

# Montažna hala izvedena tilt-up zidovima

---

**Rožić, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:394903>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-20**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



zir.nsk.hr

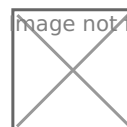


image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Marko Rožić**

**Montažna hala izvedena tilt-up zidovima**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Preddiplomski stručni studij Građevinarstva  
Montažne konstrukcije**

**Marko Rožić  
JMBAG: 0114027199**

**Montažna hala izvedena tilt-up zidovima**

**Završni rad**

**Rijeka, rujan 2019.**

Naziv studija: **Preddiplomski stručni studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema završnog rada

**MONTAŽNA HALA IZVEDENA TILT-UP ZIDOVIMA**

**PREFABRICATED HALL MADE OF TILT-UP WALLS**

Kandidat: **MARKO ROŽIĆ**

Kolegij: **MONTAŽNE KONSTRUKCIJE**

Završni rad broj: **19-ST-25**

**Zadatak:**

Kandidat treba obraditi metodu gradnje montažnim armiranobetonskim zidovima poznatiju kao tilt-up construction, koja ima veliku primjenu u SAD-u, dok u Europi nije tako česta. Karakteristika ove metode je da se zidovi izrađuju na gradilištu u horizontalnom položaju na prethodno izvedenoj betonskoj ploči, te se nakon što je beton dosegao potrebnu čvrstoću pomoću dizalica podižu u vertikalni položaj. Svaki zidni panel se privremeno pridržava sve dok stropna/krovna konstrukcija ne poveže sve elemente u cjelinu. Budući da se elementi izvode na gradilištu oni mogu biti znatno većih dimenzija od zidova izrađenih u pogonu i transportiranih na gradilište.

Rad treba sadržavati dva dijela. U prvom djelu rada potrebno je teorijski obraditi: osnovne karakteristike tilt-up gradnje, postupak izvedbe, podizanje zidnih panela u vertikalni položaj te karakteristične detalje. Koristiti literaturu na engleskom jeziku.

U drugom djelu rada potrebno je proračunati armiranobetonski zidni panel jednokatne pravokutne industrijske građevine tlocrtnih dimenzija 10,0 x 24,0 m na području Bjelovara. Analizirati GSN za fazu u uporabi i fazu gradnje (podizanje elementa). Izraditi nacrt armature za proračunani zidni panel. Proračun djelovanja i dimenzioniranje provesti u skladu s važećim normama HRN EN 1990, HRN EN 1991 i HRN EN 1992, te pripadajućim nacionalnim dodacima.

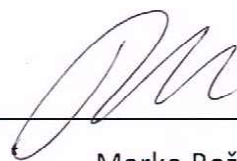
**Tema rada je uručena: 15. veljače 2019.**

**Mentor:**

doc. dr. sc. Paulo Šćulac,  
dipl. ing. građ.

## **IZJAVA**

Završni rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.



---

Marko Rožić

U Rijeci, 29. kolovoza 2019.

## SAŽETAK

U ovom radu razmatrana je tilt-up metoda gradnje montažnim armiranobetonskim zidovima. Karakteristika ove metode je da se zidovi betoniraju na gradilištu u horizontalnom položaju na prethodno izvedenoj betonskoj ploči, te se nakon što je beton dosegao potrebnu čvrstoću pomoću dizalica podižu (uspravljaju) u vertikalni položaj.

U prvom djelu rada dane su osnovne karakteristike tilt-up metode gradnje, opisan je postupak izvedbe i podizanja zidnih panela, te su prikazani karakteristični detalji. U drugom djelu rada proračunan je armiranobetonski zidni panel jednokatne pravokutne industrijske građevine tlocrtnih dimenzija 10,0 x 24,0 m na području Bjelovara. Dimenzioniranje je provedeno za fazu u uporabi i fazu gradnje (podizanje elementa). Proračun djelovanja i dimenzioniranje provedeno je u skladu s važećim normama HRN EN 1990, HRN EN 1991 i HRN EN 1992, te pripadajućim nacionalnim dodacima.

**KLJUČNE RIJEČI:** armirani beton, montažne konstrukcije, zidovi, metoda gradnje uspravljanjem elementa

## ABSTRACT

In this work tilt-up construction using prefabricated reinforced concrete walls is analysed. This construction method is based on wall panels cast horizontally on-site on a concrete slab on ground and then lifted (tilted-up) in vertical position with a crane after the concrete has reached sufficient strength.

In the first part of the work basic features of tilt-up construction are discussed; wall panel construction and lifting as well as connection details are described. In the second part structural design of a reinforced concrete wall panel, which is part of an one-storey rectangular hall with ground floor layout 10,0 x 24,0 m located in Bjelovar, is made for both the service load and during the lifting process, according to HRN EN 1990, HRN EN 1991 and HRN EN 1992 with accompanying National Annexes.

**KEY WORDS:** reinforced concrete, prefabricated structures, load-bearing walls, tilt-up construction

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA .....	8
POPIS TABLICA .....	9
1. UVOD.....	1
2. KONSTRUKTIVNI DIJELOVI TILT-UP GRAĐEVINE .....	2
2.1 Temelji.....	3
2.2 Temeljna ploča.....	6
2.2.1 Posteljica.....	6
2.2.2 Debljina temeljne ploče .....	7
2.2.3 Izvođenje .....	7
2.3 Zidni paneli .....	9
2.3.1 Podjela građevine na panele .....	9
2.3.2 Betoniranje panela .....	11
2.3.3 Osnove proračuna i nosivosti tilt-up zidova.....	13
2.3.4 Stabilizacija krova .....	14
3. PODIZANJE PANELA .....	16
3.1 Općenito.....	16
3.2 Opterećenje prilikom podizanja panela .....	16
3.3 Pozicioniranje umetaka za podizanje.....	18
3.4 Podizanje panela iz horizontalnog u vertikalni položaj .....	18
4. PODUPIRANJE PANELA .....	19
5. DETALJI SPOJEVA PANELA .....	20
5.1 Detalj spoja panela i temelja.....	20
5.2 Detalj spoja dvaju panela.....	21
6. PRORAČUN ARMATURE TILT-UP ZIDNOG PANELA.....	23
6.1 Općenito.....	23
6.2 Analiza opterećenja.....	24

6.2.1	Stalno opterećenje.....	24
6.2.2	Promjenljivo opterećenje.....	24
6.3	Dimenzioniranje zidnog panela .....	29
6.3.1	Reakcije od krova .....	29
6.3.2	Vlastita težina zida.....	29
6.3.3	Momenti savijanja uslijed ekscentričnosti: .....	29
6.3.4	Momenti savijanja od vjetra .....	29
6.3.5	Dijagrami unutarnjih sila .....	29
6.3.6	Proračunske vrijednosti momenta savijanja i unutarnjih sila za kombinacije opterećenja:.....	30
6.3.7	Granična vitkost elemenata $\lambda_{lim}$ .....	31
6.4	Dimenzioniranje.....	32
6.4.1	Materijal: .....	32
6.4.2	Teorija drugog reda – Metoda nazivne zakrivljenosti [7] .....	33
6.4.3	Minimalna armatura .....	34
6.4.4	Maksimalna armatura .....	34
6.4.5	Odabrana armatura .....	35
6.4.6	Osnovna duljina sidrenja .....	35
6.4.7	Duljina preklopa .....	35
6.5	Dimenzioniranje kratke konzole.....	36
6.5.1	Provjera nosivosti čvora 1 (vertikalno) .....	38
6.5.2	Vlačni štap .....	38
6.5.3	Odabrana armatura .....	39
6.5.4	Provjera nosivosti čvora 1 (horizontalno) .....	39
6.5.5	Sila u štapu $F_{wd}$ (prema MC 90.) .....	40
6.5.6	Odabrana armatura .....	40
6.6	Podizanje panela .....	41



6.6.1	Dimenzioniranje panela u fazi podizanja .....	43
6.7	Podupiranje panela u fazi izgradnje .....	44
7.	ZAKLJUČAK.....	46
	LITERATURA .....	48
	NACRTI .....	49

**POPIS SLIKA**

Slika 1: Faze izvođenja tilt-up konstrukcije [1].....	1
Slika 2: Dijelovi tilt-up konstrukcije [2] .....	2
Slika 3: Temeljenje s dva manja temelja ispod svakog panela [3] .....	3
Slika 4: Temeljenje s jednim velikim temeljem na spoju dva zidna panela [3] .....	3
Slika 5: Pojava pukotine uslijed nepravilno postavljene armature [3] .....	4
Slika 6: Minimalni promjer pilota prema [3] .....	4
Slika 7: Postavljanje ležajeva na kutu građevine [3] .....	5
Slika 8: Minimalne dimenzije u mm prema [3].....	5
Slika 9: Plan podne ploče [3].....	8
Slika 10: Načini izvedbe podne ploče [4].....	8
Slika 11: Ovisnost spoja panela o poziciji krovnih nosača [3].....	9
Slika 12: Minimalne dimenzije panela oko otvora [3] .....	10
Slika 13: Slučaj kada dimenzije panela oko otvora trebaju biti veće od 600 mm [3] .....	10
Slika 14: Slučaj kada dimenzije panela oko otvora mogu biti manje od 600 mm [3].....	11
Slika 15: Redoslijed betoniranje panela u skupinama [3] .....	12
Slika 16: Utjecaj podupirača na lokacije betoniranja panela [3] .....	12
Slika 17: Vrste panelnih sustava [3] .....	13
Slika 18: Mehanizam nosivosti na horizontalne sile [3].....	14
Slika 19: Primjena tilt-up panela za.....	14
Slika 20: Stabilizacije na krovu [3] .....	15
Slika 21: Prijenos horizontalnog opterećenja na panel [3] .....	15
Slika 22: Momenti savijanja uzrokovani podizanjem panela ovise o rasporedu umetaka za podizanje [3].....	16
Slika 23: Dijagrami utjecajnih linija za momente savijanja prilikom rotacije panela [3] ...	17
Slika 24: Mogućnosti postavljanja umetaka za podizanje [3] .....	18
Slika 25: Metode podizanja panela u vertikalni položaj [5].....	19
Slika 26: Postavljanje podupirača [3].....	19
Slika 27: Spoj panela i temelja [3] .....	20
Slika 28: Navojna cijev koja se ugrađuje u zidne panele [3] .....	20
Slika 29: Spoj panela na vanjskom kutu [4].....	21
Slika 30: T-spoj panela (izveden u udubljenju) [3] .....	21
Slika 31: Kutnik za spajanje panela [3] .....	22
Slika 32: T-spoj panela (spoj na gornjem rubu panela) [3] .....	22

Slika 33: Podjela građevine na panele - paneliziranje .....	23
Slika 34: Slojevi ravnog krova .....	24
Slika 35: Plohe utjecaja opterećenja od vjetra okomitog na zabat .....	26
Slika 36: Plohe utjecaja opterećenja od vjetra okomitog na bočnu fasadu .....	27
Slika 37: Tlocrt zgrade sa prikazom statičkog sustava krovne konstrukcije .....	29
Slika 38: Dijagrami unutarnjih sila.....	30
Slika 39: Prikaz djelovanja reakcija, unutarnjih te vanjskih sila na kratku konzolu .....	36

## POPIS TABLICA

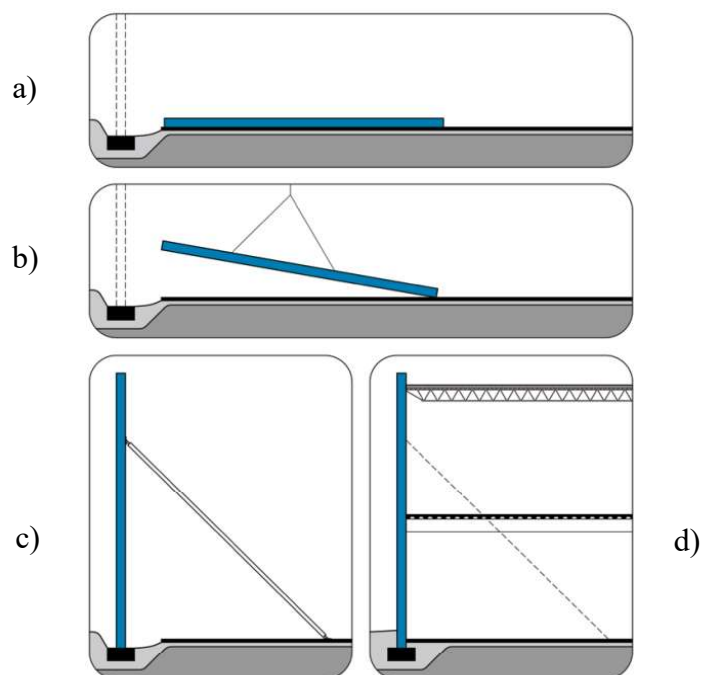
Tablica 1 Dimenzije za panel težine 40 tona [1] .....	9
Tablica 2: Vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada za vjetar okomit na zabat .....	26
Tablica 3: Vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada za vjetar okomit na bočnu fasadu.....	27

## 1. UVOD

Tema ovoga rada je montažni način građenja koji nazivamo tilt-up. Ovim radom bit će obuhvaćeno izvođenje i proračun tilt-up konstrukcija, područje primjenjivosti, te usporedba s klasičnim načinima gradnje.

Pojavom armiranog betona razvijaju se tilt-up elementi koji se počinju koristiti već početkom 1900.-ih godina u Sjedinjenim Američkim Državama. Tilt-up metoda predstavlja način izvođenja u kojoj se armiranobetonski zidovi izvede na gradilištu u horizontalnom položaju (kao ploča), te se zatim dizalicama podižu u vertikalni položaj (Slika 1). Tilt-up konstrukcije brzo su stekle popularnost u Sjevernoj Americi te su se počele širiti na druge kontinente. Organizacija *The Tilt-Up Concrete Association (TCA)* objavila je da je 2007. godine u SAD-u izvedeno oko 74 000 000 m<sup>2</sup>, između 11 000 i 12 000 tilt-up građevina. [1]

Tilt-up konstrukcije i dalje su nepoznanica na našim prostorima. Ovaj rad obrađuje tilt-up konstrukcije, otkriva prednosti i potencijal takve metode gradnje te mogućnosti primjene i razvoja na ovim prostorima.



Slika 1: Faze izvođenja tilt-up konstrukcije [1]

a) betoniranje zidova u horizontalnom položaju na prethodno izvedenoj betonskoj ploči

b) podizanje zidova u vertikalni položaj

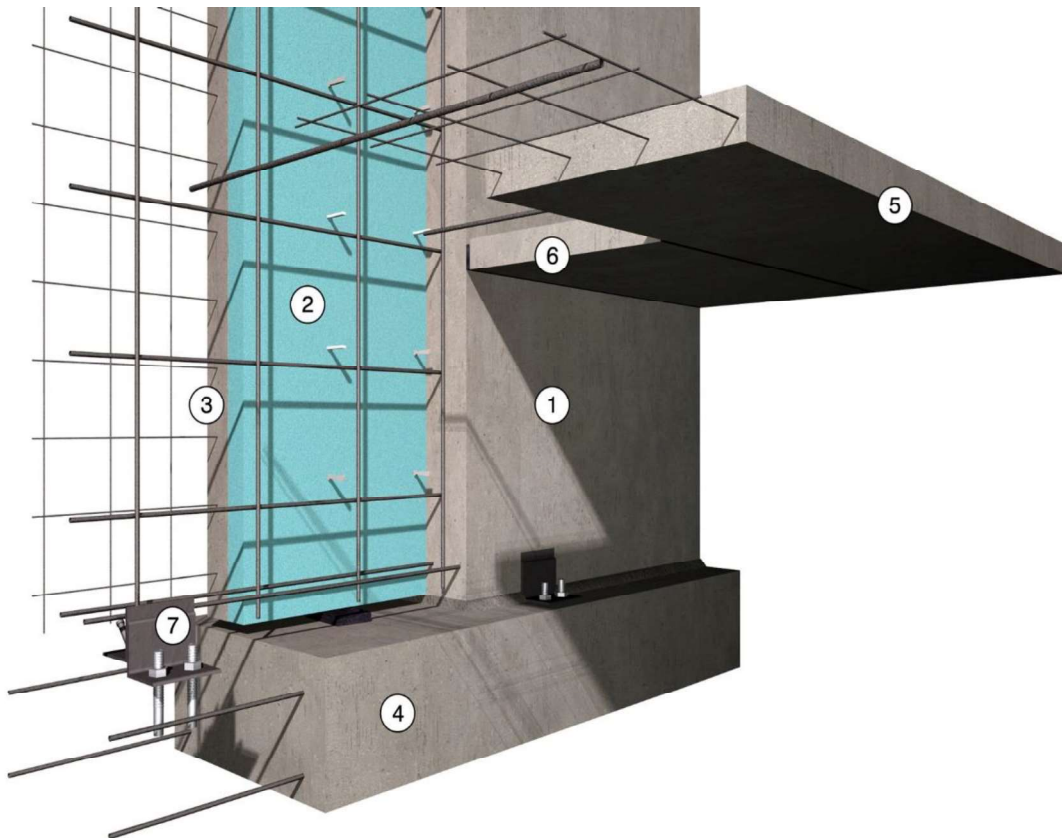
c) privremeno podupiranje zidova

d) izvedba stropne konstrukcije, izvedba spojeva, te naposljetku skidanje podupirača

## 2. KONSTRUKTIVNI DIJELOVI TILT-UP GRAĐEVINE

Za tilt-up metodu karakteristično je spajanje predgotovljenih elemenata u konstruktivnu cjelinu, karakteristični dijelovi tilt-up građevine navedeni su u nastavku (Slika 2). Pojedini elementi detaljnije su razrađeni u ostatku rada.

1. Unutarnji armiranobetonski sloj panela
2. Sustav toplinske izolacije sendvič panela (može ali i ne mora postojati)
3. Vanjski armiranobetonski sloj panela
4. Armiranobetonski temelj (trakasti)
5. Armiranobetonska podna ploča (izvedena tako da se ostavi prostora za postavljanje panela i zapunjavanje spoja mortom)
6. Rubni pojas podne ploče (naknadno izbetoniran)
7. Kutnik usidren u temelj i zavaren za pločicu usidrenu u panel (spoj temelja i zida)

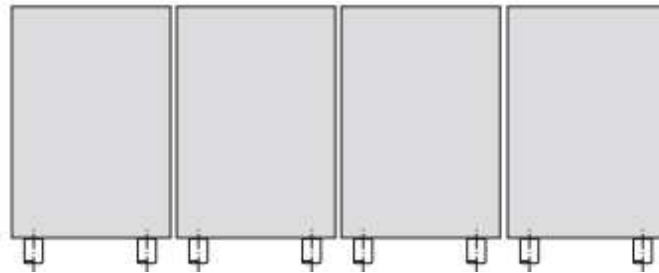


Slika 2: Dijelovi tilt-up konstrukcije [2]

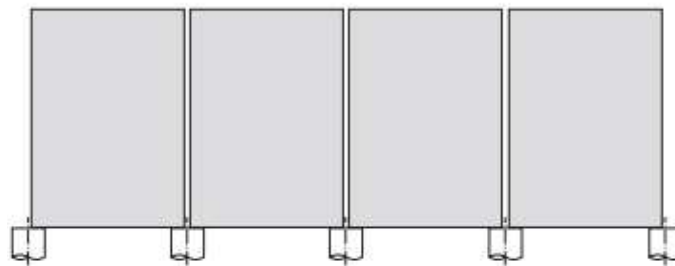
## 2.1 Temelji

Temelji preuzimaju opterećenja od konstrukcije i prenose ih u okolno tlo. Sustav temeljenja tilt-up konstrukcija zahtjeva dodatna razmatranja koja ne susrećemo kod zidanih, čeličnih ili drvenih konstrukcija. Sustav temelja tilt-up konstrukcija sastoji se od rubnih temelja koji nose zidne panele, temelja samaca koji preuzimaju opterećenje od stupova unutar konstrukcije, te trakastih temelja koji podupiru nosive zidove unutar konstrukcije. Zidni paneli temelje se na temeljnim trakama ili temeljima samcima. Za tlo zadovoljavajuće nosivosti uobičajeno je korištenje trakastih temelja. Trakasti temelji postavljaju se tako da opterećenje od panela pada na središnju os temelja (Slika 2). Širina temelja obrnuto je proporcionalna nosivosti tla, dakle za lošije uvjete tla potrebni su nam širi temelji. Dubina temelja trebala bi biti veća od dubine smrzavanja tla. U slučaju da se geotehničkim istraživanjima utvrdi loša nosivost tla, za temeljenje se koriste piloti. Razlikujemo dvije mogućnosti postavljanja temelja samaca ili pilota kod tla manje nosivosti:

1. Postavljanje dva manja temelja ispod svakog panela (Slika 3)
2. Postavljanje jednog velikog temelja na spoju dva zidna panela (Slika 4).

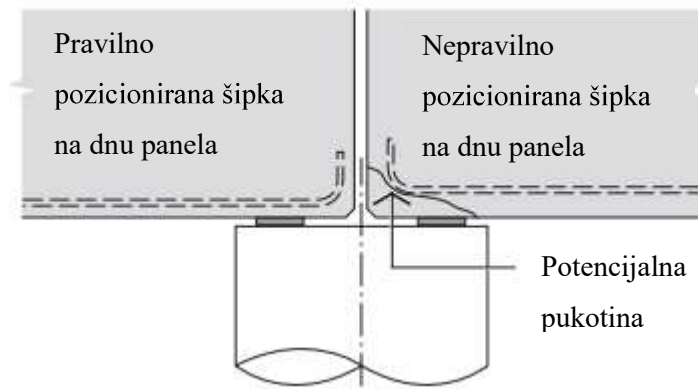


Slika 3: Temeljenje s dva manja temelja ispod svakog panela [3]



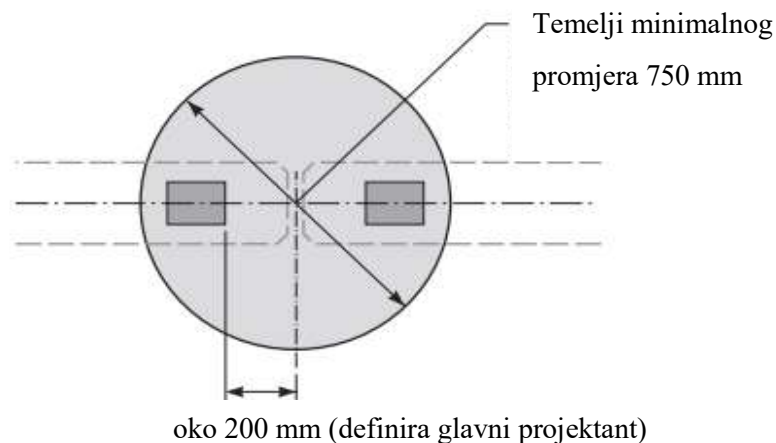
Slika 4: Temeljenje s jednim velikim temeljem na spoju dva zidna panela [3]

Prvi slučaj zahtjeva više zemljanih radova od drugog slučaja, no veličina temelja za prvi slučaj može biti znatno manja nego u drugom slučaju [3]. U prvom slučaju manja je vjerojatnost pojave pukotina na donjim kutovima panela uslijed pogrešno postavljene armature jer se temelji mogu postaviti dalje od kutova panela (Slika 5).



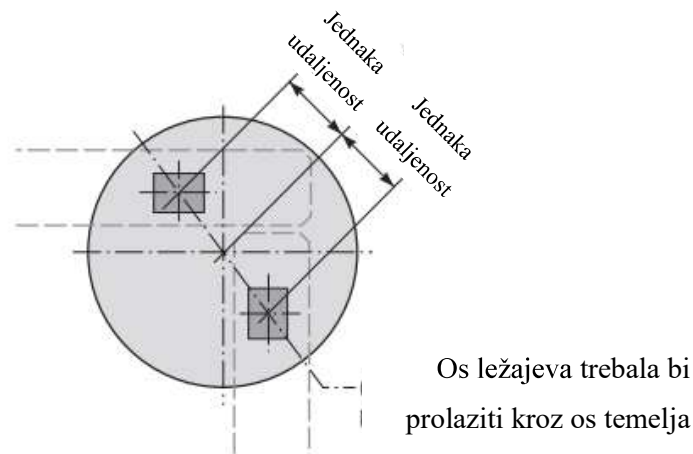
Slika 5: Pojava pukotine uslijed nepravilno postavljene armature [3]

Ako koristimo plitke temelje umjesto pilota, prednost ima prvi slučaj s dva temelja. Razlog tomu je što u slučaju nailaska na eventualne prepreke u postavljanju temelja, imamo mogućnost promjene pozicije temelja, dok je u drugom slučaju pozicija temelja fiksna (određena spojem panela). Kod drugog slučaja postoje određeni uvjeti koje valja uzeti u obzir kod projektiranja. Prema [3] minimalni promjer pilota treba biti 750 mm (Slika 6) kako bi se zadovoljili potrebni minimalni razmaci od ležaja do ruba.



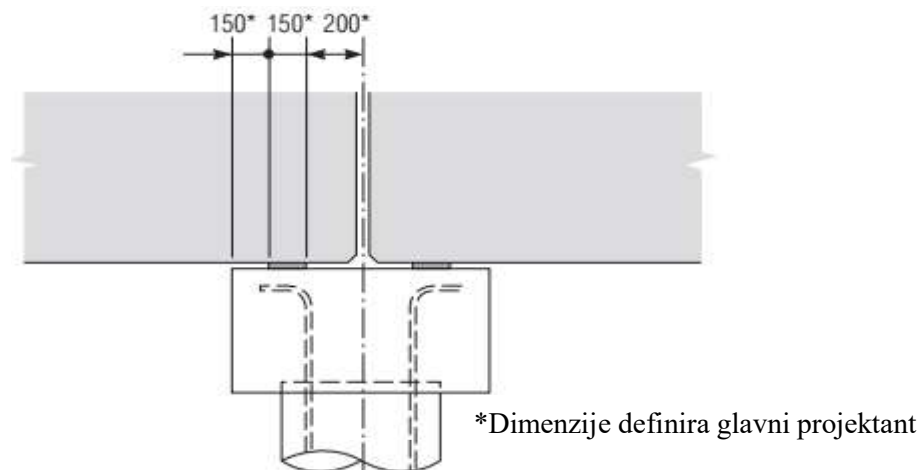
Slika 6: Minimalni promjer pilota prema [3]

Na kutnim spojevima ležajevi trebaju biti postavljeni na jednakoj udaljenosti od osi temelja kako bi se izbjegli nepovoljni momenti (Slika 7). Ponekad je takva naprezanja nemoguće izbjeći, te je tada temelj potrebno projektirati u skladu s takvim djelovanjima.



Slika 7: Postavljanje ležajeva na kutu građevine [3]

Ukoliko je moguće razmak ležajeva bi trebao biti jednak u odnosu na centralnu os temelja. Minimalne propisane dimenzije i minimalni razmaci od rubova prema australskoj normi AS 3850 [3] prikazane su na Slici 8.



Slika 8: Minimalne dimenzije u mm prema [3]

Neovisno o vrsti temelja, vrh temelja se izvodi oko 4 cm ispod predviđene kote dna panela. Nakon što se paneli podignu i osiguraju podupiračima, taj prostor se popunjava mortom kako bi se osigurao potpuni prijenos opterećenja na temelje. Za postavljanje panela na odgovarajuću visinu, na temelje ispod svakog panela postavljamo podmetače od plastike visoke gustoće ili podložni mort. U slučaju kada je panel velik i težak temelji se izvode od 1 do 1,5 m ispod visinske kote betonske ploče [1].



## 2.2 Temeljna ploča

Na prvi pogled temeljna ploča tilt-up konstrukcije ne razlikuje se od ostalih temeljnih ploča, no zapravo ona ima puno važniju ulogu nego ploča kod ostalih građevina. Mogli bismo reći da je temeljna ploča najvažniji dio tilt-up konstrukcije, te je iznimno bitno da je pravilno izvedena. Tilt-up panelni zidovi se izrađuju, odnosno izlijevaju na temeljnu ploču, što znači da će se sve eventualne nepravilnosti same ploče kasnije odraziti i na panele. Temeljna ploča služi i za sidrenje podupirača koji pridržavaju panele nakon podizanja. Ona mora podnijeti opterećenje od teških građevinskih strojeva (kao što su kranovi i kamioni miješalice za beton) koji se kreću po njoj tijekom izgradnje građevine.

Temeljna ploča mora biti napravljena od betona odgovarajuće čvrstoće, te mora biti dostatne debljine kako bi mogla podnijeti naprezanja. [1]

### 2.2.1 Posteljica

Da bi temeljna ploča mogla podnijeti sva predviđena opterećenja nužno je izvesti kvalitetnu, zbijenu posteljicu. Posteljica treba biti izvedena od zrnatog materijala, zbijenog barem 90% po modificiranom Proctorovom pokusu pri optimalnoj vlažnosti materijala. To znači da je posteljica zbijena do 90% teorijskog maksimuma za optimalnu vlažnost materijala. Dobivenu zbijenost potrebno je dokazati mjerenjima na gradilištu [1].

Posteljica od zrnatog materijala ravnomjerno raspoređuje opterećenje kad je tlo ispod ploče neravnomjerno ili ima nejednoliku gustoću, također sprječava podizanje kapilarne vode i potencijalna oštećenja koja bi od nje nastala. Da bi se spriječio prodor vlage u konstrukciju nekada se koristio sloj hidroizolacijske membrane na koju se nanosio zaštitni sloj pijeska. No, taj se pijesak sabija pod opterećenjem što može dovesti do pucanja temeljne ploče uslijed opterećenja prilikom gradnje, stoga se preporučuje korištenje aditiva za vodonepropusnost betona. Odluku o tome treba li se koristiti posteljica donosi geotehničar na temelju procjene stanja tla na gradilištu [1].

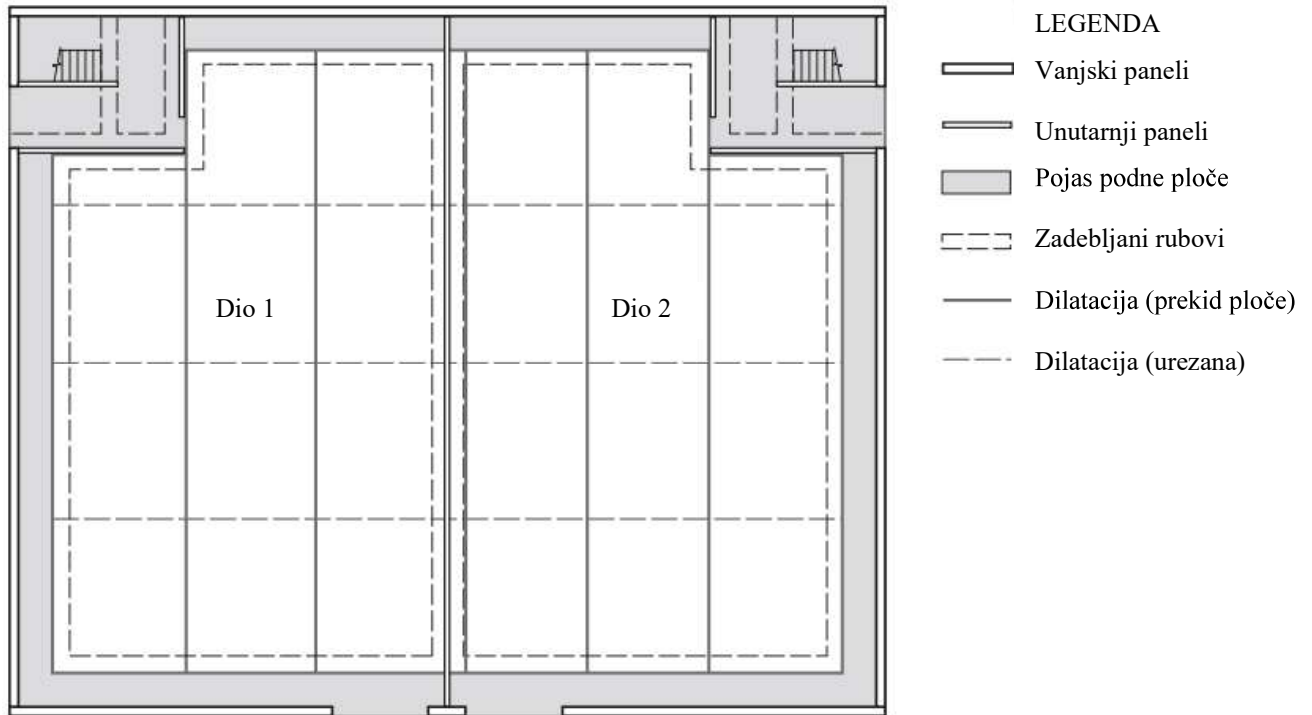
### **2.2.2 Debljina temeljne ploče**

Iako postoje formule, dijagrami i tablice za određivanje potrebne debljine ploče za različita opterećenja, iskustvo pokazuje da ploča debljine 13 cm na dobro zbijenoj posteljici zadovoljava uvjete za lakše industrijske građevine i za opterećenja karakteristične tilt-up građevine. Većina izvođača preporučuje ploču debljine 15 cm zbog znatnog povećanja otpornosti na oštećenja uslijed opterećenja od dizalice. Neki izvođači koriste deblju ploču samo na mjestima gdje je predviđeno kretanje dizalice i na mjestima gdje se sidre podupirači. U slučaju da je stalno opterećenje građevine malo i da se paneli podižu izvana, preporučena je minimalna debljina ploče 13 cm. Dijagrame koji se najčešće koriste za određivanje debljine ploče za različita opterećenja razvila je organizacija Portland Cement Association (PCA) i dostupni su u slobodnoj publikaciji *Concrete Floors on Ground* [1].

Tilt-up zidni paneli uglavnom se izlijevaju direktno na temeljnu ploču, stoga je potrebno spriječiti oštećenje ploče pod djelovanjem promjenjivog opterećenja. Opterećenje koje na ploču prenose privremeni podupirači zidnih panela i deponirani materijali kao što su agregat, oplata i armatura također treba uzeti u obzir kod proračuna i dimenzioniranja ploče. Opterećenja od dizalice i kamiona miješalice za beton daleko su veća od većine konstruktivnih opterećenja i mogu premašiti nosivosti ploče. Ako je podizanje panela predviđeno dizalicom koja se nalazi na temeljnoj ploči potrebno je poboljšati nosivost posteljice ili povećati debljinu ploče. Pošto opterećenje od dizalice često premašuje nosivost ploče postoji opasnost od pucanja ploče, stoga se dijelovi ploče na kojima je predviđeno kretanje dizalice namjerno izostavljaju, te se izvode nakon što je završeno postavljanje panela. U slučaju da je predviđeno kretanje dizalice po ploči i podizanje panela, glavni projektant mora dokazati da ploča i posteljica imaju dovoljnu nosivost da bi podnijele opterećenje od dizalice [1].

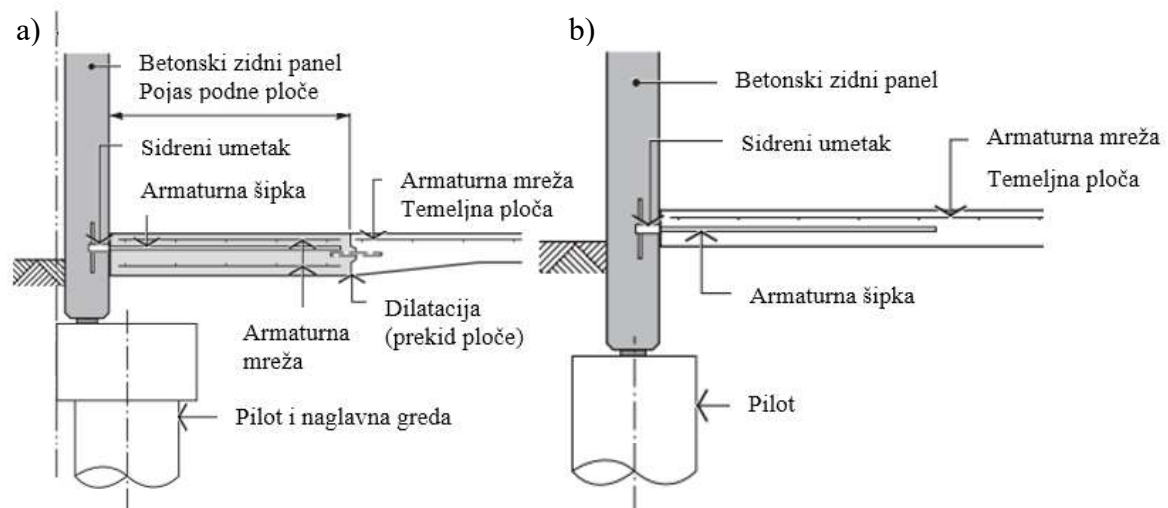
### **2.2.3 Izvođenje**

Kod projektiranja temeljne ploče potrebno je napraviti plan podne ploče. Pošto se površina ploče uglavnom koristi kao podloga za izlijevanje panela potrebno je uzeti u obzir lokaciju spojeva i dilatacija podne ploče. Plan podne ploče trebao bi sadržavati položaj i vrste spojeva, te pojedinosti vezane za panele kako bi se omogućio završetak podne ploče naknadnim betoniranjem rubnog pojasa (trake) nakon što se panel podigne. Primjer plana podne ploče prikazan je na Slika 9.



Slika 9: Plan podne ploče [3]

Naknadnim izlivanjem dijela podne ploče (Slika 10a) panelu se osigurava dodana stabilnost u slučaju da jedan od ležajeva otkáže. Ako se ne koristi naknadno izlivanje trake (Slika 10b), potrebno je osigurati da se spojevi ploča i panela podudaraju na obodu. Takvim spojem sprječava se uklještenje panela podnom pločom, te se omogućava slobodno pomicanje uslijed skupljanja betona i temperaturnih promjena.



Slika 10: Načini izvedbe podne ploče [4]

- a) Naknadno izlivanje rubnog pojasa podne ploče
- b) Podna ploča bez naknadnog izlivanja

## 2.3 Zidni paneli

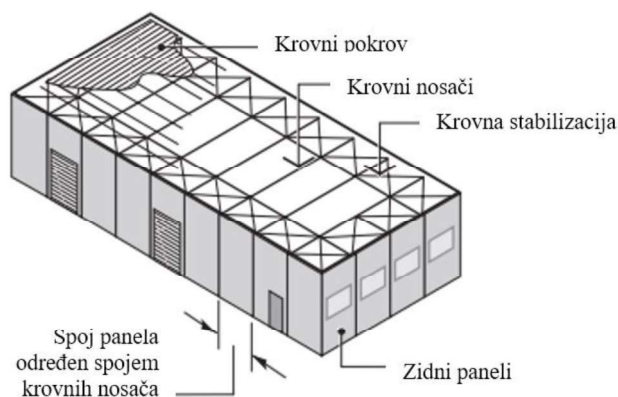
### 2.3.1 Podjela građevine na panele

Jedan od najvažnijih koraka u projektiranju tilt-up građevine je tzv. paneliziranje. Pod pojmom "paneliziranje" podrazumijeva se podjela zidova u panele, tj. definiranje oblika i pozicije spojeva. Ako se građevina sastoji od više katova, svaki kat se panelizira zasebno. Za određivanje dimenzija panela možemo koristiti tablicu 1. u kojoj se nalaze ograničenja težine panela. Težina panela trebala bi biti što bliža nosivosti dizalice koja će se koristiti kako bi gradnja bila što učinkovitija. Podizanje i ugradnja panela od  $60 \text{ m}^2$  traje otprilike jednako kao i trostruko manjeg panela od  $20 \text{ m}^2$ . Panel ne bi trebao premašivati površine prikazane u tablici 1. Kako bismo se mogli koristiti tablicom glavni projektant mora prvotno odrediti potrebnu debljinu panela [1].

Tablica 1 Dimenzije za panel težine 40 tona [1]

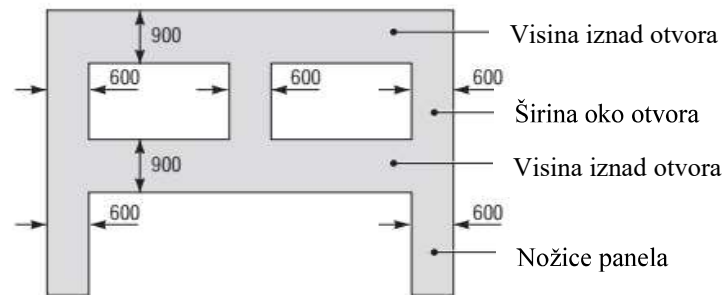
Debljina panela [cm]	14,0	15,25	16,5	18,5	20,25
Težina $\text{kg/m}^2$	350	381	413	463	506
Max površina $\text{m}^2$	114	105	97	87	79

U slučaju kada se krovna konstrukcija sastoji od krovnih nosača treba voditi računa o poziciji krovnih nosača na panelu. Razmak krovnih nosača obično određuje raspored spojeva panela [3]. Os nosača trebala bi se nalaziti na spoju dva panela (Slika 11) tako da se reakcija od nosača prenosi ravnomjerno na svaki panel. Moguća je i izvedba spoja udaljenog od ruba panela kako bi se izbjeglo koncentrirano opterećenje blizu ruba panela (mogućnost oštećenja panela) [1].



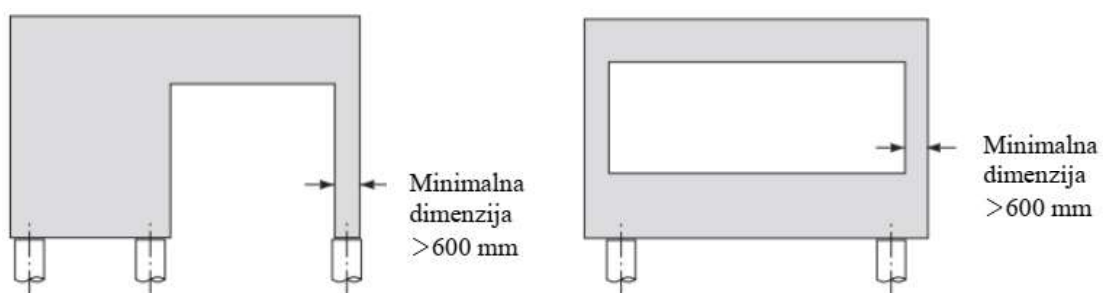
Slika 11: Ovisnost spoja panela o poziciji krovnih nosača [3]

Izgled panela ovisi o položaju prozora i vrata. Otvori za prozore i vrata ne smiju se nalaziti na rubovima panela. Širina panela oko otvora i visina panela iznad otvora mora osigurati dovoljnu nosivost za preuzimanje opterećenja na koje će panel biti izložen, osobito tijekom podizanja i ugradnje. Iskustveno su poznate okvirne vrijednosti za određivanje minimalnih dimenzija panela oko otvora (Slika 12). Minimalna širina panela oko otvora (nožice) iznosi 600 mm, dok je minimalna visina iznad otvora 900 mm [3].

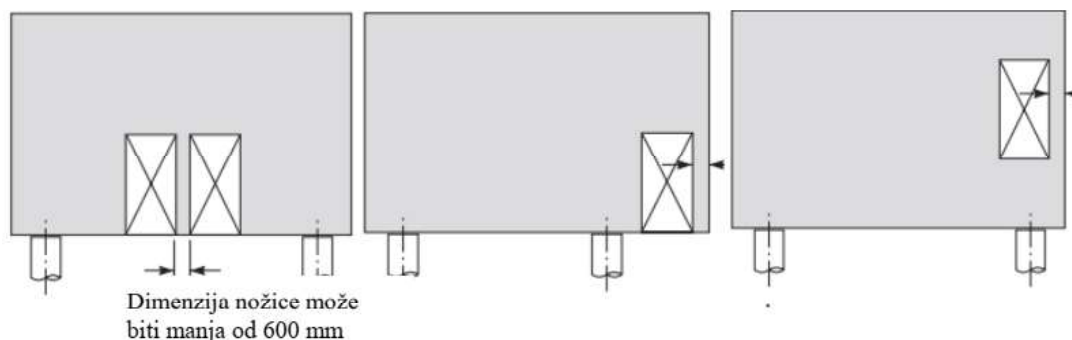


Slika 12: Minimalne dimenzije panela oko otvora [3]

Ponekad širina nožice panela i vertikalnog dijela okvira mora biti veće (Slika 13). U nekim slučajevima, ako panel konstrukcijski zadovoljava nosivost bez "nožice panela" ili okvira oko otvora, moguće ih je izvesti uže od minimalno preporučenih vrijednosti (Slika 14). Osim manje nosivosti, treba napomenuti da su tanki, vitki elementi osjetljiviji na oštećenja tijekom transporta i podizanja od čvršćih, robusnijih elemenata. Svako smanjenje preporučenih minimalnih vrijednosti trebalo bi se izvoditi s oprezom [3].



Slika 13: Slučaj kada dimenzije panela oko otvora trebaju biti veće od 600 mm [3]

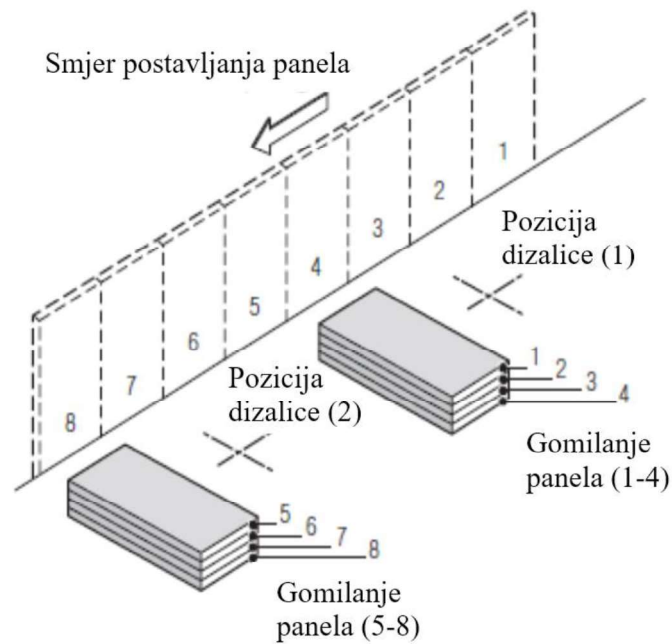


Slika 14: Slučaj kada dimenzije panela oko otvora mogu biti manje od 600 mm [3]

Donji rub panela treba produžiti 30 cm ispod podne ploče i barem 20 cm ispod kote terena. Otvore za vrata treba produžiti 10 cm ispod razine poda kako bismo dobili bolji završni efekt nakon što se naknadno izlije rubna traka podne ploče. [3]

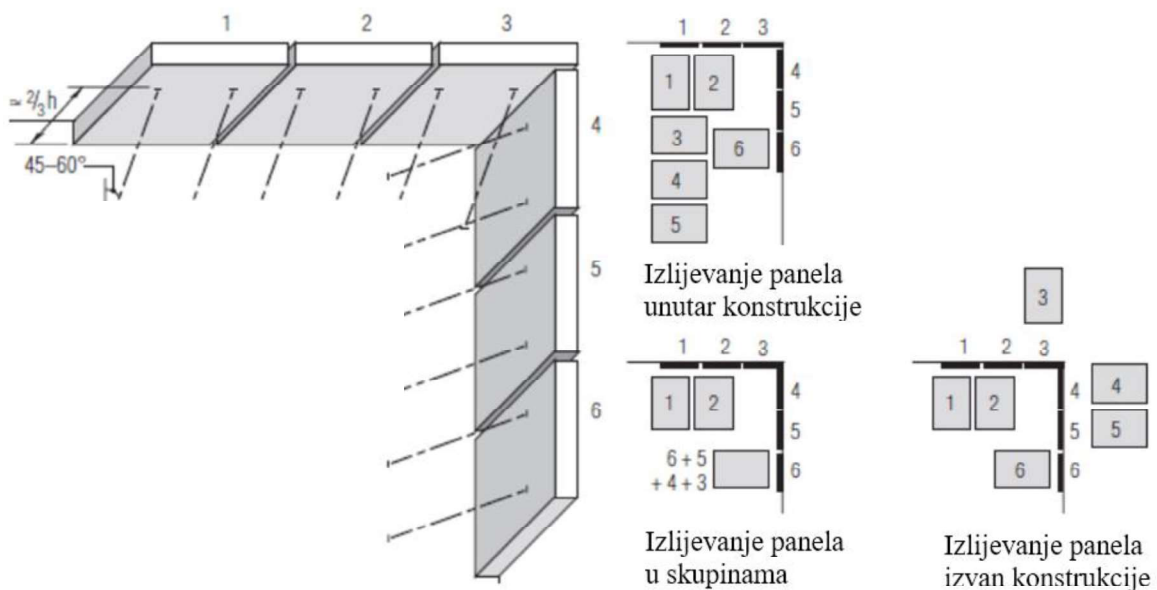
### 2.3.2 Betoniranje panela

Da bismo odredili mjesto na kojem ćemo betonirati panele u obzir moramo uzeti nekoliko faktora. Ako kao podlogu za betoniranje koristimo podnu ploču, površina, položaj spojeva i dilatacije podne ploče moraju biti usklađeni s mjestom izlijevanja panela. Potrebno je voditi računa o tome da se osigura pristup kamionima miješalicama za beton do mjesta betoniranja panela. Većina tilt-up panela se betonira tako da je vanjski dio dolje, ali neki paneli zahtijevaju da je vanjska strana panela na površini kako bi se mogla izvesti završna obrada. Uzimajući u obzir navedene faktore i prilagođavajući se potrebama podizanja panela, odlučujemo hoćemo li betoniranje vršiti pojedinačno na površini podne ploče ili ćemo izlijevati panele jedan na drugi. Ako odlučimo gomilati panele jedan na drugi (Slika 15), redoslijed betoniranja panela trebao bi odgovarati redoslijedu podizanja panela (panel koji prvi podižemo betonira se posljednji).



Slika 15: Redoslijed betoniranje panela u skupinama [3]

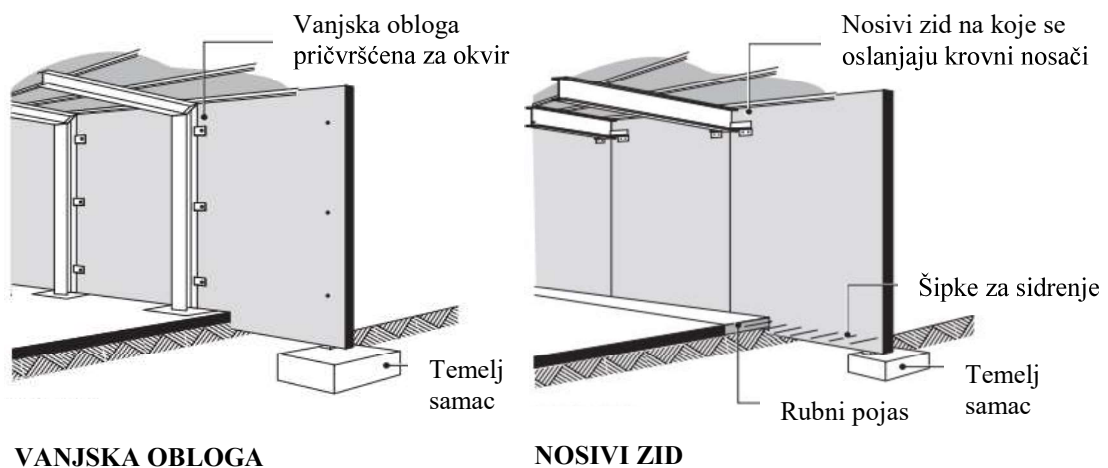
Međutim, manji paneli i paneli s otvorima izvode se na vrhu kako bismo izbjegli potrebu za izradom dodatne oplata u slučaju da se veći panel izvodi iznad manjega ili iznad panela s otvorima. To je potrebno izbjeći ne samo zbog povećanih troškova za izradu dodatne oplata, nego i zbog promjene u teksturi panela. Skupine naslaganih panela potrebno je smjestiti tako da se premještanje dizalice svode na minimum. Slika 16 prikazuje kako smještaj dizalice i sidrenje podupirača također utječe na položaj betoniranja panela [3].



Slika 16: Utjecaj podupirača na lokacije betoniranja panela [3]

### 2.3.3 Osnove proračuna i nosivosti tilt-up zidova

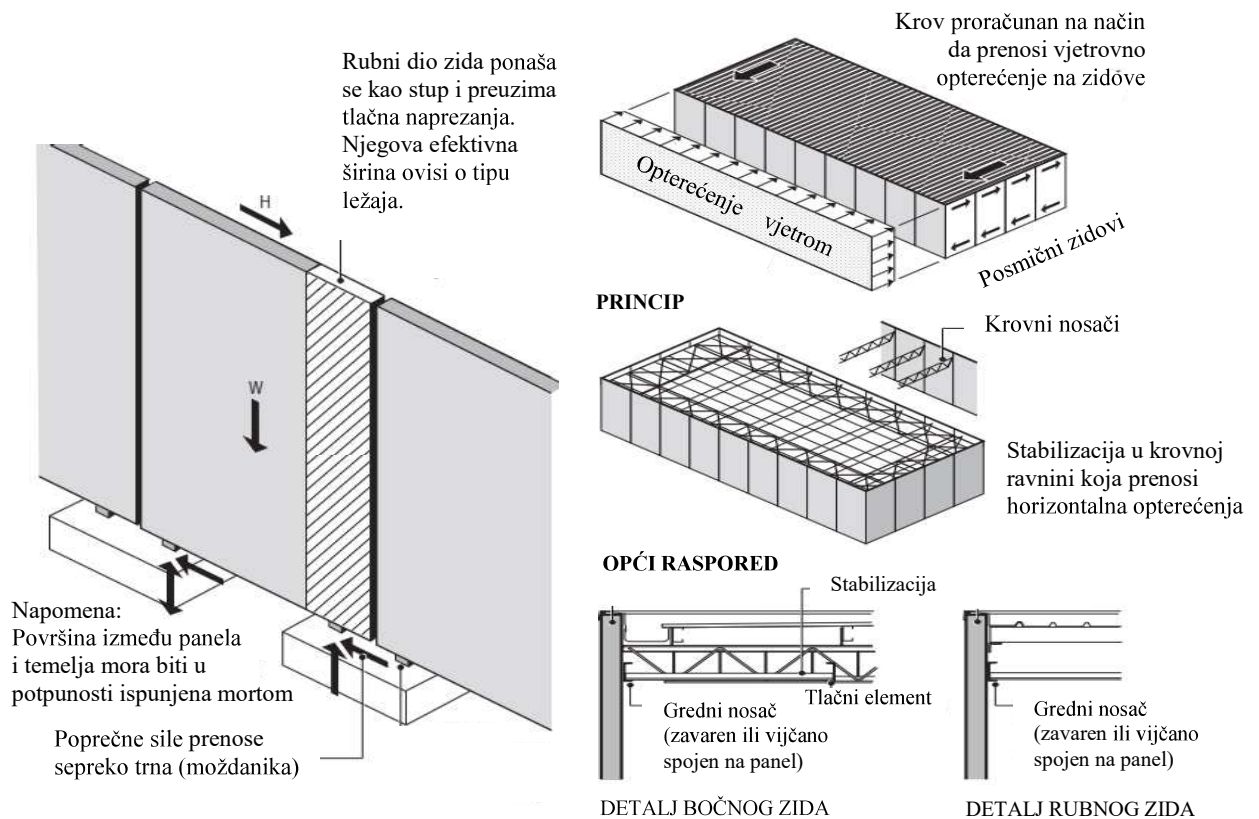
Princip statičkog proračuna tilt-up konstrukcije isti je kao i kod klasičnih konstrukcija. Tilt-up paneli mogu biti korišteni kao vanjska obloga konstrukcije ili kao nosivi zid (Slika 17). U svakom slučaju panel mora zadovoljiti niz neovisnih kriterija. Zidni paneli ne samo da moraju biti projektirani na opterećenja i uvjete kojima će biti izloženi u upotrebi, nego i za opterećenja tijekom montaže i privremenog podupiranja. Obično se određuje sistem građenja cjelokupne građevine, određuju se dimenzije panela i izgled buduće građevine. Nakon toga se paneli pojedinačno proračunavaju za podizanje i transport. Naposljetku, proračunava se konstrukcija za oslonjeno stanje (koju čine ojačanja i učvršćenja) dok se paneli ne uključe u konačnu konstrukciju.



Slika 17: Vrste panelnih sustava [3]

Nakon ugradnje panela, preuzimajući vertikalna i horizontalna opterećenja, paneli osiguravaju otpornost na horizontalne sile koje na njih djeluju. Krov je projektiran kao kruta dijafragma koja prenosi horizontalna opterećenja na zidove. Zidovi se ponašaju kao ukruta koja prenosi nanoseno opterećenje.





Slika 18: Mehanizam nosivosti na horizontalne sile [3]

Slika 19: Primjena tilt-up panela za prenošenje horizontalnih sila [3]

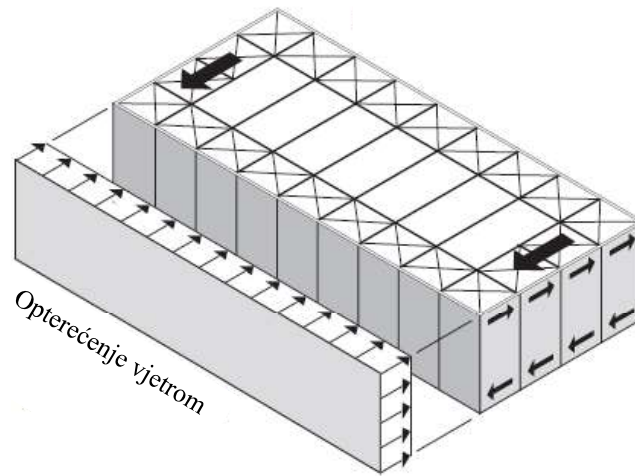
Paneli ne bi trebali biti čvrsto pričvršćeni zajedno kako bi se spriječilo pucanje uslijed skupljanja i temperaturnog rada betona. Dugačke panele treba podijeliti upotrebom pomičnih spojeva kako bi se omogućilo određeno pomicanje panela [4].

Proračun tilt-up konstrukcija dijeli se na proračunavanje na opterećenja prilikom uporabe konstrukcije i na opterećenja koja se javljaju prilikom podizanja panela u vertikalni položaj. S obzirom na to da se radi o različitim proračunima, glavni projektant nije dužan provoditi proračun za opterećenje prilikom podizanja panela. Taj dio proračuna može se provesti u sklopu izrade izvedbenih nacrti ili mogu biti provedene od strane proizvođača opreme ugrađene u panele koja služi za podizanje panela [3].

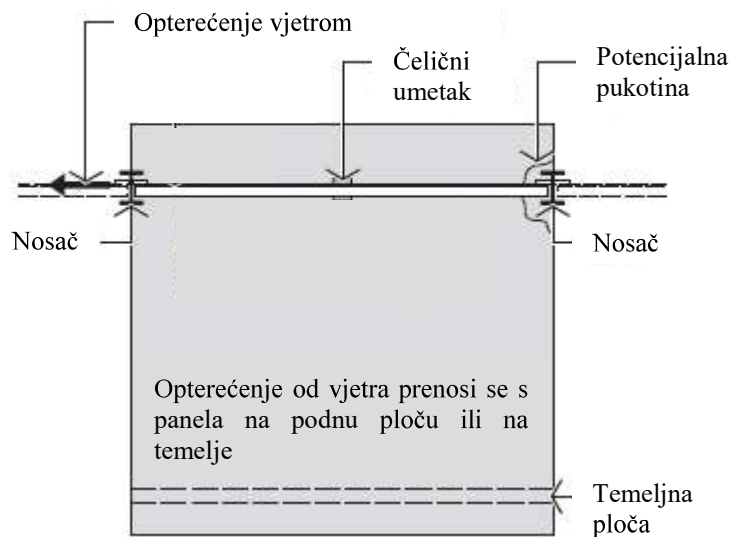
### 2.3.4 Stabilizacija krova

Stabilizacija krova služi za prijenos horizontalnog opterećenja (vjetra) na rubne zidne panele, koji se pri prijenosu opterećenja ponašaju kao posmični zidovi [3]. Opterećenje se prenosi putem stabilizacije na krovne nosače koji su oslonjeni na panele pomoću čeličnih umetaka, nosači tako predaju sile hijerarhijski na niže dijelove konstrukcije. Stabilizaciju

krova potrebno je smjestiti u svako polje kako bi se omogućio ispravan prijenos horizontalnog opterećenja na zidove.



Slika 20: Stabilizacije na krovu [3]



Slika 21: Prijenos horizontalnog opterećenja na panel [3]

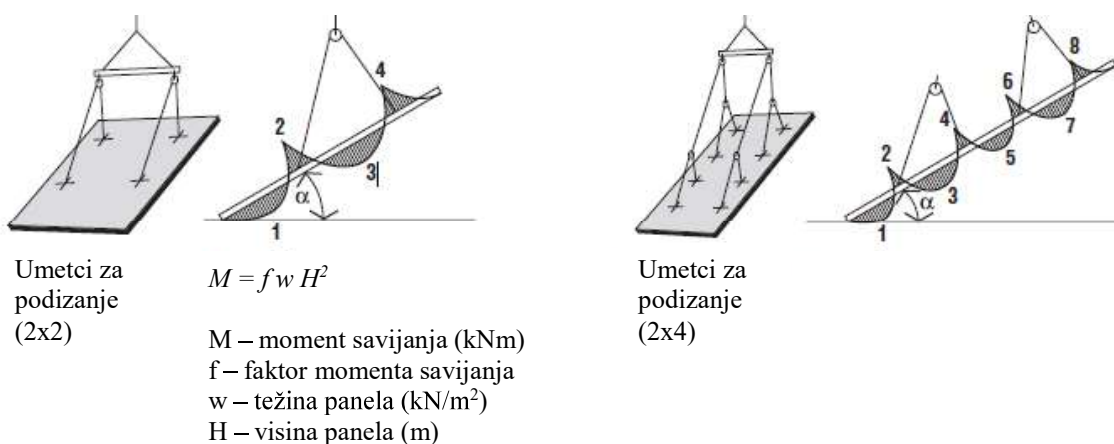
### 3. PODIZANJE PANELA

#### 3.1 Općenito

Podizanje panela iz horizontalnog u vertikalni položaj, odnosno sile koje se tada javljaju, predstavljaju dominantno opterećenje na panel. Prilikom proračuna potrebno je uzeti u obzir vlastitu težinu panela, opterećenje od vakuuma koji se stvara prilikom odvajanja panela od mjesta izlijevanja, te dinamičko opterećenje koje se pojavljuje podizanjem s mjesta izlijevanja te prijenosom panela pomoću dizalice [3]. Osim kod proračuna panela, navedena opterećenja treba uzeti u obzir i kod odabira umetaka za podizanje.

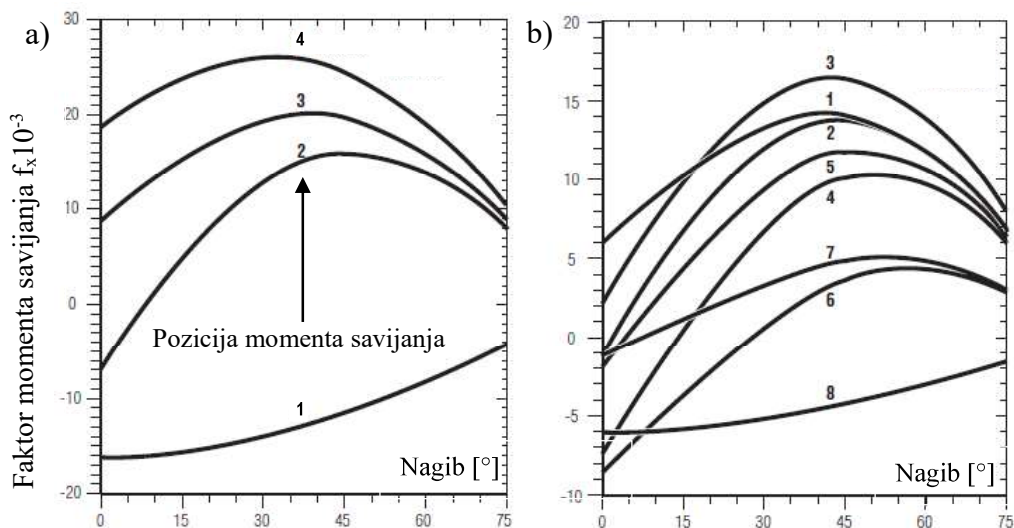
#### 3.2 Opterećenje prilikom podizanja panela

Opterećenja odvajanja panela od mjesta izlijevanja, te dinamičko opterećenje koje se pojavljuje podizanjem s mjesta izlijevanja te prijenosom panela pomoću dizalice definirana su normama. Proračun na navedena opterećenja u potpunosti je drugačiji od proračuna na opterećenja prilikom uporabe konstrukcije. Najveća razlika je način uzimanja u obzir momenta savijanja. U proračunu za uporabno opterećenje, panel se proračunava na faktorizirana djelovanja i opterećenja, a za beton se pretpostavlja raspucano stanje. Kod proračuna za podizanje pretpostavlja se da beton preuzima naprezanja od nanesenog opterećenja (uključujući i dinamičko opterećenje) u neraspucanom stanju [3]. Ukoliko proračunom vlačno naprezanje u betonu uzrokovano momentom savijanja prijeđe dopuštene vrijednosti, potrebno je postaviti dodatnu armaturu.



Slika 22: Momenti savijanja uzrokovani podizanjem panela ovise o rasporedu umetaka za podizanje [3]

Prilikom podizanja panela beton mora imati dovoljnu tlačnu čvrstoću kako bi mogao preuzeti naprezanja uzrokovana podizanjem. Paneli se obično podižu tri do sedam dana nakon betoniranja. Beton u tom kratkom vremenskom roku ne dostiže svoju punu projektiranu čvrstoću, te je to potrebno uzeti u obzir prilikom odabira klase betona. Analiza maksimalnih naprezanja prilikom podizanja je statički određena, ali kompleksna zbog redistribucije sila i momenata unutar panela zbog promijene nagiba iz horizontalnog u vertikalni položaj. Uobičajena je numerička provedba takvih proračuna pomoću računala. Numerički proračun omogućuje provjeru naprezanja prilikom inkrementalnog povećavanja nagiba panela. Kritično naprezanje ovisi o rasporedu i količini otvora, te broju i rasporedu umetaka za podizanje na panelima. Kod panela bez otvora s dva ili više umetka do kritičnih naprezanja dolazi kod nagiba  $30^{\circ}$ - $50^{\circ}$  u odnosu na horizontalu, dok se kod panela s jednim umetkom kritično naprezanje pojavljuje kada je panel u gotovo horizontalnom položaju [3]. Kod preliminarnog odabira veličine panela mogu se koristiti dijagrami utjecajnih linija za momente savijanja prilikom rotacije panela (Slika 23). Ovi dijagrami primjenjivi su samo za pravokutne panele bez otvora. Za panele s otvorima ili nepravilnim oblikom, potrebno je provoditi detaljnije analize.



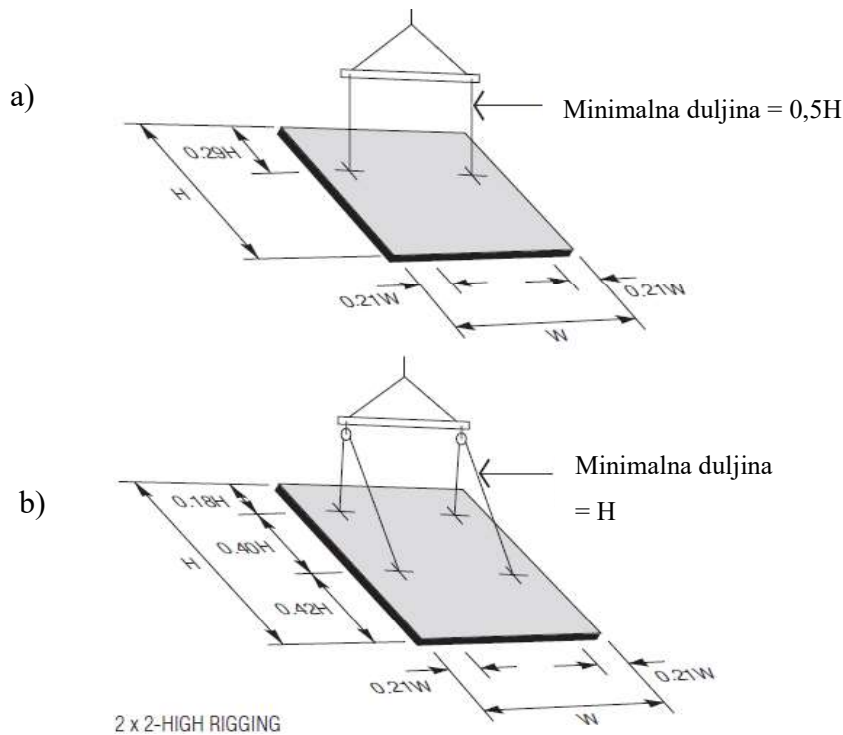
Slika 23: Dijagrami utjecajnih linija za momente savijanja prilikom rotacije panela [3]

a) Raspored umetaka za podizanje 2x2

b) Raspored umetaka za podizanje 2x4

### 3.3 Pozicioniranje umetaka za podizanje

Sustavi za podizanje konfigurirani su tako da kablovi prolaze kroz dvije koloture. Takva konfiguracija omogućuje ravnomjeren raspored sila na svaki umetak. Na Slika 24 prikazana su moguća rješenja rasporeda umetaka za podizanje. Za panele nepravilnih oblika potrebne su nestandardne konfiguracije umetaka za podizanje. Takvi slučajevi rješavaju se numeričkim modelima.



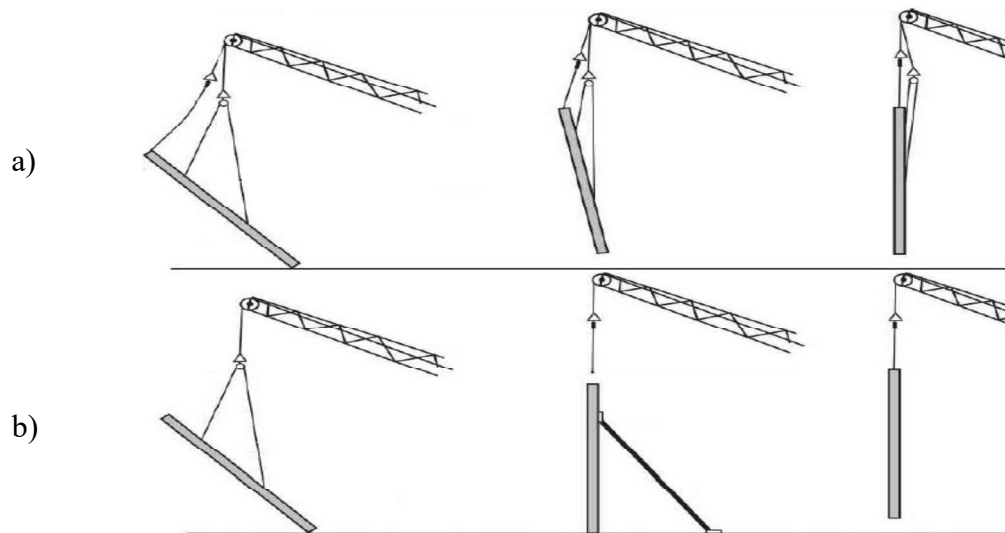
Slika 24: Mogućnosti postavljanja umetaka za podizanje [3]

- a) Raspored umetaka za podizanje 2x2
- b) Raspored umetaka za podizanje 2x4

### 3.4 Podizanje panela iz horizontalnog u vertikalni položaj

Nakon očvršćavanja betona, panel se pozicionira u konačni (vertikalni) položaj. Taj postupak može se izvesti na dva načina [5]:

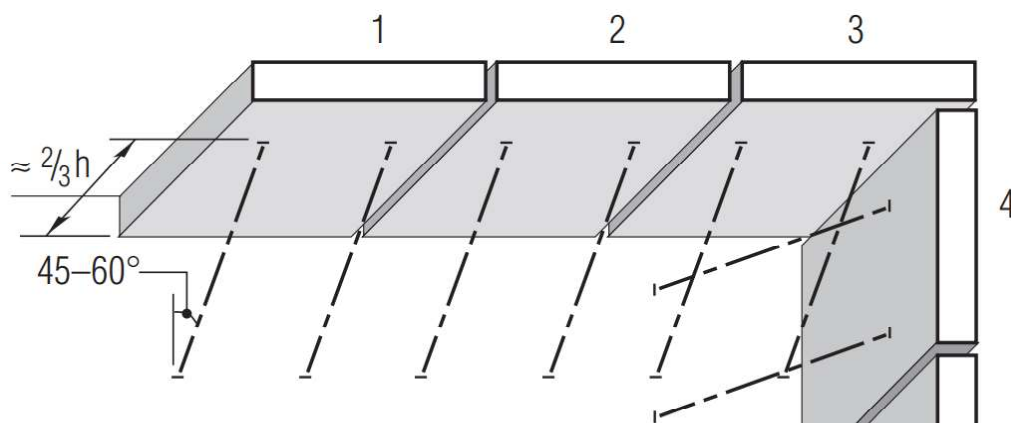
- a) Podizanje u vertikalni položaj u zraku (metoda s dva kabla)
- b) Podizanje u vertikalni položaj pomoću podupirača (metoda s jednim kablom)



Slika 25: Metode podizanja panela u vertikalni položaj [5]

#### 4. PODUPIRANJE PANELA

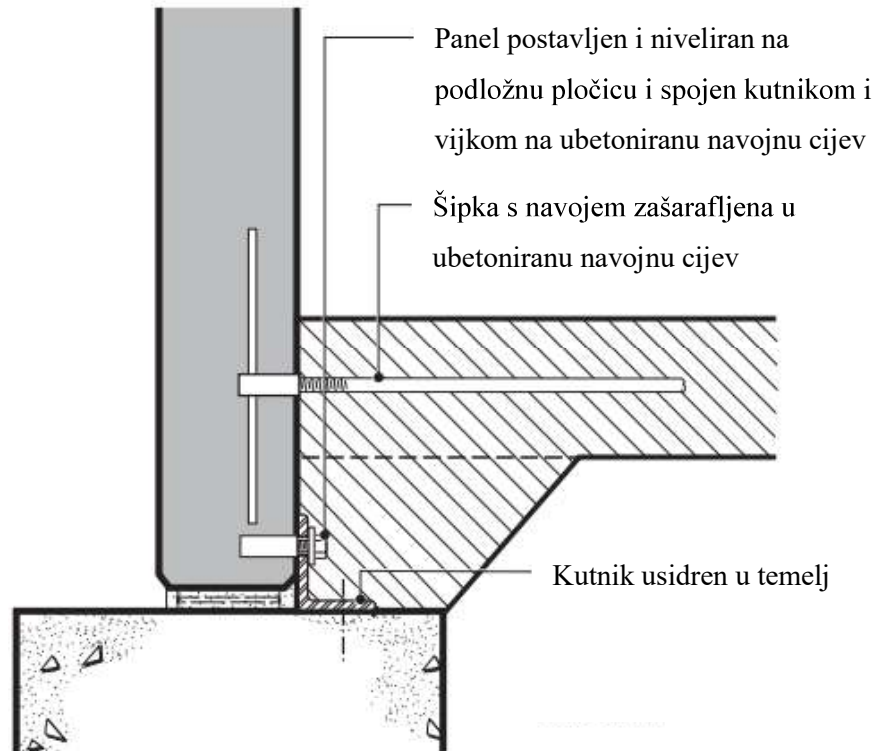
Sustav podupiranja panela osigurava stabilnost panela od prevrtanja. Najčešće se koriste dva podupirača postavljena na istoj visini, simetrično udaljeni od centralne osi panela (Slika 26). Podupirači se sidre u umetke u panelu i u temeljnu ploču. Podupirače je potrebno usidriti na umetke u panelu prije podizanja panela. Kako bi osigurala odgovarajuće uvjete za sidrenje, temeljna ploča ne smije biti tanja od 15 cm. Podupirači se ne smiju uklanjati dok se ne završi povezivanje panela sa stropnom ili krovnom konstrukcijom.



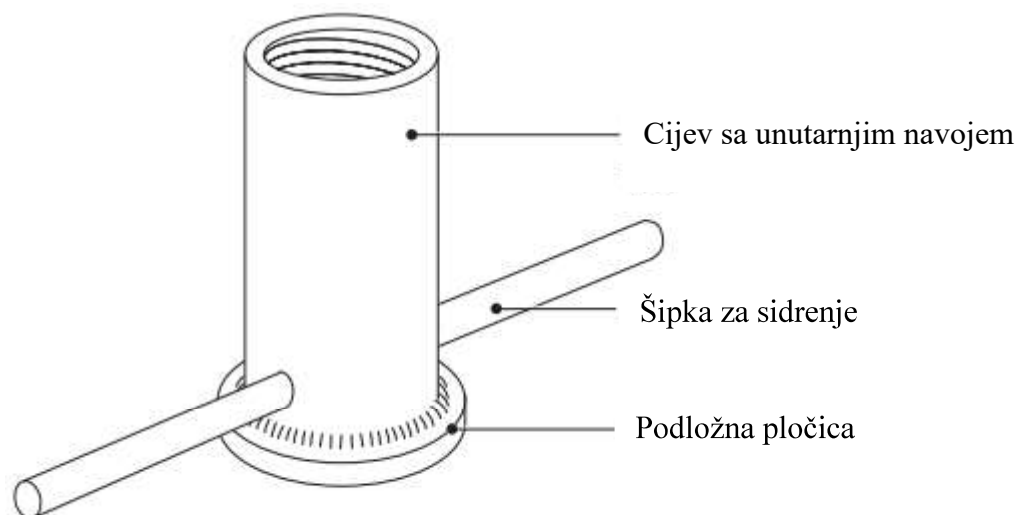
Slika 26: Postavljanje podupirača [3]

## 5. DETALJI SPOJEVA PANELA

### 5.1 Detalj spoja panela i temelja

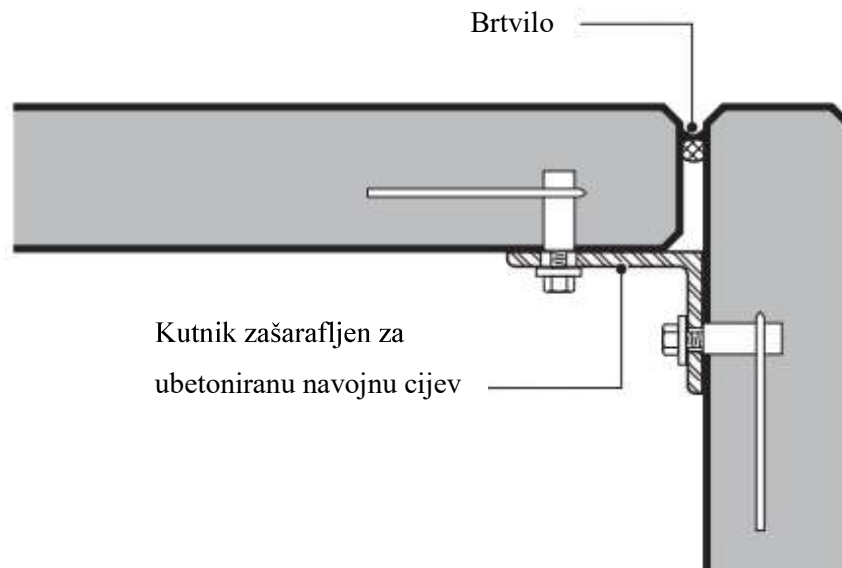


Slika 27: Spoj panela i temelja [3]

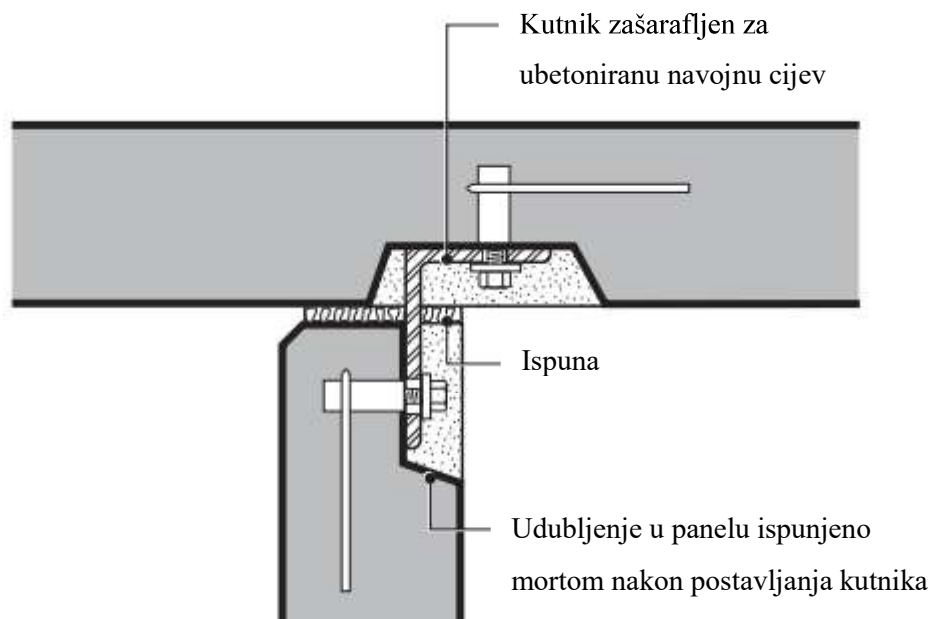


Slika 28: Navojna cijev koja se ugrađuje u zidne panele [3]

## 5.2 Detalj spoja dvaju panela



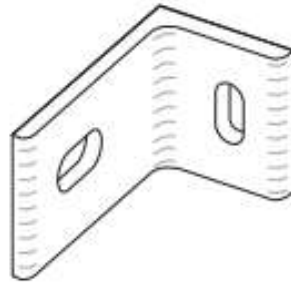
Slika 29: Spoj panela na vanjskom kutu [4]



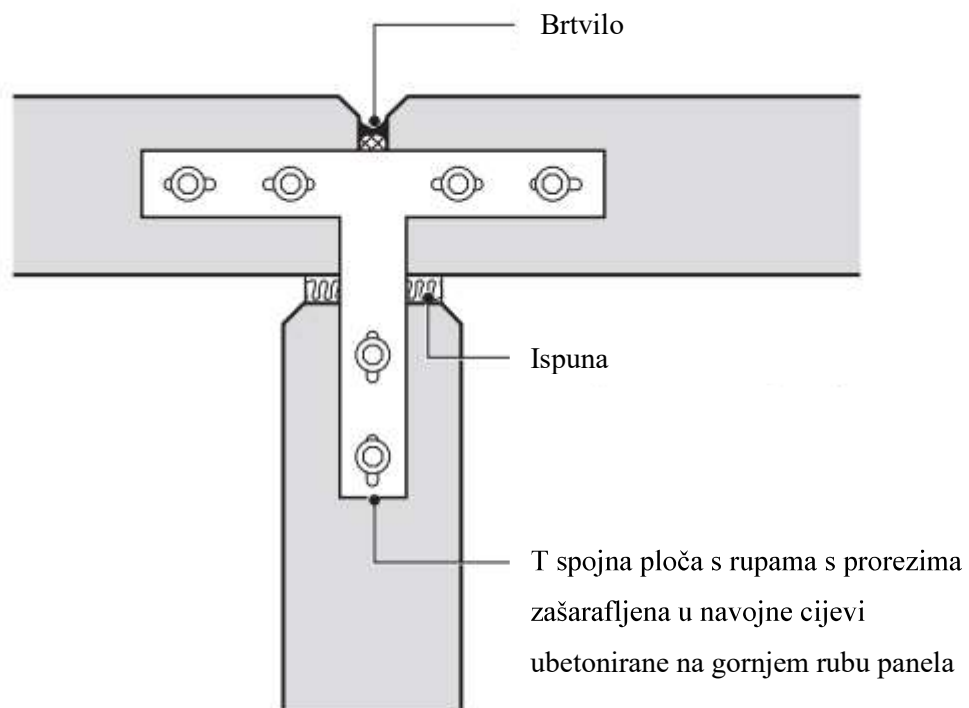
Slika 30: T-spoj panela (izveden u udubljenju) [3]

Da bi se omogućio rad materijala, potrebno je koristiti kutnik s rupama s prorezima (Slika 31).





Slika 31: Kutnik za spajanje panela [3]

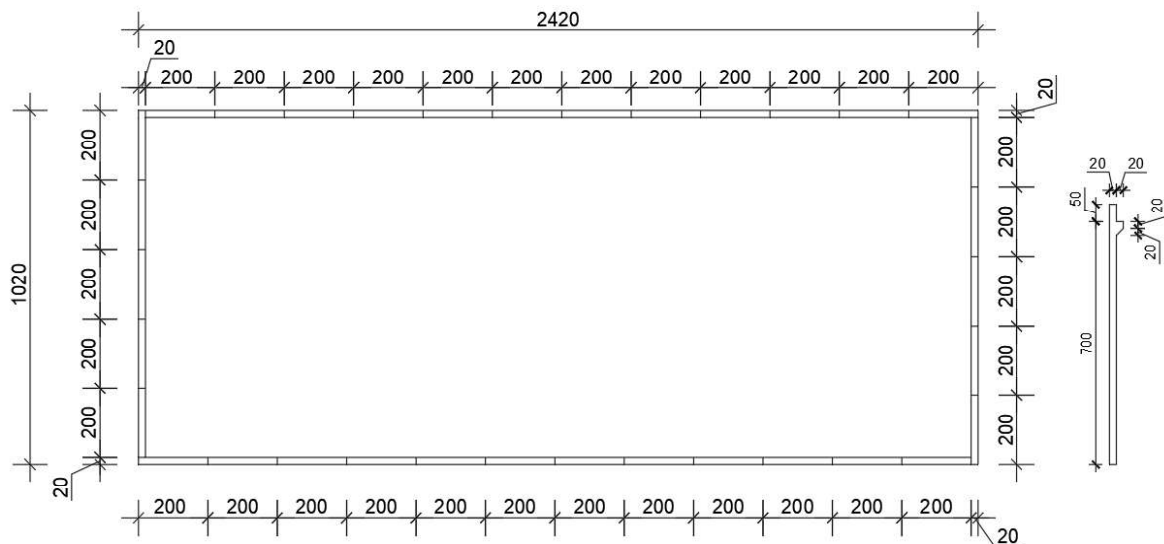


Slika 32: T-spoj panela (spoj na gornjem rubu panela) [3]

## 6. PRORAČUN ARMATURE TILT-UP ZIDNOG PANELA

### 6.1 Općenito

U nastavku je prikazan proračun armiranobetonskog zidnog panela montažne konstrukcije pravokutnog tlocrta dimenzija 10,20 x 24,20 m, smještene u Bjelovaru. Na Slika 33 prikazana je podjela građevine na panele.



Slika 33: Podjela građevine na panele - paneliziranje

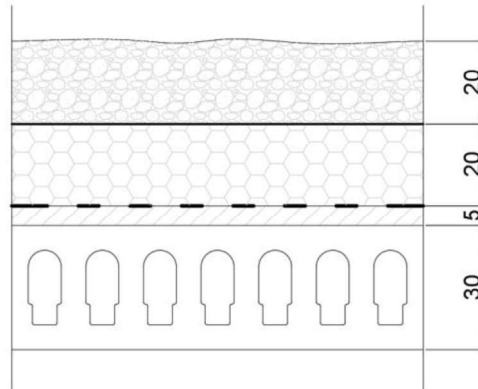
Statički proračun i dimenzioniranje zidnih panela proveden je za sljedeća djelovanja:

- vlastita težina
- uporabno opterećenje
- snijeg
- vjetar

Zidni paneli dimenzionirani su prema propisima: HRN EN 1992-1-1 [6].

Odabrana je kakvoća betona C30/37, a armatura je B500B.

## 6.2 Analiza opterećenja



Slika 34: Slojevi ravnog krova

### 6.2.1 Stalno opterećenje

SLOJ	Težina sloja [kN/m <sup>3</sup> ]	Debljina sloja [m]	Opterećenje [kN/m <sup>2</sup> ]
šljunak	18,00	0,20	3,60
geotekstil	1,67	0,005	0,01
XPS	0,45	0,20	0,09
HI	14,00	0,005	0,07
Beton za pad	22,00	0,05	1,10
Prednapregnute šuplje ploče	15,00	0,30	4,50
<b>Ukupno [kN/m<sup>2</sup>]</b>		<b><math>g_k =</math></b>	<b>9,36</b>

### 6.2.2 Promjenljivo opterećenje

#### *Snijeg*

Karakteristično opterećenje snijegom za Bjelovar, za nadmorsku visinu od 133 m prema HRN EN 1991-1-3:2012 iznosi  $s_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$ .

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad \text{– ukupno opterećenje snijegom}$$

$$\mu_1 = 0,8 \text{ za ravni krov} \quad \text{– koeficijent oblika za ravni krov}$$

$$C_e = 1,0 \quad \text{– koeficijent izloženosti.}$$

$$C_t = 1,0 \quad \text{– temperaturni koeficijent zbog zagrijavanja zgrade.}$$

Ukupno promjenljivo opterećenje od snijega:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25 = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

### ***Vjetar - krov***

Djelovanje vjetra na ravni krov je pretežito odižuće što nam povoljno utječe na proračun, zbog toga zanemarujemo djelovanje vjetra na ravni krov.

### ***Uporabno opterećenje za krov kategorije H***

$$q = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

### ***Vjetar – zid***

Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra  $v_{b,0}$  za Bjelovar prema HRN EN 1991-1-4:2012 iznosi 20,0 m/s. Osnovna brzina vjetra :

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 20,0 = 20,0 \frac{m}{s}$$

Tlak vjetra koji djeluje na vanjske površine:

$$w_e = q_p(Z_e) \cdot C_{pe}$$

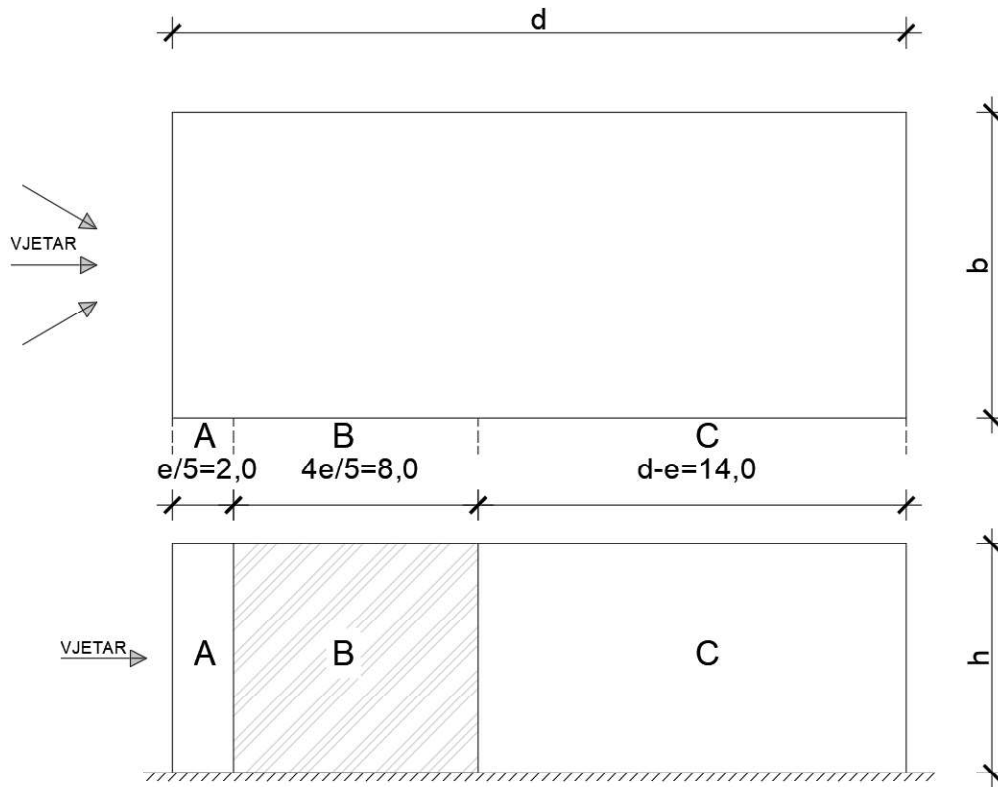
$$q_p(Z_e) = q_b \cdot C_e(Z_e)$$

$$q_b = \rho / 2 \cdot v_b^2 = 1,25/2 \cdot 20,0^2 = 250 \text{ N/m}^2 = 0,25 \text{ kN/mm}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ – gustoća zraka}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kategorija zemljišta III} \\ Z_e = h = 7,5 \text{ m} \\ C_0 = 1 \end{array} \right\} C_{e(7,5)} \cong 1,6$$

$$q_p(Z_e) = 1,6 \cdot 0,25 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

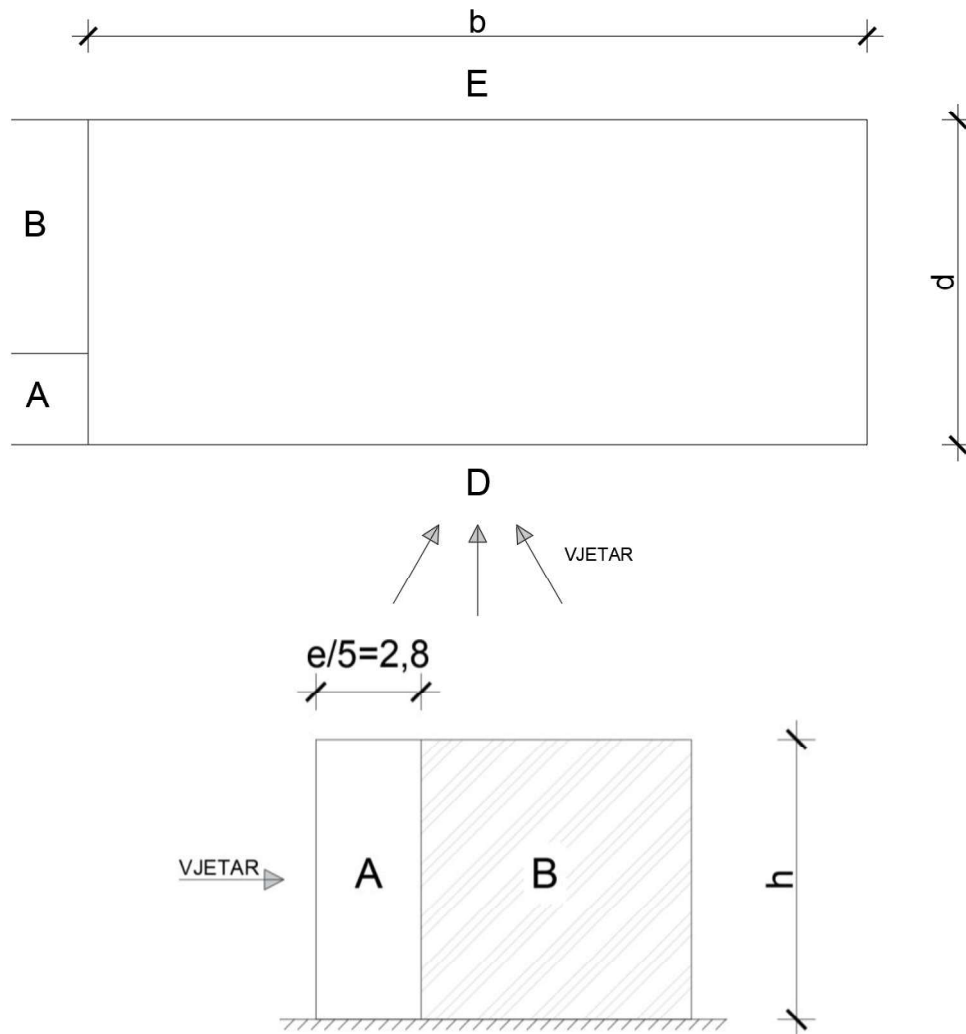
**Slučaj 1: vjetar okomit na zabat**


Slika 35: Plohe utjecaja opterećenja od vjetra okomitog na zabat

 Min:  $e = b = 10\text{m}$ 
 $e = 2h = 2 \cdot 7 = 14\text{m}$ 
 $h/d = 7/20 = 0,35$ 
 $d = 24\text{m}$ 
 $e < d$ 

Tablica 2: Vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada za vjetar okomit na zabat

Zona	A	B	C	D	E
$C_{pe}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,8	-0,5

**Slučaj 2: vjetar okomit na bočnu fasadu**


Slika 36: Plohe utjecaja opterećenja od vjetra okomitog na bočnu fasadu

$$\text{Min: } e = b = 24\text{m}$$

$$e = 2h = 2 \cdot 7 = 14\text{m}$$

$$h/d = 7/10 = 0,7 \rightarrow \text{očitano za } 1,0$$

$$d = 10\text{m}$$

$$e > d$$

Tablica 3: Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada za vjetar okomit na bočnu fasadu

Zona	A	B	D	E
$C_{pe}$	-1,2	-0,8	+0,8	-0,5

Dimenzioniranje će se provesti samo za najveću vrijednost opterećenja:

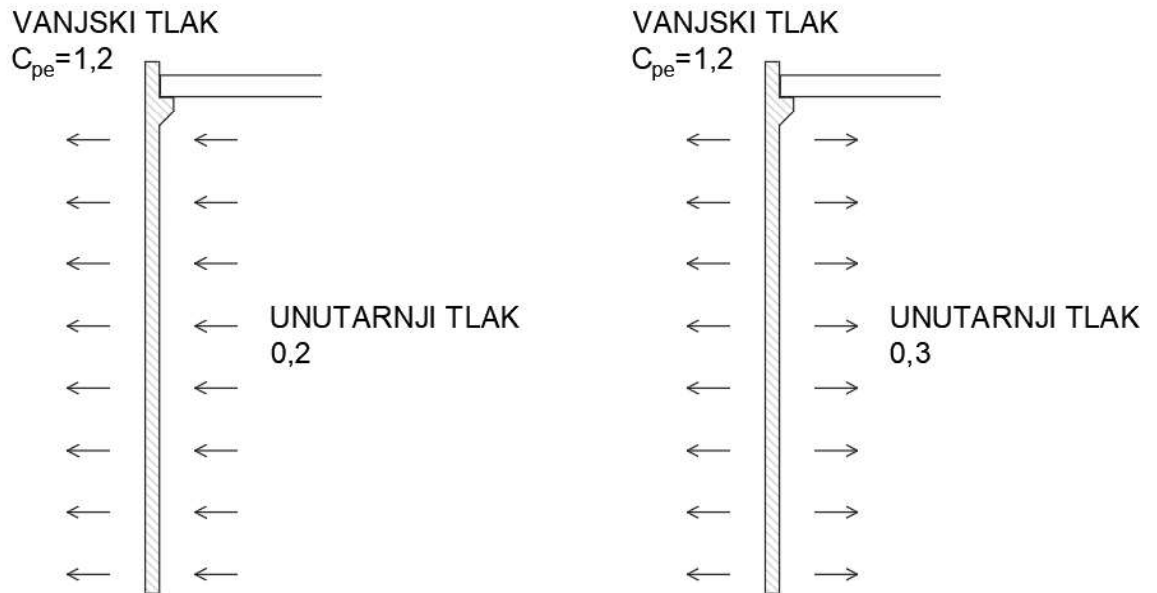
Za površinu A očitani su maksimalni koeficijenti vanjskog tlaka:  $C_{pe,a} = -1,2$  (usis)

Tlak vjetra koji djeluje na unutarnju površinu  $w_i = q_p(z_i) \cdot C_{pi}$

Kada raspored i veličina otvora nisu poznati može se za najnepovoljniji slučaj pretpostaviti:

$$C_{pi} = +0,2 \text{ (tlak)}$$

$$C_{pi} = -0,3 \text{ (usis)}$$



Slika 37: Tlak vjetra na površine

$$\Sigma C_p = 1,2 + 0,2 = 1,4 \leftarrow \text{mjerodavno}$$

$$\Sigma C_p = 1,2 - 0,3 = 0,9$$

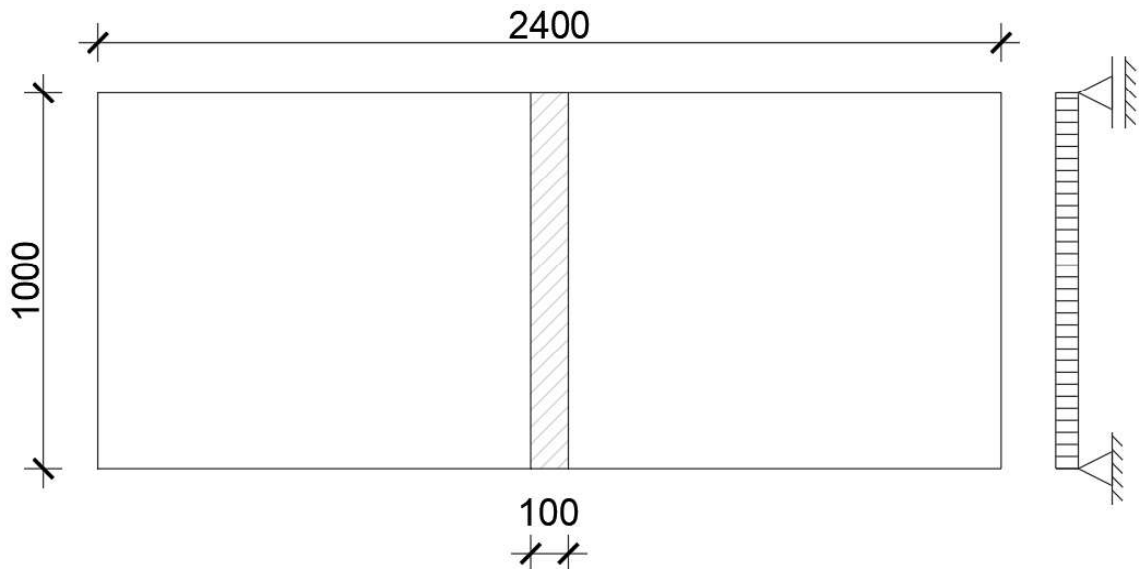
Rezultantni tlak vjetra (vanjski+unutarnji)

$$w = w_e \cdot w_i = \Sigma C_p \cdot q_p(Z_e)$$

$$w = 1,4 \cdot 0,4$$

$$w = 0,56 \text{ kN/m}^2 \text{ (usis)}$$

### 6.3 Dimenzioniranje zidnog panela



Slika 38: Tlocrt zgrade sa prikazom statičkog sustava krovne konstrukcije

#### 6.3.1 Reakcije od krova

Stalno

$$R_G = g_k \cdot l/2 = 9,36 \cdot 10,0/2,0 = 46,8 \text{ kN/m'}$$

Snijeg

$$R_s = s \cdot l/2 = 1,0 \cdot 10,0/2 = 5,0 \text{ kN/m'}$$

Servisno

$$R_Q = q \cdot l/2 = 0,6 \cdot 10,0/2 = 3,0 \text{ kN/m'}$$

#### 6.3.2 Vlastita težina zida

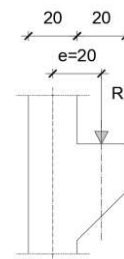
$$G_z = \gamma_{bet} \cdot t \cdot (h + h_{nadozid}) = 25,0 \cdot 0,2 \cdot (7,0 + 0,5) = 37,5 \text{ kN/m'}$$

#### 6.3.3 Momenti savijanja uslijed ekscentričnosti:

$$M_{G,e} = R_G \cdot e = 46,8 \cdot 0,2 = 9,36 \text{ kNm}$$

$$M_{S,e} = R_s \cdot e = 5,0 \cdot 0,2 = 1,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Q,e} = R_Q \cdot e = 3,0 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ kNm}$$

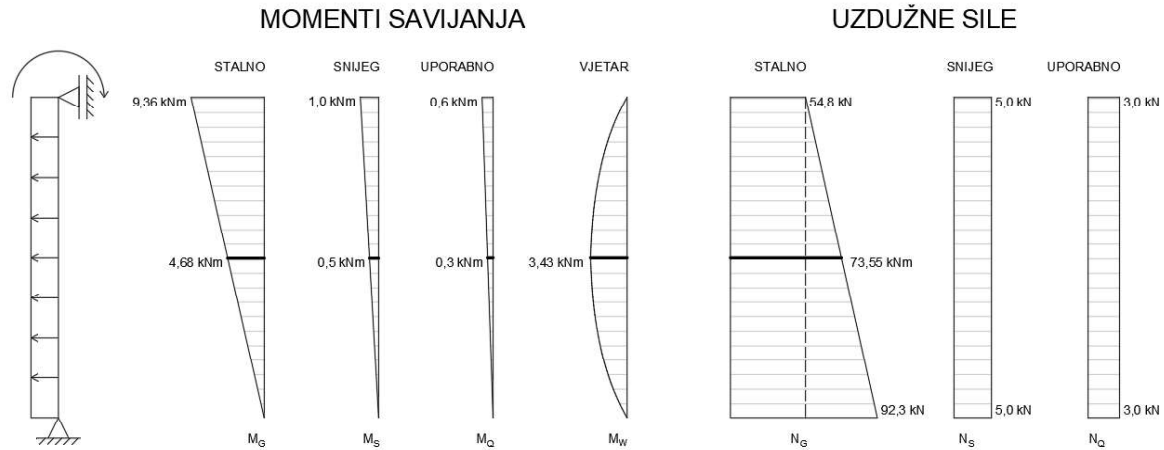


#### 6.3.4 Momenti savijanja od vjetra

$$M_w = \frac{w \cdot l^2}{8} = \frac{0,56 \cdot 7^2}{8} = 3,43 \text{ kNm}$$

#### 6.3.5 Dijagrami unutarnjih sila





Slika 39: Dijagrami unutarnjih sila

### 6.3.6 Proračunske vrijednosti momenta savijanja i unutarnjih sila za kombinacije opterećenja:

$\psi_0 = 0,5$  za prateće opterećenje snijegom

$\psi_0 = 0,6$  za prateće opterećenje vjetrom (<1000 m.n.m.)

$\psi_0 = 0$  za kategoriju H (krovovi)

#### “stalno + vjetar + snijeg + uporabno”

Moment savijanja:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_G + 1,5 \cdot M_W + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_S + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_Q$$

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot 4,68 + 1,5 \cdot 3,43 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 + 1,5 \cdot 0 \cdot 0,6$$

$$M_{Ed} = 11,84 \text{ kNm/m'}$$

Uzdužna sila:

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot N_G + 1,5 \cdot N_W + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot N_S + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot N_Q$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 73,55 + 1,5 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 5 + 1,5 \cdot 0 \cdot 3$$

$$N_{Ed} = 103,04 \text{ kN/m'}$$

#### “stalno + snijeg + vjetar + uporabno”

Moment savijanja:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_G + 1,5 \cdot M_S + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_W + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_Q$$

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot 4,68 + 1,5 \cdot 0,5 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 3,43 + 1,5 \cdot 0 \cdot 0,3$$

$$M_{Ed} = 10,16 \text{ kNm/m'}$$

Uzdužna sila:

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot N_G + 1,5 \cdot N_S + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot N_W + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot N_Q$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 73,55 + 1,5 \cdot 5,0 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 \cdot 3,0$$

$$N_{Ed} = 106,79 \text{ kN/m'}$$

**“stalno + uporabno + vjetar + snijeg”**

Moment savijanja:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_g + 1,5 \cdot M_Q + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_W + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_S$$

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot 4,68 + 1,5 \cdot 0,3 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 3,43 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5$$

$$M_{Ed} = 10,23 \text{ kNm/m'}$$

Uzdužna sila:

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot N_G + 1,5 \cdot N_Q + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot N_W + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot N_S$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 73,55 + 1,5 \cdot 3,0 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0$$

$$N_{Ed} = 103,79 \text{ kN/m'}$$

Dobivene proračunske vrijednosti vrlo su slične za sve tri proračunske kombinacije, pa se za proračun koriste sljedeće vrijednosti:

$$M_{Ed} = 12,00 \text{ kNm/m'}$$

$$N_{Ed} = 107,00 \text{ kN/m'}$$

**6.3.7 Granična vitkost elemenata  $\lambda_{lim}$** 

Ukoliko je zadovoljen sljedeći uvjet nije potrebno provoditi povećanje učinaka uslijed vitkosti elementa:

$$\lambda = \frac{l_0}{l_i} < \lambda_{lim}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{0,289 \cdot b}$$

$$\lambda = \frac{7,0}{0,289 \cdot 0,2}$$

$$\lambda = 121,11$$

b - debljina zida

$l_0 = l$  – duljina izvijanja

Granična vitkost:

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}}$$

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,02675}}$$

$$\lambda_{lim} = 65,9$$

$$A = 0,7$$

$$B = 1,1$$

$$C = 0,7$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}}$$

$$n = \frac{214,0 * 10^3}{200 * 2000 * 20} = 0,02675$$

C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1 * \frac{30}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$$

Za panel dimenzija b/h = 2m/7m  $N_{ed} = 107,0 * 2,0 = 214,0 \text{ kN}$

$\lambda = 121,11 > \lambda_{lim} = 65,9 \rightarrow$  **potrebno je provesti proračun uzimajući u obzir učinke teorije drugog reda**

## 6.4 Dimenzioniranje

### 6.4.1 Materijal:

Beton: C30/37

$f_{cd}$  – proračunska čvrstoća betona

$\alpha_{cc}$  – koeficijent dugotrajnih učinaka na tlačnu čvrstoću

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1 * \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ N/mm}^2$$

Čelik: B500B

$f_{yd}$  – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,5} = 434,78 \text{ N/mm}^2$$

Visina presjeka:

$$h = 20 \text{ cm}$$

Statička visina presjeka:

$$d = h - d_1 = 20 - 3,5 = 16,5 \text{ cm}$$

Udaljenost težišta vlačne armature od vlačnog ruba:  $d_1 = c + \frac{\emptyset}{2} = 3,0 + \frac{1,0}{2} = 3,5 \text{ cm}$

### 6.4.2 Teorija drugog reda – Metoda nazivne zakrivljenosti [7]

Za panel širine 200 cm:  $M_{Ed} = 12,00 \text{ kNm/m}' * 2 \text{ m} = 24 \text{ kNm}$   
 $N_{Ed} = 107,00 \text{ kN/m}' * 2 \text{ m} = 214 \text{ kN}$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{24}{214} = 0,112 \text{ m}$$

$$e_i = \theta_i * \frac{l_0}{2}$$

$$\theta_i = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m$$

$$\theta_0 = \frac{1}{200}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} = \frac{2}{\sqrt{7}} = 0,756 ; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_m = 1$$

$$e_i = \frac{1}{200} * 0,756 * 1,0 * \frac{7,0}{2} = 0,013 \text{ m}$$

$$e_2 = \frac{1}{r} * \frac{l_0^2}{c}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{ES} = \frac{434,78}{20000} = 0,00217$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{2 * \varepsilon_{yd}}{0,9 * d} = \frac{2 * 0,00217}{0,9 * 0,165} = 0,0292 \frac{1}{m}$$

$$n = \frac{N_{ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{214 * 10^3}{200 * 2000 * 20} = 0,02675$$

$$w = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{4,02 * 43,478}{20 * 200 * 20} = 0,02185$$

$A_s$  pretpostavljeno -  $\varnothing 8/12,5 = 4,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$

$$n_u = 1 + w = 1,02185$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1,0$$

$$K_r = \frac{1,02185 - 0,02675}{1,02185 - 0,4} = 1,69 > 1,0 \rightarrow K_r = 1,0$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{121,11}{150} = -0,307$$

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * 200 * 20}{(200 + 20) * 2} = 18,18 \text{ cm} \rightarrow \varphi(\infty, t_0) = 2,0$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) * \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 2,0 * \frac{1}{\approx 1,4} = 1,429$$

$$K_\varphi = 1 + \beta * \varphi_{ef} \geq 1,0$$

$$K_\varphi = 1 - 0,307 * 1,429 = 0,561 < 1,0 \rightarrow K_\varphi = 1,0$$

$$\frac{1}{r} = K_r * K_\varphi * \frac{1}{r_0} = 1,0 * 1,0 * 0,0292 = 0,0292 \frac{1}{m}$$

$$e_2 = \frac{1}{r} * \frac{l_0^2}{c} = 0,0292 * \frac{7,0^2}{10} = 0,143m$$

$$c = 10,0$$

$$e_{tot} = e_o + e_i + e_2 = 0,112 + 0,013 + 0,143 = 0,268 m$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} * e_{tot} = 214,0 * 0,268 = 57,35 kNm \text{ za cijeli panel}$$

Dimenzioniranje pomoću dijagrama interakcije [8]

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b * h * f_{cd}} = \frac{-214,0}{200 * 20 * 2,0} = -0,027$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{5735}{200 * 20^2 * 2,0} = 0,036$$

Simetrično armirani presjek ( $\beta = \frac{A_{s2}}{A_{s1}} = 1,0$ )  $\rightarrow$  očitano  $\omega = 0,025$

$$A_{s,1} = A_{s,2} = \omega * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * b * h = 0,025 * \frac{20}{434,8} * 200 * 20 = 4,6 \text{ cm}^2/2m'$$

$$A_{s,1} = A_{s,2} = 2,3 \text{ cm}^2/m' \text{ (za svaku stranu)}$$

$$A_{s,req} = A_{s,1} + A_{s,2} = 9,2 \text{ cm}^2/2m' = 4,6 \text{ cm}^2/m'$$

### 6.4.3 Minimalna armatura

Vertikalna (za obje strane zida)

$$A_{sv,min} = 0,002A_c = 0,002 * 200 * 20 = 8,0 \text{ cm}^2/2m' = 4,0 \text{ cm}^2/m'$$

$$A_{sv,min} = 2,0 \text{ cm}^2/m' \text{ (za svaku stranu)}$$

Horizontalna (za obje strane zida)

$$A_{sh,min} = 0,25 * A_{sv} = 0,25 * 8,0 = 2,0 \text{ cm}^2/2m' = 1,0 \text{ cm}^2/1m'$$

$$A_{sh,min} = 0,001 * A_c = 0,001 * 200 * 20 = 4,0 \text{ cm}^2/2m' = 2,0 \text{ cm}^2/m'$$

$$A_{sh,min} = 1,0 \text{ cm}^2/m' \rightarrow \text{mjerodavno (za svaku stranu)}$$

### 6.4.4 Maksimalna armatura

$$A_{s,max} = 0,04A_c = 0,04 * 200 * 20 = 160 \text{ cm}^2/2m' = 80 \text{ cm}^2/m'$$

#### 6.4.5 Odabrana armatura

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

VERTIKALNA ARMATURA:

$$A_{s,req} = 2,3 \text{ cm}^2/\text{m}' \text{ (za svaku stranu)}$$

$$A_{s,prov} = 4\emptyset 10 = 3,14 \text{ cm}^2/\text{m}' \text{ (za svaku stranu)}$$

$$A_{s,prov} = \emptyset 10/25 \text{ cm}$$

$$\text{ukupno za dvije strane: } 8\emptyset 10 = 6,28 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{ukupno za panel širine 2 m: } 16\emptyset 10 = 12,56 \text{ cm}^2$$

HORIZONTALNA ARMATURA:

$$A_{s,req} = 1,0 \text{ cm}^2/\text{m}' \text{ (za svaku stranu)}$$

$$A_{s,prov} = 4\emptyset 6 = 1,13 \text{ cm}^2/\text{m}' \text{ (za svaku stranu)}$$

$$A_{s,prov} = \emptyset 6/25 \text{ cm}$$

$$\text{ukupno za dvije strane: } 8\emptyset 6 = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{ukupno za panel širine 2 m: } 16\emptyset 6 = 4,52 \text{ cm}^2$$

#### 6.4.6 Osnovna duljina sidrenja

Osnovna duljina sidrenja:

$$l_{b,req} = \frac{\emptyset}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

$\sigma_{sd}$  - proračunsko naprezanje šipke (B500B – 43,478 N/mm<sup>2</sup>)

$f_{bd}$  – proračunska čvrstoća prijanjanja (C30/37 – dobri uvjeti 3,0 N/mm<sup>2</sup>)

$$\text{za } \emptyset 10 \text{ } l_{b,req} = \frac{1,0}{4} * \frac{434,8}{3} = 29 \text{ cm}$$

$$\text{za } \emptyset 6 \text{ } l_{b,req} = \frac{0,6}{4} * \frac{434,8}{3} = 21,74 \text{ cm}$$

#### 6.4.7 Duljina preklopa

Proračunska duljina preklopa:

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,req} \geq l_{0,min}$$

$$l_{0,min} \geq \max\{0,3\alpha_6 * l_{b,req}; 15\emptyset; 200\text{mm}\}$$

$$\alpha_6 = 1,5 \text{ (100\% preklopljene šipke)}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$$

$$\alpha_5 = 1,0 \text{ (nema tlačnog naprezanja okomito na ravninu cijepanja)}$$

za  $\emptyset 10$ :

$$l_{0,min} = \max\{0,13m, 0,15m; 0,2m\}$$

$$l_0 = 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,5 * 0,29 = 0,44m > l_{0,min} = 0,20m$$

Odabrana duljina preklopa za  $\emptyset 10$ :  $l_{0,prov}=45\text{cm}$

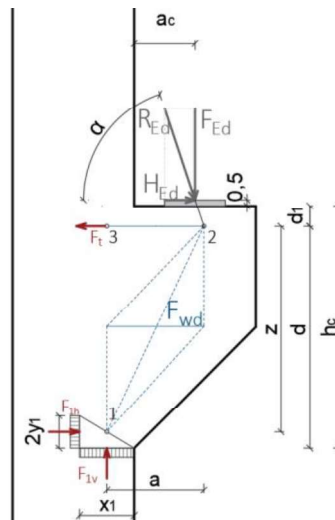
za  $\emptyset 6$ :

$$l_{0,min} = \max\{0,10m, 0,09m; 0,2m\}$$

$$l_0 = 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,5 * 0,22 = 0,33m > l_{0,min} = 0,20m$$

Odabrana duljina preklopa za za  $\emptyset 6$ :  $l_{0,prov}=35\text{cm}$

## 6.5 Dimenzioniranje kratke konzole



Slika 40: Prikaz djelovanja reakcija, unutarnjih te vanjskih sila na kratku konzolu

Vertikalno opterećenje:

$$F_G = 46,8 \text{ kN/m}' \cdot 2 \text{ m} = 93,6 \text{ kN}$$

$$F_Q = 3,0 \text{ kN/m}' \cdot 2 \text{ m} = 6,0 \text{ kN}$$

$$F_S = 5,0 \text{ kN/m}' \cdot 2 \text{ m} = 10 \text{ kN}$$

Proračunsko vertikalno opterećenje:

“stalno + uporabno + snijeg”

$$F_{Ed} = 1,35 \cdot M_g + 1,5 \cdot M_q + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_s$$

$$F_{Ed} = 1,35 \cdot 93,6 + 1,5 \cdot 6,0 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 10$$

$$F_{Ed} = 142,86 \text{ kN} \leftarrow \text{mjerodavno}$$

“stalno + snijeg + uporabno”

$$F_{Ed} = 1,35 \cdot M_g + 1,5 \cdot M_s + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot M_Q$$

$$F_{Ed} = 1,35 \cdot 93,6 + 1,5 \cdot 10,0 + 1,5 \cdot 0 \cdot 6,0$$

$$F_{Ed} = 141,36 \text{ kN}$$

Horizontalno vertikalno opterećenje:

$$H_{Ed} = 0,2 \cdot F_{Ed} = 0,2 \cdot 141,36 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = 28,27 \text{ kN}$$

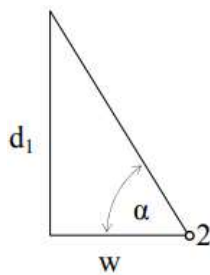
Rezultanta:

$$R_{Ed} = \sqrt{F_{Ed}^2 + H_{Ed}^2} = \sqrt{142,86^2 + 28,27^2} = 145,63 \text{ kN}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{Ed}}{H_{Ed}} \rightarrow \alpha = 78,81^\circ$$

Debljina ležaja 0.5 cm (zanemarujemo).

Detalj u čvoru 2:



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_1}{w}$$

$$w = \frac{d_1}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{3,5}{\operatorname{tg} 78,81^\circ} = 0,69 \text{ cm}$$

$$d_1 = c + \frac{\varnothing}{2} = 3,0 + \frac{1,0}{2} = 3,5 \text{ cm}$$

Proračunske tlačne čvrstoće u čvorovima – tlačni čvor:

$$\sigma_{1Rd,max} = k_1 \cdot v' \cdot f_{cd}$$

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

$$k_1 = 1,0$$

$$\sigma_{1Rd,max} = k_1 \cdot v' \cdot f_{cd} = 1 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20$$

$$\sigma_{1Rd,max} = 17,6 \text{ MPa}$$



Proračunske tlačne čvrstoće u čvorovima – tlačno-vlačni čvor:

$$\sigma_{2Rd,max} = k_2 \cdot v' \cdot f_{cd}$$

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

$$k_2 = 0,85$$

$$\sigma_{2Rd,max} = k_2 \cdot v' \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20$$

$$\sigma_{2Rd,max} = 14,96 \text{ MPa}$$

### 6.5.1 Provjera nosivosti čvora 1 (vertikalno)

Uvjet ravnoteže:

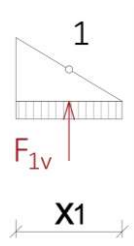
$$\Sigma y = 0$$

$$F_{Ed} - F_{1v} = 0$$

$$F_{1v} = F_{Ed} = 141,36 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti čvora 1 (vertikalno):

$$\sigma_{1Ed,max} \leq \sigma_{1Rd,max}$$



$$\frac{F_{1v}}{x_1 \cdot b} = \sigma_{1Rd,max}$$

$$x_1 = \frac{F_{1v}}{\sigma_{1Rd,max} \cdot b} = \frac{141360}{17,6 \cdot 2000} = 3,73 \text{ mm}$$

Usvajamo:

$$x_1 = 4,0 \text{ mm}$$

### 6.5.2 Vlačni štap

$$d = h_c - d_1 = 40 - 3,5 = 36,5 \text{ cm}$$

$$z \approx 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 36,5 = 29,2 \text{ cm}$$

$$y_1 = 0,2 \cdot d = 0,2 \cdot 36,5 = 7,3 \text{ cm}$$

$$a = a_c + \frac{x_1}{2} + w = 10 + \frac{0,4}{2} + 0,69 = 10,89 \text{ cm}$$

Uvjet ravnoteže (zanemarena debljina ležaja 0,5 cm):

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$F_{Ed} \cdot \left(a_c + \frac{x_1}{2}\right) + H_{Ed} \cdot (z + d_1) - F_t \cdot z = 0$$

$$F_t = \frac{F_{Ed} \cdot \left(a_c + \frac{x_1}{2}\right) + H_{Ed} \cdot (z + d_1)}{z}$$

$$F_t = \frac{141,36 \cdot \left(0,10 + \frac{0,04}{2}\right) + 28,27 \cdot (0,292 + 0,035)}{0,292}$$

$$F_t = 89 \text{ kN}$$

Potrebna vlačna armatura:

$$A_s = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{89}{43,48} = 2,05 \text{ cm}^2 \text{ za cijeli panel}$$

$$A_s = 1,025 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

### 6.5.3 Odabrana armatura

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$A_{s,req} = 1,03 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s,prov} = 4\emptyset 6 = 1,13 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s,prov} = \emptyset 6/25 \text{ cm}$$

Ukupno se odabire za panel širine 2 m:  $9\emptyset 6 = 2,54 \text{ cm}^2$

### 6.5.4 Provjera nosivosti čvora 1 (horizontalno)

Uvjet ravnoteže:

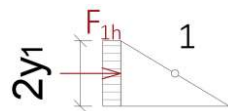
$$\Sigma X = 0$$

$$F_{1h} + H_{Ed} - F_t = 0$$

$$F_{1h} = F_t - H_{Ed} = 89,0 - 28,27 = 60,73 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti čvora 1 (horizontalno):

$$\sigma_{1Ed,max} \leq \sigma_{1Rd,max}$$



$$\frac{F_{1h}}{(2 \cdot y_1) \cdot b} \leq \sigma_{1Rd,max}$$

$$\frac{60730}{(2 \cdot 73) \cdot 2000} = 0,21 \text{ MPa} \leq \sigma_{1Rd,max} = 17,6 \text{ MPa}$$

Nosivost zadovoljava.

### 6.5.5 Sila u štapu $F_{wd}$ (prema MC 90.)

$$F_{wd} = \frac{2^{\frac{z}{a}} - 1}{3 + \frac{F_{Ed}}{F_{1h}}} * F_{1h} = \frac{2^{\frac{29,2}{10,89}} - 1}{3 + \frac{141,36}{60,73}} * 60,73 = 49,73 \text{ kN}$$

$$A_{sw} = \frac{F_{wd}}{f_{yd}} = \frac{49,73}{43,48} = 1,14 \text{ cm}^2 \text{ za cijeli panel}$$

$$A_{sw} = 0,57 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{sw} \geq k_1 \cdot A_s$$

$$k_1 = 0,25$$

$$A_{sw} = 0,25 \cdot 1,03 = 0,26 \text{ cm}^2$$

### 6.5.6 Odabrana armatura

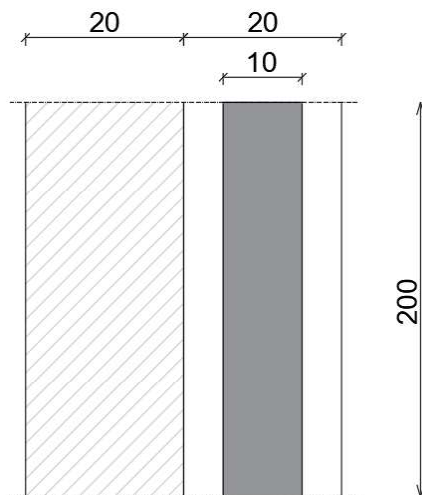
$$A_{s,prov} = 2\emptyset 6 = 0,57 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabiru se zatvorene dvorezne spone ( $m=2$ )  $2 \times 2\emptyset 6$  ( $1,14 \text{ cm}^2$ ).

Provjera nosivosti čvora 2 (ispod ležaja)

Uvjet nosivosti čvora 2:

$$\sigma_{2Ed,max} \leq \sigma_{2Rd,max}$$



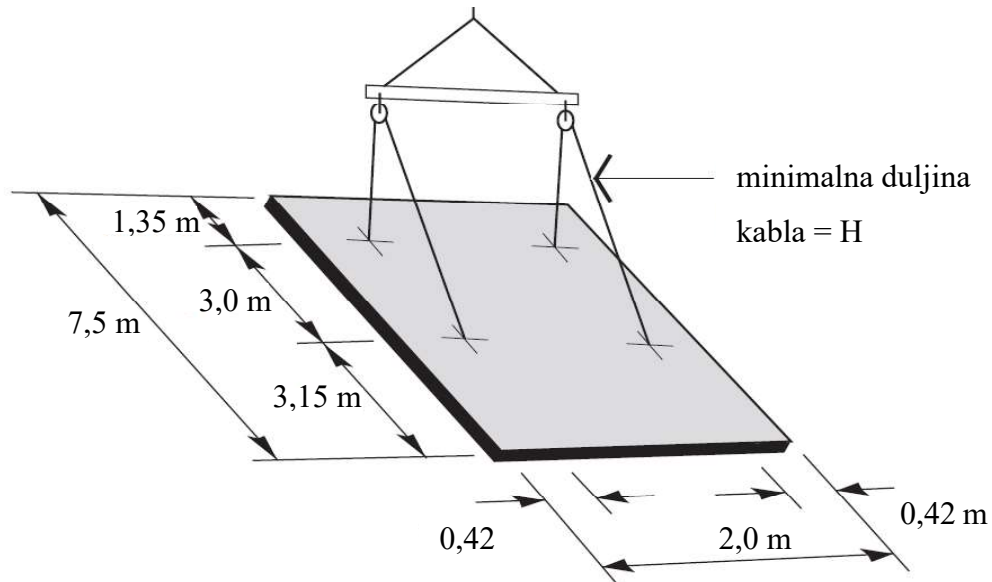
$$\frac{F_{Ed}}{A_{plate}} \leq \sigma_{2Rd,max}$$

$$\frac{141360}{100 * 2000} = 0,71 \text{ MPa} \leq \sigma_{2Rd,max} = 14,96 \text{ MPa}$$

Nosivost zadovoljava.

## 6.6 Podizanje panela

Podizanje panela izvodit će se u 4 točke (2x2).



$$M = f * w * H^2$$

f - faktor momenta savijanja (određuje se iz utjecajnih linija)

w – težina panela ( $\text{kN/m}^2$ )

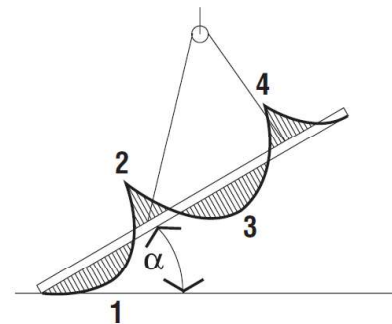
H – visina panela (m)

$$H = 7,5\text{m}$$

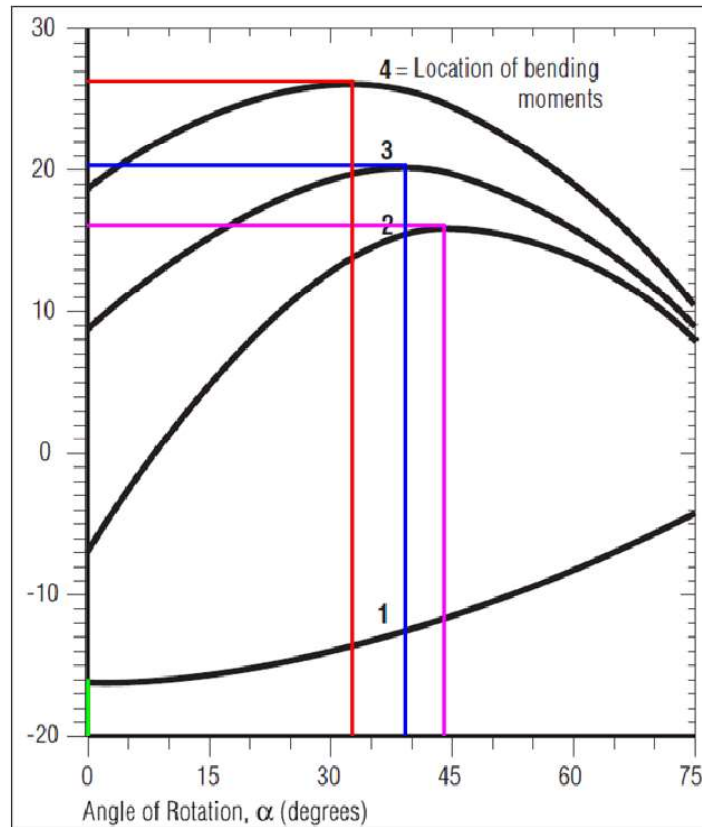
$$w_0 = \gamma_{AB} * t = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,2\text{m} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w = \gamma * w_0 = 1,5 * 5,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 7,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$\gamma$  - faktor sigurnosti kojim se uzima u obzir opterećenje od vakuuma koji se stvara prilikom odvajanja panela od mjesta betoniranja i dinamičko opterećenje pri podizanju



Za svaku točku (1-4) očitano je najveći faktor momenta savijanja



$$f_1 = -16,0 * 10^{-3}$$

$$f_2 = 16,0 * 10^{-3}$$

$$f_3 = 20,5 * 10^{-3}$$

$$f_4 = 26,5 * 10^{-3}$$

Moment savijanja u zidnom panelu za 1m':

$$M_1 = -16 * 10^{-3} * 7,5 * 7,5^2 = -6,75 \text{ kNm/m'}$$

$$M_2 = 16,0 * 10^{-3} * 7,5 * 7,5^2 = 6,75 \text{ kNm/m'}$$

$$M_3 = 20,5 * 10^{-3} * 7,5 * 7,5^2 = 8,65 \text{ kNm/m'}$$

$$M_4 = 26,5 * 10^{-3} * 7,5 * 7,5^2 = 11,18 \text{ kNm/m'}$$

BETON C30/37

$$f_{cm} = 38,0 \text{ MPa}$$

Panel se podiže nakon 7 dana te mu je stoga smanjena čvrstoća.

$$f_{ck(7dana)} = f_{cm(t)} - 8,0 \text{ MPa}$$

$$f_{cm(7dana)} = \beta_{cc(7dana)} * f_{cm}$$

$$\beta_{cc(7)} = e^s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

$$s = 0,25 \text{ za cement razreda N}$$

$$t = 7 \text{ dana}$$

$$\beta_{cc(7)} = e^{0,25} \left[ 1 - \left( \frac{28}{7} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,78$$

$$f_{cm(7)} = 0,78 * 38,0 = 29,64 \text{ MPa}$$

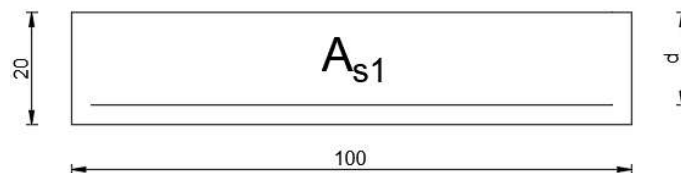
$$f_{ck(7)} = 29,64 - 8,0 \approx 21,5 \text{ MPa}$$

### 6.6.1 Dimenzioniranje panela u fazi podizanja

Provjerava se samo za maksimalnu vrijednost momenta savijanja:

$$M_{Ed} = 11,18 \text{ kNm/m'}$$

$$d = 16,5 \text{ cm}$$



$$\mu_{Eds} = \frac{1118}{100 * 16,5^2 * 1,433} = 0,029$$

Očitano za  $\mu_{Eds} = 0,029$  iz [8]:  $\xi = 0,061$ ,  $\zeta = 0,978$

$$A_{s1} = \frac{1118}{(0,978 * 16,5) * 43,48} = 1,60 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$A_{s1} = 1,60 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Minimalna armatura:

Na strani sigurnosti uzeta je vlačna čvrstoća od 28 dana  $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$

$$A_{s1,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_t * d = 0,26 * \frac{2,9}{500} * 100 * 16,5$$

$$A_{s1,min} = 2,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s1,min} = 0,0013 * b_t * d = 0,0013 * 100 * 16,5$$

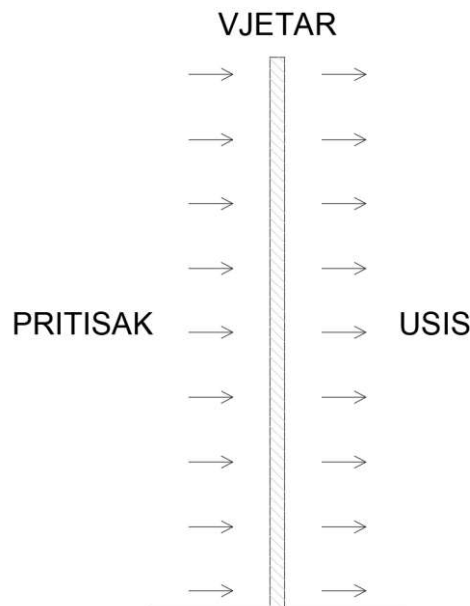
$$A_{s1,min} = 2,15 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Armatura potrebna u fazi podizanja iznosi  $2,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$ .

Zadovoljava prije odabrana armatura od  $\emptyset 10/25 \text{ cm}$  ( $3,14 \text{ cm}^2/\text{m}'$ )

## 6.7 Podupiranje panela u fazi izgradnje

Budući da se zidni panel u fazi podizanja ponaša kao samostalni element na njega djeluju tlak i usisno djelovanje vjetra istovremeno.



Prema HRN EN 1991-1-4:2012 za slobodno stojeće zidove za  $\frac{l}{H} \leq 3$  najveći koeficijent vanjskog pritiska iznosi  $C_{pe} = 2,3$ .

Rezultantni tlak vjetra:

$$w_k = C_{pe} * q_p(Z_e)$$

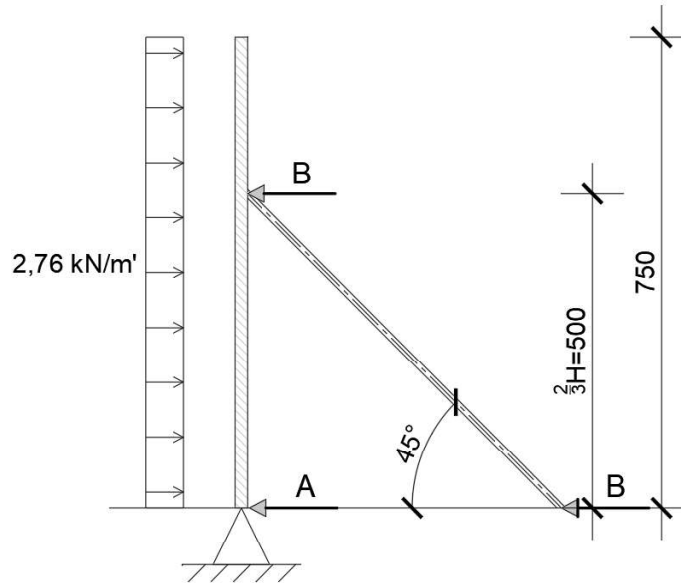
$$w_k = 2,3 * 0,4 = 0,92 \text{ kN/m}^2$$

Proračunsko opterećenje:

$$w_d = \gamma_q * w_k = 1,5 * 0,92 = 1,38 \text{ kN/m}^2$$

$$w_d = 1,38 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 2\text{m} = 2,76 \text{ kN/m}' \text{ za cijeli panel}$$

Reakcije:



$$\Sigma M_a = 0:$$

$$2,76 * \frac{7,5^2}{2,0} - 5,0 * B = 0$$

$$B = \frac{2,76 * 7,5^2}{2,0 * 5,0}$$

$$B = 15,53 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0:$$

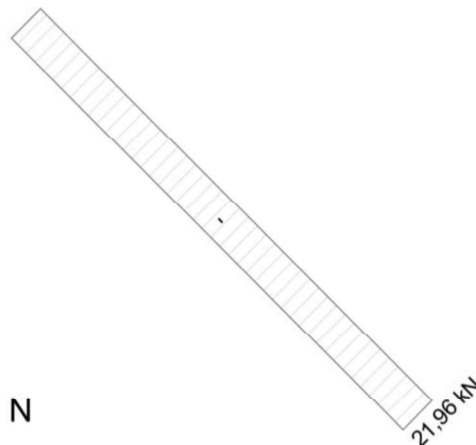
$$2,76 * 7,5 - B - A = 0$$

$$A = 2,76 * 7,5 - 15,53$$

$$A = 5,17 \text{ kN}$$

Uzdužna sila:

$$N = \frac{B}{\cos \alpha} = \frac{15,53}{\cos 45^\circ} = 21,96 \text{ kN}$$





## 7. ZAKLJUČAK

Kod tilt-up metoda zidni paneli se betoniraju na gradilištu u horizontalnom položaju na podnoj ploči. Nakon što beton dostigne dostatnu čvrstoću, što je obično nakon 7 do 10 dana, paneli se pomoću dizalice podižu u vertikalni položaj te se privremeno pridržavaju čeličnim podupiračima. Paneli se spajaju na temelj, uz podnu ploču i stropnu konstrukciju čine nosivu strukturu.

Tilt-up je vrsta montažne konstrukcije kod koje se elementi izvide na gradilištu, dok se kod klasičnih montažnih konstrukcija predgotovljeni elementi izvide u tvornicama. Iako imaju puno toga zajedničkog, postoje značajne razlike između te dvije metode građenja. Tilt-up paneli su gotovo uvijek nosivi elementi i ne zahtijevaju posebne konstrukcijske (portalne) okvire da bi se odupirali nanesenom opterećenju. Prednost proizvodnje predgotovljenih panela u tvornicama je neovisnost o vremenskim uvjetima, odnosno ne dolazi do odgađanja izrade panela zbog lošeg vremena. Također, predgotovljene panele moguće je početi proizvoditi prije početka radova na gradilištu, dok elementi tilt-up konstrukcije ovise o izradi podne ploče koja služi kao podloga za betoniranje tilt-up panela.

Jedan od najutjecajnijih faktora kod odabira metode građenja je udaljenost gradilišta od najbliže kvalificirane tvornice betonskih montažnih elemenata. Mana predgotovljenih tvorničkih panela je njihova dostava do gradilišta. Transport elemenata pred nas stavlja mnoga ograničenja u proizvodnji kao što su dimenzije i težina panela. Zbog takvih ograničenja vidljiva je prednost tilt-up zidnih panela. Dimenzije jednog tilt-up panela mogu odgovarati dimenziji više predgotovljenih panela. Tilt-up panelom stvaramo veliku uštedu, jer štedimo na transportu te montaži manjeg broja panela. Tilt-up konstrukcije obično se koriste za građevine tlocrtne površine veće od 500 m<sup>2</sup>, no danas imaju sve veću primjenu i u stambenim građevinama.

Izvođenje tilt-up konstrukcija ima manje građevinskih zahvata koje zahtijevaju specijalizirane radnike. Za izvođenje većinskog djela tilt-up konstrukcije koriste se polukvalificirani radnici (PKV). Izgradnja tilt-up građevine zahtjeva manje vremena od ostalih načina građenja.

Uzimajući u obzir navedene činjenice, korištenjem tilt-up metode montažnog građenja znatno se smanjuju vrijeme i troškovi izgradnje u usporedbi s ostalim načinima građenja.

U sklopu završnog rada proveden je proračun montažne hale izvedene tilt-up zidovima. Konstrukcija je panelizirana u skladu s pravilima struke prethodno navedenim u radu. Dimenzioniranje armature provedeno je za jedan panel, dimenzija b/h=2,0/7,5 m.

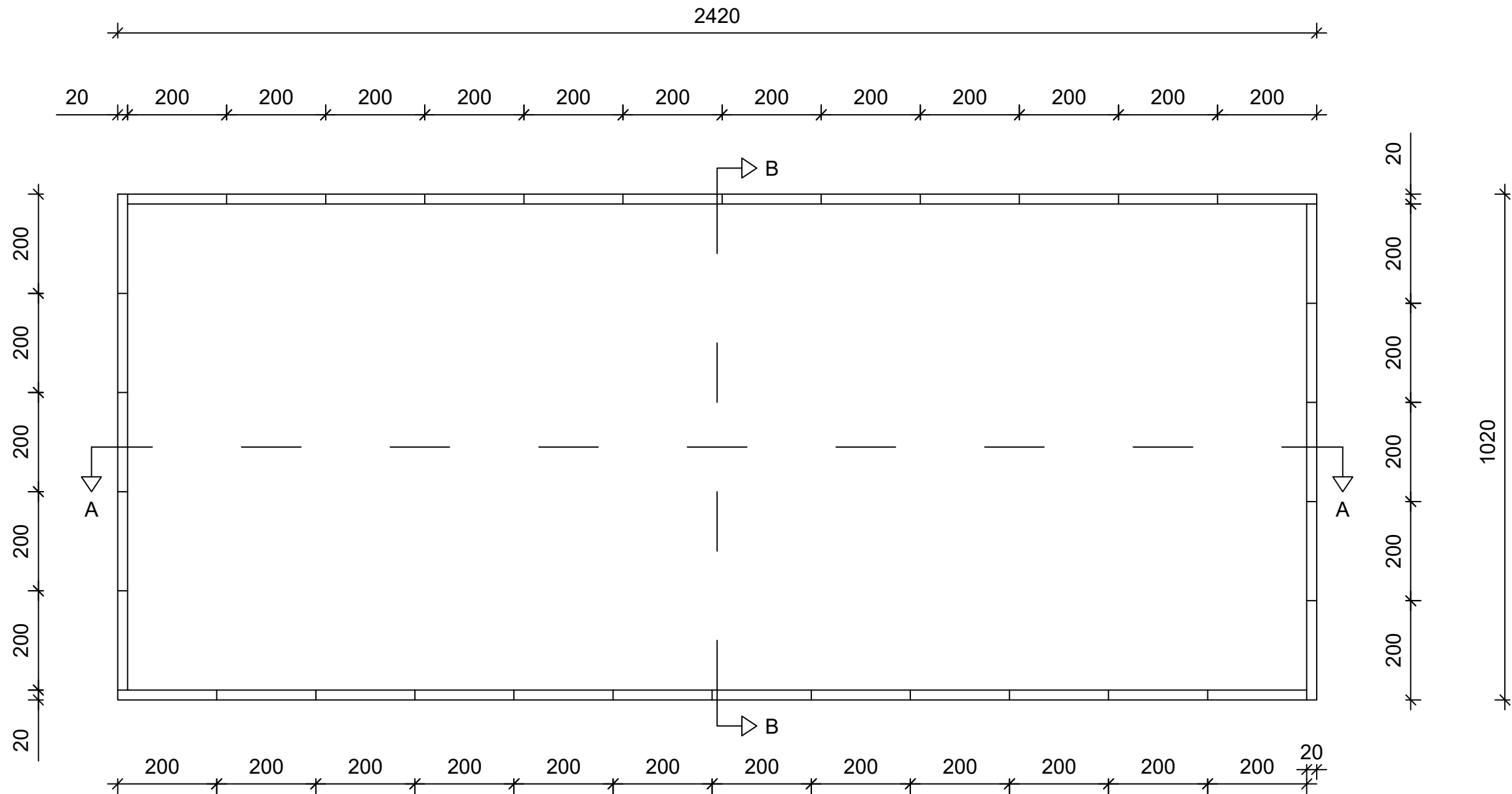
Analizom opterećenja na panel uzeta je u obzir vlastita težina panela, dodatno stalno opterećenje, snijeg, te vjetar koji djeluju na element. Zbog utjecaja vitkosti korištena je teorija drugog reda koja uzima u obzir deformiranje sustava nastalo zbog pomaka, savijanja i uvrtnja od opterećenja kao i deformiranja koja nastaju zbog puzanja i skupljanja betona. Također provedena je analiza djelovanja na panel prilikom njegovog uspravljanja. Glavne proračunske sile bile su sile u čvorovima gdje se nalaze umetci za podizanje i sila od vakuuma koja nastaje između panela i površine na kojoj je betoniran. U sklopu proračuna dimenzionirana je i kratka konzola. Dobiveni rezultati i nacrti armature priloženi su ranije u radu.

**LITERATURA**

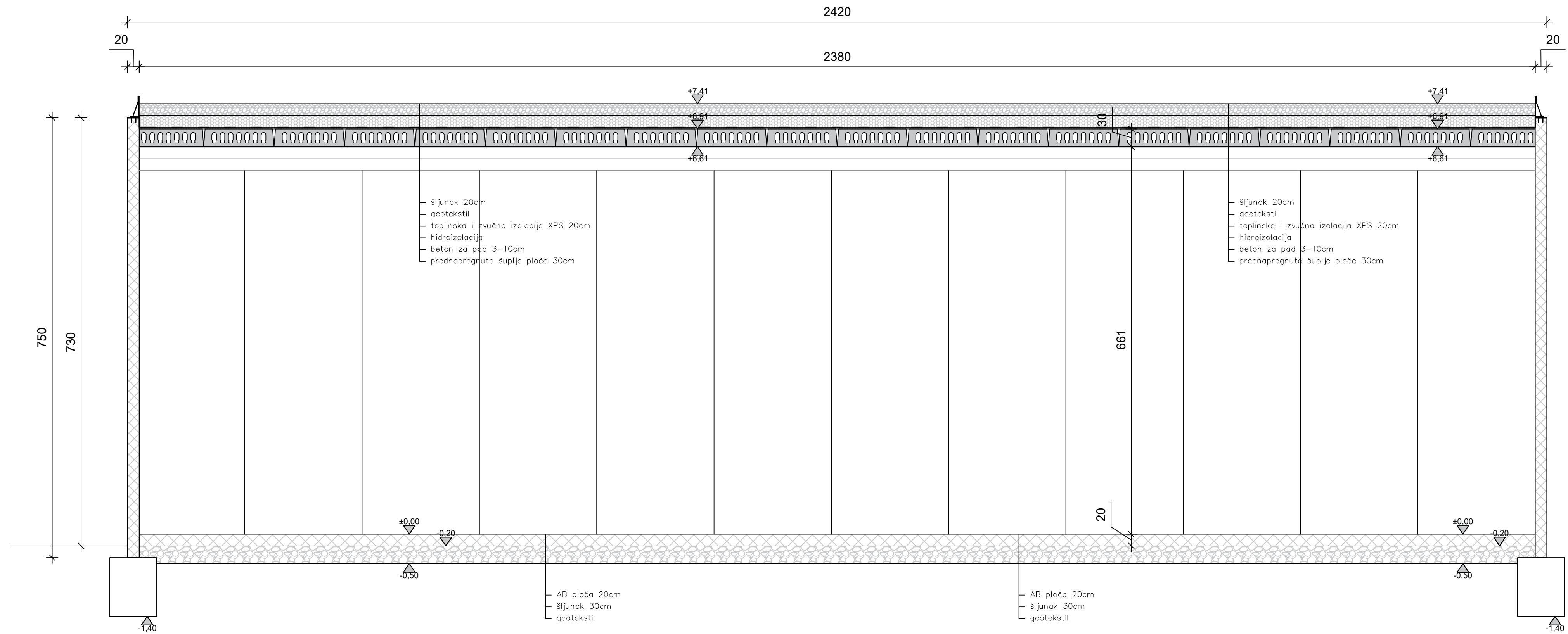
- [1] The Construction of Tilt-Up, Iowa: Tilt-Up Concrete Association, 2011.
- [2] »COMMON DETAILS FOR TILT-UP CONSTRUCTION,« 27. 7. 2016.  
<http://tilt-up.org/tilt-uptoday/> [Pristupano 18. 4. 2019.].
- [3] Cement Concrete & Aggregates Australia, Concrete Institute of Australia, Guide to Tilt-up Design and Construction, 2005.
- [4] National Precast Concrete Association Australia (NPCAA), Concrete Institute of Australia (CIA), Precast Concrete Handbook, 2002.
- [5] Thermomass, »Tilt-up Technical Manual,« 2017..
- [6] HRN EN 1992-1-1:2013 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, 2013.
- [7] Z. Sorić, T. Kišiček, Betonske konstrukcije 2, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2018.
- [8] Z. Sorić, T. Kišiček, Betonske konstrukcije 1, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2014.

## NACRTI

# TLOCRT MJ 1:100

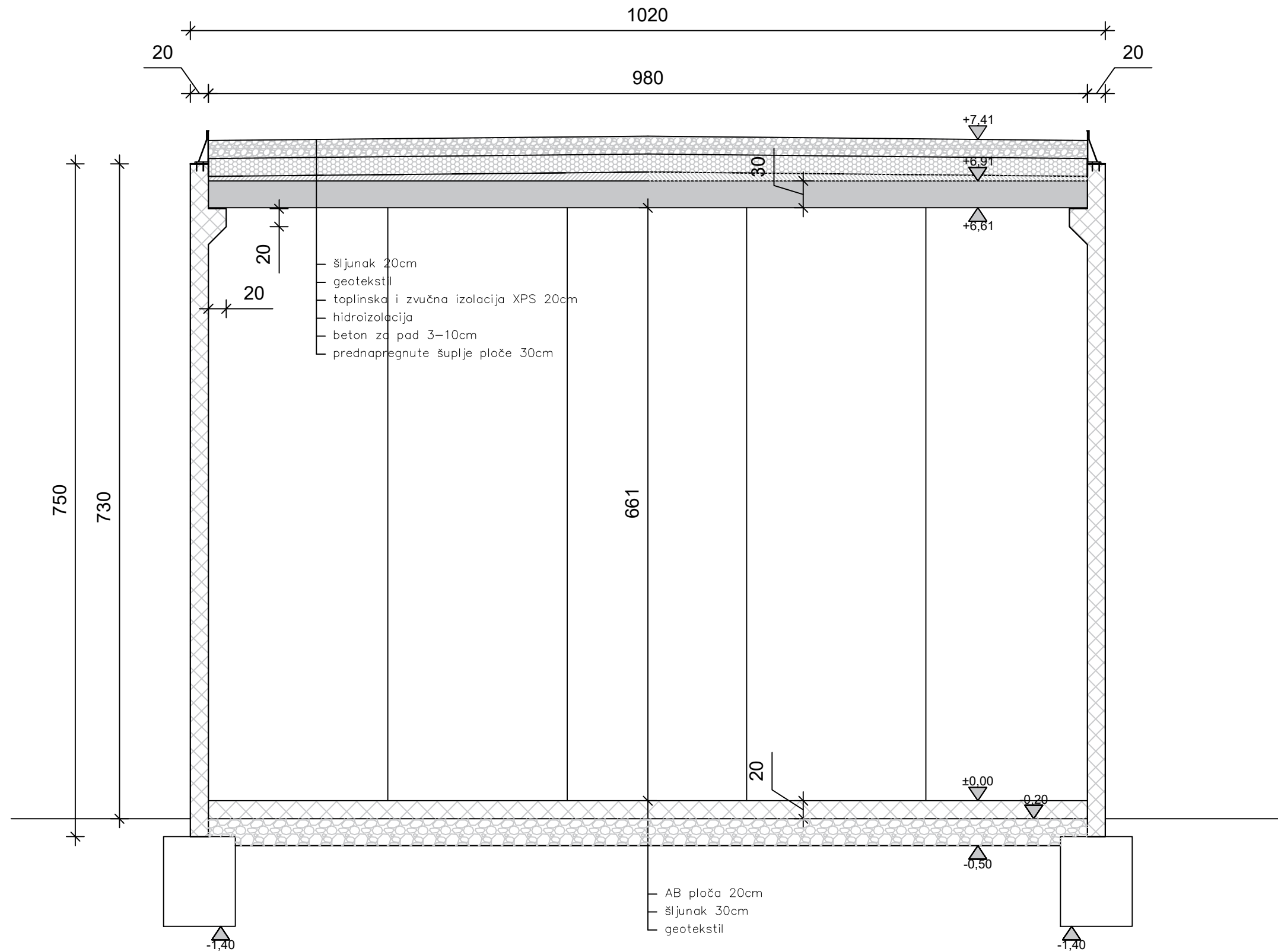


GF SVEUČILIŠTE U RIJECI GRAĐEVINSKI FAKULTET			
Završni rad <b>MONTAŽNA HALA IZVEDENA TILT-UP ZIDOVIMA</b>		Sadržaj nacрта: <b>TLOCRT</b>	
Student: <b>Marko Rožić</b>		Kolegij: <b>MONTAŽNE KONSTRUKCIJE</b>	
Mentor: doc. dr. sc. <b>Paulo Šćulac</b>	Datum: IX 2019.	Mjerilo: 1:100	List: 1



PRESJEK A-A MJ 1:50

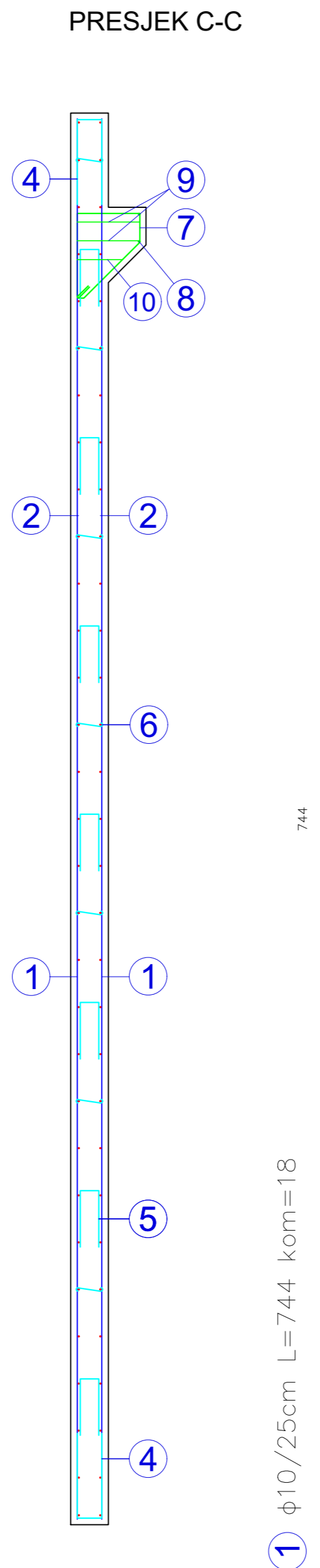
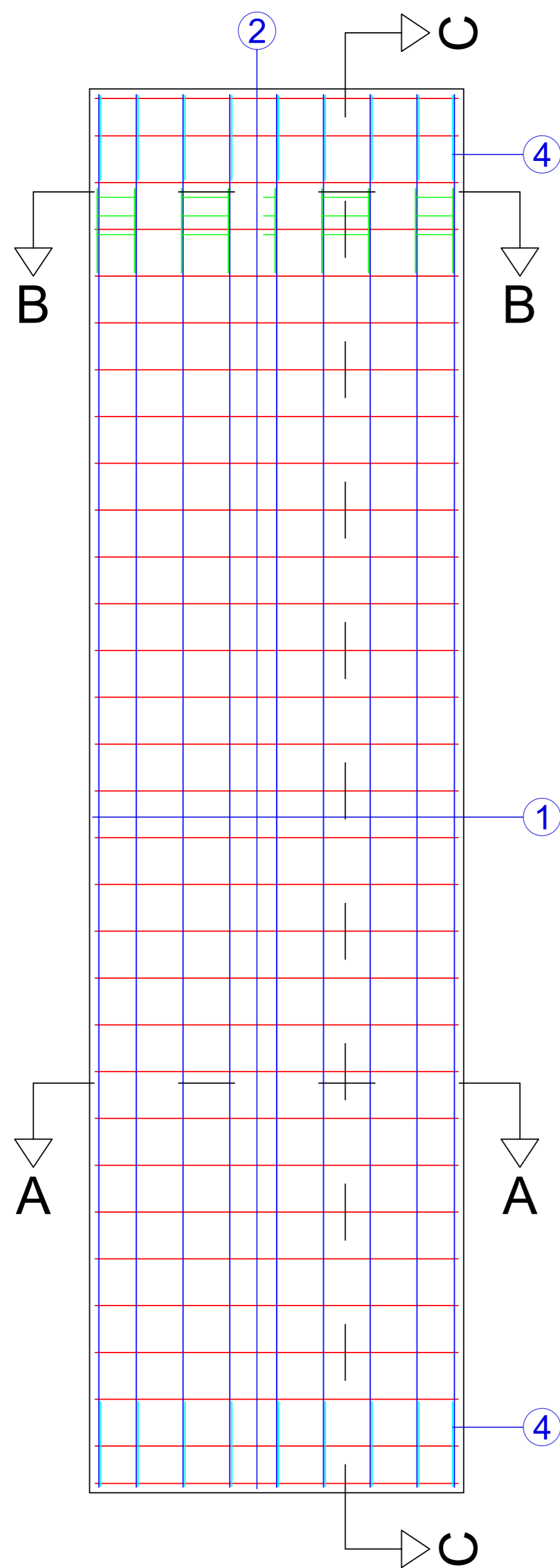
GF	SVEUČILIŠTE U RIJECI GRAĐEVINSKI FAKULTET		
Završni rad	Sadržaj nacрта:		
<b>MONTAŽNA HALA IZVEDENA TILT-UP ZIDOVIMA</b>	<b>PRESJEK A-A</b>		
Student: <b>Marko Rožić</b>	Kolegij: <b>MONTAŽNE KONSTRUKCIJE</b>		
Mentor: doc. dr. sc. <b>Paulo Šćulac</b>	Datum: IX 2019.	Mjerilo: 1:50	List: 2



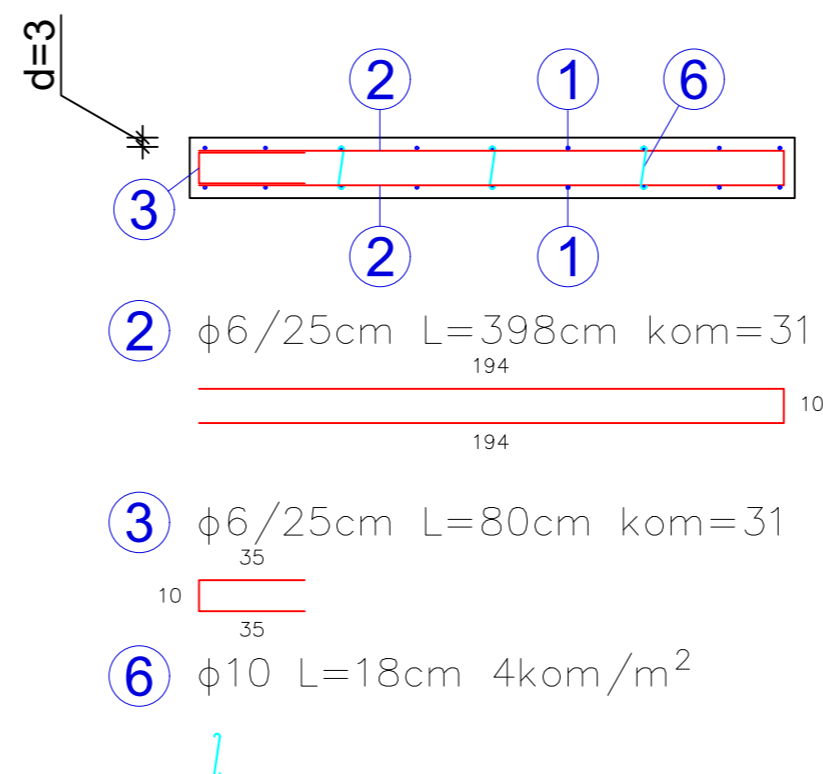
PRESJEK B-B MJ 1:50

GF SVEUČILIŠTE U RIJECI GRAĐEVINSKI FAKULTET			
Završni rad <b>MONTAŽNA HALA IZVEDENA TILT-UP ZIDOVIMA</b>		Sadržaj nacrt: <b>PRESJEK B-B</b>	
Student: <b>Marko Rožić</b>		Kolegij: <b>MONTAŽNE KONSTRUKCIJE</b>	
Mentor: doc. dr. sc. <b>Paulo Ščulac</b>	Datum: IX 2019.	Mjerilo: 1:50	List: 3

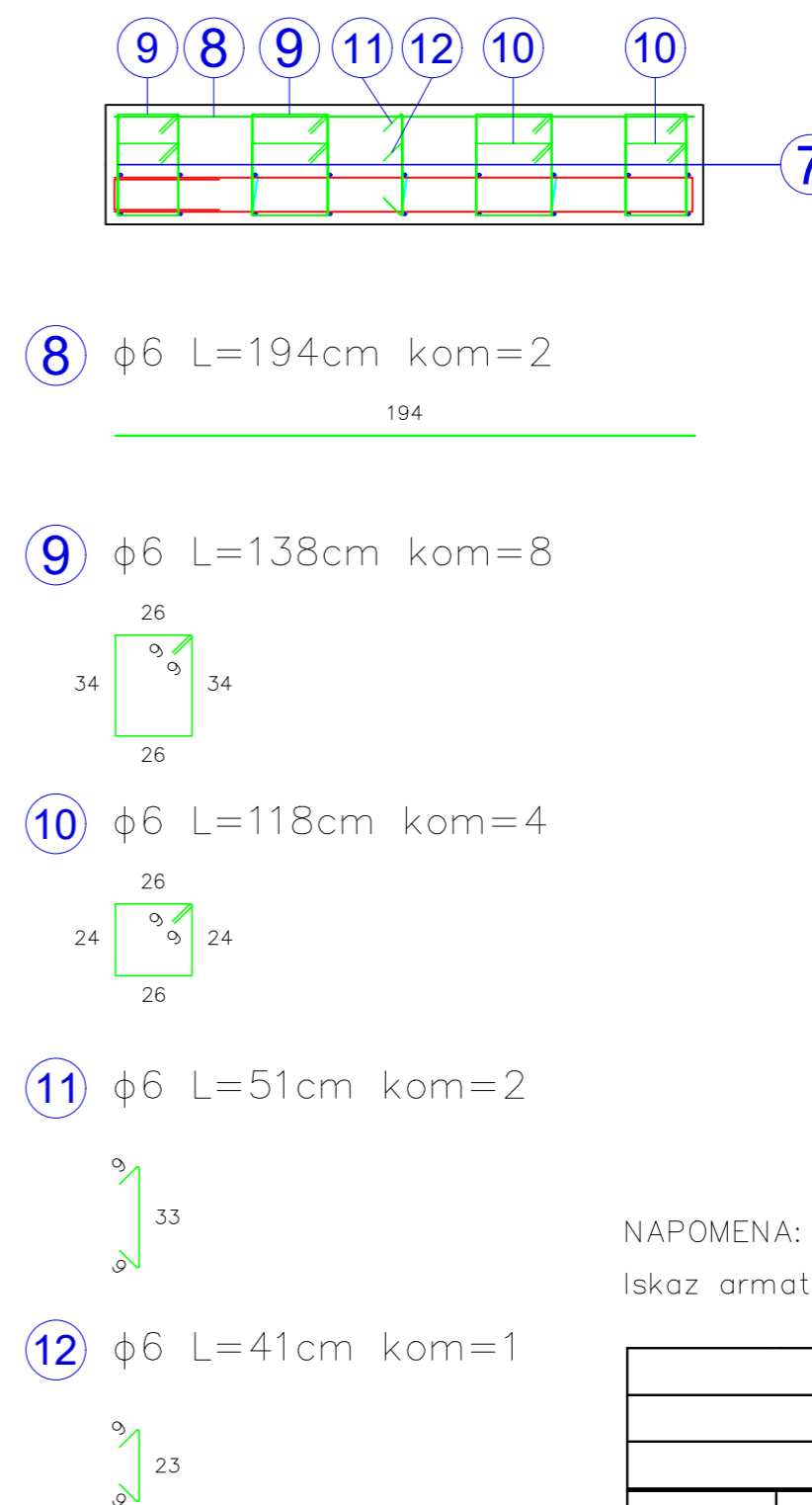
# NACRT ARMATURE ZIDNOG PANELA MJ 1:25



PRESJEK A-A



PRESJEK B-B



NAPOMENA:  
Iskaz armature odnosi se na 1 panel.

Iskaz armature zidnog panela					
B500B (rebrasta)					
				Ukupna duljina [m]	
POZ	$\phi$	L [m]	kom	$\phi 6$	$\phi 10$
1	10	7,44	18		133,92
2	6	3,98	31	123,38	
3	6	0,80	31	24,80	
4	10	1,03	18		18,54
5	10	0,70	60		42,00
6	10	0,18	60		10,80
7	6	1,56	9	14,04	
8	6	1,94	2	3,88	
9	6	1,38	8	11,04	
10	6	1,18	4	4,72	
11	6	0,51	2	1,02	
12	6	0,41	1	0,41	
Ukupna duljina [m]				183,29	205,26
Masa po profilima [kg/m]				0,228	0,634
Ukupno po profilima [kg]				41,79	130,13
Sveukupno [kg]				171,92	

GF SVEUČILIŠTE U RIJECI GRAĐEVINSKI FAKULTET			
Završni rad <b>MONTAŽNA HALA IZVEDENA TILT-UP ZIDOVIMA</b>		Sadržaj nacрта: <b>NACRT ARMATURE ZIDNOG PANELA</b>	
Student: <b>Marko Rožić</b>		Kolegij: <b>MONTAŽNE KONSTRUKCIJE</b>	
Mentor: doc. dr. sc. <b>Paulo Ščulac</b>	Datum: IX 2019.	Mjerilo: 1:25	List: 4