

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidnom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Cindrić, Regina

Graduate thesis / Diplomski rad

2024

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:157:499148>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Regina Cindrić

**Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom
koristeći CLT tehnologiju**

*(Reconstruction and upgrading of concrete structure with brick wall
infill, using CLT technology)*

Diplomski rad

Rijeka, 2024.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Diplomski stručni studij
Projektiranje u visokogradnji

Regina Cindrić
JMBAG: 0114033322

**Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom
koristeći CLT tehnologiju**

*(Reconstruction and upgrading of concrete structure with brick wall
infill, using CLT technology)*

Diplomski rad

Rijeka, lipanj 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Rijeka, 27. lipnja 2024.

Zavod: **Zavod za prometnice, organizaciju i tehnologiju građenja i arhitekturu**
Predmet: **Projektiranje u visokogradnji**
Grana: **2.01.01 arhitektonsko projektiranje**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 21

Pristupnik: **Regina Cindrić (0114033322)**
Studij: **Građevinarstvo; smjer: Graditeljstvo u priobalju i komunalni sustavi**

Zadatak: **Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidnom ispunom koristeći CLT tehnologiju**

Opis zadatka:

Rekonstrukcija postojeće zidane građevine koja je izvedena u cigli i AB serklažima, a da se pritom koristi CLT tehnologija za nadogradnju iste građevine.

Zadatak uručen pristupniku: 18. travnja 2024.
Rok za predaju rada: 27. lipnja 2024.

Mentor: Marko Franković, v. pred.

IZJAVA

Završni rad izradila sam 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.

Regina Cindrić

U Rijeci, 01. srpnja 2024.

Naslov rada: Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Studentica: Regina Cindrić

Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh.

Studij: Diplomski stručni studij

Kolegij: Projektiranje u visokogradnji

SAŽETAK

Rad se bavi rekonstrukcijom i nadogradnjom rešetkaste konstrukcije s ispunama od križno lameliranog drva (CLT) i ekoloških materijala. Kroz povijesni pregled uporabe drva kao građevinskog materijala, rad analizira prednosti i nedostatke drva, kao i njegovu primjenu u modernoj arhitekturi. CLT je predstavljen kao inovativan i održiv građevinski materijal koji nudi značajne prednosti poput visoke čvrstoće, dimenzionalne stabilnosti i ekološke prihvatljivosti. Uz analizu procesa proizvodnje CLT-a, rad istražuje njegovu integraciju s ekološkim materijalima, pružajući primjere inovativnih arhitektonskih rješenja iz Hrvatske i Europe. Korištenje CLT-a omogućava brzu i učinkovitu gradnju, smanjuje emisiju CO₂ i promovira održivost u građevinarstvu.

Ključne riječi: Rekonstrukcija, rešetkasta konstrukcija, križno lamelirano drvo (CLT), ekološki materijali, održiva gradnja, prednosti drva, moderna arhitektura, dimenzionalna stabilnost, emisija CO₂, inovativna arhitektonska rješenja

Title of Thesis: Reconstruction and upgrading of concrete structure with brick wall infill, using CLT technology

Student: Regina Cindrić

Mentor: Marko Franković, M. Arch.

Study programme: Graduate professional Study Programme in Civil Engineering

Subject: Design in Building Construction

ABSTRACT

The thesis focuses on the reconstruction and upgrade of a truss structure with infills made of cross-laminated timber (CLT) and eco-friendly materials. Through a historical overview of the use of wood as a building material, the paper analyzes the advantages and disadvantages of wood, as well as its application in modern architecture. CLT is presented as an innovative and sustainable construction material that offers significant benefits such as high strength, dimensional stability, and environmental friendliness. In addition to analyzing the CLT production process, the paper explores its integration with eco-friendly materials, providing examples of innovative architectural solutions from Croatia and Europe. The use of CLT enables fast and efficient construction, reduces CO₂ emissions, and promotes sustainability in the construction industry.

Key words: Reconstruction, truss structure, cross-laminated timber (CLT), eco-friendly materials, sustainable construction, advantages of wood, modern architecture, dimensional stability, CO₂ emissions, innovative architectural solutions

ZAHVALE

Zahvala mentoru Marku Frankoviću, dipl. ing. arh., na vremenu i trudu uloženom u ispravljanje i poboljšanje kvalitete mogega diplomskog rada.

Posebne zahvale mojoj obitelji i zaručniku na maksimalnoj potpori i razumjevanju tijekom studija.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

SADRŽAJ:

1.	UVOD	6
2.	DRVO KAO GRAĐEVINSKI MATERIJAL.....	7
2.1.	Povijest i tradicija korištenja drva u građevini	7
2.1.1.	Korištenje drva u antici.....	8
2.1.2.	Korištenje drva u srednjem vijeku.....	8
2.1.3.	Korištenje drva u renesansi.....	9
2.1.4.	Korištenje drva u baroku.....	10
2.1.5.	Korištenje drva tijekom industrijske revolucije.....	10
2.1.6.	Korištenje drva u modernoj arhitekturi	11
2.2.	Prednosti drva za gradnju	12
2.3.	Nedostaci drva za gradnju	15
3.	Drvene građevine u Gorskom kotaru	16
4.	CLT (KRIŽNO LAMELIRANO DRVO).....	19
4.1.	Proces proizvodnje CLT-a.....	19
4.2.	Strukturalna svojstva i prednosti CLT-a	20
4.3.	Upotreba CLT-a u arhitekturi.....	21
4.4.	Izazovi i budućnost CLT-a.....	23
5.	EKOLOŠKI MATERIJALI U GRAĐEVINARSTVU	24
5.1.	Obnovljivi materijali	24
5.2.	Primjeri ekoloških materijala i njihova ponovna upotreba.....	25
6.	INTEGRACIJA DRVA I EKOLOŠKIH MATERIJALA U GRAĐEVINAMA.....	26
6.1.	Sinergija između drva, CLT-a i ekoloških materijala.....	26
6.2.	Inovativni dizajni i arhitektonska rješenja	26
6.2.1.	Primjer inovativnog dizajna i arhitektonskog CLT rješenja u Hrvatskoj.....	30
6.2.2.	Primjer inovativnog dizajna i arhitektonskog CLT rješenja u zapadnoj Europi (Luksemburg)	31
7.	INTEGRACIJA TRI SUSTAVA GRADNJE U DRVU	32
7.1.	Skeletni sustav (engl. Timber Frame Construction).....	32
7.2.	Panelni sustav (engl. Panelized Construction).....	34
7.3.	Masivni sustav (engl. Mass Timber Construction).....	36

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

8. GRAFIČKI DIO	39
PREDHODNO STANJE	39
1. Tlocrt suterena stambene građevine, mjerilo 1:100	39
2. Tlocrt prizemlja stambene građevine, mjerilo 1:100	39
3. Tlocrt potkrovlja stambene građevine, mjerilo 1:100.....	39
4. Presjek A-A stambene građevine, mjerilo 1:100	39
5. Jugoistočno i jugozapadno pročelje stambene građevine, mjerilo 1:100	39
6. Sjeveroistočno i sjeverozapadno pročelje stambene građevine, mjerilo 1:100	39
RUŠENJA I GRAĐENJA	39
1. Tlocrt suterena stambene građevine, mjerilo 1:100.....	39
2. Tlocrt prizemlja stambene građevine, mjerilo 1:100	39
3. Tlocrt potkrovlja stambene građevine, mjerilo 1:100.....	39
PROJEKTIRANO STANJE.....	39
1. Tlocrt suterena stambene građevine, mjerilo 1:100	39
2. Tlocrt prizemlja stambene građevine, mjerilo 1:100	39
3. Tlocrt potkrovlja stambene građevine, mjerilo 1:100.....	39
4. Presjek A-A stambene građevine, mjerilo 1:100	39
5. Jugoistočno i jugozapadno pročelje stambene građevine, mjerilo 1:100	39
6. Sjeveroistočno i sjeverozapadno pročelje stambene građevine, mjerilo 1:100	39
7. Tlocrt suterena stambene građevine – dispozicija stropova i stropne obloge, mjerilo 1:100.....	39
8. Tlocrt prizemlja stambene građevine – dispozicija stropova i stropne obloge, mjerilo 1:100.....	40
9. Tlocrt potkrovlja stambene građevine – dispozicija stropova i stropne obloge, mjerilo 1:100.....	40
10. Tlocrt suterena stambene građevine – dispozicija podova i podne obloge, mjerilo 1:100	40
11. Tlocrt prizemlja stambene građevine – dispozicija podova i podne obloge, mjerilo 1:100.....	40
12. Tlocrt potkrovlja stambene građevine – dispozicija podova i podne obloge, mjerilo 1:100.....	40

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

13.	Tlocrt suterena stambene građevine – dispozicija obloge zidova, mjerilo 1:100 40
14.	Tlocrt prizemlja stambene građevine – dispozicija obloge zidova, mjerilo 1:100 40
15.	Tlocrt potkrovlja stambene građevine – dispozicija obloge zidova, mjerilo 1:100 40
16.	Detalj međukatne konstrukcije stambene građevine, mjerilo 1:10 40
17.	Detalj krovnog vijenca stambene građevine, mjerilo 1:10..... 40
18.	Detalj sljemena stambene građevine, mjerilo 1:10..... 40
ZAKLJUČAK..... 76	
POPIS LITERATURE: 77	

Popis tablica:

Tablica 1: Prikaz različitih vrsta drva te njihovih vlačnih čvrstoća (izvor: Macakanja, N. Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering), 2023.).....	13
Tablica 2: Prikaz različitih vrsta drva te njihovih tlačnih čvrstoća (izvor: Macakanja, N. Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering), 2023.).....	14
Tablica 3: Toplinska provodljivost drva i ostalih materijala (izvor: Macakanja, N. Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering), 2023.).....	15

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Popis slika:

Slika 1: Crkva Borgund u Norveškoj (izvor: https://www.bitno.net/kultura/likovna-umjetnost/foto-spektakularne-drvene-crkve-koje-oduzimaju-dah/ ,16.06.2024.) ...	9
Slika 2: Primjer moderne građevine obložene drvenim panelima i staklenim stijenama (izvor: https://onekindesign.com/2013/06/27/modern-wood-and-glass-beach-house-in-california/ , 16.06.2024.)	12
Slika 3: Mlin i pilana na izvoru Gerovčice – stanje graditeljske baštine u Gorskom kotaru (izvor: https://hrcak.srce.hr/file/264086 ,16.06.2024.).....	17
Slika 4: Drvena kuća u Gorskom kotaru (izvor: https://grazia.hr/najbolje-kuce-za-odmor-gorski-kotar/ ,16.06.2024.)	18
Slika 5: CLT paneli (izvor: https://www.environdec.com/library/epd9949 , 26.05.2024.).....	20
Slika 6: Montaža CLT elemenata (izvor: https://drvotehnika.info/clanci/razvoj-unakrsno-lepljenog-drveta-clt-panela , 26.05.2024.).....	22
Slika 7: Prerada CLT otpada (slika lijevo) u nove reciklirane panele (slika desno) (izvor: https://www.trillumpacific.com/clt-recycled , 26.05.2024.)	26
Slika 8: CLT 3D modularna konstrukcija (izvor: https://www.treehugger.com/construction-revolution-continues-cross-laminated-timber-goes-modular-4858141 , 26.05.2024.)	28
Slika 9: CLT zgrada u Zagrebu (izvor: https://tkalciceva.com/hr/#odlike , 26.05.2024.).....	30
Slika 10: CLT zgrada u Luksemburgu (izvor https://www.grenef.hr/gradnja-drvetom-poslovna-zgrada-u-gradu-marnau/ , 26.05.2024.)	31
Slika 11: CLT zgrada u Luksemburgu - unutarnji prostor (izvor https://www.grenef.hr/gradnja-drvetom-poslovna-zgrada-u-gradu-marnau/ , 26.05.2024.).....	32
Slika 12: Skeletni sustav (izvor: https://www.timber-frame-suppliers.co.uk/about-timber-frame/ , 16.06.2024.)	33
Slika 13: Panelni sustav (izvor: https://www.landabuilders.me/blog-landbuilders/panelized-construction , 16.06.2024.).....	35
Slika 14: Masivni sustav (izvor: https://www.hourigan.group/blog/building-sustainable-futures-with-mass-timber-construction/ , 16.06.2024.).....	37

1. UVOD

Građevinski materijali i tehnologije, kao i građevinske prakse, evoluirali su kroz stoljeća. Stambeni i građevinski uvjeti odražavaju životni standard društva. Kamen, blato, slama/lišće i drvo predstavljaju najranije građevinske materijale korištene za izgradnju stambenih objekata. Gotovo da se nikakva energija ne troši na proizvodnju i upotrebu ovih prirodnih materijala za gradnju. Trajnost materijala, direktno izvedenih od prirodnih resursa kao što su zemlja, slama/lišće, drvo, i slično, sve više dolazi pod pitanje u kontekstu građevinskih primjena, potičući istraživanje i razvoj alternativnih, dugotrajnijih materijala za građevinske svrhe.

Čelik, cement, staklo, aluminij, plastika, cigle, itd. su materijali visoke energetske potrošnje koji se često koriste za građevinsku konstrukciju. Općenito, ovi materijali se transportiraju na velike udaljenosti. Sveobuhvatna upotreba ovih materijala može iscrpiti energetske resurse i štetno utjecati na okolinu. S druge strane, teško je zadovoljiti sve veću potražnju za zgradama samo usvajanjem energetski efikasnih tradicionalnih materijala (poput blata, slame, drveta, itd.) i građevinskih metoda. Tako nastaje potreba za optimizacijom iskorištavanja dostupnih energetske resursa i sirovina kako bi se razvili jednostavni, energetski učinkoviti, ekološki prihvatljivi i održivi alternativni građevinski materijali i tehnike njihove ugradnje.

Neki od vodećih principa u razvoju održivih alternativnih tehnologija građenja mogu se sažeti na sljedeći način: Očuvanje energije; Minimaliziranje korištenja materijala visoke energetske potrošnje; Briga za okoliš, tehnologije koje su prijateljske prema okolišu; Smanjenje transporta i maksimiziranje korištenja lokalnih materijala i resursa; Decentralizirana proizvodnja i maksimalno korištenje lokalnih vještina; Korištenje industrijskih i rudarskih otpadaka za proizvodnju građevinskih materijala; Recikliranje građevinskog otpada i Korištenje obnovljivih izvora energije.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Tehnologije građenja proizvedene poštivanjem ovih principa mogu postati održive i omogućiti efikasnije dijeljenje resursa, posebno energetske resursa, uz minimalnu štetu za okoliš. [1]

2. DRVO KAO GRAĐEVINSKI MATERIJAL

2.1. Povijest i tradicija korištenja drva u građevini

Drvo se kao građevinski materijal koristi već dugi niz godina i njegova je primjena vrlo široka – od nosivih elemenata poput stupova i greda do završnog uređenja interijera drvenim namještajem i podnim oblogama. U prošlosti su se u Hrvatskoj najčešće gradile drvene kuće od bukve i hrasta. Kuće izgrađene od hrasta, uz pravilnu izvedbu i održavanje, mogu trajati i do 500 godina, dok su se kuće od bukve gradile zbog dostupnosti materijala i njegove iznimne tvrdoće.

Drvo se u visokogradnji oduvijek koristilo zbog mnogih pozitivnih karakteristika, poput čvrstoće, fleksibilnosti i prirodne ljepote, što ga čini idealnim materijalom za izgradnju raznih građevina. Nekada je drvo bilo najdostupniji materijal za gradnju nosivih konstrukcija, poput kuća i mostova. S razvojem tehnologije, primjena drva se proširila, pa se danas koristi i za gradnju nebodera.

Napredak tehnologije čini drvo sve popularnijim ekološkim materijalom. Inovacije u gradnji omogućuju izgradnju izuzetno sigurnih, izdržljivih i energetske učinkovitih građevina. Drvo kao materijal za nosive konstrukcije predstavlja izazov za dalju uporabu pri izgradnji zgrada. Potrebno je razvijati i koristiti sve vrste drva i drvnih proizvoda, uključujući oblo drvo, piljene profile, spregnute konstrukcije, lamelirano lijepljeno drvo, križno lamelirano drvo (CLT), slojevito furnirano drvo (LVL), sastavljeno drvo, nosive vrste PSL (Parallel Strand Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber) i druge, posebno u kombinaciji s drugim materijalima. [2]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

2.1.1. Korištenje drva u antici

U antičko doba, drvo je bilo ključni građevinski materijal u mnogim civilizacijama, uključujući grčku, rimsku i egipatsku. Drvo se koristilo za razne namjene, od izgradnje kuća i brodova do hramova i utvrda. U Grčkoj, drvo je bilo osnovni materijal za izgradnju krovova i unutarnjih struktura hramova. Drveni stupovi, grede i krovne konstrukcije bili su česti elementi. Primjerice, prvi grčki hramovi, prije nego što su se prešli na kamen, bili su izgrađeni od drva.

Rimljani su također koristili drvo, posebice za izgradnju brodova, mostova i vojnih struktura. Rimljani su razvili sofisticirane tehnike obrade drva, uključujući složene spojeve i upotrebu drvenih klinova za spajanje elemenata. Drvo se koristilo i za izgradnju privremenih struktura kao što su amfiteatri i cirkusi, kao i za trajne konstrukcije poput domova i vila. [3]

2.1.2. Korištenje drva u srednjem vijeku

Tijekom srednjeg vijeka, drvo je postalo ključni građevinski materijal u Europi. Razvoj novih tehnika obrade drva i konstrukcije omogućio je izgradnju složenijih i trajnijih građevina. Jedan od najpoznatijih primjera srednjovjekovne drvene arhitekture su norveške crkve, koje datiraju iz 12. i 13. stoljeća (Slika 1). Ove crkve karakteriziraju složene drvene konstrukcije s bogatim rezbarijama i detaljnim dekoracijama.

U srednjovjekovnoj Europi, drvo se koristilo za izgradnju kuća, mostova, utvrda i vjetrenjača. Kuće su često bile izgrađene tehnikom poludrvenih konstrukcija, gdje je drveni okvir ispunjen materijalima poput ilovače ili cigle. Ova tehnika je bila posebno popularna u Njemačkoj, Engleskoj i Francuskoj.

Gradnja mostova u srednjem vijeku također je uključivala drvo. Drveni mostovi bili su često premošćeni lukovima od drva, što je omogućilo izgradnju dugih i stabilnih struktura. Osim toga, drvo se koristilo za izgradnju utvrda i zamkova, posebice za izgradnju kula. [3]



Slika 1: Crkva Borgund u Norveškoj (izvor: <https://www.bitno.net/kultura/likovna-umjetnost/foto-spektakularne-drvene-crkve-koje-oduzimaju-dah/> ,16.06.2024.)

2.1.3. Korištenje drva u renesansi

Tijekom renesanse, drvo se koristilo za konstrukciju krovova, stropova, podova i unutarnjih zidova. Građevine su često imale drvene grede koje su bile vidljive i ukrašene rezbarijama, što je dodavalo estetsku vrijednost unutarnjem prostoru. Drveni podovi postali su popularni u bogatim kućanstvima, gdje su često izrađivani od visokokvalitetnih vrsta drva poput hrasta i oraha.

Osim stambenih objekata, drvo je korišteno i za izgradnju mostova i javnih zgrada. Drveni mostovi bili su vitalni za povezivanje gradova i sela, a renesansni inženjeri razvili su napredne tehnike za izgradnju stabilnih i dugotrajnih drvenih mostova.

Javne zgrade, uključujući vijećnice i tržnice, često su imale drvene krovne konstrukcije koje su bile ne samo funkcionalne već i estetski privlačne. [4]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

2.1.4. Korištenje drva u baroku

U baroknom razdoblju, drvo se koristilo za izradu složenih i detaljno rezbarenih elemenata koji su krasili interijere crkava, palača i javnih zgrada. Drveni stropovi bili su često oslikani ili ukrašeni pozlaćenim rezbarijama, stvarajući bogat vizualni dojam. U crkvama, drveni oltari i propovjedaonice bili su ukrašeni složenim motivima, uključujući anđele, cvjetne uzorke i vjerske scene. Unutarnje dekoracije uključivale su drvene obloge zidova, stropne grede i ukrasne letvice. Te su obloge često bile oslikane ili ukrašene rezbarijama koje su odražavale barokni stil. Velike dvorane i saloni baroknih palača imali su raskošne drvene stropove i zidne obloge koje su pridonosile ukupnom dojmu bogatstva i veličanstvenosti.

Drvo je također korišteno u izgradnji mostova i drugih javnih struktura tijekom baroknog razdoblja. Drveni mostovi, s lukovima i složenim konstrukcijama, bili su česti, posebno u područjima bogatim šumama. Javni prostori, poput tržnica i vijećnica, koristili su drvo za krovne konstrukcije i unutarnje dekoracije, često kombinirajući funkcionalnost s estetikom.

[4]

2.1.5. Korištenje drva tijekom industrijske revolucije

S dolaskom industrijske revolucije u 18. stoljeću, proizvodnja drva doživjela je značajne promjene. Jedan od najvažnijih aspekata industrijske revolucije bila je mehanizacija procesa obrade drva.

Uvođenje parnih strojeva i kasnije električnih strojeva u pilane omogućilo je masovnu proizvodnju drvenih elemenata, čime je drastično smanjeno vrijeme potrebno za obradu drva. To je omogućilo bržu izgradnju kuća, mostova i drugih struktura, čineći drvo dostupnijim i pristupačnijim materijalom za široku uporabu.

Drvo se tijekom industrijske revolucije koristilo za izgradnju raznih tipova zgrada, uključujući stambene kuće, tvorničke hale i skladišta. U urbanim područjima, drvene konstrukcije često su bile kombinirane s novim materijalima poput opeke i željeza. Ova kombinacija omogućila je izgradnju viših i čvršćih zgrada.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Drvene grede i stupovi bili su ključni elementi u izgradnji industrijskih objekata, pružajući strukturalnu podršku velikim otvorenim prostorima unutar tvorničkih hala.

Razvoj željeznica bio je jedan od najvažnijih aspekata industrijske revolucije, a drvo je igralo ključnu ulogu u njihovoj izgradnji. Drveni pragovi bili su osnovni element željezničkih pruga, pružajući stabilnost i ravnotežu tračnicama. Drveni vagoni i kontejneri također su se široko koristili za transport robe i materijala.

Izgradnja mostova bila je ključna za razvoj transportne infrastrukture tijekom industrijske revolucije. Drveni mostovi, često premošćeni lukovima ili konzolama, omogućili su povezivanje udaljenih područja i podržali širenje trgovine i komunikacije. Iako su željezni i čelični mostovi postajali sve popularniji, drvo je i dalje korišteno zbog svoje dostupnosti i relativno niske cijene.

Tijekom industrijske revolucije, razvijeni su novi proizvodi od drva koji su poboljšali njegovu funkcionalnost i trajnost. Lamelirano drvo, koje se sastoji od više slojeva tankih drvenih ploča zalijepljenih zajedno, postalo je popularno zbog svoje veće čvrstoće i otpornosti na deformacije. Ova inovacija omogućila je korištenje drva u konstrukcijama koje zahtijevaju visoku nosivost. [4]

2.1.6. Korištenje drva u modernoj arhitekturi

Jedna od najznačajnijih inovacija u korištenju drva u modernoj arhitekturi je razvoj novih kompozitnih materijala poput lameliranog furnira i laminiranog slojevitog drva. Ovi materijali izrađeni su ljepljenjem tankih slojeva drva pod visokim tlakom, što rezultira iznimno čvrstim i stabilnim građevinskim elementima.

Lamelirani furnir i lamelirano slojevito drvo omogućuju izgradnju velikih konstrukcija koje tradicionalno drvo ne bi moglo podržati, poput visokih zgrada, mostova i velikih otvorenih prostora. U 21. stoljeću, sve veća ekološka svijest potaknula je uporabu drva kao održivog građevinskog materijala. Drvo je obnovljiv resurs što ga čini idealnim za zelenu gradnju.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Drvene zgrade često imaju bolju energetska učinkovitost zbog prirodnih izolacijskih svojstava drva.

Drvo je također popularno u modernom dizajnu interijera zbog svoje tople i prirodne estetike. Parketi, drveni zidni paneli, namještaj i stolarija dodaju prostorima osjećaj ugodnosti i elegancije. U kombinaciji s minimalističkim dizajnom, drvo stvara kontrast sa staklom i metalom (Slika 2), često korištenim u modernoj arhitekturi. [5]



Slika 2: Primjer moderne građevine obložene drvenim panelima i staklenim stijenama (izvor: <https://onekindesign.com/2013/06/27/modern-wood-and-glass-beach-house-in-california/>, 16.06.2024.)

2.2. Prednosti drva za gradnju

Drvo kao građevinski materijal ima puno pozitivnih karakteristika koje ga čine izvrsnim izborom za ekološku gradnju. Obnovljivo je, lako dostupno i cjenovno pristupačno.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Drvo ima vrlo visoku vlačnu čvrstoću paralelno s vlakancima, dok je vlačna čvrstoća okomito na vlakna znatno manja. Drugim riječima, za optimalno opterećenje drva na vlačnu čvrstoću, potrebno je to učiniti paralelno s vlaknima.

Primjer primjene visoke vlačne čvrstoće drva paralelno s vlaknima može se vidjeti u konstrukciji drvenih greda. Drvene grede često se koriste u izgradnji podova, krovnih konstrukcija i mostova.

Kada se izlažu ili opterećuju silama koje djeluju duž njihove duljine, drvene grede s visokom vlačnom čvrstoćom paralelno s vlakancima mogu pružati nosivost i stabilnost potrebnu za nosivu konstrukciju što je prikazano u Tablici 1.

Tablica 1: Prikaz različitih vrsta drva te njihovih vlačnih čvrstoća (izvor: Macakanja, N. Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering), 2023.)

Vrsta drva	Volumenska masa kod 15% vlage (t/m ³)	Čvrstoća na vlak (N/cm ²)		Naziv drva
		∥ vlaknima	⊥ na vlakna	
Jela, omorika, smreka i meki borovi	0,40-0,50	9000-12000	150-200	Lagane četinjače
Bor, ariš	0,50-0,70	10000-15000	200-300	Poluteške četinjače
Topola, vrba, lipa, breza	0,45-0,65	8000-10000	200-250	Vrlo lagane listače
Hrast, bukva, jasen, brijest	0,65-0,80	10000-15000	250-350	Poluteške listače
Bagrem, šimšir i tvrda egzotična drva	0,80-1,00	12000-18000	350-600	Teške listače

Pri ispitivanju tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima, dolazi do sloma izvijanjem vlakanaca, dok kod ispitivanja čvrstoće okomito na vlakanca, lom nastaje kao posljedica gnječenja.

Vlačna čvrstoća paralelno s vlakancima je nekoliko puta veća od tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima, dok je pri opterećenju drva okomito na vlakanca tlačna čvrstoća nekoliko puta veća od vlačne čvrstoće (Tablica 2).

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Najveću čvrstoću imaju vrste drva koje spadaju u teške listače, poput hrasta, graba i šimšira, stoga su navedena drva najpovoljnija za izradu nosivih konstruktivnih elemenata.

Tablica 2: Prikaz različitih vrsta drva te njihovih tlačnih čvrstoća (izvor: Macakanja, N. Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering), 2023.)

Vrsta drva	Tlak (N/cm ²)	Tlak _⊥ (N/cm ²)	Naziv drva
Jela, omorika, smreka	3000-4500	600	Lagane četinjače
Bor	3500-5000	750	Poluteške četinjače
Ariš	4000-5500	1000	Teške četinjače
Topola, vrba, lipa, breza, javor	2500-3500	900	Vrlo lagane listače
Bukva, orah, hrast (meki)	3500-5000	1100	Lagane listače
Hrast, bukva, brijest, jasen, bagrem	5000-7000	1300	Poluteške listače
Grab, šimšir, hrast, oskoruš	6000-8000	1500-2500	Teške listače

Drvo ima nizak stupanj gustoće, što ga čini znatno lakšim od materijala kao što su beton ili opeka, posebice kada je osušeno. U optimalnim uvjetima – grijanim i dobro ventiliranim prostorima – prosječna vlažnost drva iznosi između 6% i 12%. Zbog svoje male težine, drvo smanjuje težinu konstrukcija i omogućuje korištenje manjih dimenzija elemenata, što rezultira manjom potrošnjom materijala.

Drvo se lako reže, oblikuje i spaja, te nudi brojne mogućnosti oblikovanja poprečnog presjeka. Može se prilagoditi različitim oblicima i veličinama kako bi odgovaralo konstrukcijskim zahtjevima, čime se olakšava izgradnja složenih struktura. Pravilnim odabirom presjeka i smanjenjem količina otpadnog materijala moguće je povećati iskoristivost drva i značajno smanjiti troškove proizvodnje.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Još jedna važna prednost drva je njegova otpornost na visoke temperature. Za razliku od čelika koji omekšava pod visokim temperaturama, drvo zadržava svoj oblik i rijetko puca.

Uz to, drvo ima nisku toplinsku provodljivost, što ga čini izvrsnim toplinskim i zvučnim izolatorom. Ova karakteristika pomaže u smanjenju potrošnje energije za grijanje i hlađenje unutarnjih prostora.

Estetska svojstva drva predstavljaju još jednu značajnu prednost. Njegova obradivost omogućuje različite načine oblikovanja koji mogu unaprijediti vizualni izgled svakog prostora. Različite vrste drva nude široku paletu boja, uzoraka i tekstura, omogućujući tako velik izbor dizajnerskih rješenja. [2]

Tablica 3: Toplinska provodljivost drva i ostalih materijala (izvor: Macakanja, N. Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering), 2023.)

Materijal	Toplinska provodljivost (W/mK)
Aluminij	216
Čelik	45
Beton	2,0
Staklo	1,0
Gips	0,7
Drvo	0,15
Mineralna vuna	0,04

2.3. Nedostaci drva za gradnju

Unatoč brojnim prednostima, drvo, poput svakog građevinskog materijala, ima određene nedostatke koje treba razmotriti prije upotrebe u gradnji. Jedan od tih nedostataka je hidrofilnost, svojstvo drva da upija vlagu iz okoline. Ova karakteristika može biti problematična jer vlaga može dovesti do deformacija i truljenja drvenih konstrukcija. Povećani sadržaj vlage smanjuje čvrstoću drva – što više vode drvo sadrži, to je slabije.

Pod utjecajem vlage drvo može bubriti i skupljati se, što može rezultirati deformacijama uslijed nepravilnog sušenja.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Tijekom procesa sušenja drvo može smanjiti volumen, deformirati se ili raspucati, što negativno utječe na njegova mehanička svojstva i estetski izgled. Stoga je izuzetno važno slijediti pravilne postupke sušenja drva kako bi se očuvala njegova kvaliteta.

Drvo također treba zaštitu od vremenskih utjecaja i bioloških uzročnika propadanja. UV zračenja mogu uzrokovati izbljeđivanje boje drva, dok kiša i vlaga mogu potaknuti rast gljivica, plijesni i truljenje. Također, insekti i ostali nametnici mogu napasti drvo, uzrokujući znatnu štetu. Da bi se to spriječilo, potrebno je redovito primjenjivati sredstva za zaštitu od nametnika i vremenskih utjecaja.

Drvo je također vrlo zapaljiv materijal. Iako je otporno na deformacije pri visokim temperaturama, lako se zapali zbog svog kemijskog sastava. Stoga je važno koristiti zaštitne premaze kako bi se smanjila opasnost od požara. S druge strane pri izlaganju toplini, masivno drvo ima bolja svojstva od čelika, s manjim koeficijentom toplinske provodljivosti, što rezultira manjim deformacijama i manjim gubitkom čvrstoće.

Jedan od najvećih nedostataka drva kao građevinskog materijala je njegova visoka cijena. Troškovi mogu varirati ovisno o mnogim faktorima, uključujući ograničenu dostupnost visokokvalitetnog drva. Osim toga, drvo zahtijeva opsežne obrade i zaštitu, što dodatno povećava troškove. Transport drva također doprinosi visokoj cijeni, osobito kada se uvozi iz udaljenih područja. Cijena drva može biti znatno veća u usporedbi s materijalima poput betona, zbog čega se mnogi ljudi odlučuju za beton unatoč njegovoj ekološkoj neodrživosti.

[2]

3. Drvene građevine u Gorskom kotaru

Gorski kotar, poznat po svojim gustim šumama i hladnoj klimi, ima bogatu tradiciju drvene gradnje koja seže stoljećima unatrag. Drvo je bilo ključan materijal za izgradnju stambenih i gospodarskih objekata, a specifične tehnike gradnje razvijene su kako bi se prilagodile lokalnim uvjetima.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Ova regija zadržala je mnoge tradicijske značajke, što se može vidjeti u arhitekturi naselja, kućama i šumskim nastambama (Slika 3).

Drvena arhitektura u Gorskom kotaru karakterizirana je uporabom lokalnih vrsta drva kao što su hrast, bukva i jela. Kuće su građene od trupaca, često na kamenim temeljima kako bi se osigurala stabilnost i dugovječnost konstrukcija. Krovovi su obično pokriveni šindrom, što dodatno štiti drvene zidove od atmosferskih utjecaja. Naselja u Gorskom kotaru često su smještena uz glavne prometnice, što je utjecalo na raspored kuća i drugih građevina. Kuće su obično poredane uz cestu, sa zabatnim pročeljima okrenutim prema ulici. Stražnje strane kuća obično imaju vrtove ili dvorišta koja su ograđena drvenim ogradama ili suhozidima.



Slika 3: Mlin i pilana na izvoru Gerovčice – stanje graditeljske baštine u Gorskom kotaru (izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/264086>, 16.06.2024.)

Drvene kuće u Gorskom kotaru razlikuju se po svojoj funkcionalnosti i prilagodljivosti klimatskim uvjetima. Tipične drvene kuće imaju prizemlje i kat, s prostranim tavanskim prostorom. Prizemlje se često koristi za stambeni prostor, dok se kat koristi za spremanje sijena i drugih poljoprivrednih proizvoda. Unutrašnjost kuća obično je jednostavna, s centralnim ognjištem koje služi za grijanje i kuhanje.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Drvene grede i stupovi vidljivi su u unutarnjim prostorima, što dodaje rustikalni šarm. Prozori su mali kako bi se zadržala toplina, a vrata su masivna i često ukrašena rezbarijama.

Uz stambene objekte, u Gorskom kotaru prisutne su i brojne šumske nastambe koje su koristili drvosječe i pastiri. Ove nastambe, poznate kao stanovi, građene su od trupaca i šindre, te su pružale zaklon tijekom sezonskog rada u šumi. Gospodarski objekti poput štala, spremišta za alat i sjenika također su građeni od drva. Ovi objekti su jednostavne konstrukcije, ali izdržljivi, s naglaskom na funkcionalnost i otpornost na teške vremenske uvjete.

Drvene građevine u Gorskom kotaru (Slika 4) predstavljaju važan dio kulturne i povijesne baštine ovog područja. Tradicijska drvena arhitektura prilagođena je lokalnim prirodnim i klimatskim uvjetima, a tehnike gradnje prenose se generacijama. Ova baština danas predstavlja značajan turistički potencijal i primjer održivog graditeljstva koje koristi prirodne resurse na ekološki prihvatljiv način. [6] [7]



Slika 4: Drvena kuća u Gorskom kotaru (izvor: <https://grazia.hr/najbolje-kuce-za-odmor-gorski-kotar/>, 16.06.2024.)

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

4. CLT (KRIŽNO LAMELIRANO DRVO)

4.1. Proces proizvodnje CLT-a

Prvi korak uključuje pripremu drva na temelju odabrane vrste i sadržaja vlage (% MC). CLT koristi građevinsko drvo sušeno u sušarama s tipičnim dimenzijama u rasponu od 16 do 51 mm debljine i 60 do 240 mm širine ($12\% \pm 3\%$ MC). Blanjane i sušene daske se vizualno ili strojno razvrstavaju prema čvrstoći ili krutosti kako bi se definirale vrijednosti za dizajn. Vanjske lamele također se mogu odabrati prema vizualnim kriterijima. Također, u ovom koraku se tijekom razvrstavanja izrezuju nedostaci koji smanjuju čvrstoću ili su neestetски (npr. veliki čvorovi, džepovi smole, inkluzije kore) ovisno o klasi čvrstoće i površine.

Proces obrezivanja i spajanja drva prstima kako bi se dobile željene duljine za izradu slojeva je sljedeći korak u stvarnoj montaži panela. Zatim se drvo blanja na dvije ili četiri strane kako bi se osigurala dimenzionalna preciznost i pravilna adhezija. Nakon što su daske pripremljene, na slojeve drva se dodaje sloj konstrukcijskog ljepila koje se slaže u naizmjeničnim smjerovima kako bi se stvorila veza. Zatim se slojevi stiskaju u hrpu od više slojeva kako bi se stvorio panel (Slika 5). Ljepilo koje se koristi u CLT aplikacijama mora zadovoljiti stroge standarde proizvoda te mora biti u skladu s specifikacijama proizvođača ljepila. Slojevi se formiraju ljepljenjem površina lamele. Neke konfiguracije panela također uključuju lijepljenje rubova gdje se ljepilo nanosi između dasaka u jednom sloju. Nakon što su ovi koraci završeni, CLT paneli su spremni za kontrolu kvalitete, prilagodbu i otpremu. [8]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju



Slika 5: CLT paneli (izvor: <https://www.environdec.com/library/epd9949>, 26.05.2024.)

4.2. Strukturalna svojstva i prednosti CLT-a

Križno lamelirano drvo (CLT), uobičajena komponenta u masivnoj drvenoj gradnji, bilježi značajan porast u proizvodnji i ugradnji tijekom posljednja dva desetljeća. Što se tiče trenutnih globalnih aktivnosti, očekuje se da će volumen proizvodnje CLT-a značajno porasti u idućem desetljeću. CLT proizvodi omogućuju korištenje drva u panelima većih dimenzija od uobičajenih piljenih greda. CLT i masivna drvena gradnja široko su prepoznati kao ekološki prihvatljiviji put za zadovoljavanje svjetskih građevinskih potreba. Dodatna prednost CLT-a je ujednačenost čvrstoće zahvaljujući svojstvima raspodjele nedostataka i manjoj varijaciji između proizvoda iz različitih proizvodnih skupina. Još jedna prednost CLT-a u odnosu na alternativne drvene proizvode je njegova dimenzionalna stabilnost zbog križnog rasporeda slojeva. Svaki sloj drva ograničava dimenzionalne promjene susjednog sloja pod pravim kutom.

Ova karakteristika, poznata kao dimenzionalna stabilnost, čest je problem s pojedinačnim daskama zbog promjena u sadržaju vlage.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Glavni koraci u proizvodnom procesu CLT-a uključuju kategorizaciju materijala i kreativno sastavljanje kako bi se formirali stabilni kompozitni elementi pomoću ljepljenja. [8]

4.3. Upotreba CLT-a u arhitekturi

Po svojoj prirodi drvo je struktura, skelet za podršku, a arhitektonsko izražavanje drvenih zgrada je izvorno bilo diktirano strukturom. S posebnom konstrukcijom lamela zalijepljenih križno, CLT formira strukturno stabilnu ploču gdje struktura i površina postaju jedno. Od nehomogenog materijala po prirodi, drvo u obliku CLT ploča djeluje homogeno, jer može preuzeti opterećenje u oba smjera. CLT elementi mogu se koristiti za krovove, zidove i podove, te dolaze u različitim oblicima i veličinama, do dimenzija 2.95 m x 16.5 m. Ova jedinstvena osobina funkcioniranja kao potporne i stabilizirajuće ploče, pregrade i površine u jednom elementu jedna je od najposebnijih kvaliteta CLT elemenata i otvara nove mogućnosti za gradnju u drvu.

Još jedna značajna kvaliteta CLT elemenata je njihova velika obradivost. Ovo se odnosi na sklapanje elemenata kao i na slijedeće procese obrade. Zbog svoje karakteristike ploče i činjenice da je drvo po prirodi lako za rad, sklapanje CLT elemenata zahtijeva samo jednostavne alate i vijke. Tako sklapanje CLT elemenata ne zahtijeva veliku količinu specijalizirane radne snage kao što je karakteristično za tradicionalne drvene konstrukcije (Slika 6).



Slika 6: Montaža CLT elemenata (izvor: <https://drvotehnika.info/clanci/razvoj-unakrsno-lepljenog-drveta-clt-panela>, 26.05.2024.)

Izuzetno visok nivo detaljiziranja prisutan je kroz sve faze; od stvarnog rezanja elemenata tijekom proizvodnje do osjetljivog rada na površinama i spojevima. Pomoću 3D dizajna temeljenog na objektima, rad s CLT elementima također olakšava vrlo detaljan i izravan proces od planiranja i dizajniranja do proizvodnje i sastavljanja zgrade. Gradnja u drvu nije sinonim za arhitekturu s čistim gredama drvenih skeleta. Naprotiv, postoji veliki broj površinskih tretmana koji na različite načine mogu donijeti do izražaja teksturu CLT elemenata, npr. bojenje, uljenje, lakiranje ili bojanje.

Osim toga, površine mogu biti taktilne ili glatke ovisno o željenom izrazu. Još jedna mogućnost je korištenje CLT-a u kombinaciji s drugim materijalima kako bi se stvorile impresivne konstrukcije. [9]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

4.4. Izazovi i budućnost CLT-a

Implementacija CLT-a susreće se s nekoliko izazova u današnjoj građevinskoj industriji. Jedan od glavnih izazova je edukacija i obuka radne snage zadužene za pravilnu montažu i upotrebu CLT-a. Budući da se radi o relativno novom materijalu, građevinski radnici moraju biti osposobljeni za preciznu izradu i montažu kako bi se osigurala sigurnost i funkcionalnost građevina koje koriste CLT.

Drugi izazov predstavljaju regulative i standardi koji se razlikuju od zemlje do zemlje te nisu usklađeni. Mnoge zemlje još uvijek nemaju specifične propise koji reguliraju upotrebu CLT-a, što može usporiti širenje njegove primjene i izložiti riziku investicije u ovu tehnologiju.

Razvoj novih tehnologija i materijala igra ključnu ulogu u budućnosti upotrebe CLT-a. Napredak u digitalnom dizajnu i tehnologijama za izradu, kao što su na primjer CNC strojevi koji mogu precizno rezati i oblikovati CLT panele, omogućuje izradu kompleksnijih i efikasnijih konstrukcija. Također, istraživanja u novim vrstama drva ili modificiranju postojećih vrsta mogu poboljšati svojstva CLT-a, kao što su otpornost na vatru, vlagu i stabilnost. Nadalje, tehnološki napredak u digitalnom projektiranju (BIM) omogućava preciznije modeliranje i optimizaciju upotrebe materijala, što rezultira efikasnijom gradnjom i manjim otpadom. Integracija novih materijala za ljepilo i premaza također doprinosi dugovječnosti i održivosti CLT konstrukcija.

Budućnost upotrebe CLT-a obećava daljnje napredovanje u smjeru visoko održivih i ekonomičnih građevinskih rješenja. Prednosti u uštedi energije, smanjenju emisije ugljičnog dioksida i bržoj izgradnji čine CLT atraktivnim izborom za različite vrste građevina, od stambenih do komercijalnih objekata. [10]

5. EKOLOŠKI MATERIJALI U GRAĐEVINARSTVU

5.1. Obnovljivi materijali

Utjecaj na okoliš postao je središnja tema u današnjem društvu, a sve više sektora gospodarstva posvećuje joj pažnju prilikom donošenja svakodnevnih poslovnih i privatnih odluka. Građevinski sektor je posebno izložen ovom pitanju, jer je poznat njegov negativan utjecaj na prirodne resurse i okoliš u cjelini. Mnogi ekološki prihvatljivi materijali pojavili su se na tržištu s ciljem smanjenja štetnog utjecaja gradnje. Odabir obnovljivih materijala za gradnju predstavlja izazov jer je uključivanje ekoloških aspekata građevinskih materijala i tehnologija često izvan dosega projektanata i njihovih timova.

Interakcija građevinskih materijala s okolišem nedovoljno je istražena, a dodatno je komplicirana visokim brojem varijabli i varijacija. Zbog navedenoga je često teško procijeniti koji su materijali održivi. Primarna karakteristika održivog materijala je njegova ekološka prihvatljivost, što znači da mora biti dobiven iz obnovljivih izvora. Također, održivost materijala tijekom cijelog vijeka trajanja je ključna, kao i manja potrošnja energije pri proizvodnji. Takvi materijali ne smiju emitirati štetne tvari koje bi mogle negativno utjecati na zdravlje i udobnost ljudi tijekom njihovog životnog ciklusa. Kada projektant odabere takav materijal za svoj projekt, možemo govoriti o održivoj gradnji.

Održiva gradnja također uzima u obzir prikladnost materijala za određenu klimu promatranog područja. Neki materijali su prikladni za hladnija i sušna područja, ali se razgrađuju u toplim i vlažnim uvjetima. Na kraju, ne postoji savršen materijal, ali neki su održiviji od drugih.

Neki od održivih materijala koji danas nalaze široku primjenu u građevinarstvu su slama, bambus, nepečena opeka, reciklirana plastika, nabijena zemlja te zelenilo (biljke i trava). Održive, odnosno ekološki prihvatljive materijale možemo podijeliti na one koje se koriste u nosivim konstrukcijama, poput bambusa, recikliranog čelika i drva, te one koji se koriste za završne radove, poput slame, pluta, kamena i ovčje vune. [11]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

5.2. Primjeri ekoloških materijala i njihova ponovna upotreba

Recikliranje CLT-a znači odvajanje drvenog dijela od ljepila i recikliranje svake komponente pojedinačno. Ovaj je postupak moguć u laboratorijima na mikro razini, međutim, ne postoje strojevi ili postupci za rukovanje velikim količinama otpada nastalog od CLT materijala. Iz ovog jednostavnog razloga, prikladnije je ponovno upotrijebiti otpadni materijal. [12]

Testiranja su pokazala da se rezanjem CLT panela na manje dijelove ne aktiviraju kemikalije u PUR ljepilu. Zahvaljujući stabilnom stanju proizvoda, eliminiraju se opasne emisije čestica u zraku. Drvna sječka se tako ponovno koristi u proizvodnim procesima za dobivanje drvenih kompozitnih ploča (panela). To omogućuje ponovnu upotrebu otpada od križno laminiranog drva za proizvodnju iverice (koristi se kao podna obloga, te na površinama zidova i krovova), ploča vezanih drvom i izolacijskih ploča od drvenih vlakana. G. Joseph Gabriel (tehnički direktor Henkel-Purbonda u Švicarskoj) tvrdi da je već dokazano da se drvna sječka sastavljena od drveta i PUR ljepila može koristiti i u proizvodnji drugih građevinskih materijala od drva tj. drvenih prerađevina. [12]

U usporedbi sa spaljivanjem viška materijala, iako je osnovni materijal nastao kao otpadni proizvod proizvodnje ili odlaganjem „viška“ konstrukcije, ponovna uporaba CLT-a daje konstrukciji novi život uz zadovoljavanje faktora statike i otpornosti materijala. Ponovnom uporabom otpada i materijala za odlaganje proizvodi se novi građevinski materijal te se koncept ciklusa održivosti ostvaruje (Slika 7). Moguće je smatrati križno lamelirano drvo i njegovu proizvodnju 100% održivom. [12]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju



Slika 7: Prerada CLT otpada (slika lijevo) u nove reciklirane panele (slika desno)
(izvor: <https://www.trilliumpacific.com/clt-recycled>, 26.05.2024.)

6. INTEGRACIJA DRVA I EKOLOŠKIH MATERIJALA U GRAĐEVINAMA

6.1. Sinergija između drva, CLT-a i ekoloških materijala

U razdoblju sve češćeg poticanja ekološkog osvještavanja i potrebe za održivim razvojem, građevinska industrija prolazi kroz značajne promjene. Korištenje drva, križno-laminiranog drva (CLT) i drugih ekoloških materijala predstavlja ključni korak ka stvaranju održivih, energetski učinkovitih i estetski ugodnih građevina. Sinergija između ovih materijala omogućava postizanje brojnih prednosti, kako za okoliš, tako i za korisnike prostora. Arhitekti i građevinari su tako pozvani i dužnost im je da dizajniraju zgrade koje zadovoljavaju visoke ekološke standarde, smanjujući pri tome troškove korištenja energije i povećavajući kvalitetu života korisnika.

6.2. Inovativni dizajni i arhitektonska rješenja

Inovativni dizajn i tehnologija križno lameliranog drva razvila se početkom devedesetih godina u Austriji.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Zbog nedostatka tehničkog znanja tj. neistraženosti specifikacija ovog proizvoda ulazak proizvoda na građevinsko tržište trajao je par godina. Bilo je potrebno detaljno proučiti standardnu strukturalnu otpornost materijala. Postavilo se kompleksno pitanje kako točno primijeniti križno laminirano drvo poznato i kao CLT na stambene konstrukcije.

Nakon intenzivno provedenih studija o izvedbi i primjeni CLT-a nastao je novi fokus koji se odnosio na održivost zgrada. CLT je relativno brzo stekao popularnost u Europi. Intenzivna uporaba ove tehnologije gradnje počela je oko 2000. godine i još uvijek eksponencijalno raste zbog činjenice što je ovaj montažni materijal kao takav jednostavan za rukovanje i ugradnju.

Postizanje impresivnih arhitektonskih rješenja ipak se velikim djelom odnosi na najnoviju tehnologiju gradnje kojom se CLT koristi kao „3D modul“ ili takozvani „box modul“ (Slika 8). Spomenuti modul označava predgotovljeni funkcionalni stambeni blok koji je već formiran u tvornici. Stambeni blok je opremljen sa gotovo svim djelovima konstrukcije (90%), te se nakon transporta istog na gradilište i njegove montaže na gradilištu isti samo mora priključiti na postojeće priključke za instalacije te se urediti još par sitnica unutar modula. Tako sustavi modula sadrže kompletno završene unutarnje zidove, podove i stropove. [12]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju



Slika 8: CLT 3D modularna konstrukcija (izvor: <https://www.treehugger.com/construction-revolution-continues-cross-laminated-timber-goes-modular-4858141>, 26.05.2024.)

Obična stambena zgrada sastoji se od projektom predviđenih 3D modula koji se podižu i spajaju zajedno kao što je prikazano na slici 4.

Gotova struktura modula proizvedena u tvornici omogućuje provjeru visoke kvalitete metode izgradnje nosive konstrukcije te njene ispune, veći rad na sigurnosti u usporedbi s uvjetima na normalnim gradilištima i kratko vrijeme proizvodnje.

Što se tiče vremena izgradnje, tehnologija proizvodnje CLT 3D modula osigurava 50 do 70% cjelokupne uštede na izgradnji konstrukcije u usporedbi s onim što je potrebno za izgradnju iste od na primjer betona.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Jasno je da sofisticiranija tehnologija zahtijeva veća početna ulaganja, ali u većini slučajeva taj se trošak nadoknađuje višom kvalitetom proizvoda i prednostima u uštedi vremena. [12]

Uspoređuje li se proizvodnja CLT i npr. betonske konstrukcije prednost je ta da proizvodnja CLT 2D panela u normalnom proizvodnom pogonu traje oko jedan dan, a panel je spreman za korištenje već sljedeći dan. Dok betonu treba otprilike 28 dana za isto. Sličnost izrade montažnom betonskom elementu omogućena je zbog izrade 2D opremljenog modula unaprijed. U odnosu na betonsku tehnologiju gradnje, ušteda vremena u ovom slučaju je oko 30% zbog mogućnosti ugradnje ne samo izolacije samog panela već i prozora, vrata i obloge na jednom modulu. Najsofisticiraniji križni laminirani drveni sustav, tzv. modul „3D box“, zahtijeva dulje vrijeme proizvodnje u tvornici u odnosu na individualne panele kako bi se postigla razina prefabrikacije od 90%. Međutim, duže vrijeme proizvodnje je dobro uravnoteženo s ukupnom uštedom vremena izgradnje između 50 i 70% u usporedbi s uobičajenom tehnologijom lijevanja betona na licu mjesta na gradilištu. [12]

Kreiranje svakog inovativnog dizajna nosi i određeni trošak koji je jedan od najbitnijih faktora izgradnje općenito. Stoga se pri projektiranju CLT zahtjevnijih konstrukcija uz tehničku složenost mora obratiti pozornost i na dio vezan uz financije. Dokaz toga su i natječaji javne nabave gdje su najbitniji faktori pri odabiru nositelja posla vremenska i financijska isplativost. Najlakši način da se uštede novčana sredstva tijekom izgradnje je korištenje jeftinih građevinskih rješenja i materijala, ili se veća i kvalitetnija investicija mora opravdati kroz kraći rok izvođenja same konstrukcije (projekta).

Uspoređujući ponovno beton s CLT građevinskim rješenjem, CLT je skuplji u smislu početnog ulaganja, ali ušteda u vremenu čini investiciju gotovo jednaku kao betonsku.

Razlog zašto jednostavno rješenje kao što je CLT koje uključuje nekoliko skupova drvenih ploča zalijepljenih zajedno rezultira visokim početnim troškom objasnio je g. Matti Mikkola iz Puutuoteteollisuus Oy-a. On naime tvrdi da su svi troškovi uzrokovani lošim poznavanjem tehnologije u gradnji općenito. Tijekom svojih proučavanja otkrio je da postoje tri glavna čimbenika koji utječu na troškove CLT-a, a to su: [12]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

- 1) Nedostatak znanja o dizajnu;
- 2) troškovi zaštite od požara;
- 3) dodatna voda potrebna za instalacije prskalica.

Navedeni čimbenici i njihov utjecaj na korištenje CLT-a u gradnji se trendom istraživanja na terenu pokušavaju smanjiti u pogledu troškova i pokušava ih se prilagoditi da budu na istoj razini s ostalim građevinskim tehnologijama.

5.2.1. Primjer inovativnog dizajna i arhitektonskog CLT rješenja u Hrvatskoj

Primjer implementacije moderne gradnje CLT tehnologijom u Hrvatskoj je „Kuća u Tkalčićevoj“ (Slika 9) koja je pri kraju izgradnje. Odlike zgrade uz korištenje prirodnih materijala poput križnog lameliranog punog drva i čelika su i te da je ona građena kao protupotresna i protupožarna. Zgrada je konstruktivno lagana, visoke elastičnosti, ima certificiranu vatrootpornost, sadrži najmodernija arhitektonska rješenja, vrhunski termoizolirana te zaštićena od buke. Energetski razred u koji spada je A+. [13]



Slika 9: CLT zgrada u Zagrebu (izvor: <https://tkalciceva.com/hr/#odlike>, 26.05.2024.)

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

5.2.2. Primjer inovativnog dizajna i arhitektonskog CLT rješenja u zapadnoj Europi (Luksemburg)

Drugi primjer CLT dizajna i arhitektonskog rješenja je poslovna zgrada u gradu Marnau u Luksemburgu (Slika 10). Zgrada je nadograđena na postojeću proizvodnu halu te prati njenu kompaktnu formu, visinu i širinu. Projekt je izradila luksemburška tvrtka Entreprise Lucien Heinz. CLT tehnologijom su izgrađene međukatne ploče, zidni paneli, krov te dodatni konstruktivni elementi (Slika 11).

Zgrada je visoka 12 metara, katnosti P+2 te joj dimenzije iznose 27,80 m x 11,90 m. Nalazi se između postojeće hale i ulice. Dvorana poslovne zgrade i uredski prostor posebni su zbog toga što čine cjelinu koja u kombinaciji s drvenom fasadom ističe srce konstrukcije tj. drvenu građevinu kao takvu. Istaknute su prednosti gradnje drvom poput: smanjenja emisije CO₂, lake konstrukcije i samim tim brže montaže te zdravijeg objekta koji poboljšava osjećaj udobnosti korisnika pri korištenju istog. [14]



Slika 10: CLT zgrada u Luksemburgu (izvor <https://www.grenef.hr/gradnja-drvetom-poslovna-zgrada-u-gradu-marnau/>, 26.05.2024.)

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju



Slika 11: CLT zgrada u Luksemburgu - unutarnji prostor (izvor <https://www.grener.hr/gradnja-drvetom-poslovna-zgrada-u-gradu-marnau/>, 26.05.2024.)

7. INTEGRACIJA TRI SUSTAVA GRADNJE U DRVU

Gradnja u drvu postaje sve popularnija zbog svoje održivosti, brzine gradnje i estetskih kvaliteta. Tri osnovna sustava gradnje u drvu su: skeletni sustav, panelni sustav i masivni sustav. Integracija navedenih sustava predstavlja inovativan pristup u građevinskoj industriji, kombinirajući estetske i funkcionalne prednosti drva s modernim tehnikama izgradnje. [15]

7.1. Skeletni sustav (engl. Timber Frame Construction)

Skeletni sustav (Slika 12), poznat i kao okvirni sustav, koristi drvene grede i stupove koji čine osnovnu strukturu zgrade. Tako se ovaj sustav često koristi za izgradnju obiteljskih kuća, vikendica, poslovnih objekata i manjih objekata. Također se koristi u modularnoj gradnji gdje se dijelovi zgrade izrađuju u tvornici i sastavljaju na licu mjesta.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Osnovni elementi su vertikalni stupovi i horizontalne grede koje se povezuju na način da formiraju stabilan okvir. Ovaj okvir podržava podove, zidove i krov. [15]



Slika 12: Skeletni sustav (izvor: <https://www.timber-frame-suppliers.co.uk/about-timber-frame/>, 16.06.2024.)

Glavni materijali su drvene grede, stupovi i ploče. Drvo se često obrađuje da bi se povećala njegova otpornost na vlagu, štetočine i požar. Drveni skelet ima dobru otpornost na seizmičke aktivnosti zahvaljujući svojoj fleksibilnosti i sposobnosti da apsorbira energiju potresa.

Prednosti skeletnog sustava uključuju: [15]

- **Fleksibilnost dizajna**

Omogućava prilagodbu različitim arhitektonskim stilovima;

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

- **Brzu ugradnju**

Montaža se može izvesti brzo zbog prefabriciranih elemenata;

- **Laku modifikaciju**

Promjene i renovacije se mogu lako izvesti zbog pristupačnog okvira.

Nedostaci skeletnog sustava uključuju: [16]

- **Ograničenje zbog veličine**

Drveni skeletni sustavi obično se mogu primijeniti na zgrade niže visine/katnosti zbog ograničene nosivosti drva;

- **Održavanje**

Drvo zahtijeva redovito održavanje kako bi se spriječilo truljenje, napad štetočina i oštećenja od vlage.

Skeletni sustav zahtijeva pažljivo planiranje i preciznost pri montaži kako bi se osigurala stabilnost i dugotrajnost konstrukcije. [15]

7.2. Panelni sustav (engl. Panelized Construction)

Panelni sustav (Slika 13) uključuje upotrebu velikih panela koji se izrađuju u tvornici i zatim transportom dopremaju na gradilište gde se montiraju. Ovi paneli mogu biti od različitih materijala, ali u drvenoj gradnji najčešće se koriste drveni okviri ispunjeni izolacijskim materijalom i obloženi OSB pločama. Panelni sustavi također nude visoku preciznost u gradnji, jer su paneli proizvedeni pomoću naprednih tehnologija poput CNC strojeva. [15]

Panelni drveni sustavi se koriste u širokom spektru građevinskih projekata, uključujući stambene, komercijalne i javne objekte. CLT se često koristi za izgradnju visokih zgrada, poznatih kao "drveni neboderi", dok se LVL i glulam često koriste pri gradnji mostova, industrijskih hala i u sportskim objektima zbog njihove nosivosti i dugovječnosti. [17]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju



Slika 13: Panelni sustav (izvor: <https://www.landabuilders.me/blog-landbuilders/panelized-construction>, 16.06.2024.)

Prednosti panelnog sustava su: [15], [17]

- **Efikasnost**

Značajno smanjuje vrijeme gradnje jer se veliki dijelovi objekta montiraju u tvornici;

- **Kvaliteta**

Kontrola kvalitete je veća jer se paneli izrađuju u reguliranim uvjetima postrojenja;

- **Energetska efikasnost**

Paneli često dolaze sa ugrađenom izolacijom, što poboljšava energetske učinkovitost zgrade. Odlična izolacijska svojstva također mogu pomoći u smanjenju troškova grijanja i hlađenja zgrada. Pored toga, panelni drveni sustavi omogućuju brzu i preciznu izgradnju, što dodatno smanjuje potrošnju energije tijekom gradnje.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

- **Ekološka održivost**

Drvo je obnovljiv resurs koji, kada se pravilno njime upravlja, može značajno smanjiti zagađenje uzrokovano građevinskom industrijom. Drveni paneli također skladište ugljik tijekom svog životnog vijeka, pridonoseći smanjenju atmosferskog CO₂.

- **Strukturna svojstva**

CLT paneli, na primjer, imaju izuzetnu čvrstoću i stabilnost. Navedeno ih čini pogodnima za izgradnju višekatnih zgrada. „Glulam“ i LVL također nude visoku nosivost i otpornost na deformacije, što ih čini idealnima za različite primjene u građevini.

- **Fleksibilnost dizajna**

Panelni drveni sustavi omogućuju arhitektima veću slobodu u dizajnu, zahvaljujući mogućnostima prefabrikacije i jednostavnosti obrade. Drvo se može lako oblikovati i prilagoditi različitim arhitektonskim zahtjevima.

Nedostatak panelnog sustava može biti visoki početni trošak zbog transporta i potrebe za specijaliziranom opremom za montažu velikih panela. [15]

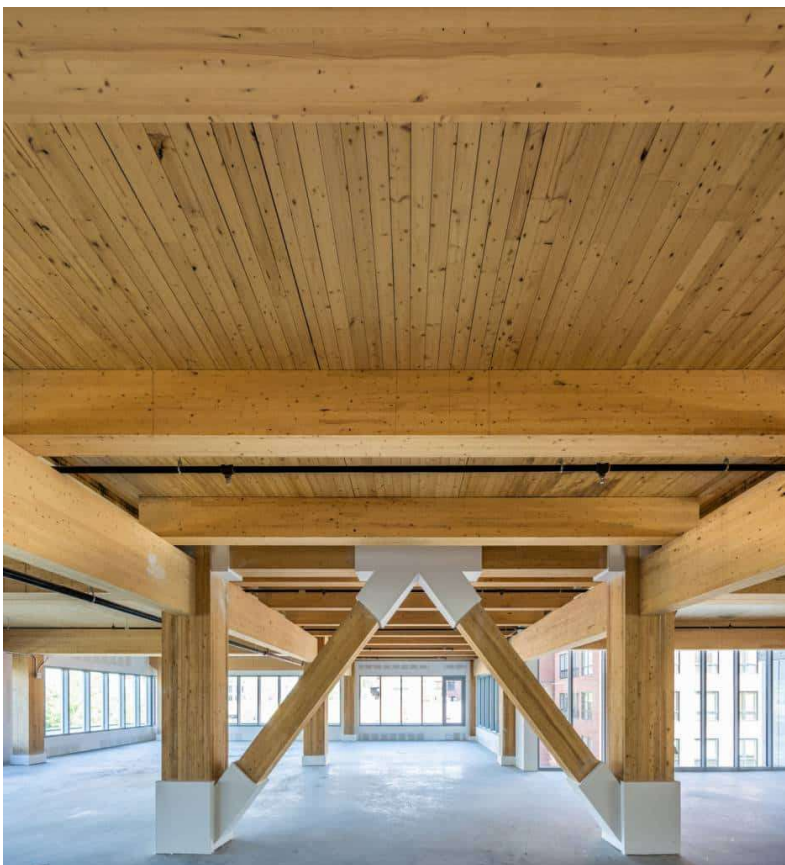
7.3. Masivni sustav (engl. Mass Timber Construction)

Masivni drveni sustavi predstavljaju održivu, ekološki prihvatljivu i estetski privlačnu alternativu tradicionalnim građevinskim materijalima. Njihove strukturne, arhitektonske i ekonomske prednosti čine ih atraktivnim izborom za suvremenu gradnju. U masivnom se sustavu (Slika 14) koristi velike drvene elemente kao što su lamelirane grede, unakrsno laminirane ploče (CLT), drveni stupovi i drveni paneli visokih performansi. Ovi materijali omogućavaju izgradnju višestambenih zgrada i velikih objekata poput poslovnih zgrada, javnih ustanova, škola i sportskih dvorana. [15]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Masivni drveni elementi omogućuju stvaranje otvorenih i prozračnih prostora zahvaljujući svojim nosivim svojstvima. Arhitekti cijene masivno drvo zbog njegove fleksibilnosti i sposobnosti da se uklopi u različite stilove, od tradicionalnih do suvremenih. Masivni drveni sustavi odlikuju se visokom čvrstoćom i stabilnošću. [18]

Iako početni troškovi izgradnje masivnim drvenim sustavima mogu biti viši, dugoročno se ispostavljaju ekonomičnijima. Drvene konstrukcije zahtijevaju manje održavanja i imaju duži vijek trajanja. Također, brža izgradnja zbog prefabrikacije elemenata smanjuje ukupne troškove rada i vremena. [18]



Slika 14: Masivni sustav (izvor: <https://www.hourigan.group/blog/building-sustainable-futures-with-mass-timber-construction/>, 16.06.2024.)

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

Prednosti masivnog sustava uključuju: [15]

- **Strukturnu snagu**

Masivni drveni elementi pružaju visoku nosivost i otpornost na požar. Masivni drveni paneli mogu izdržati visoka vertikalna i horizontalna opterećenja, što ih čini pogodnim za visoke zgrade. Također, drvo ima prirodnu otpornost na vatru, jer se na površini stvara ugljični sloj koji usporava daljnje izgaranje;

- **Održivost**

Drvo je obnovljiv materijal koji apsorbira CO₂ ;

- **Estetiku**

Prirodna ljepota drvenih elemenata doprinosi estetskom doživljaju interijera i eksterijera;

- **Toplinsku i zvučnu izolaciju**

Drvo posjeduje odlična izolacijska svojstva. Masivni drveni sustavi pomažu u održavanju toplinske "udobnosti" unutar zgrada i smanjenju troškova grijanja i hlađenja. Također, drvo ima sposobnost apsorpcije zvuka, što doprinosi akustičnoj komponenti unutar prostora;

- **Brzinu i efikasnost izgradnje**

Korištenje masivnih drvenih panela omogućava brzu i efikasnu montažu na gradilištu. Prefabricirani drveni elementi mogu se brzo sastaviti, smanjujući vrijeme gradnje i ukupne troškove rada. Ovo je posebno korisno u urbanim sredinama gdje su vremenska ograničenja stroga.

Međutim, masivni sustav može biti skuplji od drugih drvenih sustava gradnje i zahtijeva specijalizirano znanje i opremu za montažu. [15]

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

8. GRAFIČKI DIO

(Svi nacrti korišteni u ovom projektu izrađeni su od strane tvrtke MF ARHITEKTI d.o.o., te su naknadno dodatno dorađeni i nadopunjeni)

SADRŽAJ GRAFIČKOG DIJELA

PREDHODNO STANJE

- 1. Tlocrt suterena stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 2. Tlocrt prizemlja stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 3. Tlocrt potkrovlja stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 4. Presjek A-A stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 5. Jugoistočno i jugozapadno pročelje stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 6. Sjeveroistočno i sjeverozapadno pročelje stambene građevine, mjerilo 1:100*

RUŠENJA I GRAĐENJA

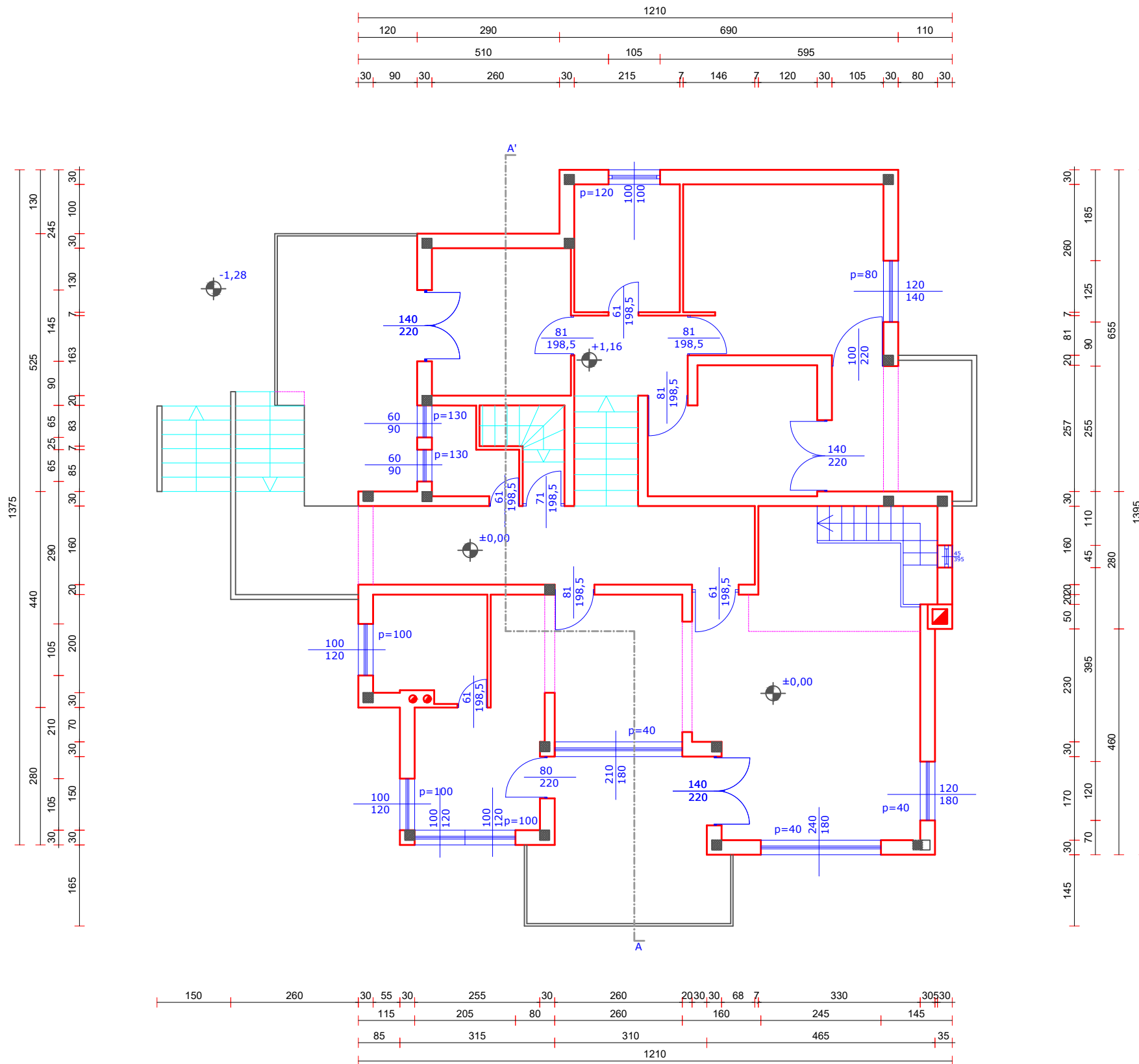
- 1. Tlocrt suterena stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 2. Tlocrt prizemlja stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 3. Tlocrt potkrovlja stambene građevine, mjerilo 1:100*

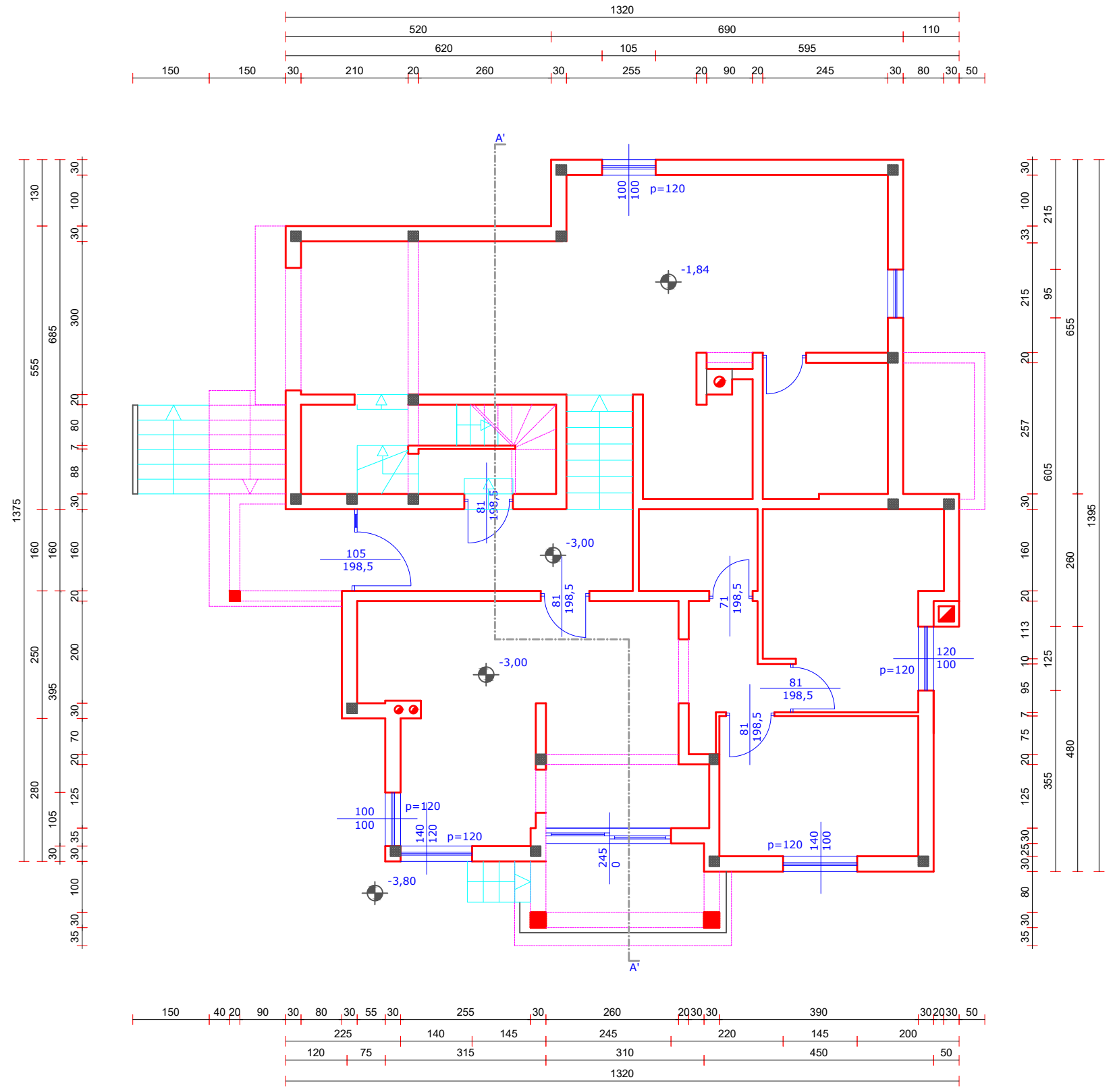
PROJEKTIRANO STANJE

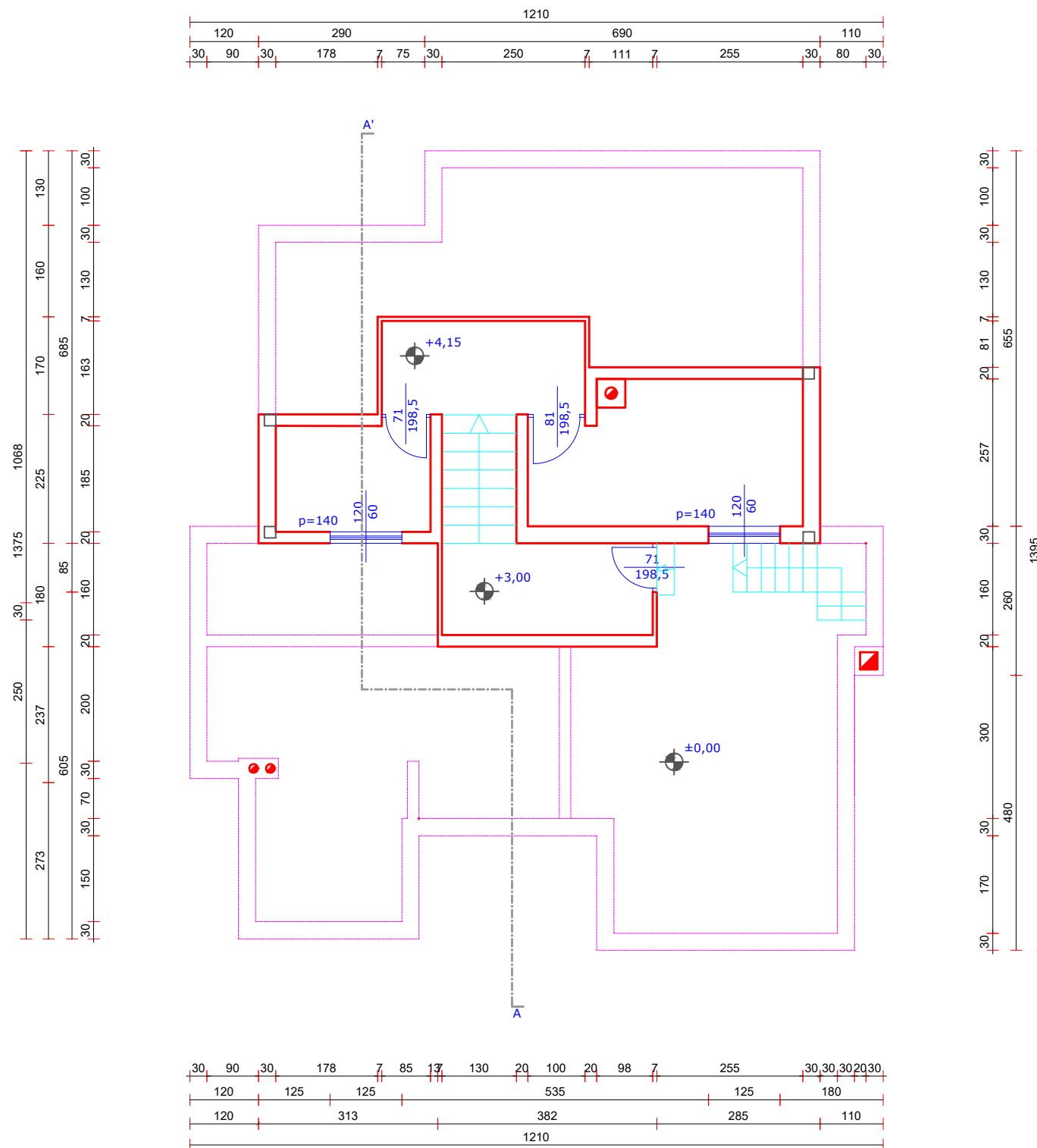
- 1. Tlocrt suterena stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 2. Tlocrt prizemlja stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 3. Tlocrt potkrovlja stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 4. Presjek A-A stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 5. Jugoistočno i jugozapadno pročelje stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 6. Sjeveroistočno i sjeverozapadno pročelje stambene građevine, mjerilo 1:100*
- 7. Tlocrt suterena stambene građevine – dispozicija stropova i stropne obloge, mjerilo 1:100*

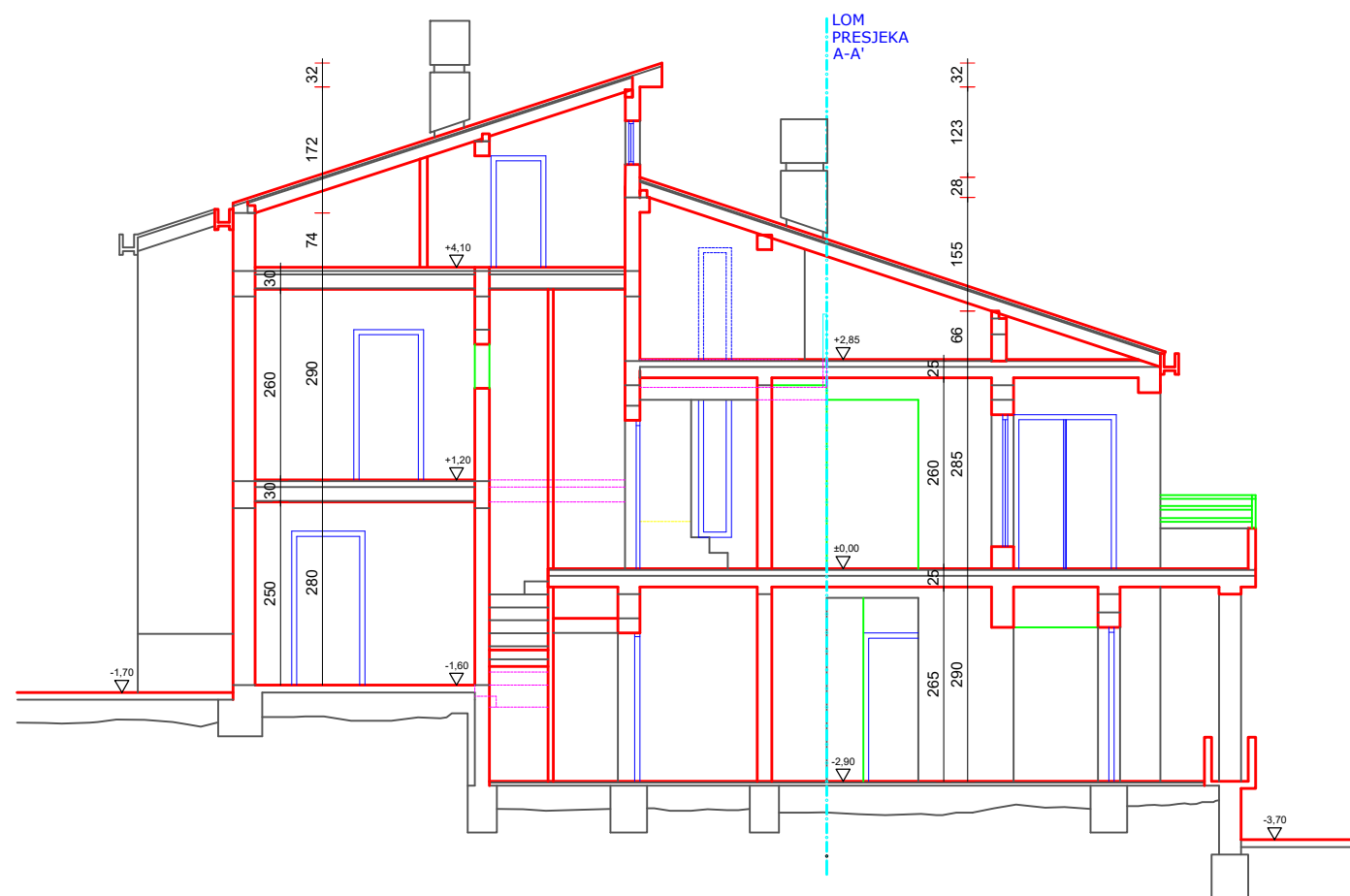
Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

- 8. Tlocrt prizemlja stambene građevine – dispozicija stropova i stropne obloge, mjerilo 1:100**
- 9. Tlocrt potkrovlja stambene građevine – dispozicija stropova i stropne obloge, mjerilo 1:100**
- 10. Tlocrt suterena stambene građevine – dispozicija podova i podne obloge, mjerilo 1:100**
- 11. Tlocrt prizemlja stambene građevine – dispozicija podova i podne obloge, mjerilo 1:100**
- 12. Tlocrt potkrovlja stambene građevine – dispozicija podova i podne obloge, mjerilo 1:100**
- 13. Tlocrt suterena stambene građevine – dispozicija obloge zidova, mjerilo 1:100**
- 14. Tlocrt prizemlja stambene građevine – dispozicija obloge zidova, mjerilo 1:100**
- 15. Tlocrt potkrovlja stambene građevine – dispozicija obloge zidova, mjerilo 1:100**
- 16. Detalj međukatne konstrukcije stambene građevine, mjerilo 1:10**
- 17. Detalj krovnog vijenca stambene građevine, mjerilo 1:10**
- 18. Detalj sljemena stambene građevine, mjerilo 1:10**



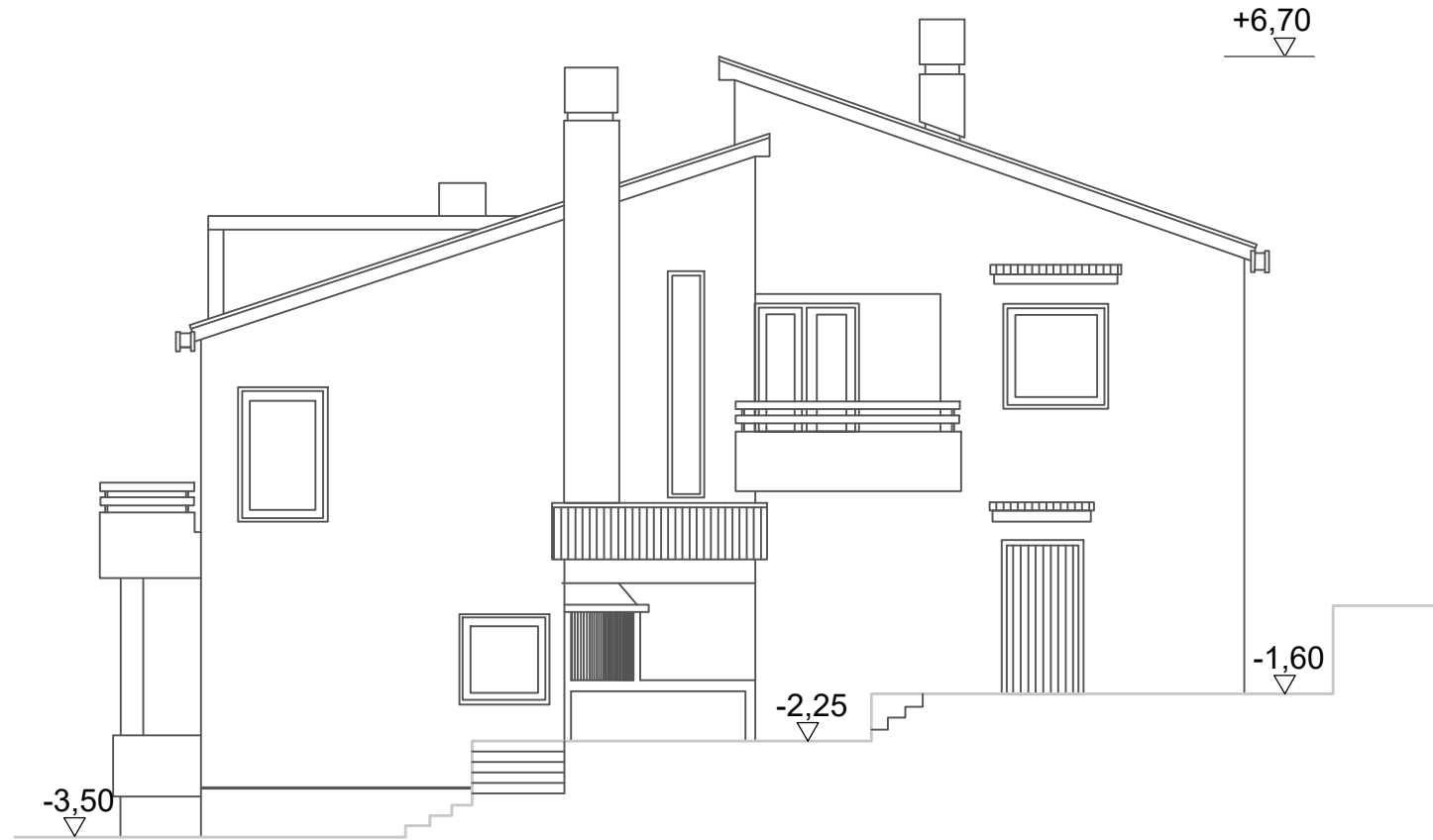






GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji	Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine		
Studentica: Regina Cindrić	Nacrt: Presjek A-A - PREDHODNO STANJE		
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 4	Datum: 24.06.2024.

POSTOJEĆE STANJE
Jugoistočno pročelje

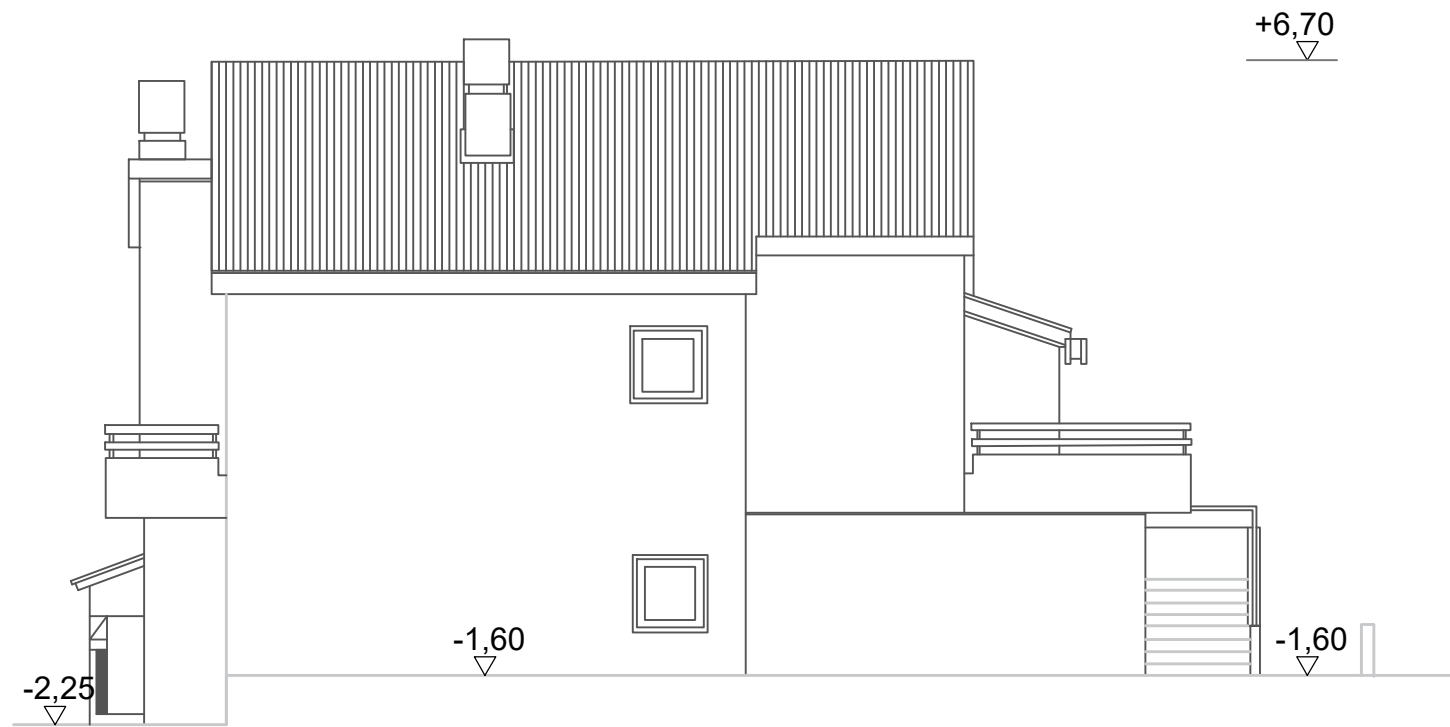


POSTOJEĆE STANJE
Jugozapadno pročelje



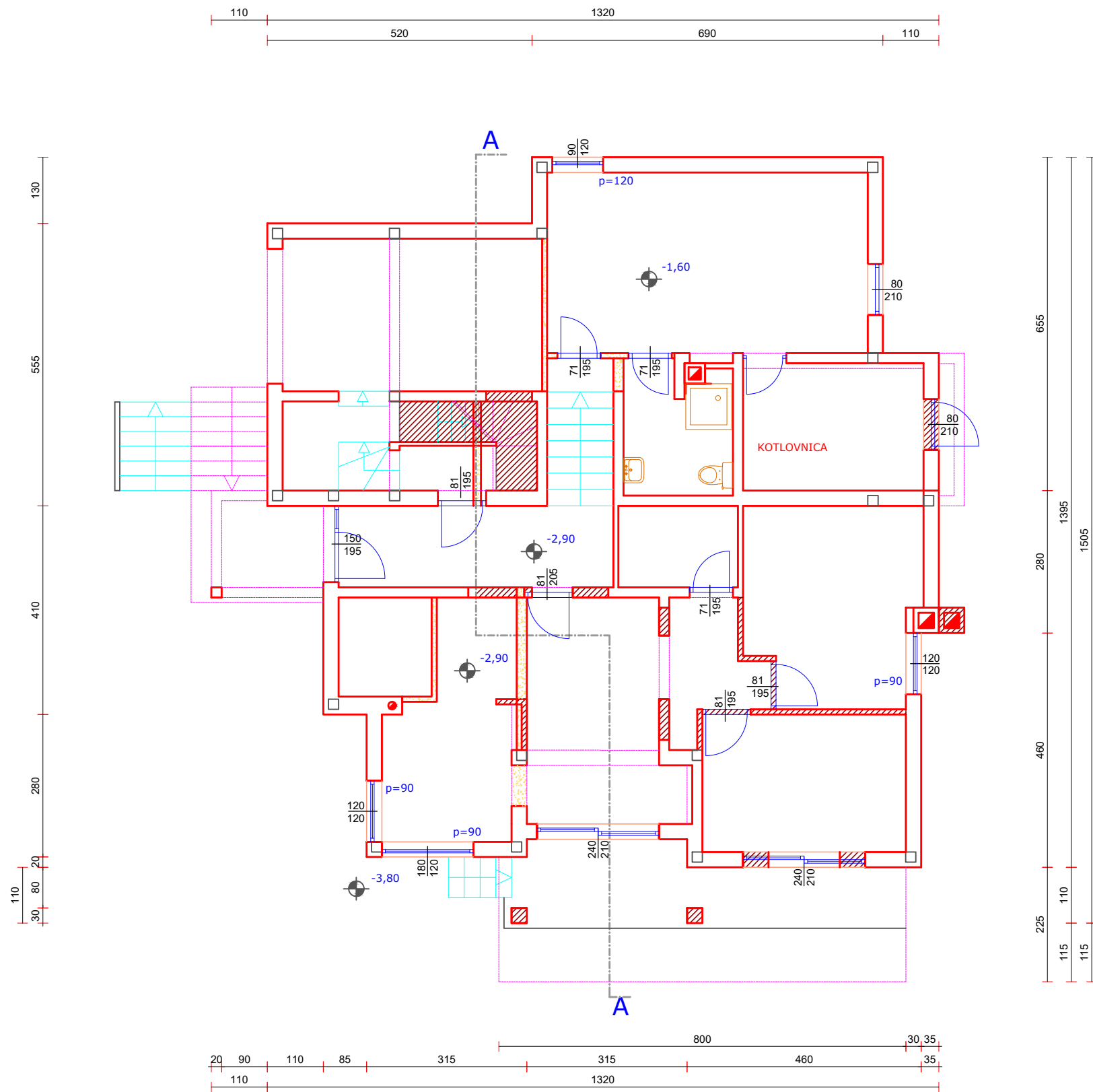
GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji	Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine		
Studentica: Regina Cindrić	Nacrt: Pročelja - PREDHODNO STANJE		
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 5	Datum: 24.06.2024.

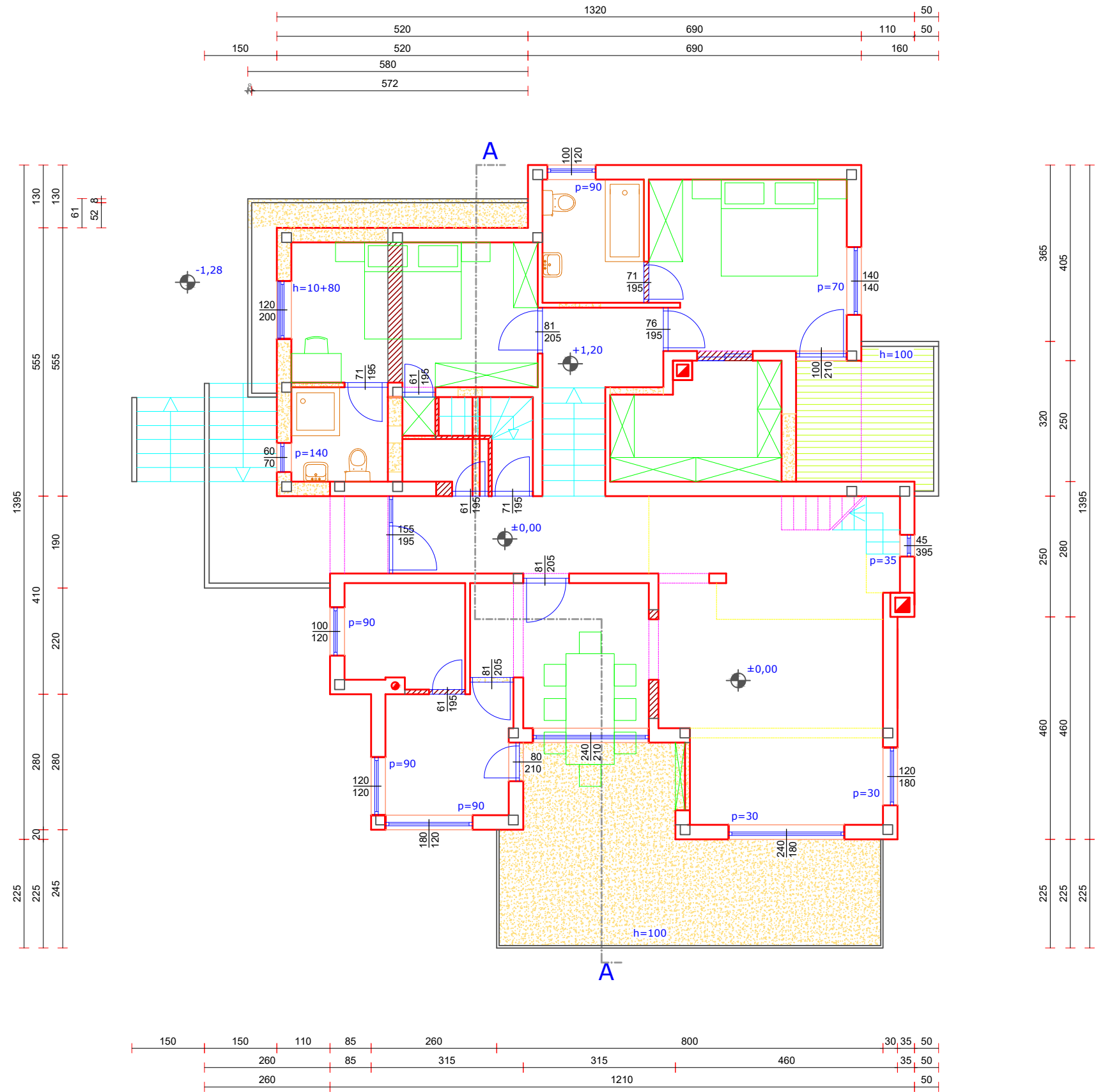
POSTOJEĆE STANJE
Sjeveroistočno pročelje

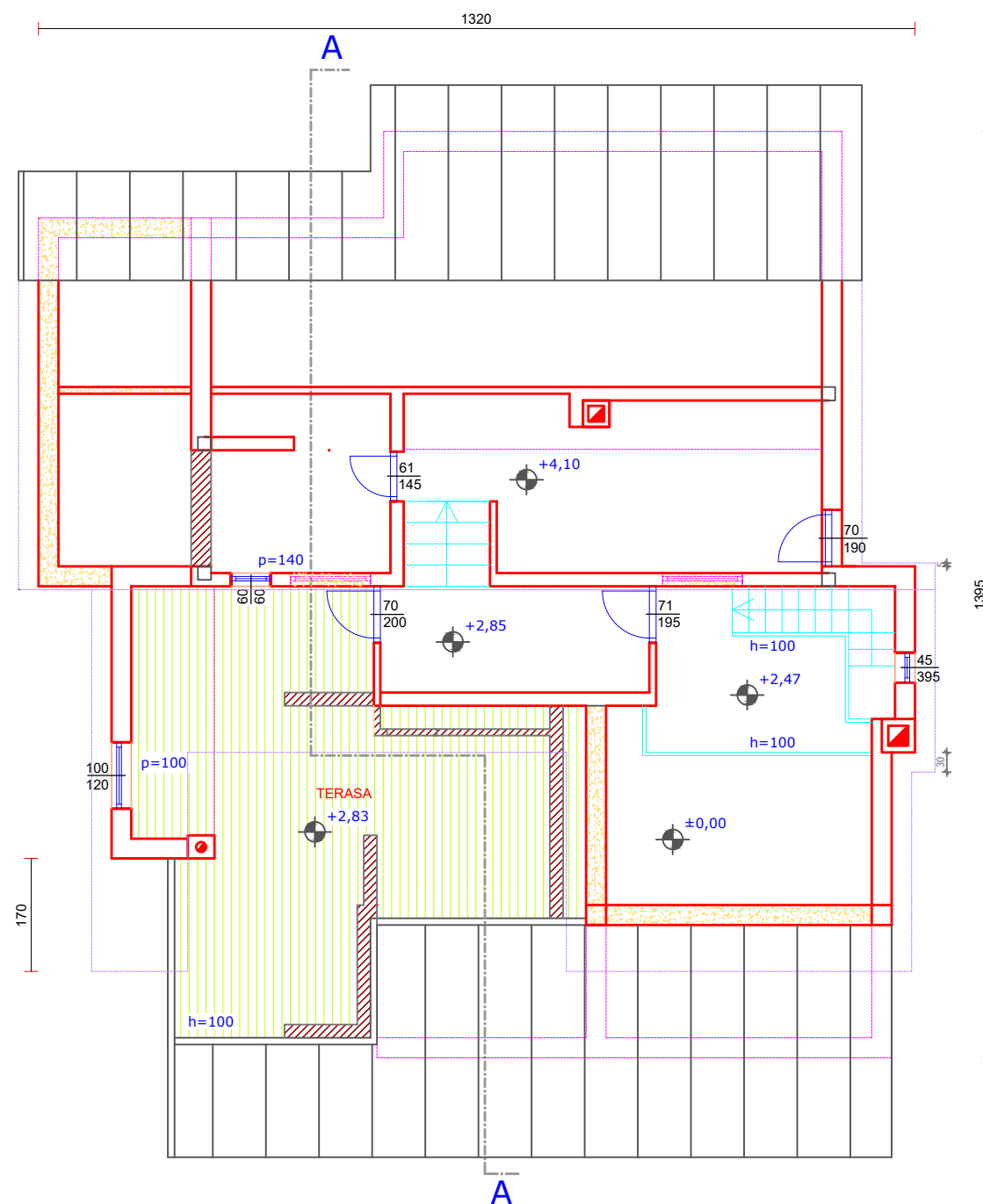


POSTOJEĆE STANJE
Sjeverozapadno pročelje

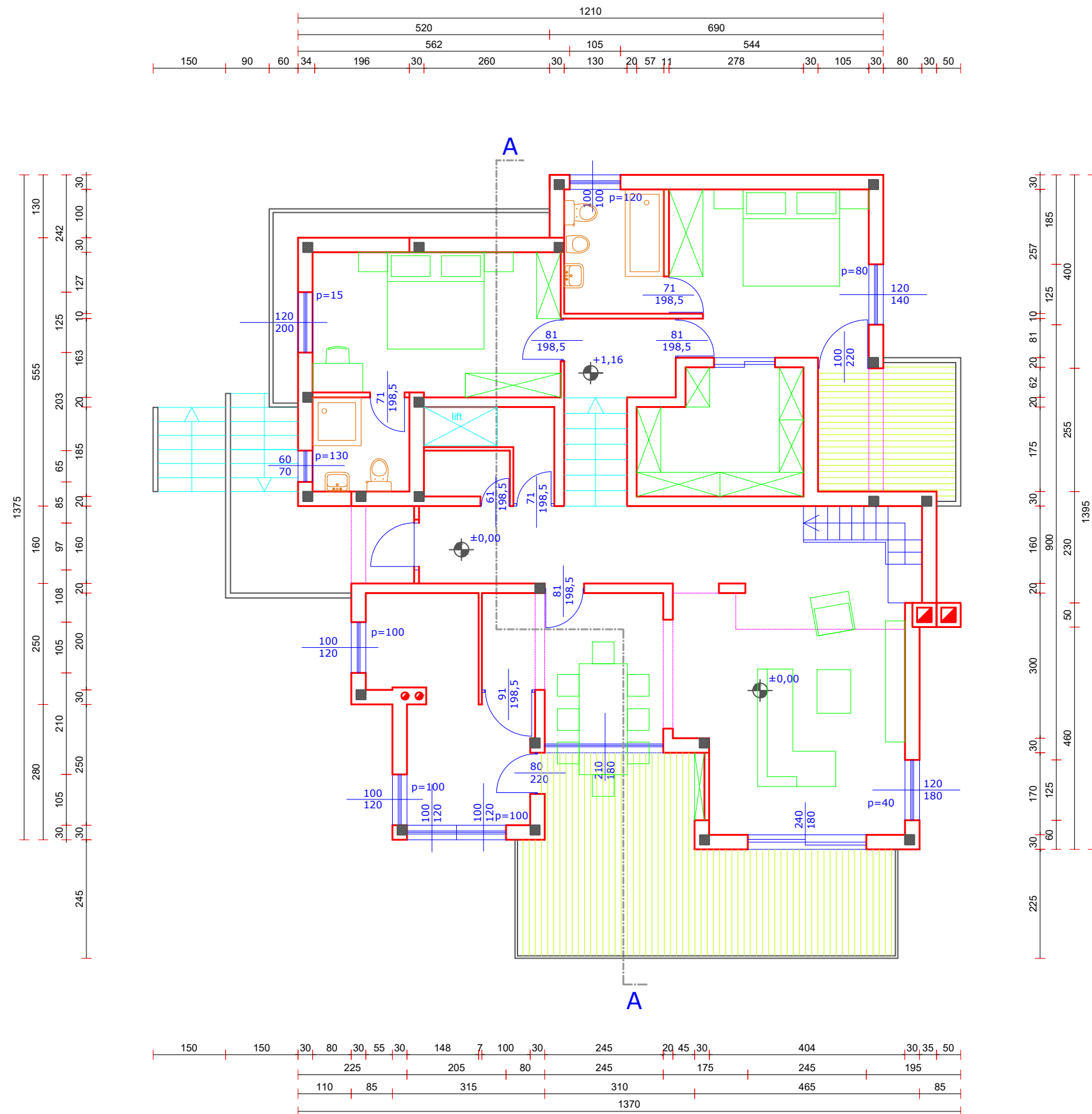




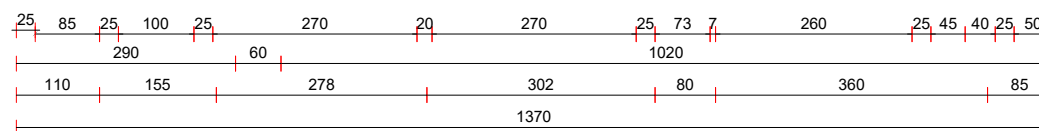
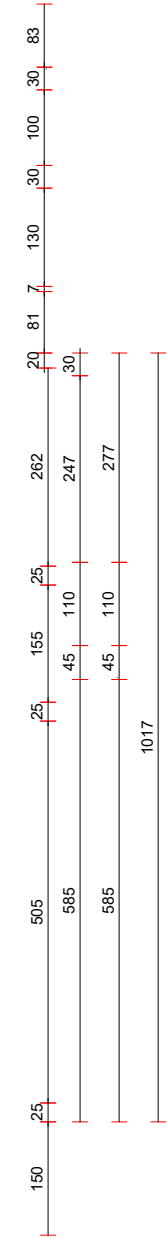
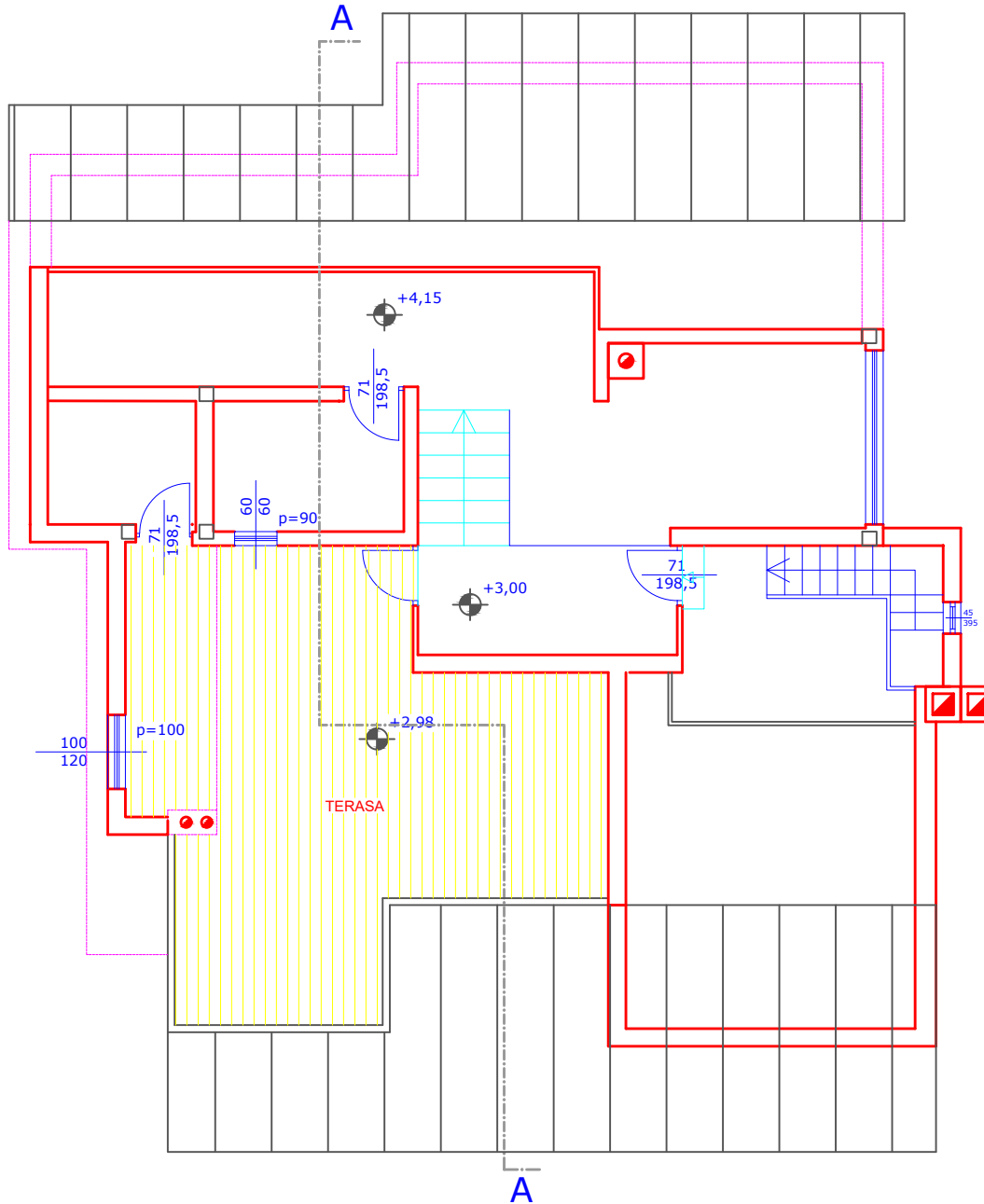
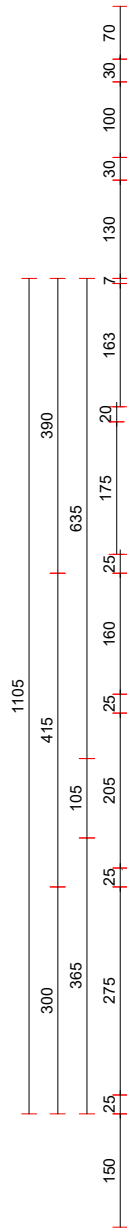
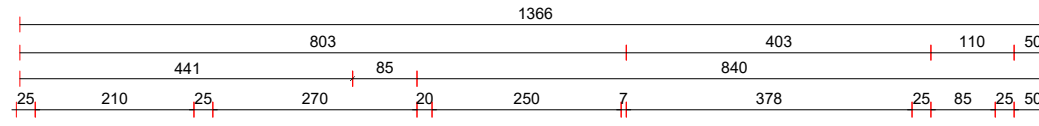




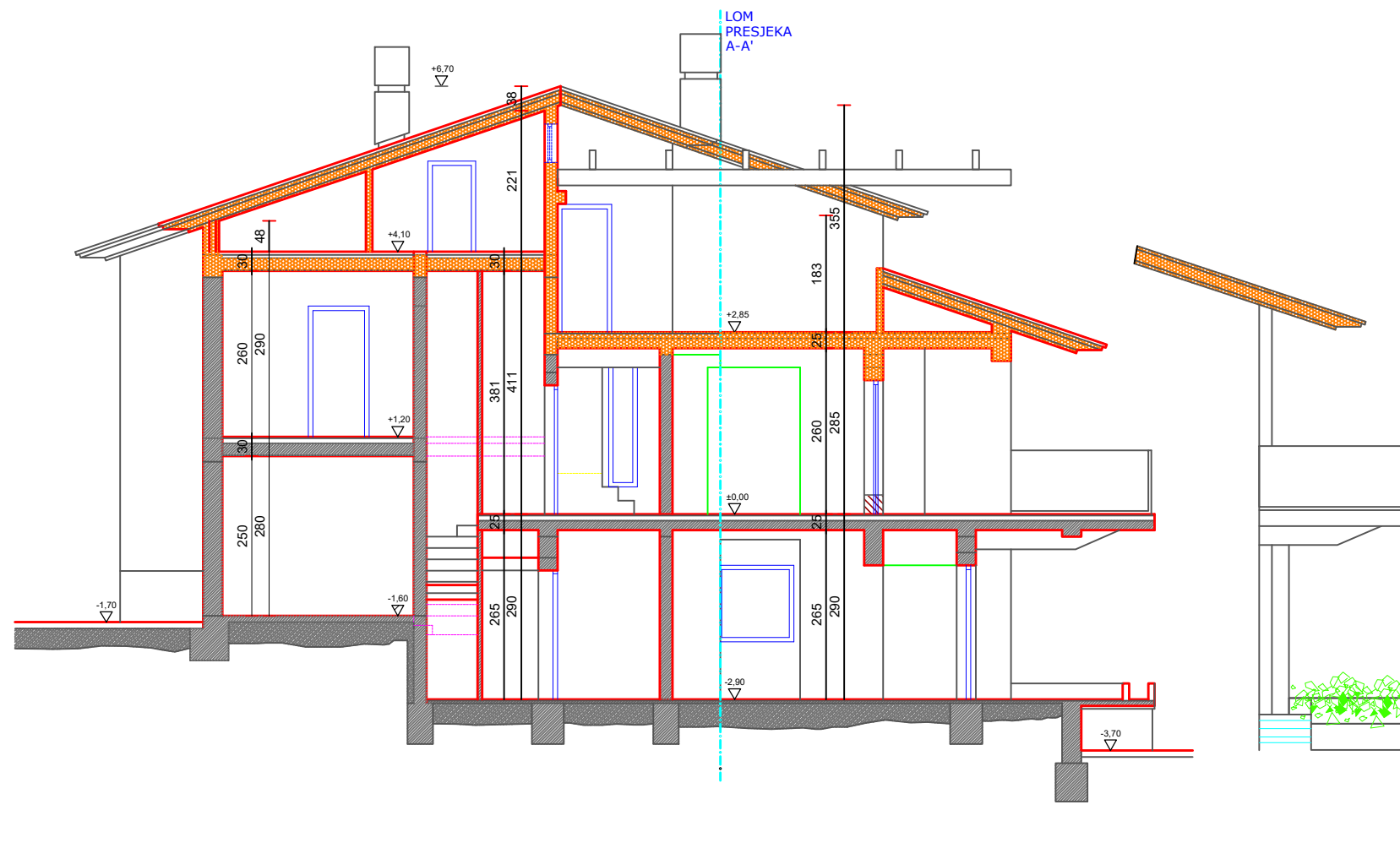
- Građenje
- Rušenje



GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji	Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine		
Studentica: Regina Cindrić	Nacr: Tlocrt prizemlja - PROJEKTIRANO STANJE		
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 2	Datum: 24.06.2024.

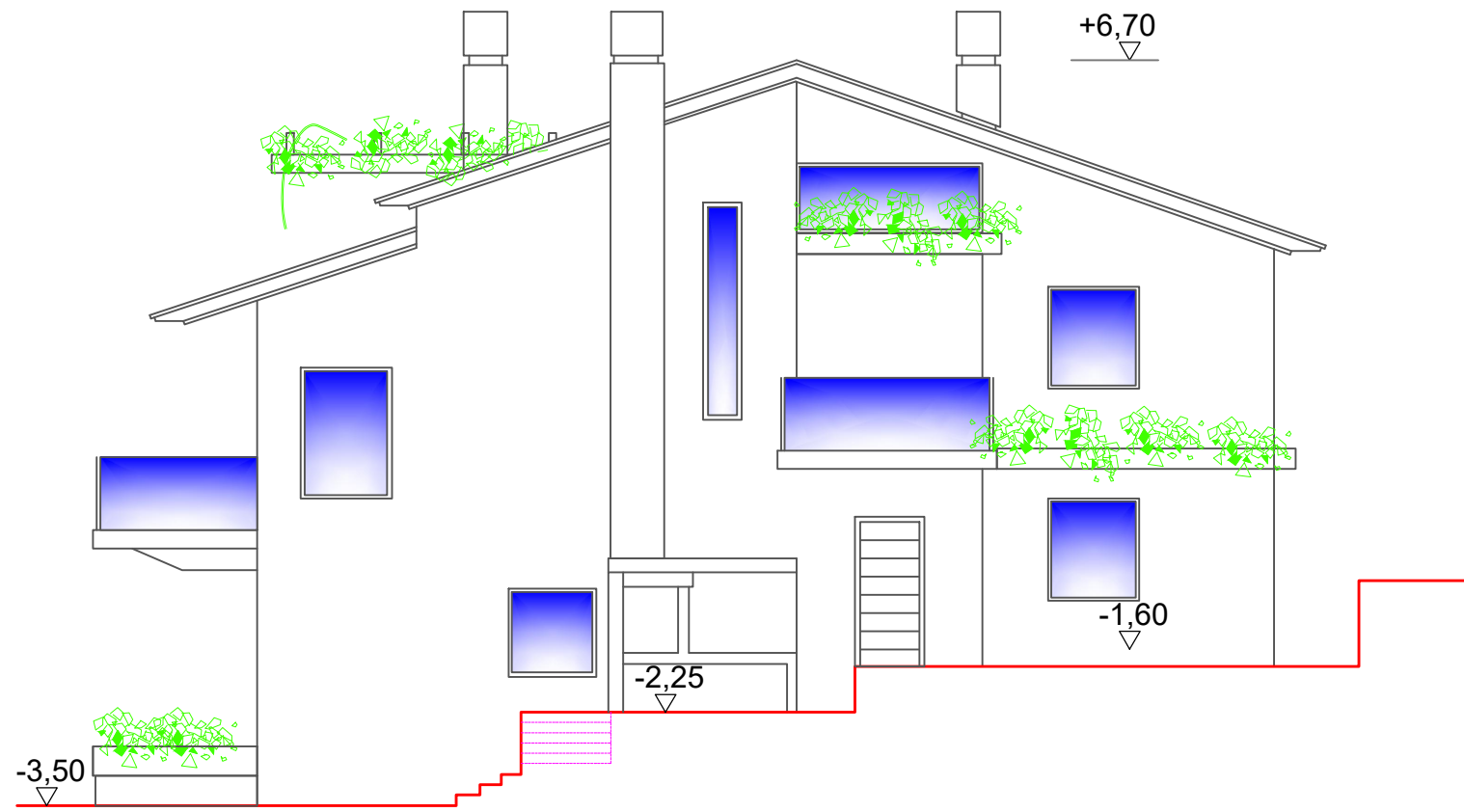


GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji	Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine		
Studentica: Regina Cindrić	Nacrt: Tlocrt potkrovlja - PROJEKTIRANO STANJE		
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 3	Datum: 24.06.2024.

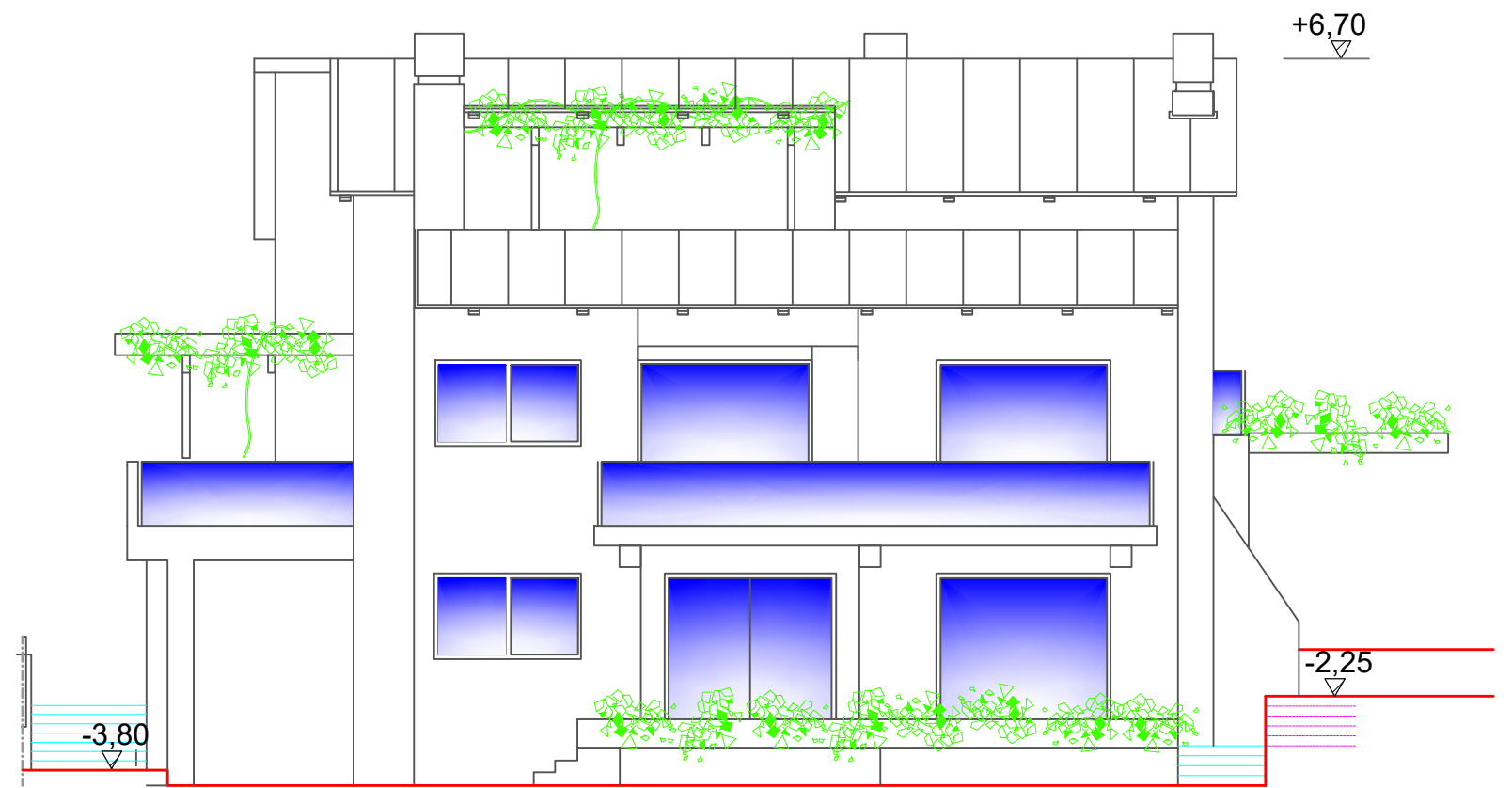


GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji	Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine		
Studentica: Regina Cindrić	Nacrt: Presjek A-A - PROJEKTIRANO STANJE		
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 4	Datum: 24.06.2024.

PROJEKTIRANO STANJE
Jugoistočno pročelje

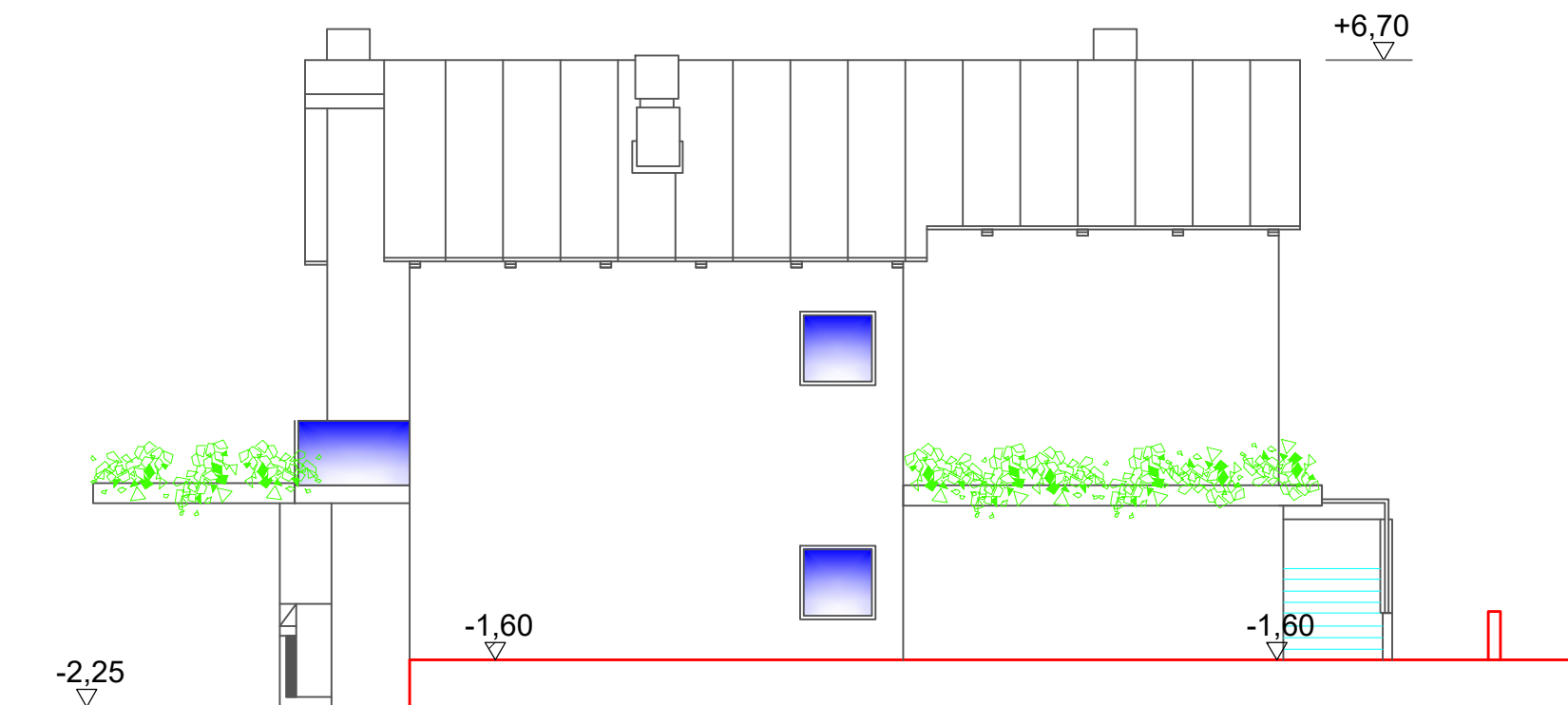


PROJEKTIRANO STANJE
Jugozapadno pročelje

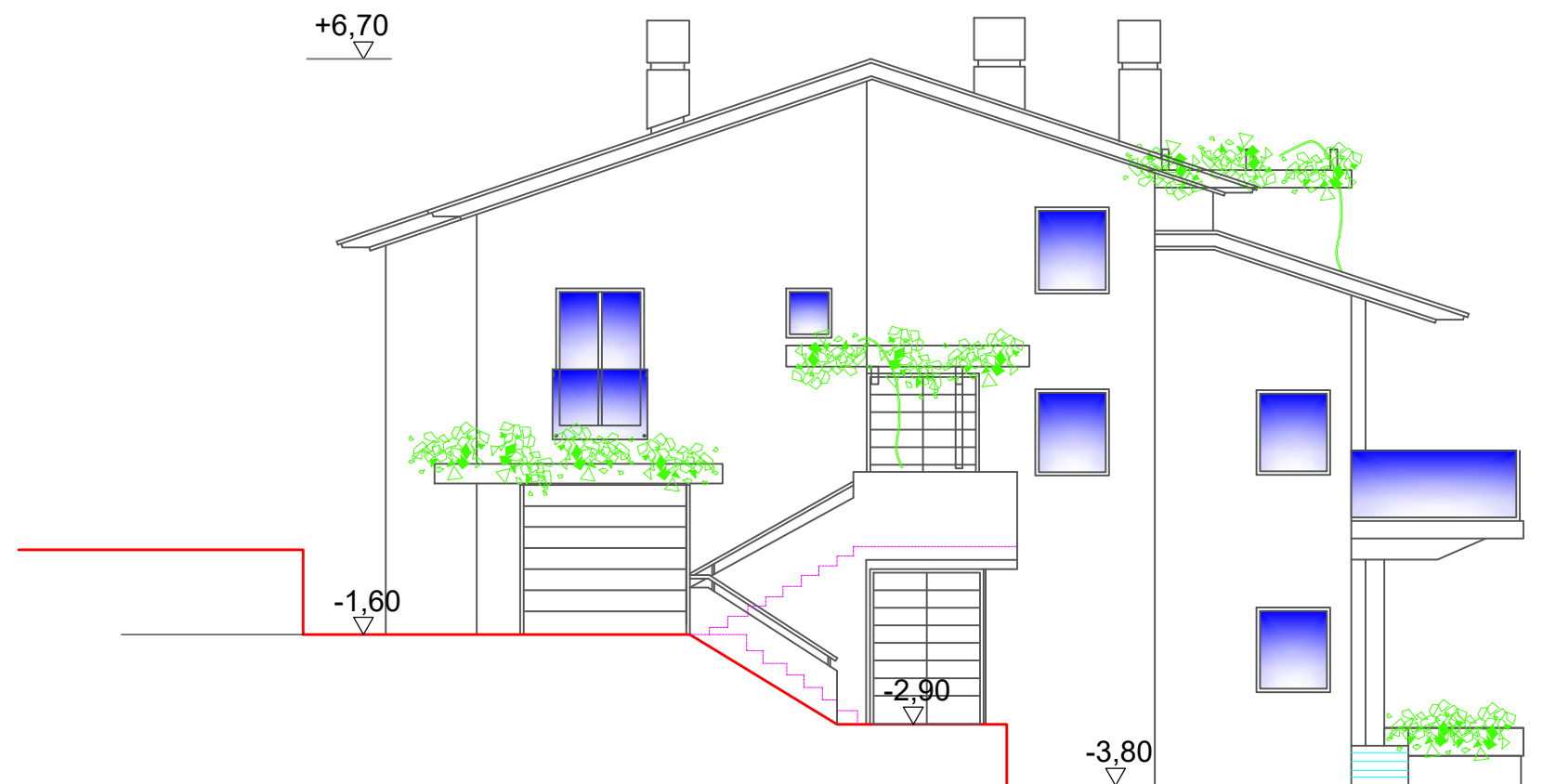


GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji	Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine		
Studentica: Regina Cindrić	Nacr: Pročelja - PROJEKTIRANO STANJE		
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 5	Datum: 24.06.2024.

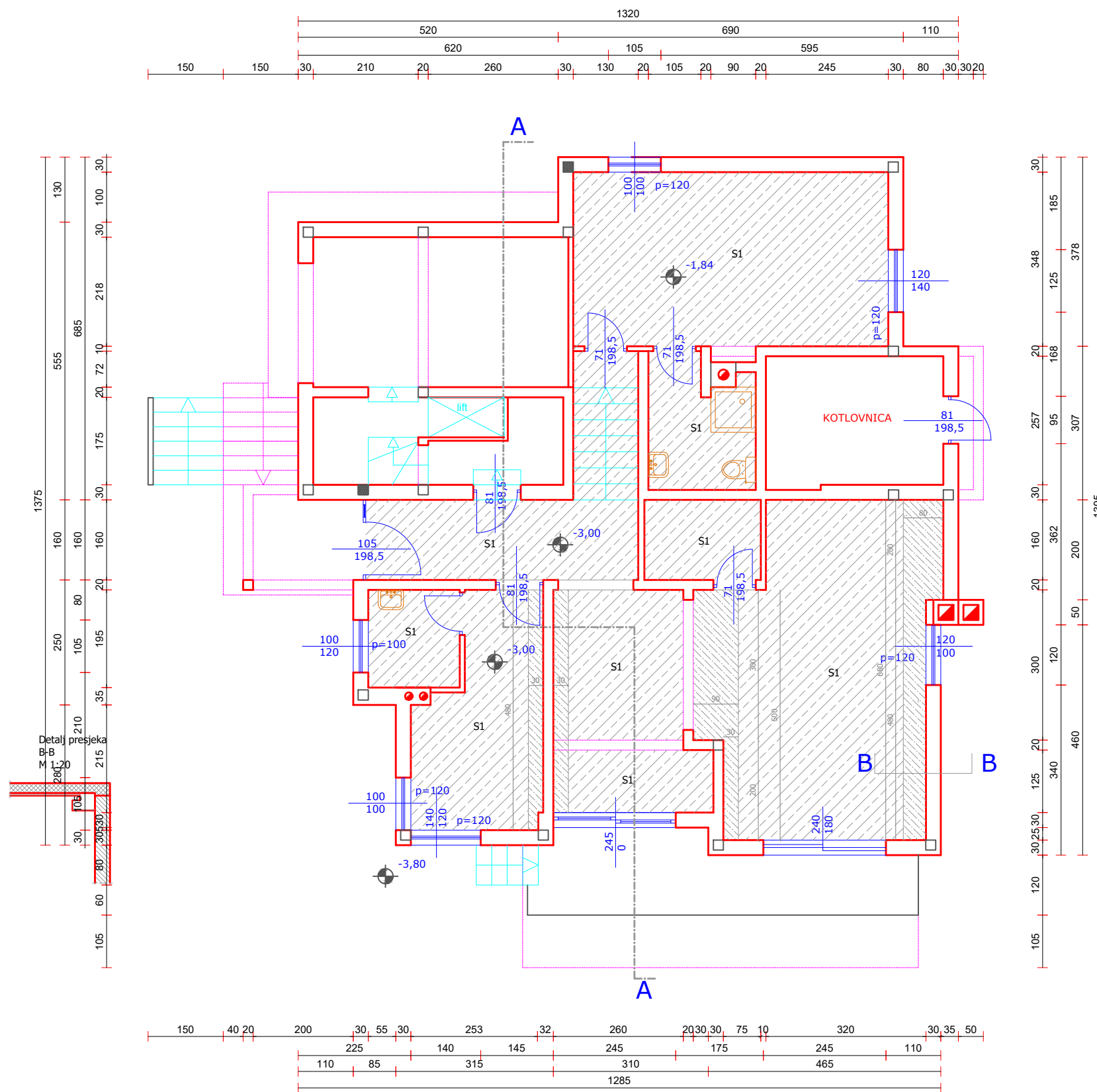
PROJEKTIRANO STANJE
Sjeveroistočno pročelje



PROJEKTIRANO STANJE
Sjeverozapadno pročelje



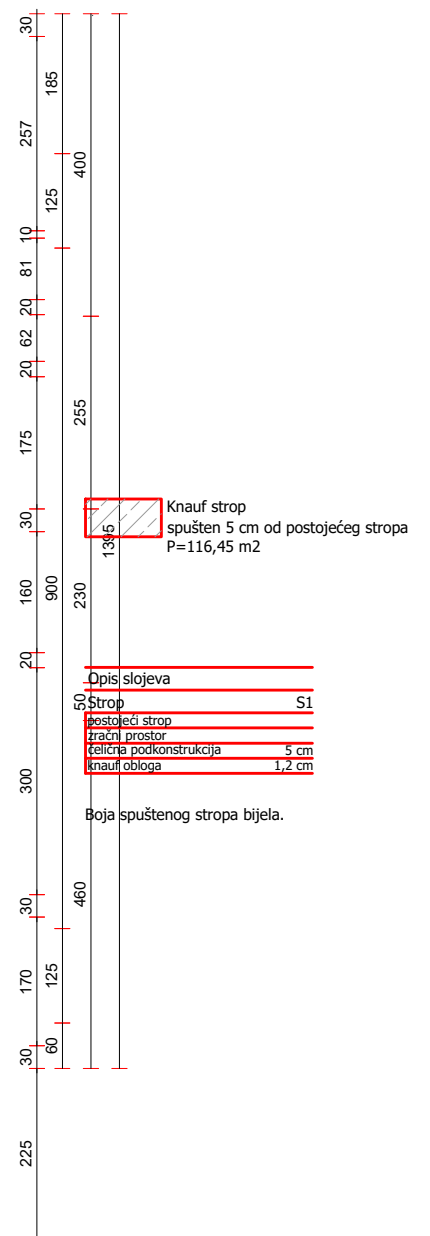
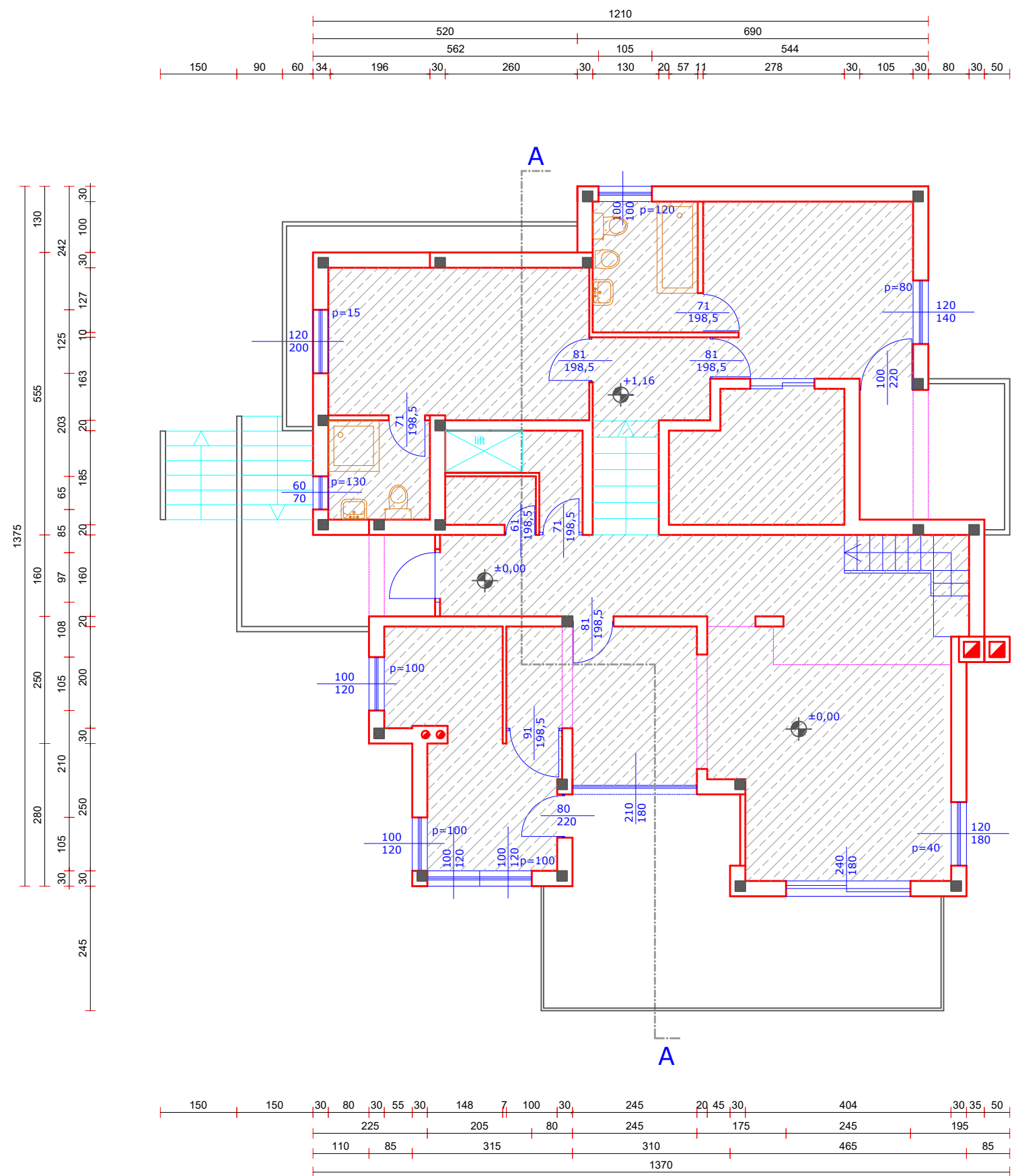
GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji	Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine		
Studentica: Regina Cindrić	Nacrt: Pročelja - PROJEKTIRANO STANJE		
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 6	Datum: 24.06.2024.



- Knauf strop
spušten 5 cm od postojećeg stropa
P=88,24 m²
- Knauf strop
spušten 35 cm od postojećeg stropa
P=9,80 m²

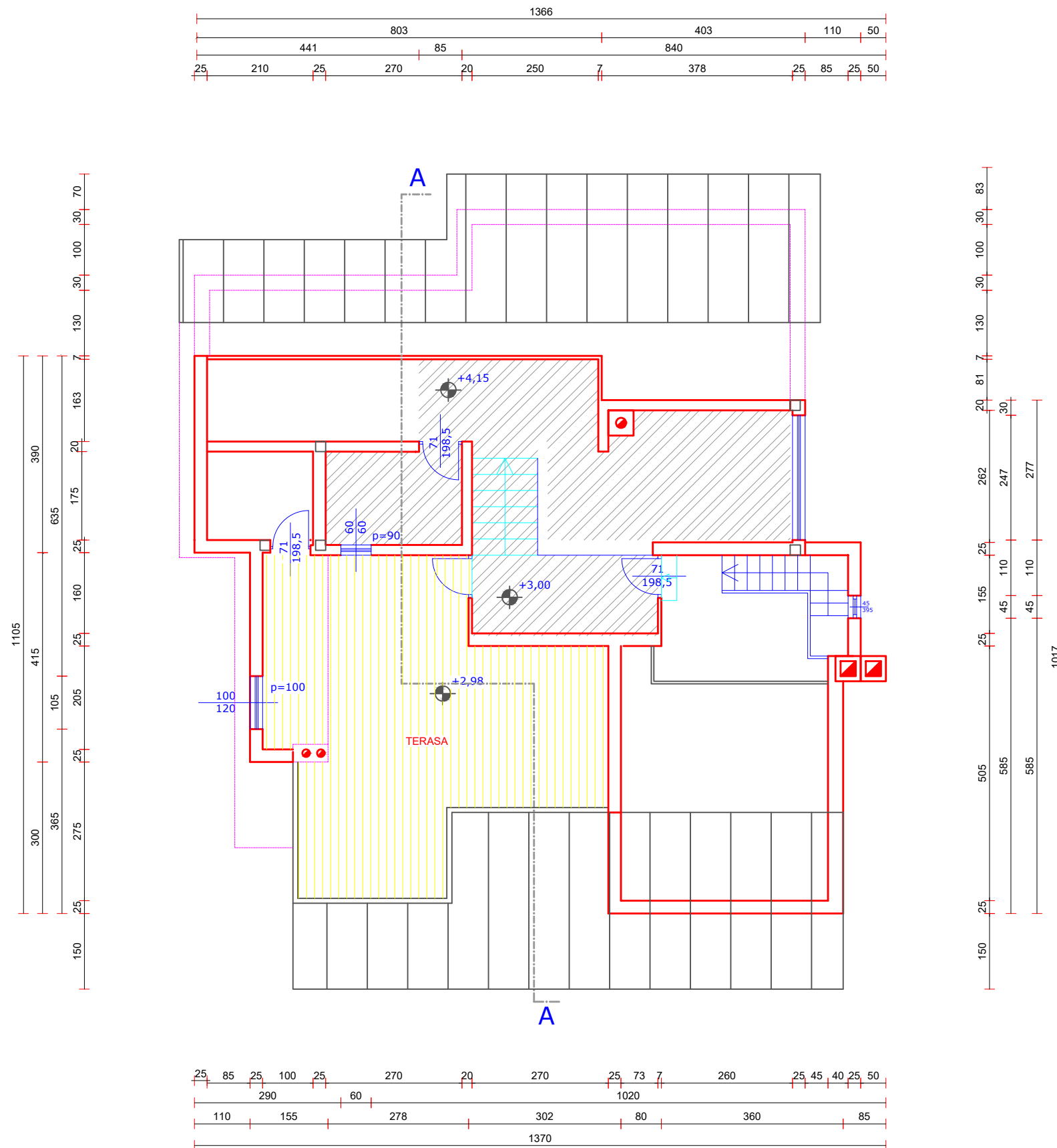
Opis slojeva	
Strop	S1
postojeći strop	
zračni prostor	
čelična podkonstrukcija	5 cm
knauf obloga	1,2 cm

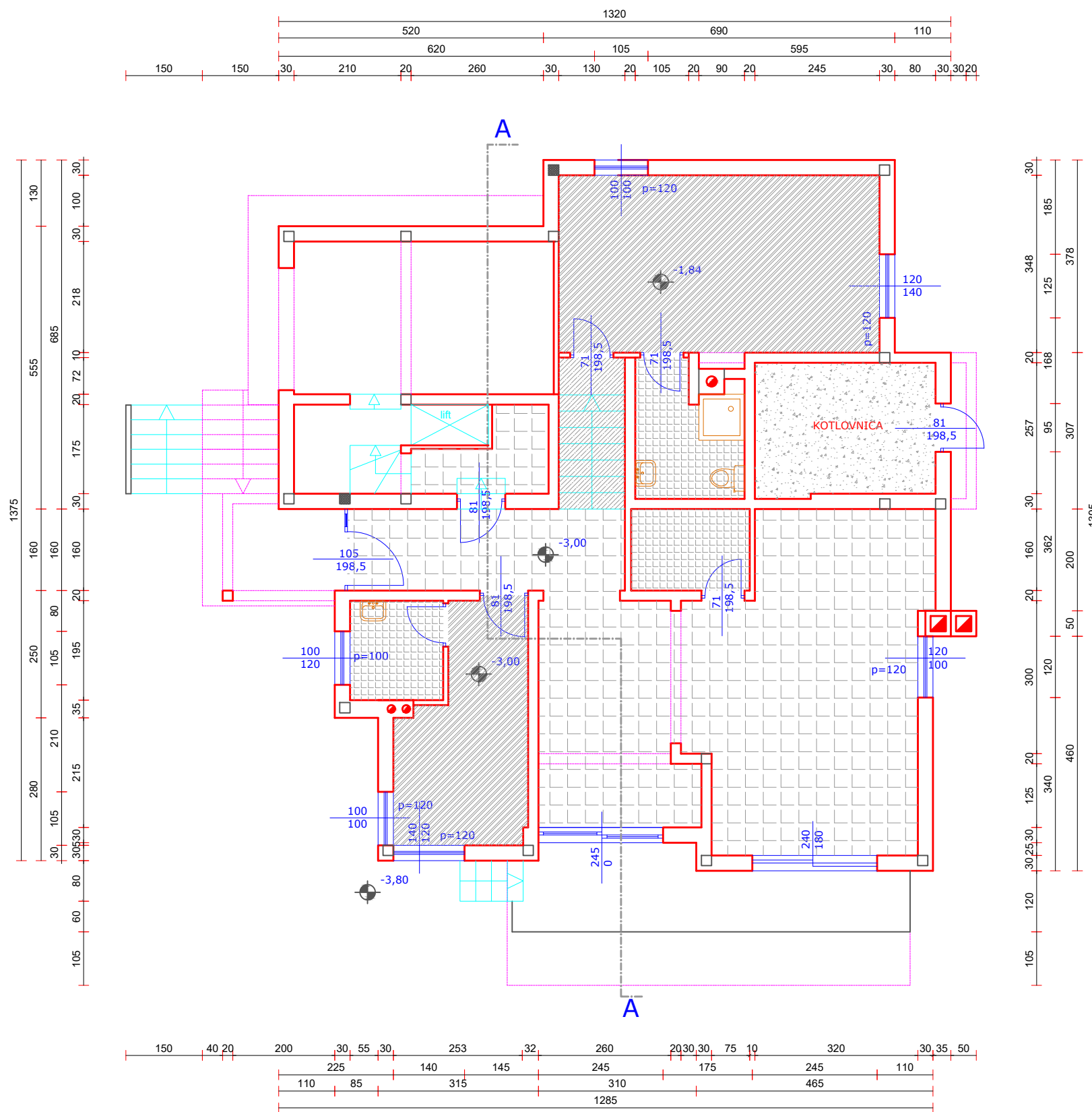
Boja spuštenog stropa bijela.








PROJEKTIRANO STANJE
Tlocrt prizemlja
Dispozicija stropova i stropne obloge

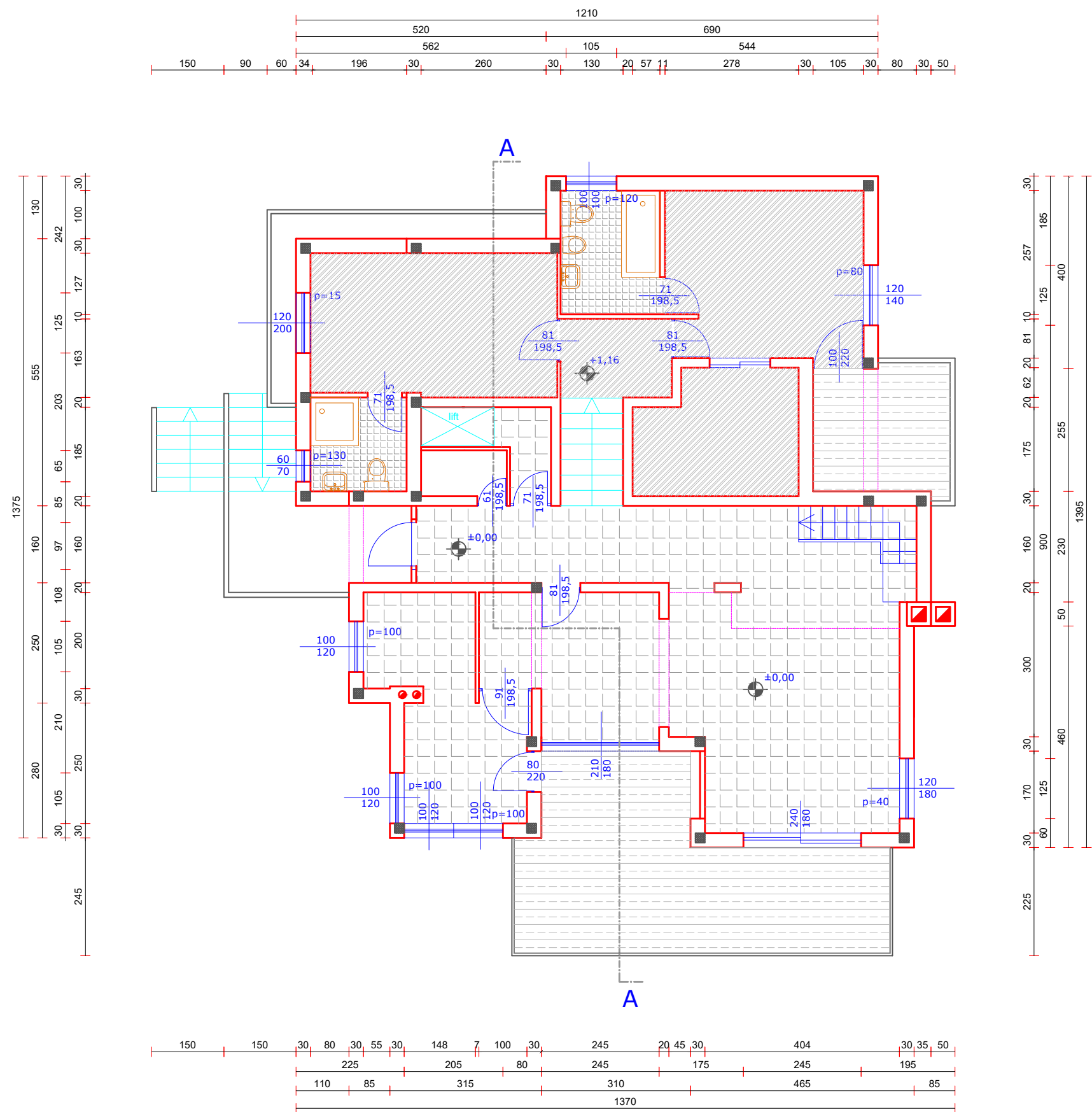
GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji		Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine	
Studentica: Regina Cindrić		Nacr: Tlocrt prizemlja - PROJEKTIRANO STANJE Dispozicija stropova i stropne obloge	
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 8	Datum: 24.06.2024.

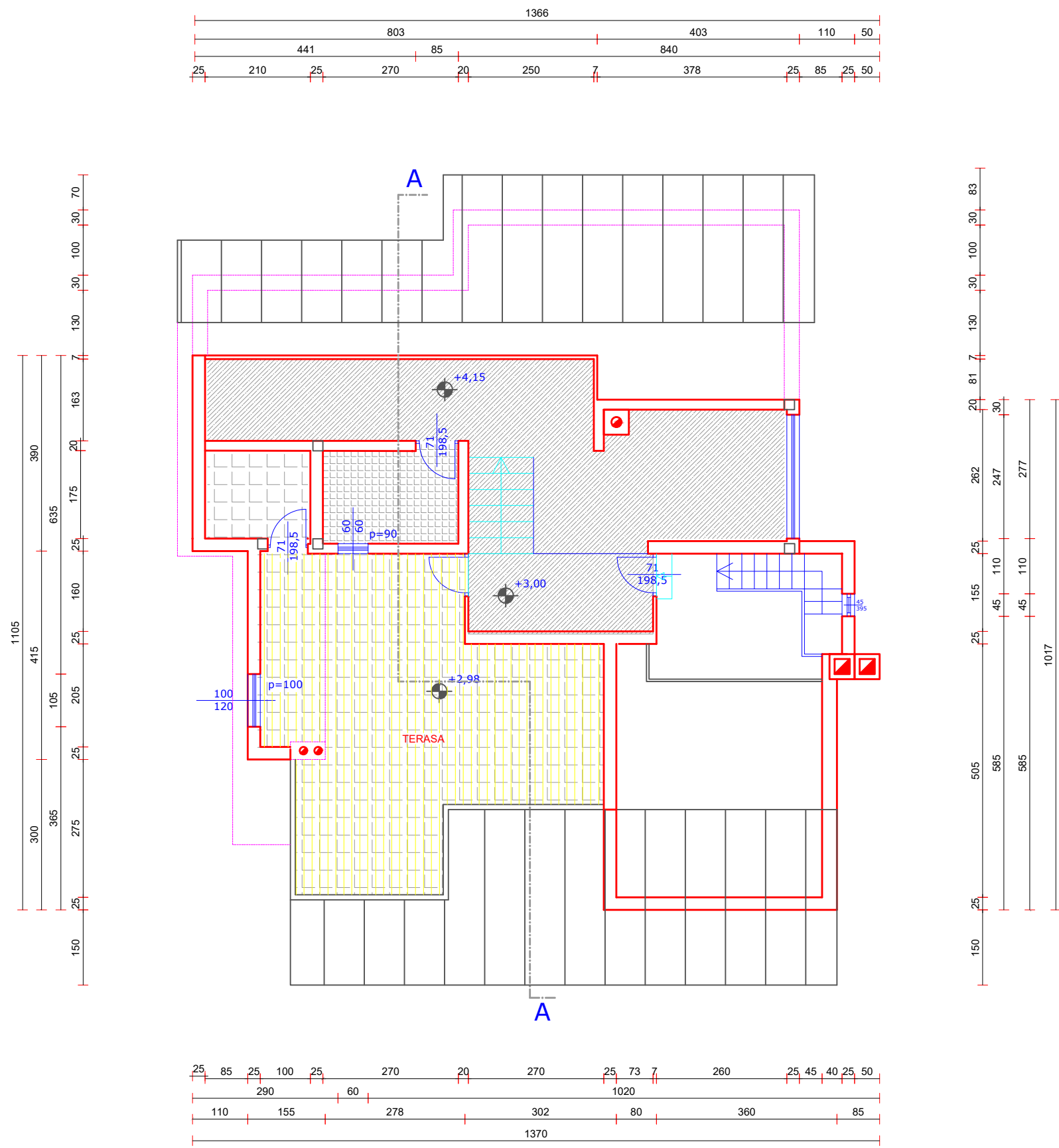




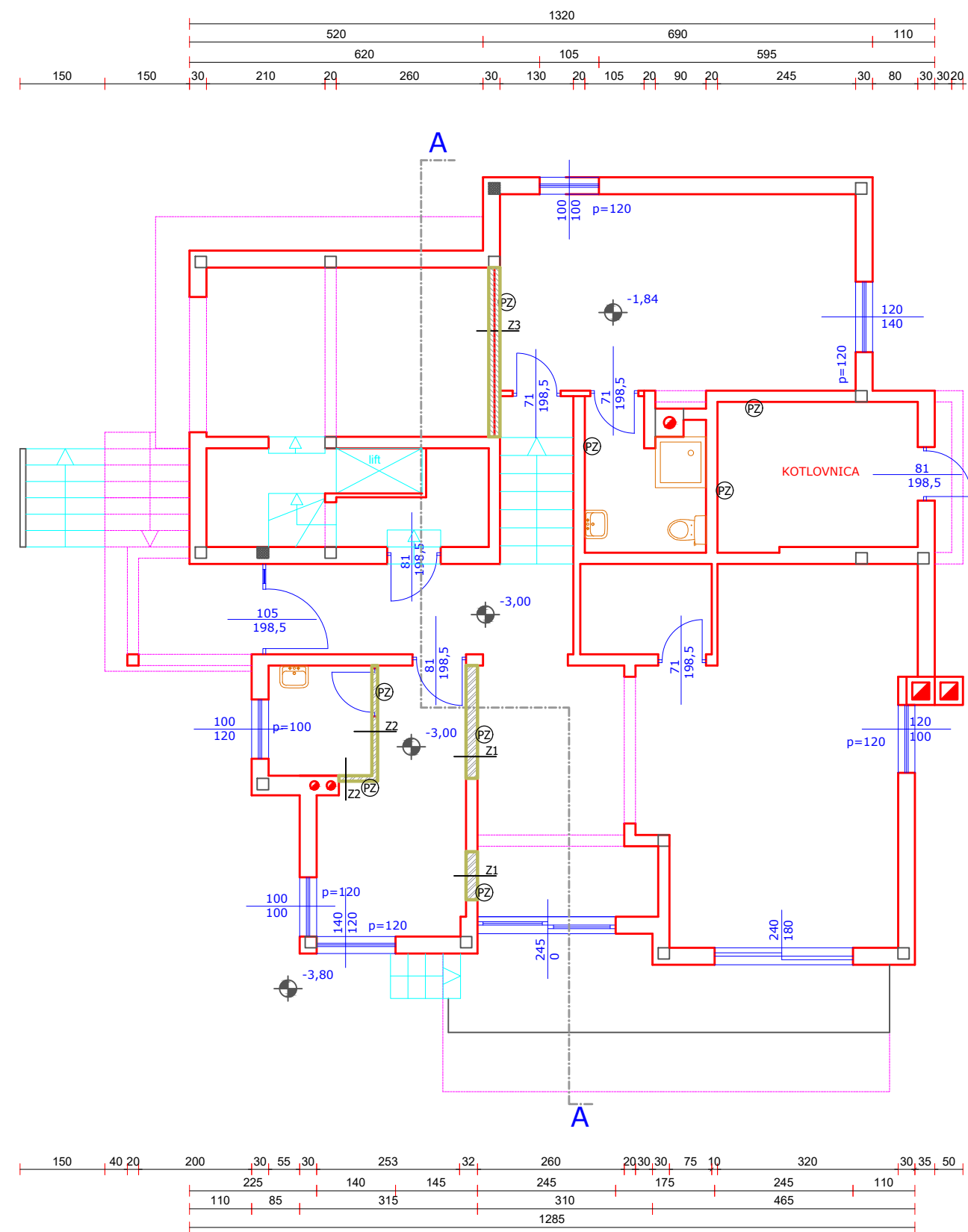
-  Glatka betonska podloga
P=9,23 m²
-  Keramičke pločice 60 x 60 cm
P= 53,70 m²
-  Keramičke pločice 30 x 30 cm
P= 11,61 m²
-  Parket - hrast višeslojni 500x70x11 mm
P= 32,5 m²
-  Daska - hrast
P=3,9 m²

Opis slojeva	
Pod	P1
keramičke pločice	1 cm
lijepilo	0,4 cm
postojeća betonska podloga	
Pod	P2
parket	1,1 cm
lijepilo	0,4 cm
postojeća betonska podloga	





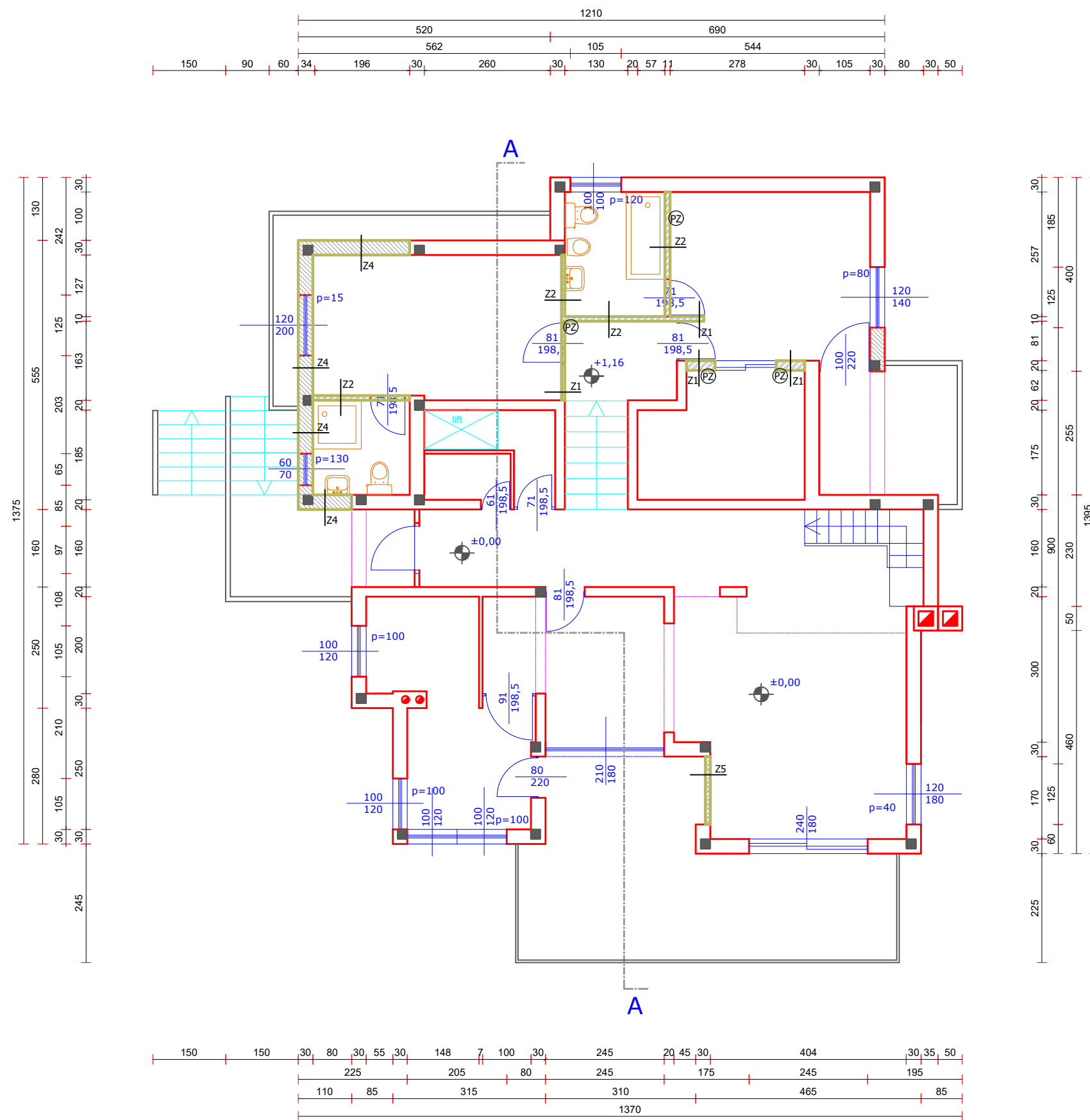
GRADRI		GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji		Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine	
Studentica: Regina Cindrić		Nacr: Tlocrt potkrovlja - PROJEKTIRANO STANJE Dispozicija podova i podne obloge	
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 12	Datum: 24.06.2024.



- Pregradni zid od opeke
- Pregradni zid od knaufa

Opis slojeva	
Zid	Z1
knauf obloga	1,25 cm
čelična podkonstrukcija	5 cm
knauf obloga	1,25 cm
Zid	Z2
knauf obloga	1,25 cm
čelična podkonstrukcija	5 cm
knauf obloga	1,25 cm
keramičke pločice+hepilo	1,5 cm
Zid	Z3
knauf obloga	1,25 cm
opeka	12 cm
čelična podkonstrukcija	5 cm
knauf obloga	1,25 cm

Boja zidova prema naputku projektanta.



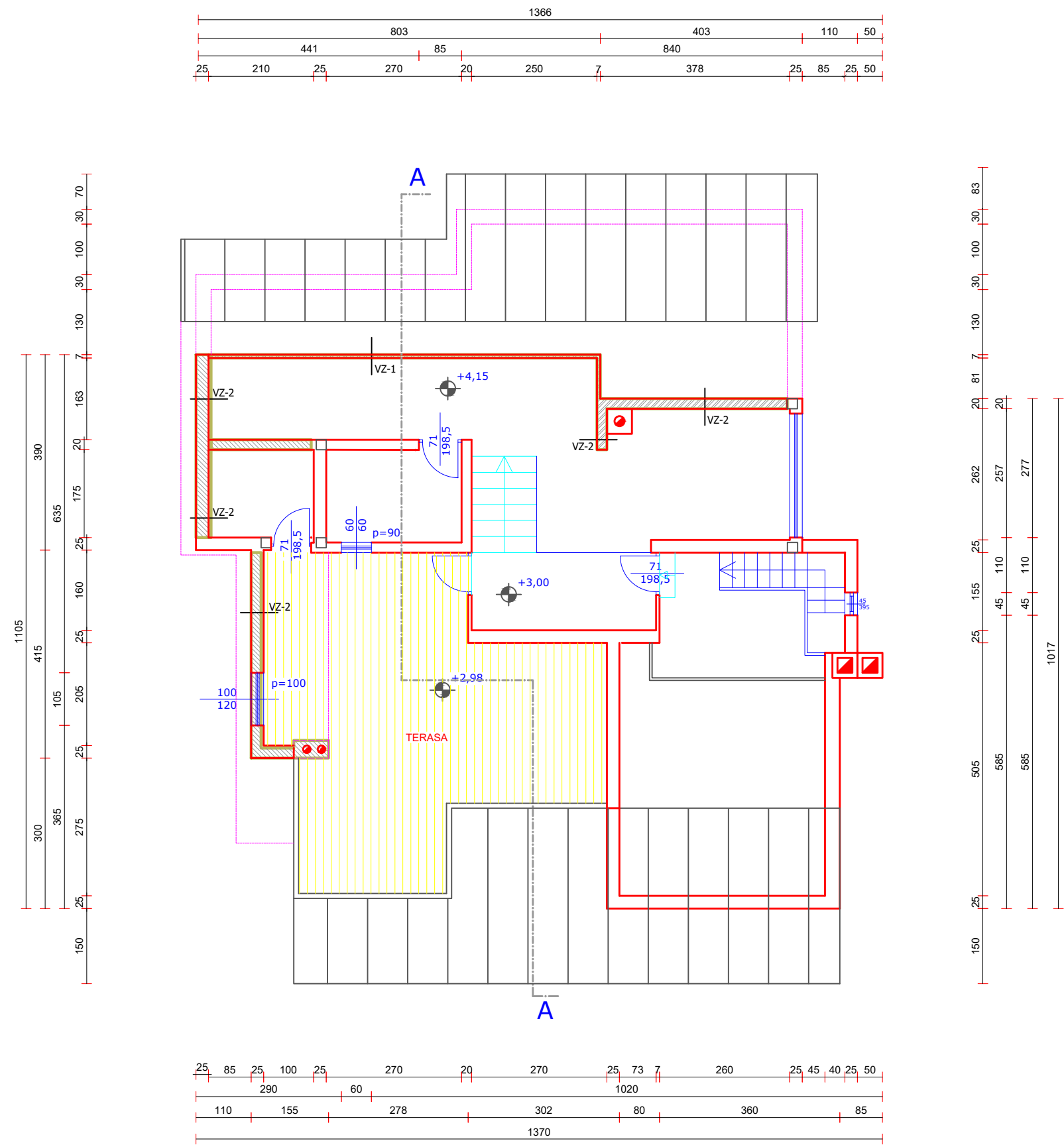
- Zid od opeke
- Pregradni zid od knaufa
- Zid od siporex-a

Opis slojeva	
Zid	Z1
knauř obloga	1,25 cm
čelična podkonstrukcija	5 cm
knauř obloga	1,25 cm
Zid	Z2
knauř obloga	1,25 cm
čelična podkonstrukcija	5 cm
knauř obloga	1,25 cm
keramičke pločice+ljepilo	1,5 cm
Zid	Z4
stropor	5 cm
žbuka	2 cm
opeka	25 cm
žbuka	2 cm
Zid	Z5
žbuka	2 cm
siporex	8 cm
žbuka	2 cm

Boja zidova prema naputku projektanta.

PROJEKTIRANO STANJE
Tlocrt prizemlja
Dispozicija obloge zidova

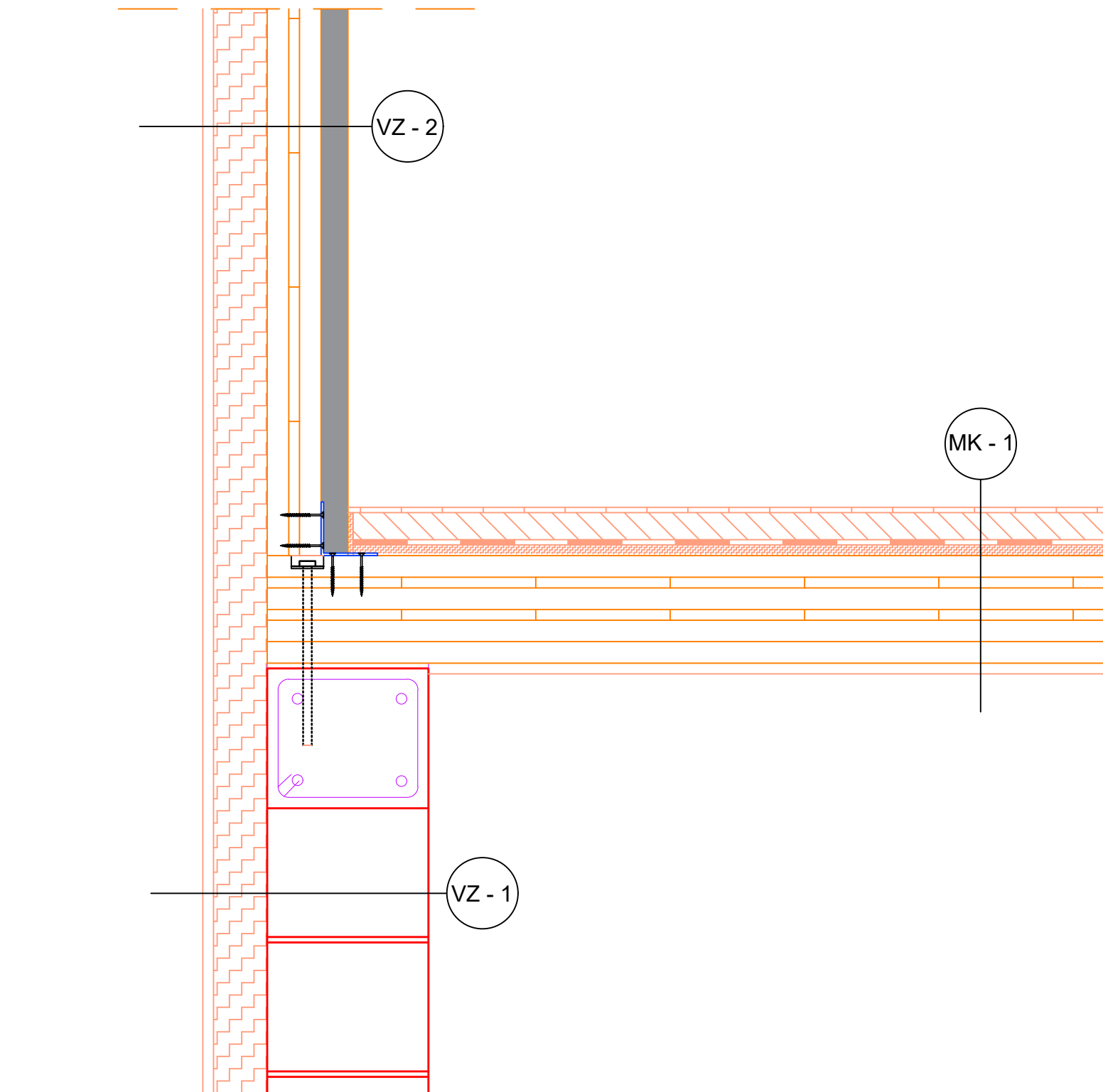
GRADRI	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
Kolegij: Projektiranje u visokogradnji	Zadatak: Rekonstrukcija i nadogradnja stambene građevine		
Studentica: Regina Cindrić	Nacr: Tlocrt prizemlja - PROJEKTIRANO STANJE Dispozicija obloge zidova		
Mentor: Marko Franković, dipl. ing. arh	Mjerilo: 1:100	List: 14	Datum: 24.06.2024.



-  Zid od CLTa
-  Pregradni zid od CLTa

Boja zidova prema naputku projektanta.

- Opis slojeva**
- VZ - 1 / Vanjski zid 1**
- Završni disperzivni sloj boje
 - Završna obloga od Knauf sistema 2,0 cm
 - CLT pregradni zid 4,0 cm
 - Završna obloga od Knauf sistema 2,0 cm
 - Završni disperzivni sloj boje
- VZ - 2 / Vanjski zid 2**
- Dekorativni sloj žbuke
 - Toplinska izolacija 10,0 cm
 - CLT nosivi zid 10,0 cm
 - Završna obloga od Knauf sistema 5,0 cm
 - Završni disperzivni sloj boje



VZ - 1 / Vanjski zid 1

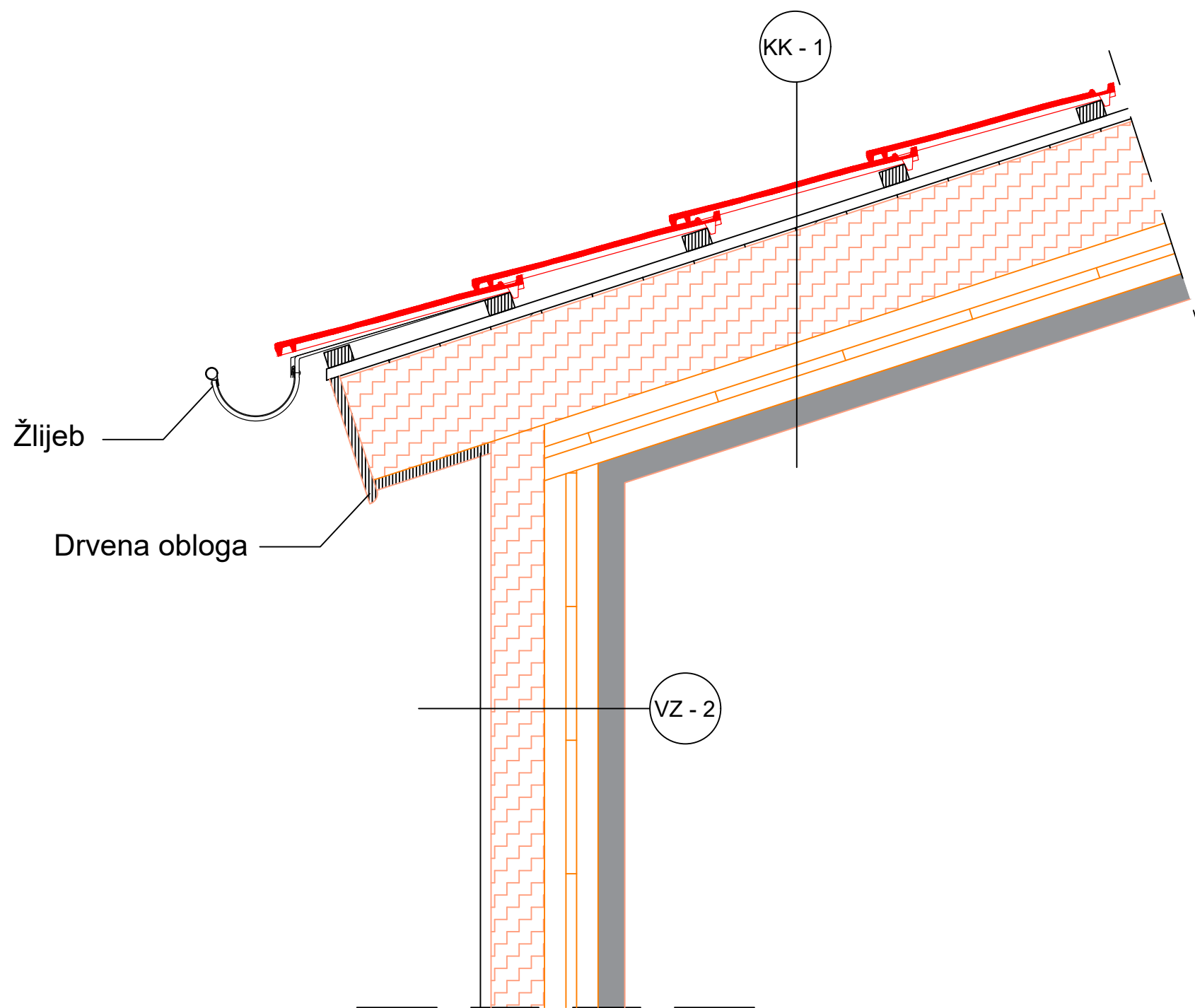
- Dekorativni sloj žbuke
- Toplinska izolacija 10,0 cm
- Purotherm blok 25 S
- Vapneno - cementna žbuka 2,0 cm
- Završni disperzivni sloj boje

VZ - 2 / Vanjski zid 2

- Dekorativni sloj žbuke
- Toplinska izolacija 10,0 cm
- CLT nosivi zid 10,0 cm
- Završna obloga od Knauf sistema 5,0 cm
- Završni disperzivni sloj boje

MK - 1 / Međukatna konstrukcija 1

- Završna obloga poda 1,0 cm
- Armirani cementni estrih 5,0 cm
- PE folija
- Toplinska/zvučna izolacija 2,0 cm
- CLT međukatna konstrukcija 20,0 cm
- Podgled od Knauf sistema 2,0 cm

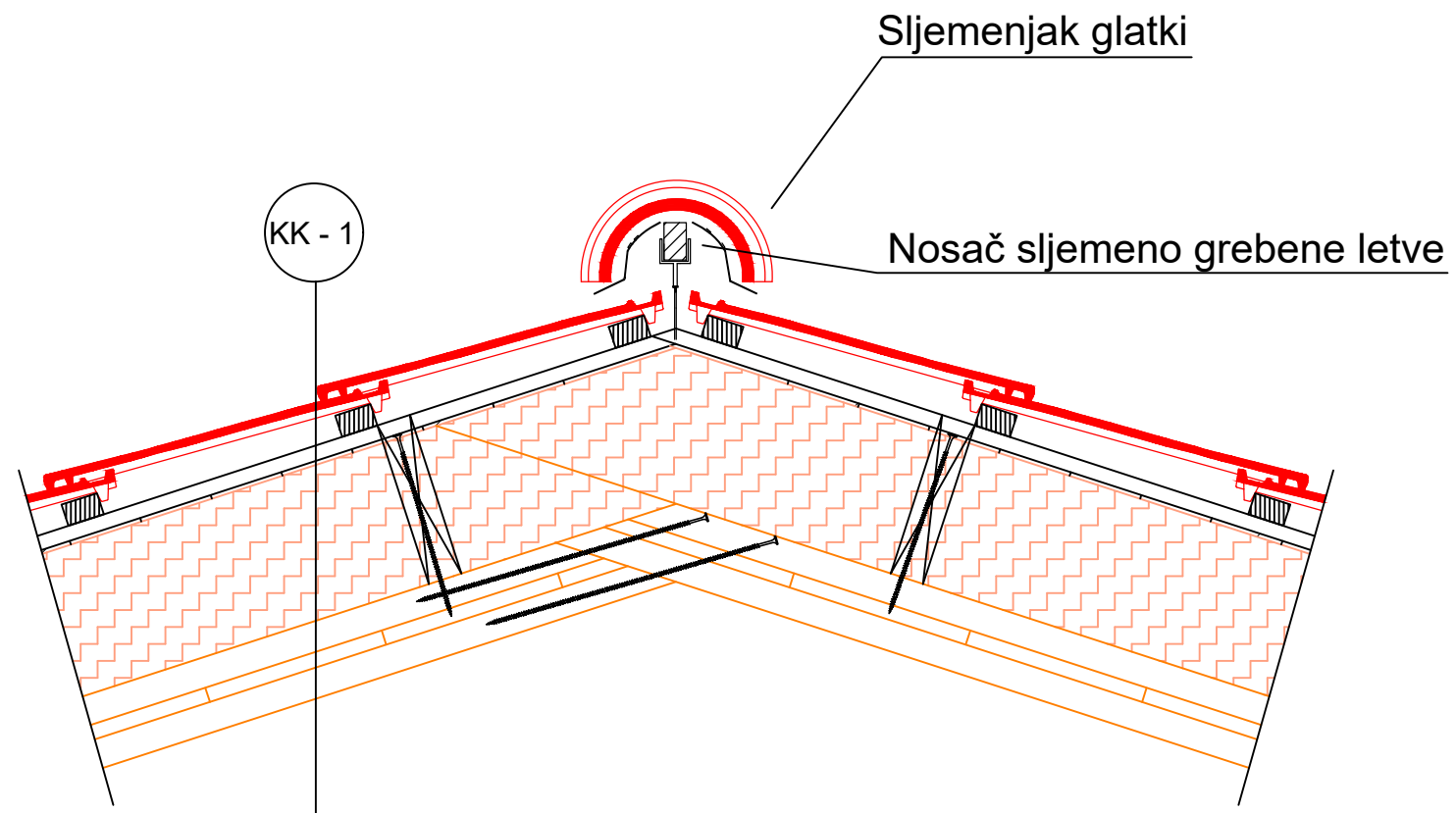


VZ - 2 / Vanjski zid 2

- Dekorativni sloj žbuke
- Toplinska izolacija 10,0 cm
- CLT nosivi zid 10,0 cm
- Završna obloga od Knauf sistema 5,0 cm
- Završni disperzivni sloj boje

KK - 1 / Krovna konstrukcija 1

- Crijep
- Letve 5/3
- Kontra letve
- PE folija
- Izolacija od drvenih vlakana 20,0 cm
- CLT nosivi strop 10,0 cm
- Završna obloga od Knauf sistema 5,0 cm
- Završni disperzivni sloj boje



KK - 1 / Krovna konstrukcija 1

- Crijep
- Letve 5/3
- Kontra letve
- PE folija
- Izolacija od drvenih vlakana 20,0 cm
- CLT nosivi strop 10,0 cm
- Završna obloga od Knauf sistema 5,0 cm
- Završni disperzivni sloj boje

ZAKLJUČAK

Diplomski rad detaljno analizira upotrebu drva, s posebnim naglaskom na križno lamelirano drvo (CLT), u suvremenoj građevinskoj industriji. Rad naglašava kako drvo, kao obnovljiv materijal, igra ključnu ulogu u održivoj gradnji, doprinoseći smanjenju emisija CO₂, energetske efikasnosti i ekološkoj održivosti građevinskih projekata. CLT pokazuje izvrsne mehaničke osobine poput visoke nosivosti i stabilnosti, a njegova sposobnost apsorpcije zvuka i pružanja toplinske izolacije dodatno povećava kvalitetu unutarnjih prostora. Integracija ekoloških materijala s CLT-om omogućava stvaranje estetski privlačnih i ekološki prihvatljivih građevina. Korištenje digitalnih tehnologija i inovacija u dizajnu omogućava preciznu proizvodnju i montažu CLT elemenata, smanjujući vrijeme izgradnje i otpad materijala. Unatoč izazovima poput nedostatka standardizacije i potrebne specijalizacije radne snage, tehnološki napredak i rastuća svijest o održivosti otvaraju nove mogućnosti za širu primjenu CLT-a u budućnosti. Rad ukazuje na potencijal CLT-a i ekoloških materijala u transformaciji građevinske industrije prema održivijem i učinkovitijem modelu gradnje, ističući prednosti brze montaže, smanjenja utjecaja na okoliš i poboljšane kvalitete života korisnika prostora.

POPIS LITERATURE:

- [1] Reddy, B. V. Sustainable building technologies. *Current Science*, 899-907, 2004.
- [2] Macakanja, N. Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering), 2023.
- [3] <https://archovavisuals.com/a-short-history-of-wood-based-architecture/>
- [4] Harris, R. *Discovering timber-framed buildings*, 1993.
- [5] Sekularac, J. I., Sekularac, N., & Tovarovic, J. C. (2012). Wood as element of facade cladding in modern architecture. *Tech. Technologies Educ. Manag*, 7, 1304-1310.
- [6] Stepinac Fabijanić, T., Tradicijska kultura uz Lujzijanu i Karolinu. *Povijesni putopis kroz Gorski kotar i Prikuplje. Problemi sjevernog Jadrana: Problemi sjevernog Jadrana*, 15, 133-178, 2016.
- [7] Ojurović, R., & Grbac, I. (2009). Drvo u suvremenim trendovima stanovanja. *Drvena industrija*, 60(1), 61-63, 2009.
- [8] Kurzinski, S., Crovella, P., & Kremer, P. Overview of cross-laminated timber (CLT) and timber structure standards across the world. *Mass Timber Construction Journal*, 5(1), 1-13, 2022.
- [9] Bejder, A. K., Kirkegaard, P. H., & Fisker, A. M. On the architectural qualities of cross laminated timber. ed. PJS Cruz, Taylor & Francis Group, London, 119-121, 2010.
- [10] Smith, J., *Cross-Laminated Timber in Construction: A Comprehensive Guide*, London: Routledge, 2020.
- [11] Veršić, A. *Obnovljivi materijali u građevinarstvu i ekološka gradnja* (Doctoral dissertation, University of Split. Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy. Department of Construction Management and Economics), 2022.
- [12] Scalet, T., *Cross Laminated Timber as Sustainable Construction Technology for the Future* (Civil Engineering, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences), 2015.
- [13] <https://living.vecernji.hr/interijeri/pogledajte-kako-izgleda-luksuzna-zgrada-u-tkalcicevoj-gradena-protupotresnom-tehnologijom-1622472>, pristup 26.05.2024.
- [14] <https://www.grenef.hr/gradnja-drvetom-poslovna-zgrada-u-gradu-marnau/>, pristup 26.05.2024.
- [15] American Institute of Timber Construction, *Timber Construction Manual*, 6th Edition, 2012.

Rekonstrukcija i nadogradnja AB konstrukcije sa zidanom ispunom koristeći CLT tehnologiju

[16] Ching, F. D. K., & Adams, C., *Building Construction Illustrated*, John Wiley & Sons, 2017.

[17] Gagnon, S., & Pirvu, C., *Cross-laminated Timber: A Primer*, FPInnovations., 2011.

[18] Green, M. & Taggart, J., *The Case for Tall Wood Buildings: Second Edition*. Birkhäuser Architecture, 2017.