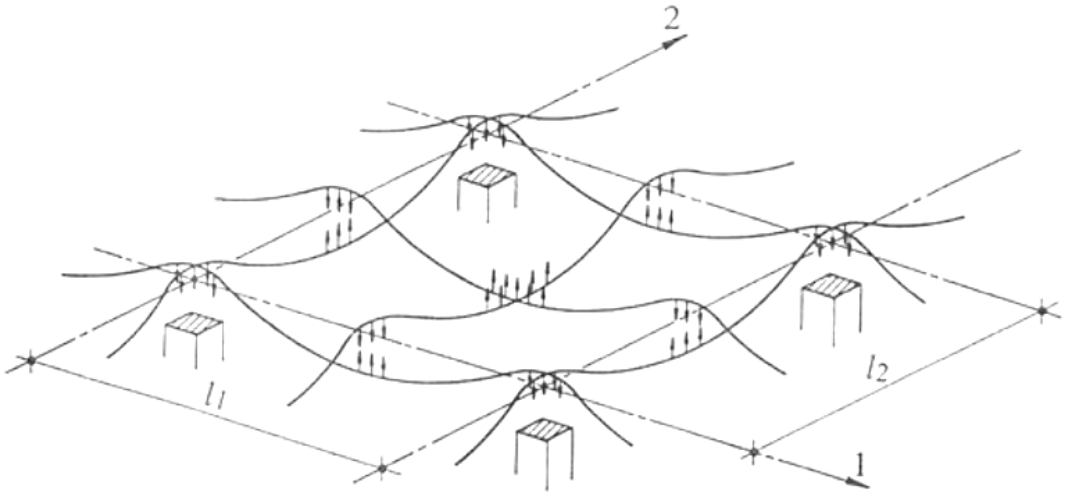
Primjeri proračuna proboja biti će prikazani za dvije stropne ploče stambeno-poslovne građevine „Ilica-Maričićeva“ u Zagrebu.

# 2. Općenito o prednapinjanju stropnih ploča

Tlačna čvrstoća je jedno od osnovnih svojstava betona, dok je otpornost na vlačnu čvrstoću puno manja (oko 1/10 tlačne čvrstoće). Manja vlačna čvrstoća nadoknađuje se ojačavanjem betona u području vlačnih naprezanja čeličnom armaturom. Vlačno naprezanje izazvano je temperaturom, skupljanjem i vanjskim opterećenjem te vrlo brzo dostiže vlačnu čvrstoću samog betona. To uzrokuje pojavu pukotina nakon čega sva vlačna naprezanja prelaze na armaturu i ona podnosi opterećenja.

Glavni cilj prednapinjanja je eliminirati ili barem smanjiti vlačna normalna naprezanja u svim presjecima pomoću djelovanja umjetno izazvanih sila. Takve sile nazivamo silama prednapinjanja. Tako dobivena naprezanja moraju biti manja od dopuštenih vrijednosti u svima fazama izvedbe i uporabe građevine.

Tehničke i ekonomske prednosti naknadno prednapetih stropnih ploča (PT ploča) prema klasičnoj izvedbi dolaze do izražaja pri rasponima većim od 8 metara. Zbog ugradnje kabela od visokovrijednog čelika moguće je savladavanje takvih raspona uz manju debljinu ploče. Prilikom napinjanja vlačna sila u kabelima preko usidrenja unosi u ploču tlačnu silu. Pritom linija vođenja kabela izaziva skretne sile koje su u polju u smjeru suprotnom gravitacijskom opterećenju. Kao posljedica toga smanjuju se progibi, a pukotine se reduciraju zbog povećanja područja tlaka u presjeku ploče. Smanjenjem proboja omogućava više izravnog oslanjanja na stupove bez greda i kapitela. Gledajući s ekonomskog aspekta, prednost se očituje i u brzini gradnje. Napinjanja se u prosječnim uvjetima obavljaju poslije tri dana, nakon čega se skida oplata. Manja težina ploče može smanjiti i dubinu temeljenja, a smanjenjem katnih visina možemo dobiti veći broj katova za jednaku visinu zgrade.




*Slika 2.1. Smjerovi skretnih sila tipičnog vođenja kabela u srednjim poljima ploče oslonjene samo na stupove*

PT ploča konstantne debljine može biti tanja oko 30% od klasične varijante, čime se količina nenapete armature minimalno prepolovi. Veći troškovi nastaju u kabelima, ali u konačnici cijena ploče, gledajući kroz materijal, je manja. Racionalnija ploča postiže se direktnim oslanjanjem ploče na stupove bez greda jer time smanjujemo troškove oplate greda. Time se dobiva jednostavnije oplata i njeno brže postavljanje. Kod raspona od 12 do 18 m najučinkovitija su ojačanja ploče plitkim širokim gredama u jednom ili oba smjera. Takvim se načinom veliki rasponi mogu savladati malim debljinama ploče.

Naknadno prednapinjanje najčešće se koristi kod građevina sa velikim rasponima kao što su tržni centri, garaže, hale, mostovi, stadioni te silosi, a u najnovije vrijeme i u stambenim i poslovnim zgradama.

Iako naknadno prednapinjanje ima mnogo prednosti, za njegovu izvedbu potrebna je veća preciznost u projektiranju i izvođenju, stručnija radna snaga te posebna oprema.



*Slika 2.2. Postavljeni kabeli na stropnoj ploči u izradi*

## 2.1. „Bonded“ i „unbonded“ tehnologija

S obzirom na kontakt užadi s betonom razlikujemo dvije vrste tehnologija

1. Bonded tendons
2. Unbonded tendons

Bonded tehnologija primjenjuje se na način da dolazi do direktnog dodira užadi s betonom ubrizgavanjem injekcijske smjese u cijev s kabelima, dok prilikom primjene unbonded

tehnologije koristimo namašćenu užad u plastičnim cijevima, dakle užad nema direktan dodir s betonom. Kabeli prije ugradnje tvornički su zaštićeni od korozije, postavljaju se lakše i brže te nema dodatnih ograničenja u nepovoljnim temperaturnim uvjetima.

Prilikom izrade stropnih ploča najčešće se koristi unbonded tehnologija koja će biti prikazana na primjeru u daljnjem sadržaju ovog rada.



*Slika 2.3. Bonded tehnologija*



*Slika 2.4. Unbonded tehnologija*

Prednosti unbonded kabela očituju se u:

- Većoj brzini i praktičnosti postavljanja, naročito ako se primjenjuje slobodno vođenje kabela.
- Radi manjeg trenja manji su padovi sile pa su mogući veći taktovi prednapinjanja (koeficijent trenja za unbonded tehnologiju iznosi 0.05, a za bonded između 0.15 i 0.20).
- 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°C ne smije izvoditi injektiranje.
- Unbonded kabeli tlocrtno gledano lakše zaobilaze prepreke i „gužvu“ u armaturi (kut skretanja može biti u 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.
- Kroz praksu dokazano je da se prilikom ugradnje događaju oštećenja košuljice cijevi bonded kabela dok se unbonded kabeli mogu bez posljedica „nagaziti“ ili pasti na njih teži predmeti. Problem nastaje kod nekorektno izvršenih injektiranja čime ta mjesta postaju potencijalni kritična. Takvih slučajeva ima oko 20%.




*Slika 2.5. Unbonded kabel*



*Slika 2.6. Unbonded kabeli u kolutovima*

Postoji jedan nedostatak unbonded kabela, a to je presijecanje unutar usidrenja koje 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. Ne smije se bušiti prilikom stabilizacije oplate zidova i stupova na gornjoj strani ploče. Moguće rješenje je upiranje držača oplate na betonske blokove koji se sele. U slučaju da dođe do presijecanja jednog kabela od mnogobrojnih u široj zoni ploče, najčešća procjena projektanta da je ovo minimalno oslabljenje pokriveno koeficijentima sigurnosti. Ukoliko dođe do presijecanja veće grupe kabela vrši se postupak izvlačenja istih. Na njihovo mjesto guranju se prešom zamjenski, koji imaju novo mjesto usidrenja.

## 2.2. Usidrenja kabela

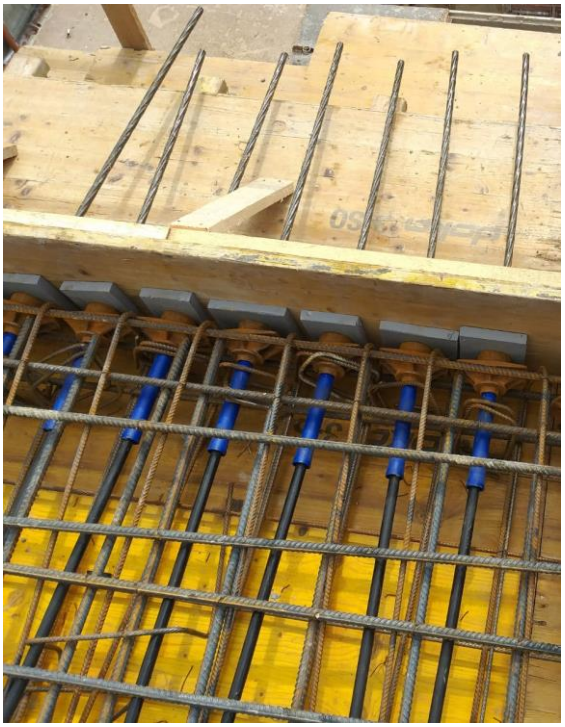
Svaki kabel mora unijeti tlačnu silu u beton preko sidrenih ploča „ankera“.na jednom kraju kabel je pasivno usidren, a kraj iz kojeg viri kabel i prešom se unosi sila prednapona je aktivno usidren.





*Slike 2.7. i 2.8. Unbonded kabeli sa sidrenim pločama*

Zbog pada sile od trenja nastoji se naizmjenično postaviti oko pola aktivnih i pola pasivnih usidrenja. Budući da je kod unbonded kabela gubitak mali, za kraće odsječke moguće je i jednostrano napinjanje na način da sva aktivna usidrenja budu s jedna strane. Usidrenja su najvažniji element sustava te je u zoni usidrenja važno dobro izvibrirati beton i namastiti mjesto rezanja unutar zaštitnog plastičnog čepa da se spriječi prodor korozije.



*Slika 2.9. Aktivna usidrenja*



*Slika 2.10. Pasivna usidrenja*



*Slika 2.11. Aktivna usidrenja nakon betoniranja*



*Slika 2.12. Unosi sile hidrauličkom prešom*

## 2.3. Princip „slobodnog vođenja kabela“

Vođenje kabela u prošlosti koncipiralo se uglavnom linijom parabole preko cijelog raspona što je zahtijevalo velik broj međupridržanja, što je usporavalo gradnju. Godine 1998. osmišljena je primjenjiva metoda za unbonded kabele, tzv. slobodno vođenje kabela.

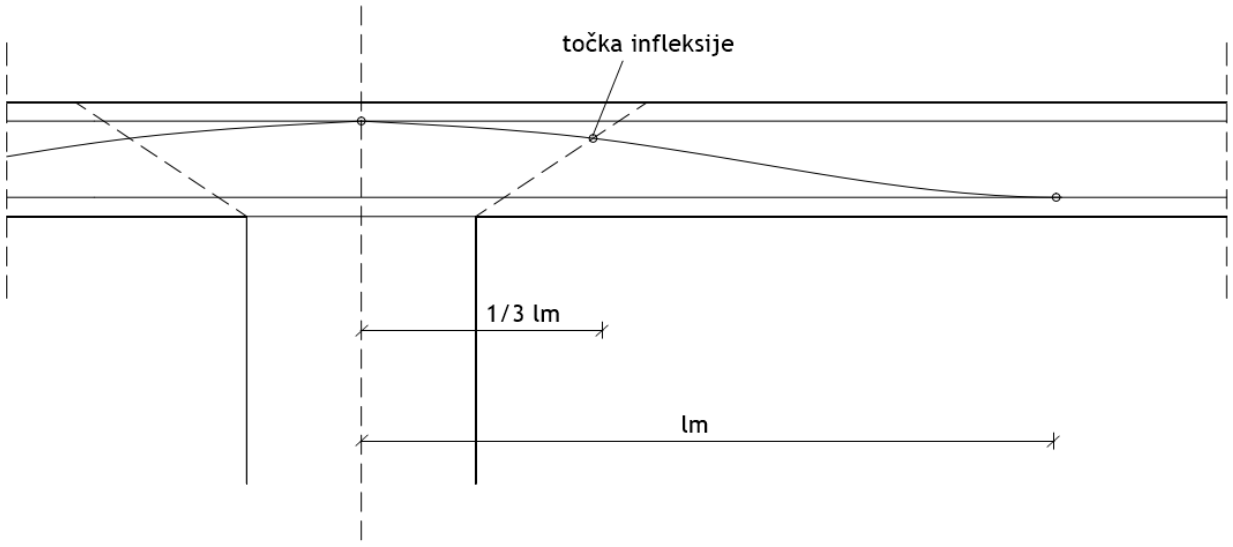


*Slika 2.13. Slobodno vođenje kabela na gradilištu*

Koristeći činjenicu da se kabel prema svojoj krutosti iz gornje točke pridržanja do donje sam pod svojom težinom oblikuje po zakonu parabole četvrtog stupnja sa infleksijom na trećini zone

krivljenja. Tako se analitički može odrediti dužina između gornje i donje točke pridržanja, a ona je funkcija visine strelice, odnosno debljine ploče. Budući da je dužina skretanja kod srednjih polja između oko 3 m ostaje srednja zona u polju kao dio pravca gdje kabel leži na donjoj zoni armature. Matematički gledano nešto je manji doprinos kontramomenta u polju nego kod pune parabole, no ploče su ionako koncipirane tako da je minimalna armatura u polju dovoljna i sa smanjenim kontramomentom.

Primjena slobodnog vođenja unaprijedila je primjenu PT ploča najviše u segmentu jednostavnosti polaganja i brzine izvođenja pa je u Europi postala gotovo standard.

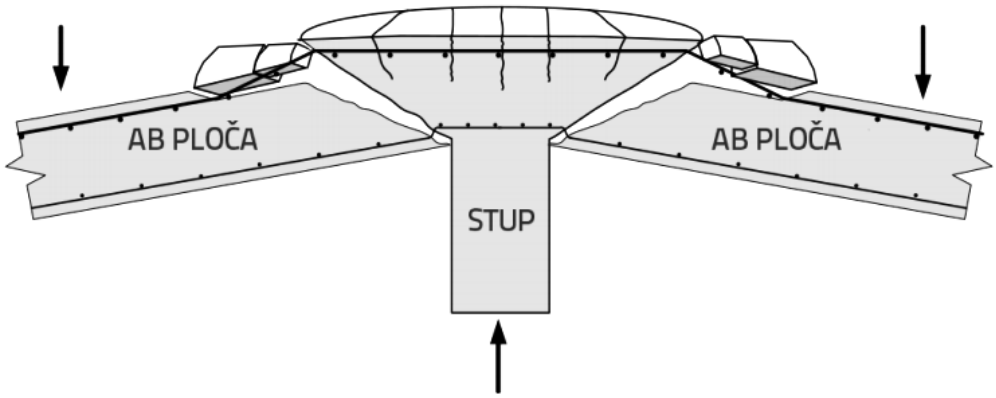



*Slika 2.14. Shematski prikaz slobodnog vođenja kabela*

# 3. Problematika proboja stropne ploče

Ravne ploče oslonjene neposredno na stupove, bez greda između stupova, u pravilu prenose značajna koncentrirana opterećenja koja djeluju na relativno maloj površini. Kritični element ovog sustava je spoj ploče i stupa zbog koncentracije posmičnih naprezanja koja se pojavljuju u zoni spoja te opasnosti od proboja ploče. Pod pojmom proboja smatra se slom ploče na mjestu unosa koncentriranog opterećenja ili na mjestu oslanjanja uzrokovan posmičnim naprezanjem.

U trenutku kada nastupi proboj, stup i ploča se fizički odvoje što dovodi do značajnog poremećaja ravnoteže sustava kojeg ti elementi čine. Vrlo često takav poremećaj može dovesti do urušavanja većih razmjera uslijed preraspodjele opterećenja sustava na druge elemente koji na tako nešto nisu dimenzionirani. Ovakva pojava događa se iznenada i zato ju treba s posebnom pažnjom uzeti u obzir pri projektiranju ploča oslonjenih samo na stupove.




*Slika 3.1. jednostavan prikaz pojave proboja kod ploče oslonjene samo na stupove*





*Slike 3.2. i 3.3. Proboj gornje etaže parkirališta*

Iako je riječ o sustavu koji zahtijeva oprez pri projektiranju, oslanjanjem ploča samo na stupove dobivaju se višestruke koristi jer se ne moraju izvoditi kapiteli stupova niti grede što dovodi do jednostavnije i jeftinije gradnje i dodatne iskoristive visine etaže zgrade. Ipak, treba spomenuti i važan nedostatak ovog konstrukcijskog sustava, to je mogućnost pojave velikih progiba. Kako bi se izbjegao slučaj krhkog sloma ploče probojem, uobičajeno je armiranje zone ploče oko stupa različitim armaturnim sustavima.

Prema suvremenim propisima, čak i kada se proračunom dokaže da ploču nije potrebno armirati protiv proboja, ipak se zahtjeva postaviti armaturu u donjoj zoni ploče koja može spriječiti moguće urušavanje konstrukcije uslijed izvanrednih djelovanja. Ta armatura može biti u obliku ravnih ili koso savijenih šipki.

Najvažniji parametri koji utječu na otpornost ploče na proboj su:

- Tlačna čvrstoća betona
- Koeficijent armiranja
- Mehaničke karakteristike i vrsta primijenjene armature
- Dimenzije i geometrija stupa
- Statička visina ploče

## 3.1. „Schock Bole“ i „Halfen-Deha“

Problem proboja ploče u području stupova koji je ključan kod ovakvih konstrukcija može se ekonomično i sigurno riješiti probojnom armaturom „Schock Bole“ ili „Halfen-Deha“. Ova tehnika armiranja nudi stručno rješenje koje povezuje veliku sigurnost projektiranja s prednostima pri ugradnji.



*Slika 3.4. Probojna armatura Bole*

Probojna armatura Bole sastoji se od dvoglavih svornjaka odnosno sidra, čiji se pravilan položaj osigurava pomoću odmičnih štapova. Zahvaljujući razmaknicama, armatura se može ugraditi već nakon polaganja donjeg, a prije postavljanja gornjeg sloja armature. To znači jednostavniju ugradnju i uštedu vremena na gradilištu.

Shock Bole kod ravnih stropova omogućuju finiju arhitekturu, jamči optimalno prenošenje sila u području stupova kao i znatno povećanje nosivosti u odnosu na uobičajena rješenja s armaturama, ali je velika cijena.

Osim standardnog proizvoda Bole, postoje i druge varijante probojne armature. Tako je sustav Bole Tip U prikladan za ugradnju prije polaganja armature u polju korištenjem posebnih distancera. Sustav Bole Tip O prikladan je za ugradnju nakon polaganja kompletne armature.



*Slika 3.5. Sustav Bole Tip U*



*Slika 3.6. Sustav Bole Tip O*

# 4. Opis građevine gdje analiziramo problem proboja

Stambeno – poslovna građevina „ILICA – MARIČIĆEVA“ počela je sa izgradnjom u siječnju 2019. godine. Lokacija zgrade je na uglu Ilice i Ulice Željka Maričića u Zagrebu. Sastojat će se od 3 podzemne etaže, poslovnog prizemlja i 6 nadzemnih stambenih etaža.

U prizemlju zgrade planiran je veliki market od 1350,0 $m^2$ kojemu je omogućeno parkiranje na etaži -1 od ukupno 70 parking mjesta. Na etažama iznad prizemlja planirani su stanovi svih orijentacija i veličina od 32,0 $m^2$ do 162,0 $m^2$ s ukupno 164 parkirna mjesta i spremištima na etažama -2 i -3. Svaki stan ima i vanjski otvoreni prostor u obliku balkona, lođa ili velikih terase zaštićenih ravnim ozelenjenim krovovima.

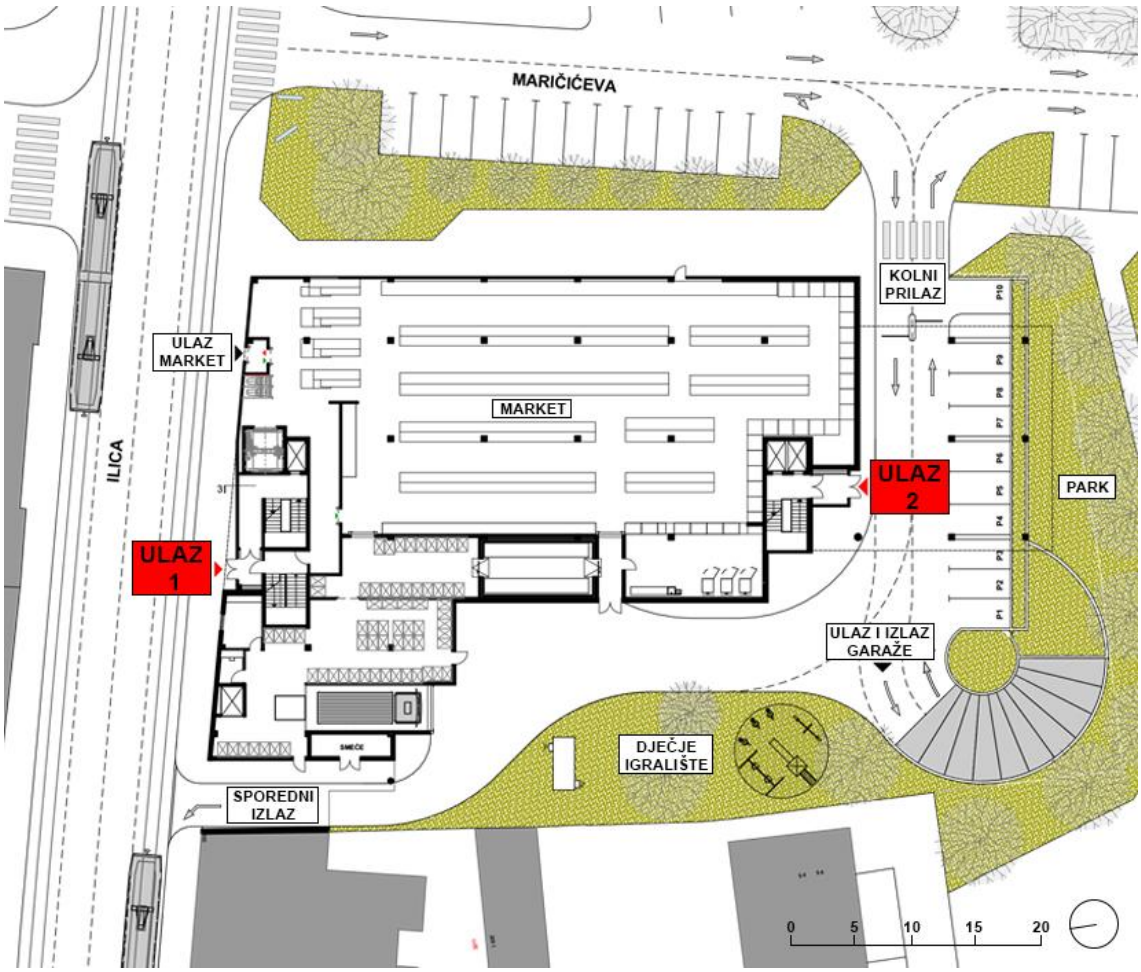
Na 5. katu planirana je i velika, natkrivena i opremljena zajednička terasa stanara za odmor, druženje i rekreaciju.

Investitor ove građevine je Geoprojekt Ilica d.o.o., a gradi se po projektu koje je izradio Rubing projekt j.d.o.o.

U ovom projektu za izgradnju stropne konstrukcije izabrana je izvedba monolitne naknadno prednapete ab ploče kabelima za prednapinjanje tehnologijom „unbonded“.




*Slika 4.1. Građevinska ploča*



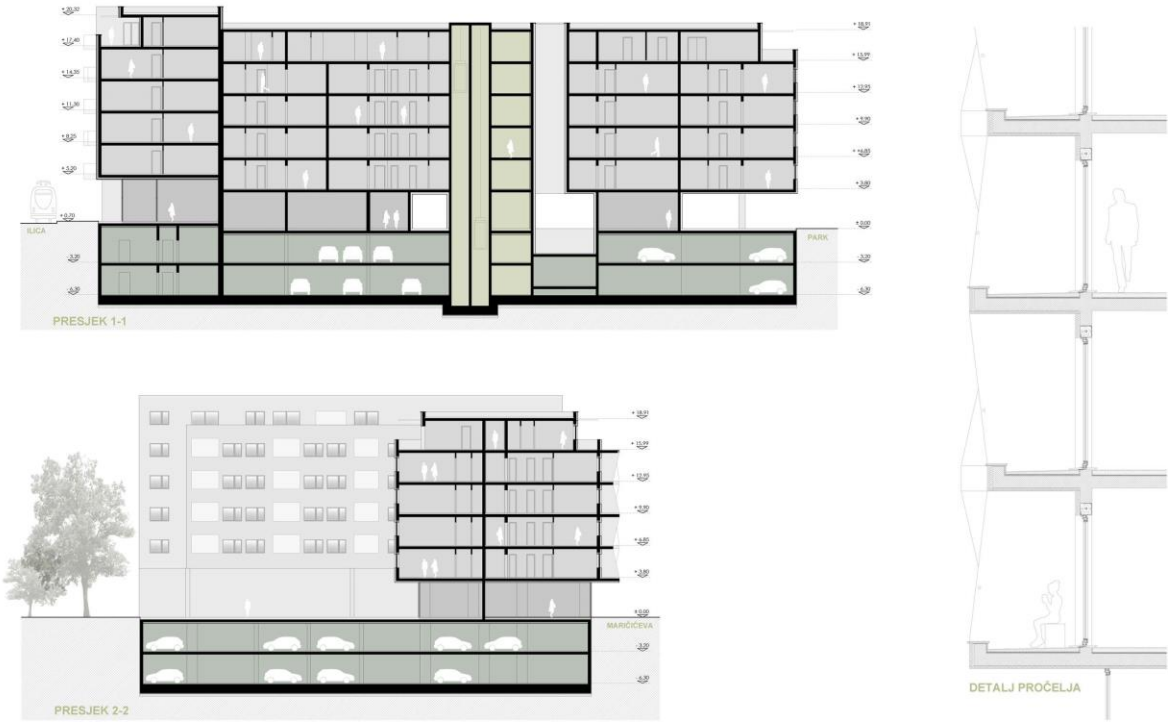

*Slika 4.2. Situacija*




*Slika 4.3. Tlocrt garaže – idejno rješenje*




*Slika 4.4. Tlocrt etaže sa stanovima – idejno rješenje*




*Slika 4.5. Presjeci – idejno rješenje*




*Slika 4.6. Pročelja – idejno rješenje*



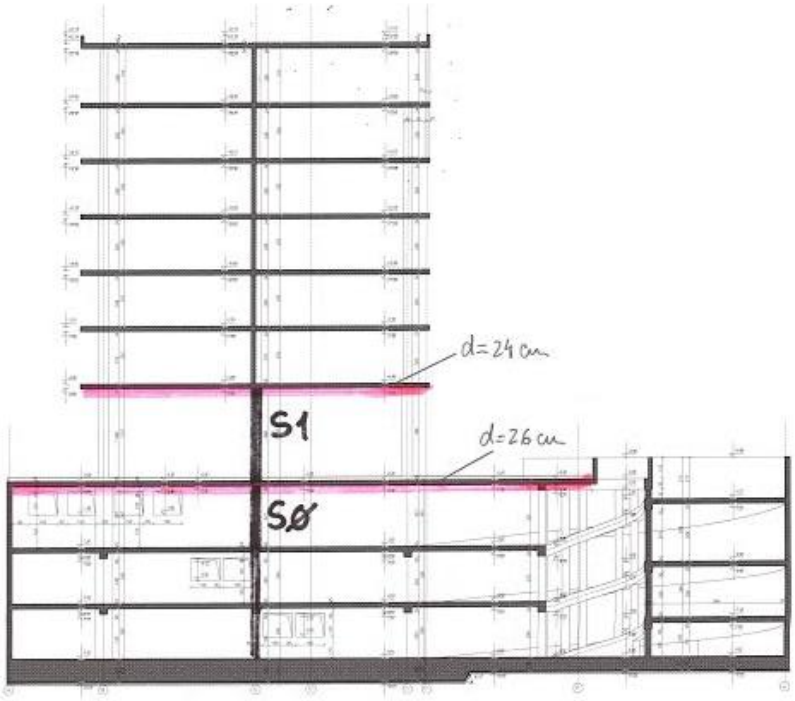
*Slika 4.7. Budući izgled zgrade – animacija*



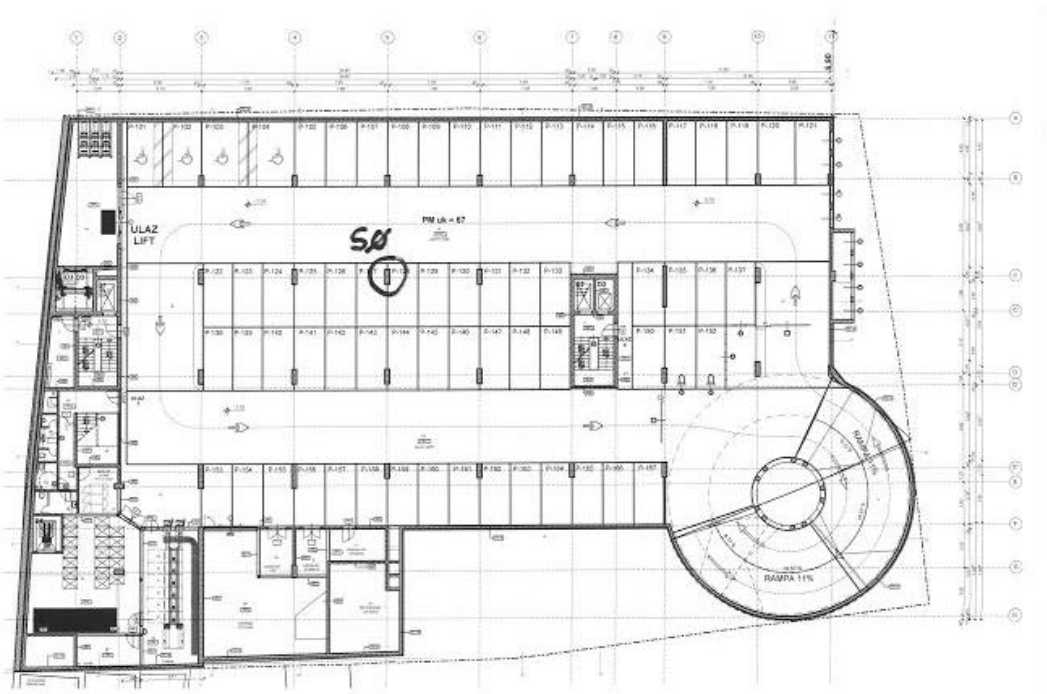
*Slika 4.8. Problem proboja obuhvaćen i posjetom gradilištu*

# 5. Proračun proboja na ploči prizemlja i kata

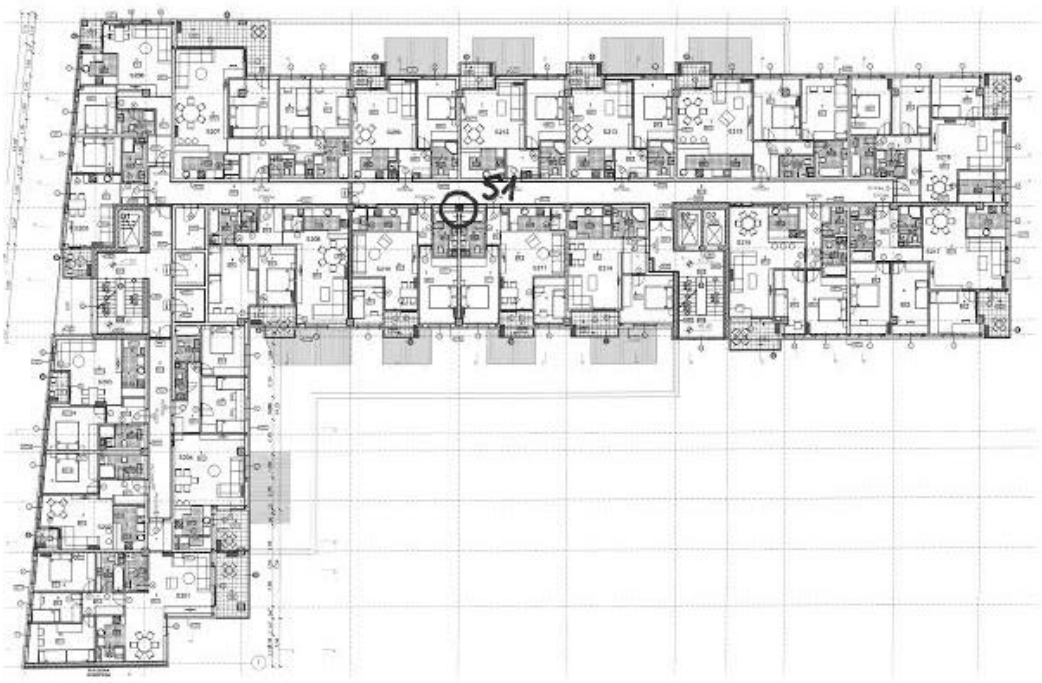
Za primjer proračuna proboja ploče uzet ću srednji stup prizemlja i srednji stup prvog kata. Proračun se radi prema propisu za proračun betonskih konstrukcija: Eurokod 2.




*Slika 5.1. Presjek zgrade sa označenim stropnim pločama i stupovima za koje ću radit proračun*

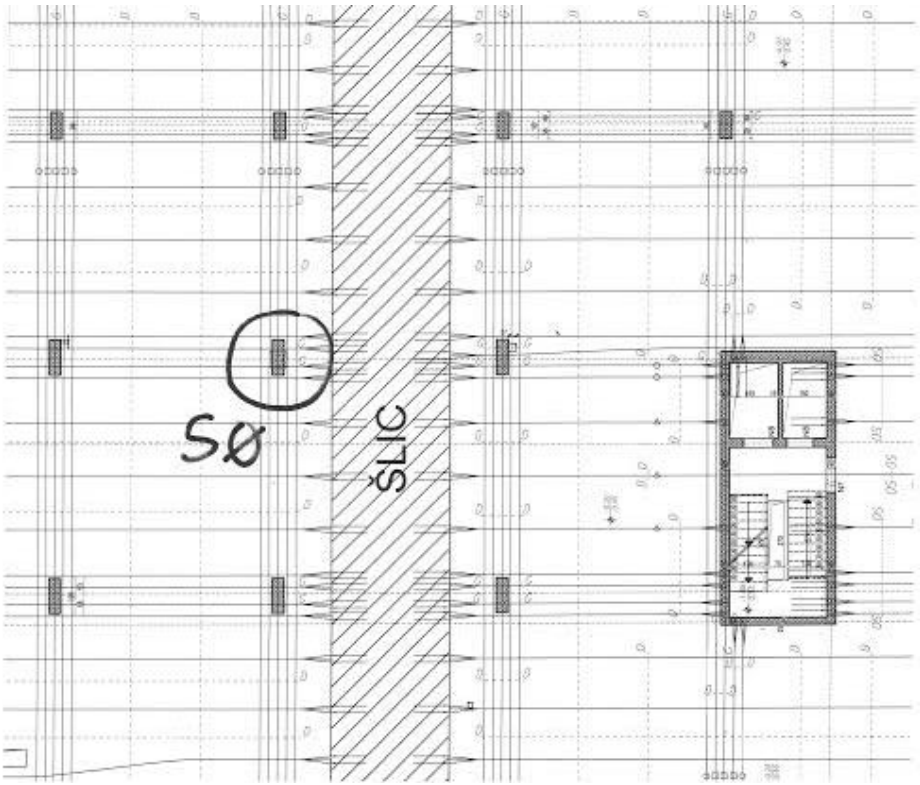



*Slika 5.2. Tlocrt prizemlja gdje se nalazi stup „SØ“*




*Slika 5.3. Tlocrt kata gdje se nalazi stup „S1“*

## 5.1. Proračun proboja ploče prizemlja za unutrašnji stup „SØ“




*Slika 5.4. Tlocrt stupa „SØ"*

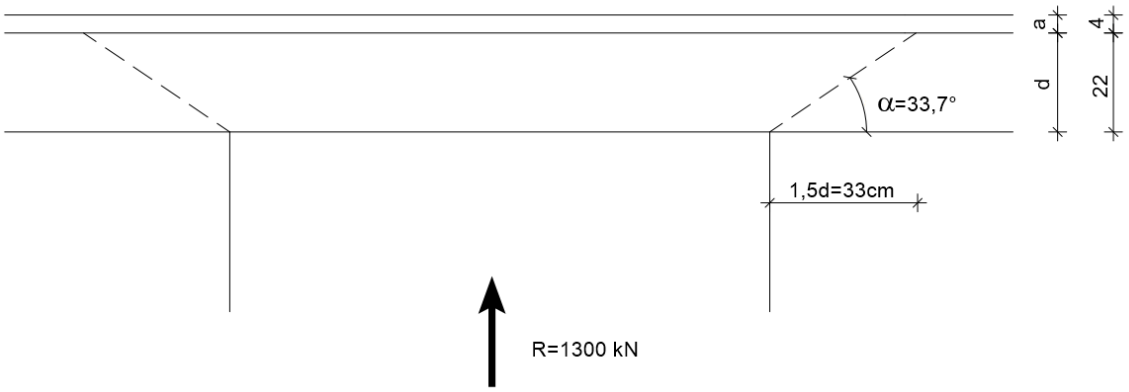
*Ploča konstantne debljine* $h = 26\ cm$

*Stup* 40/120 *cm*

*Beton C*30/37

*Armatura B*500*B*

$R = 1300\ kN$




*d – osnovni kontrolni presjek, statička visina ploče*

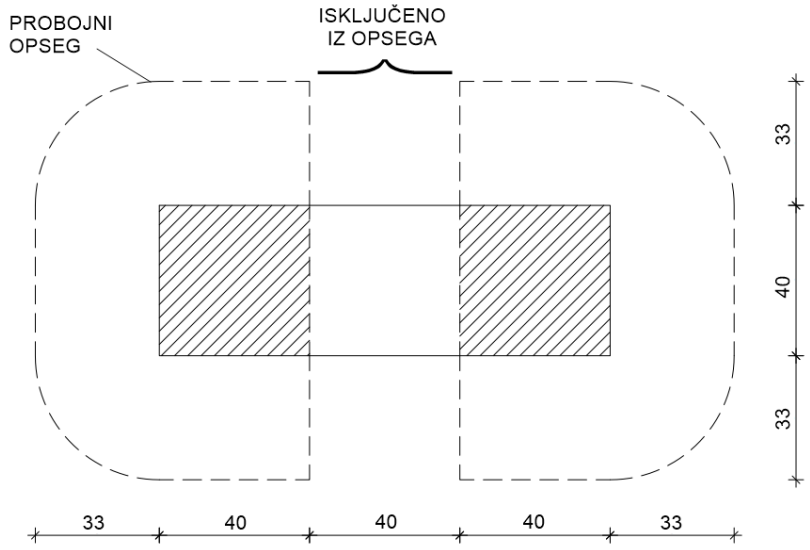
*d = 22 cm*

Provjeravamo zadovoljava li ugrađena armatura uvjet nosivosti na proboj ili je potrebno ploču dodatno armirati. Armatura za osiguravanje od proboja neće biti potrebna ako je zadovoljen uvjet: $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$

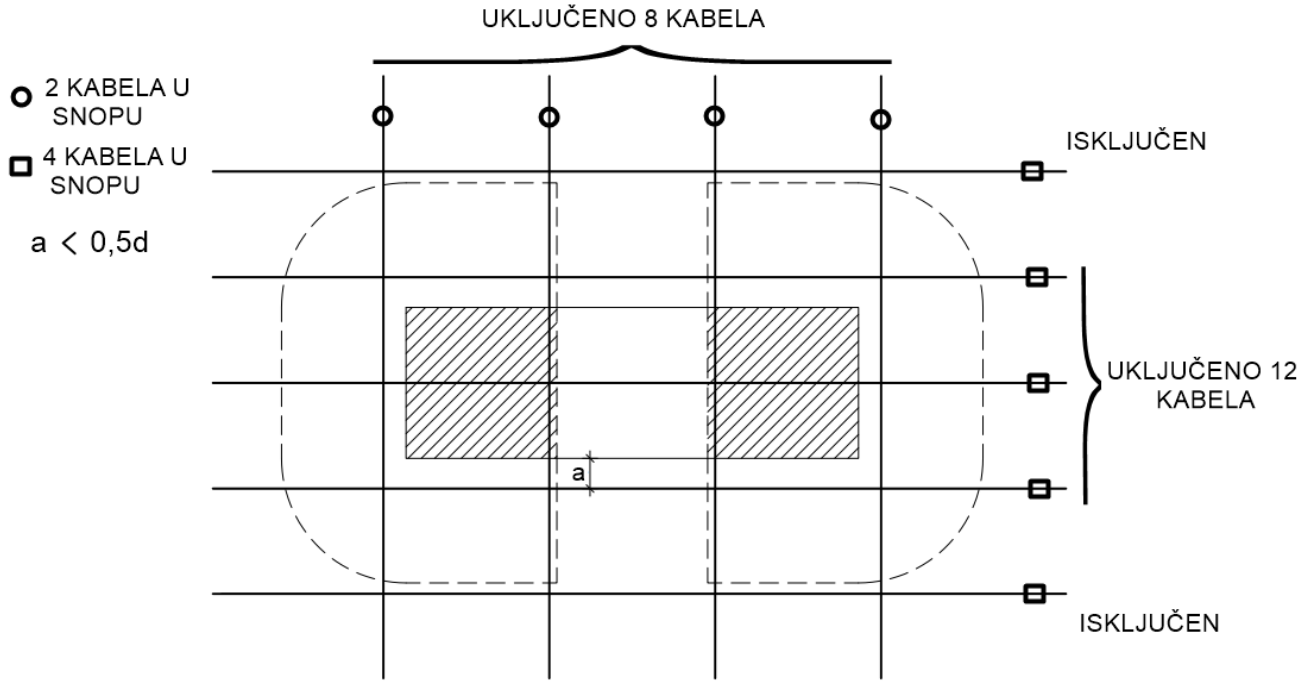
$v_{Ed}$ *– proračunska vrijednost proboja*

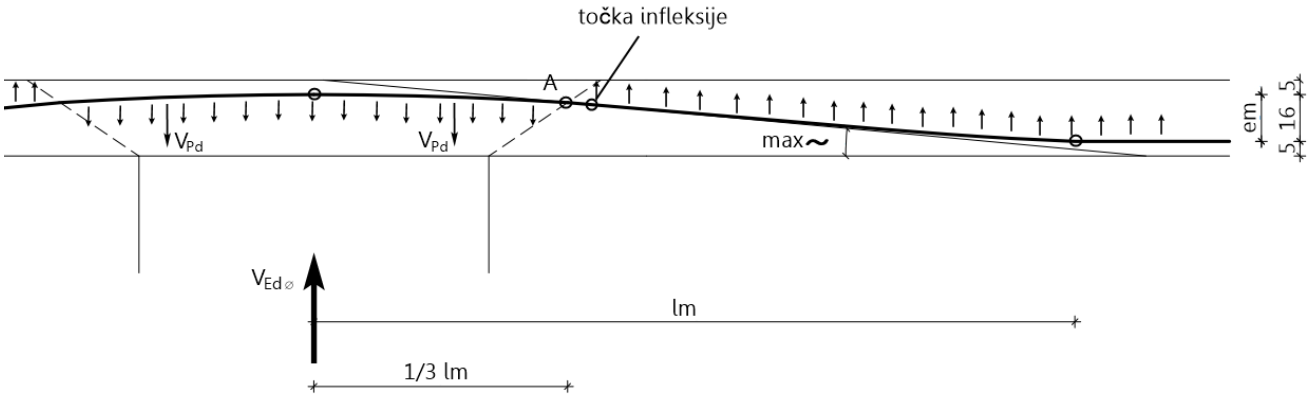
$v_{Rd,c}$ *– proračunska vrijednost otpornosti na proboj*

Prvo računamo *osnovni kontrolni opseg, probojni opseg* - $u_1$




$u_1 = 6 \cdot 40 + 2 \cdot 33 \cdot \pi = 447\ cm$




*lm – duljina pada*

*em – strelica kabela*

$max\sim -$ *kut maksimalnog nagiba kabela u točki infleksije*

$V_{Pd}$ *– skretne sile od kabela*

$V_{Ed\emptyset}$ *– posmično naprezanje od probojne sile bez smanjenja od prenapona*

Slobodno vođenje kabela

$$lm = 130{,}5\sqrt[4]{em}$$

$$lm = 130{,}5\sqrt[4]{16} = 261\ cm$$

$$max{\sim} = \frac{16}{9}\frac{em}{lm} = \frac{16}{9}\cdot\frac{16}{261} = 0{,}108\ rad = 6{,}2°$$

U točki A uzet ću računski ${\sim}_A = 5°$

$$\Sigma V_{pd} = (2\cdot 12 + 2\cdot 8)\cdot \sin 5°\cdot P_\infty = 40\cdot 0{,}087\cdot 180$$

$$\Sigma V_{pd} = 626\ kN$$

$V_{Ed}$ *– posmično naprezanje od probojne sile*

$$V_{Ed} = V_{Ed\emptyset} - \Sigma V_{pd} = 1{,}4\cdot 1300 - 1{,}0\cdot 626$$

$$V_{Ed} = 1194\ kN$$

Proboj po EC : 2004

*$\beta$ – korekcijski faktor kojim se uzima u obzir ekscentrično djelovanje sile proboja u odnosu na kritični presjek*

$\beta$ = 1,15 *(srednji stup)*

$u_1$ = 4470 *mm*

*Statička visina ploče d* = 220 *mm*

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{220}} = 1{,}95 < 2{,}0$$

$\sigma_{cd} = 1{,}3\ MPa$ → TLAČNO NAPREZANJE OD PREDNAPONA

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0{,}008^2} = 0{,}008$$

$\phi 20/15 = 21cm^2/100\cdot 26 = 0{,}008\%$ → POSTOTAK ARMIRANJA GORNJE ZONE

$$s_r = d\cdot 1{,}5 = 220\cdot 1{,}5 = 330\ mm$$

$$f_{ywd,eff} = 220 + 0{,}25d = 250 + 0{,}25\cdot 220 = 305 < \frac{500}{1{,}15}\ MPa$$

Kontrola proboja po opsegu 1,5d

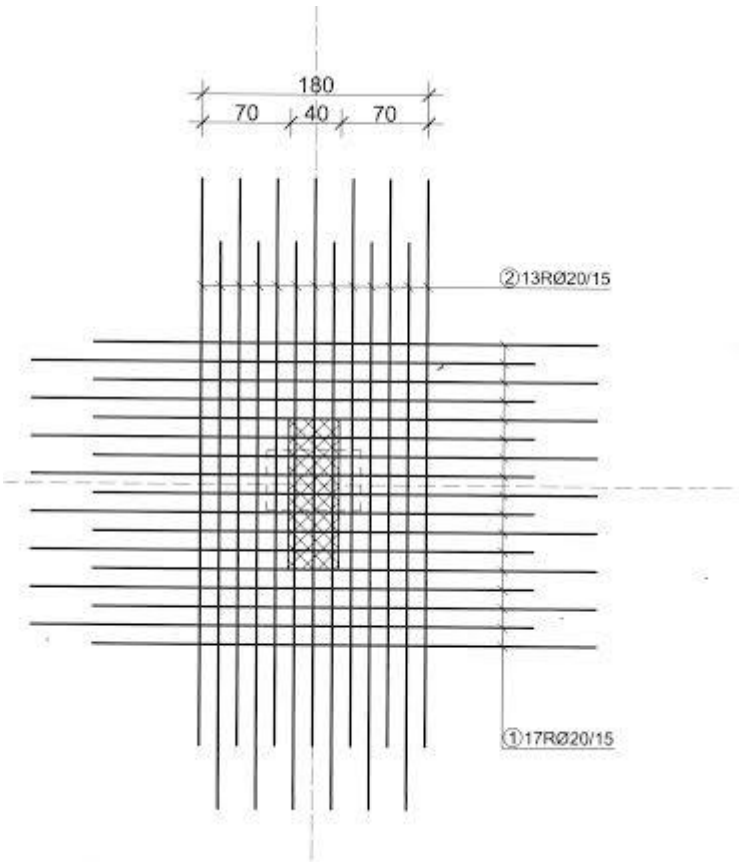
$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = \frac{1{,}15 \cdot 1194 \cdot 10^3}{4470 \cdot 220} = 1{,}396\ MPa$$

$$v_{Rd,c} = 0{,}12 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot fck)^{\frac{1}{3}} + 0{,}1\sigma_{cd}$$

$$v_{Rd,c} = 0{,}12 \cdot 1{,}95 \cdot (100 \cdot 0{,}008 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0{,}1 \cdot 1{,}3$$

$$v_{Rd,c} = 0{,}804\ MPa$$

$v_{Ed} > v_{Rd,c}$ → POTREBNA DODATNA POPREČNA ARMATURA




*Slika 5.5. Prikaz armature u gornjoj zoni ploče*

Poprečna armatura za proboj

$A_{sw}$ – *površina armature vilica*

$$A_{sw} = \left(v_{Ed} - 0{,}75 v_{Rd,c}\right) \cdot \frac{s_r \cdot u_1}{1{,}5 f_{ywd,eff}}$$

$$A_{sw} = (1{,}396 - 0{,}75 \cdot 0{,}804) \cdot \frac{330 \cdot 4470 \cdot 10^{-2}}{1{,}5 \cdot 305}$$

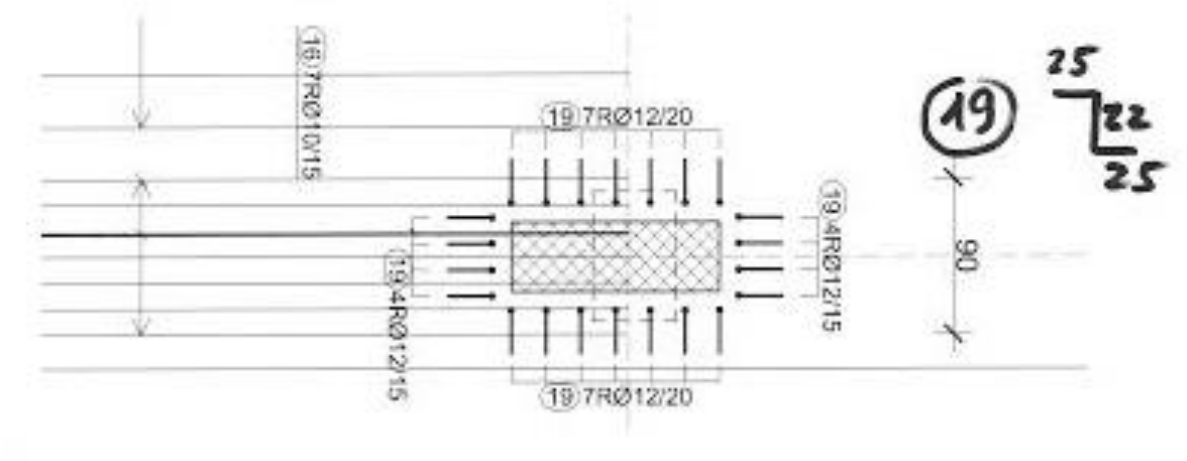
$$A_{sw} = 25{,}5\ cm^2$$

U probojni opseg idu „Z“ vilice

$\phi 12$

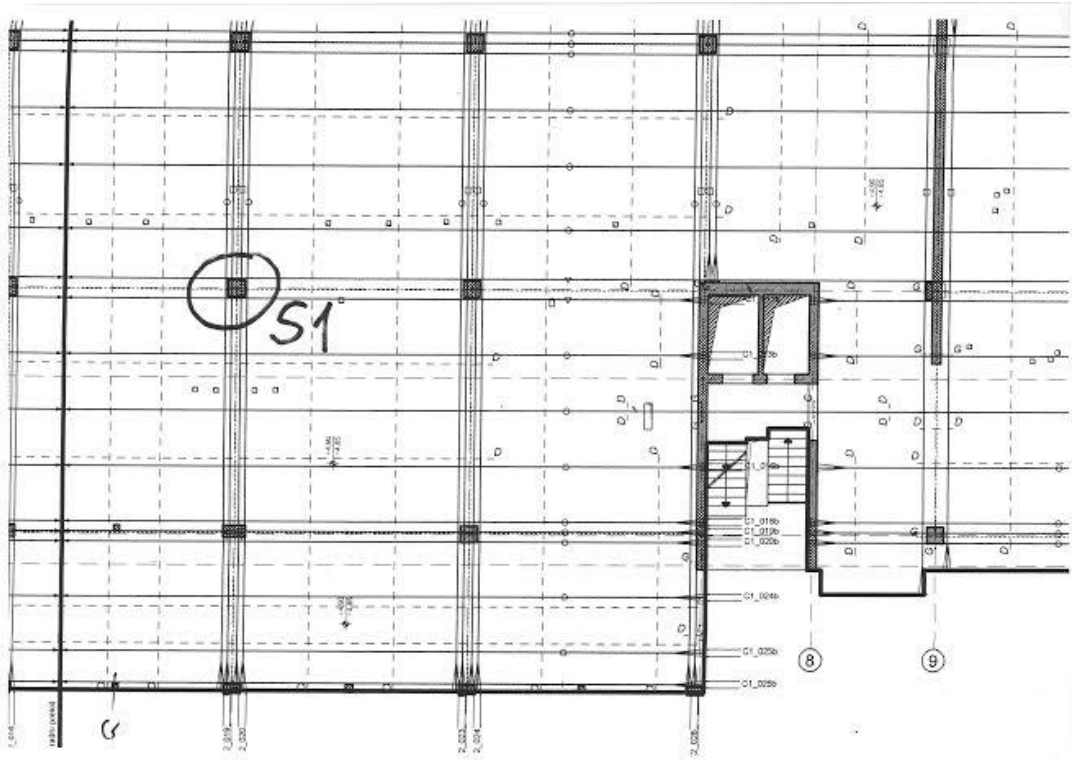
$A = 1{,}13\ cm$

$25{,}5/1{,}13 = 22\ kom$




*Slika 5.6. Prikaz vilica*

## 5.2. Proračun proboja ploče kata za unutrašnji stup „S1“




*Slika 5.7. Tlocrt stupa „S1“*

*Ploča konstantne debljine* $h = 24\ cm$

*Stup* 50/50 *cm*

*Beton C*30/37

*Armatura B*500*B*

$R = 730\ kN$

$d = 20\ cm$

$$u_1 = 4 \cdot 50 + 2 \cdot 30 \cdot \pi = 388{,}4\ cm$$

*Slobodno vođenje kabela*

$$lm = 130{,}5\sqrt[4]{em}$$

$$lm = 130{,}5\sqrt[4]{16} = 252\ cm$$

$$max{\sim} = \frac{16}{9}\frac{em}{lm} = \frac{16}{9} \cdot \frac{14}{252} = 0{,}099\ rad = 5{,}6°$$

*U točki A uzet ću računski* ${\sim}_A = 4{,}5°$

$$\Sigma V_{pd} = (2 \cdot 12 + 2 \cdot 5) \cdot sin\,4{,}5° \cdot P_\infty = 36 \cdot 0{,}0785 \cdot 180$$

$$\Sigma V_{pd} = 508{,}7\ kN$$

$$V_{Ed} = V_{Ed\emptyset} - \Sigma V_{pd} = 1{,}4 \cdot 730 - 1{,}0 \cdot 508{,}7$$

$$V_{Ed} = 513{,}3\ kN$$

*Proboj po EC : 2004*

$\beta$ *= 1,15 (srednji stup)*

$u_1$ *= 3884 mm*

*Statička visina ploče d = 200 mm*

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2{,}0$$

$$\sigma_{cd} = 1{,}3\ MPa \rightarrow \textit{TLAČNO NAPREZANJE OD PREDNAPONA}$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0{,}006^2} = 0{,}006$$

$\phi 16/15 = 13{,}4cm^2/100 \cdot 24 = \ 0{,}006\% \ \rightarrow$ *POSTOTAK ARMIRANJA GORNJE ZONE*

$s_r = d \cdot 1{,}5 = 200 \cdot 1{,}5 = 300\ mm$

$f_{ywd,eff} = 250 + 0{,}25d = 250 + 0{,}25 \cdot 200 = 300 < \frac{500}{1{,}15}\ MPa$

*Kontrola proboja po opsegu 1,5d*

$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = \frac{1{,}15 \cdot 513{,}3 \cdot 10^3}{3884 \cdot 200} = 0{,}76\ MPa$

$v_{Rd,c} = 0{,}12 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot fck)^{\frac{1}{3}} + 0{,}1\sigma_{cd}$

$v_{Rd,c} = 0{,}12 \cdot 2{,}0 \cdot (100 \cdot 0{,}006 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0{,}1 \cdot 1{,}3$

$v_{Rd,c} = 0{,}76\ MPa$

$v_{Ed} = v_{Rd,c} \quad \rightarrow$ *NIJE POTREBNA DODATNA ARMATURA PROBOJA*

# 6. Zaključak

Ovim radom obuhvaćeno je uspješno rješenje smanjenja probojne sile skretnim silama unbonded kabela. Budući da je određivanje debljine ploče najčešće mjerodavni kriterij proboja naknadno prednaprezanje po ovom kriteriju može rezultirati još vitkijim i racionalnijim stropnim pločama.

Osim vizualno estetskog učinka, naročito je bitno i što jednostavnije vođenje instalacija pa ravne ploče bez kapitela i greda pružaju arhitektima, izvođačima i krajnjim korisnicima najoptimalnije rješenje.

Na konkretnom primjeru zgrade „Ilica-Maričićeva“ u Zagrebu izmijenjen je osnovni projekt klasičnih stropnih ploča sa gredama u ravnu ploču oslonjenu samo na stupove i time je postignut navedeni benefit. Posjetom gradilišta imala sam priliku na licu mjesta vidjeti princip polaganja kabela u probojnoj zoni oko stupa prije betoniranja.

Smatram da bi primjena ove tehnologije trebala biti još više u primjeni zbog opisanih prednosti.

U Varaždinu, _____ _____

Puškarić Petra

# 7. Literatura


[1] D. Jetvić: Prednapregnuti beton 1, Građevinska knjiga, Beograd, 1979.

[2] I. Tomičić: Betonske konstrukcije – odabrana poglavlja, DHGK, Zagreb, 1996.

[3] I. podhorsky: Nosive konstrukcije 1 – drugo izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2008.

[4] D. Aničić: Prednapeti beton – drugo izdanje, Građevinski fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera

[5] Glavni i izvedbeni projekt projektnog biroa „Rubing d.o.o.“

[6] https://www.schoeck.hr/hr/bole, dostupno 23.07.2019.

# Popis slika

Slika 2.1. Smjerovi skretnih sila tipičnog vođenja kabela u srednjim poljima ploče oslonjene samo na stupove……...2
Slika 2.2. Postavljeni kabeli na stropnoj ploči u izradi……..3
Slika 2.3. Bonded tehnologija……4
Slika 2.4. Unbonded tehnologija……4
Slika 2.5. Unbonded kabel…….5
Slika 2.6. Unbonded kabeli u kolutovima……..5
Slika 2.7. Unbonded kabeli sa sidrenim pločama……..5
Slika 2.8. Unbonded kabeli sa sidrenim pločama……..5
Slika 2.9. Aktivna usidrenja……...6
Slika 2.10. Pasivna usidrenja…….6
Slika 2.11. Aktivna usidrenja nakon betoniranja……...6
Slika 2.12. Unosi sile hidrauličkom prešom……..7
Slika 2.13. Slobodno vođenje kabela na gradilištu……7
Slika 2.14. Shematski prikaz slobodnog vođenja kabela……...8
Slika 3.1. jednostavan prikaz pojave proboja kod ploče oslonjene samo na stupove……9
Slika 3.2. Proboj gornje etaže parkirališta…….9
Slika 3.3. Proboj gornje etaže parkirališta…….9
Slika 3.4. Probojna armatura Bole……...10
Slika 3.5. Sustav Bole Tip U……11
Slika 3.6. Sustav Bole Tip O……11
Slika 4.1. Građevinska ploča……12
Slika 4.2. Situacija……13
Slika 4.3. Tlocrt garaže – idejno rješenje…….13
Slika 4.4. Tlocrt etaže sa stanovima – idejno rješenje…….14
Slika 4.5. Presjeci – idejno rješenje…….14
Slika 4.6. Pročelja – idejno rješenje…….15
Slika 4.7. Budući izgled zgrade – animacija……15
Slika 4.8. Problem proboja obuhvaćen i posjetom gradilištu……...16
Slika 5.1. Presjek zgrade sa označenim stropnim pločama i stupovima za koje ću radit proračun…….17
Slika 5.2. Tlocrt prizemlja gdje se nalazi stup „SØ“……17
Slika 5.3. Tlocrt kata gdje se nalazi stup „S1“…….18

Slika 5.4. Tlocrt stupa „SØ"…….18
Slika 5.5. Prikaz armature u gornjoj zoni ploče……...22
Slika 5.6. Prikaz vilica…….23
Slika 5.7. Tlocrt stupa „S1“…….23

Sveučilište
Sjever

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, Petra Puškarić _____ *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Problematika probijanja nekradnog predmetnih stropnih ploča *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
*(upisati ime i prezime)*

Puškarić Petra
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost 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, Petra Puškarić _____ *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Problematika probijanja nekradnog predmetnih stropnih ploča *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
*(upisati ime i prezime)*

Puškarić Petra
(vlastoručni potpis)